Review Article

Application of artificial intelligence and the internet of things in ornamental aquaculture management

Mahmoudi R.[1*]

*Mahmodi.roghaye@gmail.com

1-Cold-water Fishes Genetic and Breeding Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yasouj, Iran

Abstract

The rapid growth of the ornamental fish industry and the increasing demand for high-quality species have highlighted the need for advanced management technologies. In this context, the integration of Artificial Intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT), often referred to as the Artificial Intelligence of Things (AIoT), has emerged as a transformative approach for monitoring, controlling, and optimizing ornamental fish farming operations.

This review systematically examines scientific literature published between 2018 and 2025 to analyze AIoT applications in areas such as water quality monitoring, early disease detection, feed management, biomass estimation, and behavioral analysis of ornamental fish. The findings indicate that combining IoT sensor data with machine learning models, deep neural networks, and computer vision significantly enhances both the accuracy and speed of decision-making in aquaculture systems.

Despite these advances, challenges such as high implementation costs, limited availability of standardized datasets, and practical constraints in field deployment continue to limit the full utilization of AIoT technologies. The future of ornamental aquaculture depends on the development of cost-effective, localized intelligent systems that ensure both sustainability and fish welfare simultaneously.

Keywords: Artificial Intelligence of Things (AIoT), Ornamental Fish; Smart Aquaculture, Internet of Things, Machine Learning, Computer Vision

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-12-20]

[DOI: 10.22034/JOA.12.3.55]

CC BY

مقاله مروری:

کاربرد هوش مصنوعی و اینترنت اشیا در مدیریت پرورش ماهیان زینتی

رقیه محمودی*[۱]

*roghaye.mahmodi@gmail.com

۱-مرکز تحقیقات ژنتیک و اصلاح نژاد ماهیان سردآبی شهید مطهری، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران

تاریخ دریافت: تیر ۱٤۰٤ تاریخ پذیرش: مرداد ۱٤۰٤

چکیده

رشد سریع صنعت ماهیان زینتی و افزایش تقاضا برای گونه‌های با کیفیت بالا، نیاز به استفاده از فناوری‌های پیشرفته در مدیریت این صنعت را برجسته کرده است. در این زمینه، ترکیب هوش مصنوعی (AI) و اینترنت اشیا (IoT) که اغلب با عنوان هوش مصنوعی اشیا (AIoT) شناخته می‌شود، به عنوان رویکردی تحول‌آفرین برای نظارت، کنترل و بهینه‌سازی فرآیندهای پرورش ماهیان زینتی مطرح شده است.

این مقاله مروری به طور نظام‌مند ادبیات علمی منتشره طی سال‌های ۲۰۲۵-۲۰۱۸ را بررسی می‌کند تا کاربردهای AIoT در حوزه‌هایی مانند نظارت بر کیفیت آب، تشخیص زودهنگام بیماری‌ها، مدیریت تغذیه، تخمین زیست‌توده و تحلیل رفتار ماهیان زینتی را تحلیل نماید. نتایج نشان می‌دهد که ترکیب داده‌های حسگرهای IoT با مدل‌های یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی عمیق و بینایی کامپیوتری، دقت و سرعت تصمیم‌گیری در سیستم‌های آکواریوم را به طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد.

با وجود این پیشرفت‌ها، چالش‌هایی مانند هزینه‌های بالای اجرای سیستم، محدودیت در دسترسی به داده‌های استاندارد و موانع عملی در استقرار میدانی، هنوز استفاده کامل از فناوری‌های AIoT را محدود می‌کند. آینده پرورش ماهیان زینتی وابسته به توسعه سیستم‌های هوشمند محلی و مقرون‌به‌صرفه است که بتوانند به طور همزمان پایداری و رفاه ماهیان را تضمین کنند.

کلمات کلیدی: هوش مصنوعی اشیا (AIoT)، ماهیان زینتی، آکواریوم هوشمند، اینترنت اشیا، یادگیری ماشین، بینایی کامپیوتری

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-12-20]

[DOI: 10.22034/JOA.12.3.55]

مقدمه

در سال‌های اخیر، تقاضای جهانی برای تنوع و کیفیت در صنعت آبزیان زینتی به طور قابل توجهی افزایش یافته است. پرورش ماهیان زینتی نه‌تنها به عنوان یک تجارت با ارزش اقتصادی بالا مطرح است بلکه نقش مهمی در اکوسیستم‌های آکواریومی، فرهنگ نگهداری موجودات خانگی و تنوع زیستی دارد. با این‌حال، نگهداری و مدیریت مناسب ماهیان زینتی چالش‌هایی را به‌همراه دارد؛ این چالش‌ها شامل کنترل کیفیت آب، پیش‌بینی بیماری‌ها، مدیریت تغذیه، و اطمینان از رفاه جانوری است. در این زمینه، فناوری هوش مصنوعی (AI) و اینترنت اشیاء(IoT) ، ترکیبی شناخته‌شده به عنوان AIoT ، به عنوان راهکاری نویدبخش ظهور کرده است. سیستم‌هایی که حسگرهای IoTجهت جمع‌آوری داده‌های محیطی مانند دما، pH، اکسیژن محلول و کدورت را به‌کار می‌برند و الگوریتم‌های AI برای پردازش، تحلیل و پیش‌بینی استفاده می‌شوند، می‌توانند بسیاری از مشکلات سنتی را کاهش دهند (Huang and Khabusi, 2025). برای مثال، مروری بر AIoT در آبزی‌پروری نشان می‌دهد، استفاده از این فناوری‌ها نه‌تنها در بهبود کیفیت آب بلکه در پیش‌بینی شرایط بیماری، برآورد زی‌توده و تغذیه هوشمند کاربرد دارد (Huang and Khabusi, 2025; Tina *et al*., 2025).

با وجود این، تحقیقات نشان می‌دهند که در بخش ماهیان زینتی، هنوز فاصله‌ای بین مطالعات مفهومی یا مقیاس آزمایشی با کاربرد عملی روزمره وجود دارد. بیشتر پژوهش‌ها بر گونه‌های خوراکی متمرکز بوده و ویژگی‌های خاص ماهیان زینتی مانند حساسیت ظاهری رنگ، تراکم زیستی در آکواریوم‌ها، حساسیت به تغییرات محیطی کوچک و چشم‌نواز بودن، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. همچنین فقدان داده‌های تایید شده متنوع برای گونه‌های زینتی، هزینه بالای تجهیزات دقیق و نیاز به مدیریت تخصصی، از موانع مهمی است که باید بر آنها فائق آمد.

با توجه به رشد سریع تحقیقات در این حوزه، هدف این مقاله مروری، ارائه یک تحلیل جامع و نظام‌مند از کاربردها، مزایا، چالش‌ها و مسیرهای آینده «هوش مصنوعی اشیاء» با تمرکز ویژه بر صنعت آبزی‌پروری زینتی است. این مرور به دسته‌بندی حوزه‌های کاربردی، مرور پیشرفت‌های اخیر و بررسی محدودیت‌ها می‌پردازد تا چشم‌اندازی علمی و کاربردی برای پژوهشگران، پرورش‌دهندگان تجاری و فعالان صنعت فراهم آورد. کاربردهای هوش مصنوعی اشیاء در آبزی‌پروری زینتی بسیار گسترده و اختصاصی است. این کاربردها شامل مدیریت هوشمند کیفیت آب با قابلیت پیش‌بینی نوسانات مضر، تشخیص زودهنگام و خودکار بیماری‌ها از طریق بینایی کامپیوتر، اجرای سیستم‌های تغذیه هوشمند و پاسخگو بر پایه رفتار واقعی ماهی، پایش بی‌استرس زیست‌توده و رشد و اتوماسیون کامل آکواریوم‌های خانگی و مراکز تکثیر می‌شوند (Huang and Khabusi, 2025; Mandal and Ghosh, 2024). با این‌حال، بیشتر مطالعات تاکنون بر ماهیان خوراکی تمرکز داشته‌اند و پژوهش‌های خاص بر ماهیان زینتی محدود و پراکنده است. بنابراین، مرور و تحلیل سیستماتیک این فناوری‌ها در محیط‌های زینتی، به پرورش‌دهندگان و محققان کمک خواهد کرد تا برنامه‌ریزی و مدیریت مزارع را با دقت بالاتر انجام دهند.

روش‌شناسی مرور

برای انجام این مرور، جستجوی گسترده‌ای در پایگاه‌های داده معتبر از جمله ScienceDirect، SpringerLink، Web of Scienceو PubMed صورت گرفت. از میان ۴۰۲ مقاله یافت‌شده، پس از غربالگری، تقریبا ۵۰ مقاله به دلیل ارتباط مستقیم با AIoT و کاربردهای آن در پرورش ماهیان زینتی انتخاب شدند.

اجزاء اصلی AIoT در آبزی‌پروری

ادغام هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء (AIoT) چارچوبی نوآورانه برای تحول دیجیتال در آبزی‌پروری فراهم می‌کند. این سامانه متکی بر دو رکن اساسی: حسگرهای اینترنت اشیاء برای پایش سریع محیط و موجودات و الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای تحلیل داده‌ها و تصمیم‌گیری هوشمند، است. در کنار هم، این اجزاء به بهینه‌سازی عملیات، کاهش ضایعات و افزایش پایداری منجر می‌شوند.

حسگرهای اینترنت اشیاء

حسگرها داده‌های اصلی را از محیط آبی و ماهیان جمع‌آوری می‌کنند. این حسگرها شامل حسگرهای کیفیت آب، حسگرهای نوری و حسگرهای حرکتی هستند. حسگرهای کیفیت آب شاخص‌های کلیدی مانند pH، دما، اکسیژن محلول(DO) ، شوری و آمونیاک را به طور پیوسته پایش می‌کنند. ارزیابی سلامت کلی محبط آبی با اندازه گیری کدورت و شفافیت

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-12-20]
[DOI: 10.22034/JOA.12.3.55]

به‌وسیله حسگرهای نوری صورت می‌گیرد. در این حسگرها دوربین‌های متصل به الگوریتم‌های بینایی ماشین نیز برای تحلیل رفتار، تخمین زیست‌توده و بهینه‌سازی تغذیه به‌کار می‌روند. در حسگرهای حرکتی، شتاب‌سنج‌ها الگوهای حرکتی و رفتاری ماهی را ردیابی کرده و امکان شناسایی زودهنگام استرس و بیماری را فراهم می‌کنند (Huang and Khabusi, 2025).

الگوریتم‌های هوش مصنوعی[1]

الگوریتم‌های هوش مصنوعی نقش اساسی در تبدیل داده‌های خام جمع‌آوری‌شده به‌وسیله حسگرهای IoT به اطلاعات عملی و قابل اجرا ایفاء می‌کنند. این الگوریتم‌ها از طریق مدل‌سازی، خودکارسازی و بهینه‌سازی فرآیندهای اساسی (تغذیه و مدیریت آب)، تحول چشمگیری در شیوه‌های مدیریت مزارع آبزی‌پروری ایجاد کرده‌اند (Huang and Khabusi, 2025). ادغام تکنیک‌های مختلف هوش مصنوعی (یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، بینایی ماشین و منطق فازی)، امکان پردازش مؤثر داده‌های پیچیده و متنوع را در این حوزه فراهم ساخته است. یادگیری ماشین با ارائه ابزارهای قدرتمند برای تحلیل‌های پیش‌بینانه و شناسایی الگوها به‌ویژه در پردازش داده‌های منسجم حاصل از حسگرهای IoT ، امکان پیش‌بینی تغییرات و اتخاذ تصمیمات آگاهانه را برای بهینه‌سازی عملیات فراهم می‌کند. یادگیری عمیق به عنوان زیرمجموعه‌ای پیشرفته از یادگیری ماشین، با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی چندلایه، امکان استخراج ویژگی‌های سطح بالا را از داده‌های پیچیده فراهم می‌سازد. این تکنیک به‌ویژه در پردازش داده‌های غیرمنسجم (تصاویر و ویدیوها)، کاربرد گسترده‌ای دارد. بینایی ماشین و پردازش تصویر به عنوان اجزاء حیاتی هوش مصنوعی در آبزی‌پروری، امکان تفسیر و تحلیل اطلاعات تصویری را فراهم می‌کنند (Huang and Khabusi, 2025). از طریق این تکنیک‌ها، مدل‌های هوش مصنوعی قادر به ارزیابی رفتار ماهی، تشخیص الگوهای غیرعادی و شناسایی نشانه‌های استرس یا بیماری هستند. منطق فازی با تقلید از استدلال انسانی در مواجهه با عدم قطعیت، رویکردی مناسب برای محیط‌های پویای آبزی‌پروری ارائه می‌دهد. این تکنیک در ترکیب با سایر الگوریتم‌های هوش مصنوعی، در کاربردهایی همچون طبقه‌بندی بیماری‌های ماهی، بهینه‌سازی برنامه‌های تغذیه (Huang and Vadloori, 2024) و تشخیص زودهنگام مشکلات سلامت، مورد استفاده موفقیت‌آمیز قرار گرفته است .

کاربردهای AIoT در پرورش ماهیان زینتی

فناوری هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء با ترکیب جمع‌آوری لحظه‌ای داده‌ها از حسگرهای اینترنت اشیاء و تحلیل‌های پیشرفته مبتنی بر هوش مصنوعی، بهره‌وری، پایداری و کارایی عملیات آبزی‌پروری را به شکل چشمگیری افزایش می‌دهد (Rastegari *et al.,* 2023). در ادامه به مهم‌ترین زمینه‌های کاربرد هوش مصنوعی اشیاء در آبزی‌پروری و پرورش ماهیان زینتی پرداخته می‌شود.

سیستم‌های تغذیه هوشمند

سیستم‌های تغذیه هوشمند به عنوان یکی از حوزه‌های تحول‌آفرین در آبزی‌پروری با پایش فعالیت تغذیه‌ای ماهیان و شاخص‌های محیطی، فرایند تغذیه را خودکار کرده و تضمین می‌کنند که موجودات آبزی در زمان‌های بهینه، میزان مناسبی از خوراک را دریافت کنند. پژوهش‌های اخیر پایه محکمی برای توسعه این سیستم‌ها فراهم کرده و روش‌های متنوعی برای بهینه‌سازی استراتژی‌های تغذیه و افزایش بهره‌وری بررسی شده است.

سیستم‌های تغذیه هوشمند، با بهینه‌سازی دفعات تغذیه و توزیع مواد مغذی، شاخص‌های رشد و بهره‌وری خوراک را در گونه‌های مختلف افزایش می‌دهند. در مطالعه‌ای (Huang *et al*., 2024)، از مدل GBM[2] برای بهینه‌سازی نسبت تبدیل خوراک (FCR) و میانگین افزایش وزن روزانه (ADG) استفاده شد و دقت قابل‌توجهی معادل ۹۳/۰۳٪ برای پیش‌بینی ضریب تبدیل خوراک و ۷۲/۴۹٪ برای پیش‌بینی ضریب رشد روزانه گزارش گردید. یافته‌های این پژوهش نشان داد که افزایش دفعات تغذیه معمولاً منجر به کاهش FCR شده است و تغذیه تا حد سیری، بیشترین افزایش وزن روزانه را فراهم می‌کند.

تشخیص خودکار رفتار تغذیه‌ای ماهی نقش کلیدی در تعیین دقیق نیازهای غذایی ایفاء می‌کند. در این زمینه، فناوری بینایی ماشین و حسگرهای صوتی به عنوان راهکارهای مؤثری مطرح شده‌اند. سامانه مبتنی بر یادگیری عمیق که Hu و همکاران

[1] AI Algorithms

[2] Gradient Boosting Machine

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-12-20]

[DOI: 10.22034/JOA.12.3.55]

(۲۰۲۲) توسعه دادند، با تحلیل اختلالات سطح آب در حین و پس از تغذیه، حتی در محیط‌های گل‌آلود توانست با دقت ۹۳٪/۲ عمل نماید.

پایش صوتی نیز به عنوان روشی کارآمد برای ارزیابی رفتار تغذیه‌ای شناخته شده است. Wei و همکاران (۲۰۲۰) سیستمی برای تغذیه میگو ارائه نمودند که شدت صدای تغذیه را با سطح گرسنگی مرتبط می‌سازد. همچنین مدل صوتی ASST [1] که Zengو همکاران (۲۰۲۲) برای بررسی دفعات تغذیه ماهیان در استخرهای آبزی‌پروری توسعه دادند، دقت قابل‌توجه ۹۶/۱۶٪ را نشان داد.

اگرچه تحقیقات گسترده‌ای در مورد این سیستم‌ها برای گونه‌های پرورشی انجام شده است، اما مطالعات در زمینه استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای مدیریت یکپارچه تغذیه و کیفیت آب در ماهیان زینتی نادر است. در بررسی مربوط به سیستم‌های هوشمند پایش و تغذیه، Balaji و همکاران (۲۰۲۰) پلتفرمی پایه به منظور پایش خودکار دمای آب، کیفیت و تغذیه برای ماهیان آکواریومی طراحی نمودند. آنها به منظور جلوگیری از تلفات ماهیان باارزش زینتی در اثر تغذیه بیش از حد یا کاهش اکسیژن آب به دلیل افزایش آمونیاک و نیتریت ناشی از تجزیه غذا در آکواریوم، از سامانه خودکار تغذیه ماهی با استفاده از تایمر استفاده کردند. این دستگاه تغذیه خودکار می‌تواند غذادهی به‌موقع و مناسب را در زمان‌های از پیش تعیین شده فراهم نماید و همزمان محیط را پایش و بهینه نگه دارد. در این سیستم، در صورت کاهش سطح pH و دمای آب به کمتر از حد مجاز، هشدار لازم داده می‌شود تا از ماهی‌ها محافظت گردد. این فناوری به صاحبان آکواریوم این امکان را می‌دهد که حتی در صورت دوری طولانی‌مدت، به طور منظم از وضعیت آکواریوم خود مطلع شوند.

مدیریت کیفیت آب

کیفیت آب یکی از حیاتی‌ترین مؤلفه‌های موفقیت در پرورش ماهیان زینتی است، زیرا سلامت، رنگ، رفتار و رشد این گونه‌ها به‌شدت تحت تأثیر شرایط فیزیکوشیمیایی محیط قرار دارد. کوچک‌ترین تغییر در شاخص‌هایی مانند دما، اکسیژن محلول، pH، شوری و غلظت آمونیاک می‌تواند باعث بروز استرس، کاهش اشتها، تضعیف سیستم ایمنی و حتی تلفات شود. به همین دلیل، کنترل و پایش مداوم کیفیت آب با روش‌های سنتی (اندازه‌گیری دستی و دوره‌ای)، دیگر پاسخگوی نیاز سیستم‌های مدرن پرورش و آکواریوم‌های تجاری نیست (Flores-Iwasaki, *et al.*, 2025). فناوری‌های اینترنت اشیاء (IoT) و هوش مصنوعی (AI)در دهه اخیر، ابزارهای کارآمدی برای پایش هوشمند کیفیت آب فراهم کرده‌اند. در این سامانه‌ها، حسگرهای IoT به صورت لحظه ای داده‌هایی مانند دما، pH، اکسیژن محلول، شوری، کدورت و میزان نیترات را ثبت کرده و از طریق شبکه بی‌سیم به پلتفرم‌های ابری ارسال می‌کنند (Tina *et al.*, 2025). داده‌های جمع‌آوری‌شده سپس به‌وسیله مدل‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق تحلیل می‌شوند تا روند تغییرات و خطرات احتمالی پیش‌بینی شود . مطالعات نشان داده‌اند که ترکیب IoT با مدل‌های شبکه عصبی بازگشتی (RNN)، واحدهای بازگشتی دروازه‌دار (GRU) و خودرمزگذارهای کانولوشنی (CAE) دقت پیش‌بینی کیفیت آب را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد و امکان هشدار زودهنگام را در شرایط بحرانی فراهم می‌سازد (Sundararajan *et al.*, 2025). به‌علاوه، حسگرهای کم‌هزینه و دقیق برای اندازه‌گیری شوری، کدورت و آمونیاک، گامی مهم در هوشمندسازی پرورش ماهیان زینتی به‌شمار می‌رود. Yadav و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که استفاده از حسگرهای IoT در تانک‌های پرورش ماهی سی‌بس آسیایی موجب بهبود چشمگیر دقت داده‌های کیفیت آب و کاهش هزینه‌های عملیاتی شد (Yadav *et al.*, 2024) . Patroj و همکاران (۲۰۲۳) رفتار و فعالیت گلدفیش را در واکنش به تغییرات اکسیژن و دما تحلیل نمودند. نتایج نشان داد که تغییرات محیطی حتی در بازه‌های کوچک، به‌سرعت بر رفتار حرکتی و نرخ تغذیه تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین، سامانه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند برای تنظیم خودکار شرایط محیطی به‌کار روند تا استرس ماهیان به حداقل برسد. همچنین در مطالعه‌ای مروری Flores-Iwasaki و همکاران (۲۰۲۵) بیش از ۱۲۰ مقاله مرتبط بررسی و گزارش شد که سامانه‌های مبتنی بر IoT در کنار الگوریتم‌های یادگیری ماشین، در مقایسه با پایش دستی، باعث افزایش بهره‌وری، کاهش مرگ‌ومیر و بهبود رفاه ماهیان می‌شوند.

در مجموع، ادغام فناوری‌های AI و IoT در مدیریت کیفیت آب، امکان پایش پیوسته، تحلیل بلادرنگ و مداخله پیشگیرانه را فراهم کرده است. این رویکرد نه‌تنها موجب حفظ سلامت و

[1] - Audio Spectrum Swin Transformer (ASST)

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-12-20]

[DOI: 10.22034/JOA.12.3.55]

زیبایی ماهیان زینتی می‌شود بلکه پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی سیستم‌های پرورش را نیز تضمین می‌کند.

تشخیص بیماری‌ها

بیماری‌ها یکی از عوامل اصلی تهدید در سیستم‌های پرورش ماهیان هستند و اگر به‌موقع تشخیص داده نشوند، می‌توانند شیوع یابند و خسارات سنگینی ایجاد کنند. در ماهیان زینتی، به دلیل تراکم بالا، استرس حمل و نقل و حساسیت ظاهری برای رنگ و فرم، تشخیص به‌موقع بیماری اهمیت مضاعفی دارد. فناوری‌های نوین (بینایی ماشین، یادگیری عمیق و سامانه‌های هوشمند)، این امکان را فراهم کرده‌اند که علائم بیماری به صورت خودکار و زودرس تشخیص داده شوند.

یکی از رویکردهای مؤثر در تشخیص بیماری، بهره‌گیری از تصاویر ماهی و تکنیک‌های پردازش تصویر به همراه مدل‌های یادگیری ماشین یا عمیق است. بینایی ماشین، ترکیب فناوری پردازش تصویر و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، امکان شناسایی علائم بیماری‌ها از روی تصاویر ماهیان فراهم می‌کند. برای مثال، شبکه‌های عصبی کانولوشنی (CNN) در تشخیص زخم‌های پوستی، پوسیدگی باله و سایر اختلالات فیزیولوژیک در ماهیان زینتی مانند گورامی و تترا موفق عمل نموده اند. این روش‌ها امکان پایش غیرتهاجمی و سریع ماهیان را فراهم کرده است و خطای انسانی را کاهش می‌دهند. Li و همکاران (۲۰۲۲) روش های متنوع تشخیص بیماری مبتنی بر دوربین، میکروسکوپ، تصویر طیفی و ترکیب حسگرها را بررسی و مزایا و محدودیت‌های هر روش تحلیل کردند. آنها چالش بزرگ در این روش ها را تأمین تصاویر با کیفیت بالا و مجموعه‌داده استاندارد عنوان نمودند. همچنین Mamun و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که ترکیب پردازش تصویر و مدل‌های یادگیری عمیق نسبت به روش‌های کلاسیک، عملکرد بهتری دارد. آنها موفق به تشخیص بیماری‌ها در شبکه‌های VGG16 و VGG19 با ضریب دقت بسیار بالا (نزدیک به ۹۹/۶۴٪) شدند. با وجود این، اغلب این مدل‌ها به شرایط تصویربرداری حساس بوده و معمولاً بر یک بیماری خاص متمرکز هستند.

بر اساس مقالات پژوهشی، به طور معمول بیشتر تحقیقات اخیر در زمینه آبزی‌پروری هوشمند در چارچوب پیش‌بینی کیفیت آب بوده است. در این زمینه، پایش مداوم شاخص‌های کیفی آب می‌تواند انحرافات اولیه مرتبط با بروز بیماری را آشکار کند. مدل‌هایی مانند GBM و CNN ترکیب‌شده با داده‌های حسگرهای IoT ، توانسته‌اند با دقتی بیش از ۹۰٪ قوع بیماری را پیش‌بینی کنند (Nayan *et al*., 2021; Moni *et al*., 2024). Nawinna و همکاران (۲۰۲۳) با بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیش‌بینانه، سیستمی طراحی کردند که نه‌تنها بیماری‌ها را تشخیص دهد بلکه پیش‌بینی وقوع بیماری را بر اساس روند تغییرات شاخص‌های کیفی آب ممکن می‌سازد. آنها گزارش دادند، امکان مدیریت پیش‌گیرانه با استفاده از این هوش مصنوعی در صنعت پرورش ماهی زینتی فراهم شده و از تلفات گسترده جلوگیری خواهد شد. استفاده از این سیستم اگرچه سرمایه‌گذاری اولیه قابل توجه نیاز دارد، اما بازدهی بلندمدت و کاهش هزینه‌های ناشی از تلفات، این سیستم را به گزینه‌ای مقرون‌به‌صرفه و پایدار برای صنعت در حال رشد ماهیان زینتی تبدیل خواهد کرد. اپلیکیشن‌های موبایلی و اتصال آنها به بستر ابری، امکان پایش بیماری و ارسال هشدار برای آکواریوم و مزارع کوچک‌مقیاس را فراهم کرده است. همچنین ترکیب این سامانه‌ها با حسگرهای کیفیت آب، با دقتی نزدیک به ۹۷٪ بیماری را تشخیص داده است (Darapaneni *et al.*, 2022).

برآورد زی‌توده ماهی

برآورد دقیق زی‌توده ماهیان در سامانه‌های پرورشی، نقش کلیدی در مدیریت بهینه، تغذیه هدفمند، کاهش هزینه‌ها و پایداری تولید دارد و در ماهیان زینتی به دلیل اندازه کوچک، تراکم بالا و حساسیت به استرس، از مشکلات اساسی این صنعت محسوب می گردد. در این زمینه، فناوری‌های نوین متعددی به کار گرفته شده‌اند از جمله؛ (۱) استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته بینایی ماشین و یادگیری عمیق امکان تشخیص و ردیابی ماهیان زینتی در آکواریوم‌های شلوغ را فراهم کرده است. این سامانه‌ها قادرند طول و عرض ماهی‌های کوچک را با دقت بالا اندازه‌گیری کنند (Barbedo, 2022). (۲) ترازوهای هوشمند و پرتابل با قابلیت بلوتوث، زی‌توده را در شرایط حقیقی محیط پرورشی با خطای کمتر از ۲٪ تخمین می‌زنند و به‌تدریج با اپلیکیشن‌های همراه تلفیق می‌شوند. (۳) در محیط‌هایی با کدورت یا دید ضعیف، استفاده از سونار و اکو-ساندر همراه با مدل‌های یادگیری ماشین نتایج مطلوبی در تخمین زی‌توده داشته است (خطا حدود ۷٪). (۴) روش‌های جدید مبتنی بر تحلیل سیگنال‌های صوتی ماهیان، تخمین زی‌توده را با دقت بالاتر از ۹۸٪ و به صورت غیرتهاجمی ممکن ساخته‌اند.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-12-20]

[DOI: 10.22034/JOA.12.3.55]

تشخیص رفتار ماهی

رفتار ماهی شاخص مهمی برای سلامت، رفاه و شرایط محیطی است. پیشرفت‌های اخیر در هوش مصنوعی و بینایی ماشین، امکان بررسی لحظه‌ای و غیرتهاجمی رفتار آبزیان را فراهم کرده‌اند. از مهم‌ترین کاربردها می توان به شناسایی رفتارهای غیرعادی در ماهی، تحلیل سرعت و حرکت و تشخیص بیماری از طریق رفتار اشاره نمود. مدل‌های یادگیری عمیق مانند ResNeXt، R-CNN و RNN توانستند با دقت بیش از ۹۲٪ رفتارهای غیر عادی ماهی را تشخیص دهند. مدل EchoBERT علائم اولیه بیماری‌ها را تا بیش از یک ماه زودتر از بروز بالینی شناسایی کرده است. Patro و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از فناوری اینترنت اشیاء و یادگیری ماشین، تحلیل تغییرات رفتاری را در ماهی گلدفیش در نتیجه تغییر شاخص‌های محیطی (دمای آب و اکسیژن محلول) انجام دادند. آنها داده‌های دمای آب و اکسیژن محلول را به صورت لحظه ای از حسگر IoT جمع‌آوری کرده و سپس با استفاده از چهار الگوریتم (Decision Tree، Naive Bayes، KNN و LDA) وضعیت رفتاری ماهیان را تحلیل کردند. نتایج نشان دادند که خطای کمینه برای الگوریتم درخت تصمیم[1] برابر با ۱۳/۷۸٪ بود که نشان‌دهنده کارایی مناسب در شناسایی تغییر رفتارهای ماهی است (Patro *et al.*, 2023).

شمارش خودکار آبزیان

شمارش دقیق آبزیان یکی از مراحل حیاتی در مدیریت ذخایر، پایش سلامت و بهینه‌سازی تغذیه است. روش‌های سنتی اغلب پرزحمت، تهاجمی و همراه با خطا هستند، اما هوش مصنوعی، بینایی ماشین و فناوری‌های آکوستیک، امکان شمارش دقیق و غیرتهاجمی انواع آبزیان را فراهم کرده است. مدل‌های مبتنی بر یادگیری عمیق مانند ShrimpCountNet وShrimpseedNet موفق به شمارش لارو و پست‌لارو میگو با دقت بالای ۹۸-۹۵٪ شده‌اند. این روش‌ها بر پایه برآورد چگالی و پردازش تصویر عمل می‌کنند، هرچند در شرایط تراکم بالا یا نور نامناسب، دقت کاهش می‌یابد. الگوریتم‌های YOLO و CNN توانسته‌اند شمارش ماهیان را حتی در شرایط هم‌پوشانی و تراکم بالا انجام دهند. به منظور برآورد جمعیت ماهیان در قفس‌های پرورشی از روش‌های مبتنی بر اکو ساوندر استفاده می گردد که خطای کمتر از ۱۰٪ گزارش شده است. همچنین با استفاده از مدل‌هایی مانند TRH-YOLOv5 امکان شمارش فلس‌های خط جانبی و تحلیل فنوتیپی ماهیان با دقت حدود ۹۹٪ فراهم شده است که در برنامه های اصلاح نژادی بسیار استفاده می‌شود.

شناسایی و طبقه‌بندی گونه‌ها

طبقه‌بندی صحیح گونه‌های ماهی، زیربنای مدیریت شیلات و پایش اکولوژیک است. پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که مدل‌های یادگیری عمیق می‌توانند عملکرد بسیار دقیقی در این حوزه داشته باشند. در مطالعه Desai و همکاران (۲۰۲۲) یک شبکه عصبی مصنوعی (ANN) توانست ۹ گونه ماهی را با دقت ۱۰۰٪ طبقه‌بندی کند. همچنین کاربردهای متنوع‌تری در مطالعات (Riabchenko *et al.*, 2016; Xuan *et al.*, 2018) گزارش شده که شامل ارزیابی کیفیت مروارید، طبقه‌بندی مرجان‌ها، جستجوی عروس‌های دریایی، شناسایی بی‌مهرگان و دیاتومه‌هاست. مدل Faster R-CNN برای شناسایی عروس‌های دریایی با دقتی بیش از ۹۳٪ استفاده شد (Weihong *et al.*, 2023).

در مطالعه‌ای Crespo-Aguado و همکاران (۲۰۲۴) سیستمی پیاده کردند که به کمک دوربین موبایل و پردازش ابری، ماهیان زینتی را شناسایی می‌کند. زمان تشخیص در مدل YOLOv3 حدود ۰/۷۸۶ ثانیه بود و کل پردازش شامل رسم محدوده‌ها ۰/۸۳۶ ثانیه طول کشید. این سیستم توانست ۱۱ نوع ماهی زینتی را شناسایی کند.

تخمین رشد و پرورش

تخمین دقیق شاخص‌های رشد و پرورش در آبزی‌پروری، برای بهینه‌سازی تغذیه، پایش سلامت ماهی، ارتقاء موفقیت تولیدمثل و تضمین پایداری محیطی بسیار مهم است. در سال‌های اخیر، پژوهش‌ها به طور گسترده بر توسعه روش‌های هوشمند و خودکار مبتنی بر هوش مصنوعی، بینایی ماشین و فناوری‌های نوین تمرکز کرده‌اند تا امکان پایش غیرتهاجمی و سریع را فراهم سازند. یکی از چالش‌های اصلی در آبزی‌پروری، زمان‌بندی دقیق فرآیندهای تولیدمثلی است. خودکارسازی تشخیص بلوغ و تخم‌ریزی می‌تواند بهره‌وری پرورشی را به طور چشمگیری ارتقاء دهد. Hsieh و Meng (۲۰۲۴) سیستمی مبتنی بر دوربین زیرآبی را برای ارزیابی بلوغ ماهی کوبیا معرفی کردند که با دقت ۷۴/۳٪ توانست ماهیان بالغ را شناسایی نماید. در صدف خوراکی

[1] Decision Tree

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-12-20]
[DOI: 10.22034/JOA.12.3.55]

نیز Ahmed و همکاران (۲۰۱۶) الگوریتمی معرفی کردند که بر پایه تحلیل حرکت دریچه‌ها و شناسایی خرابی عمل می‌کرد و توانست بدون هشدار کاذب، فرآیند تخم‌ریزی را به‌درستی تشخیص دهد.

اندازه‌گیری شاخص‌های رشدی مانند طول، وزن و مسیر رشد، نقش مهمی در بهینه‌سازی مدیریت پرورشی ایفاء می‌کند. در این زمینه، فناوری‌های بینایی ماشین و مدل‌های یادگیری عمیق نویدبخش‌اند : در پیش‌بینی وزن و سیر رشد، Chen و همکاران (۲۰۲۳) توانستند مدل‌های تجربی را با شبکه‌های LSTM ترکیب کنند و خطای تشخیص را تا ۶۱/۳٪ نسبت به روش‌های مرسوم کاهش دهند. Voskakis و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از شبکه عصبی کانولوشنی(CNN) همراه با بینایی استریو، توانستند برآورد طول ماهیان دریای سرخ و دریای سفید را به‌ترتیب با خطای ۳/۱۵٪ و ۴/۷٪ امکان‌پذیر سازند. به طور کلی، استفاده از روش‌های غیرتهاجمی و سریع، علاوه بر کاهش استرس وارده به ماهی، باعث کاهش هزینه‌های نیروی انسانی و بهبود مدیریت پرورش می‌شود .

ردیابی ماهی و بررسی ویژگی‌های فردی

ردیابی ماهی و تحلیل ویژگی‌های فردی در محیط‌های پرورشی و طبیعی، ابزاری کلیدی برای پایش رفتار، سلامت، الگوهای تغذیه، تولیدمثل و دینامیک جمعیت به‌شمار می‌رود. استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته بینایی ماشین و یادگیری عمیق امکان شناسایی ماهیان زینتی را در سطح فردی فراهم کرده است. این سیستم‌ها بر اساس الگوهای منحصربه‌فرد رنگ، شکل بدن و الگوی شنای هر ماهی عمل می‌کنند (Moniruzzaman *et al.*, 2021). روش‌های بیومتریک مانند تشخیص عنبیه به عنوان رویکردهایی نویدبخش برای شناسایی غیرتهاجمی و بدون نیاز به تگ گذاری خارجی مطرح شده است. Schraml و همکاران (۲۰۲۱) از الگوی عنبیه به عنوان شاخص بیومتریک برای شناسایی ماهی آزاد آتلانتیک استفاده کردند و با کمک شبکه عصبی کانولوشنی (CNN) و فیلترهای Log-Gabor به دقتی بیش از ۹۵٪ در شناسایی کوتاه‌مدت دست یافتند. به منظور ردیابی چندماهی در محیط‌های محصور، Liu و همکاران (۲۰۱۹) سامانه‌ای برای ردیابی ویدیویی سه‌بعدی در مخازن کنترل‌شده طراحی کردند که به دقتی بیش از ۹۵٪ توانست ماهی‌ها را تشخیص دهد. همچنین مدل‌های محاسباتی پیشرفته نشان دادند که می‌توانند با دقت بالایی فعالیت‌های گروهی و رفتارهای جمعی ماهیان را شناسایی کنند. همچنان که با استفاده از شبکه کانولوشنی گراف ، Zhao و همکاران (۲۰۲۴) توانستند فعالیت‌های گروهی را با دقت ۹۳/۳۳٪ شناسایی نمایند.

مزایای AIoT در آبزی‌پروری در مقایسه با روش‌های سنتی

در پرورش و نگهداری ماهیان زینتی، روش‌های سنتی معمولاً مبتنی بر پایش دوره‌ای (نمونه‌برداری دستی و آزمایشگاهی)، بررسی‌های چشمی و تصمیم‌گیری مبتنی بر تجربه هستند. این روش‌ها ساده و اقتصادی بوده، اما دارای محدودیت‌های آشکاری مثل تأخیر در شناسایی ناهنجاری‌ها، احتمال خطای انسانی، و عدم توانایی پایش در مقیاس بزرگ هستند. به‌عکس، ادغام IoT (حسگرهای دما، pH، اکسیژن، کدورت و دوربین‌های زیرآبی) با الگوریتم‌های AI/ML امکان پایش لحظه ای، تحلیل خودکار و هشدار پیشگیرانه را فراهم می‌آورد که برای ماهیان زینتی (جایی‌که تغییرات کوچک کیفیت آب می‌تواند بلافاصله بر رنگ، رفتار و ارزش اقتصادی تأثیر بگذارد)، اهمیت حیاتی دارد. در سطح عملیاتی برای اکوسیستم‌های آکواریومی زینتی، پروژه‌ها و پیاده‌سازی‌های IoT- محور نشان داده‌اند که اتوماسیون تغذیه و نظارت کیفیت آب، میزان خطاهای نگهداری دستی را کاهش می‌دهد و رفاه ماهیان و پایداری اکوسیستم را بهبود می‌بخشد (Fitrian and Putra, 2025). علاوه‌براین، سامانه‌های مبتنی بر بینایی ماشین قادرند وضعیت ظاهری ماهی (زخم، پوسیدگی باله، تغییر رنگ) و رفتار غیرعادی را به صورت خودکار گزارش کنند که برای پرورش‌دهندگان تجاری ماهیان زینتی اهمیت دارد (Perera *et al.*, 2023). بنابراین، از مهم‌ترین مزایای AI/IoT نسبت به روش سنتی در آبزی‌پروری زینتی، پایش مداوم و کشف نوسانات سریع کیفیت آب (Patro *et al.*, 2023)، هشدار پیشگیرانه و پیش‌بینی بیماری و استرس با تحلیل نمودار حسگرها و الگوهای رفتاری (Rather, 2024)، بهینه‌سازی غذادهی و کاهش هدررفت از طریق کنترل خودکار و الگوریتم‌های بازخورد (Fitrian and Putra, 2025)، کاهش خطای انسانی و مقیاس‌پذیری (نظارت همزمان بر چند آکواریوم یا قفس) که برای کسب‌وکارهای تجاری زینتی مهم بوده (UTHM project, 2024) و ثبت و آرشیو داده برای تحلیل بلندمدت و تدوین پروتکل‌های بهداشتی (قابلیت تحلیل داده‌های تاریخی برای بهبود مدیریت) هستند.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-12-20]
[DOI: 10.22034/JOA.12.3.55]

چالش‌ها و محدودیت‌های AIoT در آبزی‌پروری زینتی

با وجود پیشرفت‌های قابل‌توجه در کاربرد هوش مصنوعی (AI) و اینترنت اشیا (IoT) در صنعت آبزی‌پروری، پیاده‌سازی این فناوری‌ها در حوزه‌ی آبزیان زینتی با چالش‌ها و محدودیت‌های متعددی روبه‌روست. یکی از چالش‌های اصلی، کمبود داده‌های دقیق و تایید شده برای آموزش مدل‌های یادگیری ماشین است، زیرا بسیاری از گونه‌های زینتی در شرایط نوری، رفتاری و رنگی متفاوتی پرورش داده می‌شوند که جمع‌آوری داده‌های استاندارد را دشوار می‌سازد (Rahman *et al.*, 2020; Dutta *et al.*, 2024). علاوه‌براین، هزینه‌های بالای تجهیزات، نگهداری و ارتباطات IoT مانع پذیرش گسترده این فناوری در مزارع کوچک‌مقیاس زینتی می‌شود (Dhanasekaran and Kumar, 2022; Zhang *et al.*, 2023). مشکل دیگر، ناپایداری شبکه‌های ارتباطی در محیط‌های مرطوب و آبی است که منجر به از بین رفتن داده‌ها یا تأخیر در تحلیل می‌شود (Xu *et al.*, 2023). در کنار آن، نگهداری دشوار حسگرها به دلیل رسوب‌گذاری، خوردگی و نیاز به کالیبراسیون مکرر، باعث افت عملکرد سامانه‌ها می‌شود (Suh *et al.*, 2024). همچنین، فقدان استانداردهای یکپارچه برای تبادل داده بین تجهیزات مختلف و کمبود چارچوب‌های بین‌المللی برای اشتراک داده، مانعی در توسعه زیرساخت‌های هوشمند در آبزی‌پروری زینتی است (Zhang *et al.*, 2023). از منظر انسانی نیز کمبود متخصصان داده و دانش فنی در بین پرورش‌دهندگان زینتی، فرایند پذیرش فناوری را کند کرده است (Abubakar *et al.*, 2023) . در نهایت، نگرانی‌های امنیت سایبری، حفظ حریم خصوصی داده‌ها و مالکیت داده‌های زیستی نیز از چالش‌های اساسی سامانه‌های AIoT محسوب می‌شوند (Xie *et al.*, 2023). با وجود این محدودیت‌ها، انتظار می‌رود با توسعه استانداردهای داده، آموزش نیروی انسانی و طراحی سامانه‌های مقرون‌به‌صرفه، کاربرد هوش مصنوعی و IoT در صنعت پرورش ماهیان زینتی به صورت گسترده‌تری تحقق یابد.

نتیجه‌گیری

فناوری‌های نوین هوش مصنوعی (AI) و اینترنت اشیا (IoT) به‌سرعت در حال تحول شیوه‌های مدیریت و پایش در صنعت آبزی‌پروری هستند و حوزه پرورش ماهیان زینتی نیز از این قاعده مستثنی نیست. ترکیب این دو فناوری در قالب هوش مصنوعی اشیا (AIoT)، توانایی ایجاد سامانه‌هایی را فراهم کرده است که می‌توانند به صورت لحظه‌ای، وضعیت سلامت، رفتار، تغذیه و کیفیت آب را پایش کرده و تصمیمات مدیریتی را به صورت خودکار یا نیمه‌خودکار اتخاذ نمایند. نتایج مطالعات نشان داده است که سامانه‌های مبتنی بر AIoT می‌توانند دقت تشخیص تغییرات محیطی و رفتاری ماهیان زینتی را تا بیش از ۹۰٪ افزایش دهند و هزینه‌های ناشی از تغذیه اضافی یا بیماری را به میزان قابل‌توجهی کاهش دهند (Aulia Kristy *et al.*, 2024). به‌علاوه، هوش مصنوعی از طریق الگوریتم‌های یادگیری عمیق و بینایی ماشین، ابزار قدرتمندی برای تشخیص زودهنگام بیماری‌ها، تحلیل رفتارهای غیرعادی و پیش‌بینی وضعیت رشد و رفاه ماهی فراهم کرده است. با این‌حال، چالش‌هایی همچون کمبود داده‌های اختصاصی برای گونه‌های زینتی، هزینه‌های بالای پیاده‌سازی، محدودیت زیرساخت‌های اینترنتی و نیاز به آموزش نیروی انسانی متخصص، از موانع اصلی توسعه AIoT در این حوزه هستند. برای غلبه بر این محدودیت‌ها، پیشنهاد می‌شود که پایگاه‌های داده ملی و بین‌المللی برای آبزیان زینتی ایجاد شوند، مدل‌های یادگیری ماشین با داده‌های چندمنبعی (تصویری، صوتی و محیطی) آموزش ببینند و همکاری میان پژوهشگران علوم شیلات، مهندسی کامپیوتر و داده‌کاوی تقویت گردد. در مجموع، به‌کارگیری AI و IoT در پرورش ماهیان زینتی می‌تواند به شکل چشمگیری باعث افزایش بهره‌وری، بهبود رفاه ماهی، کاهش تلفات و پایداری زیست‌محیطی شود. آینده صنعت آبزی‌پروری زینتی به سمت هوشمندسازی پیش می‌رود و ادغام فناوری‌های دیجیتال با زیست‌فناوری، چشم‌اندازی نو برای مدیریت کارآمد و اخلاقی این صنعت رقم خواهد زد.

منابع

Abubakar, A., Uddin, M. and Rahman, M.M., 2023. Exploring aquaculture professionals' perceptions of artificial intelligence. *Water*, 16(24), 3595. Available from: https://doi.org/10.3390/w16243595

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-12-20]

[DOI: 10.22034/JOA.12.3.55]

Ahmed, H., Ushirobira, R., Efimov, D., Tran, D., Sow, M., Payton, L. and Massabuau, J.,,2016. A fault detection method for automatic detection of spawning in oysters. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 24(4), pp. 1140–1147. Available from: https://doi.org/10.1109/TCST.2015.2505698

Aulia Kristy, R.A., Subki, A., Zulpahmi, M. and Samsumar, L.D., 2024. Designing IoT Monitoring and Smart Feed Systems for Ornamental Fish. *Journal of Computer Science and Informatics Engineering*, 3(4), pp. 149–160. Available from: https://doi.org/10.55537/cosie.v3i4.923

Balaji, A., Prabhakar, V., Karthikumar, R. and Thangavel, L., 2020. Automatic fish feeding and monitoring system for aquarium using 555 timers. *International Journal of Technical Research and Science*, 5(6), pp. 20–23. Available from: https://doi.org/10.30780/IJTRS.V05.I06.005

Barbedo, J.G.A., 2022. A Review on the Use of Computer Vision and Artificial Intelligence for Fish Recognition, Monitoring, and Management. *Fishes*, 7(6), 335. Available from: https://doi.org/10.3390/fishes7060335

Chen, H., Nan, X. and Xia, S., 2023. Data fusion based on temperature monitoring of aquaculture ponds with wireless sensor networks. *IEEE Sensors Journal*, 23(1), pp. 6–20. Available from: https://doi.org/10.1109/JSEN.2022.3224687

Crespo-Aguado, M., Lozano, R., Hernandez-Gobertti, F., Molner, N. and Gomez-Barquero, D., 2024. Flexible Hyper-Distributed IoT–Edge–Cloud Platform for Real-Time Digital Twin Applications on 6G-Intended Testbeds for Logistics and Industry. *Future Internet*, 16(11), 431. Available from: https://doi.org/10.3390/fi16110431

Darapaneni, N., Sreekanth, S., Paduri, A.R., Roche, A.S., Murugappan, V., Singha, K.K. and Shenwai, A.V., 2022. AI based farm fish disease detection system to help micro and small fish farmers. In: *2022 Interdisciplinary Research in Technology and Management (IRTM)*. Kolkata, India, 24-26 February 2022. IEEE, pp. 1–5. Available from: https://doi.org/10.1109/IRTM54583.2022.9791541

Desai, N.P., Balucha, M.F., Makrariyab, A. and MusheerAziz, R. 2022. Image processing model with deep learning approach for fish species classification. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 13(2), pp. 85–99.

Dhanasekaran, S. and Kumar, P., 2022. IoT-based smart ornamental fish farming systems: Opportunities and limitations. *Aquaculture Engineering*, 99, 102261. Available from: https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102261

Dutta, A., Bandyopadhyay, S. and Ghosh, S., 2024. Artificial intelligence methods used in various aquaculture applications: A systematic literature review. *Aquaculture Reports*, 35, 101817. Available from: https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.101817

Fitrian, Y.H. and Putra, M.Y. 2025. IoT Based Goldfish Aquarium Water Quality Monitoring System Using SDLC Method. *Journal of Artificial Intelligence and Engineering Applications (JAIEA)*, 4(1), pp. 285–293.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-12-20]

[DOI: 10.22034/JOA.12.3.55]

Huang, M.; Zhou, Y.-G.; Yang, X.-G.; Gao, Q.-F.; Chen, Y.-N.; Ren, Y.-C.; Dong, S.-L., 2024 Optimizing feeding frequencies in fish: A meta-analysis and machine learning approach. *Aquaculture* 2024, 595, 741678. Available from: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741678

Li, D., Li, X., Wang, Q. and Hao, Y., 2022. Advanced Techniques for the Intelligent Diagnosis of Fish Diseases: A Review. *Animals*, 12(21), 2938. Available from: https://doi.org/10.3390/ani12212938

Liu, X., Yue, Y., Shi, M. and Qian, Z.M., 2019. 3-D video tracking of multiple fish in a water tank. *IEEE Access*, 7, pp. 145049–145059. Available from: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2945925

Mamun, M.R.I., Rahman, U.S., Akter, T. and Azim, M., 2023. Fish Disease Detection using Deep Learning and Machine Learning. *International Journal of Computer Applications*, 185(42), pp. 1–8. Available from: https://doi.org/10.5120/ijca2023923079

Mandal, A. and Ghosh, A.R., 2024. Role of artificial intelligence (AI) in fish growth and health status monitoring: a review on sustainable aquaculture. *Aquaculture International*. Available from: https://doi.org/10.1007/s10499-023-01297-z

Moni, J., Jacob, P.M., Sudeesh, S., Nair, M.J., George, M.S. & Thomas, M.S., 2024. A smart aquaculture monitoring system with automated fish disease identification. In: 2024 1st International Conference on Trends in Engineering Systems and Technologies (ICTEST). Kochi, India, 11-13 April 2024. Available from: https://ioinformatic.org/index.php/JAIEA/article/download/1100/785/3070 [Accessed 18 October 2024].

Flores-Iwasaki, M., Guadalupe, G.A., Pachas-Caycho, M., Chapa-Gonza, S., Mori-Zabarburú, R.C. and Guerrero-Abad, J.C., 2025. Internet of Things (IoT) Sensors for Water Quality Monitoring in Aquaculture Systems: A Systematic Review and Bibliometric Analysis. *AgriEngineering*, 7(3), 78. Available from: https://doi.org/10.3390/agriengineering7030078

Hsieh, Y.Z. and Meng, Y.H., 2024. A video surveillance system for determining the sexual maturity of cobia. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 70(2), pp. 484–495. Available from: https://doi.org/10.1109/TCE.2024.3358655

Hu, W.C., Chen, L.B., Huang, B.K. and Lin, H.M., 2022. A computer vision-based intelligent fish feeding system using deep learning techniques for aquaculture. *IEEE Sensors Journal*, 22(7), pp. 7185–7194. Available from: https://doi.org/10.1109/JSEN.2022.3152577

Huang, Y.P. and Khabusi, S.P., 2025. Artificial Intelligence of Things (AIoT) Advances in Aquaculture: A Review. *Processes*, 13(1), 73. Available from: https://doi.org/10.3390/pr13010073

Huang, Y.P. and Vadloori, S., 2024. Optimizing fish feeding with FFAUNet segmentation and adaptive fuzzy inference system. *Processes*, 12(8), 1580. Available from: https://doi.org/10.3390/pr12081580

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-12-20]

[DOI: 10.22034/JOA.12.3.55]

IEEE, pp. 1-6. DOI: 10.1109/ICTEST60614.2024.10576108

Moniruzzaman, M., Islam, M.J., Tasnim, F. and Bhowmik, S., 2021. A computer vision-based approach for individual fish identification using deep learning. *Aquacultural Engineering*, 95, 102199. Available from: https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102199

Nawinna, D., Gamage, N., Perera, N., Perara, D., Ranaveera, U.I. and Perera, Y., 2023. Ornamental Fish Disease Prediction System. *International Journal of Computer Applications*, 2023 Edition, pp. 1–9. Available from: https://doi.org/10.5120/ijca2023922530

Nayan, A.A., Saha, J., Mozumder, A.N., Mahmud, K.R., Al Azad, A.K. and Kibria, M.G., 2021. A machine learning approach for early detection of fish diseases by analyzing water quality. *Trends in Sciences*, 18(11), 351. Available from: https://doi.org/10.48048/tis.2021.351

Patro, K.S.K., Yadav, V.K., Bharti, V.S., Senthilkumar, T., Panda, S. and Rath, S.K., 2023. IoT and ML approach for ornamental fish behaviour analysis. *Scientific Reports*, 13, 21415. Available from: https://doi.org/10.1038/s41598-023-48057-w

Perera, D., Abeysekara, M., Nethmini, T., Samaratunge, U. and Jayawardana, C., 2023. Smart Ornamental Fish Caring System for Aquatic Industry. In: *2023 IEEE 6th International Conference on Information Systems and Engineering (ICISE)*. Kuala Lumpur, Malaysia, 22-24 November 2023. IEEE, pp. 1–6. Available from: https://doi.org/10.1109/IISEC59749.2023.10391003

Rahman, M.M., Hossain, M.A. and Zhang, L., 2020. Deep learning for smart fish farming: Applications, opportunities, and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105584. Available from: https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105584

Rastegari, H., Nadi, F., Lam, S.S., Ikhwanuddin, M., Kasan, N.A., Rahmat, R.F. and Mahari, W.A.W., 2023. Internet of things in aquaculture: A review of the challenges and potential solutions based on current and future trends. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100187. Available from: https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100187

Rather, M.A., 2024. Exploring opportunities of Artificial Intelligence in aquaculture: a review. *Animals*, 14(6), 861. Available from: https://doi.org/10.3390/ani14060861

Riabchenko, E., Meissner, K., Ahmad, I., Iosifidis, A., Tirronen, V., Gabbouj, M. and Kiranyaz, S., 2016. Learned vs. engineered features for fine-grained classification of aquatic macroinvertebrates. In: *2016 23rd International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*. Cancun, Mexico, 4-8 December 2016. IEEE, pp. 2276–2281. Available from: https://doi.org/10.1109/ICPR.2016.7900004

Schraml, R., Hofbauer, H., Jalilian, E., Bekkozhayeva, D., Saberioon, M., Cisar, P. and Uhl, A., 2021. Towards fish individuality-based aquaculture. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(6), pp. 4356–4366.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-12-20]
[DOI: 10.22034/JOA.12.3.55]

detection. *IEEE Access*, 8, pp. 156654–156662. Available from: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3019529

Weihong, B., Yun, J., Jiaxin, L., Lingling, S., Guangwei, F. and Wa, J., 2023. In-situ detection method of jellyfish based on improved faster R-CNN and FP16. *IEEE Access*, 11, pp. 81803–81814. Available from: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3300655

Xie, Y., Zhao, H. and Chen, X., 2023. AIoT in aquaculture: Current challenges, data security, and future perspectives. *Processes*, 11(1), 73. Available from: https://doi.org/10.3390/pr11010073

Xu, L., Zhang, Y. and Li, C., 2023. AI-driven monitoring in aquaculture: Challenges of data quality and real-time implementation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 213, 108250. Available from: https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108250

Xuan, Q., Fang, B., Liu, Y., Wang, J., Zhang, J., Zheng, Y. and Bao, G., 2018. Automatic pearl classification machine based on a multistream convolutional neural network. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(8), pp. 6538–6547. Available from: https://doi.org/10.1109/TIE.2017.2784394

Yadav, R., Prabhakar, S. and Ramesh, M., 2024. Improved accuracy in IoT-based water quality monitoring for aquaculture tanks using low-cost sensors: Asian seabass fish farming. *Heliyon*, 10(7), e32521. Available from: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32521

Available from: https://doi.org/10.1109/TII.2020.3025535

Suh, S., Kim, D. and Lee, J., 2024. Internet of Things in aquaculture: A review of challenges and future directions. *Aquaculture and Fisheries*, 9(1), pp. 25–38. Available from: https://doi.org/10.1016/j.aaf.2023.01.004

Sundararajan, S.C.M., Ganesh, K., Ramakrishnan, K. and Manivannan, D., 2025. IoT-based prediction model for aquaponic fish pond water quality using multiscale feature fusion with convolutional autoencoder and GRU networks. *Scientific Reports*, 15, 11782. Available from: https://doi.org/10.1038/s41598-024-84943-7

Tina, F., Afsarimanesh, N., Nag, A. and Alahi, M.E., 2025. Integrating AIoT Technologies in Aquaculture: A Systematic Review. *Future Internet*, 17(5), 199. Available from: https://doi.org/10.3390/fi17050199

UTHM Team, 2024. Smart Feeder Aquarium and Water Quality Monitoring System. *Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 2(1), pp. 1–10. Available from: https://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/eeee/article/download/17522/5478/103275 [Accessed 18 October 2024].

Voskakis, D., Makris, A. and Papandroulakis, N., 2021. Deep learning based fish length estimation. An application for the Mediterranean aquaculture. In: *OCEANS 2021: San Diego – Porto*. San Diego, CA, USA, 20-23 September 2021. IEEE, pp. 1–5. Available from: https://doi.org/10.23919/OCEANS44145.2021.9705813

Wei, M., Lin, Y., Chen, K., Su, W. and Cheng, E., 2020. Study on feeding activity of Litopenaeus vannamei based on passive acoustic

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-12-20]

[DOI: 10.22034/JOA.12.3.55]

Zeng, Y., Yang, X., Pan, L., Zhu, W., Wang, D., Zhao, Z., Liu, J., Sun, C. and Zhou, C., 2022. Fish school feeding behavior quantification using acoustic signal and improved Swin Transformer. *Computers and Electronics in Agriculture*, 204, 107580. Available from: https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107580

Zhang, Y., Huang, G. and Wang, T., 2023. AI-driven aquaculture: A review of technological innovations and sustainability challenges. *Digital Chemical Engineering*, 6, 100081. Available from: https://doi.org/10.1016/j.dche.2023.100081

Zhao, Z., Yang, X., Liu, J., Zhou, C. and Zhao, C., 2024. GCVC: Graph convolution vector distribution calibration for fish group activity recognition. *IEEE Transactions on Multimedia*, 26, pp. 1776–1789. Available from: https://doi.org/10.1109/TMM.2023.3287339

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2025-12-20]

[DOI: 10.22034/JOA.12.3.55]