مجلهٔ ترویجی بوم‌شناسی منابع آبی
دورهٔ ۶، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۱
ISSN- 2821-1111

کاربرد سامانه‌های تغذیه‌ای و پایش در آبزی‌پروری

سعید تمدنی جهرمی[۱]، رضا نهاوندی*[۲]، سجاد پورمظفر[۳]، محمد خلیل پذیر[۴]، بهزاد سروی[۳]، محمدرضا زاهدی[۱]

۱- پژوهشکده اکولوژی خلیج‌فارس و دریای عمان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران.
۲- موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۳- ایستگاه تحقیقات نرم‌تنان خلیج‌فارس، پژوهشکده اکولوژی خلیج‌فارس و دریای عمان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرلنگه، ایران.
۴- پژوهشکده میگوی کشور، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بوشهر، ایران.

نویسنده مسئول: Rezanahavandi91@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۱۶ تاریخ انتشار:۱۴۰۳/۸/۱۴

چکیده

در گذشته بیشتر مناطق ساحلی دنیا در صنعت آبزی‌پروری فعالیت می‌کردند؛ اما امروزه در هر شهری حداقل یک فعالیت کوچک آبزی‌پروری وجود دارد تا نیاز آن منطقه به محصولات آبزی نظیر ماهی و میگو را رفع کند؛ اما هرچه جمعیت زیاد می‌شود دیگر روش‌های قدیمی جوابگوی رفع نیازهای افراد نیستند و صنایع هم تلاش می‌کنند تا هم‌زمان با رشد جمعیت روش‌های تولید خود را با فنّاوری همراه کنند. غذا پاش یک دستگاه کاربردی برای مشاغل آبزی‌پروری است که تا حد زیادی به پیشرفت این صنعت کمک کرده است. دستگاه غذادهی اتومات برای آبزی پرورانی که مشکل نیروی کار انسانی و تأمین کارگر دارند، بسیار مناسب است. همچنین استفاده از دستگاه غذا ده ماهی زمان توزیع جیره خوراک را تنظیم کرده و به روند رشد و سلامت آبزیان کمک بسزایی می‌کند. انجام غذادهی به ماهی‌ها در استخرها و دریاچه‌های پرورش ماهی باید سروقت و زمانی یکسان در روز انجام گیرد، چون آبزیان همیشه منتظر غذا بوده و عدم غذادهی به‌موقع باعث استرس به آن‌ها می‌گردد و درنهایت باعث کاهش رشد در آن‌ها می‌شود.

واژه‌های کلیدی: دستگاه غذاده، پرورش ماهی، آبزی‌پروری، رشد ماهی

مقدمه

تغذیه را می‌توان به‌صورت دستی یا با غذاده‌های خودکار یا سامانه‌های تغذیه‌ای انجام داد. زمان صرف شده برای تغذیه در مزارع بزرگ با تولید متراکم قابل‌توجه است و می‌تواند توجیهی برای سرمایه‌گذاری در سامانه تغذیه خودکار باشد. برای مثال، نیاز روزانه غذا برای یک مزرعه پرورش قزل‌آلای رنگین‌کمان ۱۰۰ تن ماهی ۱۰۰ گرمی حداقل ۳۵۰۰ کیلوگرم در روز در دمای ۱۶ درجه سانتی‌گراد است. برای تولید متراکم بچه ماهیان چندین گونه تقریباً به عرضه پیوسته غذا به‌ویژه در مرحله تغذیه آغازین نیاز است. تأمین این مقدار غذا به کار زیادی نیاز دارد و بنابراین این کار به‌طورمعمول با غذاده‌های خودکار انجام می‌شود(Dumas *et al*, 2010) . سامانه‌های تغذیه‌ای برای سامانه‌های آبزی‌پروری متراکم جذاب‌تر است چون غذادهی به ماهی‌ها تا آنجا که ممکن است حائز اهمیت است. آسان بودن تغذیه خودکار به نوع غذای مورداستفاده بستگی دارد. خوراک خشک، اکسترود یا پلت شده با این روش به‌آسانی قابل‌استفاده‌اند. این خوراک‌ها ثابت و سخت هستند. خوراک تر یا مرطوب به‌مراتب سخت‌تر از سایر خوراک در سامانه خودکار قابل‌استفاده‌اند. یافتن سامانه‌های خوب به‌منظور پخش ذرات متراکم نیز مشکل است. خوراک مرطوب را می‌توان از طریق سامانه‌های پمپی پخش کرد. اثرهای زیست‌محیطی احتمالی نیز در این نوع خوراک‌ها بیشتر است. اندازه و شکل ذرات خشک نیز بر امکان‌پذیری تغذیه خودکار اثر می‌گذارد. برای مثال ذرات خوراکی ریز برای بچه ماهیان دریایی و آب شیرین ممکن است ایجاد مشکل کند (Fullerton *et al*, 2004).

غذاده‌های تقاضایی

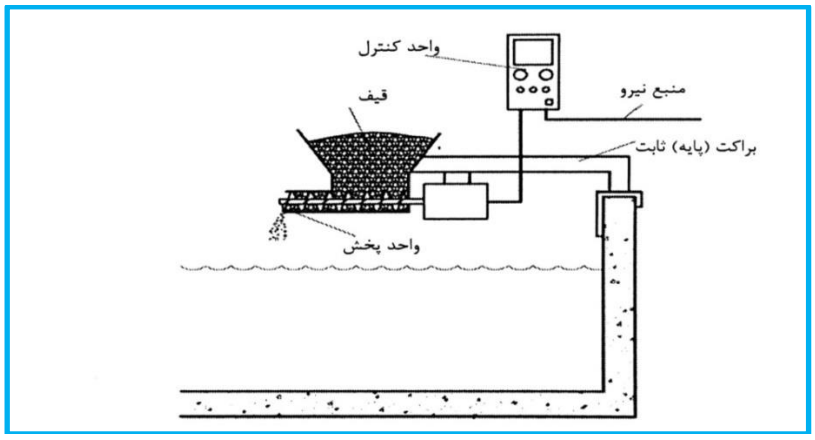
یک غذاده تقاضایی به‌طورمعمول یک ساختمان مکانیکی است. میله‌ای به صفحه کمی خمیده در زیر یک قیف تغذیه متصل است. میله از غذاده به داخل آب امتداد می‌یابد. زمانی که ماهی میله را لمس می‌کند خوراک از قیف پخش خواهد شد. در انتهای میله یک برآمدگی (دکمه) یا چیزی شبیه آن وجود دارد که ماهی‌ها آن را لمس می‌کنند. مزیت اصلی استفاده از غذاده‌های تقاضایی این است که به منبع برق نیاز نیست. علاوه بر این طراحی آن ساده است و از چند قطعه حمل شدنی ساخته می‌شود. خود ماهی غذاده تقاضایی را اداره می‌کند و بنابراین ازنظر تئوری می‌تواند بر اساس اشتها تغذیه کند. بااین‌حال مقداری خوراک وجود دارد (Espmark *et al*, 2017). ماهی‌ها می‌توانند از میله تقاضا به‌عنوان یک ابزار بازی استفاده کنند و از این طریق مقداری خوراک به هدر رود. غذاده‌های تقاضایی همچنین به حرکت در آب نظیر امواج حساس‌اند. باد نیز ممکن است بر غذاده تقاضایی اثر بگذارد ازاین‌رو ممکن است به حفاظ نیاز باشد. غذاده‌های تقاضایی تقریباً برای تمام گونه‌ها استفاده شده است اگرچه برخی از گونه‌ها از قبیل ماهی آزاد اقیانوس اطلس به‌کندی کار با سامانه را یاد می‌گیرند. ماهی‌ها به یک دوره تمرینی برای یادگیری کار با سامانه نیاز دارند (Fullerton *et al*, 2004).

شکل ۱. غذاده تقاضایی

غذاده‌های خودکار

غذاده خودکار از چهار بخش اصلی تشکیل شده است: یک ظرف خوراک (قیف)، یک دستگاه پخش خوراک، یک منبع تغذیه الکتریکی برای پخش خوراک و یک واحد کنترل برای آغاز و توقف دستگاه پخش (شکل ۲). دستگاه پخش خوراک جزء اصلی غذاده خودکار است و این بخش غذاده خودکار را از پخش‌کننده خوراک متمایز می‌کند. غذاده‌ها در یک قفسه روی حوضچه یا روی قفس ثابت می‌شود. زمانی که از یک غذاده خودکار استفاده می‌شود مقدار خوراکی که باید در یک‌زمان پخش شود معلوم است و واحد پخش برای مدتی که این مقدار غذا را وارد حوضچه کند کار می‌کند. خوراک بر اساس حجم پخش می‌شود. در غذاده‌های با طراحی ویژه و گران‌تر سامانه می‌تواند بر اساس جرم خوراک نیز عمل کند.

زمانی که پخش خوراک بر اساس حجم است، نسبت حجم به جرم (لیتر بر کیلوگرم) خوراک (یعنی چگالی) باید معلوم باشد. چگالی خوراک با توجه به فرمولاسیون از تولیدکننده‌ای به تولیدکننده دیگر متفاوت است و همچنین به‌اندازه ذرات خوراک بستگی دارد. ازآنجاکه غذاده‌های پخش‌کننده حجمی خوراک حجم خاصی را پخش می‌کنند و به پخش بر اساس جرم خوراک توجه می‌شود، درجه‌بندی و پیمایش غذاده‌ها لازم است. برای درجه‌بندی، غذاده برای مدت معلوم کار می‌کند سپس مقدار واقعی خوراکی که پخش شده است توزین می‌شود به‌طوری‌که مقدار خوراک پخش‌شده در واحد زمان را می‌توان محاسبه کرد. این اطلاعات برای یافتن زمان موردنیاز برای کار غذاده جهت پخش جرم خاصی از خوراک استفاده می‌شود (Fore *et al*, 2018).



شکل ۲. غذاده خودکار متشکل از یک ظرف خوراک (قیف)، یک دستگاه پخش خوراک، یک منبع نیروی برق و یک واحد کنترل

شکل ۳. سالن پرورش ماهی مجهز به غذادهی اتوماتیک

انواع غذاده‌های خودکار

۱- غذاده آلن

انواع غذاده‌های خودکار می‌توان آلن را نام برد که برای تغذیه ماهی‌ها در انواع تانک‌ها و تراف‌ها و نیز کانال‌ها و استخرهای پرورش ماهی استفاده نمود. ظرفی که غذا در آن ریخته می‌شود دارای سوراخ‌ها با اندازه‌های گوناگونی است که غذای دان از داخل آن به آب ریخته می‌شود (شکل ۴). همه سوراخ‌ها غیر از سوراخ‌های مناسب با اندازه موردنظر با نوارچسب پوشیده می-شوند و غذا از این سوراخ‌ها به داخل آب ریخته می‌شود. در داخل ظرف ۲ تیغه چرخنده به فاصله حدود ۱/۵ میلی‌متر از کف ظرف وجود دارد که با چرخش مداوم خود غذا را با فشار روی سوراخ‌های باز می‌برد. تیغه‌ها با یک الکتروموتور کوچک ۱/۲۵ می‌تواند در هر بار حدود ۵ بار بچرخند. با توجه به اینکه معمولاً تراف‌های استاندارد هچری‌ها ۲ تایی هستند، با آویزان کردن این غذاده بالای مرکز اتصال ۲ جفت تراف، هم‌زمان می‌توان با یک غذاده، ماهی‌های ۲ تراف را غذا داد. برای غذا دادن به یک جفت تراف ۴/۸ متری، از ۲ یا ۳ عدد غذاده استفاده می‌شود. این غذاده به‌گونه‌ای ساخته شده است که می‌توان آن را به روش‌های گوناگون، بالای مخزن، کانال‌های استخر پرورشی نصب نمود. آنچه مهم است این است که توزیع غذا به‌ویژه برای نوزادانی که تغذیه را آغاز می‌نمایند بایستی به‌گونه‌ای باشد که غذا به‌اندازه کافی در اختیار آن‌ها قرار بگیرد (Fullerton *et al*, 2004). کار غذاده‌ها به‌وسیله ساعت ویژه کنترل می‌شود و غذا می‌تواند در فواصل زمانی گوناگون در ساعات روشن روز در اختیار آن‌ها قرار گیرد و عملاً غذادهی مختص به زمان کاری کارگران نخواهد بود.

۲- غذاده نیلسن

غذاده خودکار نیلسن قابل تعدیل برای کانال‌های سیمانی است ولی برای سایر انواع استخرها و کانال‌های پرورشی نیز قابل کاربرد است. ظرفیت مخزن این غذاده حدود ۶ کیلوگرم است ولی با قرار دادن یک تعدیل‌کننده می‌توان این ظرفیت را تا ۲۵ کیلوگرم افزایش داد. در ته این غذاده صفحه متحرک وجود دارد که با یک الکتروموتور کوچک می‌تواند به‌سرعت حرکت نماید. وقتی موتور کار می‌کند غذا از طریق یک سوراخ قابل کم‌وزیاد شدن روی پره‌های صفحه می‌ریزد و در منطقه نسبتاً وسیعی پخش می‌گردد. کار آن به‌وسیله یک ساعت مخصوص کنترل می‌شود تا بتوان مقادیر کم غذا را در فواصل زمانی موردنظر درون آب ریخت. ماهی‌ها به محل پاشیده شدن غذا عادت می‌کنند و هنگام تغذیه به‌اندازه کافی در این محل مانده و غذای موردنیاز برای رشد و نمو خوب را دریافت می‌نمایند. غذاده‌های خودکار را می‌توان به‌گونه‌ای تنظیم نمود که عملاً

هیچ‌گونه اسرافی در تغذیه وجود نداشته باشد و همه غذای داده‌شده در اختیار ماهی‌ها قرار گیرد (Fullerton *et al*, 2004). با بزرگ‌تر شدن ماهی‌ها، می‌توان مقدار غذا و دفعات غذادهی را تنظیم نمود. ساختار این غذاده خودکار به‌گونه‌ای است که می‌توان از غذای دان مرطوب نیز برای ماهی‌ها استفاده نمود.

شکل ۴. غذاده اتوماتیک آلن

شکل ۵. غذادهنده اتوماتیک نیلسن

الزامات سامانه تغذیه

ملزومات سامانه تغذیه به نوع سامانه انتخابی بستگی دارد. در ادامه برخی الزامات عمومی به‌ویژه برای استفاده از خوراک خشک ارائه شده است:

۱- عمل ساده سامانه
۲- نیاز به نگهداری و تعمیرات کم
۳- مقاومت در برابر باد و دریا
۴- تحمل رطوبت زیاد
۵- سادگی پر شدن با خوراک
۶- سادگی درجه‌بندی و پیمایش (کنترل مقدار پخش خوراک)
۷- دقت بالا در پخش غذا

انتخاب سامانه تغذیه

در حال حاضر استفاده از سامانه‌های تغذیه خودکار در تمام انواع مزارع پرورش متراکم ماهی معمول است. بااین‌حال انتخاب نوع سامانه تغذیه خودکار به عواملی بستگی دارد که مهم‌ترین آن‌ها نوع خوراک، گونه آبزی مورد پرورش، نوع سامانه تولید، اندازه تولید و دسترسی به برق‌اند. یک سامانه تغذیه می‌تواند شامل پخش‌کننده ساده بدون نیاز به برق تا سامانه رایانه‌ای تغذیه باشد که کنترل تغذیه بر اساس اشتهای ماهی‌ها است (Norambuena, 2005).

واحدهای کنترل

واحد کنترل انتقال جریان نیرو را به موتور در سامانه پخش مدیریت می‌کند. همچنین این واحد غذادهی را نیز کنترل می‌کند. ساده‌ترین واحد کنترل فواصل زمانی بین هر وعده و زمان کار دستگاه یعنی طول هر وعده را تنظیم می‌کند. برخی واحدهای کنترل به سلول حساس به نور مجهز است که فقط اجازه تغذیه در طول روز را می‌دهد. در واحدهای پیشرفته‌تر می‌توان زمان روزانه کار دستگاه به دلیل نرخ رشد مورد انتظار ماهی‌ها در واحد تولید را افزایش داد. ممکن است واحد کنترل جداگانه برای هر غذاده وجود داشته باشد یا واحد می‌تواند چندین غذاده را با رژیم تغذیه‌ای یکسان کنترل کنند. همچنین ممکن است یک واحد کنترل با چند کانال وجود داشته باشد به این معنی که این واحد می‌تواند چندین غذاده را به‌صورت جداگانه کنترل کند. واحد کنترل می‌توان یک رله فاصله‌ای ساده باشد جایی که زمان اجرا و کار دستگاه و فاصله زمانی بین هر آغاز به کار تنظیم می‌شود. چندین رله را می‌توان باهم در یک واحد کنترل چند کاناله تنظیم کرد. کنترل‌کننده‌های منطقی قابل‌برنامه‌ریزی سامانه پیشرفته‌تری هستند که کارهای مشابه واحد کنترل چندکاناله را انجام می‌دهند (Chang *et al*, 2005). ورودی و خروجی را می‌توان روشن یا خاموش کرد و بسیار آسان می‌توان سامانه را با ورودی و خروجی‌های بیشتر توسعه داد. هر کانال خروجی را می‌توان جداگانه برنامه دار کرد. علاوه بر این، سیگنال‌های ورودی را می‌توان برای کنترل سیگنال‌های خروجی استفاده کرد. برای مثال خروجی فقط زمانی می‌تواند شروع به کار کند که سیگنال‌های ورودی از یک حسگر نوری ثبت کند که شرایط روشنایی روز برقرار است. این بدان معنی است که تغذیه فقط در روز میسر است. رایانه شخصی مجهز به کارت‌های ویژه برای کنترل سامانه‌های تغذیه بزرگ‌تر قابل‌استفاده‌اند. همچنین از رایانه شخصی می‌توان برای جمع‌آوری داده‌هایی که برای کنترل تغذیه قابل‌استفاده‌اند مانند دما و شدت نور استفاده کرد. رایانه‌های شخصی به‌عنوان یک داده بردار به‌منظور ذخیره اطلاعاتی مانند مقدار خوراک داده‌شده در هرروز به کار گرفته می‌شوند.

سامانه‌های تغذیه‌ای

اصطلاح سامانه تغذیه‌ای به سامانه کاملی گفته می‌شود که خوراک را به‌طور مستقیم از سیلو قیف خوراک می‌گیرد و آن را به واحد تولید ماهی‌ها انتقال می‌دهد و در پایان آن‌ها را در بین ماهی‌ها پخش می‌کند. یک سامانه تغذیه کامل ممکن است از سه بخش تشکیل شده باشد: واحد ذخیره‌سازی، واحد حمل و واحد پخش خوراک. در حال حاضر سامانه‌های تغذیه را می‌توان به دو نوع تقسیم کرد: ۱- سامانه‌هایی که غذاده معمولاً به‌طور مرکزی واقع شده و خوراک به واحدهای تولید ماهی منفرد (حوضچه‌ها، استخرها یا قفس‌ها) از طریق لوله‌ها انتقال داده می‌شود و به‌طورمعمول سامانه تغذیه گفته می‌شود. ۲- سامانه‌هایی که غذاده روی یک سامانه ریلی نصب می‌شود و چندین واحد را پوشش می‌دهد که معمولاً ربات‌های تغذیه‌ای نامیده می‌شود (Chang *et al*, 2005).

سامانه تغذیه مرکزی

سامانه تغذیه مرکزی از سیلوهای ذخیره‌سازی، شیر دریچه تخلیه، لوله‌ها با یک جریان آب یا هوا برای انتقال خوراک، شیر انتخاب‌کننده و درنهایت واحد پخش تشکیل‌شده است. در این سامانه خوراک از سیلو به یک اوگر (شبیه مته مارپیچ) انتقال داده می‌شود که از این طریق ذرات خوراک به یک قیف واقع در بالای یک شیر دریچه تخلیه فرستاده می‌شود. شیر دریچه تخلیه ذرات خوراک را از قیف دریافت و جهت انتقال بعدی به حوضچه‌ها یا قفس به لوله‌ها منتقل می‌کند. برای انتقال ذرات خوراک، آب یا هوا به‌عنوان محیط واسطه استفاده می‌شوند و بنابراین شیر دریچه تخلیه قفلی بین قیف و محیط واسطه انتقالی (هوا یا آب) است. شیر دریچه تخلیه می‌تواند واحد پخش خوراک نیز باشد. صرف‌نظر از اینکه هوا یا آب به‌عنوان یک محیط انتقال استفاده شوند سرعت در لوله‌ها به میزانی است که خوراک همیشه به حالت معلق باقی می‌مانند. یک دمنده یا پمپ سرعت مناسب داخل لوله‌ها را تأمین می‌کند. در طول چند سال اخیر هوا محیط واسطه انتقالی اصلی شده است. بعدازاین که خوراک در فاصله کوتاهی در لوله‌ها حمل شد (چند متر) وارد شیر انتخاب‌کننده می‌شود. این شیر مقدار خوراکی که باید به واحد تولید فرستاده شود را تعیین می‌کند. چندین طراحی شیر انتخاب‌کننده وجود دارد. به‌طورمعمول یک انتخاب‌کننده متحرک چرخان یا افقی استفاده می‌شود. بعد از شیر انتخاب‌کننده خوراک از طریق لوله‌ها به واحد تولید انتقال می‌یابد. در قفس‌های دریایی لوله‌ها می‌توانند چند صد متر طول داشته باشد. سیلوها و شیر انتخاب‌کننده می‌توانند در ساحل یا روی یک قایق مخصوص قرار گیرند. اگر سامانه برای قفس‌های بزرگ باشد یک واحد توزیع خوراک نیز گنجانده می‌شود. طراحی صحیح و استفاده از سامانه تغذیه برای جلوگیری از شکسته شدن خوراک و تولید خاکه اهمیت دارد (Folkedal *et al*, 2012). عوامل مهم دمای هوا، سرعت برداشت، مواد مورداستفاده در لوله‌ها، طراحی و استفاده از شیر انتخاب‌کننده و مسیرهای خط لوله‌اند. کنترل‌های رایانه‌ای مرکزی در این نوع سامانه تغذیه وجود دارد. مقدار خوراک به واحدهای گوناگون را می‌توان به‌صورت ثابت تنظیم کرد یا می‌تواند به‌طور خودکار عمل کند. در نظر گرفتن وزن اولیه، دمای آب، رشد مورد انتظار و مرگ‌ومیر برای محاسبه درست میزان خوراک مفید است. همچنین رایانه ورودی‌ها را ذخیره می‌کند و ابزاری مهم برای برنامه‌ریزی و کنترل برق است. همچنین سامانه‌های تغذیه مرکزی برای تغذیه خودکار خوراک مرطوب در دسترس‌اند. گرایش جدید در سامانه‌های تغذیه نصب دوربین‌های فیلم‌برداری به‌منظور کنترل از راه دور اشتهای ماهی‌ها در قفس‌های دریایی جداگانه است. در چنین سامانه‌هایی، اپراتورها می‌تواند در خشکی در یک اتاق کنترل مرکزی قرار گیرند و تغذیه در چند مزرعه پرورش ماهی در مناطق دور از ساحل را کنترل و مدیریت کنند (Chang *et al*, 2005).

ربات‌های تغذیه

به عبارت ساده، یک ربات تغذیه غذاده معلق از یک سامانه ریلی است که در بالای حوضچه‌های پرورش ماهی آویزان است. یک موتور برای جلو راندن غذاده در امتداد سامانه ریلی گنجانده می‌شود. سامانه ریلی روی واحد تولید و زیر سیلوهای خوراک قرار دارد. ربات می‌تواند در زیر سیلوها ایستگاه بارانداز داشته باشد که در آنجا درزمانی که قیف روی غذاده خالی می‌شود به‌طور خودکار دوباره پر شود. با حرکت ربات در امتداد ریل، ربات با تراشه متصل به ریل در هر حوضچه برخورد می‌کند و بر اساس اطلاعات موجود در رایانه پردازنده، ربات حوضچه موردنظر را شناسایی می‌کند. همچنین رایانه با مقدار خوراکی که هر حوضچه به‌طور جداگانه دریافت خواهند کرد برنامه‌ریزی می‌شود (Fullerton *et al*, 2004)؛ بنابراین زمانی که ربات به تراشه برخورد می‌کند، مقدار برنامه‌ریزی‌شده خوراک برای هر حوضچه ریخته می‌شود. بعدازآن ربات کار خود را برای حوضچه‌های بعدی به همین ترتیب ادامه می‌دهد. زمانی که قیف روی ربات خالی می‌شود برای دوباره پر شدن با خوراک به‌طور خودکار به سمت سیلوها برمی‌گردد. چندین غذاده جداگانه را می‌توان به یک ربات متصل کرد به‌طوری‌که ربات می‌

تواند چند خوراک با اندازه‌های مختلف را با عملیات مشابه به حوضچه‌های جداگانه برساند و منبع برق غذاده و موتور می‌تواند بخش یکپارچه‌ای از سامانه ریلی باشد یا می‌تواند یک باتری باشد که در ایستگاه بارانداز دوباره شارژ می‌شود. مزیت اصلی این سامانه این است که دستگاه تغذیه یکسان را می‌توان برای تغذیه چند حوضچه به کار گرفت. سرمایه‌گذاری بیشتر در چنین واحدهایی امکان طراحی برای تغذیه دقیق‌تر را فراهم می‌کند. دقت تغذیه را می‌توان با استفاده از پخش‌کننده‌های مضاعف بهبود بخشید (Dumas *et al*, 2010).

شکل ۶. ربات تغذیه غذاده معلق

کنترل تغذیه

تغییر میزان و زمان غذادهی به ماهی‌ها به عوامل مختلفی (مانند تغییر در دمای آب، کیفیت آب، امواج و شرایط نوری) بستگی دارد و قابل‌تغییر است. با کنترل معمولی تغذیه، مقدار خوراک پخش‌شده در طول یک‌زمان معین ثابت است ازاین‌رو درصورتی‌که تفاوت در اشتهای ماهی وجود داشته باشد کنترل پخش خوراک ممکن است برای رفع این مشکل یکی از دو راه‌حل را می‌توان انتخاب کرد: استفاده از تغذیه محدود بدون هدر رفتن خوراک (ضرورتاً تغذیه کمتر) یا پذیرش مقدار خاص تلفات خوراک که پرهزینه است و به محیط‌زیست آسیب وارد می‌کند (Fullerton *et al*, 2004).

سامانه‌های کنترل تغذیه

سامانه‌های کنترل تغذیه را می‌توان به سامانه‌های دستی و خودکار تقسیم کرد. در حوضچه‌ها، سامانه‌های دستی استفاده می‌شود. اگر این سامانه به‌درستی طراحی شود، مشاهده هر نوع هدر رفتن خوراک در صافی یا واحد جداسازی برای خروجی ذرات مشاهده می‌شود. زمانی که غربالگری کل آب خروجی هر حوضچه انجام شود میزان هدر رفت خوراک نیز دیده می‌شود. بااین‌حال این روش به صافی بزرگ در هر حوضچه نیاز دارد که استفاده از آن پرهزینه است. در قفس‌های دریایی روش‌هایی معرفی‌شده‌اند. در یک روش دستی به‌طور کنترل از راه دور از دوربین‌های فیلم‌برداری زیرآبی در قفس استفاده می‌شود و

به‌طور تصادفی در زمان انجام عمل غذاده‌ها میزان هدر رفت خوراک مشاهده می‌شود. اپراتور در چنین مواردی در یک اتاق کنترل می‌نشیند. تجهیزاتی برای تشخیص رفتار جمعی مانند حسگرهای فتوالکتریک مادون‌قرمز نیز برای کنترل تغذیه استفاده‌شده‌اند. حسگرهای هیدرواکوستیک، سلول‌های نوری (فتوسل) و سیگنال‌های داپلر برای اندازه‌گیری خودکار هدر رفت خوراک استفاده‌شده‌اند. حسگر را می‌توان برای اندازه‌گیری هدر رفتن خوراک در یک منطقه نمونه در زیر قفس یا داخل آبی قرار داد. زمانی که میزان اتلاف خوراک از یک سطح خاص بیشتر شد حسگر سیگنال را برای توقف غذادهی به کنترل‌کننده ارسال می‌کند (Chang *et al*, 2005). در حوضچه‌ها دستگاه‌های مافوق صوت (اولتراسونیک) برای کنترل خوراک زائد استفاده‌شده‌اند. سامانه مشاهده رفتار جمعی مربوط به تغذیه برای کنترل خودکار خوراک استفاده‌شده است.

سامانه‌های پایش

در یک مرکز آبزی‌پروری کنترل تمام عوامل دخیل در مدیریت مزرعه لازم است. این کار می‌تواند برای مثال عامل کیفیت آب مانند غلظت اکسیژن، تأمین جریان آب کافی، یا سطح آب مناسب در یک آبگیر اصلی مزرعه باشد. البته این کار را می‌توان به‌طور دستی اندازه‌گیری و مشاهده کرد اما در صورت تکرار این شیوه کاری وقت‌گیر خواهد بود. تعداد دفعات اندازه‌گیری منظم به نتایج اقتصادی بستگی دارد که در صورت ازکارافتادن برخی ابزارها حاصل می‌شود. در پرورش متراکم ماهی با تراکم زیاد ماهی و استفاده زیاد از تأسیسات فنی که می‌تواند دچار مشکل شود نیاز به‌اندازه گیری منظم و کنترل بدیهی است. زمانی که برخی از ابزارها دچار مشکل می‌شوند، زمان در دسترس برای عمل بازسازی نیز محدود است، بنابراین سامانه‌های کنترل خودکار بر اساس نتایج اقتصادی و عملی به‌ویژه در پرورش متراکم ماهی به کار گرفته می‌شود.

یک سامانه کنترل و پایش از سه بخش تشکیل شده است:

۱- حسگرها و تجهیزات اندازه‌گیری که شرایط را کنترل می‌کند.

۲- مرکز کنترل که سیگنال‌ها را از حسگرها و تجهیزات اندازه‌گیری دریافت، آن‌ها را تفسیر می‌کند و درنهایت سیگنال‌های هشدار (اعلام‌خطر) را ارسال می‌کند یا سیگنال‌ها را به تنظیم‌کننده‌ها می‌فرستد.

۳- تجهیزات هشداری درزمانی که برخی ابزارها ازکارافتاده باشند و تجهیزات اضطراری که به‌وسیله تنظیم‌کننده‌ها شروع به کار می‌کنند یا متوقف می‌شوند.

سیگنال‌ها بین بخش‌ها منتقل می‌شوند. به‌طورمعمول این پیام‌ها سیگنال‌های الکتریکی‌اند که از طریق کابل‌ها منتقل می‌شوند، اگرچه از اتصالات بی‌سیم نیز می‌توان استفاده کرد. یک مرکز کنترل همیشه به باتری به‌عنوان پشتیبان مجهز است به‌طوری‌که این باتری‌ها به‌طور مستقیم خواه اینکه یک منبع برق وجود داشته باشد یا نه عمل می‌کنند (Espmark *et al*, 2017).

حسگرها و تجهیزات اندازه‌گیری

برای کنترل شرایط می‌توان از تعدادی حسگر استفاده کرد که به‌عنوان نقاط کنترل در سامانه هشدار عمل می‌کنند. حسگرها را می‌توان برای کنترل سطح آب، دبی آب یا شاخص‌های کیفی آب به کار گرفت. همچنین حسگرها برای نشان دادن اینکه آیا منبع برق متصل است یا نه خیلی استفاده می‌شوند. چندین عامل اندازه سامانه کنترل را تعیین می‌کنند. از حسگرها یا تجهیزات اندازه‌گیری، سیگنال‌های الکتریکی به مرکز کنترل فرستاده می‌شود. این پیام‌ها می‌تواند سیگنال‌های دیجیتال باشند. همچنین سیگنال می‌تواند آنالوگ باشد به این معنی که جریانی که وارد مرکز کنترل می‌شود متفاوت است و به مقادیر خوانده‌شده از حسگر بستگی دارد. ابزار اکسیژن متر مثالی در این مورد است. یک جریان مربوط به سطح اکسیژن

اندازه‌گیری شده به مرکز کنترل ارسال می‌شود بنابراین اگر غلظت اکسیژن کاهش یابد جریان کمتر می‌شود. به‌طورمعمول این سیگنال جریان کم بین ۴ و ۲۰ میلی‌آمپر است (Fullerton *et al*, 2004).

مرکز کنترل

ساختمان مرکز کنترل بسته به پیچیدگی سامانه شامل گیرنده‌های سیگنال، تفسیر پیام‌ها و درنهایت ارسال سیگنال‌ها به تجهیزات هشدار است. بااینکه مرکز کنترل معمولاً به‌طور ویژه برای مراکز آبزی‌پروری ساخته می‌شود. این مرکز بر کنترل‌کننده‌های منطقی قابل‌برنامه‌ریزی (PLC) یا رایانه مبتنی است. یک کنترل‌کننده منطقی قابل‌برنامه‌ریزی می‌تواند به‌صورت یک سامانه عملیاتی سوئیچ الکترونیکی مشاهده شود که شامل تعدادی کانال‌های ورودی و تعدادی کانال‌های خروجی است. سیگنال‌های الکتریکی از حسگر از طریق کانال‌های ورودی وارد می‌شوند. سیگنال‌های الکتریکی خروجی (با توجه به عملکرد سوئیچ‌ها) می‌توانند بر اساس سیگنال‌های ورودی برنامه‌ریزی شوند. برنامه‌ریزی PLC با استفاده از صفحه‌کلیدهای بیرونی متصل به مغز PLC انجام می‌شود. اینکه چه سیگنال‌های خروجی ارسال خواهد شد و این کار از طریق کدام کانال خروجی انجام می‌شود به سیگنال‌های ورودی و محل سامانه سوئیچ بستگی دارد. سیگنال‌های ورودی و خروجی می‌توانند دیجیتال یا آنالوگ یا رایج‌ترین حالت از هر دو نوع باشند. برای روشن شدن عملکرد PLC، یک سامانه کنترل در یک مزرعه را مثال می‌زنیم. تجهیزات مزرعه شامل یک پمپ است که آب را به مخزن اصلی می‌رساند. آب از این مخزن به‌صورت ثقلی وارد حوضچه‌های پرورش ماهی می‌شود. گاز اکسیژن خالص از کپسول اکسیژن را می‌توان به حوضچه-های پرورش ماهی مجزا از طریق منتشرکننده‌ها در کف حوضچه‌ها وارد آب کرد. ابزارآلات اندازه‌گیری عبارت‌اند از: یک حسگر سطح در مخزن اصلی و یک حسگر اکسیژن در هر حوضچه پرورش ماهی. علاوه بر این یک پمپ ذخیره به حالت آماده‌باش، یک شیر مغناطیسی که منبع تأمین اضطراری اکسیژن را کنترل می‌کند و یک آژیر موجود در مزرعه وجود دارند. برنامه PLC می‌تواند به شرح زیر باشد. اگر سطح آب در مخزن اصلی خیلی کم شود، یک سیگنال از حسگر سطح به PLC ارسال می‌شود. سپس PLC طوری برنامه‌ریزی می‌شود که سیگنال‌های خروجی را برای روشن شدن به پمپ ذخیره ارسال کند. اگر سطح اکسیژن در حوضچه خیلی کم باشد شیر ورودی به PLC تحت کنترل یک مقدار برنامه‌ریزی‌شده است و سیگنالی از طریق کانالی که شیر مغناطیسی روی کپسول گاز اکسیژن را کنترل می‌کند ارسال می‌شود. این سیگنال شیر را از حالت خاموش به حالت روشن تغییر می‌دهد. علاوه بر این، سیگنالی به کانالی که آژیر را روشن می‌کند ارسال می‌شود. اگر از رایانه‌ها به‌عنوان یک مرکز کنترل استفاده شود، به‌طورمعمول به کارت‌های ویژه به نام کارت‌های I/O یا کارت‌های اخذ و ثبت اطلاعات (DAQ) مجهزند. این کارت‌ها ورود سیگنال‌ها ازجمله سیگنال‌های آنالوگ به رایانه و ارسال انواع سیگنال‌های مشابه به PLC را ممکن می‌سازد. با استفاده از یک رایانه سیگنال‌های ورودی را می‌توان به‌آسانی ثبت و ذخیره کرد. همچنین دریافت یک نسخه چاپی از زمان‌های هشدار ازجمله زمان‌هایی که حسگرها عیبی را ثبت می‌کنند ممکن است. همچنین گرفتن عکس از مزرعه، اعم از حسگرها و موقعیت‌های جداگانه آن‌ها روی صفحه‌نمایش رایانه وجود دارد. با این کار کنترل چشمی عملیات آسان‌تر می‌شود. در حال حاضر هر دو کنترل‌کننده‌های منطقی قابل‌برنامه‌ریزی و رایانه در سامانه‌های ترکیبی استفاده می‌شوند (Dumas *et al*, 2010).

تجهیزات تنظیم

همچنین از سیگنال‌ها می‌توان برای روشن شدن تجهیزات اضطراری یا تنظیم عملکرد تجهیزات استفاده کرد. برای مثال، در حادثه‌ای که نیروی برق دچار اختلال می‌شود یک ژنراتور روشن می‌شود. همچنین تجهیزات ممکن است منابع تأمین اکسیژن

را برای حوضچه‌های ماهی باز کنند یا پمپ‌های آماده را روشن کنند. اغلب ترکیبی از روشن شدن تجهیزات اضطراری و روشن شدن تجهیزات هشدار بیرونی رخ می‌دهد (Dumas *et al*, 2010).

نگهداری و کنترل

برای قابل‌اعتماد بودن یک سامانه کنترل نگهداری مناسب و آزمایش آن حائز اهمیت است. به‌طورمعمول نگهداری شامل آزمایش و درجه‌بندی حسگرهاست. داشتن روند ثابت برای آزمایش سامانه کنترل، برای مثال هفته‌ای یک‌بار توصیه می‌شود. حسگرها باید برای اطمینان از اینکه سیگنال‌ها ارسال می‌شوند و همچنین برای اینکه سیگنال‌ها از مرکز به تجهیزات هشدار فرستاده می‌شوند آزمایش شوند. سامانه‌های اضطراری نظیر ژنراتور برق و سامانه‌های افزودن اکسیژن نیز باید در فواصل زمانی مشخص به‌منظور اطمینان از اینکه آن‌ها در زمان اضطراری خوب عمل خواهند کرد بررسی شوند (Folkedal *et al*, 2012).

توصیه ترویجی

عمده هزینه‌های تولید در آبزی پروی مربوط به غذا آبزیان است. غذاپاش‌ها، مقدار کمی خوراک را در منطقه وسیع از سطح آب در فواصل کوتاه و منظم توزیع می‌کنند، لذا احتمال هدر رفت غذا در استخر کاهش می‌یابد؛ بنابراین، غذاپاش‌ها در بهبود عملکرد رشد آبزی و کاهش هزینه‌های تولید نقش مهمی را ایفا می‌کنند.

منابع

1- Dumas, A., France, J. and Bureau, D., 2010. Modelling growth and body composition in fish nutrition: where have we been and where are we going?. *Aquaculture Research*, *41*(2), pp.161-181.

2- Espmark, Å.M., Kolarevic, J., Åsgård, T. and Terjesen, B.F., 2017. Tank size and fish management history matters in experimental design. *Aquaculture Research*, *48*(6), pp.2876-2894.

3- Folkedal, O., Stien, L.H., Nilsson, J., Torgersen, T., Fosseidengen, J.E. and Oppedal, F., 2012. Sea caged Atlantic salmon display size-dependent swimming depth. *Aquatic Living Resources*, *25*(2), pp.143-149.

4- Føre, M., Frank, K., Norton, T., Svendsen, E., Alfredsen, J.A., Dempster, T., Eguiraun, H., Watson, W., Stahl, A., Sunde, L.M. and Schellewald, C., 2018. Precision fish farming: A new framework to improve production in aquaculture. *biosystems engineering*, *173*, pp.176-193.

5- Norambuena Filcun, F., 2005. Aquaculture's feeding system: optimization of pick up velocity based on feed rate and pipeline lenght. . Fish Shellfish Immunology, 15: 283-292.

6- Chang, C.M., Fang, W., Jao, R.C., Shyu, C.Z. and Liao, I.C., 2005. Development of an intelligent feeding controller for indoor intensive culturing of eel. *Aquacultural engineering*, *32*(2), pp.343-353.

7- Fullerton, B., Swift, M.R., Boduch, S., Eroshkin, O. and Rice, G., 2004. Design and analysis of an automated feed-buoy for submerged cages. *Aquacultural engineering*, *32*(1), pp.95-111.