

## ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و عملکردی پروتئین های ایزوله استخراج شده از دو گونه

### تاسماهی سیبری (*Acipenser baerii*) و تاسماهی ایرانی (*Acipenser persicus*)

صدیقه بابایی<sup>۱\*</sup>، طاهره روشن ضمیر<sup>۲</sup>، مینا اسمعیلی<sup>۳</sup>، علیرضا صادقی بالادزائی<sup>۳</sup>

۱- بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۲- بخش بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۳- گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

### چکیده

### نوع مقاله

#### مقاله پژوهشی اصیل

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵

تاریخ چاپ الکترونیکی: ۱۴۰۲/۱۲/۰۱

\*نویسنده مسول:

Babaei.Sedigheh@gmail.com

در مطالعه حاضر پروتئین ایزوله ماهی (FPI) به روش pH قلیایی از ضایعات سر و باله تاسماهی سیبری (*Acipenser baerii*) و تاسماهی ایرانی (*Acipenser persicus*) استخراج شد و ترکیبات، خصوصیات عملکردی و ساختاری آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد بازده استخراج بر طبق وزن ماده تر، میزان بازیابی پروتئین FPI و بازیابی ماده خشک FPI از ضایعات تاسماهی سیبری بیشتر از تاسماهی ایرانی بود. نتایج نشان داد حدود ۹۴-۹۱ درصد پروتئین، در FPI دو گونه وجود دارد. همچنین اختلاف معناداری بین آنالیز تقریبی و TVB-N، پروتئین ایزوله دو گونه مشاهده نشد. ظرفیت جذب آب، قدرت تشکیل و پایداری کف FPI به ترتیب حدود ۵۰، ۵۰ و ۵۰ درصد نشان داده شد و با یکدیگر اختلاف معناداری نداشتند ( $P > 0.05$ ). در مطالعه حاضر شاخص سفیدی و شفافیت FPI استخراج شده نسبتاً پایین بود. نتایج اندازه ذرات و پتانسیل زتا ( $P < 0.05$ ) نشان داد اندازه ذرات FPI استخراج شده در هر دو نمونه در حد میکرون بوده و دارای بار منفی هستند. طیف سنجی FTIR در هر دو نمونه نشان از تمامی پیک‌های جذبی مرتبط با پیوندهای اصلی ساختار پروتئین‌ها بودند. بطور کلی با توجه به حجم زیاد ضایعات ماهیان خاویاری در عمل آوری، و با توجه به میزان پروتئین، خواص عملکردی و ارزش غذایی FPI استخراج شده از دو گونه ماهی خاویاری، قابلیت به کارگیری آن‌ها در غذای انسان و مکمل های ورزشی وجود دارد.

**کلید واژه‌ها:** پروتئین ایزوله ماهی، FPI، ماهی خاویاری، pH قلیایی، پتانسیل زتا، اندازه ذرات.

### مقدمه

با توجه به افزایش روزافزون استفاده از پروتئین‌های حیوانی به دلیل افزایش جمعیت، فرآورده های جانبی حاصل از فرآوری آبزیان نیز به عنوان منبع بالقوه پروتئین توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند [۱ و ۲]. فرآوری ماهی باعث تولید مقدار زیادی ضایعات (سر، باله، پوست، استخوان، امعا و احشا و ...) غنی از مواد مغذی با ارزش می‌شود که دورریز آن‌ها باعث آلودگی شدید محیط زیست می‌گردد، در حالی که ترکیبات مغذی آنها می‌توانند استخراج شده و به عنوان بخشی از مواد اولیه در فرمولاسیون غذای انسان گنجانده شوند [۳]. بازیابی مواد مغذی با ارزش از ضایعات فرآوری ماهی قبل از دور ریختن، به امنیت غذایی کمک می‌کند و با حذف هزینه‌های غیرضروری تصفیه زباله، به صنایع تبدیلی کمک خواهد کرد [۴]. پروتئین های استخراج شده از محصولات جانبی شامل ترکیب مناسبی از آمینواسیدهای ضروری (مانند هیستیدین، آرژنین، ترئونین، والین، متیونین، لیزین، ایزولوسین، لوسین و فنیل آلانین) بوده و همچنین فرآورده های جانبی منبعی غنی از اسیدهای چرب غیراشباع ۳- $\Omega$  و مواد معدنی مانند فسفر، منیزیم، ید و سلنیوم که برای عملکرد طبیعی سلولی و متابولیسم انرژی ضروری هستند، محسوب می‌شوند [۵ و ۶].

در این میان ضایعات حاصل از فرآوری ماهیان خاویاری بسیار زیاد بوده و گاهی ۵۰ الی ۶۰ درصد دور ریز را شامل می‌شود. میزان تولید آبی‌پروری ماهیان خاویاری در ایران حدود ۳۱۴۵ تن در سال ۱۴۰۰ گزارش شده است [۷]. یکی از گونه‌های مهم ماهیان خاویاری در سواحل جنوبی دریای خزر گونه تاسماهی ایرانی (*Acipenser persicus*) می‌باشد که هم برای تولید گوشت و هم خاویار صید شده و یا در مزارع پرورش داده می‌شود.

شوند. تاس ماهی سبیری (*Acipenser baerii*) نیز گونه‌ی غیر بومی از ماهیان خاویاری می‌باشد که با اهداف آبی پروری وارد ایران شده است. باله و سر ماهیان خاویاری بخش زیادی از این دور ریزها را شامل می‌شود که منبع مناسبی از پروتئین های با کیفیت می‌باشد. در سال‌های اخیر استخراج پروتئین به روش‌های مختلف از فرآورده های جانبی ماهی مورد توجه قرار گرفته است [۸ و ۹]. ماهیت پیچیده این مواد که مربوط به داشتن سطوح بالایی از پروتئین‌های هم، آنزیم‌ها و لیپیدها بوده و همچنین مشکلاتی که در زمینه حذف مواد ناخواسته (مانند استخوان‌ها، فلس‌ها و بافت‌های همبند) وجود دارد، مانعی برای کاربرد موفقیت‌آمیز این ضایعات حاصل از فرآوری آبزیان می‌باشد [۱۰]. در میان روش‌های بررسی شده استخراج پروتئین از محصولات جانبی حاصل از فرآوری، روشی موسوم به تغییر pH یا انحلال پروتئین در محیط اسیدی/قلیایی و به دنبال آن رسوب در نقطه ایزوالکتریک، پتانسیل خوبی برای استخراج انتخابی پروتئین با حفظ یکپارچگی ساختاری آن‌ها نشان داده است [۱۱]. در این فرآیند می‌توان پروتئین را در pH بالا (< ۱۰/۵) و پایین (> ۳/۵) در آب حل کرد و با استفاده از سانتریفیوژ باقی مانده‌های غیرمحلول مانند چربی، استخوان، پوست و غیره را جدا کرد. سپس پروتئین‌های محللول شده با استفاده از رسوب در نقطه ایزوالکتریک (معمولاً در pH= ۵/۵) بازیابی شده و با سانتریفیوژ آبیگری شوند [۱۲]. یکی از ویژگی‌های مهم فرآیندهای اسیدی و قلیایی این است که وقتی پروتئین‌ها در معرض مقادیر شدید pH قرار می‌گیرند، ساختارشان تا حدی باز می‌شود. این باز شدن جزئی منجر به تغییر در ساختار پروتئین‌ها و به نوبه خود منجر به خواص متفاوت آن‌ها پس از بازآرایی مجدد می‌شود [۱۳]. تغییرات ساختاری که در طول فرآیند تغییر pH رخ می‌دهند باعث افزایش آبیگری سطحی و گروه‌های واکنشی-SH در پروتئین‌های بازیافت‌شده می‌شوند که ممکن است به عملکردهای مفید آن‌ها کمک کند [۱۴]. مزایای عمده این فرآیند، در مقایسه با فرآیندی همانند تهیه سوریمی، شامل اقتصادی بودن فرآیند، بازده بازیافت بالا و خواص بهبود یافته پروتئین‌های بازیابی شده است [۱۵ و ۱۶]. در طول تولید سوریمی، باید از دنا توره شدن شیمیایی و فیزیکی پروتئین‌ها برای به دست آوردن سوریمی با کیفیت خوب اجتناب شود در حالی که پروتئین ایزوله از طریق دنا تورا سیون جزئی ناشی از تغییر pH تولید می‌شود [۱۷]. پروتئین ایزوله به عنوان خالص‌ترین نوع محصولات پروتئینی دارای بیشترین میزان پروتئین و کمترین فیبر می‌باشد که می‌توان آن‌ها را به عنوان افزودنی در انواع غذاها استفاده نمود و میزان هضم‌پذیری بالایی دارند. بنابراین از آنجایی که علاقه فزاینده‌ای به استفاده از پروتئین حیوانی به عنوان یک جزء ضروری غذا وجود دارد [۱] فرآورده های جانبی حاصل از فرآوری ماهی، که به مقدار قابل توجهی در این صنعت تولید می‌شود، توجه زیادی را به عنوان یک منبع پروتئین بالقوه به خود جلب کرده اند. پروتئین‌های ایزوله می‌توانند اجزای عملکردی اساسی انواع محصولات غذایی فرآوری شده با پروتئین بالا باشند و بنابراین خواص بافتی و تغذیه‌ای غذاها را تعیین کنند. این خواص به افزایش کیفیت و ویژگی‌های حسی سیستم‌های غذایی کمک می‌کنند. اعتقاد بر این است که پروتئین ماهی به دست آمده از روش تغییر pH در طول فرآوری بر خصوصیات عملکردی مهمی مانند ظرفیت نگهداری آب (WHC)، امولسیون‌سازی و توانایی تشکیل ژل تأثیر به سزایی دارند. میزان pH مورد استفاده جهت انحلال و به دنبال آن رسوب پروتئین می‌تواند تغییراتی را در ساختار سه بعدی میوزین و به ویژه زنجیره سنگین آن ایجاد کند (پدیده‌های باز شدن ساختار و تا خوردگی مجدد) که می‌تواند بر خواص عملکردی پروتئین‌های بازیافتی تأثیر بگذارد [۱۸]. این خواص عملکردی علاوه بر شرایط استخراج به خواص فیزیکوشیمیایی و ساختاری پروتئین‌های ماده اولیه بستگی دارد و به طور مستقیم بر طعم، بافت و پذیرش محصولاتی که پروتئین ایزوله به فرمولاسیون آن‌ها افزوده می‌شود، اثر خواهد گذاشت. بنابراین، درک اثر نوع گونه ماهی و تفاوت ماده اولیه و همچنین شرایط فرآیند استخراج بر محتوای پروتئین، ساختار و عملکردی پروتئین ماهی ایزوله شده (FPI) از محصولات جانبی، اهمیت کلیدی دارد و کاربرد نهایی پروتئین جدا شده را تعیین خواهد کرد [۱۱]. در همین راستا میتوان به برخی مطالعات در خصوص استخراج، ارزیابی و کاربرد پروتئین های ایزوله آبزیان از جمله بررسی ویژگی های پروتئین ایزوله استخراج شده از ماهی شوریده (*Otholithus ruber*) به روش تغییر pH [۲]، کاربرد پروتئین ایزوله استخراج شده از گربه ماهی پنگوسی در تهیه سوریمی [۳]، بازیابی پروتئین از گربه ماهی (*Pangasius hypophthalmus*) [۸]، استخراج پروتئین ایزوله به روش رسوب در نقطه ایزوالکتریک در جلبک دریایی *Saccharina latissima* [۱۲] اشاره نمود.

بنابراین در پژوهش حاضر سعی شده پروتئین های ایزوله استخراج شده از تغییر pH قلیایی از دور ریز سر و باله دو گونه ماهی خاوباری (تاسماهی سبیری و تاسماهی ایرانی) به لحاظ ویژگی های ساختاری، گروه های عاملی، عملکردی و ترکیبات شیمیایی مورد مقایسه قرار گیرد. نتایج این تحقیق می تواند در امکان استفاده از FPI استخراج شده در فرمولاسیون مواد غذایی و انواع مکمل ها قابل استفاده باشد.

## مواد و روش ها

### تهیه ماده اولیه

تعداد ۷ الی ۸ عدد سر و ضایعات باله تاسماهی سبیری و تاسماهی ایرانی تازه صید شده از مزارع پرورش ماهیان خاوباری تهیه و در مجاورت یخ به آزمایشگاه شیلات دانشگاه شیراز منتقل شدند. ماهی ها پس از شستشوی کامل با آب، با استفاده از دستگاه چرخ گوشت صنعتی واحد کشتارگاه ایستگاه دامپروری بطور کامل چرخ شدند. سپس بافت چرخ شده در بسته های پلی اتیلنی بسته بندی شده و تا زمان انجام آزمایشات در فریزر (۲۰- درجه سانتی گراد) نگهداری شدند.

### استخراج پروتئین ایزوله از ضایعات به روش pH قلیایی

قبل از شروع کار تمامی ابزار و شیشه آلات در اتوکلاو استریل شدند. تولید پروتئین ایزوله ماهی (FPI) به روش Hultin و همکاران [۱۹] با تغییرات اندک صورت گرفت. بدین منظور ابتدا ۲۰۰ گرم از هر نمونه چرخ شده، پس از انجمادزدائی در یخچال، با نسبت ۵ الی ۶ برابر با آب مقطر سرد مخلوط شده و با استفاده از دستگاه مخلوط کن همگن شدند. سپس با افزودن تدریجی هیدروکسید سدیم ۲ مولار، pH آن به ۱۱ رسانده شد و ۵ الی ۱۰ دقیقه در مجاورت یخ انکوبه گردید. سپس محلول بدست آمده با استفاده از سانتریفیوژ یخچال دار (Benchtop, K241R, United Kingdom, Centrifuges)، در دمای ۴ درجه سانتی گراد و دور ۶۰۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند که در این مرحله ۳ فاز حاصل شد (لایه چربی (فاز بالائی) و گوشت چرخ شده (فاز پائینی)، که فاز میانی بعنوان فاز مورد نظر حاوی پروتئین محلول جدا گردید. در مرحله بعد با افزودن اسید کلریدریک ۲ مولار و رساندن pH به نقطه ایزوالکتریک پروتئین ماهی (pH = ۵/۵)، پروتئین ها رسوب داده شدند و مجددا طبق مرحله بالا سانتریفیوژ انجام گرفت. در این مرحله فاز پائینی به عنوان پروتئین های ایزوله جدا سازی شدند و با استفاده از دستگاه خشک کن انجمادی (37539 Bad Grud- Germany) خشک شده و تا زمان انجام آزمایشات، در فریزر (۲۰- درجه سانتی گراد) نگهداری شدند.

### بازده استخراج پروتئین

بازده استخراج، بازیابی پروتئین پروتئین ایزوله ماهی (FPI-PR<sup>1</sup>) و بازیابی ماده خشک پروتئین ایزوله ماهی (FPI-DMR<sup>2</sup>) بر اساس فرمول های زیر محاسبه شدند [۱۹].

$$\text{بازده استخراج (\%)} = \frac{\text{وزن (گرم) FPI}}{\text{وزن (گرم) ماده اولیه}} \times 100$$

$$\text{FPI-PR (\%)} = \frac{\text{Protein content of the FPI}}{\text{Protein content of the raw material}} \times 100$$

$$\text{FPI-DMR (\%)} = \frac{\text{Dry matter content of the FPI}}{\text{Dry matter content of the raw material}} \times 100$$

<sup>1</sup> FPI protein recovery

<sup>2</sup> FPI Dry Matter Recoveries

### سنجش ترکیبات شیمیایی

ترکیب شیمیایی (پروتئین، رطوبت و خاکستر) نمونه‌ها طبق دستورالعمل‌های استاندارد [۲۰] اندازه‌گیری شدند. میزان پروتئین با استفاده از دستگاه کلدال (Buchli, Switzerland)، میزان رطوبت با استفاده از دستگاه آون (UN260/UF260MEMMERT) و میزان خاکستر با سوزاندن در کوره الکتریکی (Nabertherm LT3، آلمان) در دمای ۵۲۰ درجه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان ترکیبات ازت فرار (TVB-N)، ۱۰ گرم از PI هر گونه در بالن اضافه شد و به آن ۲ گرم اکسید منیزیم، ۳۰۰ میلی لیتر آب مقطر، چند قطعه سنگ جوش (روی) و پارافین جامد اضافه گردید. سپس بالن در قسمت تقطیر دستگاه کلدال قرار داده شد و مبرد دستگاه در ارلن حاوی ۲۵ سی سی اسید بوریک ۴ درصد قرار گرفت و به آن چند قطره متیل رد اضافه شد تا اسید بوریک به رنگ صورتی درآید. زمانیکه محلول شروع به جوشیدن کند ازت وارد اسید بوریک شده و به دام می افتد. اسید بوریک به دام افتاده با HCl ۰/۱ نرمال تیترو می گردد. میزان ترکیبات ازت فرار با استفاده از فرمول زیر محاسبه می گردد [۲۱].

$$\text{TVBN} = 14 \times \text{میزان تیتراسیون}$$

### ظرفیت جذب آب

برای اندازه‌گیری ظرفیت جذب آب، ابتدا ۱ گرم از هر پودر پروتئین (W Initial) در ۱۰ میلی لیتر آب مقطر مخلوط شده و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط بر روی همزن قرار گرفت تا به طور کامل مخلوط شود. در ادامه مخلوط پودر پروتئین و آب مقطر به مدت ۲۰ دقیقه با دور ۶۰۰۰ g سانتیفریوز شدند و فاز آب بالایی به طور کامل خارج گردیده و نمونه مرطوب نهایی وزن گردید (W secondary). ظرفیت جذب آب با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید [۲۲].

$$\text{Water Absorption Capacity (\%)} = \frac{W_{\text{secondary}} - W_{\text{initial}}}{W_{\text{initial}}} \times 100$$

### ظرفیت تشکیل و پایداری کف

برای اندازه‌گیری ظرفیت تشکیل و پایداری کف، ۲۵۰ میلی گرم از هر پودر پروتئین در ۲۵ میلی لیتر آب مقطر اولیه (V initial) مخلوط و سپس به مدت ۲ دقیقه به وسیله همزنایزر در دور ۱۰۰۰۰ همگن شد. مخلوط به دست آمده به استوانه مدرج منتقل گردید و حجم کف تشکیل شده بلافاصله بعد از همگن شدن (V<sub>1</sub>) و پس از ۶۰ دقیقه (V<sub>60</sub>) اندازه‌گیری گردید و ظرفیت تشکیل کف و پایداری کف از معادله زیر محاسبه شد [۱۱].

$$\text{Foaming capacity (\%)} = \frac{V_1 - V_{\text{initial}}}{V_{\text{initial}}} \times 100$$

$$\text{Foaming stability (\%)} = \frac{V_{60} - V_{\text{initial}}}{V_{\text{initial}}} \times 100$$

### رنگ سنجی

رنگ نمونه‌های پروتئین ایزوله توسط دستگاه رنگ‌سنج (MAT 2000 ایرانیان طب بارز، ایران) مورد آنالیز قرار گرفت. میزان سفیدی نیز با فرمول زیر محاسبه گردید [۲۳].

$$\text{Whiteness} = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2}$$

### پتانسیل زتا و اندازه ذرات

از دستگاه Dynamic Light Scattering (DLS) SZ-100 Horiba (ساخت ژاپن) برای تعیین پتانسیل زتا و پایداری پراکندگی کلئیدی FPI استفاده شد. ۱۰ میلی گرم از هر نمونه در ۱۰ میلی لیتر آب دیونیزه پراکنده و در دمای کنترل شده ۲۵ درجه سانتیگراد اندازه‌گیری شد. قطر متوسط ذرات نیز با استفاده از دستگاه پارتیکل سائزر (Qudix, Scatterscope I، کره)، در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بررسی گردید.

### طیف سنجی مادون قرمز با تبدیل فوریر (FTIR)

به منظور طیف‌سنجی مادون قرمز میزان ۳ میلی‌گرم از نمونه مستقیماً بر روی محل قرارگیری نمونه گذاشته شد و طیف‌سنجی با استفاده از دستگاه FTIR (Tensor II, Bruker, Germany) انجام شد.

### بررسی ریزساختار

ریزساختار نمونه‌های پروتئین ایزوله با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM, TESCAN vega3, Czech Republic)، مجهز به یک دوربین AxioCam (100 × objective lens) در دمای اتاق مشاهده شد. قبل از استفاده از SEM، نمونه‌ها با یک پوشش طلا پوشانده شدند.

### روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور تجزیه و تحلیل نتایج از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ استفاده شد. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیروویلیک، برای مقایسه تاثیر تیمارهای مختلف بر خصوصیات پروتئین ایزوله از آنالیز تی مستقل استفاده شد و بررسی تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح ۵ درصد انجام گردید. تمام آزمایشات با سه تکرار انجام شد و برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excell استفاده گردید.

### نتایج

#### بازده

نتایج حاصل از مقایسه بازده استخراج، بازیابی پروتئین، پروتئین ایزوله ماهی (FPI-PR) و بازیابی ماده خشک پروتئین ایزوله ماهی (FPI-DMR) حاصل از ضایعات سر و باله تاسماهی سیبری و تاسماهی ایرانی در جدول ۱ گزارش شده است. با توجه به محتوای رطوبت و یکسان بودن روش استخراج مشاهده می‌شود بازده استخراج بر طبق وزن ماده تر و میزان بازیابی پروتئین FPI و بازیابی ماده خشک FPI ضایعات تاسماهی سیبری بیشتر از تاسماهی ایرانی است.

جدول (۱) بازده استخراج، بازیابی پروتئین ایزوله ماهی (FPI-PR) و بازیابی ماده خشک پروتئین ایزوله ماهی (FPI-DMR) حاصل از ضایعات سر و باله تاسماهی سیبری (*A. baerii*) و تاسماهی ایرانی (*A. persicus*)

گونه ماهی	FPI-DMR	FPI-PR	بازده استخراج (ماده تر)
تاسماهی سیبری	۱۵/۸۵ ± ۱	۳۰/۶ ± ۲/۸۲	۳۵/۷ ± ۳/۴
تاسماهی ایرانی	۸/۶ ± ۰/۱	۱۷/۴ ± ۰/۴	۱۶/۹ ± ۰/۱

میانگین ± SD. (n=3)

#### ترکیبات شیمیایی

نتایج حاصل از ترکیبات شیمیایی حاصل از FPI تاسماهی سیبری و ایرانی در جدول ۲ گزارش شد. بین رطوبت، پروتئین، خاکستر و همچنین میزان کل ترکیبات از ته فرار پروتئین ایزوله تاسماهی سیبری و ایرانی اختلاف معناداری وجود نداشت ( $P>0.05$ ). اگرچه محتوای پروتئین تاسماهی ایرانی کمی بیشتر بوده و نتایج حاصل از TVB-N نیز آن را تایید می‌کند.

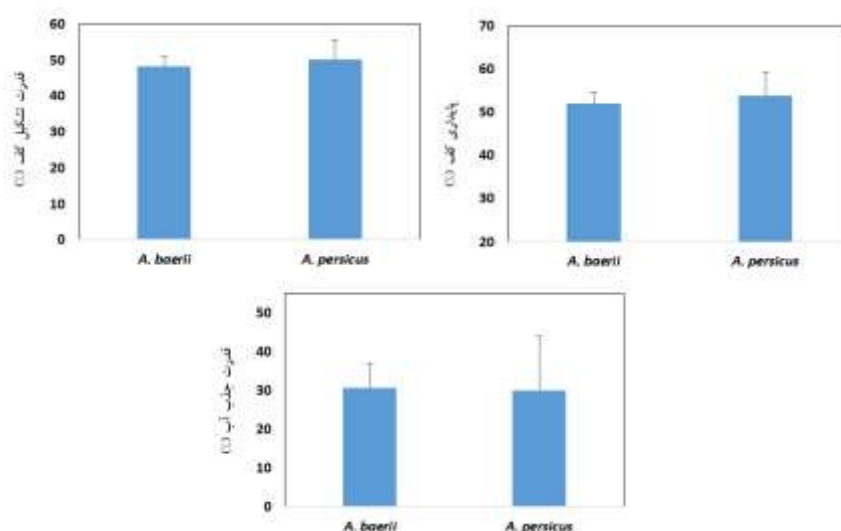
جدول (۲) ترکیب شیمیایی پروتئین ایزوله حاصل از ضایعات سر و باله تاسماهی سیبری (*A. baerii*) و تاسماهی ایرانی (*A. persicus*)

پروتئین ایزوله	رطوبت (%)	پروتئین (درصد وزن خشک)	خاکستر (درصد وزن خشک)	TVB-N (mg N/100gr)
<i>A. baerii</i>	۸۵ ± ۰/۹	۹۱ ± ۰/۸	۴/۵ ± ۰/۷	۱۲ ± ۱
<i>A. persicus</i>	۸۳ ± ۰/۲	۹۴ ± ۱/۱	۵/۹ ± ۰/۱	۱۴ ± ۰/۰

میانگین  $\pm$  SD. (n= 3)

**خواص کارکردی پروتئین های ایزوله (ظرفیت جذب آب، قدرت تشکیل کف (FC) و پایداری تشکیل کف (FS))**

نتایج مربوط به ظرفیت جذب آب، قدرت تشکیل و پایداری کف پروتئین های ایزوله در شکل ۱ گزارش شد. بر طبق نتایج بدست آمده هیچگونه اختلاف معناداری به لحاظ آماری بین این سه خواص عملکردی پروتئین ایزوله جدا شده از دو گونه تاسماهی ایرانی و سیبری وجود نداشته است اگرچه به لحاظ عددی قدرت تشکیل و پایداری تشکیل کف در FPI تاسماهی ایرانی اندکی بیشتر بود ( $P>0.05$ ).



شکل (۱) خواص عملکردی پروتئین ایزوله حاصل از ضایعات سر و باله تاسماهی سیبری (*A. baerii*) و تاسماهی ایرانی (*A. persicus*)

**آنالیز رنگ**

مقایسه نتایج حاصل مقادیر  $a^*$ ،  $b^*$  و  $L^*$ ، تغییرات رنگ و سفیدی پروتئین های ایزوله در جدول (۳) گزارش شد. شاخص  $L^*$  برای بیان روشنایی، شاخص  $a^*$  برای بیان قرمزی-سبزی و شاخص  $b^*$  برای بیان زردی-آبی مورد سنجش قرار گرفتند. نتایج نشان داد تنها در شاخص  $a^*$  پروتئین ایزوله تاسماهی سیبری اندکی بیشتر می باشد ولی اختلاف معنی داری مشاهده نشد.

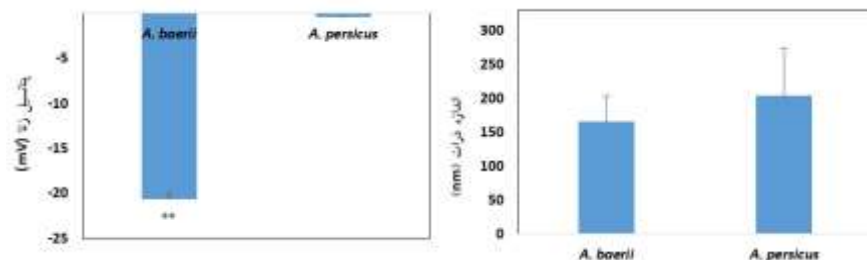
جدول (۳) مقادیر  $a^*$ ،  $b^*$  و  $L^*$ ، تغییرات رنگ و سفیدی پروتئین ایزوله حاصل از ضایعات سر و باله تاسماهی سیبری (*A. baerii*) و تاسماهی ایرانی (*A. persicus*)

IP	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$	سفیدی
<i>A. baerii</i>	$14.5 \pm 1$	$2.0 \pm 0.18^*$	$4.2 \pm 1.4$	$1.6 \pm 0.6$	$14.3 \pm 1$
<i>A. persicus</i>	$14.9 \pm 1.8$	$0.5 \pm 0.5$	$3.9 \pm 0.8$	$2.4 \pm 0.7$	$14.8 \pm 1.8$

میانگین  $\pm$  SD. (n= 6)

**پتانسیل زتا و اندازه ذرات**

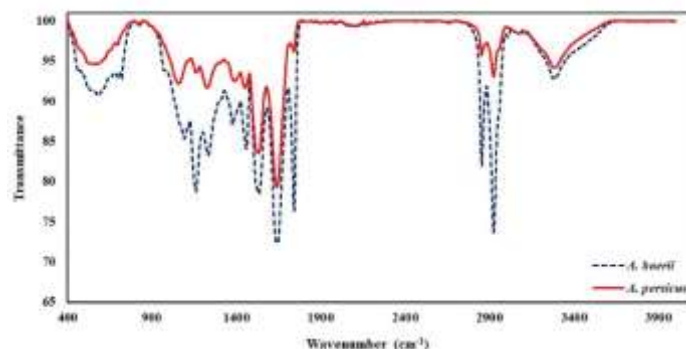
شکل ۲ نتایج در خصوص پتانسیل زتا و اندازه ذرات را نشان می دهد. اندازه ذرات در تاسماهی سیبری کوچک تر از تاسماهی ایرانی نشان داده شد. در تاسماهی سیبری پتانسیل زتا بسیار کمتر از تاسماهی ایرانی بود.



شکل (۲) پتانسیل زتا و اندازه ذرات پروتئین ایزوله حاصل از ضایعات سر و باله تاسماهی سیبری (*A. baerii*) و تاسماهی ایرانی (*A. persicus*)

### طیف سنجی مادون قرمز (FTIR)

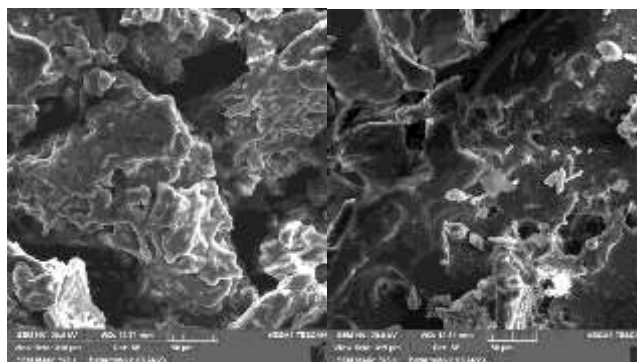
نتایج مربوط به طیف سنجی مادون قرمز FPI در شکل ۳ گزارش شد که نشان از وجود پیک هایی در محدوده طول موج های ۱۲۰۰، ۱۵۰۰ الی ۱۸۰۰، ۲۹۰۰ و ۳۳۰۰ می باشد. بر طبق نمودار پیک ها در طول موج های یاد شده در نمونه پروتئین ایزوله حاصل از تاسماهی سیبری شدت یافته اند.



شکل (۳) نتایج طیف سنجی FTIR پروتئین ایزوله حاصل از ضایعات سر و باله تاسماهی سیبری (*A. baerii*) و تاسماهی ایرانی (*A. persicus*)

### تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی

مقایسه تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از سطح پروتئین ایزوله تاسماهی سیبری و ایرانی در شکل ۴ نشان داده شده است که اختلاف خاصی بین این دو تصویر در ساختمان پروتئین این دو گونه ماهی مشاهده نشد.



شکل (۴) میکروسکوپ الکترونی روبشی پروتئین ایزوله حاصل از ضایعات سر و باله تاسماهی سیبری (*A. baerii*) (تصویر سمت چپ) و تاسماهی ایرانی (*A. persicus*) (تصویر سمت راست) (بزرگنمایی ۵۹۵)

## بحث

در این مطالعه روش استخراج FPI در هر دو نوع ماهی به روش قلیایی بود (جدول ۱). علت انتخاب روش قلیایی حلالیت بهتر پروتئین است که به تعامل بین پروتئین و آب بر می گردد لذا باعث بازده بالاتر استخراج پروتئین ایزوله می گردد. بازده استخراج و بازده پروتئین یا ماده خشک که با فرمول های متفاوتی در مقالات ذکر می گردد تابع سه عامل کلی شامل میزان حلالیت پروتئین در pH های اسیدی و قلیایی شدید، میزان رسوبات شکل گرفته در سانتریفیوژ اول و نهایتا میزان حلالیت پروتئین ها در pH انتخاب شده جهت ترسیب پروتئین در سانتریفیوژ دوم می باشد [۲۴]. لذا با توجه به محتوای متفاوت رطوبت در ماده اولیه این پارامترها کاملا متفاوت خواهند بود و به لحاظ عددی گاه قابل قیاس نخواهند بود.

انتخاب ماده اولیه که برای تولید پروتئین ایزوله استفاده می شود نقش مهمی در ترکیب محصول نهایی تولید شده دارد. آنالیز تقریبی نشان می دهد ضایعات تاسماهی سبیری و ایرانی می تواند به عنوان یک منبع ارزشمند پروتئین ایزوله باشد. مقایسه محتوای پروتئین ایزوله در دو گونه تاسماهی سبیری و ایرانی، اختلاف معناداری را نشان نداد اما ۹۱ الی ۹۴ درصد پروتئین به روش قلیایی استخراج شد. تعامل بین پروتئین و آب ممکن است در شرایط قلیایی تقویت شود که منجر به بهبود حلالیت پروتئین شده و باعث افزایش بازده پروتئین در طی فرآیند استخراج می شود [۲۵].

طبق مطالعه Taskaya و همکاران (۲۰۰۹) روی کپور نقره ای، میزان چربی در پروتئین ایزوله کمتر از میزان چربی در خود بافت پروتئین ماهی می باشد. در روش استخراج پروتئین ایزوله یک مرحله حذف چربی وجود دارد که باعث کاهش میزان چربی در پروتئین ایزوله می گردد [۲۶]. در روش قلیایی استخراج پروتئین ایزوله چربی بیشتری حذف می گردد و این موضوع سبب پایداری بیشتر در برابر اکسیداسیون و کیفیت بهتر پروتئین ایزوله می شود. طبق گزارش Chen و Jaczynski (۲۰۰۷) روی پروتئین ایزوله ماهی قزل آلی رنگین کمان، روش قلیایی باعث کاهش اسیدهای چرب آزاد شده و در نتیجه باعث کاهش اکسیداسیون لیپید ها و پایداری پروتئین ایزوله شده است [۲]. طبق جدول ۲ میزان کم خاکستر در پروتئین ایزوله تاسماهی سبیری و ایرانی نشان از حذف ناخالصی ها در پروتئین ایزوله ماهی می باشد. خاکستر FPI می تواند یک شاخص خوبی برای میزان سنجش حذف ناخالصی ها باشد که هر چقدر میزان خاکستر FPI نسبت به خاکستر بافت عضله کمتر باشد نشان دهنده ی درجه خلوص بالاتر پروتئین ایزوله می باشد [۲۶].

ترکیبات ازته فرار شامل گروهی از مواد فرار اساسی ناشی از تجزیه درونی و فعالیت میکروب می باشد. شاخص TVB-N به عنوان یک شاخص شیمیایی برای تازگی و بوی ماهی استفاده می شود [۲۸]. به طور کلی میزان ترکیبات ازته فرار که بیشتر از ۳۵ میلی گرم در ۱۰۰ گرم نمونه باشد ماهی فاسد است [۲۱]. میزان ترکیبات ازته فرار در FPI تاسماهی سبیری و ایرانی اختلاف معناداری باهم نداشت (جدول ۲) و میزان آن در هر دو ماهی پایین بود که نشان دهنده ی کیفیت بالای پروتئین ایزوله می باشد [۲۸].

ظرفیت تشکیل کف و پایداری کف می تواند پتانسیل پروتئین ها را برای کاربرد در سیستم های غذایی خاص روشن کند [۲۹]. پروتئین ها با دارا بودن گروه های فعال سطحی موجب تشکیل کف می شوند. برای شکل گیری یک کف خوب، پروتئین باید این توانایی را داشته باشد تا سریع به سطح مشترک آب- هوا مهاجرت کرده، ساختار آن باز شده و در سطح مشترک بین فازها مجددا بازآرایی شود [۳۰]. در این مطالعه قدرت بالای تشکیل کف FPI در هر دو نمونه (حدود ۵۰٪)، احتمالا به شرایط pH قلیایی بر می گردد (شکل ۱). در روش قلیایی قدرت تشکیل و پایداری کف به دلیل حلالیت و آبرگریزی سطحی افزایش می یابد. در واقع بار خالص پروتئین افزایش می یابد و باعث افزایش انعطاف پذیری پروتئین و جذب پروتئین در ارتباط با آب و هوا شده و کف بیشتری تشکیل می شود [۳۱]. ظرفیت جذب آب پروتئین نیز علاوه بر ساختمان فیزیکی و خصوصیات ماده غذایی بر فسادپذیری مواد غذایی نیز بسیار موثر است. در مطالعه حاضر قدرت جذب آب در هر دو نمونه حدود ۳۰٪ گزارش شد (شکل ۱). Azadian و همکاران (۲۰۱۱) با مطالعه روی FPI ماهی کپور نقره ای نشان دادند پروتئین ایزوله استخراج شده به روش pH



قلیایی، قدرت جذب آب بالایی داشتند. این افزایش ناشی از تغییراتی است که در ساختار پروتئین و گروه‌های باردار سطحی آن به وجود می‌آید که منجر به در سطح قرار گرفتن مناطق آب دوست و در نهایت افزایش قطبیت پروتئین و اتصال آب می‌شود [۳۲].

رنگ یک پارامتر حسی مهم است که شاخص بازاریابی محصولات غذایی را بر عهده دارد و یکی از فاکتورهای مهم تجاری پودر پروتئین از نظر پذیرش مصرف کننده است. اگر رنگ پودر پروتئین تیره باشد جذابیت آن برای مصرف کننده کاهش می‌یابد [۳۳]. در مطالعه حاضر طبق جدول ۳ شاخص سفیدی و شفافیت FPI استخراج شده پایین بود و همین موضوع می‌تواند در استفاده مستقیم آن‌ها تاثیرگذار باشد. بطور کلی روش pH قلیایی اگرچه در بسیاری از شاخص‌های FPI تاثیر مطلوبی دارد اما در این روش شاخص سفیدی و شفافیت نمونه‌ها نسبت به روش‌های دیگر و pH قلیایی پایین‌تر است. این موضوع می‌تواند ناشی از وجود هموگلوبین (که ساختار پروتئینی دارد) [۳۲]، دناتوره شدن پروتئین، وجود رنگدانه‌ها، اکسیداسیون چربی و فساد در محصول نهایی باشد. در حالیکه در شرایط اسیدی بسیاری از رنگدانه‌های تیره حذف شده و هموگلوبین دناتوره می‌شود [۳۴ و ۳۵].

مقدار و ثبات اندازه ذرات اهمیت بخصوصی در تعیین ویژگی‌های سیستم‌های کلوئیدی، پایداری و کارایی محصورسازی آن‌ها دارد. پروتئین‌ها جز محلول‌های کلوئیدی به حساب آیند که دارای اندازه ذرات بین ۰/۵ الی ۰/۰۱ میکرون می‌باشد و هرچه اندازه ذرات کوچک‌تر باشد به سمت محلول کلوئیدی نزدیک‌تر است. نتایج اندازه ذرات FPI استخراج شده در هر دو نمونه نشان می‌دهد (شکل ۲) که این ترکیبات می‌توانند در سیستم‌های کلوئیدی مواد غذایی به راحتی مورد استفاده قرار گیرند. بار سطحی توسط پتانسیل زتا تعیین می‌شود. پتانسیل زتا تأثیر پایداری الکترواستاتیک ذرات، اتصال نانولیپوزوم‌ها به غشای سلول‌های هدف، استحکام پیوند بین حامل و ماده فعال و میزان آزادسازی را نشان می‌دهد. در واقع پتانسیل زتا نشان‌دهنده وضعیت پایداری سیستم‌های کلوئیدی است و افزایش پتانسیل نشان‌دهنده دافعه بیشتر بین ذرات است که پراکندگی کلوئیدی را پایدارتر می‌کند [۳۶]. در pH قلیایی بخاطر اینکه گروه کربوکسیل پروتئین یونیزه شده و گروه‌های منفی در سطح قرار می‌گیرند باعث به وجود آمدن نیروی دافعه بین رشته‌های پروتئینی می‌شود [۳۷]. در دیسپرسیون‌های کلوئیدی سیستم‌های دارای پتانسیل زتا از ۳۰+ تا ۳۰- میلی ولت را پایدار در نظر می‌گیرند، زیرا باعث نیروهای دافعه بزرگ می‌شود [۳۸، ۳۹]. در واقع ذرات با بار همانم یکدیگر را دفع کرده و موجب پراکندگی آن‌ها در محیط می‌شود که با نتایج تحقیق حاضر نیز مطابقت دارد. در همین راستا شکل ۴ عکسبرداری با میکروسکوپ الکترونی نیز اندازه ریز ذرات در هر دو نمونه و تجمع و پیوستگی آن‌ها را تایید می‌کند.

نتایج طیف سنجی FTIR پیک‌هایی را در محدوده ۱۱۰۰ الی ۱۸۰۰ (cm<sup>-1</sup>) و ۲۹۰۰ الی ۳۴۰۰ (cm<sup>-1</sup>) نشان می‌دهد که در نمونه FPI تاسماهی سیبری این پیک‌ها شدت یافتند (شکل ۳) که می‌تواند مربوط به باندهای Amide I, Amide II, Amide III و گروه‌های C=O و N-H و C-N باشند [۱۱]. در بین این پیک‌ها محدوده‌ی جذب بین ۱۷۰۰-۱۶۰۰ cm<sup>-1</sup> می‌تواند برای ارزیابی ساختار دوم پروتئین (مارپیچ آلفا و صفحات بتا) به کار رود [۴۰].

## نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد با توجه به حجم زیاد ضایعات سر و باله دو گونه ماهی خاویاری (تاسماهی سیبری و تاسماهی ایرانی)، که در حال حاضر آیزی پروری آن‌ها در کشور با سرعت بالا رو به پیشرفت است، می‌تواند منبع عظیمی از پروتئین‌ها با کیفیت بالا باشد. این درحالیست که در بسیاری از مراکز پرورش ماهی این ضایعات دفن شده و سبب آلودگی زیست محیطی می‌شود و گاهی در صنعت تولید پودر ماهی بکار گرفته می‌شود. درحالیکه پروتئین‌های ایزوله استخراج شده از آنها به لحاظ ساختاری، میزان پروتئین، خواص عملکردی و ارزش غذایی قابلیت به کارگیری در غذای انسان و مکمل‌های ورزشی را دارند.

**تقدیر و تشکر:** بدین وسیله از حمایت مالی بنیاد نخبگان (طرح احمدی روشن به شماره طرح ۷۷۱۰۰۲) سپاسگزاری می‌گردد. همچنین از مزرعه پرورش ماهیان خاویاری قره برون به لحاظ فراهم نمودن نمونه اولیه کمال تشکر را دارم.

تعارض منافع: نویسندگان اعلام می‌دارند هیچگونه تعارض منافی وجود ندارد.

## منابع

- [1] Chalamaiah M, Hemalatha R, Jyothirmayi T. Fish protein hydrolysates: proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: a review. *Food chemistry*. 2012 Dec 15; 135(4): 3020-38.
- [2] Likhar, V., Chudasama, B. G., Patel, N., Tandel, B., & Tandel, B. Preparation and Characterization of Fish Protein Isolate from Tiger Tooth Croaker (*Otholithus ruber*) Obtained through PH Shift Method. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2023; 13(10): 1771-1780.
- [3] Surasani VKR, Raju CV, Shafiq U, Chandra MV, Lakshmisha IP. Influence of protein isolates from Pangas processing waste on physico-chemical, textural, rheological and sensory quality characteristics of fish sausages. *LWT*. 2020; 117: 108662.
- [4] Baraiya KG, Bojayanaik M, Surasani VK, Chavan SD, Chavan MR, Lende SR, Alandur VS. Utilization of fish protein isolates to supplement oat-based cookies and assessment of end product quality. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023 May; 25: 1-2.
- [5] Ennaas N, Hammami R, Beaulieu L, Fliss I. Purification and characterization of four antibacterial peptides from protamex hydrolysate of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) by-products. *Biochemical and biophysical research communications*. 2015 Jul 3; 462(3): 195-200.
- [6] Pateiro M, Munekata PE, Domínguez R, Wang M, Barba FJ, Bermúdez R, Lorenzo JM. Nutritional profiling and the value of processing by-products from gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Marine Drugs*. 2020 Feb 4; 18(2): 101.
- [7] [www.fisheries.ir/site/vahed.aspx?idvahed=18](http://www.fisheries.ir/site/vahed.aspx?idvahed=18)
- [8] Nguyen HT, Bao HN, Dang HT, Tómasson T, Arason S, Guðjónsdóttir M. Protein recovery of tra catfish (*Pangasius hypophthalmus*) protein-rich side streams by the pH-shift method. *Foods*. 2022 May 24;11(11):1531.
- [9] Wu TH, Nigg JD, Stine JJ, Bechtel PJ. Nutritional and chemical composition of by-product fractions produced from wet reduction of individual red salmon (*Oncorhynchus nerka*) heads and viscera. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 2011 Apr 18; 20(2): 183-95.
- [10] Abdollahi M, Marmon S, Chaijan M, Undeland I. Tuning the pH-shift protein-isolation method for maximum hemoglobin-removal from blood rich fish muscle. *Food Chemistry*. 2016 Dec 1; 212: 213-24.
- [11] Abdollahi M, Undeland I. Structural, functional, and sensorial properties of protein isolate produced from salmon, cod, and herring by-products. *Food and Bioprocess Technology*. 2018 Sep; 11: 1733-49.
- [12] Vilg JV, Undeland I. pH-driven solubilization and isoelectric precipitation of proteins from the brown seaweed *Saccharina latissima*—effects of osmotic shock, water volume and temperature. *Journal of Applied Phycology*. 2017 Feb; 29: 585-93.
- [13] Kristinsson HG, Hultin HO. Changes in conformation and subunit assembly of cod myosin at low and high pH and after subsequent refolding. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003 Nov 19; 51(24): 7187-96.
- [14] Gehring CK, Gigliotti JC, Moritz JS, Tou JC, Jaczynski J. Functional and nutritional characteristics of proteins and lipids recovered by isoelectric processing of fish by-products and low-value fish: A review. *Food chemistry*. 2011 Jan 15; 124(2): 422-31.
- [15] Kristinsson HG, Ingadottir B. Recovery and properties of muscle proteins extracted from tilapia (*Oreochromis niloticus*) light muscle by pH shift processing. *Journal of Food Science*. 2006 Apr; 71(3): E132-41.
- [16] Chanarat S, Benjakul S. Impact of microbial transglutaminase on gelling properties of Indian mackerel fish protein isolates. *Food chemistry*. 2013 Jan 15; 136(2): 929-37.
- [17] Kobayashi Y, Mayer SG, Park JW. Gelation properties of tilapia fish protein isolate and surimi pre-and post-rigor: Rigor condition of tilapia FPI and surimi. *Food Bioscience*. 2017 Mar 1; 17: 17-23.
- [18] Abdollahi M, Rezaei M, Jafarpour A, Undeland I. Dynamic rheological, microstructural and physicochemical properties of blend fish protein recovered from kilka (*Clupeonella cultriventris*) and silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) by the pH-shift process or washing-based technology. *Food Chemistry*. 2017 Aug 15; 229: 695-709.
- [19] Hultin HO, Kelleher SD, Feng Y, Richards MP, Kristinsson H, Undeland I, Ke S S. (2009). *U.S. Patent No. 7,556,835*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [20] AOAC, Official methods of analysis of AOAC international. USA: Association of Official and Analytical Chemists, International Virginia. 2005.

- [21] Jamróz E, Kulawik P, Krzyściak P, Talaga-Ćwiertnia K, Juszcak L. Intelligent and active furcellaran-gelatin films containing green or pu-erh tea extracts: Characterization, antioxidant and antimicrobial potential. *International journal of biological macromolecules*. 2019 Feb 1; 122: 745-57.
- [22] Sethi S, Yadav DN, Snigdha S, Gupta A. Optimization of process parameters for extraction of protein isolates from Khesari dhal (*Lathyrus sativus* L). *LWT-Food Science and Technology*. 2021; 137: 110368.
- [23] Mir NA, Riar CS, Singh S. Physicochemical, molecular and thermal properties of high-intensity ultrasound (HIUS) treated protein isolates from album (*Chenopodium album*) seed. *Food Hydrocolloids*. 2019; 96: 433-441.
- [24] Nolsøe H, Undeland I. The acid and alkaline solubilization process for the isolation of muscle proteins: state of the art. *Food and Bioprocess Technology*. 2009; 2(1):1-27.
- [25] Piornos JA, Burgos -Díaz C, Ogura T, Morales E, Rubilar M, Maureira -Butler I, Salvo -Garrido H. Functional and physicochemical properties of a protein isolate from AluProt -CGNA: A novel protein -rich lupin variety (*Lupinus luteus*). *Food Res Int*. 2015; 76: 719 -24.
- [26] Taskaya L, Chen YC, Beamer S, Jaczynski J. Texture and colour properties of proteins recovered from whole gutted silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) using isoelectric solubilisation/precipitation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2009 Jan 30; 89(2): 349-58.
- [27] Chen YC, Jaczynski J. Protein recovery from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) processing byproducts via isoelectric solubilization/precipitation and its gelation properties as affected by functional additives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2007; 55 (22): 9079-88.
- [28] Panpipat W, Chaijan M. Biochemical and physicochemical characteristics of protein isolates from bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) head by-product using pH shift method. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2016 Mar 1; 16(1): 041-50.
- [29] Shevkani K, Singh N, Kaur A, & Rana J. C. Structural and functional characterization of kidney bean and field pea protein isolates: a comparative study. *Food Hydrocolloids*. 2015; 43: 679-689.
- [30] Klompong V, Benjakul S, Kantachote D, and Shahidi, F. Antioxidative activity and functional properties of protein hydrolysate of yellow stripe trevally (*Selaroides leptolepis*) as influenced by the degree of hydrolysis and enzyme type. *Food Chemistry*. 2007; 102: 1317-1327.
- [31] Ren X, Li C, Yang F, Huang Y, Huang C, Zhang K, Yan L. Comparison of hydrodynamic and ultrasonic cavitation effects on soy protein isolate functionality. *J Food Eng*. 2020; 265: 109697.
- [32] Azadian M, Moosavi-Nasab M, Yousefi AR. Production of protein isolate and surimi from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and survey their gel and powder colorimetric and chemical parameters. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. 2011; 20: 1-10.
- [33] Kristinsson HG, Liang Y. Effect of pH-shift processing and surimi processing on Atlantic croaker (*Micropogonias undulates*) muscle proteins. *Journal of Food Science*. 2006 Jun;71(5):C304-12.
- [34] Rawdkuen S, Sai-Ut S, Khamsorn S, Chaijan M, Benjakul S. Biochemical and gelling properties of tilapia surimi and protein recovered using an acid-alkaline process. *Food Chemistry*. 2009 Jan 1; 112(1): 112-9.
- [35] van Heerebeek L, Hamdani N, Falcão-Pires I, Leite-Moreira AF, Begieneman MP, Bronzwaer JG, van der Velden J, Stienen GJ, Laarman GJ, Somsen A, Verheugt FW. Low myocardial protein kinase G activity in heart failure with preserved ejection fraction. *Circulation*. 2012 Aug 14; 126(7): 830-9.
- [36] Tran VD. Does Cooperative Learning Increase Students' Motivation in Learning? *International Journal of Higher Education*. 2019; 8(5): 12-20.
- [37] Fatemi, Hassan. (2018). *Food chemistry*, Tehran: Publishing Company.
- [38] Lu Q, Lu PM, Piao JH, Xu XL, Chen J, Zhu L, Jiang JG. Preparation and physicochemical characteristics of an allicin nanoliposome and its release behavior. *LWT-Food science and technology*. 2014 Jul 1; 57(2): 686-95.
- [39] Pettinato M, Trucillo P, Campardelli R, Perego P, Reverchon E. Bioactives extraction from spent coffee grounds and liposome encapsulation by a combination of green technologies. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*. 2020 May 1; 151: 107911.
- [40] Timilsena YP, Adhikari R, Barrow CJ, Adhikari B. Physicochemical and functional properties of protein isolate produced from Australian chia seeds. *Food chemistry*. 2016 Dec 1; 212: 648-56.

## Evaluation of the physicochemical and functional properties of isolated proteins extracted from two species of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) and Iranian sturgeon (*Acipenser persicus*)

Sedigheh Babaei<sup>1\*</sup>, Tahereh RoshanZamir<sup>2</sup>, Mina Esmaili<sup>3</sup>, Alireza Sadeghi Baladezaei<sup>3</sup>

1- Department of Natural Resources and Environmental Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

2- Department of Food Hygiene and Public Health, School of Veterinary Medicine, Shiraz University, Shiraz, Iran.

3- Department of Fisheries, Faculty of Animal Sciences and Fisheries, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

### ABSTRACT

In the current study, fish-isolated protein (FPI) was extracted by alkaline pH method from the wastes of the head and fins of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) and Iranian sturgeon (*Acipenser persicus*) and its composition, functional and structural characteristics were investigated. The results showed that the extraction efficiency according to the wet weight, the protein recovery of FPI, and the dry matter recovery of FPI from the Siberian sturgeon was higher than that of Iranian sturgeon. The results showed 91-94% protein in FPI of two species. The results did not show any significant differences between the proximate analysis and TVB-N ( $P > 0.05$ ). The water absorption capacity, foaming capacity, and stability of FPI were shown at 30, 50, and 50%, respectively. The whiteness and transparency index of the FPI extracted was low. The results of particle size and zeta potential ( $P < 0.05$ ) showed that the size of FPI particles in both samples is about a micron and they have a negative charge, so they can be easily used in colloidal systems. FTIR spectroscopy in both samples showed all the absorption peaks related to the main bonds of the protein structure. In general, considering the large amount of sturgeon waste in processing, and the amount of protein, functional properties, and nutritional value of FPI extracted from two species of sturgeon, there is the possibility of using them in human food and sports supplements.

**KEYWORDS:** Fish isolated protein, FPI, Sturgeon, Alkaline pH, Zeta potential, Particle size.

### ARTICLE TYPE

Original Research

### ARTICLE HISTORY

Received: 12 oct 2023

Accepted: 4 Feb 2024

ePublished: 20 Feb  
2024

\* Corresponding Author:

Email address: Babaei.Sedigheh@gmail.com

Tel: 987136138172

© Published by Tarbiat Modares University

ISSN: 2322-5513