

شیلات، مجله منابع طبیعی ایران  
دوره ۶۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۴/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۳/۱۹

ص ۲۳۹-۲۵۳

## مقایسه عملکرد و کارایی دو سیستم پرورشی خودکار، مبتنی بر

### منطق فازی و متداول، در تولید ماهی پاکو قرمز

### *(Piaractus brachypomus)*

- ❖ مهدی سعادت فرد: گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کرج، دانشگاه تهران
- ❖ حجت احمدی\*: گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کرج، دانشگاه تهران
- ❖ غلامرضا رفیعی: گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی پردیس کرج، دانشگاه تهران
- ❖ سید سعید محتسبی: گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کرج، دانشگاه تهران

#### چکیده

بیشتر مطالعات انجام شده در یک دهه اخیر روش‌های مختلف تولید آبزیان و شرایط زیستی ماهیان را با هدف بهینه‌سازی بررسی کرده است. تحقیقات دیگر نیز روش‌های نوین مدیریتی با هدف کاهش دخالت انسانی در سامانه‌های تولید و پرورش ماهی از نوع نیمه‌متراکم و متراکم را کندوکاو کرده‌اند. در تحقیق حاضر سازگاری پرورشی از نوع متراکم طراحی شد. به منظور کاهش سطح دخالت انسان در این سازگان از حسگرهای آنالیز کیفیت آب و کنترل‌کننده خودکار منطق بر منطق فازی استفاده شد و با سیستم مرسوم مقایسه شد. برای این منظور درون هر یک از مخازن ونیرو با ظرفیت ۱۰۰۰ لیتر و از جنس فایبرگلاس، ۵۰ قطعه ماهی پاکو قرمز (*Piaractus brachypomus*) با وزن اولیه  $15/05 \pm 3/74$  و  $14/98 \pm 3/43$  گرم به ترتیب در سازگان مدرن مجهز به سامانه کنترلی و سازگان مرسوم (فاقد سامانه کنترلی) قرار گرفتند و تا رسیدن به حداقل دو برابر وزن اولیه پرورش یافتند. در پایان دوره آزمایش یعنی هفته چهارم، متوسط وزن ماهی درون سازگان مدرن به میزان  $56/43 \pm 1/06$  گرم (برابر وزن اولیه) و متوسط وزن ماهی درون سازگان مرسوم به میزان  $40/13 \pm 7/38$  گرم (برابر وزن اولیه) رسید. شاخص‌های متوسط افزایش وزن روزانه برای هر ماهی  $1/32$  و  $0/65$  گرم، نرخ رشد ویژه  $5/40$  و  $3/14$  درصد و ضریب تبدیل غذایی نیز  $0/73$  و  $1/21$  به ترتیب در سازگان‌های مدرن و مرسوم به دست آمد که در مقام مقایسه میان دو بوم‌سازگان پرورشی طراحی شده به طور معنی‌داری ( $P < 0/05$ ) متفاوت بود. نتایج این پژوهش نشان داد که با به‌کارگیری سامانه مدرن کنترلی می‌توان کارایی سازگان پرورشی را با تعریف دامنه مناسب برای شاخص‌های اصلی کیفیت آب افزایش داد و به بهینه‌سازی شاخص‌های رشد نیز رسید.

واژگان کلیدی: سازگان پرورشی متراکم، کنترل‌کننده فازی، ماهی پاکو قرمز، فاکتورهای رشد و بازماندگی.

## ۱. مقدمه

بیشتر مطالعات انجام شده در یک دهه اخیر، روش های مختلف تولید آبزیان و شرایط زیستی ماهیان را با هدف بهینه سازی بررسی کرده است. برخی از این تحقیقات به پیشینه کردن راندمان مصرف آب در سامانه های آبی پروری کمک کرده است. رسیدن به این هدف بزرگ با طراحی سامانه های گردش آب و بازیابی (احیا) مجدد آن میسر شد (Grommen *et al.*, 2006; Colt, 2006; Masters *et al.*, 2008). تحقیقات دیگر نیز روش های نوین مدیریتی با هدف کاهش دخالت انسانی در سامانه های تولید و پرورش ماهی از نوع نیمه متراکم و متراکم را بررسی کرده است (Costa *et al.*, 2006; Ambrosio *et al.*, 2008). اخیراً نیز تحقیقات متعددی توان تولید، سودمندی و بازده اقتصادی طرح های آبی پروری را ارزیابی کرده است (Dasgupta and Engle, 2006; Jha *et al.*, 2006; Miao *et al.*, 2009). بنابراین، به نظر می رسد کاهش دخالت انسانی و افزایش بهره وری سامانه های آبی پروری با هدف اصلی حفاظت از منابع آبی و توسعه سطح اتوماسیون این سامانه ها همراه با به کارگیری منطقی نهاده های اولیه امری ضروری باشد (Avnimelech, 2006). هرچند بالابودن هزینه های اجرای این سامانه ها در صنعت شیلات سبب شده تعداد بسیاری از تولیدکنندگان از به کارگیری آن در مزارع خویش سر باز زنند، به نظر می رسد کاهش هزینه های جاری و کاربری ساده آن مورد توجه قرار گیرد (Soto-Zarazua *et al.*, 2011).

از نظر علمی، تعیین سطح اتوماسیون و فناوری

در ارتباط با امکانات موجود، منابع در دسترس، میزان اعتبارات و نوع گونه پرورشی با توجه به اهداف تولید ارزیابی می شود. بنابراین، بالابردن سطح اتوماسیون نمی تواند به تنهایی تضمین کننده افزایش بهره وری در پروژه های مکانیزه باشد (Mansouri rad, 2013). در این زمینه سعی می شود از گونه های جدید آبزیان قابل تکثیر و پرورش، با توان تولید زیست توده بالا در واحد سطح، به صورت متراکم به خصوص در بوم سازگان مدار بسته استفاده شود. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف معرفی گونه جدید پرورشی به نام ماهی پاکو، از خانواده Characidae و زیر خانواده Serrasalminae (Serrated Salmon Family) به منزله گونه هدف از ماهیان همه چیزخوار آب های شیرین آمریکای جنوبی با ویژگی های سرعت رشد بالا، توقع غذایی کم و مقاومت زیاد نسبت به تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب انجام شد (Supliey, 2007). نتایج تحقیقات نشان از سرعت رشد بالای گونه ای از این ماهی (پاکو سیاه)<sup>۱</sup> در مقایسه با تیلپیا (Peralta and Teichert-Coddington, 1989) و برابر با گربه ماهی آفریقایی (Hogendoorn and Van Hees, 1983; Verreth and Den Bieman, 1987) دارد. به واسطه این ویژگی ها، گونه مذکور برای پرورش انتخاب شد و شاخص های رشد و تغذیه ای آن در دو سامانه پرورشی متفاوت، شامل یک سامانه خودکار و مجهز به کنترل کننده فازی<sup>۲</sup> و حسگرهای آنالیز کیفیت آب (Saadatfard *et al.*, 2015) و سامانه پرورشی دیگر از نوع مرسوم (ستتی) با حجم پرورش یکسان ارزیابی شد.

1. Black Pacu or Tambaqui (*Colossom macropomum*)
2. Fuzzy Logic Controller (FLC)

مدیریت تنظیم کیفیت آب از طریق کنترل‌کننده فازی انجام گرفت. برخی از این تجهیزات در شکل ۱ نشان داده شده است. برای اندازه‌گیری پیوسته فاکتورهای مهم فیزیکی و شیمیایی آب شامل اکسیژن محلول آب، دما، هدایت الکتریکی، غلظت یون هیدروژن (pH) و نیتروژن آمونیاکی کل در سامانه طراحی شده از حسگرهای کمپانی JUMO کشور آلمان استفاده شد و به منظور استقرار در عمق مناسب، روی یک شاسی متحرک و قابل تنظیم نصب شد (شکل ۱).



شکل ۱. بخشی از تجهیزات به کاررفته در ساخت سامانه پرورشی مداربسته

به منظور ثبت و کنترل مقادیر فوق، عملیات پایش وضعیت در این بوم‌سازگان به کمک رایانه انجام شد (شکل ۲). تجهیزات مورد نیاز این سامانه پایشی شامل یک رایانه شخصی و نرم‌افزار LabVIEW<sup>۱</sup> نصب‌شده روی آن به منظور تبادل اطلاعات دریافتی و صدور فرمان‌های لازم برای عملگرها و مدیریت سامانه کنترل فازی همراه با رابط گرافیکی ویژه طراحی شده برای سامانه پرورشی حاضر، مدار قدرت سامانه، مدار راه‌انداز محرکه‌ها از جمله کمپرسور هوا، موتورهای مرحله‌ای مربوط به دریچه‌های ورود و خروج آب، سیم‌ها و کابل‌های واسطه بود (شکل ۳). این سامانه با نام اختصاری

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱.۲. طراحی، ساخت و راه‌اندازی سازگان

#### پرورشی مرسوم (مخزن B)

به منظور ساخت سازگان مرسوم، مخزنی گرد از جنس فایبرگلاس با ظرفیت نگهداری ۱۲۰۰ لیتر آب انتخاب شد و به‌عنوان مخزن پرورش ماهی به میزان ۱۰۰۰ لیتر آب پر شد. همچنین، از یک فیلتر زیستی و فیزیکی شامل یک بشکه پلاستیکی ۷۰ لیتری محتوی اسفنج، و فیلتر زیستی از جنس پلی‌پروپیلن با میانگین سطح نشست باکتری به وسعت ۸۰ مترمربع (بیوفیلتر)<sup>۱</sup> استفاده شد (Yousef et al., 2003). انتقال آب از مخزن پرورشی به بیوفیلتر به کمک یک پمپ آکواریوم انجام گرفت و آب پس از عبور از بیوفیلتر مجدداً به درون مخزن برگشت داده شد. عمل هوادهی به کمک کمپرسور هواده مدل HAILEA ACO-318 (با توان ۳۵W، دبی ۷۰ L/min و فشار ۰/۰۲۵ Mpa) از طریق سه عدد سنگ هوای ۲۰ سانتی‌متری به صورت پیوسته انجام گرفت. از آنجا که گونه ماهی مورد نظر از انواع ماهیان گرمابی بود، دمای مناسب آب نیز به کمک سه عدد بخاری ۳۰۰ وات، تعبیه‌شده روی دیواره مخزن، بین ۲۸-۳۰ درجه سلسیوس تنظیم شد. کنترل بخاری‌ها و تنظیم میزان دمای آب به صورت دستی و با کمک ترموستات روی بخاری‌ها انجام شد.

### ۲.۲. طراحی، ساخت و راه‌اندازی سازگان

#### مدرن مجهز به کنترل‌کننده فازی (مخزن A)

در ساخت سامانه مدرن نیز همانند قبل عمل شد و از تجهیزات یکسان استفاده شد، با این تفاوت که

2. Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (LabVIEW)

1. Bacterial biofilter

می‌کنند. این قسمت بین ورودی و خروجی (دنیای واقعی مثلاً حسگرها) و موتور استنتاج فازی قرار دارد. فازی‌سازها انواع مختلفی همانند فازی‌ساز منفرد، فازی‌ساز گوسی، فازی‌ساز مثلثی و فازی‌ساز دوزنقه‌ای دارند (Passino, 1998).

**پایگاه دانش:** پایگاه دانش عمل استنتاج خروجی با توجه به عدد فازی ورودی را انجام می‌دهد و از دو بخش پایگاه قواعد و موتور استنتاج فازی تشکیل شده است.

الف) پایگاه قواعد: راهبرد کنترل کلامی عموماً در قالب مجموعه قواعد شرطی به فرم رابطه شرطی «اگر- آنگاه» فازی مطابق فرم زیر بیان می‌شود.

اگر مجموعه‌ای از شرایط برقرار باشد (فرض)، آنگاه مجموعه‌ای از نتایج قابل استنتاج است (نتیجه). این قواعد که معمولاً از تجربیات کاربر ماهر (کارشناس خبره) استخراج می‌شوند، به صورت یک پایگاه قواعد مبین راهبرد کنترلی فازی‌اند و یکی از بخش‌های مهم کنترل‌کننده فازی به شمار می‌روند.

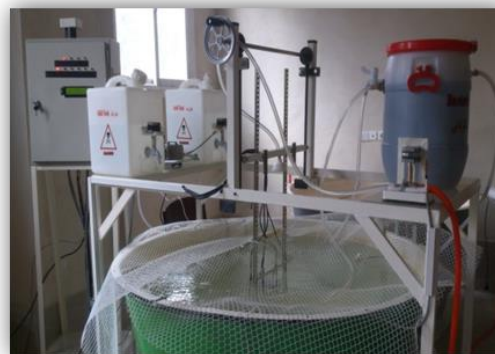
ب) موتور استنتاج فازی: موتور استنتاج که هسته اصلی کنترل‌کننده فازی است، با توجه به قواعد شرطی فازی در پایگاه قواعد و اطلاعات پایگاه داده‌ها و دریافت ورودی از بخش فازی‌ساز، عمل استنتاج فازی را انجام می‌دهد و خروجی نهایی را، که ورودی کنترلی به سیستم اصلی است، در قالب مجموعه‌ای فازی تعیین می‌کند.

**غیر فازی‌سازها:** خروجی پایگاه دانش که ورودی به سیستم اصلی یا فرایند تحت کنترل است در قالب مجموعه‌ای فازی ارائه می‌شود. این مجموعه فازی باید به عددی غیر فازی (صریح) به منظور استفاده سیستم اصلی تبدیل شود. این کار را غیر

«WQCS» به مفهوم «سامانه کنترل کیفیت آب»<sup>۱</sup> نام‌گذاری شد (شکل ۲).



شکل ۲. رابط گرافیکی سامانه طراحی شده



شکل ۳. تصویری واقعی از سیستم مداربسته طراحی شده

### ۳.۲. طراحی و تدوین سامانه کنترل فازی

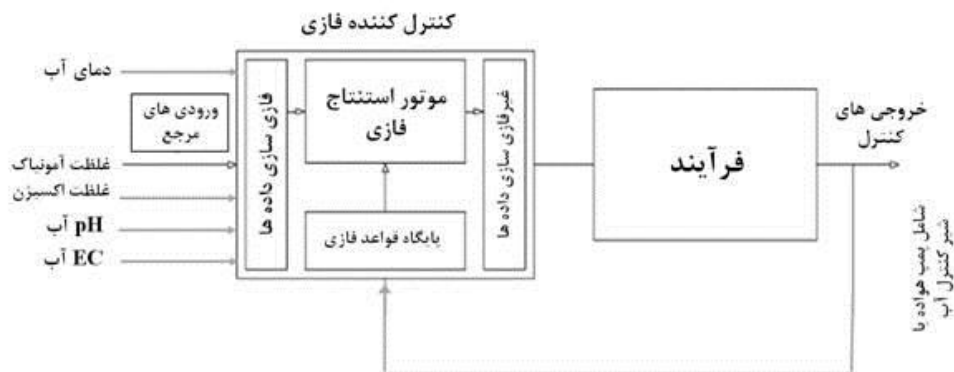
یکی از انواع سامانه‌های خبره که در سال‌های اخیر، به منظور پایش رایانه‌ای طرح‌های آبی‌پروری، در بسیاری از نقاط دنیا مدنظر قرار گرفته سامانه‌های کنترل فازی یا همان کنترل‌کننده‌های منطق فازی (FLC) است. هر سامانه کنترل فازی از سه قسمت اصلی فازی‌سازها، پایگاه دانش و غیر فازی‌سازها تشکیل می‌شود (شکل ۴).

**فازی‌سازها:** فازی‌سازها اطلاعات ورودی کنترل‌کننده فازی را در قالب مجموعه‌های فازی بیان

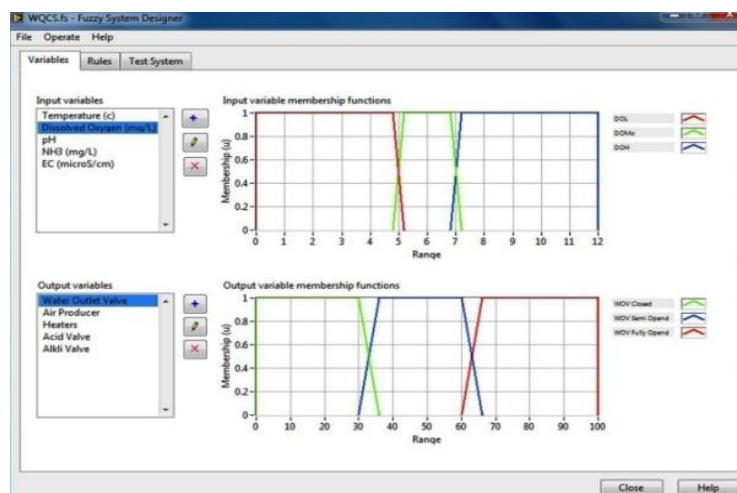
نرم افزار LabVIEW 2010 مجهز به جعبه ابزار طراحی فایل کنترل کننده منطق فازی است و به سادگی می توان با طراحی فایل مذکور آن را به صورت یک زیر برنامه در سامانه WQCS تعریف کرد. محیط کاری این جعبه ابزار از سه بخش تعریف متغیرها (اعم از ورودی و خروجی)، تعریف قوانین فازی، و شبیه ساز داده ها تشکیل شده است. متغیرهای ورودی طرح حاضر شامل دمای آب (°C)، اکسیژن محلول در آب (mg/lit)، غلظت یون هیدروژن (pH)، نیتروژن آمونیاکی کل (ppm)، هدایت الکتریکی (µs/cm)، و خروجی ها نیز متشکل از دریچه تخلیه آب، هیترها، شیر کنترل هوا و شیرهای کنترل اسید و باز بود (شکل ۵).

فازی سازها انجام می دهند. غیر فازی سازی به روش های مختلف مثل مرکز ثقل، میانگین مراکز، ماکزیمم، روش مرکز مجموعت، روش ارتفاع و روش اولین ماکزیمم انجام می گیرد (Passino, 1998).

به طور کلی، دو شیوه برای تعیین قوانین مدول فازی وجود دارد: اول، یک شخص خبره که از پروسه به خوبی آگاه است؛ دوم، شیوه های عددی که به کمک اندازه گیری ورودی ها و خروجی ها تعیین قوانین را امکان پذیر می کنند. گفتنی است در طراحی سامانه کنترلی مدنظر، برای ساده تر شدن عملیات از توابع عضویت دوزنقه ای به منزله فازی سازی، و در تدوین قوانین فازی و تکمیل پایگاه دانش نیز از نظر افراد خبره استفاده شده است.



شکل ۴. ساختار سامانه کنترل کننده فازی طرح حاضر



شکل ۵. صفحه اصلی محیط کار جعبه ابزار طراحی سامانه کنترل کننده فازی در نرم افزار LabVIEW 2010

نوبت نمونه‌گیری از آب در حال تخلیه از هر مخزن، بر مبنای روش APHA 5210B (5-Day BOD Test) تعیین و نتایج آن گزارش شد. شاخص‌های رشد نیز به شکل استاندارد و با استفاده از روابط زیر محاسبه و نتایج آن ارائه شد (Biswas, 1993).

$100 \times$  [تعداد روزهای دوره / (لگاریتم طبیعی وزن اولیه - لگاریتم طبیعی وزن نهایی)] = نرخ رشد ویژه  
تعداد روزهای دوره / (متوسط وزن اولیه - متوسط وزن نهایی) = متوسط وزن روزانه کسب‌شده برای هر ماهی  
 $100 \times$  [میانگین طول انتهای دوره به سانتی متر / میانگین وزن انتهای دوره به گرم] = شاخص وضعیت [زیست توده ابتدایی - زیست توده نهایی] / غذای مصرف شده = ضریب تبدیل غذایی

## ۶.۲. تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای رسم نمودارها و تجزیه و تحلیل داده‌ها، به ترتیب از نرم‌افزارهای Excel 2010 و SPSS (Version 16) استفاده شد. پس از آن که از نرمال بودن داده‌ها و یکسانی واریانس‌ها اطمینان حاصل شد، به منظور مقایسه میانگین داده‌ها و تعیین سطح معنی دار بودن آن‌ها از آزمون T استفاده شد.

## ۳. نتایج

### ۱.۳. شاخص‌های کیفیت آب

اکسیژن محلول در آب: میانگین مقادیر اکسیژن اندازه‌گیری شده طی دوره آزمایش نشان از اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۱ برای دو تیمار دارد (جدول ۱). مقایسه هفتگی این دو سیستم نشان می‌دهد به جز هفته سوم در سایر هفته‌ها اختلاف معنی داری در مقادیر متوسط ثبت شده برای اکسیژن وجود دارد.

مقدار آب تعویض شده: نظر به اهمیت موضوع مقدار آب تعویضی در تعیین اکسیژن محلول آب،

## ۴.۲. تهیه ماهی و راه‌اندازی بوم‌سازگان

### پرورشی

۱۱۰ قطعه بچه‌ماهی پاکو شکم قرمز از شرکت تحقیقاتی آبریان قاره هفتم خریداری شد و به گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران انتقال یافت. پس از ایجاد سازگاری، ۱۰۰ قطعه از آن‌ها در دو گروه ۵۰ تایی با میانگین وزنی  $3/74 \pm 15/05$  گرم و  $3/43 \pm 14/98$  گرم به ترتیب درون مخازن A و B قرار گرفتند. طی مدت پرورش، ماهیان روزانه به میزان سه درصد از وزنشان با غذای بیومار تغذیه شدند. در این مدت از مخزن B روزانه به میزان ۳۰۰ لیتر به طور ثابت آب تعویض شد. همچنین، با توجه به خودکاربودن سامانه طراحی شده در مخزن A، بر اساس عملکرد حسگرها و دامنه مناسب تنظیم شده برای برخی پیراسنجه‌های تنظیم کیفیت آب، به صورت روزانه و به طور خودکار آب مورد نیاز تعویض شد.

## ۵.۲. اندازه‌گیری شاخص‌های کیفیت آب،

### تغذیه، رشد و بازماندگی ماهی

به منظور بررسی تغییر شاخص‌های رشد هر یک از تیمارها، ماهیان درون مخازن به فاصله هر هفته تحت عملیات زیست‌سنجی قرار گرفتند. طول استاندارد، طول چنگالی و طول کل، بر حسب سانتی‌متر تا یک رقم اعشار، وزن ماهی بر حسب گرم تا دو رقم اعشار و مقدار غذای مصرفی نیز اندازه‌گیری و ثبت شد. همچنین، طی دوره فاکتورهای مهم فیزیکی و شیمیایی آب مانند اکسیژن محلول در آب، نیتروژن آمونیاکی کل، دمای آب، pH و EC نیز برای هر یک از دو مخزن به صورت روزانه اندازه‌گیری و ثبت شد. شاخص اکسیژن‌خواهی زیست‌شیمیایی<sup>۱</sup> نیز طی چند

1. Biochemical oxygen demand (BOD<sub>5</sub>)

در سطح ۵ درصد ( $P < 0.05$ ) وجود تفاوت در تیمارها را نشان می‌دهد (جدول ۲).

غلظت یون هیدروژن (pH): مقایسه میانگین مقادیر pH برای دو سازگان طی دوره تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. در حالی که مقایسه هفتگی تیمارها، به جز هفته سوم، تفاوتی معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) را نشان می‌دهد. بررسی روند تغییرات pH در دو سامانه نشان می‌دهد هم‌زمان با رشد ماهی و افزایش وزن آن، به تدریج از میزان pH کاسته شده است (جدول ۳).

می‌بایست متوسط آب تعویض شده در کل دوره پرورشی یک ماهه را برای دو سازگان طراحی شده به میزان  $246 \pm 137$  لیتر و  $300 \pm 10$  لیتر به ترتیب برای سامانه مدرن و سامانه مرسوم گزارش کرد (جدول ۶). این میانگین‌ها با احتمال ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دارند ( $P < 0.05$ ). باید یادآوری کرد در سامانه‌های مداربسته آب تعویضی بازچرخانی می‌شود. دمای آب: میانگین دمای اندازه‌گیری شده برای دو سازگان در کل دوره اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. این در حالی است که مقایسه هفته‌های دوم و سوم،

جدول ۱. غلظت اکسیژن محلول در آب (انحراف معیار  $\pm$  میانگین) برای هر یک از تیمارها طی دوره آزمایش، (mg/lit)

تیمار	زمان	مقدار p				مقدار t
		هفته اول	هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم	
سازگان مدرن (مخزن A)		a	a	a	a	**
		$6/0.4 \pm 0/40$	$6/0.7 \pm 0/18$	$5/3.9 \pm 0/34$	$5/1.6 \pm 0/20$	0/000
سازگان مرسوم (مخزن B)		b	b	a	b	4/09
		$5/2.4 \pm 0/53$	$5/5.4 \pm 0/17$	$5/2.0 \pm 0/18$	$4/3.4 \pm 0/43$	
مقدار p		0/004	0/000	0/059	0/002	
مقدار t		4/446	9/348	2/322	5/154	

\*\* اختلاف میان دو سازگان در کل دوره در سطح 0/01 معنی‌دار است. حروف مشابه در هر ستون به منزله نبود اختلاف معنی‌دار در سطح 0/05 است.

جدول ۲. میانگین تغییرات دمای آب (انحراف معیار  $\pm$  میانگین) برای هر یک از تیمارها طی دوره آزمایش، ( $^{\circ}\text{C}$ )

تیمار	زمان	مقدار p				مقدار t
		هفته اول	هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم	
سازگان مدرن (مخزن A)		a	a	a	a	(ns)
		$28/1.9 \pm 0/51$	$28/1.4 \pm 0/79$	$28/3.0 \pm 0/49$	$28/4.4 \pm 0/24$	0/496
سازگان مرسوم (مخزن B)		a	b	b	a	-0/686
		$28/2.6 \pm 0/32$	$28/1.7 \pm 0/32$	$29/3.9 \pm 1/06$	$28/4.6 \pm 0/50$	
مقدار p		0/793	0/032	0/031	0/930	
مقدار t		-0/275	2/778	-2/815	-0/091	

ns اختلاف میان دو سیستم در کل دوره در سطح 0/05 معنی‌دار نیست. حروف مشابه در هر ستون به منزله نبود اختلاف معنی‌دار در سطح 0/05 است.

جدول ۳. میانگین غلظت یون هیدروژن در آب (انحراف معیار  $\pm$  میانگین) برای هر یک از تیمارها طی دوره آزمایش، (pH)

تیمار	زمان	مقدار p				مقدار t
		هفته اول	هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم	
سازگان مدرن (مخزن A)		a	a	a	a	(ns)
		$8/00 \pm 0/14$	$7/99 \pm 0/07$	$7/77 \pm 0/14$	$7/69 \pm 0/04$	۰/۵۷۴
سازگان مرسوم (مخزن B)		b	b	a	b	۰/۵۶۵
		$8/09 \pm 0/12$	$7/90 \pm 0/04$	$7/80 \pm 0/06$	$7/56 \pm 0/11$	
	مقدار p	۰/۰۲۸	۰/۰۱۸	۰/۵۲۲	۰/۰۳۵	
	مقدار t	-۲/۸۸۸	۳/۲۴	-۰/۶۷۹	۲/۷۱۴	

ns اختلاف میان دو سیستم در کل دوره در سطح ۰/۰۵ معنی دار نیست.

حروف مشابه در هر ستون به منزله نبود اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵ است.

نیترژن آمونیاکی کل (TAN): نتایج مقایسه میانگین مقادیر نیترژن آمونیاکی کل به صورت هفتگی برای دو سیستم پرورشی تفاوت معنی داری را نشان نمی دهد (جدول ۵)، اما مقایسه میانگین مقادیر این پارامتر در پایان دوره میان دو سیستم اختلافی معنی دار با احتمال ۹۵٪ را نشان داد.

هدایت الکتریکی آب: نتایج مقایسه میانگینها به صورت هفتگی نشان می دهد هدایت الکتریکی آب فقط در شروع دوره در دو سازگان یکسان بود و در سایر هفتهها با هم تفاوت بسیار معنی داری داشت ( $P < 0/01$ ). همین امر باعث شد تفاوت میان دو سیستم در کل دوره نیز با احتمال ۹۹٪ معنی دار شود (جدول ۴).

جدول ۴. میانگین هدایت الکتریکی آب (انحراف معیار  $\pm$  میانگین) برای هر یک از تیمارها طی دوره آزمایش، (EC,  $\mu\text{S/cm}$ )

تیمار	زمان	مقدار p				مقدار t
		هفته اول	هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم	
سازگان مدرن (مخزن A)		a	a	a	a	**
		$741/57 \pm 75/95$	$753/14 \pm 12/55$	$720/86 \pm 10/46$	$676/14 \pm 33/39$	۰/۰۰۰
سازگان مرسوم (مخزن B)		a	b	b	b	-۵/۸۷۵
		$784/00 \pm 9/78$	$810/86 \pm 15/77$	$783/29 \pm 16/83$	$760/43 \pm 24/64$	
	مقدار p	۰/۱۷۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	
	مقدار t	-۱/۵۴۷	-۷/۲۶۴	-۶/۲۶۵	-۴/۳۳۰	

\*\* اختلاف میان دو سیستم در کل دوره در سطح ۰/۰۱ معنی دار است.

حروف مشابه در هر ستون به منزله نبود اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵ است.



جدول ۵. میانگین مقادیر نیتروژن آمونیاکی کل (انحراف معیار  $\pm$  میانگین) برای هر یک از تیمارها طی دوره آزمایش (ppm)

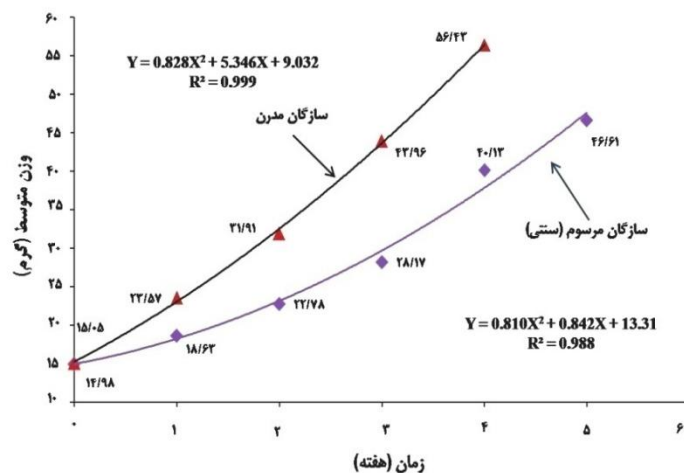
تیمار	زمان	مقدار p				مقدار t
		هفته اول	هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم	
سازگان مدرن (مخزن A)	a	a	a	a	a	*
	۰/۰۴±۰/۰۵	۰/۱۳±۰/۰۹	۰/۳۳±۰/۳۵	۰/۰۹±۰/۱۲	۰/۰۲۰	
سازگان مرسوم (مخزن B)	a	a	a	a	a	-۲/۴۷۹
	۰/۱۸±۰/۲۳	۰/۶۴±۱/۲۹	۲/۰۴±۳/۴۰	۱/۷۴±۲/۰۸		
مقدار p	۰/۱۸۵	۰/۳۳۸	۰/۲۴۲	۰/۰۸۵		
مقدار t	-۱/۴۹۸	-۱/۰۴۰	-۱/۲۹۹	-۲/۰۶۰		

\* اختلاف میان دو سامانه در کل دوره در سطح ۰/۰۵ معنی دار است.  
حروف مشابه در هر ستون به منزله نبود اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵ است.

### ۲.۳. شاخص‌های زیست‌سنجی

مقایسه میانگین وزن حاصل از عملیات زیست‌سنجی هفتگی طی دوره رشد یک‌ماهه اختلاف بسیار معنی‌داری را میان دو تیمار نشان می‌دهد ( $P < 0.01$ ). نتایج افزایش وزن ۳/۷۵ برابری را نسبت به وزن اولیه برای ماهیان در سازگان مدرن طی دوره نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۶ نشان داده شده است، در سازگان مرسوم برای رسیدن متوسط وزن ماهی به سه برابر وزن اولیه، میانگین وزن هفته پنجم نیز اندازه‌گیری شد و در نمودار لحاظ شد تا معادله منحنی برازش شده از ضریب دقت بالاتری برخوردار باشد.

شاخص اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی آب ( $BOD_5$ ): نتایج اندازه‌گیری این شاخص طی دوره آزمایش، مقدار متوسط ۰/۲±۰/۱۱ و ۱/۴±۰/۲۶ میلی‌گرم بر لیتر را به ترتیب برای سامانه‌های مدرن و مرسوم نشان می‌دهد. بنابراین، بر اساس استاندارد APHA 5210B آب تخلیه‌شده از سازگان مدرن را می‌توان آب سالم، و آب تعویض‌شده از سازگان مرسوم را باید مشکوک به آلودگی دانست و لازم است آزمایش‌های کامل‌تری روی آن انجام گیرد. مقادیر متوسط، ماکزیمم، مینیمم و جداول تجزیه واریانس میانگین پارامترهای کیفیت آب نیز برای پایان دوره آزمایش در جدول ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶. نمودار تغییرات هفتگی میانگین وزن ماهی برای دو سیستم طی دوره پرورش

جدول ۶. تجزیه واریانس مقادیر میانگین شاخص‌های کیفیت آب برای کل دوره، به روش آزمون t

پارامتر مورد مطالعه	تیمار (سازگان پرورشی)	متوسط کل دوره (انحراف معیار ± میانگین)	درجه آزادی	مقدار t	مقدار p
اکسیژن محلول آب (mg/L)	مخزن A	۵/۶۶±۰/۴۹	۵۴	۴/۰۸۹	۰/۰۰۰**
	مخزن B	۵/۰۸±۰/۵۷			
دمای آب (°C)	مخزن A	۲۸/۴۴±۰/۵۷	۵۴	-۰/۶۸۶	۰/۴۹۶ <sup>ns</sup>
	مخزن B	۲۸/۵۷±۰/۷۸			
pH	مخزن A	۷/۸۶±۰/۱۷	۵۴	۰/۵۶۵	۰/۵۷۴ <sup>ns</sup>
	مخزن B	۷/۸۳±۰/۲۱			
هدایت الکتریکی (μS/cm)	مخزن A	۷۲۳±۵۰	۳۹/۴۱۸	-۵/۸۷۵	۰/۰۰۰**
	مخزن B	۷۸۵±۲۵			
نیترژن آمونیاکی کل (ppm)	مخزن A	۰/۱۵±۰/۲۲	۲۷/۵۵۴	-۲/۴۷۹	۰/۰۲*
	مخزن B	۱/۱۵±۲/۱۳			
میزان آب تعویض شده (Lit/day)	مخزن A	۲۴۶±۱۳۷	۲۷	-۲/۰۹۳	۰/۰۴۶*
	مخزن B	۳۰۰±۰/۰			

\*\* وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪

\* وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪

ns نبود اختلاف معنی‌دار

گزارش کرده است. نتایج منعکس شده در این جدول نشان از وجود تفاوت معنی‌دار ( $P < 0/05$ ) برای صفت نرخ رشد ویژه در هر دو تیمار دارد. در حالی که برای سایر شاخص‌ها مانند ضریب تبدیل غذایی (FCR) و متوسط وزن روزانه کسب‌شده هر ماهی (DWG) تفاوت میان دو سازگان بسیار معنی‌دار است ( $P < 0/01$ ).

### شاخص وضعیت (ضریب چاقی): بررسی

میانگین ضریب چاقی تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪ را طی دوره نشان می‌دهد (جدول ۷).

### شاخص‌های رشد و بازماندگی: مقادیر مندرج در

جدول ۸، میانگین هفتگی و نتایج تجزیه واریانس متوسط شاخص‌های رشد و تغذیه ماهی مورد مطالعه را در پایان دوره آزمایش برای دو سازگان مدرن و مرسوم

جدول ۷. مقایسه مقادیر شاخص وضعیت (انحراف معیار ± میانگین) برای تیمارهای آزمایشی، ( $K_f$ )

تیمار	زمان	شروع کار	هفته اول	هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم
سازگان مدرن (مخزن A)	a	۱/۵۲±۰/۱۳	۱/۹۹±۰/۱۶	۲/۱۵±۰/۱۷	۲/۱۱±۰/۱۴	۲/۱۲±۰/۱۶
	b	۲/۰۰±۰/۱۲	۲/۰۷±۰/۱۵	۱/۹۷±۰/۱۵	۲/۲۹±۰/۱۴	۲/۲۲±۰/۱۹
سازگان مرسوم (مخزن B)	a	۰/۰۰۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴
	b	-۱۸/۵۲۰	-۲/۷۳۲	۵/۴۸۱	-۶/۳۳۷	-۲/۹۴۷

حروف مشابه در هر ستون به منزله نبود اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

جدول ۸. میانگین هفتگی و تجزیه واریانس شاخص‌های رشد و تغذیه ماهی برای کل دوره، در دو سازگان مدرن و مرسوم

کل دوره (انحراف معیار ± میانگین)	نتایج هفتگی شاخص‌های رشد و تغذیه ماهی				تیمار (سازگان پرورشی)	پارامتر مورد مطالعه
	هفته چهارم	هفته سوم	هفته دوم	هفته اول		
۵/۴۰±۰/۷۲	۴/۷۲	۵/۱۱	۵/۳۷	۶/۴۱	مخزن A	نرخ رشد ویژه (SGR) (%)
۳/۱۶±۰/۲۵	۳/۵۲	۳/۰۱	۲/۹۹	۳/۱۲	مخزن B	
۳ ۵/۲۱۰ ۰/۰۱۴*					درجه آزادی مقدار t مقدار p	
۱/۳۲±۰/۱۳	۱/۴۸	۱/۳۸	۱/۲۰	۱/۲۲	مخزن A	وزن روزانه اضافه شده برای هر ماهی (DWG) (g/day/fish)
۰/۶۵±۰/۱۷	۰/۹۰	۰/۶۳	۰/۵۶	۰/۵۲	مخزن B	
۳ ۱۸/۵۶۹ ۰/۰۰۰**					درجه آزادی مقدار t مقدار p	
۰/۷۳±۰/۰۴	۰/۷۸	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۶۸	مخزن A	ضریب تبدیل غذایی (FCR)
۱/۳۱±۰/۱۵	۱/۰۸	۱/۳۶	۱/۴۱	۱/۳۷	مخزن B	
۳ -۶/۲۱۳ ۰/۰۰۸**					درجه آزادی مقدار t مقدار p	

\*\* وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪

\* وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪

میلی گرم در لیتر برای سازگان مدرن و ۵/۰۸±۰/۵۷ (با مقادیر ماکزیمم و مینیمم به ترتیب معادل ۶/۰ و ۳/۶) میلی گرم در لیتر برای سازگان پرورشی مرسوم است. ملاحظه می‌شود سامانه مدرن در وضعیت مناسب‌تری است، اما متوسط اکسیژن در سامانه پرورشی مرسوم نزدیک حدود مرزی قرار گرفته، و چه‌بسا با مقدار مینیمم گزارش شده برای این سامانه در زمان‌های زیادی حتی پایین‌تر از حد مطلوب قرار گیرد. تحقیقات نشان می‌دهد این میزان برای رشد و بقای ماهی تیلپیا مناسب است (Buentello et al., 2000, Biswas et al., 2006, Xu et al., 2006)، اما به‌رغم گزارش ۱۰۰٪ بازماندگی پژوهش حاضر، موضوع بایستی در یک دوره کامل رشد ماهی پاکو ارزیابی شود.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

طی دوره رشد ماهی، مقدار اکسیژن در محیط پرورشی نباید کمتر از ۷۰٪ مقدار آن در حالت اشباع باشد (Buentello et al., 2000). با توجه به ارتفاع ۱۳۰۰ متری شهرستان کرج از سطح دریا (Anon. 2014) و دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد آب مخازن پرورشی، اشباع محیط از اکسیژن تقریباً در مرز ۶/۷ میلی‌گرم در لیتر رخ می‌دهد (Hach et al., 1997). ۷۰ درصد این مقدار ۴/۷ میلی‌گرم در لیتر است. نتیجه آن‌که متوسط میزان اکسیژن محلول در آب طی دوره نباید از این محدوده مرزی کمتر باشد. متوسط مقدار اکسیژن ثبت‌شده در این تحقیق ۵/۶۶±۰/۴۹ (با مقادیر ماکزیمم و مینیمم به ترتیب برابر ۶/۷ و ۴/۸)

۹/۶۷ ppm). این مقادیر بسیار بالاتر از حد استاندارد تعیین شده برای حساسیت سیستم منطبق با استاندارد ارائه شده پژوهش گران یعنی ۰/۲۴ ppm برای ماهیان سردابی بود. در حالی که برای ماهیانی همچون تیلاپیا و سایر ماهیان گرمابی در دامنه بهینه برای کنترل کننده فازی قرار داشت. با توجه به این که ماهیان تحمل مختلفی در برابر افزایش آمونیاک دارند، یا می توانند نسبت به افزایش تدریجی آن سازگار شوند (Rosenthal, 1993)، بنابراین، میزان نیتروژن آمونیاکی کل برای این ماهی در حد متوسط ppm ۱/۱۵ سمی و کشنده نبود. بر این اساس، مرگومیری طی دوره آزمایش مشاهده نشد. محققان دیگر نیز چنین نتایجی را به دست آورده اند (Ridha and Cruz, 2001; Shnel et al., 2002; Rafiee et al., 2006).

نرخ رشد ویژه، ضریب تبدیل غذایی و افزایش وزن روزانه طی دوره (جدول ۸)، نشان از برتری مطلق سامانه مدرن نسبت به نوع مرسوم دارد. نتایج فوق با اطلاعات حاصل از تحقیقات گذشته (مقایسه با ماهی تیلاپیا) همخوانی دارد (Peralta and Teichert-Coddington, 1989, Kohler et al., 1999, Soto-Zarazua et al., 2011).

در سامانه های متراکم تولید آبزیان، تصمیم سازی و مدیریت پروژه بر اساس تجربه علمی و استانداردهای عوامل مؤثر کیفیت آب بر آبی مورد پرورش و دانسته های گذشته انجام می گیرد. بنابراین، کاربرد سامانه های کنترلی مبتنی بر منطق فازی، که قواعد آن عموماً بر مبنای نظر خبرگان پایه گذاری شده و رهیافتی نوین از دانسته های گذشته است، می تواند به توسعه تولید آبزیان کمک کند. تحقیق

متوسط دمای ثبت شده برای هر یک از سامانه های مدرن و مرسوم به ترتیب ۲۸/۴۴ و ۲۸/۴۶ درجه سانتی گراد بود. این مقادیر فاقد هر گونه اختلاف معنی دار طی دوره پرورشی است (جدول ۶) بنابراین، در هر یک از دو سیستم فعالیت سوخت و ساز بدن تحت تأثیر تغییرات شدید دما قرار نگرفته است (Buentello et al., 2000).

غلظت یون هیدروژن (pH) و دما عواملی اند که به صورت مستقیم بر میزان سمیت آمونیاک تأثیرگذارند (Gurierrez-Estrada et al., 2004). در این تحقیق، میزان متوسط pH طی دوره برای هر یک از سامانه های مدرن و مرسوم به ترتیب برابر ۷/۸۶ و ۷/۸۳ ثبت شد (جدول ۶) این مقدار برای هر دو سیستم در محدوده مجاز برای پرورش آبزیان قرار داشت (El-Sherif and El-Feky, 2009) و در دامنه مناسب برای پرورش ماهی تیلاپیا، که پژوهش گران درباره این ماهی گزارش کرده اند، قرار دارد (Soto-Zarazua et al., 2011).

ترکیبات نیتروژن دار از جمله عوامل بحران زا در سامانه های آبی پروری اند. مقدار آمونیاک سمی در این ترکیبات می تواند حیات آبی را به خطر اندازد. با استفاده از فیلترهای زیستی و هوادهی مداوم می توان تا حدود زیادی اثر آن را کاهش داد (Michaud et al., 2006). برای سامانه مدرن طراحی شده طی دوره آزمایش به واسطه تعویض آب، نیتروژن آمونیاکی کل در حد مجاز ppm ۰/۲۲ ± ۰/۱۵ تثبیت شد (مینیمم ppm ۰/۱۱ و ماکزیمم معادل ppm ۱/۱۳). در حالی که طی این دوره متوسط مقدار آن برای سامانه مرسوم ppm ۲/۱۳ ± ۱/۱۵ ثبت شد (مینیمم ppm ۰/۱۴ و ماکزیمم معادل

### تشکر و قدردانی

وظیفه خود می‌دانیم از خدمات صادقانه و کمک‌های بی‌دریغ کارکنان محترم گروه شیلات و آبزیان دانشکده منابع طبیعی، همچنین کارکنان شریف گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران قدردانی کنیم و کمال امتنان و سپاسگزاری را به عمل آوریم.

حاضر توانسته است به بومی‌سازی فناوری ساخت سامانه‌های هوشمند کنترلی در پرورش آبزیان، به‌خصوص در پرورش متراکم ماهی پاکو، کمک کند و ضمن طراحی سامانه کنترل کیفیت آب (WQCS)، در جهت کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از پرورش ماهی گام بردارد.

## References

- [1]. Ambrosio, P.P., Costa, C., Sanchez, P., Flos, R. 2008. Stocking density and its influence on shape of Senegalese sole adults. *Aquacult. Int.* 16:333-343.
- [2]. Anonymous. 2014. Available at <http://fa.wikipedia.org/wiki/%DA%A9%D8%B1%D8%AC>.
- [3]. APHA, 2005. Standard Methods for the Examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington D.C.
- [4]. Avnimelech, Y. 2006. Bio-filters: the need for an new comprehensive approach. *Aquacult. Eng.* 34(3):172-178.
- [5]. Biswas, S.P., 1993. Manuel of methods in fish biology, fish biology & Ecology laboratory, Dibrugarh University, Dibrugarh. pp157.
- [6]. Biswas, J.K., Sarkar, D., Chakraborty, P., Bhakta, J.N., Jana, B.B. 2006. Density dependent ambient ammonium as the key factor for optimization of stocking density of common carp in small holding tanks. *Aquacult. Eng.* 261:952-959.
- [7]. Buentello, J.A., Gatlin, D.M. III, Neill, W.H. 2000. Effects of water temperature and dissolve oxygen on daily feed consumption, feed utilization and growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture*. 182:339-352.
- [8]. Colt, J. 2006. Water quality requirements for reuse systems. *Aquacultural Engineering*. 34:143-156.
- [9]. Costa, C., Loy, A., Cataudella, S., Davis, D., Scardi, M. 2006. Extracting fish size using dual underwater cameras. *Aquacult. Eng.* 35:218-227.
- [10]. Dasgupta, S. Engle, C. 2006. Impact of low catfish prices on economically efficient feeding and optimal stocking densities of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) in Multi-Batch Production in the U. S. South. *J. Appl. Aquaculture* 19(2):67-82.
- [11]. El-Sherif, M.S., El-Feky, A.M.I. 2009b. Performance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings I. Effect of pH. *Int J Agr Biol.* 11(3):297-300.
- [12]. Hach, C.C., Klein, R.L., Gibbs, C.R. 1997. Introduction to BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND – Technical Information Series – Booklet No. 7. Hach Company. USA.
- [13]. Grommen, R., Verhaege, M., Verstraete, W. 2006. Removal of nitrate in aquaria by means of electrochemically generated hydrogen gas as electron donor for biological denitrification. *Aquacultural Engineering* 34:33-39.
- [14]. Gurierrez-Estrada, J.C., Pedro-Sanz, E., Lopez-Luque, R., Pulido-Calvo, I. (2004). Comparison between traditional methods and artificial neural networks for ammonia concentration forecasting in an eel (*Anguilla anguilla L.*) intensive rearing system. *Aquacult. Eng.* 31:183-203.
- [15]. Hogendoorn, H. and Van Hees, J.p. 1983. Growth and production of the African catfish (*Clarias lazera*). Effects of body weight, temperature and feeding level in intensive tank culture. *Aquaculture* 34:265-285.
- [16]. Jha, P. Barat, S. Nayak, C.R. 2006. A comparison of growth, survival rate and number of marketable koi carp produced under different management regimes in earthen ponds and concrete tanks. *Aquacult. Int.* 14:615-626.
- [17]. Kohler, C.C., Kohler, S.T., Dejesus, M.J., Bocanegra, F.A., Isern, E.R., Talavera, G.L. 1999. DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE POND AQUACULTURE PRACTICES FOR *PIRACETUS BRACHYPOMUS* IN THE PERUVIAN AMAZON. Eighth Work Plan, Peru Research 1 (PR1). Final Report. PD/A CRSP SIXTEENTH ANNUAL TECHNICAL REPORT.

- [18]. Mansouri rad, D. 2013. Tractors and farm machinery. Volume 1. Buali sina university publications. 684 p.
- [19]. Masters, A.L., Vinci, B.J., Brazil, B., Creaser, D.A., Summerfelt, S.T. 2008. Performance characterization of influent and effluent treatment systems: A case study at Craig Brook National Fish Hatchery. *Aquacultural Engineering*. 38:66-76.
- [20]. Miao, S. Jen, C.C., Huang, C.T., Hu, S.H. 2009. Ecological and economic analysis for cobia (*Rachycentron canadum*) commercial cage culture in Taiwan. *Aquacult. Int.* 17:125-141.
- [21]. Michaud, L., Blancheton, J.P., Bruni, V., Piedrahita, R. 2006. Effect of particulate organic carbon on heterotrophic bacterial populations and nitrification efficiency in biological filters. *Aquacult Eng.* 34:224-233.
- [22]. Passino, K.M., Yurkovich, S. 1998. Fuzzy control. Addison-Wesley Longman, Inc., 502 p.
- [23]. Peralta, M. Teichert-Coddington, D.R. 1989. Comparative production of *Colossom macropomum* and *Tilapia nilotica* in Panama. *J. World Aquacult. Soc.* 20:236-239.
- [24]. Rafiee G. R., Saad, C. R, and Kamarudin, M. S. 2006. Estimation of ammonia excretion rate during a period of red tilapia culture, considering biomass increase in a water recirculating system, *Iranian Journal of Fisheries Sciences*.
- [25].
- [26]. Ridha, M.T., Cruz, E.M. 2001. Effect of biofilter media on water quality and biological performance of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) reared in a simple recirculation system. *Aquacult Eng.* 24:157-166.
- [27]. Rosenthal, H. 1993. The history of recycling technology: A lesson learned from past experience? Department of fishery biology, Institute of Marin Science. University of kiel, Germany.
- [28]. Saadatfard, M., Ahmadi, H., Mohtasabi, S.S., Rafiee, Gh. 2015. Design, implementation and evaluation of a fuzzy inference system for automated control of water quality in a nominated indoor fish culture system. Unpublished PhD thesis.
- [29]. Shnel, N., Barak, Y., Ezer, T., Dafni, Z., van Rijn, J. 2002. Design and performance of a zero-discharge tilapia recirculating system. *Aquacult Eng.* 26:191-203.
- [30]. Soto-Zarazua, G.M., Peniche-Vera, R., Rico-Garcia, E., Toledano-Ayala, M., Ocampo-Velazquez, R., Herrera-Ruiz, G. 2011. An automated recirculation aquaculture system based on fuzzy logic control for aquaculture production of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquacult. Int.* 19:797-808.
- [31]. Supliey, F.M. 2007. Freshwater fish seed resources in Brazil. Assessment of freshwater fish seed resources for sustainable aquaculture, In: Bondad Reantaso, M.G (Ed), 2007, Rome, Fisheries and aquaculture department. Pp 129-143.
- [32]. Verreth, J. and Den Bieman, H. 1987. Quantitive feed requirements of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell) larvae fed with decapsulated cysts of Artemia. I. The effect of temperate and feeding level. *Aquaculture*. 65:251-267.
- [33]. Xu, J., Liu, Y., Cui, S., Miao, X. 2006. Behavioral responses of tilapia (*Oreochromis niloticus*) to acute fluctuations in dissolved oxygen levels as monitored by computer vision. *Aquacult. Eng.* 35:207-217.
- [34]. Yousef, S., Al-Hafedh, A.A., Alam, A.M. 2003. Performance of plastic biofilter media with different configuration in a water recirculation system for the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquacult. Eng.* 29:139-154.