

استفاده از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و پردازش تصاویر در فرایند مدیریت موفقیت آمیز

پرورش ماهیان خاویاری

اشکان بنان^{۱*}، شیرین جمشیدی^۲

۱- گروه علوم و مهندسی شیلات و محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

۲- پژوهشکده علوم داده و هوش محاسباتی، دانشگاه لرستان

۳- انستیتو تحقیقات بین المللی ماهیان خاویاری، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)

چکیده

پردازش تصاویر ماهیان خاویاری به کاربرد روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در پردازش تصاویر می‌تواند چشم‌انداز تازه‌ای برای مدیریت هوشمند و پایدار پرورش ماهیان خاویاری فراهم آورد. با توجه به ارزش اقتصادی قابل توجه و حساسیت زیستی ماهیان خاویاری در مواجهه با هرگونه عملیات دستکاری، توسعه روش‌های نوین، دقیق و غیرتهاجمی برای پایش، سنجش و مدیریت در صنعت آبی‌پروری این گونه‌های ارزشمند، امری ضروری است. در این مطالعه، روش‌های پردازش تصویر شامل استخراج ویژگی‌های ریخت شناختی و رفتاری از تصاویر و تحلیل آن‌ها با مدل‌های هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی، الگوریتم‌های یادگیری ماشین و سامانه‌های بینایی ماشین مورد توجه قرار گرفته است. در سال‌های اخیر، این تکنیک‌ها به‌عنوان ابزاری مؤثر، مقرون‌به‌صرفه و فناورانه در بهینه‌سازی فرآیندهای پرورش ماهی مطرح شده‌اند. در مطالعه حاضر، کاربردهای گوناگون این فناوری پیشرفته در مزارع پرورش ماهیان خاویاری بررسی شده است؛ از جمله پایش واکنش رفتاری در مواجهه با تنش‌های محیطی مانند آمونیاک، تخمین دقیق وزن بدون تماس فیزیکی، رقم‌بندی خودکار، برآورد غیرتهاجمی چربی تخمدان، و بهینه‌سازی کیفیت تصاویر در شرایط نوری ضعیف. نتایج پژوهش‌های مروری نشان می‌دهد که پردازش تصاویر می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های سنتی، پرهزینه و زمان‌بر باشد و از طریق افزایش دقت، کاهش استرس وارده بر ماهیان، کاهش هزینه‌های عملیاتی و امکان‌سنجی پیوسته، به پایداری و بهره‌وری بیشتر در پرورش تاس ماهیان کمک کند. در نهایت، نتیجه‌گیری می‌شود که سامانه‌های بینایی ماشین و الگوریتم‌های یادگیری ماشین به‌صورت گسترده‌تر و یکپارچه در صنعت پرورش ماهیان خاویاری به کار گرفته شوند تا مسیر توسعه هوشمند، امن و پایدار در این حوزه هموار گردد.

لغات کلیدی: آبی‌پروری، سنجش غیرتماسی، تخمین وزن، چربی تخمدان، رقم‌بندی خودکار، پایش رفتاری.

* نویسنده مسئول: abanan.a@lu.ac.ir; abanan@live.com

بیان مسئله

حال گسترش است و روش های کارآمدتر، پایدارتر و نوآورانه تری را اتخاذ می کند. دستیابی به این پیشرفت ها با هزینه ها و تلفات کم، همچنان یکی از مهمترین اهداف این صنعت است. یکی از این روش های نوین، استفاده از تکنیک های پردازش تصاویر مبتنی بر هوش مصنوعی می باشد. در کاربردهای پردازش تصویر، تصاویر طبیعی زندگی روزمره به شکل دیجیتال تبدیل شده و سپس با استفاده از الگوریتم های کامپیوتری موجود یا قابل توسعه، برای حل مسائل خاص و کسب نتایج معنادار پردازش می شوند. این الگوریتم ها را می توان در محاسبات پایه تصویر، عملیات نقطه ای، عملیات هندسی، تجزیه و تحلیل تصویر، فیلترهای دیجیتال، استخراج ویژگی و تبدیل تصویر به کار برد (Banan et al., 2020). روش های پردازش تصاویر به طور گسترده در تشخیص غیرتهاجمی محصولات شیلاتی، عمدتاً ماهی، مورد استفاده قرار می گیرند.

از این رو، هدف مطالعه حاضر ارائه موارد استفاده موفقیت آمیز از تکنیک های پردازش تصویر مبتنی بر هوش مصنوعی با هدف به حداکثر رساندن سودآوری از طریق کاهش دستکاری فیزیکی و افزایش بهره وری و حمایت از پایداری پرورش متراکم ماهیان خاویاری است.

شناسایی افزایش ترکیبات زاید نیتروژنی در آب محیط پرورش ماهیان خاویاری

Balci و همکاران (۲۰۲۵)، تأثیر غلظت های مختلف آمونیوم (۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم در لیتر NH_4Cl) بر رفتار حرکتی تاس ماهی روسی (*A. gueldenstaedti*) را بررسی نمودند. برای تحلیل دقیق حرکات ماهیان، از روش های غیرتهاجمی پردازش تصویر استفاده گردید. بچه ماهیان در آکواریوم های کم عمق (حدود ۵ سانتی متر) قرار گرفتند (تصویر ۱)، تا پیچیدگی تحلیل تصویری کاهش یابد. حرکت ماهیان در ویدئوهایی با فواصل زمانی

بدون شک فعالیت های آبی پروری جهت نیل به امنیت غذایی آحاد جامعه و توسعه اقتصادی در سراسر جهان ضرورتی انکار ناپذیر است. ماهی و سایر محصولات آبی منابع ضروری پروتئین، چربی، ویتامین و مواد معدنی برای یک رژیم غذایی سالم هستند. ماهیان خاویاری گروهی از گونه های با ارزش اقتصادی قابل توجه هستند و معمولاً در آبی پروری تجاری در اولویت می باشند (Onofri et al., 2024). ۲۷ گونه ماهی خاویاری در جهان وجود دارد که دریاچه خزر زیستگاه ۵ گونه شامل بلوگا (*Huso huso*)، تاس ماهی ایرانی یا قره برون (*Acipenser persicus*)، تاس ماهی روسی یا چالباش (*A. gueldenstaedti*)، تاس ماهی ستاره ای یا ازون برون (*A. stellatus*) و شیپ (*A. nudiventris*) می باشد (Haxton & Cano, 2016). آبی پروری تجاری ماهیان خاویاری در طول ۳۰ سال گذشته برای تولید گوشت و خاویار توسعه یافته است که تاس ماهی سفید (*A. transmontanus*)، تاس ماهی آدریاتیک (*A. naccarii*)، تاس ماهی سیبری (*A. baerii*)، تاس ماهی روسی یا چالباش (*A. gueldenstaedti*) و بلوگا (*Huso huso*) از برجسته ترین آنها هستند (Lu & Rasco, 2013). تولید تجاری ماهیان خاویاری می تواند با افزایش فرصت های تکثیر مصنوعی برای افزایش ذخایر طبیعی و تولید گوشت و خاویار با ارزش بالا، فشار بر جمعیت های وحشی را کاهش دهد (Dudu & Georgescu, 2024). افق برنامه سازمان شیلات ایران تا پایان برنامه هفتم توسعه (۱۴۰۷) تولید ۲۰ هزار تن گوشت و ۲۰۰ تن خاویار می باشد (محسنی و قربانی واقعی، ۱۴۰۳). افزایش جمعیت، تغییر عادات غذایی و کاهش منابع طبیعی، تقاضا برای تولید آبی پروری را افزایش داده است (Balci et al., 2025). برای برآوردن این تقاضا، بخش آبی پروری به سرعت در

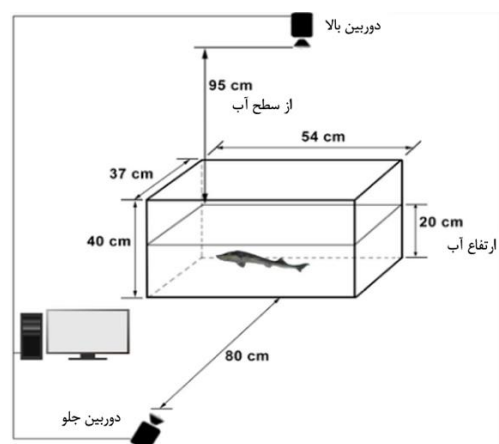
یا زیستگاه‌های طبیعی به‌کار رود و در حفاظت از گونه‌های در خطر انقراض همچون ماهیان خاویاری نقش مؤثری ایفا کند. پژوهشگران تحقیق مورد اشاره پیشنهاد نمودند این تکنیک با بهره‌گیری از هوش مصنوعی و در مواجهه با سایر عوامل تنش‌زا نیز به‌کار گرفته شود.

سنجش وزن ماهیان خاویاری

Hu و همکاران (۲۰۲۴)، یک سامانه تصویربرداری غیرتهاجمی برای ارزیابی وزن ۵ گونه از ماهیان خاویاری شامل بچه ماهیان تاس‌ماهی سبیری (*A. baerii*)، تاس-ماهی روسی یا چالباش (*A. gueldenstaedti*)، تاس-ماهی آمور (*A. schrenckii*)، استرلیاد (*A. ruthenus*) و هیبرید ماهیان خاویاری در محیط‌های پرورشی معرفی نمودند. این سامانه با استفاده از دوربین عمق‌نگاری Intel RealSense D455، مجهز به فیلتر پلاریزه و نرخ ۹۰ فریم‌برثانیه، تصاویر دوگانه RGB و عمق را از ماهیان خاویاری در حال شنا ضبط می‌کند (تصویر ۲). سپس با استفاده از یک نسخه بهبود یافته از مدل تشخیص و جداسازی اشیاء YOLOv5s - شامل ماژول تقویت متن (Context Augmentation Module)، به‌کارگیری تکنیک‌های بهینه‌سازی نظیر بازداری غیرحداکثری نرم (Soft Non-maximum Suppression- Soft-NMS) و تابع خطای Focal-EIoU - قسمت‌های مختلف بدن ماهی را از روی تصاویر تشخیص و تفکیک می‌کنند تا ویژگی‌های ظاهری (اندازه، شکل و حجم تقریبی) استخراج شود.

در مرحله بعد، داده‌های استخراج‌شده وارد مدل‌های پیش‌بینی وزن شامل رگرسیون چندمتغیری، الگوریتم‌های نظارت شده یادگیری ماشین نظیر کی-نزدیک‌ترین همسایه (K-Nearest Neighbors- KNN)، جنگل‌های

یک‌ثانیه‌ای ثبت و با الگوریتم‌های مبتنی بر کتابخانه OpenCV پایتون (به‌ویژه روش Farneback optical flow) دنبال شد. در غلظت‌های پایین‌تر آمونیم، ماهیان شنای آرام و دایره‌ای در سرتاسر اکواریم داشتند، در حالی که با افزایش غلظت، حرکت‌ها محدود به سطح آب یا کناره‌های مخزن شده و مسافت کل شنا به‌شدت کاهش یافت.



تصویر ۱- طرح شماتیک سیستم تصویربرداری طراحی شده برای مطالعه Balci و همکاران (۲۰۲۵) (مقاله با دسترسی آزاد)

نتایج نشان داد که مسافت کل شنا از حدود ۳۳۲۰ متر در گروه شاهد به ۸۸۰ متر در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت، که نشان‌دهنده همبستگی منفی زیادی بین غلظت آمونیاک و فعالیت حرکتی ماهی است. در محیط‌های آلوده، الگوهای رفتاری از شنای دایره‌ای یکنواخت به حرکات پراکنده و غیرمنظم تغییر یافت و ماهیان بیشتر در گوشه‌ها یا نزدیکی سطح آب باقی می‌ماندند؛ که نشانه‌ای از تنش محیطی است. نکته مهم و قابل توجه در این پژوهش، بهره‌گیری از فناوری پردازش تصویر است که بدون نیاز به تماس فیزیکی یا ایجاد استرس اضافی برای ماهی، امکان پایش دقیق و کم‌هزینه رفتار را فراهم می‌سازد. این روش می‌تواند به‌عنوان ابزاری هوشمند و پیشرفته برای تشخیص زودهنگام مشکلات کیفیت آب در مزارع پرورشی

سیستم های حساس و خودکار در حوزه پرورش سایر گونه های آبی نیز تبدیل شود.

رقم بندی ماهیان خاویاری

Hufschmied و همکاران (۲۰۱۱)، راهکاری خودکار برای دسته بندی ماهی خاویاری بر اساس وزن را ارائه می دهند تا نیاز به جداسازی دستی و استرس زای ماهی ها حذف شود. این سامانه مبتنی بر یک کانال زیرآبی است که ماهی ها را از آن عبور می دهند. در این سامانه، تصویربرداری با استفاده از دوربین های نصب شده در بالای کانال زیرآبی و با پس زمینه روشن یکنواخت انجام می گیرد. تصویر هر ماهی به صورت سایه ثبت می شود تا بدون نیاز به رنگ یا جزئیات سطحی، فقط مرز و شکل کلی بدن قابل تحلیل باشد. پس از تصویربرداری، نرم افزار پردازش تصویر به صورت خودکار ناحیه ماهی را از پس زمینه جدا کرده، سپس با محاسبه سطح ظاهری (تصدانه های سیاه شده) ویژگی های مرتبط با اندازه و حجم بدن استخراج می شود. این اطلاعات عددی به عنوان ورودی مدل رگرسیون خطی برای تخمین وزن واقعی ماهی استفاده می گردد. با استفاده از این مدل، وزن ماهی تخمین زده شده و طبق دسته بندی از خروجی مناسب هدایت می شود. خطای نسبی میانگین این روش برای حالتی که ۵۰ نمونه در نظر گرفته شود حدود ۵/۵ درصد گزارش شده است و توان عملیاتی رقم بندی بین ۷ تا ۳۰ ماهی در ساعت را داشته که از این رو وابسته به تراکم ماهیان در کانال رقم بندی می باشد.

مزیت اساسی استفاده از پردازش تصویر در این روش این است که سرعت و خودکارسازی آن به پرورش دهندگان اجازه می دهد تا پیوسته و با دقت بالا، رشد و رقم بندی ماهیان را مدیریت کنند. این رویکرد با حذف روش های سنتی و پرخرج، امکان ارتقای بهره وری، سلامت ماهی و کیفیت پرورش را فراهم آورده و پتانسیل توسعه برای اضافه

تصمیم تصادفی (Random Forest) و ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine- SVM) و نهایتاً یک پرسپترون چندلایه (Multi Layer Perceptron- MLP) می شوند تا وزن ماهی خاویاری بدون نیاز به تماس فیزیکی تخمین زده شود. نتایج آزمایش ها نشان داد که مدل بهبود یافته YOLOv5s توانسته دقت تفکیک بالا (Average Precision) - حدود ۸۹/۸ درصد - را حتی در شرایط انسداد (وقتی ماهی ها تا حدی روی هم قرار گرفته اند) به دست بیاورد؛ همچنین، همبستگی میان وزن واقعی و وزن تخمین زده غیرتماسی نیز به ۸۹/۸ درصد رسید.



تصویر ۲- سامانه تصویربرداری طراحی شده برای مطالعه Hu و همکاران (۲۰۲۴) (مقاله با دسترسی آزاد)

نکته کلیدی که اهمیت پردازش تصویر را برجسته می کند، حذف نیاز به تماس مستقیم یا عملیات استرس زا برای ماهی است؛ این روش کم هزینه، دقیق، قابل خودکارسازی و مناسب برای سنجش پیوسته است، بدون آن که نیاز به تجهیزات تخصصی یا کارشناس های ماهر باشد. کاربرد قوی شبکه های عصبی و بینایی کامپیوتری در این سامانه موجب افزایش دقت و مقاومت آن در برابر چالش های رایج مانند انسداد، نور نامناسب و شکل بدنی غیرمعمول ماهی خاویاری شده است. این مزایا، پتانسیل عظیمی برای بهبود کنترل رشد، تغذیه، درجه بندی و مدیریت تولید در مزارع پرورشی فراهم می آورد و می تواند به الگویی برای توسعه

به مدل آماری وارد شدند. نتایج حاصل از تحلیل تصویر با مقادیر چربی واقعی (بر اساس آنالیز شیمیایی Soxhlet یا دیگر روش‌های مرسوم) مقایسه و بررسی شدند. با تصویربرداری از تخمدان‌ها، نمونه‌ها در سطوح چربی پایین، متوسط و بالا طبقه‌بندی شدند و تحلیل تصویر توانست رابطه محتوای چربی آنها را با ضریب همبستگی $R^2 = 0/83$ با اندازه‌گیری شیمیایی نشان دهد.

استفاده از این تکنیک نه تنها باعث حذف نیاز به روش‌های پرهزینه و مخرب مانند کالبدگشایی یا استخراج شیمیایی چربی شد، بلکه به پرورش‌دهندگان این امکان را می‌دهد که با یک سیستم ساده تصویربرداری و نرم‌افزار تحلیل تصویر، به صورت سریع، غیرتهاجمی و ایمن، وضعیت چربی تخمدان ماهیان را پایش کنند. این قابلیت می‌تواند در بهینه‌سازی زمان برداشت خاویار، افزایش بازده اقتصادی، و حفظ سلامت مولدها نقش کلیدی داشته باشد. همچنین، پتانسیل بالایی برای توسعه به سامانه‌های بینایی ماشینی در خط تولید صنعتی خاویار دارد.

بهینه سازی تصاویر دریافتی از سیستم‌های مدار بسته پرورش ماهیان خاویاری با هدف بهبود شناسایی ماهیان و پایش شرایط آب

Zhou و همکاران (۲۰۱۷)، به جبران چالشی رایج در سیستم‌های آبی‌پروری مدار بسته - کیفیت و پوشش نوری کم و نامتوازن - با استفاده از پردازش تصویر تطبیقی پرداخته‌اند. این روش شامل دو مرحله‌ی کلیدی است: ابتدا با الگوریتم **Multi-Scale Retinex**، کیفیت کلی روشنایی و کنتراست تصویر بهبود می‌یابد، سپس با استفاده از تابع بتای ناقص نرمال‌شده، تبدیل غیرخطی خاکستری انجام شده و پارامترهای آن (α و β) با استفاده از بهینه‌سازی ازدحام ذرات (**Particle Swarm Optimization- PSO**) بر اساس میزان کنتراست تصویر به‌طور خودکار

کردن قابلیت‌هایی از جمله شناسایی گونه ماهیان بر اساس ویژگی‌های اختصاصی (مانند اثرانگشت مورفولوژیکی) را نیز نشان می‌دهد.

تخمین میزان چربی موجود در تخمدان ماهیان خاویاری

Ovissipour و همکاران (۲۰۱۵) از تکنیک‌های پردازش تصاویر برای تخمین میزان چربی موجود در تخمدان تاس- ماهیان سفید (*A. transmontanus*) ماده بهره گرفتند و توانستند رابطه بین میزان چربی تخمدان و بازده خاویار و کیفیت تغذیه‌ای ماهیان خاویاری را بررسی نمایند. در این مطالعه، نمونه‌های تخمدان بعد از برداشت از ماهیان، در شرایط کنترل‌شده نوری (نور یکنواخت و بدون سایه) با استفاده از دوربین دیجیتال با وضوح و تفکیک‌پذیری بالا تصویربرداری شدند. هدف این مرحله، دستیابی به تصاویری با کیفیت و کنتراست مناسب بین بافت چربی و سایر بافت‌های تخمدانی بود. تصاویر ابتدا به فضای خاکستری (grayscale) تبدیل شدند تا اطلاعات رنگی اضافی حذف شود. سپس از فیلترهایی مانند فیلتر میانگین یا گاوسی (**Gaussian Filter**) برای افزایش وضوح و یکنواختی بافت استفاده گردید. از روش آستانه‌گذاری (**Thresholding**) استفاده شد تا نواحی دارای چربی از نواحی دیگر جدا شوند. چربی‌ها در تصاویر، معمولاً به شکل نواحی روشن‌تر (دارای شدت نوری بالاتر) نسبت به بقیه بافت‌ها ظاهر می‌شوند. این تفاوت شدت نوری، مبنای شناسایی و تفکیک بافت چربی قرار گرفت.

پس از جداسازی نواحی چربی، از تحلیل شکل و بافت (**Morphological Analysis**) برای اندازه‌گیری درصد ناحیه چربی نسبت به کل تخمدان استفاده شد. این ویژگی‌ها شامل: مساحت ناحیه چربی، نسبت تصدانه‌های (پیکسل‌های) روشن به کل تصویر، شکل و یکنواختی پراکنش چربی‌ها بودند که سپس به عنوان داده‌های عددی

توصیه ترویجی

با توجه به چالش های موجود در پرورش صنعتی ماهیان خاویاری از جمله استرس ناشی از عملیات دستی، هزینه بر بودن روش های سنتی پایش و نیاز به ارتقای بهره وری در مزارع پرورشی، استفاده از فناوری های نوین همچون پردازش تصویر مبتنی بر هوش مصنوعی توصیه می شود. این تکنولوژی امکان پایش غیرتماسی و پیوسته پارامترهای مهم مانند رفتار، وزن، سلامت، چربی تخمدان و شرایط زیست محیطی (نظیر کیفیت نور و آب) را بدون ایجاد تنش برای ماهی فراهم می سازد.

به مدیران مزارع پرورش ماهی خاویاری، کارشناسان شیلات و پژوهشگران توصیه می شود:

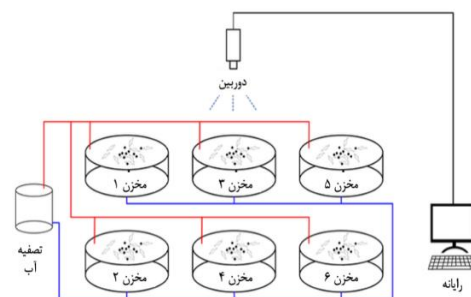
- در طراحی و ارتقای سامانه های مدیریت پرورش، سامانه های بینایی ماشین و پردازش تصویر را به عنوان ابزار دقیق و خودکار مدنظر قرار دهند؛
- با آموزش نیروی انسانی در زمینه استفاده از دوربین ها و نرم افزارهای تحلیلی ساده، بهره گیری از این فناوری را در سطح مزارع میدانی تسهیل کنند؛ و
- با حمایت از بومی سازی تجهیزات و الگوریتم های تحلیلی، مسیر هوشمندسازی و پایداری تولید ماهیان خاویاری را تسریع نمایند. استفاده هدفمند از این ابزارها می تواند نقش مهمی در افزایش بازده اقتصادی، کاهش ضایعات، بهبود رفاه آبزیان و در نهایت توسعه پایدار آبی پروری ایفا کند.

منابع

محسنی، م.، قربانی واقعی، ر.، ۱۴۰۳. اهمیت افزودن مواد جاذب غذایی به جیره غذایی فرموله شده ماهیان خاویاری.

انتخاب می شوند. نتیجه ی این ترکیب، تصاویری با روشنایی و جزئیات قابل مشاهده بسیار بهتر حتی در شرایط نوری دشوار می باشد. در میان آزمایش ها، تیم تحقیقاتی تشخیص داد که برای ماهیان خاویاری، این روش نسبت به ماهی کپور چرمی مؤثرتر است. زیرا سطح پوست ماهی خاویاری انعکاس نور نزدیک به فروسرخ بیشتری ایجاد می کند و بنابراین تصاویر به طور واضح تری پس از تقویت نمایش داده می شوند. بدین ترتیب تصاویر تقویت شده، کتراست بهتری داشته و نواحی تاریک به وضوح قابل تحلیل هستند؛ امری حیاتی که برای کاربردهای بعدی مانند تشخیص تعداد، بررسی سلامت، کنترل رشد و یا پایش رفتار ماهیان باید مدنظر قرار گیرد.

مزیت مهم پردازش تصویر در این زمینه، فراهم آوردن امکان اجرای خودکار و پیوسته آنالیزهای بینایی ماشین در محیط پرورشی مدار بسته بدون نیاز به تجهیزات نوری قوی یا نورپردازی ویژه است (تصویر ۳). این تکنیک نه تنها به ارتقای دقت و اعتمادپذیری سیستم کمک می کند، بلکه بارها ثابت شده که تأثیرگذار و کاربردی تر برای گونه های اقتصادی و حساس مانند ماهیان خاویاری است و راه را برای توسعه سیستم های نظارتی هوشمند در صنعت پرورش این گونه ها هموار می سازد.



تصویر ۳- طرح شماتیک سیستم تصویربرداری طراحی شده برای

مطالعه Zhou و همکاران (۲۰۱۷) (مقاله با دسترسی آزاد)

- Hufschmied, P., Fankhauser, T. and Pugovkin, D., 2011. Automatic stress-free sorting of sturgeons inside culture tanks using image processing. *Journal of Applied Ichthyology*, 27(2), pp.622-626.
- Lu, X., Rasco, B., 2013. Sturgeon (*Acipenser transmontanus*) sexual maturation and caviar quality. *Rev. Aquac.*, 6(2):89-99.
- Onofri, L., Pulcini, D., Martini, A., Martinoli, M., Napolitano, R., Tonachella, N. and Capoccioni, F., 2024. Economic Analysis of Sturgeon Farming and Caviar Production: A Case Study of an Italian Fish Farm. *Water*, 16(18), p.2618.
- Ovissipour, M., Al-Qadiri, H.M., Lu, X., Hu, Y., Ross, C.F., Van Eenennaam, J.P., Doroshov, S.I. and Rasco, B., 2015. The effect of white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) ovarian fat deposition on caviar yield and nutritional quality: introducing image processing method for sturgeon ovary fat determination. *International Aquatic Research*, 7(4), pp.263-272.
- Zhou, C., Yang, X., Zhang, B., Lin, K., Xu, D., Guo, Q. and Sun, C., 2017. An adaptive image enhancement method for a recirculating aquaculture system. *Scientific reports*, 7(1), p.6243.
- دوفصلنامه ترویجی ماهیان خاویاری. سال هفتم، شماره ۱۳: ۴۷-۴۰.
- Balci, B.A., Tonguç, G., Arslan, M.N., Kurtoglu, İ.Z. and Sari, T., 2025. An Analysis of the Movement Trajectories of the Endangered *Acipenser gueldenstaedtii* in Ammonia-Supplemented Environments Using Image Processing Methods. *Animals*, 15(7), p.900.
- Banan, A., Nasiri, A. and Taheri-Garavand, A., 2020. Deep learning-based appearance features extraction for automated carp species identification. *Aquacultural Engineering*, 89, p.102053.
- Dudu, A. and Georgescu, S.E., 2024. Exploring the Multifaceted Potential of Endangered Sturgeon: Caviar, Meat and By-Product Benefits. *Animals*, 14(16), p.2425.
- Haxton, T.J., Cano, T.M., 2016. A global perspective of fragmentation on a declining taxon—The sturgeon (*Acipenseriformes*). *Endang. Species Res.*, 31, 203-210.
- Hu, J., Lin, K., Zhang, S., Zhang, R., Li, H. and Xia, R., 2024. Method for Non-Contact Measuring the Weight of Sturgeon in Intensive Aquaculture. *Fishes*, 9(11), p.458.

The use of artificial intelligence–based approaches and image processing in the process of successful management of sturgeon aquaculture

*Ashkan Banan^{*1, 2}, Shirin Jamshidi³*

1- Department of Fisheries and Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Lorestan University

2- Data Science and Computational Intelligence Research Institute, Lorestan University

3- International Sturgeon Research Institute, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)

* Corresponding Author: banan.a@lu.ac.ir; abanan@live.com

Abstract

Addressing the application of artificial intelligence–based methods in image processing can provide a new perspective for the intelligent and sustainable management of sturgeon aquaculture. Given the considerable economic value and the biological sensitivity of sturgeons to any form of manipulation, the development of innovative, precise, and non-invasive methods for monitoring, assessment, and management in the aquaculture industry of these valuable species is essential. In this study, image processing methods, including the extraction of morphological and behavioral features from images and their analysis using artificial intelligence models such as neural networks, machine learning algorithms, and machine vision systems, have been considered. In recent years, these techniques have been introduced as effective, cost-efficient, and technology-driven tools for optimizing fish farming processes. In the present study, various applications of this advanced technology in sturgeon farms are reviewed, including behavioral monitoring under environmental stressors such as ammonia, accurate non-contact weight estimation, automatic sorting, non-invasive assessment of ovarian fat, and enhancement of image quality under low-light conditions. Findings from the reviewed studies indicate that image processing can serve as a suitable alternative to traditional, costly, and time-consuming methods, and by improving accuracy, reducing stress on fish, lowering operational costs, and enabling continuous assessment, it can contribute to greater sustainability and productivity in sturgeon aquaculture. Finally, it is concluded that machine vision systems and machine learning algorithms should be more widely and integratively applied in the sturgeon aquaculture industry to pave the way for intelligent, safe, and sustainable development in this field.

Keywords: Aquaculture, Non-invasive monitoring, Weight estimation, Ovarian fat assessment, Automated sorting, Behavioral analysis