مجله علوم و فنون شیلات
دوره ۱۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴، صفحات ۲۰۷ تا ۲۱۷

ارزش تغذیه‌ای فازهای محلول و جامد استیک‌واتر حاصل از فرایند تولید پودر ماهی کیلکا برای کاربرد در تغذیه آبزیان

محمدمهدی شاه‌محمدپور عسکری[۱]، محمد کاظم میرزاخانی[۱]، عبدالمحمد عابدیان کناری[۱]*

۱- گروه تکثیر و پرورش آبزیان، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

چکـــیده

استیک‌واتر، یکی از محصولات جانبی غنی از مواد مغذی در فرآیند تولید پودر ماهی، شامل دو بخش محلول و جامد است که هر یک پتانسیل استفاده در جیره‌های دام و آبزیان را دارند. این مطالعه با ارزیابی ترکیب شیمیایی شامل تجزیه تقریبی، ترکیب اسیدهای آمینه و اسیدهای چرب در فازهای محلول و جامد استیک‌واتر انجام شد. نمونه‌ها از یک واحد فرآوری پودر ماهی کیلکا جمع‌آوری شده و هر دو بخش از نظر پروتئین، چربی، خاکستر، رطوبت، اسیدهای آمینه و اسیدهای چرب مورد آنالیز قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بخش جامد از نظر پروتئین (۷۰/۷۳ درصد) و چربی (۱۷/۶۱ درصد) غنی‌تر بوده و دارای مقادیر بالاتری از اسیدهای آمینه غیرضروری مانند گلایسین می‌باشد. در مقابل، فاز محلول علاوه بر میزان پروتئین نسبتا بالا (۶۷/۲ درصد)، با دارا بودن بالاترین سطوح اسیدهای چرب چند غیراشباع بلند زنجیره (HUFA) شامل EPA، DHA و ARA و نیز غلظت برتر اسیدهای آمینه ضروری مانند لوسین و ایزولوسین یک منبع تغذیه‌ای با ارزش شناسایی شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که فازهای محلول و جامد استیک‌واتر دارای پتانسیل های تغذیه‌ای مکمل و متمایزی هستند و می‌توان از فاز محلول به عنوان منبعی غنی از HUFA و اسیدهای آمینه ضروری در دوره‌های حساس پرورش و از فاز جامد به عنوان منبع پروتئین و انرژی در جیره‌های پایه آبزیان استفاده نمود.

کـــلید واژه‌ها: استیک‌واتر، ترکیبات مغذی، اسیدهای آمینه، اسیدهای چرب، محصولات جانبی شیلاتی

نوع مقـاله

مقاله پژوهشی اصیل

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۰
تاریخ چاپ الکترونیکی: ۱۴۰۴/۰۹/۲۴

*نویسنده مسئول:
aabedian@modares.ac.ir

مقدمه

جمعیت جهان به سرعت در حال افزایش است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ به ۱۰ میلیارد نفر برسد. این افزایش جمعیت، نیاز به منابع غذایی را به طور چشمگیری افزایش خواهد داد (FAO, 2022). در این میان، صنعت آبزی‌پروری به عنوان یکی از مهم‌ترین و کارآمدترین روش‌ها برای تأمین پروتئین حیوانی نقش حیاتی ایفا می‌کند. این صنعت طی دهه گذشته رشد قابل توجهی داشته (Wang et al., 2020) و بالاترین نرخ رشد را در میان بخش‌های تولید غذا به خود اختصاص داده است (Hodar et al., 2020) در دو دهه اخیر، تولیدات آبزی‌پروری جهانی از حدود ۴۰ میلیون تن در سال ۲۰۰۰ به ۸۷/۵ میلیون تن در سال ۲۰۲۰ افزایش یافته که رشدی معادل ۱۲۰ درصد را نشان می‌دهد (Duman et al., 2023). این رشد عمدتاً ناشی از تولید ماهیان پرورشی در مناطق آسیایی بوده است. از سوی دیگر، تغذیه و تأمین خوراک مناسب برای آبزیان چالشی اساسی است که بیش از نیمی از هزینه‌های جاری صنعت آبزی‌پروری را شامل می‌شود (Hardy, 2010). خوراک مناسب نه‌تنها رشد و سلامت بهتر آبزیان را تضمین می‌کند، بلکه کیفیت محصول نهایی را نیز بهبود می‌بخشد (Abedian Kenari et al., 2011). در این میان، افزودنی‌های خوراکی به‌عنوان راهکاری مؤثر برای بهبود خواص تغذیه‌ای و ظاهری خوراک مطرح شده‌اند. این افزودنی‌ها شامل ترکیبات طبیعی مانند ویتامین‌ها و روغن‌های گیاهی و ترکیبات مصنوعی نظیر مواد نگهدارنده و رنگ‌دهنده‌ها هستند. در صنعت آبزی‌پروری، افزودنی‌هایی مانند آمینواسیدها، آنزیم‌ها و پروبیوتیک‌ها نقش مهمی در بهینه‌سازی جیره غذایی دارند و عملکرد رشد آبزی، کیفیت و کارایی خوراک را بهبود می

بخشند (Yadav et al., 2021; Zuberi et al., 2024). یکی از محصولات جانبی فرآوری پودر ماهی، استیک‌واتر (Stickwater) است که حاوی مقادیر بالای پروتئین، آمینواسیدها، ویتامین‌ها و مواد معدنی است و به‌عنوان افزودنی غذایی مؤثر در تغذیه ماهیان مطرح شده است (Shaviklo et al., 2023; Martínez-Montaño et al., 2020). استیک‌واتر، که حدود ۶۰ درصد وزن ماهی فرآوری‌شده را شامل می شود، می‌تواند به دلیل ترکیبات ارزشمند خود نظیر پروتئین‌های محلول و پپتیدهای زیست‌فعال به بهبود تغذیه آبزیان کمک کند (Mahdabi and Shekarabi, 2018). افزایش تراکم در استخرهای پرورشی، اگرچه تولید در واحد سطح یا حجم را افزایش می‌دهد، اما می‌تواند عاملی تنش‌زا برای ماهیان باشد که سیستم ایمنی آن‌ها را تضعیف کرده و منجر به بروز بیماری‌ها می‌شود. استفاده بی‌رویه از مواد شیمیایی و آنتی بیوتیک‌ها برای کنترل بیماری‌ها، علاوه بر ایجاد مقاومت دارویی در عوامل بیماری‌زا، ممکن است خطراتی برای محیط‌زیست و سلامت انسان داشته باشد (Caipang et al., 2011). از این‌رو، استفاده از محرک‌های ایمنی به‌عنوان جایگزینی ایمن و مؤثر برای آنتی‌بیوتیک‌ها پیشنهاد شده است (Wang et al., 2017). این ترکیبات، که شامل پپتیدهای زیست‌فعال نیز هستند، با تقویت سیستم ایمنی ذاتی یا غیراختصاصی، مقاومت ماهیان را در برابر بیماری‌ها افزایش می‌دهند (Cicero et al., 2017). پپتیدهای زیست‌فعال با تعدیل پاسخ ایمنی از طریق مکانیسم‌های مختلف و همچنین فعالیت ضدمیکروبی نقش مهمی در فرآیند ایمنی ذاتی دارند؛ آن‌ها با اتصال به سطح باکتری هدف و ایجاد منفذ در غشای سلول هدف، منجر به مختل شدن فعالیت و در نتیجه از بین رفتن آن می‌شوند (Abdul et al., 2002; Hancock and Sahl, 2006). استیک‌واتر به دلیل دارا بودن ترکیبات زیست‌فعال می‌تواند به‌عنوان یک محرک ایمنی مؤثر در تغذیه آبزیان استفاده شود (Mirzakhani and Abedian Kenari, ۲۰۲۳). با وجود مزایای فراوان این محصول، تحقیقات محدودی درباره استفاده از آن در تغذیه ماهیان صورت گرفته است. مطالعه حاضر با هدف تبیین دقیق ارزش تغذیه‌ای این محصول جانبی، به ارزیابی و مقایسه ترکیب شیمیایی، پروفایل اسیدهای چرب و الگوی اسیدهای آمینه در فازهای محلول و جامد استیک‌واتر پرداخت تا با شناسایی قابلیت‌های کاربردی منحصر به فرد هر فاز، زمینه بهره‌گیری هدفمند از آن‌ها در فرمولاسیون جیره‌های غذایی آبزیان را فراهم نماید.

مواد و روش‌ها

تهیه پودر استیک‌واتر

استیک‌واتر از کارخانه تولید پودر کیلکا ماهیان کاسپین واقع در شهرک صنعتی میرود در استان مازندران (میرود–بابلسر) تهیه و تا زمان استفاده در فریزر ۲۰– درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (Kam et al., 2012). جهت جداسازی جامدات، استیک‌واتر در دمای محیط (۲۵ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۲۰ دقیقه و در 3000 RPM سانتریفیوژ شد. رسوبات به دست آمده در فریزر ۲۰– درجه سانتی‌گراد ذخیره شد و پس از انجماد با استفاده از دستگاه فریز درایر خشک گردید. سپس مواد خشک با استفاده از آسیاب پودر شده و تا زمان استفاده در فریزر نگهداری شد.

تهیه محلول استیک‌واتر

استیک‌واتر از شرکت تولید پودر ماهی کیلکای کاسپین (میرود–بابلسر) تهیه و به آزمایشگاه تغذیه و آنالیز دانشکده علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس منتقل و در دمای محیط (۲۵ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۲۰ دقیقه و در RPM ۳۰۰۰ سانتریفیوژ شد. قسمت محلول به دست آمده با استفاده از دستگاه فریز درایر خشک گردید. سپس مواد خشک با استفاده از آسیاب پودر و تا زمان استفاده در فریزر نگهداری شدند.

تجزیه تقریبی استیک‌واتر

آنالیز شیمیایی اولیه استیک‌واتر جهت تعیین میزان پروتئین، چربی، رطوبت، خاکستر و انرژی در آزمایشگاه تغذیه و آنالیز دانشکده علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. میزان پروتئین خام با استفاده از دستگاه اتوماتیک کجلدال و چربی خام با استفاده از سیستم سوکسله، میزان رطوبت از طریق خشک کردن مواد غذایی در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت در آون، میزان خاکستر از طریق سوزاندن مواد غذایی

در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت و محاسبه درصد کربوهیدرات مواد غذایی بر اساس روش AOAC (۲۰۰۵) انجام گرفت.

سنجش ترکیب اسید چرب استیک‌واتر

به این منظور از کلروفوم و متانول برای جداسازی نمونه چربی استفاده شد. با استفاده از روش Folch و همکاران (۱۹۵۷) مقدار یک گرم نمونه به بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری منتقل، سپس پنج میلی‌لیتر متانول به نمونه اضافه و به‌خوبی تکان داده شد. در ادامه ۱۰ میلی‌لیتر کلروفرم به نمونه‌ها اضافه و بالون ژوژه مجدد به‌خوبی تکان داده شد. جهت خروج کامل چربی، نمونه ۲۴ ساعت در دمای اتاق و در جای تاریک نگه‌داری شد. نمونه‌ها به قیف دکانتور منتقل و به آن‌ها پنج میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. بعد از یک ساعت سه فاز تشکیل شد. در قسمت پایین قیف دکانتور فاز چربی و حلال قرار گرفت که به وسیله قیف و کاغذ صافی به درون ظروف مخصوصی منتقل شد و در پایان پس از حلال‌پرانی به کمک گاز نیتروژن، چربی باقی ماند.

از روش Metcalf و Schmitz (۱۹۶۱) جهت استری کردن چربی استفاده شد. پنج میلی‌لیتر سود متانولی دو درصد، به چربی اضافه و مخلوط شدند. ظرف‌های حاوی نمونه به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شدند. ۲/۲ میلی‌لیتر محلول تری فلوراید بور (BF3) بعد از پایین آمدن دما به ترکیب به‌دست آمده اضافه گردید و به مدت سه دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شد. پس از سرد شدن، این ترکیب با یک میلی‌لیتر هگزان نرمال مخلوط و به آن یک میلی‌لیتر محلول نمک اشباع اضافه شد. مواد ذکر شده تکان داده شده و ظرف حاوی نمونه بر روی پایه نگهدارنده تا زمان تشکیل دو فاز مختلف قرار داده شد. فاز بالایی با دقت جدا شده و در نهایت از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) (برند Varian، مدل CP 3800، ساخت هلند) برای بررسی و شناسایی اسیدهای چرب موجود در نمونه استفاده گردید.

سنجش ترکیب اسید آمینه استیک‌واتر

به منظور تعیین ترکیب اسیدهای آمینه، در ابتدا به مدت ۲۴ ساعت نمونه‌ها با استفاده از اسید هیدروکلریدریک شش نرمال در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد هیدرولیز شدند. برای این کار در لوله‌های هضم، ۰/۱ گرم نمونه خشک ریخته شد و اسید هیدروکلریدریک شش نرمال به‌میزان ۷/۵ میلی‌لیتر به آن اضافه شد. سپس لوله‌های هضم در آون در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. در ادامه، حجم درون لوله‌ها با استفاده از آب مقطر دو بار تقطیر به ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد و سپس با استفاده از فیلتر پلی اتیلنی ۰/۲۲ میکرونی، عمل فیلتر انجام شد. عمل مشتق سازی اسیدهای‌آمینه با استفاده از ماده او–فتال آلدهید[1] (OPA) انجام گردید. با کمک دستگاه کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا (HPLC) (برند Knauer، مدل SmartLine، ساخت آلمان) و استفاده از ستون C18 با آشکار ساز فلورسنت (RF-10AXL) میزان اسیدهای‌آمینه کل تعیین شد (Lindroth and Mopper, 1979).

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی فاز محلول و جامد استیک‌واتر

جدول ۱ ترکیب شیمیایی فازهای محلول و جامد استیک‌واتر ماهی کیلکا را نشان می دهد. فاز جامد به طور مشخص دارای پروتئین خام (۷۰/۷۳٪) و چربی خام (۱۷/۶۱٪) بیشتری نسبت به فاز محلول (۶۷/۲ درصد پروتئین و ۴/۸ درصد چربی) بود چرا که فقط پپتیدهای محلول و بسیاری از املاح معدنی حاصل از پخت و فشار در فرآیند تولید پودر ماهی به فاز مایع راه می‌یابند. در مقابل فاز محلول با ۲۲/۹ درصد نسبت به فاز جامد با ۹/۴۳ درصد، مقادیر بیشتری از خاکستر داشت که نشان‌دهنده حل شدن بیشتر مواد معدنی در آب است. به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد

[1] O-Phthalaldehyde

فازهای محلول و جامد استیک‌واتر دارای تفاوت‌های معنی‌داری در ترکیب شیمیایی هستند که در این خصوص، یافته‌های این مطالعه با پژوهش Del Valle و Aguilera (۱۹۹۱) که به بررسی ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی استیک‌واتر ماهی ساردین (*Sardinops sagax*) و ارزیابی ترکیب شیمیای فاز جامد و فاز محلول استیک‌واتر پرداخت، هم راستا است. پروتئین مهم‌ترین و گران‌ترین جزء جیره‌های ماهی است (Kaushik and Seiliez, 2010). به علت ترکیب شیمیایی غنی از پروتئین و مواد معدنی، فاز محلول و جامد استیک‌واتر هر دو به طور بالقوه می‌توانند در ترکیب خوراک آبزیان و به عنوان جایگزین سایر منابع پروتئینی یا افزودنی غذایی مورد استفاده قرار گیرند.

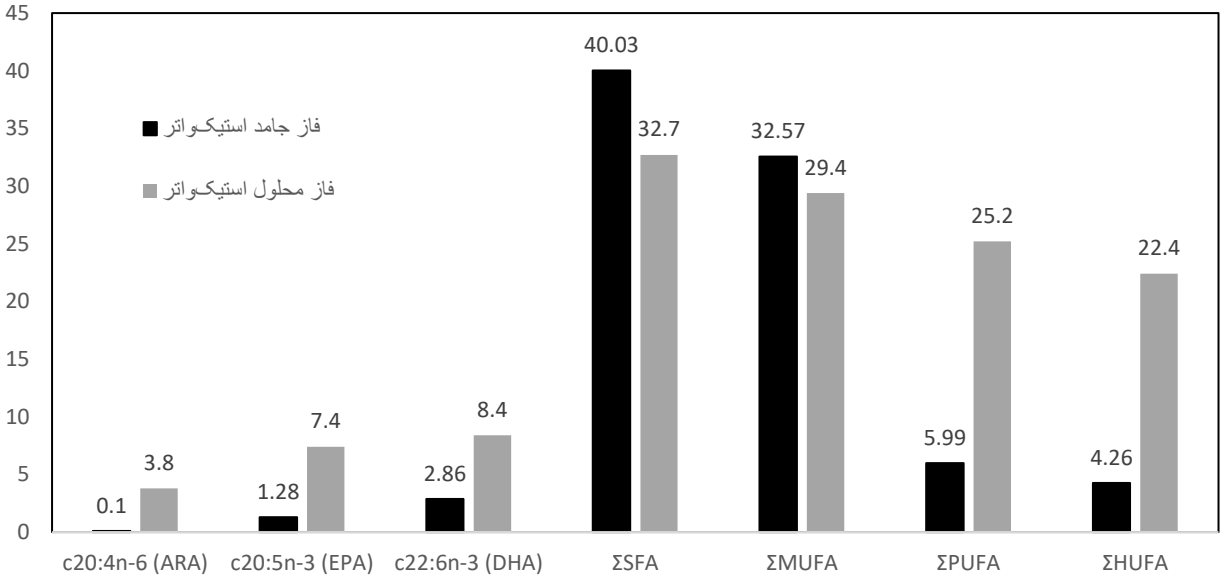
جدول ۱. مقایسه ترکیب شیمیایی استیک‌واتر محلول و جامد (بر حسب درصد ماده خشک)

فرآورده	پروتئین خام	چربی خام	خاکستر	کربوهیدرات	رطوبت
استیک‌واتر جامد	۷۰/۷۳	۱۷/۶۱	۹/۴۳	۰	۴/۷۰
استیک‌واتر محلول	۶۷/۲	۴/۸	۲۲/۹	۰/۳	۴/۸

ترکیب اسیدهای چرب فاز محلول و جامد

نمودار ۱ ترکیب اسیدهای چرب فازهای محلول و جامد استیک‌واتر حاصل از فرایند تولید پودر ماهی کیلکا را نشان می‌دهد. نتایج این مطالعه نشان داد که فاز محلول استیک‌واتر به‌طور چشمگیری غنی از اسیدهای چرب غیر اشباع چند زنجیره (PUFA) و اسیدهای چرب چند غیراشباع بلند زنجیره (HUFA) است، در حالی که فاز جامد عمدتاً شامل اسیدهای چرب اشباع (SFA) و اسیدهای چرب غیر اشباع تک زنجیره (MUFA) می‌باشد. به‌طور عددی، مجموع PUFA در فاز محلول برابر با ۲۵/۲ درصد در برابر با ۵/۹۹ درصد در فاز جامد و مجموع HUFA برابر با ۲۲/۴ درصد در فاز محلول و ۴/۲۶ درصد در فاز جامد است؛ مقادیر دوکوزا هگزانوئیک اسید (DHA) و ایکوزا پنتانوئیک اسید (EPA) به‌ترتیب در فاز محلول ۸/۴ درصد و ۷/۴ درصد و در فاز جامد ۲/۸۶ درصد و ۱/۲۸ درصد بود و آراشیدونیک اسید (ARA) در فاز محلول ۳/۸ درصد و ۰/۰۱ درصد در فاز جامد اندازه گیری شد. این الگوی تراکمی نشان داد که فاز محلول دارای حدود ۴ برابر PUFA، حدود ۳/۵ برابر HUFA، تقریباً ۲/۹۴ برابر DHA، ۵/۷۸ برابر EPA و نزدیک به ۳۸ برابر ARA نسبت به فاز جامد است؛ تفاوت‌هایی که از منظر تغذیه‌ای و بیولوژیک معنادارند. از منظر زیستی، تمرکز بالای HUFA و PUFA در فاز محلول اهمیت کاربردی دارد زیرا این اسیدهای چرب به عنوان اسیدهای چرب ضروری (EFA) شناخته می‌شوند و باید از طریق رژیم غذایی تأمین شوند (Calder, 2020; Sharma and Mandal, 2020; Troesch et al., 2020). HUFAهای امگا-۳ مانند DHA و EPA در ساختار غشای سلولی، تکامل عصبی و مسیرهای ضدالتهابی نقش تعیین‌کننده‌ای دارند، در حالی که ARA (امگا-۶) پیش‌ساز مولکول‌های پیش‌التهابی و تنظیم‌کننده پاسخ‌های التهابی است (Huyben et al., 2023; Calder, 2013; Hundal et al., 2022; Ortega-Gómez, et al., 2013). بنابراین، غلظت بالای DHA، EPA و ARA در فاز محلول نشان داد که این بخش پتانسیل بالاتری برای ارتقای پارامترهای فیزیولوژیک حساس به HUFA از جمله توسعه بافت‌های عصبی، عملکرد تولیدمثلی و تعدیل پاسخ ایمنی در آبزیان دارد (Tocher, 2003؛ Glencross, 2009؛ Oliver et al., 2020). عملکرد تغذیه‌ای متفاوت دو فاز را می‌توان از منظر عملی تفکیک کرد: فاز جامد با ۴۰/۳۰ درصد SFA و ۳۲/۵۷ درصد MUFA منبع انرژی پایدار و مقاوم‌تری نسبت به PUFAها فراهم می‌آورد و به‌دلیل مقاومت نسبی به اکسیداسیون برای کاربرد در خوراک‌های پایه و جیره‌های اقتصادی مناسب‌تر است؛ در مقابل، فاز محلول به‌عنوان منبع متمرکز HUFA و PUFA برای دوره‌های بحرانی زیستی مانند دوره نوزادی، رشد سریع و فازهای تولیدمثلی مناسب‌تر است، جایی که نیاز به DHA و EPA بالاست. نسبت‌های کیفی مانند PUFA/SFA و HUFA/SFA به‌طور قابل‌توجهی در فاز محلول بالاتر هستند و این نسبت‌ها شاخص‌های مناسبی برای ارزیابی کیفیت لیپیدی در تغذیه آبزیان به‌شمار می‌آیند (Abedian Kenari et al., 2009; Mead and Fulco, 1976). با این حال، چند نکته عملی و محدودیت باید در نظر گرفته شود. اول اینکه داده‌های ارائه‌شده به‌صورت درصد جرمی‌اند و برای ترجمه به فرمولاسیون عملی، لازم است غلظت‌های مطلق (به طور مثال میلی‌گرم HUFA به ازای هر گرم

نمونه یا به ازای کیلوگرم خوراک) تعیین شود تا سهم وزنی مؤثر فاز محلول در جیره قابل پیشنهاد باشد. دوم اینکه پایداری اکسیداتیو PUFA و HUFA در فاز محلول باید ارزیابی شود، زیرا اکسیداسیون می‌تواند اثر زیستی و خواص حسی را کاهش دهد و نیاز به افزودن آنتی‌اکسیدان‌ها یا بهبود شرایط ذخیره‌سازی را مطرح سازد (Glencross, 2009; Tocher, 2003). سوم اینکه اثرات بیولوژیک پیش‌بینی‌شده (رشد، کارایی تبدیل غذا، پارامترهای ایمنی و بقـا) باید در آزمایش‌های تغذیه‌ای کنترل‌شده تأیید شوند تا دوزهای مؤثر، بازه‌های ایمن و هرگونه تعامل منفی با سایر مؤلفه‌های جیره مشخص گردد. بنابراین فاز محلول استیک‌واتر به دلیل تمرکز بالای PUFA و HUFA به‌عنوان منبع هدفمند برای تأمین DHA، EPA و ARA در دوره‌های حساس زیستی توصیه می‌شود، در حالی که فاز جامد می‌تواند به‌عنوان پایه انرژی در خوراک‌های اقتصادی در صنعت آبزی‌پروری به‌کار رود و در صورت نیاز با منابع HUFA غنی ترکیب شود.



نمودار ۱. مقایسه ترکیب اسید چرب استیک‌واتر محلول و جامد (گرم/۱۰۰ گرم)

SFA: اسیدهای چرب اشباع (C14، C16، C18، C20، C22 و C24)؛ MUFA: اسیدهای چرب غیر اشباع تک زنجیره (C14:1n-5، C16:1n-7، C18:1n-9، C18:1n-7، C20:1n-9، C22:1n-9 و C24:1n-9)؛ PUFA : اسیدهای چرب غیر اشباع چند زنجیره(C18:2n-6، C18:3n-3، C20:2n-6، C20:3n-3، C20:4n-6، C20:5n-3 و C22:6n-3)؛ HUFA : اسیدهای چرب غیر اشباع با زنجیره بلند (C20:3n-3، C20:4n-6، C20:5n-3 و C22:6n-3).

ترکیب اسیدهای آمینه فاز محلول و جامد

جدول ۲ ترکیب اسیدآمینه فازهای محلول و جامد استیک‌واتر را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این مطالعه، مجموع اسیدهای آمینه ضروری در استیک‌واتر محلول و جامد به‌ترتیب برابر با ۵۰/۰۷ درصد و ۴۶/۹۳ درصد بود؛ همچنین مجموع اسیدهای آمینه غیرضروری در استیک‌واتر محلول ۴۸/۹۰ درصد و در فاز جامد ۴۶/۳۰ درصد گزارش شد. آسپارتیک اسید + گلوتامیک اسید در فاز محلول (۲۵/۰۷٪) تقریباً دو برابر مقدار مشاهده‌شده در فاز جامد (۱۲/۴۵٪) بود. لوسین در فاز محلول (۱۰/۵٪) نسبت به فاز جامد (۵/۹۳٪) افزایش قابل‌توجهی نشان داد. ایزولوسین در فاز محلول ۶/۴ درصد و در فاز جامد ۵/۳۳ درصد اندازه‌گیری شد. هیستیدین در فاز محلول ۶/۴ درصد و در فاز جامد ۱/۸۷ درصد گزارش گردید که حاکی از افزایش محسوس این اسیدآمینه در فاز محلول است. علاوه بر این، متیونین + والین در فاز محلول ۱۲/۳ درصد و در فاز جامد ۱۰/۸ درصد اندازه‌گیری شد. آلانین در فاز محلول ۹/۹۲ درصد و در فاز جامد ۸/۶ درصد گزارش شد. گلایسین (۱۳/۶٪)، سرین (۸/۲۸ ٪) و ترئونین (۶/۵۳ ٪) در فاز جامد بالاتر از فاز محلول بودند؛ مقادیر متناظر در فاز محلول به‌ترتیب ۳/۴ درصد، ۶/۵۳ درصد و ۲/۸ درصد ثبت شد. آرژنین + تائورین در فاز جامد ۹/۴۷ درصد و در فاز محلول ۷/۴ درصد گزارش گردید. تیروزین در هر دو فاز تقریباً مشابه بود (جامد ۳/۳۷ درصد و محلول ۳/۳۹

درصد). فنیل‌آلانین نیز تفاوت کمی بین فازها نشان داد (جامد ۴/۱۵ درصد و محلول ۴/۶ درصد). لیزین در فاز جامد بالاتر از فاز محلول بود (۳/۵۷ درصد در برابر ۲/۹ درصد). اسیدهای آمینه مولکول‌های زیستی با ارزشی هستند که در فرآیندهای حیاتی جانداران، از جمله تأمین انرژی، سنتز پروتئین و سایر عملکردهای بیولوژیکی، نقش کلیدی ایفا می‌کنند (Kaushik and Seiliez, 2010; Mohseni et al., 2011). اسیدهای آمینه غیرضروری عمدتاً به‌عنوان منابع متابولیک برای تولید انرژی به‌کار می‌روند، در حالی که اسیدهای آمینه ضروری برای برآوردن نیازهای ساختاری بدن و تأمین سوبستراهای لازم برای تولید پروتئین‌ها ضروری‌اند (Babaei et al., 2011). نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که فاز محلول استیک‌واتر نسبت به فاز جامد از غنای بالاتری در مجموع اسیدهای آمینه ضروری برخوردار بوده و به‌ویژه در لوسین، ایزولوسین، هیستیدین و مجموع آسپارتیک + گلوتامیک برجسته است؛ در مقابل، فاز جامد دارای سطوح بالاتری از برخی اسیدهای آمینه غیرضروری ساختاری مانند گلایسین، سرین و ترئونین بود. ترکیب مشاهده‌شده حاکی از تکمیل‌کنندگی نسبی دو فاز است به‌طوری‌که فاز محلول پتانسیل بیشتری برای تأمین اسیدهای آمینه ضروری لازم جهت بیوسنتز پروتئین دارد و فاز جامد می‌تواند به‌عنوان منبع اسیدهای آمینه غیرضروری ساختاری در حفظ یکپارچگی بافتی و تولید مولکول‌های پوششی عمل کند. علاوه بر این، گلوتامیک اسید، لوسین و تائورین به‌عنوان اسیدهای آمینه‌ای با قابلیت تحریک اشتها در آبزیان شناخته شده‌اند (Jafari Shamushaki et al., 2008; Mahdabi and Shekarabi, 2018)، که در این مطالعه مقادیر بیشتری از آن‌ها در فاز محلول استیک‌واتر مشاهده شد؛ این الگو می‌تواند نشان‌دهنده جذابیت بالاتر فاز محلول برای تغذیه آبزیان باشد. بر این اساس، فاز محلول استیک‌واتر ظرفیت بالایی برای تأمین اسیدهای آمینه موردنیاز در خوراک‌های آبزیان ارائه می‌دهد، هرچند تحقق پتانسیل تغذیه‌ای این فاز مستلزم بررسی‌های تکمیلی از جمله ارزیابی قابلیت هضم و زیست‌دسترس‌پذیری در گونه‌های هدف است.

جدول ۲. مقایسه ترکیب اسید آمینه استیک‌واتر محلول و جامد (گرم/۱۰۰ گرم)

نام اسید آمینه	استیک‌واتر جامد	استیک‌واتر محلول
آسپارتیک اسید + گلوتامیک اسید	۱۲/۴۵	۲۵/۰۷
سرین	۸/۲۸	۶/۵۳
هیستیدین	۱/۸۷	۶/۴
گلایسین	۱۳/۶	۳/۴۰
ترئونین	۶/۵۳	۲/۸
آرژنین + تائورین	۹/۴۷	۷/۴
آلانین	۸/۶	۹/۹۲
تیروزین	۳/۳۷	۳/۳۹
متیونین +والین	۱۰/۸	۱۲/۳
فنیل‌آلانین	۴/۱۵	۴/۶
ایزولوسین	۵/۳۳	۶/۴
لوسین	۵/۹۳	۱۰/۵
لیزین	۳/۵۷	۲/۹
مجموع اسیدهای آمینه ضروری [a]	۴۶/۹۳	۵۰/۷
مجموع اسیدهای آمینه غیر ضروری [b]	۴۶/۳	۴۸/۹

[a] اسیدهای آمینه ضروری: آرژنین، هیستیدین، لوسین، ایزولوسین، والین، لیزین، متیونین، ترئونین و فنیل‌آلانین

[b] اسیدهای آمینه غیر ضروری: آلانین، آسپاراتیک اسید، گلوتامیک اسید، گلایسین، سرین و تیروزین

نتیجه گیری نهایی

یافته‌های این مطالعه نشان داد که فاز محلول و فاز جامد استیک‌واتر حاصل از تولید پودر ماهی دارای ترکیب تغذیه‌ای متمایز و مکمل یکدیگر هستند؛ فاز محلول غنی از PUFA و HUFA به‌ویژه DHA، EPA، و ARA و همچنین دارای سهم بالاتری از اسیدهای آمینه ضروری (از جمله لوسین، ایزولوسین، هیستیدین و مجموع آسپارتیک+گلوتامیک) است، در حالی که فاز جامد حامل پروتئین و چربی خام بالاتر و نسبت بیشتری از SFA و MUFA و اسیدهای آمینه غیرضروری ساختاری (گلایسین، سرین، ترئونین) بوده و منبع انرژی پایدارتر و مقاوم به اکسیداسیون فراهم می‌آورد. بر پایه این نتایج، فاز محلول به‌عنوان منبع هدفمند HUFA و اسیدهای آمینه ضروری در دوره‌های حساس زیستی (نوزادی، رشد سریع، تولیدمثلی) توصیه می‌شود و فاز جامد به‌عنوان پایه انرژی در خوراک‌های اقتصادی و به عنوان مکمل پروتئینی کاربردی است. برای کاربرد عملی لازم است مقادیر مطلق HUFA و اسیدهای آمینه (میلی گرم بر گرم یا میلی گرم بر کیلوگرم خوراک)، پایداری اکسیداتیو فاز محلول، قابلیت هضم و همچنین زیست‌دسترس‌پذیری هر فاز در گونه‌های هدف تعیین شود تا دوزهای مؤثر و فرمولاسیون‌های ایمن و اقتصادی پیشنهاد گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از دانشگاه تربیت مدرس برای فراهم آوردن امکانات و پشتیبانی مالی و نیز از آقایان دکتر کمالی و دکتر نورانی و خانم خاکپور جهت همکاری در انجام ازمایشات نهایت سپاس را دارند.

تأییدیه اخلاقی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان گزارش نشده است، نوشته شود.

منابع مالی: هزینه ها انجام آزمایشات از طریق دانشگاه تربیت مدرس فراهم شده است.

سهم نویسندگان: محمد مهدی شاه محمدپور : انجام کارهای آزمایشگاهی، نمونه برداری، فراهم آوردن داده، تجزیه و تحلیل داده ها، نگارش و تصحیح مقاله. محمد کاظم میرزاخانی: انجام کارهای آزمایشگاهی، نمونه برداری، فراهم آوردن داده، تجزیه و تحلیل داده ها، عبدالمحمد عابدیان کناری: استاد راهنما، طراحی پژوهش، تجزیه و تحلیل داده‌ها، نگارش، تصحیح و ویرایش نسخه نهایی مقاله

منابع

Abdul Hamid, A., Bakar, G. & Bee, G. H. (2002). Nutritional quality of spray dried protein hydrolysate from Black Tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Food Chemistry* 78(1), 69 -74.

Abedian Kenari A. M., Sotoudeh, E. & Habibi Rezaei, M. (2011). Dietary soybean phosphatidylcholine affects growth performance and lipolytic enzyme activity in Caspian brown trout (*Salmo trutta Caspius*) alevin. *Aquaculture Research*, (42)5, 655-663.

Abedian, Kenari, A., Regenstein, J. M., Hosseini, S. V., Rezaei, M., Tahergorbi, R., Nazari, R. M. & Kaboli, S. A. (2009). Amino acid and fatty acid composition of cultured Beluga (*Huso huso*) of different ages. Journal of *Aquatic Food Product Technology*. 18 (3), 245-265.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2005). Official methods of analysis of the AOAC International, 18th end. AOAC International, Gaithersburg, MD.

Babaei, S. S., Abedian Kenari, A. & Nazari, R. M. (2011). Study of the amino acid composition of Iranian sturgeon larvae (*Asipenser persicus*) fed with live foods Artemia and Daphnia. *Iranian Scientific Journal of Fisheries*. Year 20, No. 2, pp. 1-7. (In Persian)

Calder, C. (2013). Omega-3 polyunsaturated fatty acids and inflammatory processes: nutrition or pharmacology?. British journal of *clinical pharmacology*, 75(3), 645–662.

Calder, C. (2020). Eicosapentaenoic and docosahexaenoic acid derived specialized pro-resolving mediators: concentrations in humans and the effects of age, sex, disease and increased omega-3 fatty acid intake*. Biochimie*. 178, 105–123.

Chopin, T. & Tacon, A. G. (2021). Importance of seaweeds and extractive species in global aquaculture production. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*, *29*(2), 139-148.

Cicero, A. F., Fogacci, F. & Colletti, A. (2017). Potential role of bioactive peptides in prevention and treatment of chronic diseases: a narrative review. *British journal of pharmacology*. 174 (11), 1378-1394.

Del Valle, J. M. & Aguileral, J. M. (1991). Physicochemical Characterisation of Raw Fish and Stickwater from Fish Meal Production. In J *Sci Food Agric* (Vol. 54).

Duman, M., Altun, S., Saticioglu, I. B. & Romalde, J. L. (2023). A review of bacterial disease outbreaks in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reported from 2010 to 2022. Journal of *Fish Diseases*.

FAO. (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.*

Folch, J., Lees, M. & Stanley, G. S. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. Journal of *biological chemistry*. 226 (1), 497-509.

Glencross, B. D. (2009). Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. Rev*. aquaculture*. 1(2), 71–124.

Hancock, R. & Sahl, H. G. (2006). Antimicrobial and host-defense peptides as new anti-infective therapeutic strategies. *Nat Biotechnol* 24, 1551–1557.

Hardy, R. W. (2010). Utilization of plant proteins in fish diets. *Aquaculture Research*, 41, 770-776.

Hodar, A. R., Vasava, R., Mahavadiya, D. R. & Joshi, N. H. (2020). Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: a review. *Journal of Experimental Zoology*, India. 23 (1), 13-21.

Hundal, B. K., Lutfi, E., Sigholt, T., Rosenlund, G., Liland, N. S., Glencross, B. & Sissener, N. H. (2022). A Piece of the Puzzle-Possible Mechanisms for Why Low Dietary EPA and DHA Cause Hepatic Lipid Accumulation in Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Metabolites*, 12(2), 159.

Huyben, D., Mayes, T., Bartie, K., Matthew, C., Sissener, N., Hundal, B. K., Homer, M. Z. M., Ruyter, B. & Glencross, B. (2023). Steroidogenic and innate immune responses in atlantic salmon are influenced by dietary total lipid, long chain polyunsaturated fatty acids and dissolved oxygen. *Aquaculture* 564, 739028.

Jafari Shamushaki V. A., Abtahi B., Kasumyan A. O., AbedianKenari A. & Ghorbani R. (2008). Taste attrac- tiveness of free amino acids for juveniles of Persian sturgeon *Acipenser persicus*. J *Ichthyol* 48(1),124–133.

Kam, S., Kenari, A. A. & Younesi, H. (2012). Production of single cell protein in stickwater by *lactobacillus acidophilus* and *aspergillus niger*. Journal of *Aquatic Food Product Technology*, 21(5), 403–417.

Kaushik, S. J. & Seiliez, I. (2010). Protein and amino acid nutrition and metabolism in fish: current knowledge and future needs. *Aquaculture Research*, 41(3), 322-332.

Lindroth, P. & Mopper, K. (1979). High performance liquid chromatographic determination of subpicomole amounts of amino acids by precolumn fluorescence derivatization with o-phthaldialdehyde. *Analytical chemistry*, 51(11), 1667-1674.

Mahdabi, M. & Hosseini Shekarabi, S. P. (2018). A comparative study on some functional and antioxidant properties of kilka meat, fishmeal, and stickwater protein hydrolysates. Journal of *Aquatic Food Product Technology*, 27, 844-858.

Martínez-Montaño, E., Osuna-Ruíz, I., Benítez-García, I., Osuna, C. O., Pacheco-Aguilar, R., Navarro-Peraza, R. S. & Salazar-Leyva, J. A. (2021). Biochemical and antioxidant properties of recovered solids with pH shift from fishery effluents (sardine stickwater and tuna cooking water). *Waste and Biomass Valorization*, *12*, 1901-1913.

Mead, J. F. & Fulco, A. J. (1976). The unsaturated and polyunsaturated fatty acids in health and disease. Thomas.

Metcalfe, L. D. & Schmitz, A. A. (1961). The Rapid Preparation of Fatty Acid Esters for Gas Chromatographic Analysis. *Analytical Chemistry*, 33, 363-364.

Mirzakhani, M. K. & Abedian Kenari, A. (2023). Immune-biochemical responses of beluga larvae (*Huso huso*) fed by different levels of fish factory stickwater. *Aquaculture International*, 1-11.

Oliver, L., Dietrich, T., Marañón, I., Villarán, M. C. & Barrio, R. J. (2020). Producing omega-3 polyunsaturated fatty acids: A review of sustainable sources and future trends for the EPA and DHA market. *Resources* 9 (12), 148.

Ortega-Gómez, A., Perretti, M. & Soehnlein, O. (2013).Resolutionof inflammation: an integrated view. *EMBO Mol. Med*. 5 (5), 661–674.

Sharma, T. & Mandal, C.C. (2020). Omega-3 fatty acids in pathological calcification and bone health. J. *Food Biochem*. 44 (8), e13333.

Shaviklo, A. R., Etemadian, Y. & Rafiepour, F. (2023). Properties and shelf-stability of co-dried common kilka (*Clupeonella cultriventris*) protein hydrolysate with agricultural residues as a new protein feed supplement. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 22(2), 405-422.

Tocher, D. R. (2003). Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. Rev. *Fisheries Science*. 11 (2), 107–184.

Troesch, B., Eggersdorfer, M., Laviano, A., Rolland, Y., Smith, A. D., Warnke, I., Weimann, A. & Calder, P. C. (2020). Expert Opinion on Benefits of Long-Chain Omega-3 Fatty Acids (DHA and EPA) in Aging and Clinical Nutrition. *Nutrients*, 12(9), 2555.

Wang, T., Wang, J., Xu, M., Wan, W., Guan, D., Han, H., Wang. Z. & Sun, H. (2020). A combination of rapeseed, cottonseed and peanut meal as a substitute of soybean meal in diets of Yellow River carp *Cyprinus carpio* var. *Aquaculture Nutrition*. 26 (5), 1520-1530.

Wang, W., Sun, J., Liu, C. & Xue, Z. (2017). Application of immunostimulants in aquaculture: current knowledge and future perspectives. *Aquaculture Research*, 48 (1), 1-23.

Yadav, M. k., Khati, A., Chauhan, R. S., Arya, P. & Semwal, A. (2021). A Review on Feed Additives used in Fish Diet. International Journal of *Environment, Agriculture and Biotechnology*, Vol-6, Issue-2.

Zuberi, A., Kamran, M., Younus, N. & Abdel-Tawwab, M. (2024). Editorial: Functional feed additives: current trends. *Frontiers in Aquaculture*, 3(April), 1–4.

Journal of Fisheries Science and Technology
Volume 14, Issue 3, Autumn 2025
Pages: 207- 217

The Nutritional Value of the Soluble and Solid Fractions of Stickwater Derived from Fishmeal Production Process of Kilka for Use in Aquafeed

Mohammad Mehdi Shahmohammadpour Askari[1]; Mohammad Kazem Mirzakhani[1], Abdolmohammad Abedian Kanari[1]*

1- Department of Aquaculture, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran

A B S T R A C T

Stickwater, a nutrient-rich byproduct of the fishmeal production process, consists of two phases soluble and solid each with potential applications in livestock and aqua feeds. This study evaluated the chemical composition, including proximate analysis, amino acid profile, and fatty acid composition, of both the soluble and solid phases of stickwater. Samples were collected from a Kilka fishmeal processing factory, and both fractions were analyzed for protein, lipid, ash, moisture, amino acids, and fatty acids. The results showed that the solid phase was richer in protein (70.73%) and lipid (17.61%), and contained higher levels of non-essential amino acids such as glycine. In contrast, the soluble fraction in addition to the relatively high protein content (67.2%), exhibited the highest levels of long-chain polyunsaturated fatty acids (HUFA), including EPA, DHA, and ARA, along with superior concentrations of essential amino acids such as leucine and isoleucine, identifying it as a valuable nutritional source. The findings demonstrate that the soluble and solid phases of stickwater possess complementary yet distinct nutritional potentials. The soluble phase can be utilized as a rich source of HUFA and essential amino acids during critical rearing stages, while the solid phase serves as an effective source of protein and energy in basal aqua feeds.

KEYWORDS: Stickwater, nutritional composition, amino acids, fatty acids, fisheries by-product

ARTICLE TYPE

Original Research

ARTICLE HISTORY

Received: 02 October 2025

Accepted: 12 October 2025

ePublished: 15 December 2025

* Corresponding Author:
Email address: aabedian@modares.ac.ir
Tel: 01144998000
© Published by Tarbiat Modares University
ISSN: 2322-5513