



Research Paper

Effect of Inflow on the Hydrodynamic Behavior of Ponds in Recirculating Aquaculture Systems

Atefeh Moghbeli¹, Mohammad Bagher Rahnama², Nasrin Sayari³, Mahdi Naghizadeh⁴ and Mohammad Zounemat-Kermani^{2*}

¹Ph.D. Scholar, Department of Water Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

²Assoc. Professor, Department of Water Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

³Assist. Professor, Department of Water Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

⁴Assist. Professor, Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Article information

Received: March 12, 2023

Revised: May 21, 2023

Accepted: May 23, 2023

Keywords:

Hydraulic Efficiency
Recirculating Aquaculture Systems
Residence Time Distribution
RTD Curve
Stagnant Region

*Corresponding author:

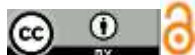
zounemat@uk.ac.ir



Abstract

Constant and proper mixing of water in fish farms is essential for creating maximum uniformity, minimizing stagnant areas, properly distributing oxygen, and removing solid waste from the bottom of the ponds. The effect of the inflow installation mode and inflow momentum force in octagonal ponds was examined on the hydrodynamic flow mixing by laboratory modeling. For this purpose, the inflow was analyzed in three modes with angles of 90, 60, and 30° and the inflowing force at four levels with values of 0.004, 0.009, 0.013, and 0.018 N by the residence time distribution curve and hydraulic efficiency of octagonal ponds. The laboratory modeling results revealed that the inflow at the 90° mode for all four-momentum forces does not form an eddy current and short circuit in the pond's flow, as the result of which the hydraulic efficiency of the pond falls in the weak range. To improve the hydraulic efficiency of the pond, the inflow was installed at 60 and 30° modes; the results demonstrated 2.68 and 3.26 times higher efficiency than the 90° mode. Moreover, for all three inflow installation modes, the hydraulic efficiency had an inverse relationship with the inflow momentum force.

How to cite this paper: Moghbeli, A., Rahnama, M. B., Sayari, N., Naghizadeh, M. and Zounemat-Kermani, M. (2024). Numerical investigation of the performance of blade groynes on scouring and its effect on hydraulic parameters of sediment and flow. *Environ. Water Eng.*, 10(1), 137-150. <https://doi.org/10.22034/ewe.2023.389363.1853> (In Persian)



© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Various methods are used for breeding aquatic animals, and recirculating aquaculture systems (RAS) are expanding since they reduce the need for healthy water resources. Usually, circular and octagonal fish breeding ponds are used in these systems due to suitable hydrodynamic mixing. Researchers have stated that the flow hydrodynamic behavior in octagonal and circular ponds depends on the geometric and hydraulic design of the pond, which includes the inlet and outlet systems. Hydraulic efficiency is an indicator used for evaluating the geometric design and hydraulic performance of the ponds. The residence time distribution (RTD) category was used to calculate hydraulic efficiency. The RTD curve expresses the flow hydrodynamic and indicates the formation or non-formation of the stagnant regions in the pond. Considering that each plug of the flow injected into the breeding pond has its own hydraulic retention time, which depends on the momentum of the inlet and outlet flow and the internal design of the pond (including the installation location and design of inlet and outlet systems), the combined effect of the direct inlet installation mode with the inlet flow momentum force in the octagonal fish breeding pond was investigated in the present study. The findings of this research are presented in the form of hydraulic efficiency, curve RTD, and the percentage of stagnant regions.

Material and Methods

The present research was based on a Froude number similarity model from an octagonal fish breeding pond with a 1:10 scale. The built model has dimensions of 100×100×50 cm and is filled with water to a depth of 20 cm. In addition, the changing time of the pond water volume was taken into account on an hourly basis. Therefore, the flow discharge of the inlet to the pond was adjusted to 3.4 l/min. This research examines two important inlet flow characteristics: the flow inlet installation mode and the inlet flow momentum force. For this purpose, the inlet flow installation mode and the inlet flow momentum force are tested by changing the inlet flow angle in the direction of the z-axis at three levels as 90°, 60°, and 30°, and the inlet flow velocity at four levels as 0.004 N, 0.009 N, 0.013 N, and 0.018 N, respectively. The design of the present study's experiments is shown in Table 1.

Table 1 Laboratory settings

| Installation angle of flow inlet (α) | Inlet flow momentum forces (Fn) (N) | The velocity of the inlet flow (cm/s) | Test |
|---|-------------------------------------|---------------------------------------|------|
| 90° | 0.004 | 10 | Ta1 |
| | 0.009 | 20 | Ta2 |
| | 0.013 | 30 | Ta3 |
| | 0.018 | 40 | Ta4 |
| 60° | 0.004 | 10 | Tb1 |
| | 0.009 | 20 | Tb2 |
| | 0.013 | 30 | Tb3 |
| | 0.018 | 40 | Tb4 |
| 30° | 0.004 | 10 | Tc1 |
| | 0.009 | 20 | Tc2 |
| | 0.013 | 30 | Tc3 |
| | 0.018 | 40 | Tc4 |

Moreover, tracer sodium chloride is used for the RTD curve and the hydraulic efficiency related to each test. The tracer contains 3 L of sodium chloride solution with a concentration of 50 g/l. To make the inlet flow and flow movement visible, 5 g of potassium permanganate is added to the tracer solution. After setting the inlet flow installation angle, the inlet flow momentum force for each test, and the flow discharge stability of the inlet flow, the tracer solution is injected into the inlet flow with a sudden pulse test and the test begins. The tracer concentration in the outlet flow is measured every 60 s for 60 min using the TDS meter device.

Results

The TDS-time diagram shows the combined examination of the inlet current installation mode and the inlet flow momentum force (Fig. 1). According to laboratory observations and RTD curves in the TDS-time diagram, installing the flow inlet in 90° leads to the non-formation of the eddy current and creates a short circuit between the inlet and outlet flows. The occurrence of short-circuiting in ponds causes the formation of stagnant regions. If there is a partial flow between the stagnant regions and the main flow, the tracer trapped in the stagnant regions will cause a tail on the right arm of the RTD curve (Fig. 1a). In the 60° and 30° degrees of inlet flow installation, the RTD curve peak shifts to the right side of the graph, indicating an increase in the average hydraulic retention time. In these cases, the inlet flow follows a circular

path in the pond, moving from all parts of the pond volume.

Changes in hydraulic efficiency as a result of modifying the studied parameters are presented in Fig. 2. Installing the flow inlet in 90° mode for every F_n results in weak hydraulic efficiency. Thus, changing the inlet flow installation mode from 90° to 60° and 30° increases hydraulic efficiency by 2.68 and 3.26 times, respectively. The hydraulic efficiency in mode 30° and all four inlet flow momentum forces is in the high range, and the pond exhibits desirable hydrodynamic behavior. In addition, the inlet flow in mode 60° for F_{n1} and F_{n2} shows a hydraulic efficiency of less than 75%. Only by reducing the momentum force to the same level as 0.013 N and 0.018 N and in the same operating conditions, the hydraulic efficiency becomes more than 75%. Therefore, under the same operating conditions and inlet flow discharge, the hydraulic efficiency of the pond increases only by reducing the momentum force.

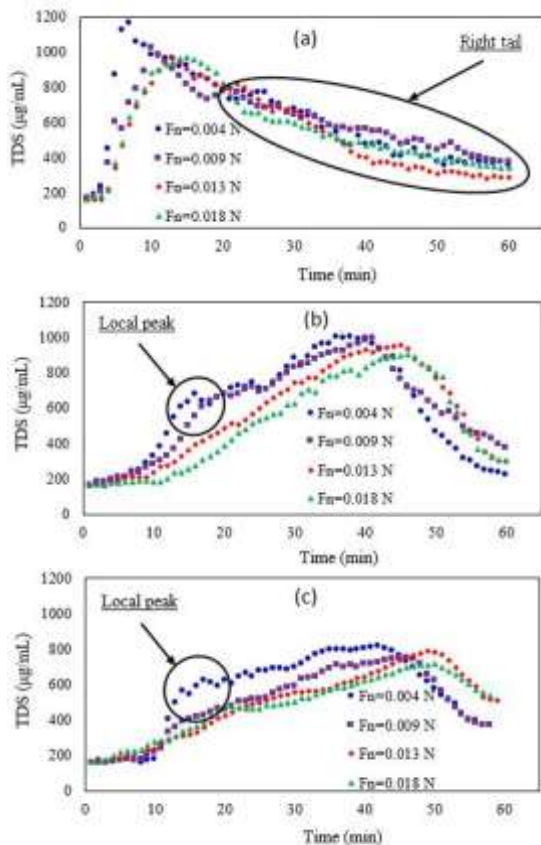


Fig. 1 The TDS-time diagram is the result of the combined investigation of the inlet flow mode and the momentum force of the inlet flow at different angles: a) 90° , b) 60° , and c) 30°

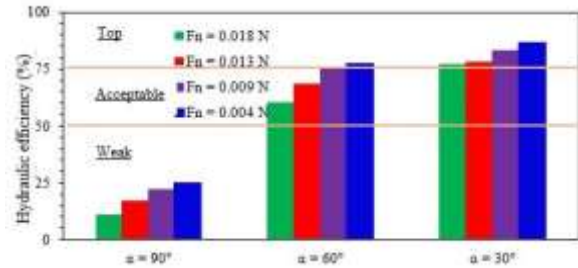


Fig. 2 Changes in the hydraulic efficiency due to modifying the inlet flow mode and the momentum force of the inlet flow

Conclusions

This study investigated the influence of the parameters of the flow inlet installation angle in three modes and the inlet flow force at four levels on the hydrodynamic behavior of a RAS octagonal pond. The most important results of this laboratory study are summarized below:

1. Setting the inlet flow angle to 90° at the lowest momentum force of the inlet flow results in more than 75% stagnant regions, with an increase in the inlet flow momentum force causing an increase in the stagnant regions.
2. Reducing the inlet flow momentum force improves the hydrodynamic performance of the pond for all three inlet flow installation angles.
3. Installing the inlet flow in the 90° mode for all four inlet flow momentum forces causes a short circuit flow in the pond.

Data Availability

The data collected during the research experiments are presented in the form of a TDS-time graph. The data can be sent via email by the corresponding author upon request.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط‌زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

اثر جریان ورودی بر رفتار هیدرودینامیکی حوضچه‌های مزارع مداربسته پرورش ماهی

عاطفه مقبلی^۱، محمدباقر رهنما^۲، نسرين سياري^۳، مهدی نقی‌زاده^۴ و محمد ذونعمت کرمانی^{*۲}

^۱ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
^۲ دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
^۳ استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
^۴ استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۱۲/۲۱]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۲/۰۲/۳۱]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۰۳/۰۲]

واژه‌های کلیدی:

آبزی‌پروری چرخشی
 توزیع زمان ماند
 حجم مرده
 راندمان هیدرولیکی
 منحنی RTD

* نویسنده مسئول:

zounemat@uk.ac.ir



اختلاط دائمی و مناسب آب در حوضچه‌های پرورش ماهی با هدف ایجاد بالاترین میزان یکنواختی، به حداقل رساندن مناطق راکد، توزیع مناسب اکسیژن و حذف پسماندهای جامد در کف حوضچه‌ها امری ضروری است. در این پژوهش اثر حالت نصب ورودی جریان و نیروی مومنتم جریان ورودی در حوضچه‌های هشت‌ضلعی بر اختلاط هیدرودینامیکی جریان به-وسیله مدل‌سازی آزمایشگاهی بررسی شد. بدین منظور حالت نصب ورودی جریان در سه سطح با زاویه‌های ۹۰، ۶۰ و ۳۰° و نیروی مومنتم جریان ورودی در چهار سطح با مقادیر ۰/۰۰۹، ۰/۰۱۳، ۰/۰۱۸ N و ۰/۰۴، به‌وسیله منحنی توزیع زمان ماند و راندمان هیدرولیکی حوضچه‌های هشت‌ضلعی تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که حالت نصب ورودی جریان با زاویه ۹۰° به ازای هر چهار نیروی مومنتم موجب عدم تشکیل جریان گردابی و وقوع اتصال کوتاه در جریان حوضچه می‌شود که به‌موجب آن راندمان هیدرولیکی حوضچه در محدوده ضعیف قرار می‌گیرد. به‌منظور ارتقا راندمان هیدرولیکی حوضچه، ورودی جریان در زاویه‌های ۶۰ و ۳۰° نصب شد که نتایج بیانگر افزایش عملکرد راندمان به میزان ۲/۶۸ و ۳/۲۶ برابر زاویه نصب ۹۰° است. همچنین مشاهده شد برای هر سه حالت نصب ورودی جریان، راندمان هیدرولیکی رابطه‌ای عکس با نیروی مومنتم جریان ورودی دارد.

نحوه استناد به این مقاله:

مقبلی، عاطفه، رهنما، محمدباقر، سیاری، نسرين، نقی‌زاده، مهدی & ذونعمت کرمانی، محمد. (۱۴۰۳). اثر جریان ورودی بر رفتار هیدرودینامیکی حوضچه‌های مزارع مداربسته پرورش ماهی. محیط‌زیست و مهندسی آب. 10(1) 137-150

<https://doi.org/10.22034/ewe.2023.389363.1853>



۱- مقدمه

هیدرودینامیکی جریان در محیط آبی است (Zounemat-Kermani 2016).

پژوهشگران متعددی با استفاده از منحنی توزیع زمان ماند^۴ اختلاط هیدرودینامیکی جریان در حوضچه‌های پرورش ماهی را بررسی کردند. (Watten et al. (2000) ویژگی‌های هیدرولیکی حوضچه‌های مستطیلی چندگردابی را بر اساس منحنی RTD بررسی کردند که حجم فعال این نوع حوضچه ۷۷٪/۹-۱۰۰٪ از کل حجم آن برآورد شد. Oca and Masalo (2013) تأثیر ویژگی‌های هندسی حوضچه و ویژگی‌های ورودی و خروجی جریان بر توزیع سرعت جریان در حوضچه‌های دایره‌ای پرورش ماهی بررسی کردند. (Labatut et al. (2015) به کمک شبیه‌سازی زمان اقامت ذرات در حوضچه‌های مستطیلی چندگردابی مکانیسم حذف پسماندهای جامد آبی‌پروری را بررسی کردند. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها نشان داد که ۱۰۰٪ ذرات بزرگتر از $500 \mu\text{m}$ کمتر از ۱۵ دقیقه، ۱۰۰٪ ذرات $100 \mu\text{m}$ در یک HRT° (۳۶ دقیقه) و برای ذرات $10 \mu\text{m}$ فقط ۵۰٪ آن‌ها پس از ۱۷ HRT حذف شدند. (Zounemat-Kermani (2016) راندمان هیدرولیکی حوضچه‌های مستطیلی را به وسیله منحنی توزیع زمان ماند تعیین کرد. Naserian et al. (2018) به منظور بررسی تأثیر ترکیب سه نوع ورودی مختلف در حوضچه‌های دایره‌ای و هشت‌ضلعی از معیار زمان ماند هیدرولیکی استفاده کردند. در حوضچه هشت‌ضلعی با دو ورودی عمودی پس از یک ساعت، مقدار شوری از ۲۰ به $20 \pm 4/0 \text{ gr/l}$ و با یک ورودی عمودی و افقی مقدار شوری از ۲۰ به $20 \pm 0/05 \text{ gr/l}$ رسید. (Papáček et al. (2020) تأثیر مکان تزریق خوراک ماهی روی زمان اقامت ذرات خوراک در یک حوضچه آبی‌پروری استوانه‌ای شکل مطالعه کردند. کمترین زمان ماند به ازای موقعیت تزریق خوراک در مرکز سطح آب حوضچه و بزرگترین زمان ماند مربوط به تزریق در نزدیکی لبه حوضچه اندازه‌گیری شد. طبق نتایج حاصل از پژوهش (Zhang et al. (2022) منحنی RTD به وضوح رفتار هیدرودینامیکی حوضچه‌های آبی‌پروری را نشان داد. (Diken and Koknaroglu (2022) کاهش راندمان مصرف انرژی و عدم توزیع یکنواخت اکسیژن محلول

آبی‌پروری، صنعتی در حال رشد سریع است که این صنعت سعی در تأمین تقاضای روزافزون جهانی برای پروتئین آبیان را دارد. روش‌های مختلفی برای پرورش آبیان استفاده می‌شود که سامانه‌های مدار بسته یا آبی‌پروری چرخشی^۱ برخلاف سامانه‌های پرورش تک-گذر^۲ یک محیط کنترل شده برای آبی ایجاد می‌کنند و به دلیل کاهش نیاز به منابع سالم آبی در حال گسترش است (Gorle et al. 2020). مصرف آب آن‌ها ۲/۵ تا ۶/۵ برابر کمتر از میزان استاندارد پرورش ماهی است که اغلب در سامانه‌های پرورش تک-گذر انجام می‌شود (Labatut et al. 2007). همچنین اختلاط جریان آب حوضچه‌های هشت‌ضلعی که اغلب در سامانه‌های مدار بسته استفاده می‌گردد، سبب ایجاد محیطی یکنواخت برای حیات آبی می‌شود (Diken and Koknaroglu 2022).

از یک سو اطلاعات کلی در مورد هیدرودینامیک حوضچه‌های آبی‌پروری در سامانه‌های مدار بسته برای کشف فرصت‌های بهبود طراحی هندسی و هیدرولیکی کافی نیست (Gorle et al. 2019). از سوی دیگر هیدرودینامیک صحیح در حوضچه‌ها برای دستیابی به سرعت چرخش مطلوب (Gorle et al. 2018)، اختلاط بهینه برای کیفیت بهتر آب و الگوی جریان یکنواخت به منظور جلوگیری از تشکیل مناطق راکد و ته‌نشینی پسماندهای جامد (Davidson and Summerfelt 2004)، بسیار مهم است. بنابراین، پژوهشگران روش‌های گوناگونی برای دستیابی به بالاترین میزان اختلاط هیدرودینامیکی در حوضچه‌های آبی‌پروری ارائه کردند. اغلب آن‌ها به طراحی هندسه حوضچه پرداختند.

در طراحی حوضچه‌ها لازم است، شرایط مناسبی برای حذف سریع پسماندهای جامد، تعویض آب و توزیع یکنواخت ماهی در کل حجم حوضچه فراهم نمود (Stockton et al. 2016, Summerfelt and Penne 2005). شاخص راندمان هیدرولیکی^۳ جریان از مهمترین عواملی است که می‌تواند در ارزیابی عملکرد حوضچه‌ها نقش بسزایی داشته باشد (Yu et al. 2021). برای محاسبه راندمان هیدرولیکی از مقوله زمان ماند هیدرولیکی که بیانگر مدت‌زمان اقامت جریان درون حوضچه است استفاده می‌شود و وابسته به رفتار

¹Recirculating Aquaculture Systems (RAS)

²Single-Pass Aquaculture Systems

³Hydraulic efficiency

⁴Residence Time Distribution (RTD)

⁵Hydraulic Retention Time

شده با پتاسیم پرمنگنات در حوضچه مشاهده شود. کف حوضچه با پلکسی گلاس و شیب ۱۰٪ از دیواره‌های حوضچه به سمت مرکز ساخته شد. گوشه‌های حوضچه مربعی به وسیله یک صفحه پلکسی گلاس پخ زده شد و حوضچه به شکل هشت‌ضلعی تبدیل شد. همچنین اسکلت مدل از نبشی ۴ cm آهنی ساخته شد.

سیستم تأمین آب که طرح شماتیک آن در شکل (۱) نشان داده شده شامل یک مخزن تأمین آب با حجم ذخیره ۱۰۰۰ و چهار پمپ می‌باشد. مشابه مطالعه‌های Watten et al. (2000) و Lekang et al. (2013) و Labatute et al. (2015)، زمان پر شدن و تعویض آب حوضچه یک مرتبه در ساعت در نظر گرفته شد. برای تمامی آزمایش‌ها دبی جریان ورودی به حوضچه ۳/۴ l/min تنظیم شد که به روش حجمی برای هر آزمایش اندازه‌گیری شد. در پژوهش حاضر از سدیم کلرید به‌عنوان ردیاب استفاده شد. ردیاب شامل ۱ محلول سدیم کلرید با غلظت ۵۰ g/l بود که برای مشاهده حرکت جریان در حوضچه، ۵ g پتاسیم پرمنگنات به محلول ردیاب اضافه شد (Zhou et al. 2021).

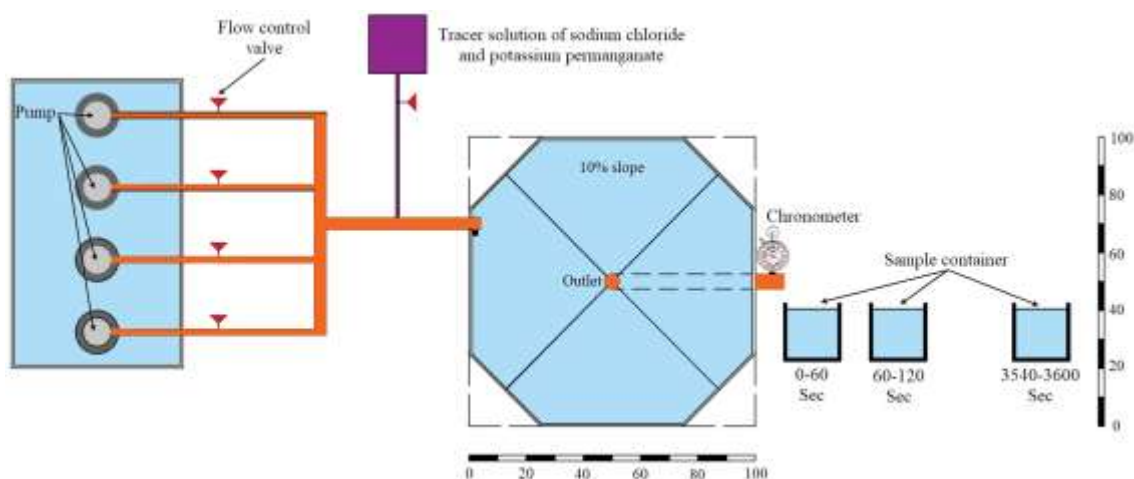
در آب را از پیامدهای تشکیل مناطق مرده در حوضچه‌های پرورش ماهی بیان کردند.

در سال‌های اخیر استفاده از حوضچه‌های هشت‌ضلعی همانند حوضچه‌های مستطیلی و دایره‌ای در آبی‌پروری رایج شده است. اما مطالعه‌ای در زمینه تأثیر توأم حالت نصب ورودی جریان مستقیم و نیروی مومنتم جریان ورودی بر رفتار هیدرودینامیکی این حوضچه صورت نگرفته است. با توجه به اینکه هر حجم جریان تزریق شده به حوضچه پرورش، زمان ماند هیدرولیکی خاص خود را دارد که به مومنتم جریان ورودی و طراحی داخلی حوضچه بستگی دارد (Gorle et al. 2020). در این پژوهش برای اولین بار تأثیر توأم حالت نصب ورودی مستقیم به همراه نیروی مومنتم جریان ورودی در حوضچه‌های هشت‌ضلعی بررسی شد. یافته‌های حاصل از این پژوهش، در قالب راندمان هیدرولیکی، منحنی RTD و درصد مناطق راکد در حوضچه ارائه شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۲- تجهیزات آزمایشگاهی

پژوهش حاضر روی یک مدل بر مبنای تشابه فرودی از حوضچه هشت‌ضلعی با مقیاس ۱:۱۰ که دارای ضلع ۱۰۰ cm و عمق آبیگری ۲۰ cm است، انجام شد. دیواره‌های حوضچه از جنس شیشه ساخته شد تا حرکت ردیاب رنگی



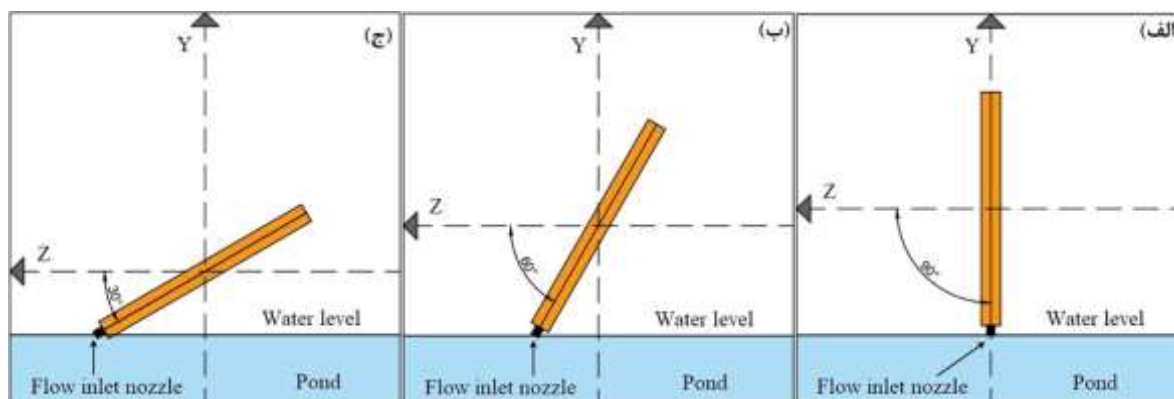
شکل ۱- طرح مدل حوضچه هشت‌ضلعی و سیستم تأمین آب در پژوهش حاضر

Fig. 1 A schematic of the octagonal pond model and the water supply system in the present study

در مطالعه حاضر ۱۲ آزمایش برای بررسی متغیرهای حالت نصب ورودی جریان در چهار سطح انجام می‌شود. حالت نصب ورودی جریان به‌صورت تغییر زاویه ورودی نسبت به محور Z و

نصب ورودی جریان در سه زاویه و نیروی مومنتم جریان

نیروی مومنتم جریان ورودی به حوضچه به‌وسیله تغییر سرعت جریان ورودی به ازای دبی ثابت در کل آزمایش‌ها تنظیم می‌شود. تغییر حالت نصب ورودی جریان و اندازه-گیری زاویه آن نسبت به محور Z در شکل (۲) ارائه می‌شود.



شکل ۲- سه حالت نصب ورودی جریان در حوضچه‌های پرورش ماهی در پژوهش حاضر: الف- $\alpha = 90^\circ$ ، ب- $\alpha = 60^\circ$ ، و ج- $\alpha = 30^\circ$
 Fig. 2 Three modes of inlet installation in fish breeding ponds in the present study: a) $\alpha = 90^\circ$, b) $\alpha = 60^\circ$, and c) $\alpha = 30^\circ$

جدول ۱- تنظیمات آزمایشگاهی

Table 1 Laboratory settings

| Installation angle of flow inlet (α) | Inlet flow momentum forces (Fn) (N) | The velocity of the inlet flow (cm/s) | Test |
|---|-------------------------------------|---------------------------------------|------|
| 90° | 0.004 | 10 | Ta1 |
| | 0.009 | 20 | Ta2 |
| | 0.013 | 30 | Ta3 |
| | 0.018 | 40 | Ta4 |
| 60° | 0.004 | 10 | Tb1 |
| | 0.009 | 20 | Tb2 |
| | 0.013 | 30 | Tb3 |
| | 0.018 | 40 | Tb4 |
| 30° | 0.004 | 10 | Tc1 |
| | 0.009 | 20 | Tc2 |
| | 0.013 | 30 | Tc3 |
| | 0.018 | 40 | Tc4 |

مدت ۶۰ min به‌وسیله دستگاه TDS^1 متر ساخت کشور ژاپن با توانایی اندازه‌گیری کل مواد جامد محلول در آب در مقیاس $\mu g/ml$ اندازه‌گیری شد. کلیه آزمایش‌ها بدون حضور ماهی انجام و هر یک از این آزمایش‌ها سه مرتبه تکرار شد.

سرعت چرخش جریان در حوضچه‌های حاوی جریان چرخشی حدود ۲۰٪ جریان ورودی است (Li et al. 2019). بنابراین میانگین سرعت جریان در حوضچه حدود 2 cm/s تا 8 cm/s است. بعلاوه سرعت جریان مطلوب برای رشد بهینه

$$Fn = \rho Q(V_{in} - V_{avg}) \quad (1)$$

که، ρ چگالی آب، Q دبی جریان، V_{in} سرعت جریان ورودی و V_{avg} میانگین سرعت جریان در حوضچه است. در ادامه، متغیرهای مربوط به هر آزمایش مطابق جدول (۱) تنظیم و حوضچه تا عمق ۲۰ cm آبیگری شد. پس از روشن شدن پمپ‌ها و تنظیم دبی جریان، محلول ردیاب طی آزمون پالس ناگهانی تزریق شد و همزمان با تزریق ردیاب آزمایش شروع شد. غلظت ردیاب در جریان خروجی حوضچه هر ۶۰ s به

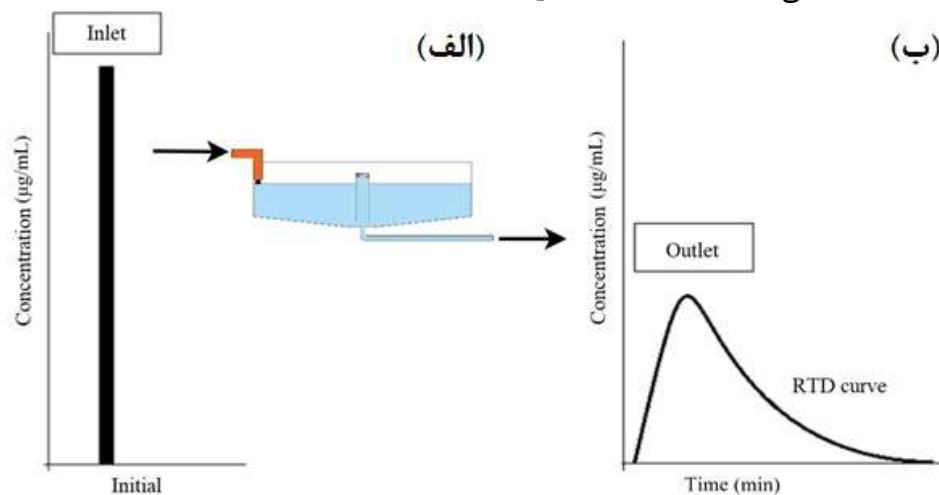
¹Total Dissolved Solid

RTD منحنی بیانگر رفتار هیدرودینامیکی جریان است و به‌وضوح تشکیل یا عدم تشکیل حجم مرده در حوضچه را نشان می‌دهد (Zhang et al. 2022). بنابراین، از این منحنی می‌توان برای مقایسه ویژگی‌های هیدرولیکی محیط‌های آبی با خصوصیات هندسی مختلف استفاده کرد. طرح شماتیک منحنی RTD طی آزمایش پالس ناگهانی برای جریان ورودی و خروجی در شکل (۳) ارائه شده است.

۰/۵ تا ۲ برابر طول ماهی است (Timmons et al. 1998). با توجه به سرعت‌های جریان استفاده شده در این مطالعه برای ماهی‌های با طول کم‌تر از ۱۶ cm مناسب است.

۲-۴- راندمان هیدرولیکی

زمان ماند هیدرولیکی به‌وسیله بررسی تغییرات غلظت یک ردیاب درون محیط آبی محاسبه می‌شود. ماده ردیاب در یک پالس ناگهانی به جریان ورودی تزریق می‌شود و با اندازه‌گیری غلظت ردیاب در خروجی جریان، منحنی توزیع زمان ماند (RTD) به دست می‌آید (Stephenson and



شکل ۳- منحنی زمان ماند هیدرولیکی حاصل از آزمایش تزریق ردیاب در یک پالس ناگهانی؛ الف) پالس ناگهانی در ورودی جریان، و ب) منحنی RTD در خروجی جریان

Fig. 3 The hydraulic retention time curve obtained from the tracer injection test in a sudden pulse; a) sudden pulse in the inlet flow, and b) the RTD curve at outlet flow

مدل حاضر با اعداد فرود ذکر شده قابل تعمیم است. همچنین برای تعمیم نتایج حاصل از مطالعه حاضر به نمونه واقعی اگر $L_R = \frac{L_p}{L_m}$ در نظر گرفته شود، می‌توان از روابط $F_n R = L_R^{3.5}$ ، $Q_R = L_R^{2.5}$ ، $V_R = L_R^{0.5}$ ، $V_R = L_R^3$ ، $A_R = L_R^2$ ، $T_R = L_R^{0.5}$ استفاده کرد. طبق رابطه $T_R = L_R^{0.5}$ مجازی در نمونه واقعی برابر ۳/۱۴ hr به دست می‌آید و بر اساس آن می‌توان زمان ماند هیدرولیکی به دست آمده در هر آزمایش را به نمونه واقعی تعمیم داد.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- منحنی توزیع زمان ماند

در مطالعه حاضر تأثیر پارامترهای حالت نصب ورودی در سه سطح و نیروی مومنتم ورودی در چهار سطح، از طریق محاسبه زمان ماند هیدرولیکی به‌وسیله منحنی RTD در حوضچه‌های هشت‌ضلعی بررسی شد. نتایج حاصل از این بررسی در شکل (۴) ارائه شده است. اوج این منحنی هر چه

موقعیت اوج منحنی RTD بیانگر میانگین زمان ماند هیدرولیکی است که با استفاده از آن و رابطه (۲) می‌توان راندمان هیدرولیکی حوضچه را به دست آورد (Zounemat-Kermani 2016).

$$\lambda = \frac{t_m}{t_n} \quad (2)$$

که، t_m میانگین زمان ماند هیدرولیکی و t_n زمان ماند هیدرولیکی مجازی نامیده می‌شود که به‌وسیله رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Zounemat-Kermani 2016).

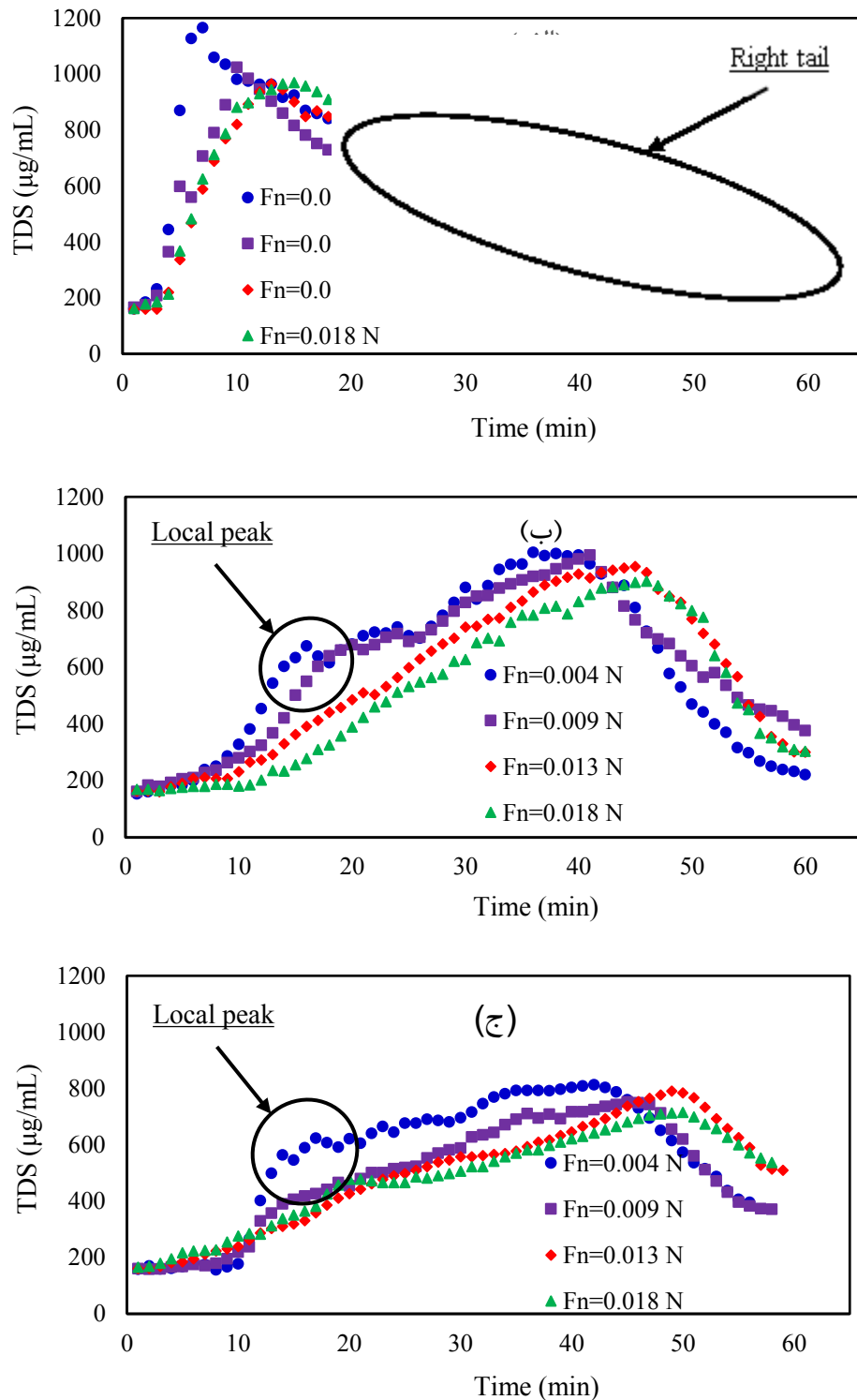
$$t_n = \frac{Ah}{Q} \quad (3)$$

که، A ، h و Q به ترتیب مساحت حوضچه، عمق میانگین و دبی جریان ورودی به حوضچه است.

با توجه به خصوصیات جریان ورودی در مدل آزمایشگاهی حاضر عدد فرود برابر ۰/۱۸، ۰/۴۴، ۰/۷۱ و ۱/۰۵ است. بنابراین نتایج حاصل از این پژوهش فقط در نمونه واقعی از

2000, Zounemat-Kermani 2016, Naserian et al. (2018).

به زمان ماند مجازی نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده اختلاط بهتر جریان است. زمان ماند مجازی (تئوری) مطالعه حاضر برای تمامی آزمایش‌ها برابر ۶۰ min است (Watten et al.)

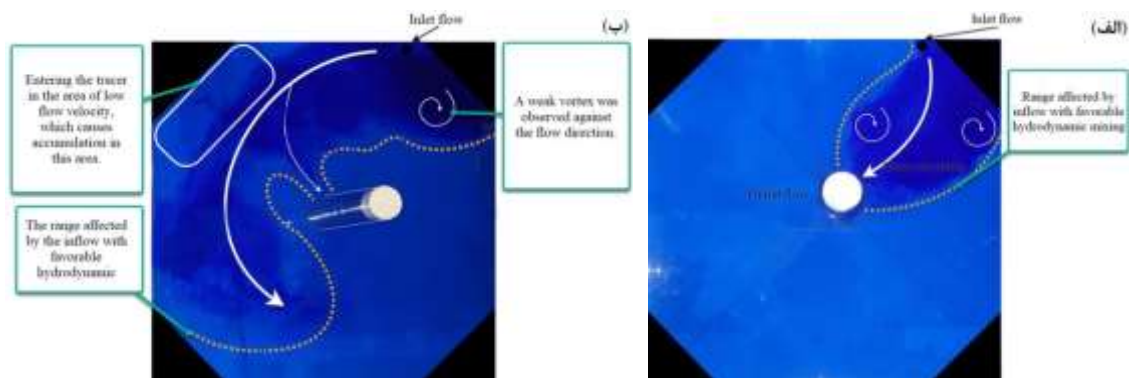


شکل ۴- نمودار TDS-Time حاصل از بررسی توأم حالت ورود جریان و نیروی مومنتم جریان ورودی در زوایای مختلف: الف- ۹۰، ب- ۶۰، ج- ۳۰°.

Fig. 4 The TDS-time diagram is the result of the combined investigation of the inlet flow mode and the momentum force of the inlet flow at different angles: a) 90, b) 60, and c) 30°

همانطور که در شکل (۴-الف) مشاهده می‌شود، اوج منحنی RTD در حالت 90° برای هر چهار سطح نیروی مومنتم بررسی شده در سمت چپ نمودار TDS-Time واقع شده که بیانگر اختلاف زیاد زمان ماند مجازی و زمان ماند واقعی یا هیدرولیکی است. طبق مشاهده‌های آزمایشگاهی ارائه شده در شکل (۵-الف)، نصب ورودی در حالت 90° موجب عدم تشکیل جریان گردابی و اتصال کوتاه میان جریان ورودی و خروجی رخ داد. به‌طور مشابه Timmons et al. (1998) و Oca and Masalo (2013) در حوضچه‌های دایره‌ای در صورت نصب ورودی قائم اتصال کوتاه رخ می‌دهد که باعث تشکیل مناطق مرده می‌شود. Papáček et al. (2020) و Diken and Koknaroglu (2022) عدم توزیع یکنواخت اکسیژن محلول در حجم حوضچه، ته‌نشینی ضایعات جامد را از پیامدهای تشکیل مناطق مرده در حوضچه‌های پرورش ماهی بیان کردند. همچنین ردیاب به دام افتاده در نواحی (۴-ج) نشان داده شدند.

مرده در صورت وجود تقابل میان حجم مرده و جریان اصلی یک دنباله در بازوی سمت راست منحنی ایجاد می‌کند. اوج منحنی RTD به ازای نصب ورودی با زاویه‌های 60° و 30° به سمت راست نمودار TDS-Time منتقل می‌شود و شکل‌های (۴-ب) و (۴-ج) بیانگر نزدیک شدن زمان ماند واقعی به زمان ماند مجازی می‌باشند. طبق مشاهده‌های آزمایشگاهی ارائه شده در شکل‌های (۵-الف) و (۵-ب)، هنگام نصب ورودی در حالت 90° درجه جریان ورودی بدون چرخش در حوضچه به طرف خروجی حرکت می‌کند و در حالت 30° جریان گردابی در حوضچه هشت‌ضلعی ایجاد می‌شود. جریان ورودی به‌صورت چرخشی از تمام قسمت‌های حوضچه عبور می‌کند و در نهایت از خروجی مرکزی تحتانی تخلیه می‌شود. همراه با چرخش جریان در حوضچه اتصال کوتاه‌های موقت مشاهده شد که دلیل مشاهده اوج‌های موضعی در منحنی RTD می‌شود که در شکل‌های (۴-ب) و (۴-ج) نشان داده شدند.



شکل ۵- حرکت ماده ردیاب مرئی شده در حوضچه هشت‌ضلعی: الف- نصب حالت ورودی جریان در زاویه 90° و نیروی مومنتم برابر 0.018 N و ب- نصب حالت ورودی جریان در زاویه 30° و نیروی مومنتم برابر 0.009 N

Fig. 5 Visible tracer material movement in the octagonal pond: a) Installation of inlet flow mode at 90° angle and momentum force of the inlet flow 0.018 N and b) Installation of inlet flow mode at 30° angle and momentum force of the inlet flow 0.009 N

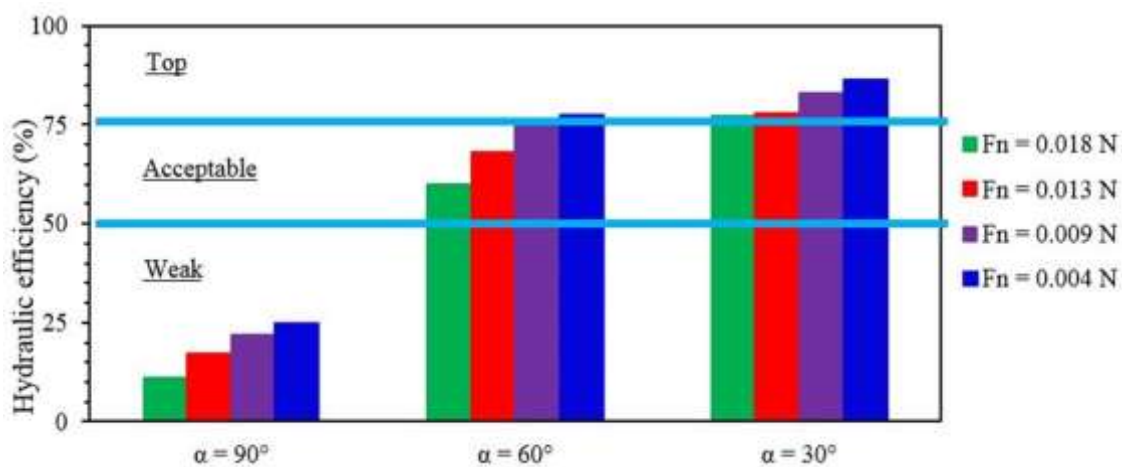
۲-۳- راندمان هیدرولیکی
راندمان هیدرولیکی مبین نحوه اختلاط مناسب آب از نقطه‌نظر هیدرودینامیک جریان درون محیط آبی است که مقدار آن طبق رابطه (۲) برای هر آزمایش محاسبه شد. راندمان هیدرولیکی برابر یک نشان‌دهنده عدم تشکیل حجم مرده در حوضچه است. بنابراین هرچه راندمان هیدرولیکی به یک نزدیک‌تر باشد، اختلاط هیدرودینامیکی جریان در حوضچه بهتر انجام می‌شود. راندمان هیدرولیکی حوضچه‌ها در سه حالت قابل دسته‌بندی است. آستانه طراحی بهینه در پژوهش حاضر $\lambda > 0.75$ فرض می‌شود. راندمان هیدرولیکی قابل قبول در $0.75 < \lambda < 0.85$ قرار می‌گیرد. همچنین برای راندمان‌های کمتر از 0.75 ، اختلاط هیدرودینامیکی جریان درون حوضچه به‌خوبی انجام نشده و حوضچه دارای حجم مرده است (Zounemat-Kermani 2016).

اگر جریان ورودی بدون چرخش در حوضچه‌های حاوی جریان گردابی مستقیم به خروجی حوضچه برسد، اتصال کوتاه اتفاق می‌افتد. در حالت نصب ورودی جریان با زاویه 90° به ازای هر چهار نیروی مومنتم بررسی شده، اتصال کوتاه مشاهده شد. همانطور که در شکل (۶) قابل مشاهده است برای حالت نصب ورودی جریان با زاویه 90° که حالت

محیط‌زیست و مهندسی آب
دوره ۱۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳

نیروی مومنتم جریان ورودی دارد. به طور مشابه Oca and Masalo (2013) بیان کردند سرعت متوسط در یک سلول گردابی از حوضچه‌های مستطیلی چندگردابی باریشه‌ی دوم نیروی تکانه متناسب است. بنابراین افزایش نیروی تکانه باعث افزایش سرعت متوسط در سلول گردابی و خروج سریع‌تر ردیاب می‌شود. خروج سریع‌تر محلول ردیاب نیز زمان ماند هیدرولیکی محیط آبی را کاهش می‌دهد که نشان‌دهنده ضعیف شدن اختلاط هیدرودینامیکی جریان است.

قائم نیز گفته می‌شود، راندمان هیدرولیکی در دسته ضعیف قرار می‌گیرد. با تغییر حالت نصب ورودی جریان از قائم یا ۹۰° به حالت مماس با زاویه‌های بررسی شده ۶۰° و ۳۰° راندمان هیدرولیکی افزایش یافته و در دامنه راندمان‌های قابل قبول و بالا قرار می‌گیرد که با نتایج حاصل از تحقیق‌های Watten et al. (2000) و Naserian et al. (2018) مبنی بر افزایش کارایی یا میانگین زمان ماند هیدرولیکی در حوضچه‌های دایره‌ای و هشت‌ضلعی کاملاً مطابقت دارد. طبق نتایج ارائه شده در شکل (۶) برای هر سه حالت نصب ورودی جریان ۹۰°، ۶۰° و ۳۰°، راندمان هیدرولیکی رابطه عکس با



شکل ۶- روند تغییر راندمان هیدرولیکی به ازای تغییر پارامترهای حالت ورودی جریان و نیروی مومنتم جریان ورودی
Fig. 6 Changes in the hydraulic efficiency due to modifying the inlet flow mode and the momentum force of the inlet flow

مناطق راکد حوضچه کمتر می‌شوند. بنابراین اکسیژن و خوراک به‌طور یکنواخت‌تری در تمام حجم حوضچه توزیع می‌شود. بنابراین همچنین صحت این یافته در نتایج Papáček et al. (2020) قابل مشاهده است. بنابراین، در صورتی که بتوان تشکیل نواحی مرده و وقوع اتصال کوتاه در حوضچه را کاهش داد، راندمان هیدرولیکی افزایش می‌یابد (Zounemat-Kermani 2016).

$$SR = 1 - \frac{t_m}{t_n} \quad (4)$$

پسماندهای جامد باید سریع‌تر از میانگین زمان ماند هیدرولیکی حوضچه تخلیه شوند، در غیر این صورت بر کیفیت آب و سلامت ماهی تأثیر منفی می‌گذارند. طبق نتایج Labatut et al. (2015) به دست آمده از پژوهش‌های نواحی مرده باعث تجمع پسماندهای جامد و در نتیجه

۳-۳- مناطق راکد

هدف از بررسی پارامترهای حالت نصب ورودی و نیروی مومنتم جریان ورودی جلوگیری از تشکیل مناطق راکد و فضای ته‌نشینی پسماندهای جامد هنگام بهره‌برداری از حوضچه‌های هشت‌ضلعی پرورش ماهی است. در نتیجه، برای استفاده بهینه از آب در حوضچه‌های پرورش ماهی لازم است که جریان ورودی قبل از رسیدن به خروجی از تمام قسمت‌های حوضچه عبور کند که موجب عدم تشکیل مناطق راکد می‌شود. Watten et al. (2000) رابطه (۴) را برای محاسبه مناطق راکد (SR) در حوضچه ارائه کردند که رابطه عکس با راندمان هیدرولیکی دارد. از این رابطه می‌توان نتیجه گرفت هر چه مناطق راکد حوضچه کمتر باشد، زمان ماند هیدرولیکی آن بیشتر می‌شود. طبق نتایج ارائه شده در جدول (۳) همراه با کاهش نیروی مومنتم جریان ورودی

گسترش بیماری‌ها در بدترین حالت تلفات آبزیان می‌شوند. ثابت است به طوری که کم‌ترین تغییر در میانگین سرعت راهکارهای ارائه شده در تحقیق حاضر نصب ورودی در حالت ۳۰° و تنظیم جریان ورودی با نیروی مومنتم کمتر با دبی جدول ۳- نتایج مدل‌سازی آزمایشگاهی در برآورد راندمان هیدرولیکی حوضچه‌های هشت‌ضلعی مزارع مدار بسته پرورش ماهی تحت تأثیر سامانه ورودی جریان و نیروی مومنتم جریان ورودی

Table 3 The laboratory modeling results regarding the estimation of the hydraulic efficiency of octagonal ponds in recirculating aquaculture systems under the influence of the inlet flow system and the momentum force of the inlet flow

| Test | Hydraulic residence time (t_m) (min) | Hydraulic efficiency (%) | Stagnant region (dimensionless) |
|------|--|--------------------------|---------------------------------|
| Ta1 | 7 | 12 | 0.88 |
| Ta2 | 10 | 17 | 0.83 |
| Ta3 | 13 | 22 | 0.78 |
| Ta4 | 15 | 25 | 0.75 |
| Tb1 | 36 | 60 | 0.40 |
| Tb2 | 41 | 68 | 0.32 |
| Tb3 | 45 | 75 | 0.25 |
| Tb4 | 46 | 77 | 0.23 |
| Tc1 | 46 | 77 | 0.23 |
| Tc2 | 47 | 78 | 0.22 |
| Tc3 | 50 | 83 | 0.17 |
| Tc4 | 52 | 86 | 0.13 |

ورودی از بیشتر قسمت‌های حوضچه عبور می‌کند و سپس تخلیه می‌شود.

۳- به ازای هر سه زاویه نصب ورودی، کاهش نیروی مومنتم ورودی سبب بهبود عملکرد حوضچه می‌شود. در حالت نصب ورودی $\alpha_2=60^\circ$ برای F_{n1} و F_{n2} راندمان هیدرولیکی کمتر از ۷۵٪ است. حال آنکه در شرایط بهره‌برداری یکسان تنها با کاهش نیروی مومنتم ورودی راندمان هیدرولیکی بیشتر از ۷۵٪ می‌شود.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های برداشت شده در آزمایش‌های پژوهش به صورت نمودار TDS-Time ارائه شده است. علاوه به این، داده‌های خام حسب درخواست از طریق نویسنده مسئول قابل ارسال است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

Davidson, J., & Summerfelt, S. (2004). Solids flushing, mixing, and water velocity profiles

۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تأثیر توأم پارامترهای حالت نصب ورودی جریان مستقیم و نیروی مومنتم جریان ورودی بر رفتار هیدرودینامیکی حوضچه‌های هشت‌ضلعی پرورش ماهی سامانه‌های مدار بسته بررسی شد. در مجموع ۱۲ آزمایش هر کدام با سه مرتبه تکرار در یک مدل آزمایشگاهی با مقیاس ۱:۱۰ که بر مبنای تشابه فرودی ساخته شد، انجام شد. مهمترین نتایج حاصل از این مطالعه آزمایشگاهی در زیر خلاصه شده است.

۱- طبق نتایج حاصل از آنالیز منحنی RTD، حالت نصب ورودی جریان مستقیم با زاویه 90° موجب عدم تشکیل جریان چرخشی در حوضچه می‌شود. در بهترین حالت بیش از ۷۵٪ از حجم حوضچه شامل نواحی مرده می‌شود.

۲- الگوی جریان چرخشی در تمامی آزمایش‌های مربوط به نصب ورودی جریان در حالت‌های $\alpha_2=60^\circ$ و $\alpha_3=30^\circ$ به کمک محلول ردیاب رنگی شده، مشاهده شد. بنابراین جریان

within large (10 and 150 m3) circular 'Cornell-type' dual-drain tanks. *Aquac. Eng.*,

- 32(1), 245-271. DOI: [10.1016/j.aquaeng.2004.03.009](https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2004.03.009)
- Diken, G., & Koknaroglu, H. (2022). Projected annual production capacity affects sustainability of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) reared in concrete ponds in terms of energy use efficiency. *Aquacul.*, 551, 737958. DOI: [10.1016/j.aquaculture.2022.737958](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.737958)
- Gorle, J. M. R., Terjesen, B. F., Mota, V. C., & Summerfelt, S. (2018). Water velocity in commercial RAS culture tanks for Atlantic salmon smolt production. *Aquac. Eng.*, 81, 89-100. DOI: [10.1016/j.aquaeng.2018.03.001](https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.03.001)
- Gorle, J. M. R., Terjesen, B. F., & Summerfelt, S. T. (2019). Hydrodynamics of Atlantic salmon culture tank: Effect of inlet nozzle angle on the velocity field. *Comput. Electron. Agric.*, 158, 79-91. DOI: [10.1016/j.compag.2019.01.046](https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.046)
- Gorle, J. M. R., Terjesen, B. F., & Summerfelt, S. T. (2020). Influence of inlet and outlet placement on the hydrodynamics of culture tanks for Atlantic salmon. *Int. J. Mech. Sci.*, 188, 105944. DOI: [10.1016/j.ijmecsci.2020.105944](https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2020.105944)
- Khater, ES., Ali, S., Abbas, W., Morsy, O., (2022). Flow patterns in circular fish tanks and its relations with flow rate and nozzle features, *Sci. Rep.*, 12, 12883. DOI: [10.1038/s41598-022-17186-z](https://doi.org/10.1038/s41598-022-17186-z)
- Labatut, R. A., Ebeling, J. M., Bhaskaran, R., & Timmons, M. B. (2007). Effects of inlet and outlet flow characteristics on mixed-cell raceway (MCR) hydrodynamics. *Aquac. Eng.*, 37(2), 158-170. DOI: [10.1016/j.aquaeng.2007.04.002](https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2007.04.002)
- Labatut, R. A., Ebeling, J. M., Bhaskaran, R., & Timmons, M. B. (2015). Modeling hydrodynamics and path/residence time of aquaculture-like particles in a mixed-cell raceway (MCR) using 3D computational fluid dynamics (CFD). *Aquac. Eng.*, 67, 39-52. DOI: [10.1016/j.aquaeng.2015.05.006](https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2015.05.006)
- Lekang O.I. (2013). *Aquaculture Engineering*. Blackwell Publishing Ltd. Press. pp: 224-237. DOI: [10.1002/9781118496077](https://doi.org/10.1002/9781118496077)
- Li, W., Cheng, X., Xie, J., Wang, Z., & Yu, D. (2019). Hydrodynamics of an in-pond raceway system with an aeration plug-flow device for application in aquaculture: an experimental study. *R. Soc. Open Sci.*, 6(7), 182061. DOI: [10.1098/rsos.182061](https://doi.org/10.1098/rsos.182061)
- Naserian. R., Harsij. M., Jafariyan. H., & Seyedian. S. M. (2018). Effect of different inlet on some Hydraulic characteristic of octagonal and circular reservoirs. *Adv. Aquacul. Sci. J.*, 2(3), 45-58. [In Persian]
- Oca, J., & Masalo, I. (2013). Flow pattern in aquaculture circular tanks: Influence of flow rate, water depth, and water inlet & outlet features. *Aquac. Eng.*, 52, 65-72. DOI: [10.1016/j.aquaeng.2012.09.002](https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.09.002)
- Papáček, Š., Petera, K., Císař, P., Stejskal, V., & Saberioon, M. (2020). Experimental & computational fluid dynamics study of the suitability of different solid feed pellets for aquaculture systems. *Appl. Sci.*, 10(19), 6954. DOI: [10.3390/app10196954](https://doi.org/10.3390/app10196954)
- Stephenson, R., & Sheridan, C. (2021). Review of experimental procedures and modelling techniques for flow behaviour and their relation to residence time in constructed wetlands. *J. Water. Process. Eng.*, 41, 102044. DOI: [10.1016/j.jwpe.2021.102044](https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102044)
- Summerfelt, R. C., & Penne, C. R. (2005). Solids removal in a recirculating aquaculture system where the majority of flow bypasses the microscreen filter. *Aquac. Eng.*, 33(3), 214-224. DOI: [10.1016/j.aquaeng.2005.02.003](https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.02.003)
- Stockton, K. A., Moffitt, C. M., Watten, B. J., & Vinci, B. J. (2016). Comparison of hydraulics and particle removal efficiencies in a mixed cell raceway and Burrows Pond rearing system. *Aquac. Eng.*, 74, 52-61. DOI: [10.1016/j.aquaeng.2016.04.005](https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2016.04.005)
- Timmons, M. B., Summerfelt, S. T., & Vinci, B. J. (1998). Review of circular tank technology and management. *Aquac. Eng.*, 18(1), 51-69. DOI: [10.1016/S0144-8609\(98\)00023-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(98)00023-5)
- Watten, B. J., Honeyfield, D. C., & Schwartz, M. F. (2000). Hydraulic characteristics of a rectangular mixed-cell rearing unit. *Aquac. Eng.*, 24(1), 59-73. DOI: [10.1016/S0144-8609\(00\)00064-9](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(00)00064-9)
- Yu, G., Liu, C., Zheng, Y., Chen, Y., Li, D., & Qin, W. (2021). Meta-analysis in the production chain of aquaculture: A review. *Inform. Process. Agricul.*, 9(4), 586-598. DOI: [10.1016/j.inpa.2021.04.002](https://doi.org/10.1016/j.inpa.2021.04.002)

- Zhang, J., Jia, G., Wang, M., Cao, S., & Mkumbuzi, S. G. (2022). Hydrodynamics of recirculating aquaculture tanks with different spatial utilization. *Aquac. Eng.*, *96*, 102217. DOI: [10.1016/j.aquaeng.2021.102217](https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102217)
- Zhou, W., Dong, B., Yang, J., & Wang, J. (2021). Correction of residence time distributions and hydraulic indexes affected by tracer release duration in surface flow constructed wetlands. *J. Hydrol.*, *603*, 127106. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2021.127106](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127106)
- Zounemat-Kermani, M. (2016). Numerical modeling of hydrodynamic flow for optimizing design of cold-water fish rearing ponds. *J. Aquacul. Develop.*, *10*(2), 63-76. [In Persian]