University of Guilan with collaboration of Iranian Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 9, No. 3, 2023, pages: 33-48
DOI: 10.22124/janb.2023.25374.1215

RESEARCH PAPER **OPEN ACCESS**

Designing and modeling an intelligent system for managing the distribution and scheduling of farmed fish feed using the Arduino Uno microcontroller

Shayesteh Tabatabaey
Computer Engineering Department, Faculty of Engineering, Higher Educational Complex of Saravan, Saravan, Seistan and Baluchistan, Iran

Received 23 July 2023 Revised 16 September 2023 Accepted 18 September 2023

KEYWORDS
Arduino board
Intelligent distribution and scheduling system
Feed management
Fish farming
Automatic

ABSTRACT

Introduction: One of the vital activities in the economic and environmental sector of the country is fish farming, which requires precise management for optimal efficiency and profitability. The distribution and timing of feeding are crucial aspects influencing the productivity and profitability of fish farming. In this regard, an intelligent system has been designed to automatically distribute the fish feed and provide an ideal schedule for fish nutrition. This system utilizes advanced technologies such as programmable control systems and precise distribution mechanisms to improve issues related to manual fish feeding. By the Arduino output components, the system injects feed into the aquaculture environment using mechanisms like servo motors. Additionally, the system has the capability to adjust the feeding schedule based on the nutritional needs of the fish, enhancing efficiency and minimizing the need for human intervention. This system assists fish farm managers in automating and efficiently managing the feeding operations, ultimately leading to improvements in the quality and quantity of their fish production.

Materials and methods: The main components of the fish feed distribution and scheduling system consist of three essential elements: the Arduino Uno board, serving as a programmable platform; a servo motor with a single output shaft capable of positioning itself at a specific angle by receiving encoded signals; and a feeder, functioning as a storage and dispensing container for fish feed in the aquaculture system. The system operates by the Arduino board, utilizing pre-stored code, and making decisions based on predetermined time intervals between feeding sessions. These decisions include the timing and quantity of the feed, planned according to the fish type. In this system, at the specified time, the Arduino board sends a command to activate the servo

motor. Upon activation, the gears of the servo motor rotate in four different positions, determined by the set time for the feeding session, causing the feeder connected to the motor to rotate. Consequently, the feed is uniformly distributed across the pond's surface.

Results and discussion: In the realm of fish farming, one of the main challenges is the efficient and effective management of fish nutrition. Traditional methods of nutritional management, reliant on human labor, result in human errors and uneven food distribution, jeopardizing the health and growth of fish. These methods require time-consuming planning and can lead to issues such as water pollution, disease outbreaks, and increased costs due to overfeeding or underfeeding. To address these challenges, this study proposes an intelligent feeding and scheduling system using the Arduino microcontroller. This automated system offers balanced food distribution, precise timing and frequency of feeding, and control over the amount of consumed food. By setting accurate feeding times based on fish type and preventing food wastage, the system enhances the performance of fish feeding. Leveraging its strengths, including cost-effectiveness, high precision in feeding, optimal management of feed rations, and easy accessibility, this system is practically applicable in fish farms and ponds.

Conclusion: Based on the results of the present study, the intelligent fish-feeding device can bring significant improvements in nutritional efficiency, growth, and health of fish and enhances the performance of fish-feeding systems, contributing to the improvement of fish farming conditions and increasing profitability in the aquaculture industry.

Conflicts of interest: The authors declare no conflicts of interest.

Funding: This study has received no funding from any organizations.

*Corresponding author: sh.tabatabaey@saravan.ac.ir

دانشگاه گیلان با مشارکت انجمن آبزی‌پروری ایران

تغذیه آبزیان

سال نهم، شماره سوم، مهر ۱۴۰۲، صفحات ۴۸-۳۳

DOI: 10.22124/janb.2023.25374.1215

"مقاله پژوهشی"

طراحی و مدل سازی سازه مدیریت هوشمند توزیع و زمان‌بندی جیره غذایی ماهی پرورشی با استفاده از میکروکنترلر آردینو یونو

شایسته طباطبائی

گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی مهندسی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، سیستان و بلوچستان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۷

چکیده

یکی از فعالیت‌های حیاتی اقتصادی و زیست محیطی در کشور که نیاز به مدیریت کافی دارد، پرورش ماهی است. توزیع و زمان‌بندی غذا یکی از جنبه‌های مهمی است که بر بهره‌وری و سودآوری پرورش ماهی تأثیر می‌گذارد. این مقاله روشی هوشمند را برای کنترل زمان‌بندی و توزیع جیره غذایی برای ماهیان پرورشی با استفاده از میکروکنترلر Arduino Uno توصیف می‌کند. این سازه با در نظر گرفتن فراسنجه‌های مؤثر بر نیازهای تغذیه‌ای ماهیان، به طور خودکار و برنامه‌ریزی شده جیره غذایی مناسب را در هر استخر پرورش ماهی توزیع می‌کند. سازه طراحی شده، از فناوری‌های پیشرفته مانند سازه‌های کنترلی قابل برنامه‌ریزی و مکانیسم‌های توزیع دقیق استفاده می‌کند تا مشکلات مربوط به تغذیه دستی ماهیان را برطرف کند. سازه تغذیه هوشمند همچنین نیاز به مداخله انسان را کاهش داده و مدیریت کارآمد عملیات تغذیه را ممکن می‌کند. نتایج این مطالعه عملی نشان می‌دهد که این رویکرد برخلاف روش‌های تغذیه دستی، هزینه‌های تغذیه را کاهش می‌دهد، رشد و سلامت ماهی را بهبود می‌بخشد و آلودگی آب را کاهش می‌دهد.

کلمات کلیدی

برد آردوینو

سیستم توزیع و زمانبندی هوشمند جیره غذایی ماهی پرورشی اتوماتیک

نویسنده مسئول: sh.tabatabaey@saravan.ac.ir

مقدمه

با بهبود سطح مصرف و تغییر در سبک زندگی و عادات غذایی، افراد بیشتر به توازن تغذیه‌ای رژیم روزانه خود توجه می‌کنند و تقاضای مواد غذایی پرپروتئین و کم چرب رو به افزایش است. ماهی دارای پروتئین با کیفیت بالاست، ارزش غذایی بالا دارد و بین مصرف کنندگان بسیار محبوب است. پرورش آبزیان منبع اصلی ماهی برای مصرف انسان است. تخمین زده می‌شود که تا سال ۲۰۳۰، دو سوم ماهی جهان توسط پرورش آبزیان تأمین خواهد شد (Li and Du, 2022). با توسعه دور جدید از انقلاب علمی و فناوری، فناوری اطلاعات مدرن پشتیبانی فنی برای توسعه خودکارسازی و هوشمندسازی پرورش آبزیان فراهم آورده است.

تغذیه، مواد مغذی و انرژی مورد نیاز برای بقای ماهیان را فراهم می‌کند و نقش مهمی در پرورش آبزیان دارد. آمار نشان می‌دهد که هزینه تغذیه بیش از ۶۰٪ از هزینه کل پرورش آبزیان را تشکیل می‌دهد. بنابراین، کاهش هزینه تغذیه می‌تواند سود اقتصادی پرورش آبزیان را به طور قابل توجه‌ای افزایش دهد. هزینه تغذیه بستگی به نوع و مقدار تغذیه دارد. نوع تغذیه به طور کلی بر اساس گونه ماهی پرورش یافته تعیین می‌شود. کنترل مناسب مقدار تغذیه به عنوان روش اصلی برای کاهش هزینه‌ها و بیشینه سوددهی است (Føre et al. 2016). کلید دستیابی به تغذیه دقیق در پرورش آبزیان، ارائه مقدار مناسبی از تغذیه در یک دوره زمانی مشخص یا مدیریت توزیع و زمانبندی جیره غذایی است. مدیریت توزیع و زمان‌بندی جیره غذایی ماهیان پرورشی از جمله عوامل حیاتی در بهبود بهره‌وری و سلامت این جانداران آبزی محسوب می‌شود.

معمولاً توزیع و زمان‌بندی جیره غذایی ماهی پرورشی بر اساس نیازهای تغذیه‌ای و رفتار تغذیه‌ای ماهیان مختلف تعیین می‌شود. از عوامل تعیین کننده برای توزیع و زمان‌بندی جیره غذایی ماهی پرورشی می‌توان به تعیین فراوانی تغذیه و تعیین زمان‌بندی تغذیه و توزیع مناسب غذا اشاره کرد که در عامل تعیین فراوانی تغذیه بر اساس نیازهای تغذیه‌ای ماهیان و شرایط پرورش (مانند سن، وزن، دما و فعالیت فیزیکی)، باید مقدار غذای مورد نیاز هر ماهی تعیین شود. این امر می‌تواند بر اساس درصد وزن بدن ماهی (برای مثال، ۳-۵٪ وزن بدن در روز) یا مقدار غذا در واحد زمان (برای مثال، گرم در روز) انجام شود. در عامل تعیین زمان‌بندی تغذیه بر اساس رفتار تغذیه‌ای ماهیان و شرایط پرورش، باید زمان‌بندی تغذیه تعیین شود که شامل تعیین تعداد و زمان‌های تغذیه در طی روز است. به طور کلی، ماهیان می‌توانند تا ۳-۴ بار در روز تغذیه شوند، اما این بستگی به نیازهای ماهیان و شرایط پرورش دارد. در عامل توزیع مناسب غذا، برای جلوگیری از تراکم غذا در محیط آبی و بهبود بازده رشد ماهیان، باید غذا به صورت مناسب و یکنواخت در محیط پراکنده شود که می‌توان با استفاده از دستگاه‌های تغذیه خودکار یا تغذیه دستی با توجه به تعداد ماهیان و میزان غذای مورد نیاز انجام شود. با توجه به نیازهای متنوع ماهیان در طی روز و نیاز به تغذیه منظم و متعادل، استفاده از سازه‌های خودکار تغذیه اهمیت بسیاری پیدا کرده است. این تحقیق با هدف طراحی و ساخت یک سازه تغذیه خودکار بر پایه آردینو یونو انجام شده است که قادر به تنظیم زمان‌بندی دقیق تغذیه و توزیع جیره غذایی بر اساس نیازهای ماهیان باشد. ماهیان پرورشی نیازمند مدیریت دقیق و بهینه تغذیه هستند تا رشد و سلامت خوبی داشته باشند.

صنعت پرورش ماهی به یکی از منابع درآمد منطقه‌ای در کشور تبدیل شده است. بنابراین، این صنعت بیشتر مورد توجه سهامداران قرار گرفته است. یکی از مشکلات صنعت آبزی پروری در خشکی، به خصوص برای صنایع مقیاس بزرگ، کمبود تولید ماهی با کیفیت به دلیل عدم توجه به تغذیه ماهی است. تغذیه ماهی‌های پرورشی یک عامل اصلی است که هزینه‌های تولید و کیفیت آب آبزی پروری را تعیین می‌کند. در سال‌های اخیر، سهم آبزی پروری در برابر صید جهانی افزایش یافته است، به‌طوری که از ۲۵٪/۷۰ در سال ۲۰۰۰ به ۴۶/۸۰٪ در سال ۲۰۱۶ رسیده است (Li et al. 2020). استفاده از نیروی انسانی در تغذیه، هزینه‌های زیادی را می‌طلبد. همچنین، دقت و پایداری زمان تغذیه کمتر از حد مطلوب است. برخی از کارآفرینان از ربات‌ها یا دستگاه‌های تغذیه ماهی استفاده می‌کنند تا تغذیه ماهی را با مقدار مناسب سازماندهی کنند. استفاده از یک دستگاه تغذیه می‌تواند وزن ماهی را به اندازه مورد نیاز تضمین کند (Wei et

al. 2017). اخیراً تحقیقات زیادی در این خصوص انجام شده که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره شده است.

Zhang و همکاران (۲۰۲۳)، یک بررسی جامع از کاربرد و پیشرفت بینایی ماشین در سازه‌های تغذیه هوشمند ماهی ارائه کردند. این مقاله شامل جنبه‌های مختلف سازه تغذیه هوشمند، مانند پیش‌پردازش تصویر زیر آب، تشخیص هدف ماهی، تشخیص وزن و درازای ماهی، تجزیه و تحلیل رفتار ماهی و تصمیم‌گیری هوشمند تغذیه ماهی است. همچنین چالش‌ها و جهت‌های آینده بینایی ماشین در سازه‌های تغذیه هوشمند ماهی مانند بهبود استحکام و دقت پردازش تصویر، یکپارچه‌سازی چند حسگر و منبع داده، توسعه راهبردهای تغذیه سازگار و شخصی‌سازی شده، و افزایش هوشمندی و خودکارسازی سازه را بحث و بررسی می‌کند. نتایج مطالعات آنها نشان می‌دهد که بینایی ماشین یک فناوری نوید بخش دست‌یابی به تغذیه دقیق و کارآمد ماهی در پرورش آبزیان است.

Chen و همکاران (۲۰۲۲)، یک مدل پیش‌بینی مصرف غذا برای ماهی به صورت گروهی با استفاده از شبکه عصبی *MEA-BP* در آبزی پروری فشرده را ارائه کردند. هدف از این مدل بهینه‌سازی راهبرد تغذیه و کاهش هدر رفتن غذا و منابع آب است. این مدل از دو بخش تشکیل شده است: یک ماژول تجزیه و تحلیل چند عنصری (*MEA*) که ویژگی‌های رفتار ماهی را از داده‌های ویدئویی استخراج می‌کند، و یک شبکه عصبی پس‌انتشار (*BP*) که بر اساس ویژگی های *MEA*، مصرف غذا را پیش‌بینی می‌کند. نتایج مطالعه آنها نشان می‌دهد که این مدل می تواند دقت بالای ۹۶/۶۷٪ و خطای مربعات متوسط ریشه کمتر از ۰/۰۲۳۴ را در پیش‌بینی مصرف غذا داشته باشد. همچنین، مـدل پیشنـهادی آنها با روش‌های دیگری مانند رگرسیون خطی، ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی مقایسه شد و به این نتیجه رسیدند که مدل *MEA-BP* عملکرد و پایداری بهتری دارد.

Feng و همکاران (۲۰۲۲)، یک روش برای کنترل بهتر تغذیه ماهی و کاهش هزینه‌های آبزی پروری با استفاده از بینایی ماشین و یک شبکه سه بعدی *ResNet-GloRe* (شبکه عصبی کانولوشنال سه بعدی) سبک ارائه دادند. روش پیشنهادی از دو بخش تشکیل شده است: یک بخش استخراج ویژگی که با استفاده از بینایی ماشین، خصوصیات حرکت ماهی را از داده‌های ویدئویی به‌دست می‌آورد و یک بخش پیش‌بینی نرخ تغذیه که با استفاده از یک شبکه سه‌بعدی *ResNet-GloRe* سبک، نرخ تغذیه ماهی را بر اساس خصوصیات استخراج شده پیش‌بینی می‌کند. نویسندگان با داده‌های جمع‌آوری شده از چند استخر آبزی‌پروری با ماهیان قزل آلا، آزاد و تاسماهیان به عنوان ماهیان آزمایشگاهی، روش خود را آموزش داده و آزمایش کردند. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهاد شده مقادیر خطای مطلق متوسط (*MAE*) و خطای مربعات متوسط ریشهٔ (*RMSE*) کمتر از ۰/۰۵ و ۰/۰۷ را در پیش‌بینی نـرخ تغذیه دارد و همچنین، نسبت به روش‌های دیگری مانند *SVM* و *KNN*، عملکرد بهتری دارد.

Wang و همکاران (۲۰۲۳) یک روش کمی برای ارزیابی فعالیت تغذیه ماهی با استفاده از یادگیری نیمه نظارتی بر اساس نمایش ظاهر حرکت ماهی‌ها ارائه کردند. هدف این روش تشخیص و شمارش ماهیان در ویدئوهای زیر آب است که به عنوان یک شاخص کمی برای فعالیت تغذیه ماهی استفاده می‌شود. نویسندگان از یک شبکه عصبی کانولوشنال (*CNN*) برای استخراج خصوصیات ظاهر و یک شبکه عصبی بازگشتی (*RNN*) برای استخراج خصوصیات حرکت از ویدئوها استفاده می‌کنند. سپس از الگوریتم یادگیری نیمه نظارتی برای ترکیب و تقسیم خصوصیات به دست آمده استفاده می‌شود. نتایج آزمایش‌ها بر روی دو مجموعه داده نشان می‌دهد که روش پیشنهاد شده عملکرد بهتری در تشخیص و شمارش ماهیان دارد و قابل انطباق با شرایط محیط زیر آب مختلف است.

Prem و همکاران (۲۰۲۰)، یک دستگاه تغذیه ماهی مبتنی بر انرژی انسانی را برای مزارع آبزی‌پروری آب شیرین کشورهای در حال توسعه طراحی و ایجاد کردند. این ماشین از یک دستگاه پمپ دستی، یک مخزن ذخیره‌سازی غذا، یک سازه توزیع کننده غذا و یک سازه کنترل کننده تشکیل شده است. هدف این دستگاه کاهش هزینه‌های تغذیه ماهیان و افزایش بهره‌وری و سودآوری برای پرورش دهندگان است. نویسندگان از روش‌های مختلف از جـمله تحـلیل انـرژی، تحلیل هزینه-سود، تحلیل حساسیت و نظرسنجی کاربران برای

ارزیابی عملکرد دستگاه استفاده کرده‌اند. نـتایج نشان می‌دهد که دستگاه تغذیه ماهی ساخته شده به صورت مؤثر و قابل قبول در شرایط واقعی کار می‌کند و نسبت به روش‌های دستی و خودکار تغذیه، مزایای قابل توجهی دارد.

Shahkar و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر افزایش پروتئین جیره بر تعداد دفعات غذادهی و میزان رشد و بازماندگی نوزاد ماهی سفید دریای خزر (*Rutilus frisii kutum*) را بررسی کردند. آن‌ها ۵۴۰ نوزاد ماهی سفید را به صورت تصادفی در ۲۷ حوضچه قرار دادند و به مدت ۶۰ روز آن‌ها را با جیره‌های دارای ۳۰، ۳۵ و ٪۴۰ پروتئین و به دفعات ۱، ۲ و ۳ بار در روز تغذیه کردند. نتایج نشان داد که سطح پروتئین جیره و تعداد دفعات غذادهی تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد، بازماندگی و ترکیب بدن نوزاد ماهی سفید داشتند. به طور کلی، افزایش سطح پروتئین جیره و تعداد دفعات غذادهی منجر به بهبود شاخص‌های رشد و بازماندگی نوزاد ماهی سفید شد. آن‌ها نتیجه گرفتند که جیره با ۴۰٪ پروتئین و ۳ بار غذادهی در روز به‌عنوان بهترین رژیم غذایی برای نوزاد ماهی سفید دریای خزر پیشنهاد می‌شود.

Busaeri و همکاران (۲۰۱۹)، یک دستگاه تغذیه خودکار ماهی طراحی کردند تا به‌صورت خودکار و به‌طور منظم غذا را برای ماهیان پخش کند. با استفاده از این دستگاه، نیاز به تغذیه دستی ماهیان از طریق افزودن غذا به صورت دوره‌ای کاهش می‌یابد. علاوه بر این، دستگاه به گونه‌ای طراحی شده است که بهینه‌سازی مصرف انرژی را در نظر می‌گیرد و از طریق استفاده از سنسورها و مکانیزم‌های خاص، غذا را به صورت اتوماتیک و در زمانی مشخص برای ماهیان پخش می‌کند. نتایج آزمایش ها نشان می‌دهد که دستگاه تغذیه خودکار طراحی شده، عملکرد قابل قبولی دارد و می‌تواند بهبود قابل توجهی در روند تغذیه ماهیان ایجاد کند.

Ogunlela و همکاران (۲۰۱۴)، به بررسی فرآیند توسعه و ارزیابی عملکرد یک دستگاه تغذیه خودکار برای ماهیان پرداختند. دستگاه تغذیه خودکار ماهی طراحی شد تا به صورت اتوماتیک و به طور دوره‌ای غذا را به ماهیان تأمین کند. در این مقاله، فرآیند توسعه و ساخت دستگاه به‌طور کامل توصیف شده است. همچنین، عملکرد دستگاه تغذیه خودکار با استفاده از آزمایش ها ارزیابی شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که دستگاه تغذیه خودکار عملکرد قابل قبولی دارد و قادر به تأمین غذای ماهیان به صورت منظم و هماهنگ با نیازهای آنهاست. همچنین، دستگاه توانایی کنترل میزان غذا و زمان تغذیه را داراست.

کوچکی و همکاران، (۱۳۹۴) به بررسی تأثیر تعداد دفعات غذادهی بر شاخص‌های رشد، تغذیه و ترکیبات بیوشیمیایی در ماهی استرلیاد پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که تعداد دفعات تغذیه بر رشد ماهی استرلیاد تأثیر قابل توجهی دارد. با افزایش تعداد دفعات غذادهی، شاخص‌های رشد مانند وزن و درازای ماهی افزایش یافت. همچنین، تعداد دفعات تغذیه تأثیر مستقیم بر تغذیه ماهی داشت و توانست باعث بهبود ترکیبات بیوشیمیایی ماهی شود. به طور کلی، این مقاله نشان داد که تعداد دفعات تغذیه می‌تواند بر رشد، تغذیه و ترکیبات بیوشیمیایی ماهی استرلیاد تأثیرگذار باشد.

Amiri Sendesi و همکاران (۲۰۱۹) در یک پژوهش تجربی، تأثیر تعداد دفعات غذادهی (۱، ۲ و ۳ بار در روز) را بر شاخص‌های رشد و بازماندگی بچه‌ماهیان سفید بررسی کردند. آن‌ها ۱۸۰ بچه‌ماهی را به‌صورت تصادفی در ۹ حوضچه قرار دادند و به مدت ۶۰ روز آن‌ها را با جیره‌ای با ۴۰٪ پروتئین و به دفعات مختلف تغذیه کردند. نتایج نشان داد که تعداد دفعات غذادهی تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد و بازماندگی بچه ماهیان سفید دارد. به طور کلی، افزایش تعداد دفعات غذادهی منجر به بهبود شاخص‌های رشد و بازماندگی بچه ماهیان سفید شد. آن‌ها نتیجه گرفتند که ۳ بار غذادهی در روز، بهترین تعداد دفعات تغذیه برای بچه ماهیان سفید در یک سازه آبزی پروری چرخشی است.

Bahrehmand و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر تعداد دفعات غذادهی (۱، ۲ و ۴ بار در روز) بر شاخص‌های رشد، تغذیه، بقا و ترکیبات لاشه بچه ماهیان کوی (*Cyprinus carpio* var. Koi) را بررسی کردند. آن‌ها ۲۴۰ بچه ماهی را به صورت تصادفی در ۱۲ حوضچه قرار دادند و به مدت ۶۰ روز با جیره‌ای با ۳۵٪ پروتئین و به دفعات مختلف تغذیه کردند. نتایج نشان داد که تعداد دفعات غذادهی تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد، تغذیه، بقا و ترکیبات لاشه بچه ماهیان کوی داشت. به طور کلی، افزایش تعداد دفعات غذادهی منجر به بهبود

شاخص‌های رشد و تغذیه بچه ماهیان کوی شد. همچنین، ۴ بار غذادهی در روز باعث افزایش قابل توجه درصد چربی لاشه نسبت به دیگر گرو ه‌ها شد. آن‌ها ۲ بار غذادهی در روز را به عنوان بهترین تعداد دفعات تغذیه برای بچه ماهیان کوی در یک سازه آبزی پروری چرخشی پیشنهاد دادند.

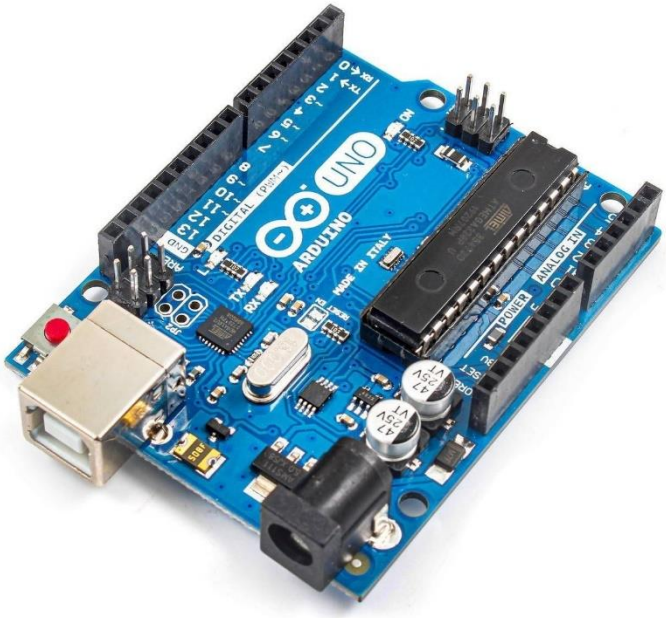
در مطالعه حاضر، یک سازه هوشمند طراحی شده است که بتواند به‌صورت خودکار جیره غذایی را توزیع کرده و زمان‌بندی مناسبی برای غذادهی به ماهیان فراهم کند. سازه طراحی شده قابلیت کنترل توزیع غذا را داراست. با استفاده از اجزای خروجی آردینو مانند سروموتور، غذا به محیط پرورش تزریق می‌شود. علاوه بر این، سازه قادر به تنظیم زمان‌بندی غذادهی است که بر اساس نیازهای غذایی ماهیان تعیین می‌شود. این زمان‌بندی شامل زمان‌های مشخصی برای غذادهی است. نتایج نشان می‌دهد که سازه مدیریت هوشمند توزیع و زمان‌بندی جیره غذایی ماهی پرورشی با استفاده از میکروکنترلر آردینو یونو، می‌تواند عملکرد قابل قبولی داشته و بهبود قابل توجهی در بهره‌وری و کنترل تغذیه ماهیان پرورشی ایجاد کند.

مواد و روش‌ها

اجزای تشکیل دهنده سازه توزیع و زمان‌بندی جیره غذایی ماهی ها

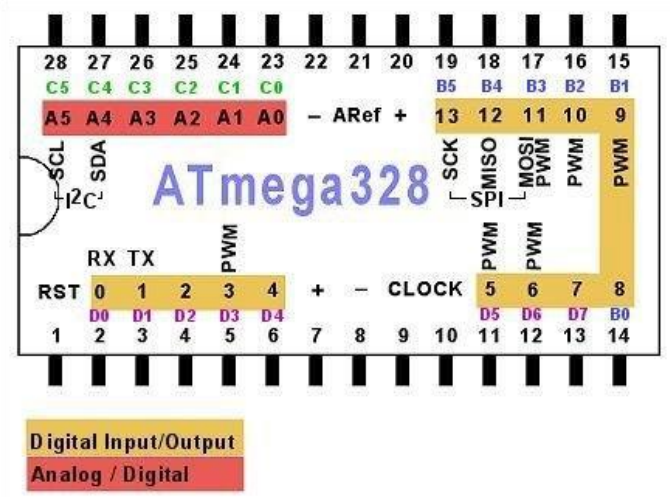
آردوینو uno

برد آردوینو uno که در شکل ۱ نمایش داده شده است در واقع یک پلتفرم سخت‌افزاری است که به راحتی با اتصال آن به رایانه شخصی می‌توان آن را برنامه‌ریزی کرد. Ardoino UNO از میکروکنترلر ATmega328p استفاده می‌کند که در شکل ۲ نمایش داده شده است. این برد دارای ۱۴ پین ورودی و خروجی دیجیتال (*I/O*) است که ۶ عدد آن می‌تواند به عنوان خروجی PWM استفاده شود. این پین‌ها با علامت ~ بر روی برد مشخص شده‌اند و ۶ پین آنالوگ (*Analog Input A0-A5*) است. همچنین این برد دارای کریستال ۱۶MHZ، اتصال USB، ورودی تغذیه مجزا، کلید ریست میکرو، کانکتور ICSP که برای آپلود کردن بوت لودر چیپست‌های Atmega328P استفاده می‌شود.



شکل ۱ برد آردوینو UNO

Figure 1 Arduino UNO board



شکل ۲ پین‌های ATMega328

Figure 2 ATMega328 pins

سرو موتور

سرو موتور دستگاه کوچکی است که یک محور (*shaft*) خروجی دارد. این محور قادر است تا در یک موقعیت و زاویه‌ای خاص با ارسال سیگنال رمزی قرار گیرد. در واقع، چگونگی حرکت و موقعیت‌های زاویه‌ای این محور خروجی توسط دسته‌ای از سیگنال‌های رمزی که برای سیم کنترل آن تعریف می‌شود، کنترل می‌شود. برای طول مدت زمانی که یک سیگنال فعال بوده و یک پالس بر روی خط ورودی آن قرار دارد، این محور خروجی در موقعیت خاص زاویه‌ای که مختص آن سیگنال است قرار می‌گیرد و با تغییر سیگنال رمزی موقعیت زاویه‌ای تغییر می‌کند. در این تحقیق از یک موتور سروو دیجیتالی MG995 استفاده شده است. این مدل از سرو موتور دارای زاویه چرخش ۳۶۰ درجه است. سرو موتور دنده فلزی MG995 در ولتاژ ۴/۸ تا ۶ ولت کار می‌کند و در ولتاژ ۴/۸ ولت دارای گشتاور ۹/۴ kg/cm و در ولتاژ کاری ۶ ولت دارای گشتاور ۱۳ kg/cm است. موتور سروو دنده فلزی MG995 با توان ۱۳ کیلو ۳۶۰ درجه چرخش دارد و دارای استقامت بالایی است. شکل ۳ سرو موتور مورد استفاده را نمایش می‌دهد.

شکل ۳ سرو موتور دنده فلزی MG995

Figure 3 Metal gear servo motor MG995

غذاپاش

این قسمت از دستگاه، به عنوان مخزن نگهداری و پخش غذا در استخر پروش ماهی استفاده می‌شود. از طریق سوراخ‌های تعبیه شده روی قطعه، عمل توزیع غذا به‌صورت دورانی در سطح استخر انجام می‌شود. مخزن غذای دستگاه دورانی پخش غذا یک مخزن ۱۱ کیلوگرمی دارد که اندازه آن با توجه به قدرت سرو موتور قابل تغییر است. از مزایای استفاده از این نوع مخزن این است که آلودگی‌های غذادهی در حد بسیار زیادی کاهش پیدا می‌کند و در تمام سطح استخر، غذا به‌صورت یکنواخت پخش می‌شود. توزیع غذای مناسب، به اندازه و به صورت یکنواخت تأثیر شگرفی در بهینه سازی رشد ماهی‌ها دارد. همچنین توزیع یکنواخت مقدار ثابت غذا به طور دائمی باعث ثبات ترکیبات شیمیایی موجود در آب مورد استفاده ماهی‌ها می‌شود. لازم به ذکر است که تغذیه بیش از اندازه ماهی به علت فاسد شدن غذای مازاد موجود در آب و سوخت و ساز ناسالم ماهی تحت تأثیر تغذیه نادرست، باعث بالا رفتن مقدار آمونیاک و پایین آمدن مقدار اکسیژن محلول در آب می‌شود که برای سلامت ماهی‌ها مضر است.

شکل ۴ غذاپاش

Figure 4 Feeder

طراحی و مدل‌سازی سازه توزیع هوشمند پیشنهادی

همان طور که مطرح شد، سازه غذادهی هوشمند از میکروکنترلر پلت فرم آردوینو تشکیل شده است. برد آردینو توسط رمزی که در حافظه‌اش نوشته و ذخیره شده، بر حسب زمان وعده غذایی و فواصل بین وعده‌ها تصمیم گیری می‌کند که این زمان وعده غذادهی و میزان وعده غذایی بسته به نوع ماهی قابل برنامه‌ریزی است. هدف اصلی این سازه توزیع یکنواخت جیره غذایی و کنترل حجم غذا و به تبع آن کاهش میزان آلودگی آب و کاهش مقدار آمونیاک و کنترل مقدار اکسیژن محلول در آب است که رشد چشم‌گیری در پرورش ماهی دارد. در این سازه در صورتی که برای مثال زمان غذادهی ساعت ۷ صبح باشد، حس‌گر در زمان تعیین شده، رمز فرمان فعال شدن سرو موتور را صادر می‌کند؛ با فعال شدن سرو موتور، چرخ دنده‌های سرو موتور در چهار درجه مختلف به اندازه زمان تعیین شده برای جیره غذایی می‌چرخد. در سازه پیشنهادی برای توزیع هر جیره غذایی چهار درجه که به صورت صفر الی ۹۰ درجه، صفر الی ۱۸۰ درجه، صفر الی ۲۷۰ درجه، صفر الی ۳۶۰ درجه برای چرخش چرخ دنده‌های سرو موتور در نظر گرفته شده و در هر زاویه چرخش طی مدت زمان مشخصی می‌چرخد، موجب چرخش غذاپاش متصل‌شده به چرخ دنده می‌شود. در واقع، هدف از انجام این کار کنترل میزان جیره غذایی قابل توزیع در سطح استخر است. به طوری که با چرخش ۹۰ درجه از هر یک کیلو جیره غذایی ۲۵۰ گرم در سطح استخر پخش می‌شود و در ۹۰ درجه بعدی (۱۸۰ درجه) حدود ۵۰۰ گرم از جیره غذایی و در ۲۷۰ درجه حدود ۷۵۰ گرم از هر کیلو جیره غذایی و در ۳۶۰ درجه حدود یک کیلو از مواد غذایی پخش خواهد شد. برای مثال، اگر فرض شود غذادهی به ماهی‌ها رأس ساعت هفت صبح آغاز شود و در راس ساعت هشت تمام شود، در رأس ساعت هفت رمز فعال شدن سرو موتور اجرا و سرو موتور به اندازه ۱۵ دقیقه با زاویه ۹۰ درجه به چرخش در می‌آید و میزان غذایی حدود ۲۵۰ گرم در سطح آب پخش می‌شود. رأس ساعت ۷:۱۵ سرو موتور به اندازه ۱۸۰ درجه می‌چرخد و حدود نیم کیلو از غذا در سطح استخر پخش می‌شود. در رأس ساعت ۷:۳۰ به اندازه ۲۷۰ درجه و به مدت ۱۵ دقیقه سرو موتور می‌چرخد و حدود ۷۵۰ گرم از هر کیلو جیره غذایی در سطح استخر پخش می‌شود و در رأس ساعت ۷:۴۵ به اندازه ۳۶۰ درجه و به مدت ۱۵ دقیقه سرو موتور می‌چرخد و حدود ۱۰۰۰ گرم از جیره غذایی در سطح استخر پخش می‌شود تا رأس ساعت هشت دستور اتمام چرخش سرو موتور اجرا و سرو موتور متوقف شده و عمل غذادهی پایان یابد. لازم به ذکر است که با چرخش غذاپاش، جیره غذایی موجود در مخزن غذاپاش از طریق دریچه های تعبیه شده در بدنه غذاپاش در سطح استخر پخش خواهد شد. در

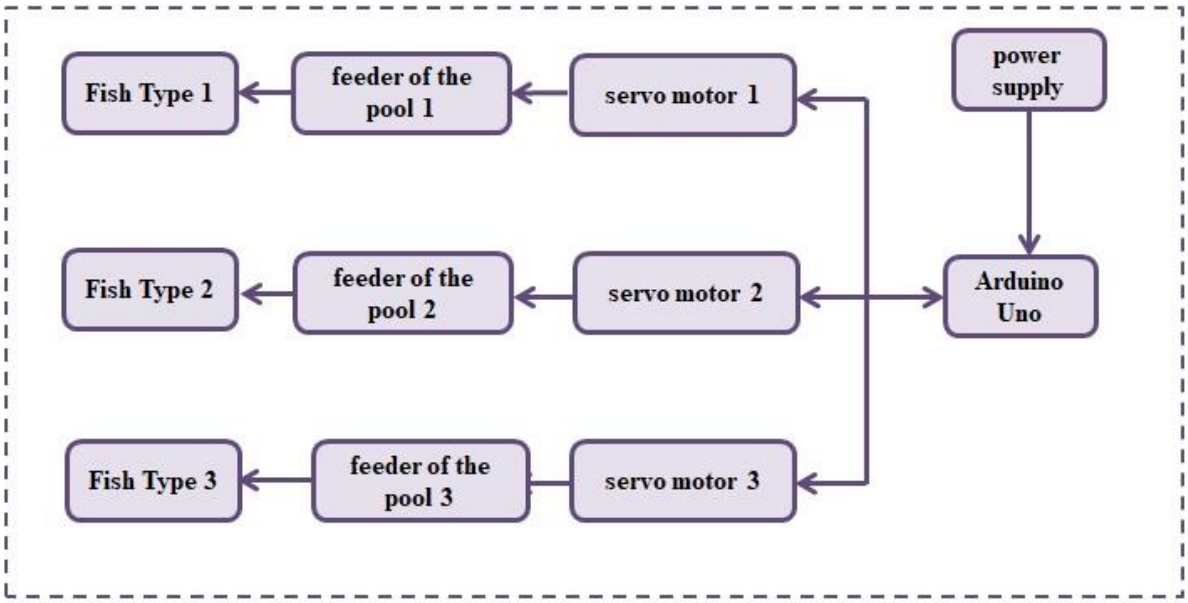
سازه طراحی شده، فاصله بین وعده‌های غذایی بسته به نوع ماهی قابل تنظیم است، به طوری که ممکن است در برخی گونه های ماهی‌های پرورشی نیاز باشد سه بار در طی روز جیره غذایی دریافت کنند. لذا با تنظیم فواصل بین وعده‌های غذایی این کار به راحتی قابل انجام است. در سازه طراحی شده مطالعه حاضر، سه برنامه زمانی مختلف برای سه گونه ماهی پرورشی در نظر گرفته شده است. به طوری که برنامه زمانبندی جیره غذایی برای ماهی‌های موجود در استخر شماره ۱ سه بار در طی شبانه روز، برای ماهی‌های موجود در استخر شماره ۲ دو بار در طی شبانه روز و برای ماهی‌های موجود در استخر شماره ۳ چهار بار در طی شبانه روز و در هر بازه زمانی برای هر سه استخر یک ساعت در نظر گرفته شده است که در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱ برنامه زمانبندی جیره غذایی سازه پیشنهادی

Table 1 Feeding schedule program for the proposed system

	feeder number	Start Time of Feed Distribution	End Time of Feed Distribution	Amount of distributed food (grams)	Servo Motor Rotation Angle
1	3	6:00	6:15	250	90
2	3	6:15	6:30	500	180
3	3	6:30	6:45	750	270
4	3	6:45	7:00	1000	360
5	1	7:00	7:15	250	90
6	1	7:15	7:30	500	180
7	1	7:30	7:45	750	270
8	1	7:45	8:00	1000	360
9	2	9:00	9:15	250	90
10	2	9:15	9:30	500	180
11	2	9:30	9:45	750	270
12	2	9:45	10:00	1000	360
13	3	12:00	12:15	250	90
14	3	12:15	12:30	500	180
15	3	12:30	12:45	750	270
16	3	12:45	13:00	1000	360
17	1	14:00	14:15	250	90
18	1	14:15	14:30	500	180
19	1	14:30	14:45	750	270
20	1	14:45	15:00	1000	360
21	3	18:00	18:15	250	90
22	3	18:15	18:30	500	180
23	3	18:30	18:45	750	270
24	3	18:45	19:00	1000	360
25	1	21:00	21:15	250	90
26	1	21:15	21:30	500	180
27	1	21:30	21:45	750	270
28	1	21:45	22:00	1000	360
29	2	21:00	21:15	250	90
30	2	21:15	21:30	500	180
31	2	21:30	21:45	750	270
32	2	21:45	22:00	1000	360
33	3	24:00	24:15	250	90
34	3	24:15	24:30	500	180
35	3	24:30	24:45	750	270
36	3	24:45	01:00	1000	360

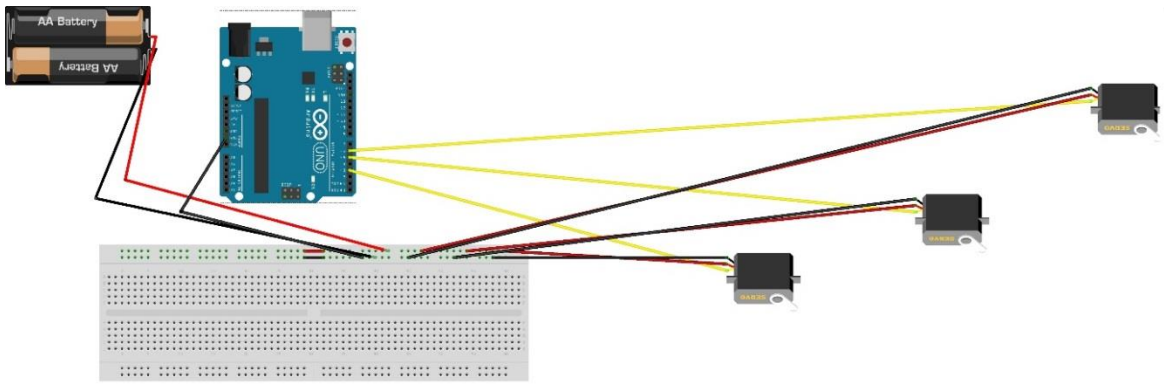
شکل ۵ بلوک دیاگرام سازه غذادهی هوشمند پیشنهادی را نمایش می‌دهد.



شکل ۵ بلوک دیاگرام سازه غذادهی هوشمند پیشنهادی

Figure 5 Block diagram of the proposed intelligent feeding system

شکل ۶ سازه طراحی شده غذاپاش پیشنهادی را نمایش می‌دهد.



شکل ۶ سازه غذا پاش هوشمند پیشنهادی

Figure 6 Proposed intelligent feeder system

مهمترین خصوصیت این دستگاه توزیع متعادل جیره غذایی است که تأثیر به‌سزایی در رشد یکنواخت ماهی‌ها خواهد داشت.

الف) مکانیسم عمل روش پیشنهادی

سازه غذادهی اتوماتیک مبتنی بر آردوینو طراحی شده است.

آردوینو را می‌توان با نرم افزار ARDUINO (IDE) - برنامه ریزی کرد.

ب) پیاده سازی رمزهای آردینو

برنامه نویسی آردینو از طریق نرم افزار IDE آردینو انجام می‌شود که نوشتن رمز و بارگذاری آن آسان است. از زبان C++ برای برنامه نویسی استفاده می‌شود که در شکل ۷ نمایش داده شده است.

```
#include<Servo.h>
Servo servo_test;
Servo servo_test2;
Servo servo_test1;
void setup()
{
 servo_test.attach(5);   // attach the signal pin of servo to pin 5 of arduino
  pinMode(5, OUTPUT);
servo_test1.attach(3);   // attach the signal pin of servo to pin 3 of arduino
  pinMode(3, OUTPUT);
servo_test2.attach(6);   // attach the signal pin of servo to pin 6 of arduino
  pinMode(6, OUTPUT);
}
void loop() {

  //************************ At 7 AM:
  //////servo-TIME1///
  servo_test.write(90);  //Rotate servo by 90 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 90 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test.write(180);  //Rotate servo by 180 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 180 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test.write(270);  //Rotate servo by 270 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 270 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test.write(360);  //Rotate servo by 360 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 360 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test.write(0);   // Close the lid by rotating servo
  delay(25200000UL);     //Open the lid again after 7 hours
   //************//
      ////////servo1-TIME1///
       //************************ At 9 AM:
 servo_test1.write(90);  //Rotate servo by 90 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 90 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test1.write(180);  //Rotate servo by 180 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 180 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test1.write(270);  //Rotate servo by 270 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 270 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test1.write(360);  //Rotate servo by 360 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 360 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test1.write(0);   // Close the lid by rotating servo
  delay(43200000UL);     //Open the lid again after 12 hours
   //************//
    ////////servo2-TIME1///
    //************************ At 6 AM:
 servo_test2.write(90);  //Rotate servo by 90 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 90 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test2.write(180);  //Rotate servo by 180 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 180 degree: food keeps falling for 15 minute
   servo_test2.write(270);  //Rotate servo by 270 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 270 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test2.write(360);  //Rotate servo by 360 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 360 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test2.write(0);   // Close the lid by rotating servo
  delay(21600000UL);     //Open the lid again after 6 hours
   //************//
  //////servo-TIME2///
   //At 2 PM:
  servo_test.write(90);  //Rotate servo by 90 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 90 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test.write(180);  //Rotate servo by 180 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 180 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test.write(270);  //Rotate servo by 270 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 270 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test.write(360);  //Rotate servo by 360 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 360 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test.write(0);   // Close the lid by rotating servo
  delay(25200000UL);     //Open the lid again after 7 hours
   //************//
 ////////servo1-TIME2///
   //************************ At 9 AM:
 servo_test1.write(90);  //Rotate servo by 90 degree and open the lid
 delay(900000);          //Keep @ angle of 90 degree: food keeps falling for 15 minute
 servo_test1.write(180);  //Rotate servo by 180 degree and open the lid
 delay(900000);          //Keep @ angle of 180 degree: food keeps falling for 15 minute
 servo_test1.write(270);  //Rotate servo by 270 degree and open the lid
 delay(900000);          //Keep @ angle of 270 degree: food keeps falling for 15 minute
 servo_test1.write(360);  //Rotate servo by 360 degree and open the lid
 delay(900000);          //Keep @ angle of 360 degree: food keeps falling for 15 minute
 servo_test1.write(0);   // Close the lid by rotating servo
 delay(43200000UL);      //Open the lid again after 12 hours
  //************//
 ////////servo2-TIME2///
  //************************ At 12 AM:
servo_test2.write(90);  //Rotate servo by 90 degree and open the lid
 delay(900000);         //Keep @ angle of 90 degree: food keeps falling for 15 minute
 servo_test2.write(180);  //Rotate servo by 180 degree and open the lid
 delay(900000);         //Keep @ angle of 180 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test2.write(270);  //Rotate servo by 270 degree and open the lid
 delay(900000);         //Keep @ angle of 270 degree: food keeps falling for 15 minute
 servo_test2.write(360);  //Rotate servo by 360 degree and open the lid
 delay(900000);         //Keep @ angle of 360 degree: food keeps falling for 15 minute
 servo_test2.write(0);   // Close the lid by rotating servo
 delay(21600000UL);     //Open the lid again after 6 hours
  //************//
  //////servo-TIME3///
   //At 9 PM:
  servo_test.write(90);  //Rotate servo by 90 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 90 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test.write(180);  //Rotate servo by 180 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 180 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test.write(270);  //Rotate servo by 270 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 270 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test.write(360);  //Rotate servo by 360 degree and open the lid
  delay(900000);         //Keep @ angle of 360 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test.write(0);   // Close the lid by rotating servo
  delay(36000000UL);     //Open the lid again after 10 hours i.e. At 7 AM
   //************//
 ////////servo2-TIME3///
   //************************ At 6 AM:
servo_test2.write(90);  //Rotate servo by 90 degree and open the lid
 delay(900000);         //Keep @ angle of 90 degree: food keeps falling for 15 minute
 servo_test2.write(180);  //Rotate servo by 180 degree and open the lid
 delay(900000);         //Keep @ angle of 180 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test2.write(270);  //Rotate servo by 270 degree and open the lid
 delay(900000);         //Keep @ angle of 270 degree: food keeps falling for 15 minute
 servo_test2.write(360);  //Rotate servo by 360 degree and open the lid
 delay(900000);         //Keep @ angle of 360 degree: food keeps falling for 15 minute
 servo_test2.write(0);   // Close the lid by rotating servo
 delay(21600000UL);     //Open the lid again after 6 hours
  //************//
 ////////servo2-TIME4///
  //************************ At 12 AM:
servo_test2.write(90);  //Rotate servo by 90 degree and open the lid
 delay(900000);         //Keep @ angle of 90 degree: food keeps falling for 15 minute
 servo_test2.write(180);  //Rotate servo by 180 degree and open the lid
 delay(900000);         //Keep @ angle of 180 degree: food keeps falling for 15 minute
  servo_test2.write(270);  //Rotate servo by 270 degree and open the lid
 delay(900000);         //Keep @ angle of 270 degree: food keeps falling for 15 minute
 servo_test2.write(360);  //Rotate servo by 360 degree and open the lid
 delay(900000);         //Keep @ angle of 360 degree: food keeps falling for 15 minute
 servo_test2.write(0);   // Close the lid by rotating servo
 delay(21600000UL);     //Open the lid again after 6 hours
  //************//

}
```

شکل ۷ کدهای سازه غذادهی هوشمند

Figure 7 Codes of the intelligent feeding system

نتایج

در این مقاله توزیع متعادل و به موقع جیره غذایی ماهی‌ها به عنوان یکی از چالش برانگیزترین مشکلات موجود در بحث پرورش ماهی، مطرح شد و مشخص گردید که توزیع غذای مناسب، به اندازه و بصورت یکنواخت در بهینه سازی رشد ماهی‌ها تاثیر گذار است. سپس به طراحی دستگاه هوشمند غذادهی ماهی‌ها با استفاده از میکروکنترلر آردینو پرداخته شد که بصورت خودکار عمل می‌کند و به مدیریت، توزیع متعادل غذا به ماهی‌ها، تعیین زمان غذادهی، دفعات غذادهی و کنترل مقدار غذا مصرفی می‌پردازد و قادر است با تنظیم زمان دقیق غذادهی، بسته به نوع ماهی از هدر رفت مواد غذایی جلوگیری نماید.

سازه طراحی شده نیازی به دانش آبزی پروری و یادآوری مداوم ندارد چرا که می‌توان یک بار برای همیشه زمان‌بندی، تعداد و مقدار توزیع غذا در وعده‌های آن را برنامه ریزی کرد. بدین وسیله نگرانی از بروز خطای نیروی انسانی برطرف می‌شود. هر چه تعداد وعده‌ها و غذای استفاده شده در آنها کمتر باشد و از طرفی تعداد ماهی‌ها بیشتر باشد هدر رفت غذا پایین‌تر و ضریب تبدیل غذا افزایش می‌یابد. سازه طراحی شده بدلیل کم هزینه بودن، دقت بالای غذادهی، مدیریت مصرف بهینه جیره غذایی و راحتی دسترس پذیری اجزا آن می‌تواند برای غذادهی بخصوص در استخرها و مزارع پرورش ماهی مثمر ثمر واقع گردد. برای اندازه گیری دقت درسازه غذادهی پیشنهادی از میکروکنترلر پلت فرم آردوینو به منظور زمانبندی و تعیین بازه‌های زمانی تعیین جیره غذایی ماهی‌ها بصورت اتوماتیک استفاده می‌شود.

ویژگی دستگاه غذادهی اتوماتیک آبزیان تعیین ساعت شروع غذادهی و پایان غذادهی است چرا که ماهی‌ها مثل انسان‌ها خواب و یا برخی از آنها سیکل‌های شبانه روزی را درک می‌کنند و در شب به حالتی شبیه حالت بی‌تحرک درمی‌آیند؛ غذا دادن به ماهی‌ها در این حالت برای آنها استرس ایجاد می‌کند و بازده بسیار پایینی دارد.

از مزایای استفاده از سازه هوشمند برای غذادهی به ماهیان پرورشی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

غذادهی منظم: دستگاه تغذیه اتوماتیک ماهیان می‌تواند به صورت منظم و در بازه‌های زمانی مشخص غذاهای را به ماهیان تامین کند. این امر باعث می‌شود که ماهیان به طور مداوم و به موقع تغذیه شوند و به سلامتی و رشد مناسب دست یابند.

دقت بالا: سازه غذادهی هوشمند با استفاده از برنامه نرم افزاری، قادر است به طور دقیق میزان غذای و زمان دقیق غذادهی را تنظیم نماید.

بهره‌وری بالا: با استفاده از سازه غذادهی هوشمند، میزان غذای مصرفی بهینه و به میزان دقیق تنظیم می‌شود که منجر به بهبود بهره‌وری در پرورش ماهیان می‌شود.

صرفه‌جویی در منابع و اتلاف کمتر غذا: با استفاده از دستگاه تغذیه اتوماتیک، می‌توان از اتلاف کمتری در مصرف غذا بهره‌برداری کرد. زمانی که غذاها به صورت دستی پخش می‌شوند، ممکن است مقدار زیادی از غذا باقی مانده و در آب استخر ریخته شود که می‌تواند منجر به آلودگی آب و ایجاد مشکلات برای ماهیان شود. با استفاده از دستگاه تغذیه اتوماتیک، می‌توان مقدار دقیقی از غذا را به ماهیان تامین کرد و از اتلاف غذا جلوگیری کرد.

کنترل اتوماتیک: با استفاده از سازه‌های هوشمند، نیاز به نظارت و دخالت دائمی انسان در فرآیند غذادهی کاهش می‌یابد و کنترل اتوماتیک بر روی میزان غذا فراهم می‌شود.

امکان تنظیم مقدار غذا: ویژگی چرخش مخزن غذا در زوایای مختلف این امکان را فراهم می‌آورد تا مقدار دقیقی از غذا را برای ماهیان تعیین شود و از اتلاف غذا جلوگیری گردد. همچنین، با توجه به نیازهای ماهیان در دوره‌های مختلف رشد، می‌توان مقادیر غذایی را تنظیم نمود.

افزایش رشد و سلامت ماهیان با ارائه جیره غذایی مناسب و کاهش استرس و سادگی و کارآمدی در طراحی و پیاده‌سازی با استفاده از میکروکنترلر آردینو یونو از دیگر مزایای آن محسوب می شود.

حفظ کیفیت آب: یکی از مسائل مهم در محیط پرورش ماهی، کیفیت آب است. با استفاده از دستگاه تغذیه اتوماتیک، می‌توان کنترل بهتری بر میزان غذاهای وارد شده به آب داشت. این امر می‌تواند به حفظ کیفیت آب و جلوگیری از افزایش آلاینده‌ها کمک کند.

امکان پیکربندی چندگانه: دستگاه تغذیه هوشمند این امکان را فراهم می‌آورد تا بر اساس نیازهای مختلف ماهی‌ها، برنامه‌های تغذیه متنوعی را تنظیم کنید. مثلاً می‌توانید برنامه‌ای برای ماهیان جوان با نیازهای تغذیه

مختلف و برنامه‌ای برای ماهیان بزرگتر با نیازهای متفاوت تنظیم کنید.

نتایج این پژوهش بهبود قابل توجهی در بهره‌وری تغذیه، رشد و سلامت ماهیان ارائه می‌دهد و ارتقای عملکرد سازه‌های تغذیه ماهیان در محیط‌های پرورشی را ممکن می‌سازد. این پژوهش در نهایت به منظور بهبود شرایط پرورش ماهیان و افزایش سودآوری در صنعت آبزی پروری اهمیت بسیاری دارد.

بحث

با افزایش تقاضا برای محصولات دریایی و محدودیت منابع طبیعی ماهی، این صنعت نیاز به یافتن راهکارهای پایدار و کارآمد برای تأمین آن دارد. یکی از راهکارهای تأمین این نیاز، پرورش ماهی است. از چالش‌های اصلی در پرورش ماهی، دستیابی به مدیریت کارآمد و مؤثر تغذیه است. روش‌های سنتی مدیریت تغذیه ماهی، نیازمند کار نیروی انسانی بوده و در معرض خطاهای انسانی قرار دارند که باعث نارسایی و خطرات سلامتی برای ماهیان می‌شوند. این فرآیند شامل تغذیه دستی ماهیان در زمان‌ها و مکان‌های مشخص توسط کارگران است. با وجود این، این روش با چندین چالش روبه‌رو است. اولاً، توزیع دستی می‌تواند منجر به توزیع نامنظم تغذیه شود که باعث می‌شود برخی از ماهیان بیشتر یا کمتر از مقدار مورد نیاز خود غذا دریافت کنند. این عدم توازن می‌تواند رشد و سلامت جمعیت ماهی را مختل کند.

دوماً، برنامه‌ریزی دستی اغلب غیرقابل انعطاف و زمان‌بر است. این امر مستلزم نظارت و تنظیمات مداوم برای سازگاری با الگوهای تغذیه و رفتار ماهیان است. علاوه بر این، احتمال خطاهای انسانی در این فرآیند بیشتر است که منجر به افزایش یا کاهش تغذیه ماهیان می‌شود. این چالش‌ها نیاز به رویکردی کارآمد و دقیق‌تر در مدیریت تغذیه ماهی را مشخص می‌کنند.

از طرفی، در مدیریت تغذیه دستی امکان تغذیه بیش از حد نیاز ماهی وجود دارد. تغذیه بیش از حد می‌تواند منجر به آلودگی آب، شیوع بیماری‌ها و افزایش هزینه‌های تولید شود، در حالی که تغذیه ناکافی ممکن است منجر به توقف رشد و کیفیت پایین ماهیان شود. سازه هوشمند توزیع و برنامه‌ریزی تغذیه که توسط برد آردوینو طراحی شده، به این چالش‌ها پاسخ می‌دهد و کنترل دقیقی بر توزیع تغذیه فراهم می‌کند و باعث افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و کاهش تأثیرات زیست‌محیطی می‌شود و با نظارت مداوم بر کیفیت آب و فعالیت ماهیان، سازه اطمینان حاصل می‌کند که ماهیان در زمان مناسب مقدار مناسبی از غذا را دریافت می‌کنند. این روش علاوه بر ارتقای سلامت و رشد کلی ماهیان، هدررفت تغذیه و تأثیرات زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد. همچنین، سازه هوشمند امکان تنظیم آسان مقادیر و برنامه‌های تغذیه را بر اساس شرایط تغییردهنده فراهم می‌کند و در طی فرآیند پرورش ماهی، مدیریت بهینه تغذیه را تضمین می‌کند. بنابراین، میکروکنترلر آردوینو یونو انقلابی جدید در مدیریت تغذیه ماهی در پرورش ماهی ایجاد کرده است. این دستگاه چندکاره، امکان توزیع و برنامه‌ریزی خودکار تغذیه ماهی را فراهم می‌کند. قیمت پایین و سهولت استفاده، این دستگاه را به یک گزینه قابل توجه برای انقلابی کردن مدیریت تغذیه ماهی در پرورش ماهی تبدیل کرده است.

همان‌طور که عنوان شد، پیاده‌سازی یک سازه مبتنی بر آردوینو در پرورش ماهی نیازمند برنامه‌ریزی و ادغام دقیق است. در طراحی سازه هوشمند تغذیه، مرحله اول، ارزیابی نیازها و الزامات خاص مزرعه ماهی است که شامل عواملی مانند اندازه مخزن، گونه ماهی و هدف‌های تولید می‌شود. این امر کمک می‌کند تا برنامه‌های نرم‌افزاری مناسب برای استفاده در سازه تغذیه هوشمند تعیین شود. با انتخاب مؤلفه‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، برد آردوینو باید برنامه‌ریزی شود تا وظایف مورد نظر را انجام دهد که نیازمند نوشتن رمزی است که داده‌ها را پردازش، و تغذیه را کنترل می‌کند. محیط توسعه نرم‌افزاری آردوینو که کاربر پسند است، این فرآیند برنامه‌نویسی را حتی برای کسانی که تجربه محدودی در برنامه‌نویسی دارند، قابل دسترس می‌کند.

پس از اتمام برنامه‌ریزی، سازه را می‌توان آزمایش و تنظیم کرد تا از عملکرد بهینه اطمینان حاصل شود. با فعال‌سازی توزیع هوشمند و برنامه‌ریزی تغذیه ماهی، آردوینو یونو قابلیت کنترل دقیق، نظارت در زمان واقعی و قابلیت دسترسی از راه دور را ارائه می‌دهد. این فناوری به طور قابل توجهی به بهبود بهره‌وری تغذیه کمک می‌کند، هزینه‌های نیروی کار را کاهش می‌دهد و سلامت و رشد کلی ماهیان را بهبود می‌بخشد. با توجه به مطالعات موردی و پیاده‌سازی‌های موفق، تأثیر تحول‌بخش آردوینو یونو در پرورش ماهی غیرقابل انکار

است. قیمت مناسب، دسترسی آسان و قابلیت سازگاری آن، به عنوان یک راه حل مطلوب برای پرورش‌دهندگان ماهی در همه مقیاس‌هاست. در نتیجه، میکروکنترلر آردوینو یونو کلید تحول در مدیریت تغذیه ماهی در صنعت پرورش ماهی است. پذیرش این فناوری می‌تواند منجر به پرورش ماهی پایدارتر و کارآمدتر شود و تقاضای روزافزون برای محصولات دریایی را برآورده کند، در حالی که تأثیر زیست محیطی را نیز کم می‌کند. به طور کلی مزایای استفاده از میکروکنترلر آردوینو یونو شامل مدیریت کارآمد تغذیه است. سازه هوشمند طراحی شده رویکردی کارآمد برای مدیریت توزیع و برنامه‌ریزی تغذیه ماهیان در پرورش ماهی ارائه می‌دهد. با استفاده از میکروکنترلر آردوینو یونو، این سازه قابلیت کنترل دقیق بر روی زمان بندی و مقدار تغذیه ماهیان را فراهم می‌کند، که منجر به بهینه‌سازی فرآیند تغذیه و کاهش ضایعات می‌شود.

بهبود دقت تغذیه: سازه هوشمند با استفاده از فنون پیشرفته مدل‌سازی، دقت تغذیه را بهبود می‌بخشد. با بهره‌گیری از داده‌های زمان واقعی، مانند اندازه، وزن و الگوی تغذیه ماهیان، سازه قادر است فراسنجه‌های توزیع تغذیه را به صورت پویا تنظیم کند و به این ترتیب اطمینان حاصل شود که ماهیان تغذیه بهینه را دریافت می‌کنند و همزمان مصرف غذای زیاد یا کم را کاهش می‌دهند.

بهره‌وری در هزینه و منابع: پیاده‌سازی سازه هوشمند صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه و منابع ارائه می‌دهد. با افزایش تقاضا برای ماهی و نیاز به روش‌های پرورش ماهی پایدار و کارآمد، قابلیت‌های برد آردوینو در این صنعت در حال رشد است. پرورش‌دهندگان ماهی که به اتوماسیون و سازه‌های هوشمند مبتنی بر آردوینو روی آورده‌اند، در موقعیت خوبی برای مواجهه با چالش‌ها و بهره‌برداری از مزایای صنعت در حال تحول سریع، قرار می‌گیرند.

بنابراین، استفاده از برد آردوینو و طراحی یک سازه هوشمند برای توزیع و برنامه‌ریزی تغذیه، صنعت پرورش ماهی را به طور چشم‌گیری متحول می‌کند. با مدیریت تغذیه هوشمند، پرورش‌دهندگان ماهی قادر به دستیابی به کارایی بالاتر، بهره‌برداری بهتر از منابع و بهبود بهره‌وری کلی خواهند شد. با پیشرفت فناوری، می‌توان انتظار پیشرفت‌های بیشتر در اتوماسیون پرورش ماهی داشت. یکپارچه‌سازی یادگیری ماشین و هوش مصنوعی، قابلیت‌های ارتباط بی‌سیم و پیشرفت‌ها در فناوری حسگر، قابلیت‌های سازه‌های مبتنی بر آردوینو را در پرورش ماهی بهبود می‌بخشد.

منابع

Amiri Sendesi, S. A., Mirzajani, A., Salavatian, S.M., Ghorbani, S., Momeni Toutakleh, M., Roufchaei, R., Ramazani, R. 2019. The effect of feeding frequency on the growth process of kutum fish fry (*Rutilus kutum*). Advanced Aquaculture Sciences 3: 29-38. [In Persian].

Bahrehmand, M., Moghaddas, F., Mahmoudi, A., Radkhah, A., Soleimanirad, A. 2019. The effect of feeding frequency on the growth performance, nutrition, survival, and carcass composition of Koi carp fry (*Cyprinus carpio* var. Koi). Aquatic Organism Ecology 2: 108-118. [In Persian].

Busaeri, N., Hiron, N., Andang, A., Taufiqurrahman, I. 2019. Design and prototyping the automatic fish feeder machine for low energy. International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing (ICSECC) 9-13 August. doi: 10.1109/ICSECC.2019.8907077.

Chen, L., Yang, X., Sun, C., Wang, Y., Xu, D., Zhou, C. 2020. Feed intake prediction model for group fish using the MEA-BP neural network in intensive aquaculture. Information Processing in Agriculture 2: 261-271. doi: 10.1016/j.inpa.2019.09.001.

Feng, S., Yang, X., Liu, Y., Zhao, Z., Liu, J., Yan, Y. 2022. Fish feeding intensity quantification using machine vision and a lightweight 3D ResNet-GloRe network. Aquacultural Engineering 98:

102244. doi: 10.1016/j.aquaeng.2022.102244.

Føre, M., Alver, M., Alfredsen, J.A., Marafioti, G., Senneset, G., Birkevold, J., Willumsen, F.V., Lange, G., Espmark, Å., Terjesen, B.F. 2016. Modeling growth performance and feeding behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in commercial-size aquaculture net pens: Model details and validation through full-scale experiments. Aquaculture 464: 268-278. doi: 10.1016/j.aquaculture.2018.06.057.

Kochaki, L., Zakery, M., Mousavi, S.M., Yavari, V., Kochenin, P. 2015. The effects of feeding frequency on growth indices, nutrition, and biochemical composition of Sterlet sturgeon (*Acipenser ruthenus*). Iranian Journal of Fisheries Sciences 4: 615-629. doi: 10.22059/jfisheries.2015.57254 [In Persian].

Li, D., Du, L. 2022. Recent advances of deep learning algorithms for aquacultural machine vision systems with emphasis on fish. Artificial Intelligence Review 1: 1-40. doi: 10.1007/s10462-021-10102-3.

Li, D., Wang, Z., Wu, S., Miao, Z., Du, L., Duan, Y. 2020. Automatic recognition methods of fish feeding behavior in aquaculture: A review. Aquaculture 528: 735508. doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.735508.

Ogunlela, A.O. 2014. Development and performance evaluation of an automatic fish feeder. Journal of Aquaculture Research & Development 7: 1-4. doi: 10.4172/2155-9546.1000407.

Prem, R., Tewari, V.K. 2020. Development of human-powered fish feeding machine for freshwater aquaculture farms of developing countries. Aquacultural Engineering 88: 102028. doi: 10.1016/j.aquaeng.2019.102028.

Shahkar, E., Hossein, K., Sodagar, M., Azimi, A. 2008. The effect of feeding frequency on the growth rate and survival of Caspian white fish larvae (*Rutilus frisii kutum*, Kamensky 1901). Biological Sciences, Lahijan Branch 3, 49-41. [In Persian].

Wang, Y., Yu, X., Liu, J., Zhao, R., Zhang, L., An, D., Wei, Y. 2023. Research on quantitative method of fish feeding activity with semi-supervised based on appearance-motion representation. Biosystems Engineering 230: 409-423. doi:10.1016/j.biosystemseng.2023.04.011.

Wei, H.C., Salleh, S., Ezree, A.M., Zaman, I., Hatta, M., Zain, B.M. 2017. Improvement of automatic fish feeder machine design. International Conference on Materials Physics and Mechanics. doi:10.1088/1742-6596/914/1/012041.

Zhang, L., Li, B., Sun, X., Hong, Q., Duan, Q. 2023. Intelligent fish feeding based on machine vision: A review. Biosystems Engineering 231: 133-64. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2023.05.0.