شیلات، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۶، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲
صفحات ۵۶۴-۵۵۳

مروری بر مطالعات تولید کنسانترهٔ پروتئینی از زائدات صنایع فرآوری ماهی به روش تغییر pH

محدثه علیزاده پیرعلیدهی[۱]، سید ولی حسینی[۲]*، تارا زارعی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲. دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳. فارغ التحصیل دکتری، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰

چکیده

هنگامی‌که ماهی به‌صورت مکانیکی در مقیاس تجاری، فرآوری می‌شود، معمولاً بین ۴۵ تا ۵۵ درصد وزن آن به‌عنوان زائدات دور ریخته می‌شود. این حجم از زائدات حاصل از فرآوری آبزیان، مقدار زیادی مواد مغذی از جمله پروتئین با کیفیت تغذیه‌ای بالا دارد که علی‌رغم نیاز به آن، استفادهٔ صحیح از آن‌ها صورت نمی‌گیرد. به‌منظور استفادهٔ بهینه این دسته مواد و همچنین استفادهٔ بهینه از ماهی‌های کم ارزش فناوری‌های متعددی از جمله روش تغییر pH مورد توجه قرار گرفته است. این روش که بر مبنای انحلال مادهٔ اولیه در اسید و باز (قلیا) صورت می‌گیرد، شامل دو مرحله است، در مرحلهٔ اول، pH مواد اولیه با استفاده از اسید یا باز مربوطه کاهش یا افزایش می‌یابد. این امر سبب می‌شود پروتئین‌های عضلانی هم‌بار شده و سپس در محیط آبی حل شوند و مرحلهٔ دوم شامل رسوب پروتئین‌ها تا نقطهٔ ایزوالکتریک آن‌ها است. پروتئین حاصل از این روش، از خواص تغذیه‌ای و عملکردی بالاتری نسبت به سایر روش‌های مرسوم تولیدکنسانترهٔ پروتئینی نظیرسوریمی برخوردارند. این مقاله قصد دارد به شرح اصول فرآیند تغییر pH و بازیابی پروتئین کنسانترهٔ به این روش، مزایا و معایب هر دو روش اسیدی و بازی و مقایسهٔ آن با روش فرآوری مرسوم (سوریمی) بپردازد که در نهایت خواص تغذیه‌ای و عملکردی این فرآیند نیز به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرد.

واژگان کلیدی: زائدات شیلاتی، بازیابی پروتئین، ماهی، سوریمی، تغییر pH

* نویسنده مسئول: سید ولی حسینی
Email: hosseinisv@ut.ac.ir

Journal of Fisheries
Vol. 76, No. 4, Winter 2024
pp. 553-564

A review of studies on the production of protein concentrate from the wastes of fish processing industries by the pH shift method

Mohaddeseh Alizadeh Pir Alidehi[1], Seyed Vali Hosseini[2*], Tara Zarei[3]

1. M.Sc. student, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Associate Professor, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3. Ph.D graduate, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Received: 12-May-2023 **Accepted: 01-Jul-2023**

Abstract
When fish is mechanically processed on a commercial scale, usually between 45 and 55% of its weight is discarded as waste. This amount of waste from aquatic processing contains a large number of nutrients, including protein with high nutritional quality, which, despite its need, is not properly used. In order to optimally use this category of materials and also optimally use underutilization fish, several technologies including the pH shift method were taken into consideration. This method, which is based on the dissolution of the raw material in acid and base (alkali), consists of two stages. In the first stage, the pH of the raw material is reduced or increased by using the corresponding acid or base. This causes the muscle proteins to be charged together and then dissolve in the aqueous medium, and the second stage includes the precipitation of the proteins up to their isoelectric point. The protein obtained from this technique has higher nutritional and functional properties than other conventional techniques for producing protein concentrates such as surimi. This article intends to describe the principles of the pH shift process and the recovery of concentrated protein in this way, the advantages and disadvantages of both acid and alkaline methods and its comparison with the conventional (surimi) processing method, which ultimately the nutritional and functional properties of this process. It is discussed in detail.

Keywords: Fishing waste, Protein recovery,Fish, Surimi, pH-shift

∗ Corresponding author: Seyed Vali Hosseini Email: hosseinisv@ut.ac.ir

۱. مقدمه

عمل‌آوری ماهیان به فرآوردهٔ نهایی، منجر به تولید انواع زائدات مانند اسکلت، سر، استخوان، پوست، فلس و احشاء می‌شود. در واقع هنگامی‌که ماهی به‌صورت مکانیکی، در مقیاس تجاری فرآوری می‌شود، معمولاً ۴۵ تا ۵۵ درصد وزن آن ممکن است به‌عنوان محصولات جانبی دور ریخته شود (Gildberg, 2002). گوشت ماهی باقیمانده روی این زائدات، به‌ویژه سر و اسکلت، معمولاً ۲۰ تا ۳۰ درصد وزن ماهی را تشکیل می‌دهد. در حال حاضر این پروتئین‌های با کیفیت به روش‌های مختلفی از مصرف انسانی خارج می‌شوند، به‌عنوان مثال یا به آرد ماهی برای فرمولاسیون خوراک دام، طیور و آبزیان تبدیل می‌شوند و یا به‌عنوان زباله دفن می‌شوند که منجر به معضلات زیست‌محیطی فراوانی می‌شود. با این حال، با افزایش جمعیت جهان و کاهش منابع طبیعی، این رویکرد دیگر کارآمد نیست. از این‌رو، این چالش در عین حال می‌تواند به فرصتی برای تولید محصولات باکیفیت دارای ارزش افزوده مانند کنسانترهٔ پروتئین ماهی، پروتئین‌های هیدرولیز شده و غیره استفاده شود که دارای فناوری‌های کارآمدتری برای بهره‌برداری از منابع طبیعی در جهت رفع نیاز غذایی انسان است (Aspevik *et al*., 2017).

چندین فناوری و روش در طول سال‌ها برای بازیابی پروتئین‌ها از ماهیچهٔ ماهی و محصولات جانبی توسعه یافته‌اند که بسیاری از آن‌ها باعث از بین رفتن خواص عملکردی پروتئین‌های بازیافت شده می‌شوند. یکی از این موارد تولید سوریمی است که تقاضا برای آن بسیار زیاد است اما منابع سنتی آن محدود است. برای پاسخگویی به تقاضای سوریمی، باید از منابع دیگری مانند گونه‌های پلاژیک کم‌ارزش و محصولات جانبی آن‌ها استفاده کرد. استفاده از این مواد خام با استفاده از روش سوریمی متعارف برای بازیابی پروتئین‌ها موفقیت‌آمیز نبوده و با مشکلات فنی متعددی مواجه شده‌است (Hultin and Kelleher, 2000). برای حل مشکلات مربوط به استفاده از ماهی‌های کم‌ارزش و محصولات جانبی که برای تولید سوریمی مناسب نیستند، یک فرآیند جایگزین توسعه یافت. این فرآیند، یعنی انحلال اسید و قلیایی/فرآیند تغییرpH/انحلال و رسوب ایزوالکتریک، مبتنی بر انحلال پروتئین‌ها با استفاده از اسید یا باز است و در ادامه آن‌ها را در pH ایزوالکتریک خود رسوب می‌دهد (Surasani, 2018; Kakko *et al*., 2022).

از آن که در کشور ایران نیز، شاهد حجم بالای زائدات و آبزیان کم استفاده (صید ضمنی[1]، ماهی‌های پلاژیک) هستیم که می‌توانند به‌عنوان منبعی از پروتئین با خواص تغذیه‌ای و عملکردی بالا به جهت بهره‌برداری هرچه بیشتر قرار گیرند، از این‌رو نیاز به توسعهٔ روش‌های بازیابی پروتئین در صنعت فرآوری محصولات شیلاتی احساس می‌شود. بنابراین در این مقاله اصول فرآیند و روش بازیابی تولید کنستانترهٔ پروتئین با روش تغییر pH، همچنین مزایا و معایب این روش و مقایسهٔ آن با روش فرآوری مرسوم (سوریمی) مورد بررسی قرار گرفته است که در نهایت خواص تغذیه‌ای، عملکردی محصول به تفصیل بررسی شده است.

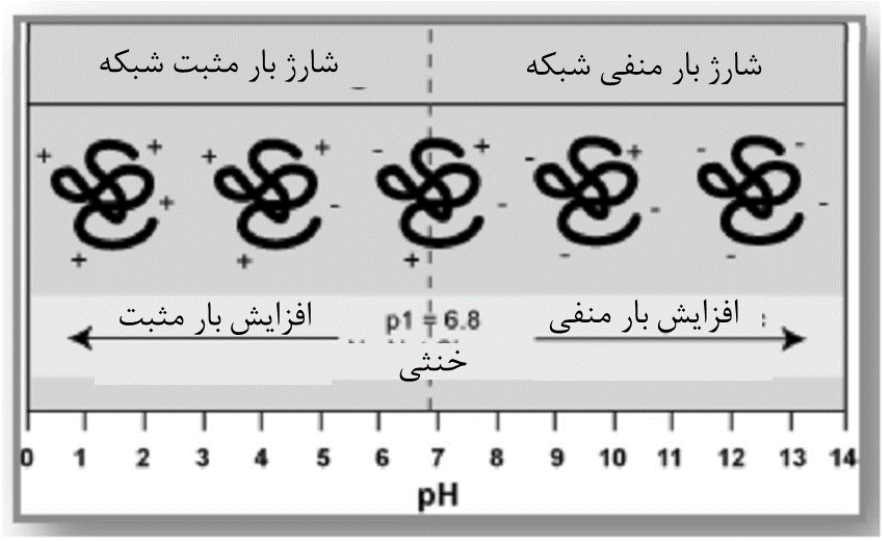
۲. تشریح مبانی فرآیند تغییر pH

در سال ۱۹۹۹، یک پیشرفت بزرگ در فناوری بازیابی پروتئین‌های ماهیچه‌ای از مواد خام کم‌ارزش صورت گرفت. Hultin و Kelleher فرآیند انحلال اسید را به‌عنوان راهکاری در جهت بهبود عملکرد و پایداری کنسانتره‌های پروتئین عضلانی ثبت کردند. چند سال بعد، یک فرآیند مشابه، اما براساس حلالیت بازی ثبت اختراع شد. طبق اصل انحلال پروتئین‌ها، حلالیت پروتئین‌های میوفیبریلار به برهم‌کنش‌های الکترواستاتیک و آبگریز در محلول پروتئین بستگی دارد. هنگامی‌که واکنش‌های آبگریز بر برهم‌کنش‌های الکترواستاتیکی تأثیر می‌گذارند، مولکول‌های پروتئین استخراج می‌شوند (Zyas, 1997). به‌طور کلی پروتئین‌های موجود در یک محلول توسط

[1] By-catch

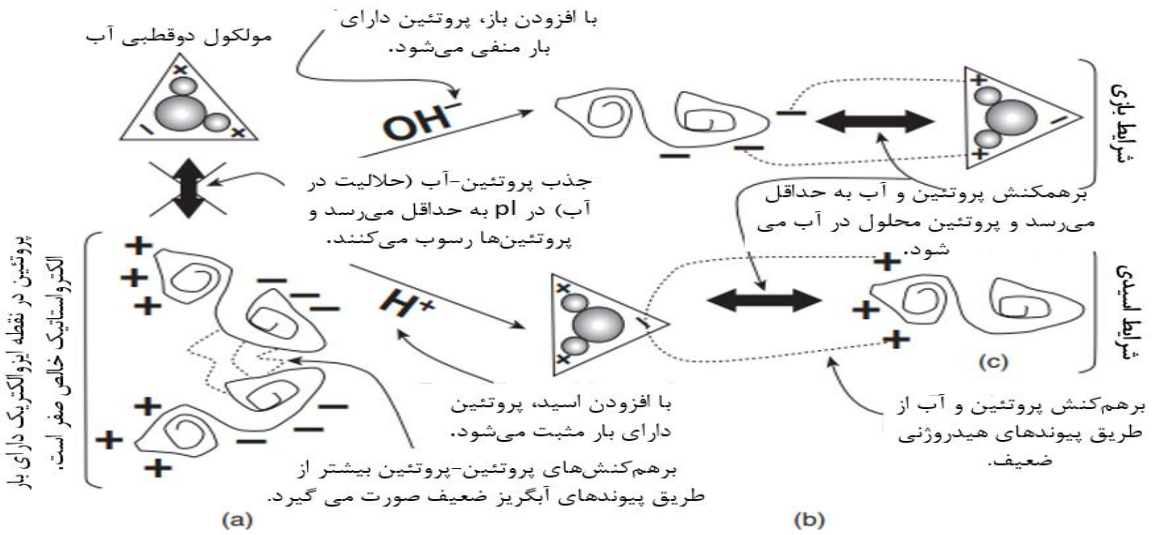
برهم‌کنش‌های ضعیف پروتئین-پروتئین در کنار هم نگه داشته می‌شوند و زنجیره‌های جانبی پروتئین‌ها می‌توانند بارهای متفاوتی را با تغییر در pH محلول داشته باشند (شکل ۱). در طول کاهش یا افزایش pH محلول پروتئین، زنجیره‌های جانبی می‌توانند بارهای مثبت یا منفی داشته باشند. به‌عبارت بهتر، افزودن اسید باعث افزایش بار مثبت خالص در زنجیره‌های جانبی باقی‌مانده‌های گلوتامیل [1] و آسپارتیل [2] از طریق افزودن یون‌های هیدرونیوم (H_3O^+) می‌شود، در حالی‌که افزودن باز، باعث افزایش بار منفی خالص در زنجیره‌های جانبی تیروسیل [3]، تریپتوفنیل [4]، سیستینیل [5]، لیزیل [6]، آرژینیل [7] و باقی‌مانده‌های هیستیدینیل [8] از طریق افزودن یون‌های هیدروکسیل (OH^-) می‌شود. تشکیل بارهای منفی یا مثبت خالص روی سطح پروتئین منجر به دافعه‌های الکترواستاتیک پروتئین-پروتئین و افزایش حجم هیدرودینامیکی به‌دلیل تورم و انبساط می‌شود. از این‌رو، وقتی پروتئین قطبیت بیشتری به خود می‌گیرد، برهم‌کنش بیشتری با آب صورت می‌گیرد و در نتیجه باعث انحلال آن‌ها می‌شود (Yasothai and Giriprasad, 2015; Tahergorabi *et al*., 2015).

از طرفی زمانی که تعداد بارهای مثبت سطحی برابر با بارهای منفی باشد، بار خالص سطحی پروتئین را خنثی فرض می‌کنند. pHای که در آن بار الکتریکی خالص سطحی برابر با صفر است، نقطهٔ ایزوالکتریک یا isoelectric point (pI) آن پروتئین نامیده می‌شود. در این نقطه، پروتئین‌ها محلول در آب نیستند زیرا جاذبهٔ آبگریز پروتئین-پروتئین بیشتر از جاذبهٔ الکترواستاتیکی پروتئین-آب است که منجر به رسوب ایزوالکتریک می‌شود (شکل ۲). بنابراین، حلالیت/نامحلول بودن پروتئین را می‌توان به‌ترتیب با انحلال/رسوب ایزوالکتریک القا کرد (Gehring *et al*., 2011).



شکل ۱- تصویر شماتیک تغییرات در بارهای پروتئین با pH (Yasothai and Giriprasad, 2015)

[1] Glutamyl
[2] Aspartyl
[3] Tyrosyl
[4] Tryptophenyl
[5] Cysteinyl
[6] Lysyl
[7] Arginyl
[8] Histidinyl



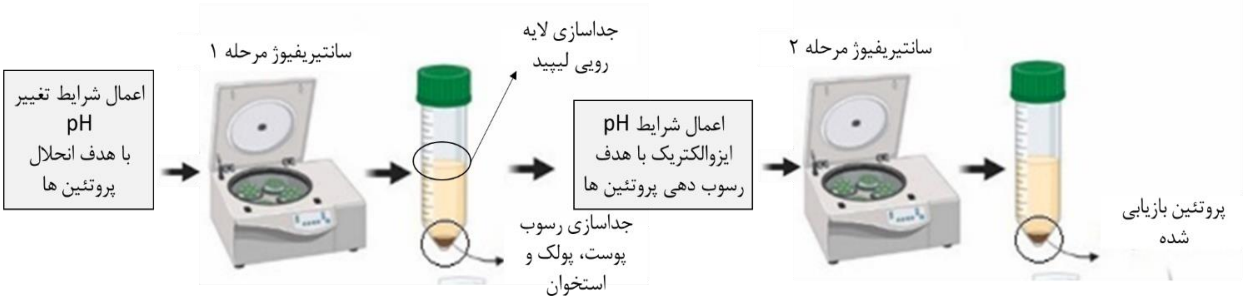
شکل ۲. تصویر شمانیک که نشان‌دهندهٔ این است که یک پروتئین در نقطهٔ ایزوالکتریک (pI) دارای بار الکترواستاتیکی خالص صفر است.
الف. در pI آن، برهم‌کنش‌های پروتئین-آب در کمترین حد خود هستند، در حالی‌که برهم‌کنش‌های پروتئین-پروتئین از طریق پیوندهای آبگریز ضعیف به حداکثر می‌رسند و باعث رسوب پروتئین می‌شوند.
ب. برهم‌کنش‌های پروتئین-آب در شرایط اسیدی یا بازی به دور از pI، غالب است که منجر به حلالیت پروتئین در آب می‌شود (Gehring *et al.*, 2011).

۳. روش بازیابی کنسانترهٔ پروتئین عضلانی توسط فرآیند تغییر pH

این فرآیند شامل اختلاط گوشت ماهی چرخ‌شده با ۱۰-۱ برابر حجم از آب یونیزه شدهٔ سرد (کمتر از ۴ درجهٔ سانتی‌گراد) است. باید مراقب بود که از افزایش دمای مواد خام در حین همگن کردن گوشت با آب جلوگیری شود که می‌توان با انجام کل عملیات در اتاق سرد یا در حضور یخ آن را کنترل کرد. در این روش، مهم است که الگوی حلالیت پروتئین مدنظر شناخته شود تا pH در محدودهٔ حلالیت آن تنظیم شود، که مستلزم ساخت منحنی حلالیت است. منحنی حلالیت پروتئین را می‌توان با تنظیم pH هموژنه به pHهای مختلف، که عموماً از ۱/۵ تا ۱۳ متغیر است و اندازه‌گیری حلالیت پروتئین در هر pH ایجاد کرد. به‌طور کلی، حلالیت پروتئین‌ها از pH خنثی به سمت بازی و اسیدی افزایش می‌یابد. از اسید کلریدریک و هیدروکسید سدیم معمولاً برای تنظیم pH پروتئین ماهی استفاده می‌شود زیرا آن‌ها به‌طور کلی ایمن (generally regarded as safe) در نظر گرفته می‌شوند. هموژنهٔ تنظیم‌شده با pH مدتی باقی می‌ماند تا به انحلال پروتئین‌ها کمک کند و سپس با استفاده از سانتریفیوژ یخچال‌دار با سرعت بالا سانتریفیوژ می‌شود (Matak, 2015). سانتریفیوژ معمولاً برای جداسازی لیپیدها با شناورسازی (بخش رویی) و سایر مواد نامحلول (استخوان‌ها، پوست و پروتئین‌های بافت پیوندی) از طریق ته‌نشینی (بخش رسوبی) از پروتئین‌های محلول (بخش میانی) استفاده می‌شود. در نهایت pH محلول پروتئین (بخش میانی) به محدودهٔ ۵/۵، نقطهٔ ایزوالکتریک پروتئین‌های گوشت ماهی تنظیم می‌شود و مدتی باقی می‌ماند تا به رسوب پروتئین‌ها کمک کند. در نهایت، پروتئین‌های رسوب‌شده معمولاً با سانتریفیوژ یا اولترافیلتراسیون آب‌گیری می‌شوند (Surasani, 2018) (شکل ۳).

طبق تحقیقات صورت گرفته، فرآیند تغییر pH دارای چندین مزیت است و می‌تواند برای بازیابی پروتئین‌های ایزوله از طیف گسترده‌ای از مواد خام استفاده شود. بیشترین مزایای گزارش شده این روش استخراج شامل بازدهٔ بالای پروتئین‌های بازیافتی با بهبود خواص عملکردی پروتئین‌های بازیافت شده، مانند امولسیون، ژل‌شدن، حلالیت، نگهداری

آب، همراه با کف‌کردن و ظرفیت نگهداری روغن است (Sasidharan and Venugopal, 2020). در این زمینه بسیاری از پژوهشگران از رفتار ایزوالکتریک پروتئین‌های ماهی برای بازیابی پروتئین‌های عملکردی از گونه‌های مختلف ماهی، زائدات آن‌ها و گونه‌های کم‌ارزش استفاده کرده‌اند (Batista, 1999; Cortes-Ruis *et al*., 2001; Undeland *et al*., 2002; Batista *et al*., 2003; Kristinsson and Demir, 2003; Kristinsson and Hultin, 2004; Kristinsson *et al*., 2005; Nolsøe *et al*., 2007; Palafox *et al*., 2009; Nolsøe *et al*., 2011; Marmon, 2012; Jafarpour *et al*., 2013; Shabanpour *et al*., 2015; Zhang *et al*., 2023; Kakko *et al*., 2022; Nisov *et al*., 2022). علاوه بر این، این روش نیز برای بازیابی پروتئین از زائدات سایر حیوانات از جمله گوشت گاو (Mireles DeWitt, 2007؛ Chen and Jaczynski, 2007؛ Gomez and James, 2002) و مرغ (Tahergorabi, 2011; Tahergorabi *et al*., 2012) مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۳- تصویر روش بازیابی پروتئین توسط فرآیند تغییر pH

براساس Torres و همکاران (۲۰۰۷) نیز بازیابی پروتئین در فرآیند تغییر pH، به pH هر دو مرحلهٔ انحلال (انحلال اسیدی و یا بازی) و رسوب (ایزوالکتریک) بستگی دارد. همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، در این پژوهش بالاترین مقادیر برای بازیابی پروتئین زمانی مشاهده شد که pH انحلال و رسوب به‌ترتیب ۲ و ۵/۵ بوده است.

جدول ۱. بازیابی پروتئین از فرآوری محصولات جانبی ماهی قزل‌آلا با فناوری تغییر pH (Torres *et al*., 2006).

پروتئین بازیابی شده ٪	pH رسوب‌دهی-انحلال
۸۹/۰	۲/۵-۵/۵
۸۱/۹	۲/۰-۵/۵
۸۵/۹	۲/۶-۵/۰
۹۱/۳	۲/۵-۰/۵
۸۶/۲	۳/۵-۰/۵
۸۴/۴	۱۲/۵-۵/۵
۷۷/۷	۱۲/۵-۵/۰
۸۳/۴	۱۲/۶-۵/۰
۸۲/۹	۱۲/۵-۵/۵
۸۸/۱	۱۳/۵-۰/۵

۴. مقایسهٔ کنسانترهٔ پروتئین اسیدی و بازی در فرآیند تغییر pH

محققین نشان دادند که پروتئین کنسانترهٔ استحصال‌شده از فرآیند اسیدی با پروتئین کنسانترهٔ فرآیند بازی متفاوت است. در مقایسهٔ بین روش‌های اسیدی و بازی برای بازیابی پروتئین‌ها از عضلات گربه ماهی کانالی (*Ictalurus punctatus*) که توسط Kristinsson و همکاران (۲۰۰۵) انجام شد، نشان می‌دهد که فرآیند بازی، ویژگی‌های بهتری مانند استحکام ژل را به پروتئین ایزوله ماهی (FPI[1]) می‌دهد. به علاوه وی در سال ۲۰۰۷ نیز افزود که فرآیند بازی، پروتئین‌هایی با شاخص سفیدی بالاتری نسبت به فرآیند اسیدی بازیابی می‌کند (Kristinsson *et al*., 2007). در مقابل، روش اسیدی به‌طور کلی بازدهٔ پروتئین بالاتری را در مقایسه با فرآیند بازی داراست (Kristinsson *et al*., 2006) و پروتئین‌های سارکوپلاسمی بیشتری در فرآیند اسیدی در مقایسه با فرآیند بازی بازیافت می‌شوند. بازیابی بیشتر پروتئین‌های سارکوپلاسمی برای فرآیند اسیدی، بدین‌معنی است که هِموپروتئین[2] بیشتری در این روش بازیافت می‌شوند، که می‌تواند پیامدهای منفی روی رنگ، بو و در نهایت طعم داشته باشد. از سوی دیگر، حفظ بیشتر پروتئین‌های سارکوپلاسمی در کنسانترهٔ منجر به مشکلات آلودگی کمتری می‌شود، زیرا آب فرآوری شده به‌دلیل محتوای پروتئین نسبتاً کم، نیاز به اکسیژن بیولوژیکی کمتری دارد (Kristinsson *et al*., 2005).

Zhong و همکاران (۲۰۱۶) نیز در طی مطالعه‌ای روی کنسانترهٔ پروتئین ماهی حاصل از فرآورده‌های عمل‌آوری کپور نقره‌ای با استفاده از روش انحلال-رسوب ایزوالکتریک بیان نمودند، فرآیند بازی منجر به کاهش قابل توجهی بیشتر لیپیدها در مقایسه با فرآیند اسیدی شد. علاوه بر این فرآیند بازی، پایداری اکسیداتیو و کیفیت غذایی و رنگی بالاتری نسبت به فرآیند اسیدی را به همراه داشت.

۵. خواص تغذیه‌ای کنسانترهٔ پروتئین عضلانی بازیابی شده توسط تغییر pH

ترکیب تقریبی کنسانترهٔ‌های پروتئینی بازیابی شده با استفاده از فراوری ISP بسته به منبع پروتئین، pH و همچنین نوع اسید و باز مورد استفاده در ISP متفاوت است و به‌طور کلی حاوی ۹۵-۸۷٪ پروتئین خام، ۵-۱٪ چربی و ۶-۲٪ خاکستر است. به‌عنوان مثال، هنگامی‌که Taskaya و همکاران (۲۰۰۹) از فرآوری ISP برای بازیابی پروتئین کنسانترهٔ از ماهی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) و فیلهٔ کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) استفاده نمودند، پروتئین خام بین ۸۹ تا ۹۵ درصد با محتوای اسید آمینهٔ ضروری بیشتر از مادهٔ اولیه به‌دست آمد. به‌علاوه Singh و همکاران (۲۰۱۹) نیزطی مطالعه‌ای بر روی کنسانترهٔ‌های پروتئین تهیه شده از ماهیچهٔ ماهی کپور معمولی نر و ماده (*Cyprinus carpio*) با استفاده از روش تغییر pH نشان دادند که کنسانترهٔ‌های قلیایی و اسیدی محتوای پروتئین بالاتری نسبت به ماهیچهٔ خام نشان دادند.

کیفیت تغذیه‌ای یک منبع پروتئین جدید نیز یک عامل حیاتی است که قبل از تولید یک محصول غذایی باید به‌دقت مورد توجه قرار گیرد. کیفیت تغذیه‌ای هر منبع پروتئینی براساس وجود تمام ۹ اسید آمینهٔ ضروری (EAAs[3]) در مقادیر کافی برای حمایت از سلامت انسان یا حیوان تعیین می‌شود. به‌طورکلی پروتئین تخم مرغ معمولاً به‌دلیل کیفیت غذایی بالا به‌عنوان پروتئین مرجع قرار می‌گیرد. در حالی‌که لیزین اغلب یک EAA محدودکننده در نظر گرفته می‌شود. در این زمینه مطالعات نشان دادند که FPI بازیابی شده توسط روش ISP از کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) و کریل (*Euphausia superba*) دارای غلظت لیزین بالاتر از تخم مرغ هستند

[1] Fish protein isolate
[2] Hemoprotein
[3] Essential amino acids

(Chen *et al*., 2009). به‌علاوه پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ارزش زیستی (Biological value) FPIهای بازیابی شده توسط ISP بالاتر از کنسانترۀ پروتئین سویا و شبیه پروتئین شیر است (Bridges *et al*., 2010). از این‌رو باید FPI بازیابی شده توسط ISP را به‌عنوان یک منبع پروتئین کامل با کیفیت بالا جهت ادغام در فرمولاسیون مواد غذایی دانست. در این زمینه، Surasani و همکاران (۲۰۲۲) نیز بیان نمودند، جایگزینی گوشت چرخ کردۀ ماهی پنگوسی (*Pangasius bocourti*) با کنسانترۀهای پروتئینی ماهی روهو (*Labeo rohita*) در ۲۵۰ $g\,kg^{-1}$ منجر به کیفیت برتر سوسیس در مقایسه با سایر سطوح آزمایش شده شد و ارزش غذایی را بدون کاهش قابل توجهی کیفیت غذایی آن‌ها را بهبود خواهد بخشید. یافته‌های این مطالعه پتانسیل امیدوارکننده‌ای را برای توسعۀ غذاهای غنی از مواد مغذی با استفاده از کنسانتره‌های پروتئین ماهی نشان می‌دهد.

۶. اثر تغییر pH بر خواص عملکردی کنسانترۀ پروتئین ماهی

در طول فرآیند ISP، pH ساختار سه بعدی پروتئین‌ها را تغییر می‌دهد و بر خواص عملکردی تأثیر می‌گذارد. خواص عملکردی پروتئین‌ها مانند حلالیت، ژل‌شدن، امولسیون‌کنندگی، ظرفیت نگهداری آب و روغن و کف‌کنندگی بر کاربرد پروتئین‌ها و محصولات پروتئینی در غذاها تأثیر می‌گذارد (Surasani, 2018).

چندین مطالعه گزارش کردند که پروتئین‌های به‌دست آمده از طریق فرآوری تغییر pH دارای خواص عملکردی و خواص ژل‌شدن بهتری در مقایسه با پروتئین‌های به‌دست آمده از طریق سوریمی دارند (Undeland *et al*. 2002; Kristinsson and Demir, 2003). در این زمینه Pramono و همکاران (۲۰۱۸) نیز ویژگی‌های عملکردی پروتئین ماهی *Lutjanus campechanus* پس از ISP مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که ظرفیت نگهداری آب، ظرفیت اتصال روغن و محتوای اسید آمینه بهبود یافته است، که با مطالعات دیگر در مورد کریل و تیلاپیا مطابقت دارد (Chen *et al*., 2009; Foh *et al*., 2011). علاوه‌بر این، Phetsang و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی دیگر نشان دادند که بازیابی پروتئین از طریق روش ISP (فرآیند بازی) ویژگی‌های ژل‌شدن بهتری را ارائه می‌دهد. بنابراین، فرآیند تغییر pH بازی می‌تواند برای جداسازی پروتئین‌های ژل‌ساز از گربه‌ماهی (*Silurus glanis*) و در عین حال به‌حداقل رساندن تجمع ترکیبات فرار نامطلوب استفاده شود. همچنین Fu و همکاران (۲۰۱۲) طی مطالعات خود روی ایزوله‌های پروتئین کپور نقره‌ای دریافتند که کنسانتره‌های فرآوری شده با شیوۀ بازی بهترین حلالیت را در تمام غلظت‌های نمک مورد استفاده دارند. این کنسانترۀ ها دارای بالاترین ظرفیت نگهداری آب (WHC) و استحکام ژل در غلظت‌های صفر و ۱ درصد نمک بودند که با خواص سوریمی در غلظت نمک ۲ درصد برابری داشت.

۷. مزایای فرآیند تغییر pH در مقایسه با فرآیند سوریمی

فرآیندهای اسیدی و بازی دارای مزایای متعددی نسبت به فرآیند مرسوم بازیابی پروتئین (سوریمی) به هنگام جداسازی پروتئین عملکردی و با کیفیت از ماهیچه ماهی هستند (Shaviklo, 2008).

۱- فرآیند استخوان‌زدایی مکانیکی یا جداسازی گوشت از پوست و استخوان را در فرآیند تغییر pH می‌توان حذف کرد زیرا در این فرآیند، پروتئین‌ها (طی سانترفیوژ) به‌طور انتخابی جدا شده و از سایر اجزای ماهیچه‌ای بازیابی می‌شوند.

۲- فرآیند تغییر pH سریع‌تر است زیرا مراحل شست‌وشو و پالایش را حذف می‌کند از این‌رو حجم آب مصرفی نیز بسیار کمتر است. Hultin و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که ۱۰-۵ لیتر آب برای تولید ۱ کیلوگرم کنسانترۀ پروتئین ماهی طی فرآیند تغییر pH مصرف می‌شود در حالی‌که، Park و Lin (۲۰۰۵) گزارش کردند

که حدوداً ۲۹/۱ لیتر آب برای تولید ۱ کیلوگرم سوریمی استفاده می‌شود.

۳- هم لیپیدهای خنثی و هم لیپیدهای غشایی می‌توانند تحت شرایط مساعد به‌طور مؤثر در فرآیند تغییر pH حذف شوند، از این‌رو خطر اکسیداسیون لیپید را در طول ذخیره‌سازی بعدی به حداقل می‌رساند (جدول ۲)

۴- با حذف لیپیدها در روش تغییر pH، سموم محلول در چربی (به‌عنوان مثال، بی فنیل‌های پلی‌کلره یا PCB) نیز در محصول کاهش می‌یابد (Shaviklo and Johannsson, 2006).

۵- پساب حاصل از فرآیند تغییر pH حاوی مواد جامد، محتوای نیتروژن و اکسیژن شیمیایی کمتری در مقایسه با پساب حاصل از فرآوری سوریمی است به‌طوری که آلودگی زیست‌محیطی کاهش می‌یابد و هزینهٔ کنترل آلودگی نیز کمتر می‌شود.

۶- در روش تغییر pH، ایمنی مواد غذایی نیز بهبود می‌یابد. میکروارگانیسم‌ها ممکن است در اولین مرحلهٔ سانتریفیوژ حذف شوند، بنابراین از تجمع آن‌ها در محصول جلوگیری می‌شود. مطالعهٔ Kristinsson (۲۰۰۴) روی گربه‌ماهی (*Silurus glanis*) نشان داده است که هر دو فرآیند اسیدی و بازی منجر به کاهش قابل توجه باکتری‌های هوازی در مقایسه با سوریمی از ماده اولیه می‌شود.

۷- فرآیند تغییر pH باعث افزایش بازدهٔ پروتئین از ماهیچه ماهی، نسبت به فرآوری سوریمی می‌شود زیرا پروتئین‌های سارکوپلاسمی را نیز بازیابی می‌کند (جدول ۲).

جدول ۲. مقایسهٔ بازیابی پروتئین و کاهش چربی برای فرآیندهای اسیدی، بازی و سوریمی (Kristinsson *et al*., 2005).

نوع فرآیند	بازیابی پروتئین٪	کاهش لیپید ٪
بازی	۷۰/۳±۲/ ۹[b]	۸۸/۶±۲/ ۸[c]
اسیدی	۷۱/۵±۴/ ۵[b]	۸۵/۴±۲/۰[b]
سوریمی	۶۲/۳±۳/ ۱[a]	۵۸/۳±۷/ ۸

میانگین‌های موجود در یک ستون با حروف بالا به طور قابل توجهی متفاوت هستند (p<۰/۰۵).

۸. نتیجه‌گیری کلی

استفاده از زائدات حاصل از فرآوری آبزیان و گونه‌های ماهی کم استفاده، یکی از مهم‌ترین چالش‌های صنعت غذاهای دریایی در سال‌های اخیر بوده است. طبق مطالعات صورت گرفته، فرآیند تغییر pH نسبت به سوریمی برای بازیابی پروتئین از این مواد خام مناسب‌تر است و می‌تواند جایگزینی برای روش سوریمی باشد (Thorkelsson *et al*., 2008) و پروتئین کنسانترهٔ تولیدی به این روش بازدهی و خواص تغذیه‌ای و عملکردی بالاتری را نسبت به روش فرآوری مرسوم (سوریمی) داراست. از این‌رو چشم‌انداز آیندهٔ فرآوردهٔ FPI، استفاده از این منابع جدید پروتئینی در محصولات غذایی انسان است. بنابراین، می‌توان از این فناوری جهت تجاری‌سازی از حجم زیادی از محصولات جانبی و گونه‌های ماهی کم استفاده و تولید انواع محصولات دریایی بهره گرفت.

۹. منابع

References

Aspevik, T., Oterhals, Å., Rønning, S.B., Altintzoglou, T., Wubshet, S.G., Gildberg, A., Afseth, N.K., Whitaker, R.D. and Lindberg, D. (2017) Valorization of proteins from co-and by-products from the fish and meat industry. *Chemistry and Chemical Technologies in Waste Valorization* 123-150. DOI: 10.1007/s41061-017-0143-6

Batista, I., 1999. Recovery of proteins from fish waste products by alkaline extraction. *European Food Research and Technology* 210(3), 84-89. DOI: 10.1007/s002170050539

Batista, I., Mendes, R., Nelhas, R., Pires, C., 2003. Proteins from sardine and blue whiting recovered by new extraction techniques: solubility and gelation properties. *First Join Trans* 13(3), 1814-1822. DOI: 10.1177/108201320707961

Chen, Y., Nguyen, J., Semmens, K., Beamer, S., Jaczynski, J., 2007. Physicochemical changes in ω− 3-enhanced farmed rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) muscle during refrigerated storage. *Food Chemistry* 104(2), 1143-1152. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.01.012

Chen, Y.C., Tou, J., Jaczynski J., 2009. Amino acid and mineral composition of protein and other components and their recovery yields from whole Antarctic krill (*Euphausia superba*) using isoelectric solubilization/precipitation. *Journal of Food Science* 74(1), H31-H39. DOI:10.1111/j.1750-3841.2008.01026.x

Foh, M., Kamara, M., Amadou, I., Foh, B., Xia, W. 2011. Chemical and physicochemical properties of tilapia (Oreochromis niloticus) fish protein hydrolysate and concentrate. *International Journal of Biological Chemistry* 5(4), 21-36. DOI : 10.3923/ijbc.2011.21.36

Fu, X.J., Wu, Y., Li, Z.H., 2012. Using pH-shifting process to recover proteins for low salt gel products from silver carp. In: Advanced Materials Research, *Trans Tech Publ*, pp. 1285-1288. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.554-556.1285

Gehring, C., Gigliotti, J., Moritz, J., Tou, J., Jaczynski, J., 2011. Functional and nutritional characteristics of proteins and lipids recovered by isoelectric processing of fish by-products and low-value fish: A review. *Food Chemistry* 124, 422 431. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.06.078

Gildberg, A., 2002. Enhancing returns from greater utilization. In: Safety and quality issues in fish processing, *Elsevier*, pp. 425-449. BOOK

Hultin, H.O., Kelleher, S.D., 2000. Surimi processing from dark muscle fish. *Food Science And Technology-New York-Marcel Dekker-*, 59-78. BOOK

Jafarpour, S.A., Shabanpour, B., Shirvani Filabadi, S., 2013. Biochemical properties of Fish Protein Isolate (FPI) from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) by application of acid-alkali processes compared to traditional prepared Surimi. *Ecopersia* 1(3), 315-327.DOR: 20.1001.1.23222700.2013.1.3.4.8

Kakko, T., Damerau, A., Nisov, A., Puganen, A., Tuomasjukka, S., Honkapää, K., Tarvainen, M., Yang, B., 2022. Quality of protein isolates and hydrolysates from Baltic Herring (Clupea harengus membras) and Roach (Rutilus rutilus) produced by pH-shift processes and enzymatic hydrolysis. *Foods* 11(2): 230. DOI: 10.3390/foods11020230

Kristinsson, H., Demir, N., 2003. Functional protein isolates from underutilized tropical and subtropical fish species and byproducts. Advanced in Seafood Byproducts, *UA Alaska Sea Grant College Program*, Editor. P. Betchel: Anchorage, AK, pp. 277-298.

Kristinsson, H., Theodore, A., Ingadottir, B., 2007. Chemical processing methods for protein recovery from marine by-products and underutilized fish species. In: Maximising the value of marine by-products, Elsevier, pp. 144-168.DOI: 10.1533/9781845692087.1.144

Kristinsson, H.G., Hultin, H.O., 2003. Changes in conformation and subunit assembly of cod myosin at low and high pH and after subsequent refolding. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51, 7187-7196. DOI: 10.1021/jf026193m

Kristinsson, H.G., Hultin, H.O., 2004. Changes in trout hemoglobin conformations and solubility after exposure to acid and alkali pH. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52, 3633-3643. DOI: 10.1021/jf034563g

Kristinsson, H.G., Theodore, A.E., Demir, N., Ingadottir, B., 2005. A comparative study between acid-and alkali-aided processing and surimi processing for the recovery of proteins from channel catfish muscle. *Journal of Food Science* 70, C298-C306. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2005.tb07177.x

Marmon, S., 2012. Protein Isolation from Herring (*Clupea harengus*) Using the pH-Shift Process–Protein Yield, Protein Isolate Quality and Removal of Food Contaminants, Chalmers Tekniska Hogskola (Sweden). THESIS

Matak, K.E., Tahergorabi, R., Jaczynski, J., 2015. A review: Protein isolates recovered by isoelectric solubilization/precipitation processing from muscle food by-products as a component of nutraceutical foods. *Food Research International* 77, 697-703. DOI: 10.1016/j.foodres.2015.05.048

Mireles Dewitt, C., Nabors, R., Kleinholz, C., 2007. Pilot plant scale production of protein from catfish treated by acid solubilization/isoelectric precipitation. *Journal of Food Science* 72, E351-E355. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00407.x

Nisov, A., Kakko, T., Alakomi, H.-L., Lantto, R., Honkapää, K., 2022. Comparison of enzymatic and pH shift methods to extract protein from whole Baltic herring (Clupea harengus membras) and roach (Rutilus rutilus). *Food Chemistry* 373, 131524. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131524

Nolsøe, H., Imer, S., Hultin, H.O., 2007. Study of how phase separation by filtration instead of centrifugation affects protein yield and gel quality during an alkaline solubilisation process–different surimi-processing methods. *International Journal of Food Science and Technology* 42, 139-147. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2006.01162.x

Nolsøe, H., K Marmon, S., Undeland, I., 2011. Application of filtration to recover solubilized proteins during pH-shift processing of blue whiting (Micromesistius poutassou); effects on protein yield and qualities of protein isolates. *The Open Food Science Journal* 5, 34-40. DOI: 10.2174/1874256401105010001

Palafox, H., Cordova-Murueta, J.H., Del Toro, M.a.N., García-Carreño, F.L., 2009. Protein isolates from jumbo squid (Dosidicus gigas) by pH-shift processing. *Process Biochemistry* 4, 587-584, 4. DOI: 10.1016/j.procbio.2009.02.011

Petty, H. and Kristinsson, H. (2004) Impact of antioxidants on lipid oxidation during acid and alkali processing of Spanish mackerel. In: IFT annual meeting, Las Vegas, *Conference Proceeding* pp. 7-12.

Phetsang, H., Panpipat, W., Undeland, I., Panya, A., Phonsatta, N., Chaijan, M., 2021. Comparative quality and volatilomic characterisation of unwashed mince, surimi, and pH-shift-processed protein isolates from farm-raised hybrid catfish (*Clarias macrocephalus*× *Clarias gariepinus*). *Food Chemistry* 364, 130365. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130365

Pramono, H., Pujiastuti, D., Sahidu, A., 2018. Biochemical and physicochemical analysis of fish protein isolate recovered from red snapper (*Lutjanus* sp.) by-product using isoelectric solubilization/precipitation method. In: IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, p. 012061. DOI: 10.1088/1755-1315/137/1/012061

Sasidharan, A., Venugopal, V., 2020. Proteins and co-products from seafood processing discards: Their recovery, functional properties and applications. *Waste and Biomass Valorization* 11, 5647-5663.

Singh, K., Singh, N., Kaur, A., Virdi, A. S., Dar, O. I., Sharma, S., 2019. Functional properties and dynamic rheology of protein isolates extracted from male and female common carp (Cyprinus carpio) muscle subjected to pH-shifting method. *Journal of Food Processing and Preservation* 43(11), e14181. DOI: 10.1007/s12649-019-00812-9

Shabanpour, B., Etemadian, Y., Alami, M. 2015. Comparative study on some biochemical characteristics of surimi from common carp and silver carp and proteins recovered using an acid-alkaline process. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 14, 583-597. DOR: 20.1001.1.15622916.2015.14.3.20.1

Shaviklo, G.R. and Johannsson, S., 2006. Quality assessment of fish protein isolates using surimi standard methods. *Fisheries Training Programme*, Final Project. 18, 170-190.

Shaviklo, G.R., 2008. Evaluation and utilisation of fish protein isolate products *Fisheries Training Programme*, Final Project 12, 160-173.

Surasani, V.K.R. 2018. Acid and alkaline solubilization (pH shift) process: a better approach for the utilization of fish processing waste and by-products. *Environmental Science and Pollution Research* 25, 18345-18363. DOI: 10.1007/s11356-018-2319-1

Surasani, V. K. R., Raju, C.V., Sofi, F.R., Shafiq, U., 2022. Utilization of protein isolates from rohu (Labeo rohita) processing waste through incorporation into fish sausages; quality evaluation of the resultant paste and end product. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 102(3), 1263-1270. DOI: 10.1002/jsfa.11464

Tahergorabi, R., Beamer, S.K., Matak, K.E., Jaczynski, J., 2011. Effect of isoelectric solubilization/precipitation and titanium dioxide on whitening and texture of proteins recovered from dark chicken-meat processing by-products. *LWT-Food Science and Technologyi* 44, 896-903. DOI: 10.1016/j.lwt.2010.10.018

Tahergorabi, R., Matak, K.E., Jaczynski, J., 2015. Fish protein isolate: Development of functional foods with nutraceutical ingredients. *Journal of Functional Foods* 18, 746-756. DOI: 10.1016/j.jff.2014.05.006

Tahergorabi, R., Sivanandan, L., Jaczynski, J., 2012. Dynamic rheology and endothermic transitions of proteins recovered from chicken-meat processing by-products using isoelectric solubilization/precipitation and addition of TiO2. *LWT-Food Science and Technology* 46, 148-155. DOI: 10.1016/j.lwt.2011.10.013

Taskaya, L., Chen, Y.-C., Beamer, S., Tou, J.C., Jaczynski, J., 2009. Compositional characteristics of materials recovered from whole gutted silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) using isoelectric solubilization/precipitation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57, 4259-4266. DOI: 10.1021/jf803974q

Thorkelsson, G., Sigurgisladottir, S., Geirsdottir, M., Jóhannsson, R., Guerard, F., Chabeaud A., Bourseau, P., Vandanjon, L., Jaouen, P., Chaplain-Derouiniot, M., Fouchereau-Peron M., Martinez Alvarez O., Le Gal, Y., Ravallec-Ple, R., Picot, L., Berge, J-P., Delannoy, C., Jakobsen, G., Johansson, I., Batista, I. 2008. Mild processing techniques and development of functional marine protein and peptide ingredients. In Improving seafood products for the consumer (Borresen T.). Archimer, pp. 47-167.

Torres, J., Chen, Y.-C., Rodrigo-Garcia, J., Jaczynski, J., 2007. Recovery of by-products from seafood processing streams. In: Maximising the value of marine by-products, *Elsevier*. pp. 65-90. DOI: 10.1533/9781845692087.1.65

Undeland, I., Hall, G., Wendin, K., Gangby, I., Rutgersson, A., 2005. Preventing lipid oxidation during recovery of functional proteins from herring (*Clupea harengus*) fillets by an acid solubilization process. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 5625-5634. DOI: 10.1021/jf0404445

Undeland, I., Kelleher, S.D., Hultin, H.O., 2002. Recovery of functional proteins from herring (Clupea harengus) light muscle by an acid or alkaline solubilization process. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(25), 7371-7379. DOI: 10.1021/jf020199u

Yasothai, R., Giriprasad, R., 2015. Acid/Alkaline solublization method of processing protein. International Journal of Science ,*Environment and Technology* 4, 96-100. DOI: 10.1021/jf020199u

Zayas, J.F. (1997) Functionality of proteins in food, *Springer Science and Business Media*. pp. 65-90. BOOKZhang, J., Ström, A., Bordes, R., Alminger, M., Undeland, I., Abdollahi, M., 2023. Radial discharge high shear homogenization and ultrasonication assisted pH-shift processing of herring co-products with antioxidant-rich materials for maximum protein yield and functionality. *Food Chemistry* 400, 133986. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.133986

Zhong, S., Liu, S., Cao, J., Chen, S., Wang, W., Qin, X., 2016. Fish protein isolates recovered from silver carp (Hypophthalmichthys molitrix) by-products using alkaline pH solubilization and precipitation. *Journal of Aquatic Food Product Technology* 25(3), 400-413. DOI: 10.1080/10498850.2013.865282