

## بافت و ریزساختار ژل سوریمی ماهی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) متأثر از به‌کارگیری پراکسید هیدروژن (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) طی مراحل شستشوی گوشت چرخ شده

نرجس بادفر<sup>۱</sup>، سید علی جعفرپور<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۲. دانشیار، گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۴ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱/۲۵

### چکیده

یکی از عوامل عمده بافت و رنگ نامطلوب در سوریمی ماهیان آب شیرین مربوط به بالاتر بودن درصد عضلات تیره آن‌ها در مقایسه با برخی از گونه‌های تجاری ماهیان دریایی است. در این مطالعه از شاخص پراکسید هیدروژن در غلظت‌های ۱، ۲ و ۳ درصد طی مراحل مختلف شستشو (یک، دو و سه دفعه) گوشت چرخ‌شده ماهی کپور نقره‌ای و در نسبت‌های آب به گوشت ۱:۲ و ۱:۳ استفاده گردیده و ضمن اندازه‌گیری رنگ سوریمی تولیدشده اثر پراکسید هیدروژن بر ویژگی‌های بافتی، ظرفیت نگهداری آب (WHC) و ریزساختار ژل سوریمی بررسی شد. داده‌های به‌دست آمده نشان داد که طی یک دفعه شستشو در نسبت ۱:۲ در مقایسه به ۱:۳ بافت ژل سوریمی از انسجام بالاتری برخوردار بوده ( $P < 0.05$ ) و این در حالی است که در همین نسبت ۱:۲ بین درصدهای مختلف پراکسید هیدروژن تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ( $P > 0.05$ ). در مقایسه داده‌های دو دفعه شستشو تیمار ۱٪ پراکسید هیدروژن و نسبت ۱:۲ به‌عنوان تیمار برتر انتخاب شد که علاوه بر استحکام ژل مطلوب، درصد پراکسید هیدروژن کمتر و میزان آب کمتری برای شستشو نیاز می‌باشد. همین نتیجه طی سه دفعه شستشو هم به‌دست آمد. در راستای نتایج آزمون نفوذ در مورد شاخص ظرفیت نگهداری آب نیز در تمامی دفعات شستشو با افزایش میزان پراکسید هیدروژن در نسبت‌های ۱:۳ و ۱:۲ آب به گوشت ظرفیت نگهداری آب کاهش یافته و روند نزولی داشت. عکس‌های میکروسکوپ الکترونی تهیه‌شده با ارائه توپوگرافی بافت ژل سوریمی موید داده‌های بافتی و WHC می‌باشد. نتیجه اینکه با استفاده از میزان ۱ درصد پراکسید هیدروژن در نسبت ۱:۲ طی سه دفعه شستشو می‌توان ژل سوریمی باکیفیت مناسب از گوشت ماهی کپور نقره‌ای تهیه نمود.

واژگان کلیدی: کپور نقره‌ای، بافت، ظرفیت نگهداری آب، ریزساختار.

## ۱. مقدمه

با پراکسید هیدروژن یک روش آسان اما مؤثر برای سفید کردن گوشت است (Sims *et al.*, 1975). علاوه بر رنگ، بافت یکی دیگر از پارامترهای کلیدی کیفیت تولیدات حاصل از ماهی است و در مورد کامابوکو، مصرف کنندگان فیله مستحکم را ترجیح می‌دهند؛ توانایی تشکیل ژل گوشت ماهی بر بافت کامابوکو تأثیر می‌گذارد (Shan *et al.*, 2010). در مطالعه‌ای، Jafarpour و همکاران (۲۰۰۸)، اثر تیمار پراکسید هیدروژن و pH را بر روی کیفیت رنگ و ریز ساختار بافت فیله ماهی کپور معمولی ماده و ژل سوریمی تهیه شده از آن مورد بررسی قرار دادند. Shan و همکاران (۲۰۱۰)، تحقیقی با موضوع بهینه‌سازی استفاده از پراکسید هیدروژن در فرآیند شستشوی گوشت ماهی کپور معمولی به روش سطح پاسخ (RSM) انجام دادند.

لازم به ذکر است با توجه به مرور منابع انجام شده مطالعات محدودی در خصوص استفاده از پراکسید هیدروژن به منظور بهبود ویژگی‌های کیفی سوریمی انجام شده است، در مطالعه Shan و همکاران (۲۰۱۰)، با این که درصدهای ۰/۲ تا ۲/۵ درصد پراکسید هیدروژن طی مراحل شستشو استفاده شده، اما به نکته مهم فرآیند تولید سوریمی که میزان آب مصرفی و تعداد دفعات شستشو می‌باشد توجهی نشده است. بنابراین پژوهش حاضر با تمرکز بر این موضوع صورت گرفته است، از سویی دیگر بر اساس مطالعات صورت گرفته تاکنون اثر پراکسید هیدروژن بر روی پارامترهای بیوفیزیکی از قبیل بافت و ظرفیت نگهداری آب ژل سوریمی تهیه شده از گوشت چرخ شده حاصل از ماهی کپور نقره‌ای بررسی نشده که در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفته است.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱. روش تهیه خمیر سوریمی و اعمال فاکتورها

ماهی کپور نقره‌ای از بازار ماهی‌فروشان ساری تهیه شد و پس از قرار دادن در داخل محفظه حاوی یخ (نسبت یخ به ماهی ۱:۱)، بلافاصله به پایلوت فرآوری دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری انتقال داده شد. پس از سرزنی، تخلیه شکمی و شستشو، پوست ماهی و استخوان‌های آن به صورت دستی زدوده

اهمیت نقش آبزیان در تغذیه انسان همیشه مورد توجه بوده است و نیاز به آبزیان به دلیل افزایش رشد جمعیت جهان و مشکل کمبود پروتئین روز به روز بیشتر می‌گردد (Abdoli and Naderi, 2007). بر اساس آمار منتشر شده سازمان تجارت جهانی، الگوی تجارت محصولات کشاورزی از کالاهای اولیه به سمت غذاهای فرآوری شده تغییر کرده است. بنابراین ایجاد ارزش افزوده در فرآورده‌های شیلاتی به خصوص برای کشورهای در حال توسعه می‌تواند بسیار مفید باشد. با توجه به صید بی‌رویه ذخایر آبزیان در اقیانوس‌ها و آلوده نمودن رودخانه‌ها توسط مزارع پرورش ماهی، سازمان تجارت جهانی نقش و اهمیت فرآوری محصولات شیلاتی و ایجاد ارزش افزوده در آن‌ها را به عنوان عاملی در جهت تأمین امنیت غذایی و استفاده بهینه از صید تأکید کرده است، بنابراین با توجه به موقعیت استراتژیک ایران از لحاظ ارتباط با منابع غذایی دریایی سرشار و حتی ناشناخته از لحاظ پتانسیل موجود در شمال و جنوب، ایجاد ارزش افزوده به این گونه آبزیان و به عنوان مثال تهیه سوریمی و استفاده از آن به عنوان ماده پایه یا حدواسط در جهت فرآوری محصولات از قبیل سوسیس و کالباس و سایر فرآورده‌های تقلیدی مانند خرچنگ، لابستر، اویستر و غیره می‌تواند به عنوان راهکار مناسبی در افزایش مصرف سرانه آبزیان در کشور باشد (Jafarpour, 2012). یکی از این راهکارها می‌تواند بررسی تولید سوریمی با کیفیت مناسب از این گونه‌ها باشد.

سوریمی یک واژه ژاپنی است و به گوشت چرخ شده ماهی گفته می‌شود که به صورت مکانیکی استخوان گیری شده و قسمت زیادی از ترکیبات محلول در آب (پروتئین‌های سارکوپلاسمی به همراه خون و آنزیم‌ها) در طول فرآیند شستشو خارج شده و پروتئین‌های میوفیبریل باقی می‌ماند. این فرآورده حاوی ۷۵٪ تا ۷۹٪ رطوبت است (Lanier, 1992). بافت کامابوکو در مقایسه با بافت سوریمی بسیار قوی‌تر است و احساس دهانی جویدنی دارد. این هر دو ویژگی کامابوکو برای مشتریان مطلوب است (Shan *et al.*, 2010). این امکان وجود دارد که از گونه‌های دارای عضلات تیره در صنعت کامابوکو استفاده شود. شستشو

محیط برای مدت ۱ ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند. سپس توسط دستگاه آنالیز بافتی Texture Analyzer CT3, Brookfield, USA مورد ارزیابی قرار گرفتند. دستگاه آنالیز بافت، توسط پروب با سر کروی TA38 و قطر ۱۰ میلی‌متر از جنس استیل ضدزنگ تجهیز شده و میزان بارگیری دستگاه معادل ۱۰ کیلوگرم و نیروی وارده توسط پروب دستگاه، ۵ گرم و سرعت نفوذ آن ۱ میلی‌متر در ثانیه تنظیم شد. میزان نیروی شکست برحسب گرم و فاصله‌ی شکست برحسب میلی‌متر در این آزمون تعیین شده و پارامتر استحکام یا استحکام ژل بر مبنای این دو پارامتر محاسبه گردید. تمام محاسبات بر اساس میانگین ۳ تکرار در هر تیمار بود.

رابطه (۱)

استحکام ژل (g.mm) = (mm) فاصله شکست × (g) نیروی شکست

#### ۴.۲. ظرفیت نگه‌داری آب (WHC=Water)

##### (Holding Capacity)

ظرفیت نگه‌داری آب با استفاده از دستگاه سانترفیوژ (Universal centrifuge, Iran) و براساس روش Himonides و همکاران (۱۹۹۹) انجام شد. ابتدا ۵ گرم نمونه را توزین، سپس دو عدد کاغذ صافی وزن گردید. در ادامه، ۵ گرم نمونه را داخل ۲ عدد کاغذ صافی قرار داده، سپس کاغذ صافی و نمونه را داخل لوله‌ی پلاستیکی قرار داده و داخل دستگاه سانترفیوژ گذاشته و بر روی ۳۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه (دمای ۸°C) تنظیم گردید. در انتها، نمونه بیرون آورده شده و کاغذ را از دور آن باز کرده و با پنس نمونه را برداشته و سپس کاغذ و نمونه به‌طور جداگانه وزن گردید و از طریق فرمول زیر محاسبه شد.

رابطه (۲)  $WHC \text{ g/kg} = [(1 - Mw/Ms) 1000]$

$Ms$  = وزن ابتدایی نمونه به گرم

$Mw$  = وزن آب خارج شده از نمونه به گرم بعد از سانترفیوژ کردن

#### ۵.۲. تهیه عکس با استفاده از میکروسکوپ

الکترونی (SEM= Scanning Electronic)

(Microscopy)

شد و گوشت آن با استفاده از چرخ‌گوشت با منفذ ۳ میلی‌متر چرخ گردید. سپس گوشت چرخ‌شده با آب سرد (۸ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۵ دقیقه شسته شد. بدین‌صورت که نسبت گوشت چرخ‌شده به آب براساس فاکتور نسبت آب: گوشت (W/V) متفاوت بود (۱:۲ و ۱:۳). عمل شستن گوشت چرخ‌شده براساس فاکتور تعداد دفعات شستشو از یک الی سه مرتبه تکرار شده و فاکتور پراکسید هیدروژن در غلظت‌های ۱، ۲ و ۳٪، به‌منظور بهبود رنگ گوشت چرخ‌شده در مرحله اول شستشو اعمال گردید. به‌منظور خروج موثر آب، در مرحله آخر شستشو مقدار ۰/۳ درصد نمک‌طعام به مخلوط آب و گوشت اضافه شد. در پایان گوشت چرخ‌شده شسته شد و با استفاده از پارچه نظیف با چشمه ۱ میلی‌متر فیلتر شد و در نهایت با استفاده از مولینکس به مدت ۲ دقیقه آسیاب و مخلوط گردید (Jafarpour and Gorczyca, 2009).

#### ۲.۲. تهیه کامابوکو

خمیر سوریمی را به لوله‌های استیل ضدزنگ به طول ۲۰ سانتی‌متر و قطر ۲/۵ سانتی‌متر منتقل کرده و بعد از بستن درب دو طرف لوله‌ها، آن‌ها را داخل یخچال قرار داده تا سوریمی در دمای ۴°C به مدت تقریبی ۲۴ ساعت فرآیند قوام‌یابی (Setting) را تکمیل نماید (Lanier, 1992). در روز بعد لوله‌های حاوی ژل سوریمی را جهت پختن و تهیه کامابوکو در دمای ۹۰±۲°C به مدت ۳۰ دقیقه در داخل حمام آب گرم منتقل نموده و بعد از تکمیل فرآیند پختن، لوله‌ها را به مدت ۱۵ دقیقه در حمام آب سرد (۴°C) قرار داده و بعد از خروج ژل پخته‌شده یا کامابوکو، آن‌ها را درون یخچال منتقل کرده و بعد از ۴۸ ساعت برای انجام آزمایش‌های بعدی از آن‌ها استفاده گردد (Jafarpour et al., 2008).

#### ۳.۲. آزمون تست نفوذ (Puncture test)

این آزمایش براساس روش (Jafarpour and Gorczyca, 2009) انجام شد. ژل‌های حرارت‌دیده یا کامابوکو پس از ۲۴ ساعت نگه‌داری در یخچال به تکه‌های به طول ۲/۵ سانتی‌متر و قطر تقریبی ۲ سانتی‌متر برش داده و برای هم‌دمای سازی با دمای

بر اساس جدول شماره ۱، در داده‌های مربوط به آزمون تست نفوذ ژل‌های کامابوکو تهیه شده بعد از دودفعه شستشو، بالاترین استحکام ژل مربوط به تیمار ۷ و ۱۰ است که به ترتیب مربوط به نسبت آب به گوشت ۱:۳ در سطح ۱٪ پراکسید هیدروژن و نسبت آب به گوشت ۱:۲ در سطح ۱٪ پراکسید هیدروژن می‌باشد که با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد ( $P < 0/05$ )؛ اما تیمار ۷ با تیمار ۱۱ که نسبت آب به گوشت ۱:۳ و در سطح ۲٪ پراکسید هیدروژن است دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشد ( $P > 0/05$ ). در رابطه با عمق نفوذ، بالاترین میزان عمق نفوذ مربوط به تیمار ۱۲ با نسبت آب به گوشت ۱:۲ و سطح پراکسید هیدروژن ۳٪ است که تنها با تیمار ۹ که نسبت آب به گوشت ۱:۳ و در سطح ۳٪ پراکسید هیدروژن است دارای اختلاف معنی‌دار بوده ( $P < 0/05$ ) ولی با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار ندارد ( $P < 0/05$ ). بالاترین میزان نیرو نیز مربوط به تیمار ۷ بوده که با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد ( $P < 0/05$ ).

بر اساس جدول ۱ در داده‌های مربوط به آزمون تست نفوذ ژل‌های کامابوکو تهیه شده بعد از سه دفعه شستشو، بالاترین استحکام ژل مربوط به تیمار ۱۳، ۱۴، ۱۶ و ۱۸ می‌باشد که دارای اختلاف معنی‌دار با تیمارهای ۱۵ و ۱۷ است ( $P < 0/05$ )؛ اما بین خود فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند ( $P > 0/05$ ). در رابطه با پارامتر عمق نفوذ، تیمار ۱۳ که نسبت آب به گوشت ۱:۳ و سطح پراکسید هیدروژن ۱٪ است، بالاترین عمق نفوذ را دارد و با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار است ( $P < 0/05$ ) و در مورد پارامتر نیرو تیمار ۱۶ با نسبت ۱:۲ و سطح پراکسید هیدروژن ۱٪ بیشترین مقدار را دارد و با تیمار ۱۳ فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشد ( $P > 0/05$ ).

### ۲.۳. ظرفیت نگه‌داری آب (WHC)

مقادیر به دست آمده از آزمون ظرفیت نگه‌داری آب در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که تیمار ۱ با نسبت آب به گوشت ۱:۳ و سطح پراکسید هیدروژن ۱٪، بالاترین ظرفیت نگه‌داری آب را دارد و با تیمار ۲ با نسبت ۱:۳ و سطح

جهت مشاهده و بررسی ریزساختار بافت ژل‌های کامابوکو، از دستگاه میکروسکوپ الکترونی استفاده گردید. از داخل نمونه‌های ژل سوریمی قطعات مکعبی شکل (قطر ۲ تا ۳ میلی‌متر) برای سنجش میکروسکوپی ساختار بافت نمونه‌ها تهیه شد. نمونه‌های خشک‌شده روی پایه‌های مخصوص با استفاده از چسب ویژه چسبیده شدند، سپس سطح آن‌ها را با طلا پوشش داده و در نهایت ریزساختار آن‌ها در ولتاژ ۱۵ کیلووات توسط میکروسکوپ الکترونی XL30 ESEM-FEG با بزرگنمایی  $1500\times$  بررسی شدند (Hosseini-shekarabi et al., 2015).

### ۶.۲. آنالیز آماری

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. داده‌ها در نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و در همین نرم‌افزار، آنالیز داده‌ها در قالب تجزیه و تحلیل واریانس Multivariate Analysis انجام شد تا معنی‌دار بودن تفاوت بین میانگین تیمارها مشخص گردیده و سپس از آزمون دانکن برای مشخص کردن تفاوت معنی‌داری بین میانگین‌ها در سطح  $\alpha = 0/05$  استفاده شد.

### ۳. نتایج

#### ۱.۳. آزمون تست نفوذ

نتایج مربوط به تست نفوذ در تیمارهای مختلف، در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج آنالیز واریانس چندطرفه در داده‌های ثبت شده در این پژوهش، بیانگر این است که در جدول ۱ در داده‌های مربوط به آزمون تست نفوذ ژل‌های کامابوکو تهیه شده بعد از یک دفعه شستشو، بالاترین استحکام مربوط به تیمارهای ۴، ۵، ۶ می‌باشد که دارای اختلاف معنی‌دار با تیمارهای ۱، ۲، ۳ است ( $P < 0/05$ )، اما بین خود فاقد اختلاف معنی‌دار هستند ( $P > 0/05$ ). در مورد پارامتر عمق نفوذ، تیمارهای ۴، ۵، ۶ فاقد اختلاف معنی‌دار هستند ( $P < 0/05$ ). پارامتر نیرو در تیمار ۵ که نسبت آب به گوشت ۱:۲ و سطح پراکسید هیدروژن ۲٪ است، بیشترین مقدار را داشته و با تیمارهای ۴ و ۶ فاقد اختلاف معنی‌دار بوده ( $P < 0/05$ ) و با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد ( $P > 0/05$ ).

جدول ۱- مقادیر مربوط به پارامترهای آزمون تست نفوذ و ظرفیت نگهداری آب در تیمارهای مربوط به یک، دو و سه دفعه شستشو.

دفعات شستشو	تیمار	نسبت آب به گوشت	درصد پراکسید هیدروژن	نیرو (g)	عمق نفوذ (mm)	استحکام ژل (g.mm)	ظرفیت نگهداری آب (g/kg)
یک‌دفعه	۱		٪۱	۴۲۷±۳۴/۰ <sup>b</sup>	۹/۵۳±۰/۴۷ <sup>ab</sup>	۴۰۶۹±۱۲۵ <sup>b</sup>	۸۳۰±۱۸/۱۴ <sup>ab</sup>
	۲	۱:۳	٪۲	۳۶۹±۵۵/۵۰ <sup>b</sup>	۹/۳۸±۰/۴۰ <sup>ab</sup>	۳۴۶۱±۳۷۳ <sup>b</sup>	۸۱۰±۵/۰ <sup>bc</sup>
	۳		٪۳	۳۹۴±۲۰/۰ <sup>b</sup>	۸/۹۷±۰/۸۱ <sup>b</sup>	۳۵۳۴±۴۹۶ <sup>b</sup>	۷۷۹±۴۴/۵۰ <sup>cd</sup>
دو‌دفعه	۴		٪۱	۴۹۲±۵۰/۵۰ <sup>ab</sup>	۹/۹۹±۰/۰ <sup>a</sup>	۴۹۱۵±۵۰۶ <sup>ab</sup>	۷۶۶±۲۶/۴ <sup>d</sup>
	۵	۱:۲	٪۲	۶۴۳±۸۹/۵۰ <sup>a</sup>	۹/۲۲±۰/۴۶ <sup>ab</sup>	۵۹۲۸±۱۱۷ <sup>a</sup>	۷۹۳±۸/۶۳ <sup>bcd</sup>
	۶		٪۳	۵۹۶±۱۶۴ <sup>a</sup>	۹/۹۸±۰/۰ <sup>a</sup>	۵۹۴۸±۱۴۱ <sup>a</sup>	۷۵۳±۲۲/۲۷ <sup>d</sup>
سه‌دفعه	۷		٪۱	۸۱۷±۶۴/۵۰ <sup>a</sup>	۹/۰۰±۰/۰ <sup>a</sup>	۷۳۵۳±۶۴۱ <sup>ab</sup>	۷۹۰±۱۰/۸۵ <sup>a</sup>
	۸	۱:۳	٪۲	۶۹۵±۲۴/۵۰ <sup>bc</sup>	۹/۰۶±۰/۸۶ <sup>ab</sup>	۶۲۹۶±۳۷۳ <sup>cd</sup>	۷۴۸±۸/۱۸ <sup>ab</sup>
	۹		٪۳	۷۴۷±۱۳/۵۰ <sup>b</sup>	۸/۳۴±۰/۸۴ <sup>b</sup>	۶۲۲۹±۷۳۶ <sup>cd</sup>	۷۰۱±۵۲/۹۹ <sup>b</sup>
چهار‌دفعه	۱۰		٪۱	۷۵۵±۳۲/۰ <sup>b</sup>	۹/۹۶±۰/۰ <sup>a</sup>	۷۵۱۹±۲۹۶ <sup>a</sup>	۷۷۷±۷/۵۷ <sup>a</sup>
	۱۱	۱:۲	٪۲	۶۷۴±۲۸/۵۰ <sup>c</sup>	۹/۷۲±۰/۰ <sup>a</sup>	۶۵۵۱±۲۶۰ <sup>bc</sup>	۷۶۹±۱۳/۵۲ <sup>a</sup>
	۱۲		٪۳	۶۰۷±۱۷/۵۰ <sup>d</sup>	۸/۹۸±۰/۹۸ <sup>ab</sup>	۵۴۵۰±۴۳۵ <sup>d</sup>	۷۵۸±۳۴/۷۷ <sup>a</sup>
پنج‌دفعه	۱۳		٪۱	۸۳۷±۱۵/۵۰ <sup>a</sup>	۹/۷۱±۰/۰ <sup>a</sup>	۸۱۲۷±۵۱۹ <sup>a</sup>	۸۱۰±۱۴/۵۷ <sup>a</sup>
	۱۴	۱:۳	٪۲	۷۸۹±۸/۵۰ <sup>b</sup>	۸/۹۱±۰/۴۶ <sup>b</sup>	۷۰۲۹±۵۱۰ <sup>a</sup>	۸۰۳±۱۲/۰۵ <sup>b</sup>
	۱۵		٪۳	۷۳۹±۱۶/۰ <sup>c</sup>	۸/۶۶±۰/۱۰ <sup>bc</sup>	۶۳۹۹±۲۱۲ <sup>b</sup>	۷۶۶±۹/۱۱ <sup>c</sup>
شش‌دفعه	۱۶		٪۱	۸۵۲±۴۶/۰ <sup>a</sup>	۹/۱۶±۰/۲۰ <sup>b</sup>	۷۸۰۴±۵۹۱ <sup>a</sup>	۷۷۴±۲۰/۸۳ <sup>c</sup>
	۱۷	۱:۲	٪۲	۷۰۸±۱۴/۵۰ <sup>c</sup>	۸/۲۱±۰/۳۶ <sup>c</sup>	۵۸۱۲±۳۷۰ <sup>b</sup>	۷۵۱±۳/۱۰ <sup>cd</sup>
	۱۸		٪۳	۵۹۱±۳۱/۰ <sup>d</sup>	۸/۶۷±۰/۴۱ <sup>bc</sup>	۵۱۲۳±۳۰/۶۰ <sup>a</sup>	۷۳۹±۹/۳۷ <sup>d</sup>
شاهد							۸۴۳±۳۷/۳۱

میانگین‌های موجود در ستون‌های مشابه که دارای حرف نشانه متفاوت هستند، مطابق آنالیز واریانس چندطرفه و آزمون دانکن دارای اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) می‌باشند.

### ۳.۳. عکس‌های SEM

با توجه به نتایج مربوط به تست نفوذ و در نظر گرفتن حداقل میزان آب مصرفی جهت شستشو تیمارهای زیر جهت بررسی ریز ساختار ژل کامابوکو برای عکس‌های میکروسکوپ الکترونی انتخاب شدند (شکل ۱).

### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

#### ۴.۱. آزمون تست نفوذ

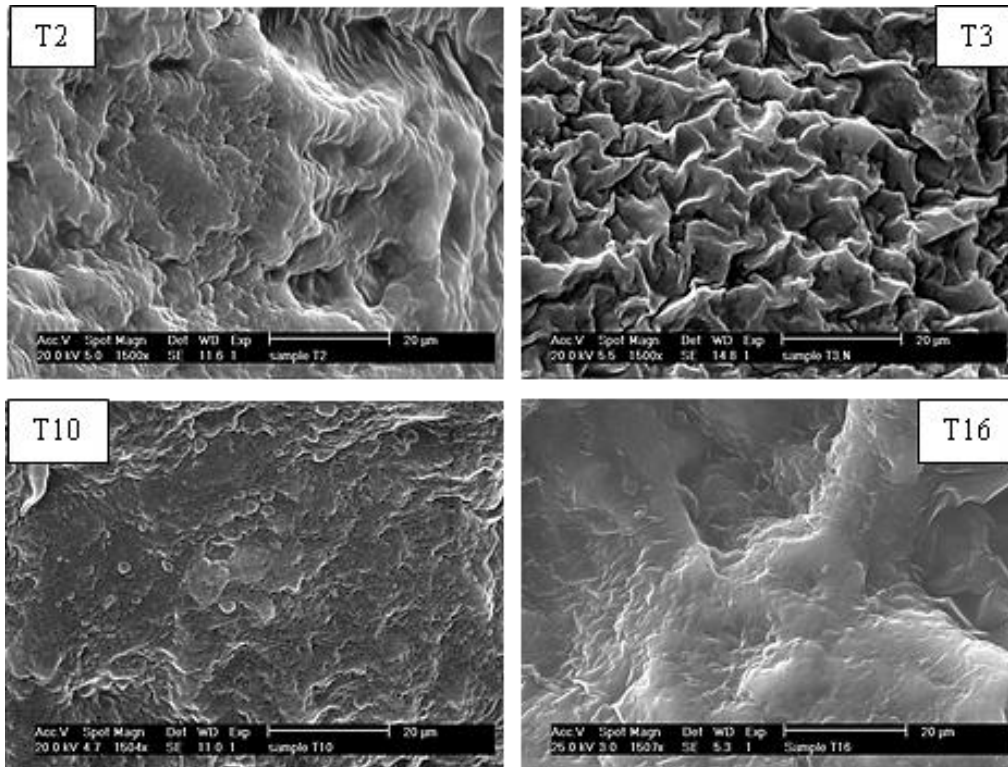
با افزودن ترکیبات گوناگون به سوریمی، می‌توان استحکام آن را افزایش داد (Martin-Sanchez et al., 2009). ژل سوریمی از شبکه سه‌بعدی پروتئینی تشکیل می‌شود که عمدتاً متشکل از اکتومیوزین است (Jiang, 2000). تشکیل ژل از پروتئین‌های ماهی در خمیر سوریمی مهم‌ترین مرحله در ایجاد یک بافت قابل‌پذیرش در بسیاری از محصولات غذاهای دریایی می‌باشد (Harper et al., 1978; Hamada and Inamasu, 1983; Camou et al., 1989).

پارامتر استحکام ژل سوریمی حرارت دیده شده (کامابوکو) متأثر از دو پارامتر نیرو (g) و عمق نفوذ (mm) می‌باشد. براساس مرور منابع دو پارامتر نیرو و

پراکسید هیدروژن ۲٪ و ۵ با نسبت ۱:۲ و سطح پراکسید هیدروژن ۲٪ دارای اختلاف معنی‌دار نیست ( $P > 0.05$ )، اما با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد ( $P < 0.05$ ).

با توجه به مقادیر مربوط به آزمون ظرفیت نگهداری آب در تیمارهای مربوط به دو دفعه شستشو، بالاترین میزان ظرفیت نگهداری آب مربوط به تیمار ۷ با نسبت آب به گوشت ۱:۳ و سطح پراکسید هیدروژن ۱٪ است و با تیمارهای ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲ فاقد اختلاف معنی‌دار است ( $P > 0.05$ ). تیمار ۹ که نسبت آب به گوشت ۱:۳ و سطح پراکسید هیدروژن ۳٪ است، با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار است ( $P < 0.05$ )، ولی با تیمار ۸ که نسبت آب به گوشت ۱:۳ و سطح پراکسید هیدروژن ۲٪ است اختلاف معنی‌دار ندارد ( $P > 0.05$ ).

مقادیر مربوط به آزمون ظرفیت نگهداری آب در تیمارهای مربوط به سه‌دفعه شستشو، بیانگر این است که بیشترین میزان ظرفیت نگهداری آب مربوط به تیمار ۱۳ است که نسبت آب به گوشت ۱:۳ و سطح پراکسید هیدروژن ۱٪ می‌باشد که و با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار است ( $P < 0.05$ ).



شکل ۱- عکس‌های میکروسکوپ الکترونی از ریزساختار ژل‌های سوریمی ماهی کپور نقره‌ای تیمار شده با پراکسید هیدروژن (T3 مربوط به تیمار یک دفعه شستشو و نسبت آب به گوشت ۱:۳؛ سطح پراکسید هیدروژن ۳٪؛ T2 مربوط به تیمار یک دفعه شستشو و نسبت آب به گوشت ۱:۳؛ سطح پراکسید هیدروژن ۲٪؛ T10 مربوط به تیمار دودفعه شستشو نسبت آب به گوشت ۱:۲؛ و سطح پراکسید هیدروژن ۱٪؛ T16 مربوط به تیمار سه‌دفعه شستشو و نسبت آب به گوشت ۱:۲؛ و سطح پراکسید هیدروژن ۱٪).

به‌همراه داشته باشد (به‌دلیل اضافات باقی‌مانده احتمالی پراکسید هیدروژن در پساب) و عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین دو تیمار ۷ با نسبت آب به گوشت ۱:۳ و سطح پراکسید هیدروژن ۱٪ و ۱۰ با نسبت آب به گوشت ۱:۲ و سطح پراکسید هیدروژن ۱٪، می‌توان با پایین آوردن نسبت آب به گوشت و تنها با استفاده از ۱٪ پراکسید هیدروژن از استحکام ژل بالایی برخوردار بود. با توجه به داده‌های جدول ۱ که مربوط به سه دفعه شستشو است، بالاترین میزان استحکام ژل مربوط به تیمار ۱۳ می‌باشد که مربوط به سه‌دفعه شستشو و نسبت آب به گوشت ۱:۳ و سطح پراکسید هیدروژن ۱٪ می‌باشد؛ در صورتی که دلیل این امر را می‌توان به این صورت بیان نمود که استفاده از نسبت بالاتر آب به گوشت و تعداد دفعات بیشتر شستشو منجر به حذف بهتر پروتئین‌های سارکوپلاسمی می‌گردد و از سویی حضور مقادیر پایین پراکسید هیدروژن (در سطح ۱٪) نیز به‌دلیل خاصیت اکسیداتیو آن می‌تواند منجر به تغییر ماهیت پروتئین‌های سارکوپلاسمی گردد، لذا از دخالت فیزیکی آن‌ها طی فرآیند تشکیل ژل جلوگیری نماید. بنابراین حضور

عمق نفوذ از اهمیت بالاتری برخوردارند، زیرا بیانگر میزان انسجام یا به‌هم‌پیوستگی بافت می‌باشد. بنابراین در مورد ژل‌های پروتئینی که دارای انسجام ژل یکسانی می‌باشند، عامل تعیین‌کننده در برآورد کیفیت ژل، پارامتر عمق نفوذ می‌باشد؛ اما در داده‌های ثبت شده در این پژوهش بالاترین استحکام ژل در طی یک‌دفعه شستشو مربوط به تیمارهای شماره ۴، ۵، ۶ می‌باشد که دارای اختلاف معنی‌دار با تیمارهای ۱، ۲، ۳ بوده، اما بین خود فاقد اختلاف معنی‌دار هستند. بنابراین با مراجعه به پارامتر عمق نفوذ می‌توان کیفیت ژل برتر را تعیین کرد، اما تیمارهای ۴، ۵، ۶ بر این پارامتر نیز فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگرند. بنابراین با در نظر گرفتن نسبت گوشت به آب و درصد پراکسید هیدروژن می‌توان تیمار ۴ با سطح پراکسید هیدروژن ۱٪ و نسبت آب به گوشت ۱:۲ را به‌عنوان تیمار برتر که علاوه بر استحکام ژل مطلوب دارای درصد پراکسید هیدروژن کمتر و میزان آب کمتری برای شستشو می‌باشد، انتخاب نمود. براساس نتایج که مربوط به دودفعه شستشو است، با توجه به اینکه درصد بالای پراکسید هیدروژن می‌تواند ملاحظات زیست‌محیطی

توانایی گوشت در نگهداری آب در مرحله بعد از جمود نغشی است که حتی اعمال فشار خارجی نیز قادر به خارج کردن آن از عضله نمی‌باشد و از آن به‌عنوان یک خاصیت مهم کیفیت و بازدهی فرآورده نام‌برده می‌شود (Jafarpour et al., 2008). در مطالعه حاضر براساس داده‌های جدول ۴،۵،۶ ظرفیت نگهداری آب با افزایش میزان غلظت پراکسید هیدروژن و در طی یک، دو و سه دفعه شستشو با نسبت‌های آب به گوشت ۱:۲ و ۱:۳، کاهش یافته است. در خصوص سطوح پایین پراکسید هیدروژن (۱ و ۲ درصد) و در سطوح بالاتر آب به گوشت (۱:۳) تأثیر پراکسید هیدروژن در بهبود پارامتر ظرفیت نگهداری آب، همانطور که در بحث استحکام ژل بیان گردی، حذف موثر پروتئین‌های سارکوپلاسمی توسط درصدهای استفاده شده از پراکسید هیدروژن طی فرآیند شستشو منجر به افزایش غلظت پروتئین‌های میوفیبریل گردیده و در نتیجه شبکه سه‌بعدی مستحکم‌تری از پروتئین‌ها و بدون دخالت و حضور فیزیکی پروتئین‌های سارکوپلاسمی شکل می‌گیرد که این شبکه سه‌بعدی قادر به به‌دام انداختن مولکول‌های آب به میزان بیشتر و نگهداری آن‌ها به‌طور موثرتری می‌باشد. در مطالعه Jafarpour و همکاران (۲۰۰۸) که با افزودن ۱-۳ درصد پراکسید هیدروژن به فیله ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)، پارامتر WHC به‌طور دراماتیک و معنی‌داری کاهش یافت به‌دلیل اینکه تیمار پراکسید هیدروژن داخل فیله تزریق شد که مطالعه حاضر با آن مطابقت دارد. از طرف دیگر شستشو تأثیر قابل توجهی بر WHC دارد (Chaijan et al., 2006). در مطالعه‌ای دیگر، Shabanpour و همکاران (۲۰۰۷)، به این نتیجه دست یافتند که گوشت چرخ‌شده شسته مقدار WHC بالاتری نسبت به گوشت چرخ‌شده شسته نشده دارد. در بررسی ویژگی ژلی ساردین و ماکرل نیز شستشوی گوشت چرخ‌شده موجب افزایش میزان WHC گردید. بررسی خصوصیات سوریمی حاصل از ماهیانی مانند باراکودا (*Oreochromis* sp.)، تیلاپیا (*Nemipterus mosambicus*) و سیم سه‌خاره (*japonicus*) نشان داد که شستشوی گوشت چرخ‌شده سبب افزایش این پارامتر گردیده است (Gopakumar et al., 1992)، که در مطالعه حاضر

این دو عامل در تیمار ۱۳ باعث گردیده است تا ژل حاصله از استحکام بالاتری برخوردار باشد. بنابراین می‌توان به‌طور احتمالی دلیل این امر را به اثر سینرژیک این دو عامل نسبت داد. در مطالعه Shan و همکاران (۲۰۱۰)، قوی‌ترین کامبوکو مربوط به تیمار ۰/۲ درصد پراکسید هیدروژن و میزان تماس ۱۰ دقیقه بود که بالاترین میزان نیرو ۴۱۱ gr و عمق نفوذ ۷/۲۸ mm ذکر شد و پایین‌ترین میزان استحکام ژل مربوط به تیمار ۲/۵ درصد پراکسید هیدروژن به مدت ۱۰ دقیقه که میزان نیرو ۱۹۶/۴ گرم و عمق نفوذ ۵/۰۹ میلی‌متر ثبت شد. دلیل این امر این است که سوریمی را تهیه و بعد منجمد کردند و بعد از انجمادزایی آزمایش انجام دادند و pH محلول پراکسید هیدروژن را بر روی ۸/۴-۸/۲ تنظیم کردند و زمان تماس با پراکسید هیدروژن را ۵، ۱۰، ۱۵ دقیقه و زمان ماندگاری را ۲۰ دقیقه تنظیم کردند. در مورد تفسیر چگونگی افزایش شاخص استحکام ژل، این نکته قابل ذکر است که با توجه به ماهیت ماده‌ی پراکسید هیدروژن با قابلیت اکسیدکنندگی بالا احتمال اثرات تخریبی آن بر روی بافت ژل سوریمی قابل انتظار بود، اما بر اساس نتایج به‌دست آمده مشاهده گردید پراکسید هیدروژن، به‌دلیل مجاورت با آب طی فرآیندهای شستشو به سرعت تجزیه شده و بنابراین از اثرات تخریبی آن کاسته می‌گردد. علاوه بر این غلظت‌های مورد استفاده در این مطالعه به حدی بود که با توجه به مطالعات پیشین، قادر به تخریب بافت سوریمی نباشد. اما در خصوص این که چطور پراکسید هیدروژن، باعث بهبود بافت سوریمی گردید، بیان این فرضیه محتمل است که استفاده از این ماده طی فرآیند شستشو منجر به تخریب و حذف موثرتر پروتئین‌های سارکوپلاسمی گردیده که براساس مرور منابع وجود این پروتئین‌ها می‌تواند به‌عنوان عامل منفی بر استحکام ژل سوریمی باشد.

#### ۲.۴. ظرفیت نگهداری آب (WHC)

ترکیبات شیمیایی گوشت در رابطه با کیفیت سوریمی بسیار با اهمیت هستند، مقدار رطوبت، نشان‌دهنده میزان کیفیت سوریمی است (Jin et al., 2007). ظرفیت نگهداری آب در گوشت به‌معنای

شکل‌گیری لایه‌لایه‌ی ساختار پروتئینی به‌صورت امواج آرام بر روی یکدیگر شکل گرفته‌اند؛ اما با مراجعه به عکس SEM تیمار ۳ که مربوط به حضور ۳ درصد پراکسید هیدروژن طی یک‌دفعه شستشو به آب به گوشت ۱:۳ می‌باشد، ساختار لایه‌های پروتئینی از حالت متراکم لایه‌لایه خارج‌شده و به‌صورت برآمدگی‌هایی با لبه‌های تیز و فرورفتگی‌های کاملاً آشکار در تهیه ژل ظاهر گردیده است. این آرایش لایه‌های پروتئینی تداعی‌کننده حالت صخره‌های آتشفشانی یا شبیه کاغذ مچاله شده می‌باشد و از ظاهر عکس SEM کاملاً مشهود است که این شبکه حالت شکننده‌ای داشته و قادر به تحمل نیروی وارده طی آزمون تست نفوذ نبوده و با توجه به پارامتر عمق نفوذ پروب به داخل بافت نمونه‌های سوریمی به‌تبع از حالت کشسانی و الاستیسیته پایین‌تری نسبت به سایر تیمارها برخوردار می‌باشد. با توجه به تصاویر SEM های مطالعات مشابه بخصوص مطالعه Jafarpour و همکاران (۲۰۰۸)، شبکه ژل‌های پروتئینی مشاهده‌شده در عکس‌های SEM مطالعه آن‌ها، کاملاً بیانگر وجود ساختار پروتئینی سه‌بعدی با اتصالات مشهود پروتئینی می‌باشد که منجر به شکل‌گیری پلی-گونال‌هایی در شبکه ژل سوریمی گردیده است. از این رو این نویسندگان با محاسبه تعداد پلی‌گونال‌ها، مساحت و قطر آن‌ها به‌طور کلی به مقایسه تیمارهای مطالعه خود پرداخته‌اند. این در حالی است که عکس‌های SEM مطالعه حاضر و یک سری از مطالعات دیگر Hosseini-shekarabi و همکاران (۲۰۱۴) و Campo-Deano و همکاران (۲۰۰۹)، فاقد تصویری واضح از شبکه پلی‌گونال‌ها و اتصالات پروتئینی فوق‌الذکر است. با مراجعه به بخش مواد و روش‌های این مطالعات درمیابیم که مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده در تهیه عکس‌های SEM روش آماده‌سازی نمونه‌ها است، به‌طوری‌که در مطالعه Jafarpour و همکاران (۲۰۰۸)، مراحل آماده‌سازی و تهیه عکس SEM از طریق انجماد نمونه در خلأ با نیتروژن مایع بوده درحالی‌که در سایر مطالعات از روش آگیری با فرمالدهید و یک سری از مواد شیمیایی دیگر استفاده شده است. علاوه بر این نوع سیستم عکس‌برداری عامل تعیین‌کننده دیگری است. به-طوری‌که استفاده از سیستم ESEM به‌جای سیستم

با افزودن درصدهای مختلف پراکسید هیدروژن به مخلوط آب و گوشت میزان WHC کاهش چشمگیری با تیمار شاهد نداشته ولی با افزایش غلظت از ۱ درصد به ۳ درصد روند نزولی داشته است.

### ۳.۴. عکس‌های SEM

براساس نتایج آزمون تست نفوذ، سه تیمار شماره ۲ یک‌دفعه شستشو و نسبت آب به گوشت ۱:۳ و سطح ۲ درصد پراکسید هیدروژن، تیمار ۱۰ دودفعه شستشو و نسبت آب به گوشت ۱:۲ و سطح ۱ درصد پراکسید هیدروژن، تیمار ۱۶ سه‌دفعه شستشو و نسبت آب به گوشت ۱:۲ و سطح ۱ درصد پراکسید هیدروژن، به‌عنوان نمونه‌های سوریمی با کیفیت انتخاب شدند. بر همین اساس تیمار شماره ۳ یک‌دفعه شستشو و نسبت آب به گوشت ۱:۳ و سطح پراکسید هیدروژن ۳ درصد، به‌عنوان ژل سوریمی با کیفیت پایین انتخاب شد. از این رو نمونه عکس‌های میکروسکوپ الکترونی این نمونه‌ها تهیه شده و مورد بررسی قرار گرفت (شکل شماره ۱). با توجه به تصاویر SEM با مقیاس  $1500 \times$ ، نمونه‌های ۲، ۱۰، ۱۶ دارای بافتی منسجم و یکنواخت می‌باشند، به‌طوری‌که اتصالات پروتئینی مشاهده شده در عکس‌های SEM تیمار ۲ به‌صورت لایه‌های پروتئینی متراکم که تداعی‌کننده حرکت آرام امواج بر روی یکدیگر می‌باشند دیده می‌شود. به‌عبارت دیگر لایه‌های پروتئینی به‌صورت فشرده پشت‌به‌پشت یکدیگر قرار گرفته‌اند که این حالت می‌تواند بیانگر تشکیل یک شبکه ژل سه‌بعدی با ویژگی‌های عملکردی و به‌خصوص حالت کشسانی یا الاستیسیته بالایی گردد. در تیمار ۱۶ همین شرایط منتهی با وضوح کمتری دیده می‌شود؛ اما در کل عکس SEM تهیه‌شده بیانگر وجود توده‌های پروتئینی متراکم می‌باشد و این امر با مراجعه به عکس SEM تیمار شماره ۱۰ که مربوط به حضور ۱ درصد پراکسید هیدروژن طی دو دفعه شستشو با نسبت آب به گوشت ۱:۲ می‌باشد همانند دو تیمار قبلی همچنان شبکه متراکم پروتئینی مشاهده می‌گردد، اما نحوه آرایش لایه‌های پروتئینی بیشتر به سمت توده‌های منفرد پروتئینی می‌باشد که به‌صورت بسیار فشرده کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند و این آرایش مجدداً موجب



انجام می‌شود و به عبارتی قسمت بالایی نمونه شکسته می‌شود تا بافت داخلی شبکه پروتئینی قابل‌مشاهده گردد. درحالی‌که در عکس‌های SEM مطالعه‌ی حاضر هیچ‌یک از این مراحل صورت نگرفته و تنها توپوگرافی سطحی نمونه‌ها قابل‌مشاهده است که این امر نتیجه‌گیری قطعی در خصوص تفاوت شبکه ژل‌های پروتئینی را محدود می‌سازد.

## References

- Abdoli, A., Naderi, M., 2007. Biodiversity of fishes of the southern basin of the Caspian Sea. *Aquatic Science Tehran*, 244 p.
- Camou, J.P., Sebranek, J.G., Olson, D.G., 1989. Effect of heating rate and protein concentration on gel strength and water loss of muscle protein gels. *Journal of Food Science*, 54, 850-854.
- Campo-Deano, L., Tovar, C.A., Pombo, M.J., Solas, M.T., Borderías, A.J., 2009. Rheological study of giant squid surimi (*Dosidicus gigas*) made by two methods with different cryoprotectants added. *Journal of Food Engineering*, 94, 26-33.
- Chaijan, M., Benjakul, S., Wisessanguan, W., Faustman, C., 2006. Physicochemical properties, gel-forming ability and myoglobin content of sardine (*Sardinella gibbosa*) and mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) surimi produced by conventional method and alkaline solubilisation process. *European Food Research and Technology*, 222, 58-63.
- Gopakumar, K., Muraleedharan, V., Bhattacharyya, S.K., 1992. Preparation and properties of surimi from tropical fish. *Food Control*, 3(10), 9-112.
- Hamada, M., Inamasu, Y., 1983. Influences of temperature and water content on the viscoelasticity of kamaboko [boiled fish paste]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries (Japan)*.
- Harper, J.P., Suter, D.A., Dill, C.W., Jones, E.R., 1978. Effects of heat treatment and protein concentration on the rheology of bovine plasma protein suspensions. *Journal of Food Science*, 43, 1204-1209.
- Himonides, A.T., Taylor, K.D.A., Knowles, M.J., 1999. The improved whitening of cod and haddock flaps using hydrogen peroxide. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 845-850.
- Hosseini-shekarabi, S., Hosseini, S., Soltani, M., Zojaji, M., 2014. Effect of various hydrocolloids on textural and microstructural properties of black mouth croaker (*Atrubucca nibe*) surimi gel. *Food Industry Research*, 24, 425-437.
- Jafarpour, A., 2012. surimi and physical characteristics of its gel network. *avaye masih, sari*, 20 p.
- Jafarpour, A., Gorczyca, E., Leonard, B., 2008. study of the effect of hydrogen peroxide and pH on the color quality and microstructure of female common carp (*Cyprinus carpio*) and surimi gel. *Iranian Food Industry Research*, 5, 97-107.
- Jafarpour, A., Gorczyca, E.M., 2009. Characteristics of sarcoplasmic proteins and their interaction with surimi and kamaboko gel. *Journal of Food Science*, 74.
- Jafarpour, A., Gorczyca, E.M., 2009. Rheological characteristics and microstructure of common carp (*Cyprinus carpio*) surimi and kamaboko gel. *Food Biophysics*, 4, 172-179.
- Jafarpour, A., Sherkat, F., Leonard, B., Gorczyca, E.M., 2008. Colour improvement of common carp (*Cyprinus carpio*) fillets by hydrogen peroxide for surimi production. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 1602-1609.
- Jiang, S.-T., 2000. Enzymes and their effects on seafood texture. *Seafood enzyme: Utilization and influence on postharvest. Seafood Quality*, 411-450.
- Jin, S.-K., Kim, I.-S., Kim, S.-J., Jeong, K.-J., Choi, Y.-J., Hur, S.-J., 2007. Effect of muscle type and washing times on physico-chemical characteristics and qualities of surimi. *Journal of Food Engineering*, 81, 618-623.
- Lanier, T.C., 1992. Measurement of surimi composition and functional properties. *Surimi Technology*, 12.
- Martin-Sanchez, A.M., Navarro, C., Perez Alvarez, J.A., Kuri, V., 2009. Alternatives for efficient and sustainable production of surimi: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8, 359-374.
- Shabanpour, B., Pourashouri, P., Khajeh, M., Zangouefar, L., Shahrouzfar, S., 1387. The effect of pre and post mincing washing on common carp flesh quality. *Pajouhesh and Sazandegi*, 66-72.
- Shan, H., Gorczyca, E., Kasapis, S., Lopata, A., 2010. Optimization of hydrogen-peroxide washing of common carp kamaboko using response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*, 4(3), 765-770.
- Sims, G.G., Cosham, C.E., Anderson, W.E., 1975. Hydrogen peroxide bleaching of marinated herring. *International Journal of Food Science and Technology*, 10, 497-505.