مدل‌سازی ارزیابی ریسک بهداشتی در زنجیره تولید آبزیان در استان کردستان: از مزرعه تا بازار

علیرضا مبرهن فرد [۱و*] ، محمدرضا شریفی [۲]

[۱] گروه شیلات، دانشکده دامپزشکی و کشاورزی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی.
[۲] گروه اقتصاد، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

[*] ایمیل نویسنده مسئول Email: alireza.mobarhan@iau.ac.ir

چکیده

در سال‌های اخیر، افزایش تقاضا برای مصرف آبزیان در ایران و به‌ویژه در استان کردستان، نگرانی‌هایی را پیرامون ایمنی و سلامت این محصولات در پی داشته است. تولید آبزیان در این منطقه عمدتاً به‌صورت پرورش ماهی در حوضچه‌های خاکی و بتنی انجام می‌گیرد و تا رسیدن محصول به بازار مصرف، مراحل متعددی را طی می‌کند که هر یک می‌تواند منبعی بالقوه برای آلودگی میکروبی و شیمیایی باشد. هدف این مقاله، مدل‌سازی ارزیابی ریسک بهداشتی در کل زنجیره تولید آبزیان، از مرحله پرورش تا عرضه نهایی در بازار، با تمرکز بر استان کردستان است. برای این منظور، از رویکرد ارزیابی ریسک کمی (QRA) در چهار مرحله اصلی زنجیره تولید شامل: پرورش، برداشت، حمل‌ونقل و عرضه استفاده شده و داده‌های میدانی با استفاده از نمونه‌برداری میکروبی، مشاهدات مستقیم و پرسش‌نامه‌های ساختاریافته جمع‌آوری گردیده است. همچنین از مدل‌های آماری و نرم‌افزارهای تخصصی نظیر @RISK و Crystal Ball جهت شبیه‌سازی سناریوهای مختلف ریسک استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشترین احتمال آلودگی میکروبی مربوط به مرحله برداشت و کمترین آن در مرحله عرضه نهایی مشاهده شد. همچنین، عوامل مدیریتی نظیر رعایت بهداشت فردی کارگران، کیفیت آب، و روش‌های حمل‌ونقل، تأثیر مستقیم بر کاهش یا افزایش ریسک داشتند. در نهایت، با استفاده از مدل نهایی، نقاط بحرانی زنجیره شناسایی و پیشنهادهایی برای کاهش ریسک در هر مرحله ارائه شد. این مطالعه می‌تواند به‌عنوان الگویی برای بهبود ایمنی مواد غذایی دریایی در سایر مناطق کشور مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی ریسک، ایمنی آبزیان، زنجیره تولید، آلودگی میکروبی، استان کردستان.

۱- مقدمه

امروزه افزایش جمعیت، شهرنشینی و تغییر الگوی تغذیه‌ای مردم، منجر به افزایش تقاضا برای منابع پروتئینی سالم و در دسترس شده است. در این میان، آبزیان به دلیل ارزش تغذیه‌ای بالا، از جمله اسیدهای چرب امگا-۳، پروتئین قابل‌هضم، و ویتامین‌ها، جایگاه ویژه‌ای در رژیم غذایی مردم یافته‌اند [۱]. ایران نیز به‌عنوان کشوری دارای ظرفیت‌های گسترده در تولید آبزیان، طی دهه‌های اخیر شاهد رشد چشمگیری در صنعت آبزی‌پروری بوده است. استان کردستان با برخورداری از منابع آبی متنوع و اقلیم مناسب، به یکی از قطب‌های مهم پرورش ماهی قزل‌آلا در کشور تبدیل شده است [۲]. با این حال، توسعه کمی تولید آبزیان بدون توجه به ملاحظات بهداشتی و زیست‌محیطی می‌تواند خطرات جدی برای سلامت مصرف‌کنندگان به همراه داشته باشد. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در این زمینه، ریسک‌های بهداشتی ناشی از آلودگی میکروبی و شیمیایی در زنجیره تولید و عرضه آبزیان است. این زنجیره شامل مراحل مختلفی از قبیل تکثیر، پرورش، برداشت، فرآوری، حمل‌ونقل، و عرضه نهایی است که هر مرحله می‌تواند منبعی بالقوه برای آلودگی باشد [۳]. مطالعات نشان داده‌اند که آب مورد استفاده در

حوضچه‌ها، خوراک ماهی، بهداشت کارگران، تجهیزات برداشت، شرایط حمل‌ونقل، و نحوه نگهداری در بازار مصرف، همگی از عوامل مؤثر بر انتقال عوامل بیماری‌زا مانند *Aeromonas hydrophila*، *Listeria monocytogenes*، *Salmonella spp.* و *Escherichia coli* به بدن مصرف‌کنندگان هستند [۴،۵]. در این راستا، سازمان‌های بین‌المللی نظیر FAO و WHO بر ضرورت انجام ارزیابی ریسک بهداشتی در زنجیره تأمین مواد غذایی تأکید کرده‌اند [۶]. ارزیابی ریسک بهداشتی فرایندی نظام‌مند برای شناسایی خطرات، ارزیابی میزان مواجهه، توصیف خطر، و مشخص‌کردن سطح ریسک ناشی از مواجهه انسان با عامل مخاطره‌آمیز است [۷]. این فرایند به‌ویژه در صنایع غذایی، ابزاری کلیدی برای تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد در زمینه سیاست‌گذاری و مدیریت ایمنی غذایی محسوب می‌شود. با استفاده از مدل‌سازی‌های آماری و ابزارهای تحلیلی نظیر نرم‌افزار @RISK می‌توان سناریوهای مختلف خطر را شبیه‌سازی کرده و نقاط بحرانی زنجیره تأمین را شناسایی نمود [۸]. استان کردستان با توجه به پراکندگی مزارع پرورش ماهی، ضعف در زیرساخت‌های بهداشتی، و نبود نظام یکپارچه نظارتی، با چالش‌های متعددی در تضمین ایمنی مواد غذایی دریایی روبروست [۹]. اگرچه برخی مطالعات موردی به بررسی کیفیت میکروبی محصولات شیلاتی در این استان پرداخته‌اند، اما تاکنون مدلی جامع برای ارزیابی ریسک بهداشتی در کل زنجیره تولید و عرضه آبزیان ارائه نشده است [۱۰]. این خلأ پژوهشی، لزوم انجام مطالعه‌ای فراگیر با رویکرد مدل‌سازی کمی ریسک را برجسته می‌سازد. هدف این پژوهش، طراحی و پیاده‌سازی یک مدل ارزیابی ریسک بهداشتی در زنجیره تولید آبزیان در استان کردستان، از مرحله پرورش تا عرضه نهایی در بازار مصرف است. برای دستیابی به این هدف، ابتدا خطرات اصلی میکروبی و شیمیایی در زنجیره تولید شناسایی شده، سپس با بهره‌گیری از داده‌های میدانی و مدل‌های احتمالاتی، سطوح ریسک در هر مرحله تخمین زده می‌شود. در نهایت، نقاط بحرانی و پیشنهادهای مدیریتی برای کاهش ریسک ارائه می‌گردد.

در طراحی این مدل، چهار مرحله اصلی زنجیره تولید به‌صورت مجزا اما پیوسته مورد بررسی قرار می‌گیرند:

۱. مرحله پرورش: بررسی کیفیت آب ورودی، نوع خوراک مصرفی، وضعیت بهداشتی حوضچه‌ها و پرسنل مزرعه.
۲. مرحله برداشت: نحوه خروج ماهی از حوضچه، ابزارهای استفاده‌شده، و بهداشت محیط.
۳. مرحله حمل‌ونقل: زمان، دما، شرایط حمل، تجهیزات نگهداری و بسته‌بندی.
۴. مرحله عرضه در بازار: شرایط نگهداری، دمای محیط، رعایت زنجیره سرد، و بهداشت فروشندگان.

برای جمع‌آوری داده‌ها، از روش‌هایی نظیر نمونه‌برداری میکروبی از آب، خوراک و بدن ماهی، پرسش‌نامه‌های ساختاریافته، و مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با فعالان این حوزه استفاده شده است. سپس، با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی نظیر @RISK و Crystal Ball، توزیع‌های احتمالاتی برای هر عامل خطر مدل‌سازی گردید. نتایج این مدل می‌تواند به سیاست‌گذاران، نهادهای نظارتی، و پرورش‌دهندگان کمک کند تا با مداخلات هدفمند، ریسک آلودگی را در زنجیره تولید کاهش دهند [۱۱،۱۲]. از آنجا که زنجیره تولید آبزیان یک سیستم پویا و چندعاملی است، استفاده از روش‌های مدل‌سازی مونت‌کارلو و تحلیل حساسیت برای درک بهتر از نحوه اثرگذاری متغیرهای مختلف بر سطح نهایی ریسک بسیار حائز اهمیت است [۱۳]. همچنین، اتخاذ رویکرد بین‌رشته‌ای و مشارکت ذی‌نفعان محلی در اجرای این مدل، از عوامل کلیدی در موفقیت آن به شمار می‌رود [۱۴]. در پایان، این مطالعه تلاش می‌کند تا با ارائه مدلی بومی‌شده و مبتنی بر داده‌های واقعی از استان کردستان، الگویی عملی برای سایر مناطق کشور فراهم آورد. نتایج این پژوهش می‌تواند نقش مهمی در ارتقاء ایمنی مواد غذایی دریایی، اعتماد مصرف‌کنندگان، و توسعه پایدار صنعت شیلات ایفا کند [۱۵].

۲- مواد و روش‌ها

برای ارزیابی ریسک بهداشتی در زنجیره تولید آبزیان در استان کردستان، یک مطالعه ترکیبی (کمی-کیفی) طراحی و اجرا گردید. رویکرد اصلی پژوهش بر اساس مدل ارزیابی ریسک کمی)بوده و از روش‌های نمونه‌برداری میدانی، پرسش‌نامه، تحلیل آماری و مدل‌سازی احتمالاتی بهره‌گیری شده است. در ادامه، مراحل مختلف تحقیق و ابزارهای مورد استفاده شرح داده می‌شود.

۱. طراحی مدل مفهومی زنجیره تولید

در مرحله نخست، یک مدل مفهومی از زنجیره تولید آبزیان طراحی گردید که شامل چهار گام اصلی بود: پرورش، برداشت، حمل‌ونقل و عرضه در بازار. هر مرحله بر اساس عوامل مؤثر بر آلودگی میکروبی و شیمیایی تجزیه و تحلیل شد. این مدل با استفاده از منابع علمی موجود [۱،۲] و مصاحبه با ۸ کارشناس شیلات و دامپزشکی در استان کردستان توسعه یافت.

۲. شناسایی عوامل خطر

در این مرحله، مهم‌ترین عوامل خطر میکروبی و شیمیایی از طریق مرور متون و مشاهدات میدانی استخراج شد. خطرات میکروبی شامل *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes* و *Aeromonas hydrophila* بودند [۳]. همچنین، بقایای آنتی‌بیوتیک‌ها و آفت‌کش‌ها به‌عنوان خطرات شیمیایی شناسایی شدند. برای هر خطر، نقاط تماس و مسیرهای انتقال احتمالی در هر مرحله از زنجیره مشخص شد.

۳. جمع‌آوری داده‌های میدانی

برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز جهت تخمین احتمال مواجهه با هر عامل خطر، نمونه‌برداری از ۱۲ مزرعه پرورش ماهی قزل‌آلا، ۳ مرکز توزیع عمده، و ۴ بازار فروش خرده‌فروشی در شهرستان‌های سنندج، مریوان و سقز انجام شد. جزئیات نمونه‌برداری به شرح زیر است:

- نمونه‌های آب: از ورودی و خروجی حوضچه‌ها (در مجموع ۴۸ نمونه)؛ جهت بررسی کلونی‌های *E. coli* و *Salmonella*.
- نمونه‌های خوراک ماهی: از خوراک استفاده‌شده در زمان بازدید (۲۴ نمونه)؛ جهت بررسی باقیمانده دارویی و کپک.
- نمونه‌های بافت ماهی: از ناحیه عضله و روده (۳۶ نمونه)؛ برای بررسی آلودگی به *Listeria* و *Aeromonas*
- نمونه‌های محیطی بازار: از سطح نگهداری، ظروف فروش و یخ (۲۰ نمونه)؛ برای بررسی آلودگی سطحی.

نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با استفاده از یخ خشک منتقل و در آزمایشگاه تجزیه و تحلیل شدند [۴،۵].

۴. طراحی و اجرای پرسش‌نامه ساختاریافته

پرسش‌نامه‌ای شامل ۴۰ سؤال بسته و باز طراحی گردید که به بررسی رفتارهای بهداشتی، وضعیت شست‌وشو، استفاده از مواد ضدعفونی، آموزش‌های بهداشت، و مشکلات حمل‌ونقل می‌پرداخت. این پرسش‌نامه‌ها میان ۶۰ فرد شاغل در مزارع، رانندگان حمل و فروشندگان بازار توزیع شد. اعتبار پرسش‌نامه با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ ($\alpha = 0.81$) تأیید گردید.

۵. تعیین توزیع‌های احتمالاتی

برای متغیرهای کلیدی مانند سطح آلودگی میکروبی، مدت زمان نگهداری، دمای حمل‌ونقل و درصد رعایت بهداشت، توزیع‌های آماری مناسب (نرمال، پواسون، گاما، لاجستیک و لاپلاس) براساس آزمون کولموگروف-اسمیرنوف تعیین شدند [۶]. نرم‌افزار @RISK جهت تخمین و تطبیق توزیع‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

۶. مدل‌سازی مونت‌کارلو

با استفاده از نرم‌افزار @RISK و افزونه اکسل، مدل مونت‌کارلو با ۱۰،۰۰۰ تکرار برای هر مرحله از زنجیره اجرا شد. متغیرهای ورودی شامل سطح آلودگی، میزان مواجهه، فراوانی مصرف و احتمال حضور عامل خطر بودند. نتایج شبیه‌سازی‌ها به صورت نمودارهای هیستوگرام، منحنی تجمعی و حساسیت ارائه شدند [۷].

۷. تحلیل حساسیت و شناسایی نقاط بحرانی

برای تعیین تأثیرگذارترین متغیرها بر سطح نهایی ریسک، تحلیل حساسیت با استفاده از ضرایب همبستگی پیرسون و رتبه‌بندی متغیرها اجرا شد. همچنین، شاخص اهمیت نسبیبرای رتبه‌بندی عوامل خطر و انتخاب نقاط بحرانی محاسبه گردید [۸].

۸. روش تحلیل داده‌ها

داده‌های کیفی با استفاده از تحلیل مضمونطبقه‌بندی شدند. برای داده‌های کمی، از آزمون‌های آماری مانند ANOVA، تی‌تست، و تحلیل رگرسیون چندگانه در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ استفاده شد. سطح معنی‌داری آماری ۰،۰۵ در نظر گرفته شد.

۹. ملاحظات اخلاقی

کلیه مراحل نمونه‌برداری و مصاحبه‌ها با کسب رضایت آگاهانه و رعایت اصول اخلاقی پژوهش انجام شد.

۳- نتایج

در این بخش، نتایج حاصل از بررسی میدانی، تحلیل آزمایشگاهی، پرسش‌نامه‌ها و مدل‌سازی احتمالاتی ارائه می‌شود. یافته‌ها در چهار سطح طبقه‌بندی شده‌اند: ۱) نتایج آزمایش‌های میکروبی و شیمیایی، ۲) تحلیل پرسش‌نامه‌ها، ۳) خروجی مدل مونت‌کارلو، و ۴) تحلیل حساسیت و شناسایی نقاط بحرانی.

۱. نتایج آزمایش‌های میکروبی و شیمیایی

آلودگی میکروبی آب

از مجموع ۴۸ نمونه آب حوضچه، در ۳۵ مورد (۷۲,۹٪) آلودگی به *E. coli* بالاتر از حد استاندارد مشاهده شد. میانگین تعداد کلونی‌های *E. coli* در ورودی حوضچه‌ها برابر با ۲,۸۷ Log CFU/ml و در خروجی حوضچه‌ها برابر با ۴,۱۵ Log CFU/ml بود. آلودگی به *Salmonella spp.* در ۱۸ مورد (۳۷,۵٪) تأیید شد که بیشتر در مزارع پایین‌دست مشاهده گردید.

آلودگی بافت ماهی

در ۳۶ نمونه بافت عضله و روده، *Listeria monocytogenes* در ۱۰ مورد (۲۷,۸٪) و *Aeromonas hydrophila* در ۱۴ مورد (۳۸,۹٪) شناسایی شد. میزان آلودگی در روده بیشتر از بافت عضله بود.

باقی‌مانده‌های شیمیایی

در ۲۴ نمونه خوراک، مقادیر قابل توجهی از باقی‌مانده آنتی‌بیوتیک اکسی‌تتراسایکلین در ۷ نمونه (۲۹,۱٪) و فلورفنیکل در ۳ نمونه (۵.۱۲٪) یافت شد. همچنین، در ۴ نمونه آثار آفلاتوکسین B_1 مشاهده گردید.

۲. تحلیل پرسش‌نامه‌ها

از ۶۰ پرسش‌نامه تکمیل‌شده، نتایج زیر استخراج گردید:

- تنها ۲۵٪ افراد آموزش رسمی بهداشت آبزیان دیده بودند.
- ۶۸٪ از مزارع فاقد سیستم ضدعفونی‌کننده ورودی و خروجی بودند.
- ۴۲٪ حمل‌ونقل با خودروهای فاقد سیستم خنک‌کننده انجام می‌شد.
- در بازارها، ۵۶٪ فروشندگان ماهی را بدون تماس مستقیم با یخ می‌فروختند.

جدول زیر نشان می‌دهد که بیشترین تهدیدهای ادراک‌شده توسط پاسخ‌دهندگان به ترتیب شامل کیفیت پایین آب، حمل‌ونقل غیراصولی و تغذیه نامناسب بود:

جدول ۱: تهدیدهای ادراک‌شده توسط پاسخ‌دهندگان

تهدیدهای ادراک‌شده	درصد پاسخ‌دهی
کیفیت پایین آب	٪۷۵
حمل‌ونقل غیراصولی	٪۶۸
تغذیه و خوراک نامناسب	٪۵۴

عدم آموزش بهداشتی	٪۴۹
آلودگی محیط بازار فروش	٪۴۳

۳. نتایج مدل‌سازی مونت‌کارلو

مدل مونت‌کارلو با ۱۰،۰۰۰ تکرار برای هر خطر اجرا شد. احتمال نهایی مواجهه مصرف‌کننده با هر عامل خطر به‌صورت زیر تخمین زده شد:

جدول ۲: میانگین احتمال مواجهه مصرف‌کننده با هر عامل خطر

عامل خطر	میانگین احتمال مواجهه (٪)	دامنه اطمینان ٪۹۵
E. coli	۶۴/۳	۴۸/۲ – ۸۲/۷
Salmonella spp.	۳۵/۱	۲۰/۹ – ۵۱/۳
Listeria monocytogenes	۲۴/۷	۱۳/۴ – ۳۶/۹
Aeromonas hydrophila	۳۹/۸	۲۶/۵ – ۵۲/۲
آنتی بیوتیک ها	۲۸/۴	۱۶/۳ – ۴۰/۷

هیستوگرام خروجی احتمال مواجهه با *E. coli* نشان داد که بیشترین فراوانی در محدوده ۶۰ تا ۷۰ درصد قرار دارد. نمودار تجمعی (CDF) نیز نشان داد که ۸۵٪ موارد، احتمال مواجهه بیش از ۵۰٪ داشتند.

۴. تحلیل حساسیت و نقاط بحرانی

تحلیل حساسیت نشان داد که مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر سطح نهایی ریسک به ترتیب زیر هستند:

۱. سطح آلودگی آب حوضچه
۲. دمای حمل‌ونقل
۳. نوع خوراک و روش نگهداری
۴. تماس مستقیم با یخ در بازار
۵. آموزش بهداشتی کارگران

شاخص اهمیت نسبی برای هر عامل محاسبه شد:

جدول ۲: شاخص اهمیت نسبی عوامل موثر

عامل موثر	شاخص اهمیت نسبی (۰ تا ۱)
آلودگی آب حوضچه	۰/۸۳
حمل‌ونقل بدون یخچال	۰/۷۴
خوراک ناسالم	۰/۶۹
عدم شستشوی ظروف فروش	۰/۶۲
آموزش ناکافی	۰/۵۵

بر اساس این نتایج، دو نقطه بحرانی اصلی در زنجیره، مرحله "پرورش " (به‌ویژه کیفیت آب) و مرحله "توزیع بازار " (به‌ویژه شرایط نگهداری) شناسایی شدند.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

۱. تحلیل نتایج

نتایج این تحقیق نشان‌دهنده وجود تهدیدات قابل توجه بهداشتی در زنجیره تولید آبزیان در استان کردستان است. آلودگی میکروبی آب حوضچه‌ها، با درصد بالایی از نمونه‌ها دارای آلودگی به *E. coli* و *Salmonella* نشان‌دهنده رعایت ناکافی اصول بهداشتی در برخی مزارع است. این نتایج با مطالعات مشابه در دیگر مناطق ایران و کشورهای همسایه هم‌راستا است که به مشکلات مشابهی در مدیریت بهداشت در مزارع پرورش ماهی اشاره دارند [۱،۲]. میزان آلودگی باکتری‌های *Listeria* و *Aeromonas* در بافت ماهی نیز نگرانی‌هایی را در مورد تأثیرات آن بر سلامت مصرف‌کنندگان ایجاد می‌کند.

یکی از یافته‌های کلیدی در این تحقیق، شناسایی *Listeria monocytogenes* در برخی از نمونه‌ها است که بر اهمیت نظارت دقیق بر شرایط حمل‌ونقل و عرضه در بازار تأکید دارد. این باکتری به‌ویژه در آبزیان به عنوان عامل بیماری‌زای خطرناک شناخته می‌شود که می‌تواند موجب مشکلات جدی بهداشتی برای مصرف‌کنندگان شود [۳]. همچنین، یافته‌ها نشان می‌دهند که باقیمانده‌های شیمیایی در خوراک ماهی نیز باید تحت نظارت دقیق‌تری قرار گیرد، زیرا این مواد می‌توانند بر کیفیت و ایمنی محصول نهایی تأثیر بگذارند.

۲. مقایسه با مطالعات مشابه

مقایسه نتایج این تحقیق با دیگر مطالعات انجام‌شده در مناطق مشابه نشان می‌دهد که آلودگی میکروبی آب، باقی‌مانده آنتی‌بیوتیک‌ها و عدم رعایت بهداشت در حمل‌ونقل، مشکلات مشترک در صنعت پرورش ماهی در ایران و کشورهای در حال توسعه هستند. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای که در استان گیلان انجام شد، آلودگی به *E. coli* و *Salmonella* در ۶۰٪ از نمونه‌های آب حوضچه‌ها مشاهده گردید [۴]. همچنین، در مطالعه‌ای در ترکیه، میزان آلودگی به *Listeria* و *Aeromonas* مشابه با یافته‌های ما بود [۵].

یکی از نکات قابل توجه در مقایسه این نتایج، اهمیت آموزش بهداشتی و رعایت اصول بهداشتی در مزارع و بازار است. طبق یافته‌های این تحقیق، تنها ۲۵٪ از افراد شاغل در مزارع پرورش ماهی آموزش بهداشت آبزیان را گذرانده‌اند که این وضعیت مشابه با تحقیق دیگری در استان مازندران است که نشان می‌دهد کمبود آموزش در این زمینه یکی از مشکلات اصلی در صنعت شیلات کشور است [۶].

۳. مدل‌سازی مونت‌کارلو و تحلیل حساسیت

مدل‌سازی مونت‌کارلو در این مطالعه نشان داد که احتمال مواجهه مصرف‌کننده با عوامل خطر میکروبی به‌ویژه *E. coli* و *Salmonella* در زنجیره تولید آبزیان استان کردستان، بسیار بالا است. این یافته‌ها تأکیدی بر لزوم اقدامات فوری برای کاهش آلودگی در مراحل مختلف تولید، به‌ویژه در مزارع پرورش ماهی و مراحل حمل‌ونقل هستند.

نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر ریسک بهداشتی، کیفیت آب حوضچه‌ها و دمای حمل‌ونقل هستند. این دو عامل باید در اولویت برنامه‌های بهبود بهداشت قرار گیرند. برای مثال، بهبود شرایط فنی و نظارتی بر سیستم‌های تصفیه آب و استفاده از یخچال‌های حمل‌ونقل می‌تواند تأثیر زیادی در کاهش آلودگی‌ها داشته باشد. این یافته‌ها مشابه با تحقیقاتی است که بر لزوم مدیریت کیفیت آب و شرایط حمل‌ونقل در کاهش آلودگی در صنعت آبزی‌پروری تأکید دارند [۷].

۴. پیشنهادات برای بهبود شرایط بهداشتی

با توجه به یافته‌های این تحقیق، چندین پیشنهاد برای بهبود شرایط بهداشتی در زنجیره تولید آبزیان استان کردستان مطرح می‌شود:

۱. تقویت آموزش‌های بهداشتی: باید برنامه‌های آموزشی گسترده‌ای برای کارگران و پرورش‌دهندگان ماهی در مورد اصول بهداشت آبزیان و مدیریت بیماری‌ها به‌ویژه در مراحل پرورش و برداشت برگزار شود. این آموزش‌ها می‌تواند شامل روش‌های بهداشتی صحیح، استفاده از ضدعفونی‌کننده‌ها، و رعایت شرایط بهداشت فردی باشد.

۲. بهبود کیفیت آب حوضچه‌ها: سرمایه‌گذاری در سیستم‌های تصفیه آب و افزایش نظارت بر کیفیت آب حوضچه‌ها می‌تواند تأثیر زیادی در کاهش آلودگی میکروبی داشته باشد. همچنین، استفاده از روش‌های نوین برای کاهش آلودگی آب مانند فیلتراسیون پیشرفته و استفاده از مواد ضدعفونی‌کننده طبیعی می‌تواند مفید باشد.

۳. ارتقاء شرایط حمل‌ونقل و عرضه در بازار: استفاده از خودروهای مجهز به یخچال و رعایت دمای مناسب برای حمل‌ونقل ماهی‌های زنده و گوشتی می‌تواند در کاهش آلودگی به باکتری‌های مضر تأثیرگذار باشد. همچنین، نظارت بیشتر بر شرایط عرضه در بازارها و آموزش فروشندگان در مورد اهمیت نگهداری صحیح ماهی می‌تواند خطر آلودگی را کاهش دهد.

۴. توسعه نظارت‌های آزمایشگاهی: به منظور کنترل باقی‌مانده‌های شیمیایی و میکروبی در محصولات آبزی، نیاز به توسعه و تقویت آزمایشگاه‌های دامپزشکی و شیلات در استان کردستان وجود دارد. این نظارت‌ها باید در مراحل مختلف تولید و عرضه، از جمله پس از برداشت و قبل از فروش، انجام شوند.

۵. نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که زنجیره تولید آبزیان در استان کردستان با چالش‌های بهداشتی جدی مواجه است. آلودگی میکروبی، باقی‌مانده‌های شیمیایی و شرایط نامناسب حمل‌ونقل از جمله مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده سلامت مصرف‌کنندگان هستند. از این رو، ضروری است که اقدامات اساسی در جهت بهبود بهداشت در مراحل مختلف زنجیره تولید انجام گیرد. با اجرای پیشنهادات ارائه‌شده، می‌توان سطح ایمنی و کیفیت محصولات آبزی استان کردستان را ارتقاء بخشید و ریسک‌های بهداشتی را کاهش داد.

منابع

1. Smith, J. L., & Jones, R. P. (2020). *Microbial contamination in aquaculture water systems: A review*. Journal of Aquatic Health, 45(3), 245-258.
2. Patel, P. B., & Kumar, S. (2019). *Salmonella contamination in fish farming: The role of water quality management*. Aquaculture Research, 50(7), 1872-1881.
3. Ahmad, M. A., & Zaman, S. (2018). *Listeria monocytogenes in fish products: A review of risk factors and management strategies*. International Journal of Food Safety, 10(2), 142-150.
4. Khajeh, M., & Rahmani, K. (2020). *E. coli contamination in aquaculture: A study in northern Iran*. Journal of Aquaculture, 32(5), 567-576.
5. Kaya, S. F., & Demir, S. (2021). *Aeromonas hydrophila in fish: Implications for food safety*. Turkish Journal of Veterinary Sciences, 45(3), 305-312.
6. Soltani, N., & Fadaei, R. (2020). *Effectiveness of education on fish hygiene practices among Iranian fish farmers*. Journal of Fisheries Science and Technology, 6(4), 231-238.
7. Gharekhani, S., & Moghaddam, N. (2017). *The impact of water quality on bacterial contamination in fish farms: A case study in southern Iran*. Environmental Health Perspectives, 17(1), 34-42.
8. Rodriguez, J. C., & Mendez, P. (2019). *The effects of transportation conditions on fish product quality*. Journal of Aquatic Food Safety and Quality, 12(2), 119-126.
9. Hariri, H. M., & Razeghi, A. (2020). *Management of antibiotic residues in aquaculture: Challenges and solutions*. Iranian Journal of Aquaculture, 14(3), 215-223.
10. Karim, M. A., & Noor, A. M. (2018). *Health risks in aquaculture: A global review on the role of public health policies*. World Health Journal, 14(1), 10-19.
11. Choi, Y. J., & Lee, S. H. (2021). *Listeria monocytogenes and Salmonella spp. in seafood: Risks and regulatory controls*. Food Control, 47, 139-145.

12. Chen, C., & Zhou, J. (2017). *Aquaculture and foodborne diseases: Risk assessment and management strategies*. Aquaculture, 10(2), 90-102.
13. Nguyen, T. P., & Lee, H. J. (2018). *Antibiotics in aquaculture: Risks to human health and the environment*. Environmental Toxicology and Chemistry, 35(4), 923-931.
14. Zhang, Y., & Lin, Z. (2019). *Microbial risks in fish farming: A review of contamination sources and control measures*. Fish and Shellfish Immunology, 91, 317-323.
15. Ochoa, C. S., & Gonzalez, M. F. (2021). *Improving aquaculture practices: A comprehensive review of current trends in hygiene and food safety*. Aquaculture International, 29(6), 2325-2339.

Modeling Health Risk Assessment in the Aquaculture Production Chain in Kurdistan Province: From Pond to Market

Alireza Mobarhan fard [1,*] mohammadreza sharifi[2]

[1] Department of Fisheries, Faculty of Veterinary Medicine and Agriculture, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran.
2-Department of Economy, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

[*] Email: alireza.mobarhan@iau.ac.ir

Abstract

In recent years, the increasing demand for seafood in Iran, especially in Kurdistan Province, has raised concerns about the safety and health of these products. Aquaculture in this region is mainly conducted in earthen and concrete ponds, and the products undergo several stages before reaching the consumer market, each of which can be a potential source of microbial and chemical contamination. The aim of this paper is to model the health risk assessment across the entire aquaculture production chain, from cultivation to final market delivery, with a focus on Kurdistan Province. For this purpose, a quantitative risk assessment (QRA) approach was used across four main stages of the production chain: farming, harvesting, transportation, and marketing. Field data were collected through microbiological sampling, direct observations, and structured questionnaires. Additionally, statistical models and specialized software such as @RISK and Crystal Ball were used to simulate various risk scenarios. The results showed that the highest likelihood of microbial contamination occurred during the harvesting stage, while the lowest was observed at the final market stage. Moreover, managerial factors such as workers' personal hygiene, water quality, and transportation methods had a direct impact on either reducing or increasing the risk. Finally, using the final model, critical points in the chain were identified, and recommendations for risk reduction at each stage were proposed. This study can serve as a model for improving seafood safety in other regions of the country.

Keywords: *Risk modeling, seafood safety, production chain, microbial contamination, Kurdistan Province.*