



مدیریت و بازیابی ضایعات ماهی : مطالعه مروری

آیدا مولودی^{۱*}، عارف نجفی^۱، زهرا نوبخت^۱

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده تغذیه و علوم غذایی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

چکیده

صنایع فرآوری ماهی، مقادیر قابل توجهی ضایعات و محصولات جانبی تولید می کنند که بسته به گونه ماهی و روش های فرآوری آن، ۶۰-۷۰ درصد از کل زیست توده ماهی را تشکیل می دهند [۱،۲]. در صورتی که این جریان های زائد آلی به درستی مدیریت نشوند، می توانند اثرات منفی بر محیط زیست داشته باشند؛ تقاضای بیولوژیکی اکسیژن بالا (BOD)، انتشار گازهای گلخانه ای و پدیده یوتروفیکاسیون از جمله این اثرات می باشند [۳،۴]. از سوی دیگر، ضایعات ماهی منبع غنی از پروتئین ها، لیپیدها، مواد معدنی و ترکیبات زیست فعال است و بنابراین پتانسیل قابل توجهی برای بازیابی و ارزش آفرینی با تبدیل به محصولات با ارزش افزوده متنوع مانند پپتیدهای زیست فعال، کلاژن، سوخت زیستی و سایر مواد عملکردی دارد [۵،۶]. این مقاله مروری، خلاصه ای از متون علمی اخیر را در زمینه ویژگی های ضایعات ماهی، اثرات زیست محیطی، استراتژی های مدیریت ضایعات، فناوری های بازیابی، ارزش آفرینی محصولات و چشم اندازهای آینده ارائه می کند و بر رویکردهای پایدار و مبتنی بر اقتصاد چرخشی تأکید دارد [۷،۸،۹].

کلمات کلیدی: ضایعات ماهی، بازیابی ضایعات، اقتصاد چرخشی، محیط زیست، مواد زیست فعال، زنجیره غذایی

۱. مقدمه

در دهه های اخیر، تولید شیلات و آبی پروری در سطح جهانی به طور چشمگیری افزایش یافته است که این امر ناشی از رشد جمعیت و تقاضای رو به افزایش برای مواد غذایی دریایی است [۸،۲]. این رشد سریع در صنایع مربوطه، به تولید مقادیر عظیمی از محصولات جانبی و ضایعات ناشی از فرآوری منجر شده است که شامل سر، احشاء، پوست، استخوان و فلس می شود و بخش بزرگی از زیست توده تولیدشده را تشکیل می دهد [۹،۱]. ضایعات فرآوری ماهی حدود ۳۰-۷۰ درصد از وزن کل ماهی را شامل می شود که این مقدار، بسته به گونه و روش های فرآوری متفاوت است [۴،۲]. روش های متداول مدیریت این ضایعات شامل دفن در خاک، تخلیه در فضای باز و دفع در آب است که با آزادسازی آلاینده های آلی، بوهای نامطبوع و گازهای گلخانه ای، محیط زیست را تخریب می کنند [۱۰،۳]. از سوی دیگر، ترکیبات غنی از مواد مغذی در ضایعات ماهی - یعنی ارزش بالای پروتئین ها و لیپیدهای آن - امکان ارزش آفرینی آن از دیدگاه پالایش زیستی فراهم می کند [۶،۵]. مدیریت استراتژیک و ارزش گذاری ضایعات ماهی می تواند عملکردهای

زیست‌محیطی را بهبود بخشد و همزمان اقتصاد زیستی چرخشی مبتنی بر محصولات با ارزش بالا، مانند پتیدهای زیست‌فعال، اسیدهای چرب امگا۳، کلاژن و سوخت‌های زیستی ایجاد کند [۷،۱۱].

۲. ویژگی‌های ضایعات فرآوری ماهی

ویژگی‌های ضایعات فرآوری ماهی بسیار متنوع است و تحت تأثیر گونه ماهی، روش فرآوری و مکان آن قرار دارد [۱۲،۱۳]. با این وجود، ضایعات فرآوری ماهی غنی از پروتئین (۴۰-۶۰ درصد در ماده خشک)، لیپیدها، مواد معدنی و مواد زیست‌فعال است [۱۴]. برای مثال، بخش‌های عمده ماهی مانند احشاء و سر ماهی دارای ترکیب پروتئین و لیپید بالا هستند. بنابراین برای فرآوری و استخراج مواد زیست‌فعال از آن‌ها مفیدند [۱۵]. محتوای رطوبت محصولات جانبی ماهی معمولاً بالا (>۶۰ درصد) است که در صورت عدم فرآوری فوری مواد زائد، منجر به تجزیه زیستی آسان آن توسط میکروارگانیسم‌ها می‌شود [۱۶]. تجزیه و تحلیل جامع انواع ضایعات، شامل جامدات کل، جامدات فرار و محتوای بیوشیمیایی، نقش حیاتی در شناسایی بهترین روش‌های بهره‌برداری آن ایفا می‌کند [۱۷]. چنین تحلیلی می‌تواند در انتخاب روش‌هایی مانند هیدرولیز آنزیمی، تخمیر، هضم بی‌هوازی یا روش‌های استخراج پیشرفته کمک کننده باشد [۱۸].

جدول ۱. جریان‌های ضایعات ماهی، ویژگی‌های بیوشیمیایی، ریسک‌های زیست‌محیطی و گزینه‌های ارزش گذاری

جریان ضایعات ماهی	سهم معمول زیست توده (%)	اجزای بیوشیمیایی غالب	خطر زیست محیطی در صورت عدم مدیریت	فناوری‌های ارزش گذاری ترجیحی	محصولات با ارزش بالا
سر و اسکلت	۱۵-۲۵	پروتئین‌ها، مواد معدنی (کلسیم، فسفر)	بو نامطبوع، رشد پاتوژن‌ها	هیدرولیز آنزیمی، استخراج مواد معدنی	هیدرولیزات پروتئین، مواد اولیه خوراک
پوست و فلس	۵-۱۰	کلاژن، ژلاتین، مواد معدنی	تجمع زباله جامد	استخراج اسیدی-آنزیمی	کلاژن، ژلاتین، مواد زیستی
احشا	۱۰-۲۰	لیپیدها، آنزیم‌ها، پروتئین‌ها	فساد سریع، انتشار گازهای گلخانه‌ای	استخراج نفت، هضم بی‌هوازی	روغن‌های امگا۳، گاز زیستی
استخوان‌ها	۵-۱۰	هیدروکسی آپاتیت، کلاژن	بار دفع طولانی مدت	معدنی زدایی، پیرولیز	فسفات کلسیم، زغال زیستی
پساب و لجن	متغیر	مواد آلی، مواد مغذی	یوتروفیکاسیون، BOD/COD بالا	هضم بی‌هوازی، بازیابی مواد مغذی	گازهای زیستی، کودها



طبقه بندی سیستماتیک جریان های اصلی ضایعات فرآوری ماهی، ویژگی های بیوشیمیایی آن ها، ریسک های زیست محیطی و مسیرهای بهینه ارزش آفرینی.

۳. اثرات زیست محیطی مدیریت نادرست ضایعات ماهی

دفع نامناسب ضایعات ماهی چالش های بزرگی برای محیط زیست ایجاد می کند. زائدات آلی تصفیه نشده می تواند تقاضای بیولوژیکی اکسیژن و تقاضای شیمیایی اکسیژن بالایی در آب ها ایجاد کند که منجر به کاهش اکسیژن و اثرات مخرب بر حیات آبی می شود [۱۹]. علاوه بر این، تجزیه زائدات آلی می تواند باعث آزاد شدن گاز های متان و دی اکسید کربن شود که به انتشار گازهای گلخانه ای منجر می شود [۲۰]. جدا از افت کیفیت آب، ضایعات ماهی مدیریت نشده می توانند باعث تولید بوهای نامطبوع و جذب حشرات شوند، که این موضوع نگرانی های بهداشتی ایجاد می کند [۲۱]. تمامی این اثرات زیست محیطی بر اهمیت رویکردهای مدیریت ضایعات متعادل تأکید می کنند. رویکردهایی که همزمان آلودگی و بازیابی منابع را در نظر بگیرند [۲۱].

۴. چارچوب های مدیریت ضایعات ماهی

۴.۱. رویکردهای اقتصاد زیستی چرخشی

مفهوم اقتصاد زیستی چرخشی بر استفاده از جریان های زائد برای تولید محصولات با ارزش تأکید دارد. در نتیجه باعث کاهش بار زیست محیطی می شود و منافع اقتصادی بیشتری ایجاد می کند [۲۲]. ارزش گذاری بر ضایعات ماهی در این دسته قرار می گیرد زیرا به جای استفاده از منابع غیرقابل تجدید، محصولات جانبی را به مواد مفید و انرژی تبدیل می کند [۲۳]. استراتژی هایی که می توانند اقتصاد چرخشی را تقویت کنند عبارتند از تفکیک ضایعات در مبدأ، استفاده از فناوری پالایش زیستی برای تبدیل زیست توده به محصولات متنوع و همچنین ایجاد هماهنگی میان ذی نفعان مختلف صنعت برای بهره برداری از منابع مشترک [۲۲، ۲۴]. این چارچوب ها می توانند هزینه دفع ضایعات را کاهش دهند و جریان های درآمدی جدیدی ایجاد کنند [۲۱].

۵. تبدیل ضایعات ماهی به محصولات با ارزش بالا

۵.۱. پتیدهای زیست فعال و هیدرولیزات های پروتئینی

یکی از امیدوارکننده ترین محصولات با ارزش افزوده بدست آمده از ضایعات ماهی، هیدرولیزات های پروتئینی هستند. هیدرولیز، که معمولاً با پروتئازهای آنزیمی انجام می شود، پروتئین ها را به پپتیدهایی با خواص عملکردی مانند فعالیت آنتی اکسیدانی، ضد میکروبی و ضد فشارخون تجزیه می کند [۲۵]. چنین پپتیدهای زیست فعالی را می توان در غذاهای عملکردی، نوتراسوتیکال ها و فرمولاسیون های آرایشی استفاده کرد و کاربردهای بالقوه آن ها را فراتر از مواد غذایی متداول گسترش داد [۲۶]. فناوری های پیشرفته استخراج، شامل



هیدرولیز با کمک اولتراسونیک و مایکروویو، قادرند بازده عملیات را نسبت به روش‌های سنتی بهبود بخشند و زمان فرآوری را کاهش دهند [۲۷].

۵.۲ بازیابی کلاژن و ژلاتین

کلاژن و ژلاتین استخراج شده از پوست و استخوان ماهی دارای ارزش بالقوه در زمینه‌های غذایی، دارویی و زیست‌پزشکی هستند که این امر ناشی از زیست‌سازگاری و خواص عملکردی آن‌ها است [۲۸، ۲۹]. برخی از روش‌های رایج استخراج اسیدی و آنزیمی برای استخراج کلاژن به کار گرفته می‌شوند و سپس آن را به ژلاتین دنا توره می‌کنند [۲۸]. این مواد زیستی در فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر، سیستم‌های دارو رسانی و ساختارهای مهندسی بافت کاربرد دارند [۲۹].

۵.۳ لیپیدها و اسیدهای چرب امگا-۳

ضایعات ماهی، به ویژه احشاء، منبع خوبی از لیپیدها، حاوی مقادیر بالای اسیدهای چرب امگا-۳ مانند EPA و DHA هستند. این ترکیبات اثرات مفید زیادی بر سلامت انسان دارند و می‌توانند به عنوان محصولات با ارزش افزوده برای مکمل‌های غذایی و غذاهای کاربردی فراسودمند با تقاضای بالا استفاده شوند [۳۰]. استخراج لیپیدها معمولاً به روش استخراج حلالی یا استخراج با سیال فوق‌بحرانی انجام می‌شود تا روغن‌های با خلوص بالا و مناسب برای مصارف انسانی به دست آید [۳۰].

جدول ۲. ارزیابی تطبیقی پایداری فناوری‌های مدیریت و بازیابی ضایعات ماهی

فناوری	خروجی اصلی	بهره‌وری انرژی	عملکرد زیست محیطی	پتانسیل اقتصادی	آمادگی فناوری
دفع متعارف	هیچکدام	خیلی کم	منفی (انتشار گازهای گلخانه‌ای)	هیچکدام	بالغ (مطلوب)
سیلاژ ماهی	مواد اولیه خوراک	کم	متوسط (تثبیت پسماند)	متوسط (جهت‌گیری SME)	تجاری
هیدرولیز آنزیمی	پپتیدهای زیست فعال	متوسط	زیاد (انتشار کم)	زیاد (بازارهای غیردارویی)	تجاری
استخراج لیپید	روغن ماهی (EPA/DHA)	کم-متوسط	زیاد (بهره‌وری منابع)	خیلی زیاد	تجاری

تجاری	متوسط-زیاد	خیلی زیاد(کاهش گازهای گلخانه‌ای)	زیاد	گاز زیستی	هضم بی هوازی
خودکار	متوسط	زیاد(بازیابی کربن)	زیاد	روغن زیستی، زغال زیستی	پیرولیز
نوظهور	زیاد (پتانسیل بالقوه)	خیلی زیاد) سازگاری زیست توده مرطوب)	خیلی زیاد	نفت خام	مایع سازی هیدروترمال

ارزیابی تطبیقی پایداری فناوری‌های اصلی مدیریت و بازیابی ضایعات ماهی بر اساس معیارهای انرژی، زیست‌محیطی، اقتصادی و آمادگی.

۶. فناوری‌های بازیابی انرژی

۶.۱ هضم بی‌هوازی

هضم بی‌هوازی (AD) یکی از مسیرهای مورد بررسی برای تبدیل ضایعات ماهی به گاز زیستی (مخلوطی از متان و دی‌اکسید کربن) است [۳۱]. ضایعات ماهی زیست‌تخریب‌پذیری بالایی دارند و بنابراین برای هضم بی‌هوازی مناسب‌اند. هضم مشترک با سایر بسترهای آلی - برای مثال، باقی‌مانده‌های کشاورزی - پایداری میکروبی و تولید متان را افزایش می‌دهد [۳۱]. این گاز زیستی می‌تواند به عنوان انرژی تجدیدپذیر توسط تأسیسات فرآوری مختلف استفاده شود تا مصرف سوخت‌های فسیلی را جبران کند [۳۱].

۶.۲ تکنیک‌های تبدیل پیشرفته

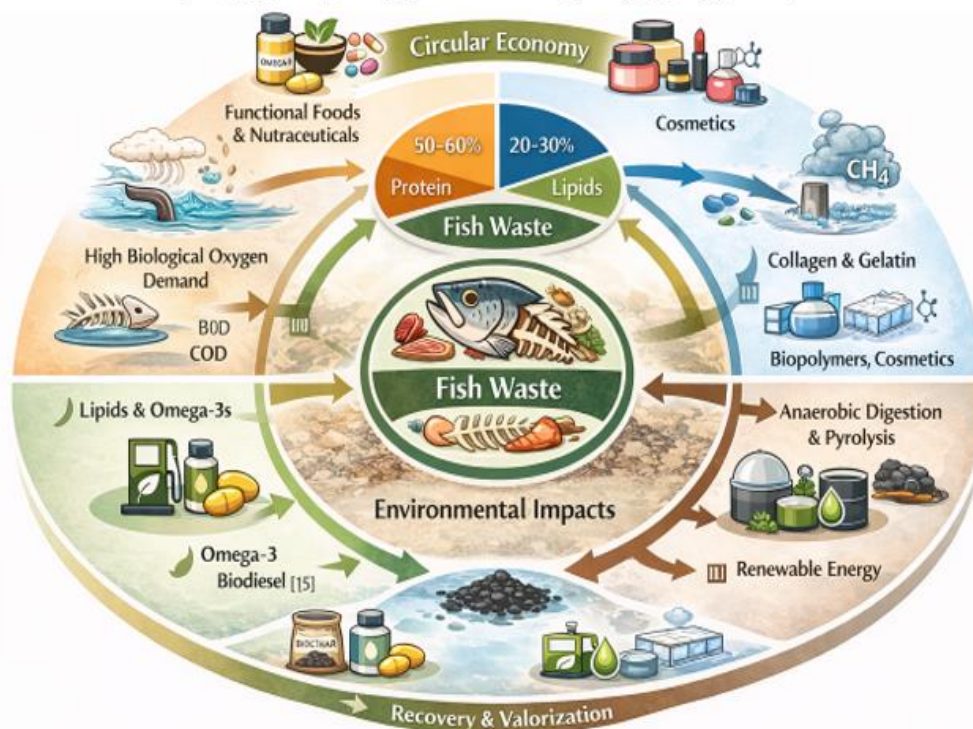
روش‌های پیشرفته تبدیل حرارتی، شامل مایع‌سازی هیدروترمال و پیرولیز، برای تبدیل ماده‌ی خام زیست توده مرطوب به روغن‌های زیستی، گاز سنتزی و زغال زیستی مورد استفاده واقع می‌شوند [۳۲،۳۳]. با این حال، این روش‌ها با محدودیت‌هایی مانند تنوع ماده خام، هزینه عملیاتی بالا و سایر موارد مواجه هستند [۳۳].

۷. کاربردهای محصولات دارای ارزش افزوده

محصولات ارزش‌گذاری شده بدست آمده از مواد ضایعاتی ماهی، کاربردهای گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف دارند. بیوپلیتیدها، کلاژن‌ها، روغن‌های ماهی و زغال زیستی حاصل از تبدیل حرارتی همگی می‌توانند در صنایع غذایی، دارویی و آرایشی به کار روند؛ روغن‌های ماهی همچنین در مکمل‌های سلامتی و زغال زیستی در کشاورزی کاربرد دارند [۳۴،۳۵]. چنین موادی می‌توانند به

فعالیت‌های پایدار کمک کنند و همزمان با کاهش اثرات منفی دفع ضایعات بر محیط زیست، ارزش اقتصادی ایجاد کنند [۳۴]. برای مثال، فرآیندی به نام پالایش زیستی مبتنی بر جلبک از جمله این فعالیت‌ها می‌باشد.

شکل ۱. طرح مفهومی مدیریت ضایعات ماهی و مسیرهای ارزش‌گذاری



پسماندهای فرآوری مرکزی ماهی (سر، احشاء، پوست، استخوان، فلس) با پروتئین، لیپیدها، مواد معدنی و ترکیبات زیست فعال در لایه ۱ مشخص می‌شوند. اثرات زیست محیطی دفع نامناسب، از جمله BOD COD، متان، یو و آلودگی آب، در لایه ۲ نشان داده شده است. لایه ۳ مسیرهای ارزش‌گذاری را ارائه می‌دهد: هیدرولیزات پروتئین ← پپتیدهای زیست فعال، کلاژن ← ژلاتین/بیوپلیمرها، لیپیدها ← امگا ۳/بیودیزل، و بازیابی انرژی از طریق هضم بی‌هوازی و پیرولیز. لایه ۴ کاربردهای اقتصادی چرخشی را نشان می‌دهد و بازگشت محصولات با ارزش بالا به جامعه، صنعت و محیط زیست را برجسته می‌کند.

۸. چالش‌ها و جهت‌گیری‌های آینده

با وجود پیشرفت‌های تکنولوژی، همچنان مشکلاتی در مقیاس‌پذیری فناوری ارزش‌آفرینی در ضایعات ماهی وجود دارد. این مشکلات ناشی از تنوع ترکیب ضایعات ماهی، هزینه بالای فرآوری، مسائل نظارتی و کمبود زیرساخت صنعتی برای حمایت از پذیرش



این فناوری‌ها در محیط‌های صنعتی است [۳۶،۳۷]. بنابراین تحقیقات بیشتری برای بهبود فناوری‌های پالایش زیستی ضایعات ماهی و تدوین سیاست‌های نظارتی مساعد برای پذیرش صنعتی لازم است [۳۶،۳۷]. مطالعات آینده باید چرخه حیات را ارزیابی کنند تا جنبه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی را در ارزیابی جامع رویکردهای ارزش‌آفرینی در نظر بگیرند [۳۷]. علاوه بر این، همکاری میان‌رشته‌ای بین دانشمندان، صنعت و تصمیم‌گیرندگان برای نوآوری و تجاری‌سازی فناوری‌های مدیریت ضایعات ماهی، به منظور پایداری، حیاتی خواهد بود [۳۶].

۹. نتیجه‌گیری

مدیریت و بهره‌برداری از ضایعات ماهی رویکردهای مهمی هستند که می‌توانند به موفقیت پایداری در زنجیره غذایی منجر شوند. ارزش‌های غذایی موجود در ضایعات ماهی می‌تواند با توسعه محصولات با ارزش و تولید انرژی تجدیدپذیر به درستی بهره‌برداری شود [۱،۲،۳۸]. چارچوب‌های ضروری مدیریت به همراه فناوری‌ها نقش مهمی در بهره‌برداری بهینه از ضایعات، کاهش مشکلات زیست‌محیطی و افزایش ارزش اقتصادی ایفا خواهند کرد [۳،۵،۷]. تلاش‌های بیشتر برای موفقیت هر چه بیشتر در بهره‌برداری از ضایعات ماهی ضروری خواهد بود [۱،۲،۳۸].

۱۰. منابع

1. Valorization of fish wastes and by-products towards green circular bio-economy. Nexres. 2025.
2. Resource recovery from fish waste: Prospects and intensified extraction technologies. Chemosphere. 2022.
3. Microbes as tools for bioremediation of fish waste and value-added compounds. Letters in Applied Microbiology. 2024.
4. Trash to Treasure: Valorization of seafood by-products targeting bioactive compounds. Marine Drugs. 2023. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10532690>
5. Wang CH, Doan CT, Nguyen VB, Nguyen AD, Wang SL. Reclamation of fishery processing waste: A mini-review. Molecules. 2019;24(12):2234. doi:10.3390/molecules24122234
6. Fish waste valorization through biodiesel and biopolymers. Bioresource Technology Reports. 2025.
7. Technologies for management of fish waste & value addition. Food and Humanity. 2024.



اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری
مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی
۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵



8. Nutrient recovery and recycling from fishery waste and by-products. Journal of Environmental Management. 2025.
9. Fish By-Products Utilization: Extraction technologies and sustainability. PubMed. 2024.
10. Coppola D, Lauritano C, Palma Esposito F, Riccio G, Rizzo C, de Pascale D. Fish waste: From problem to valuable resource. Marine Drugs. 2021;19(2):116. doi:10.3390/md19020116