

## مطالعه آزمایشگاهی تأثیر هیدرولیکی مسیر جریان خروجی نازل بر الگوی جریان مخزن استوانه‌ای پرورش ماهی

مسعود ساجدی سابق\*، مجتبی صانعی، حسین علی عبدالحی، شهرام بهمنش و عباس متین فر\*\*

\* نگارنده مسئول: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

تلفن: ۰۲۱)۴۴۹۰۱۲۱۴، پیام‌نگار: m\_sabegh@yahoo.com

\*\* به ترتیب: اعضای هیأت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری؛ و اعضای هیأت علمی موسسه تحقیقات شیلات ایران، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۱۴

### چکیده

هیدرولیک جریان نازل‌های ورودی جریان به مخزن پرورش ماهی، اهمیت خاصی در برقراری یکنواختی جریان و شرایط بهینه تخلیه مواد جامد زائد دارد. در این مقاله با تحلیل جریان خروجی سه نازل در عمق‌های مختلف، شرایط الگوی جریان در مخزن، مورد مطالعه آزمایشگاهی قرار گرفته است. آزمایش‌ها با چهار گزینه با تغییر زاویه پرتاب نازل در زاویه‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه نسبت به شعاع محوری مخزن، در یک دبی مشخص، اجرا شده است. نتایج نشان می‌دهد که زاویه‌های پرتاب ۴۰ و ۶۰ درجه، جریان یکنواخت‌تری را در مخزن ایجاد می‌کنند. مقایسه دو حالت ورود جریان از طریق یک نازل و سه نازل نیز مؤید آن است که با افزایش تعداد نازل، سرعت خروجی نازل و سرعت متوسط جریان در مخزن افزایش می‌یابد ولی نسبت سرعت متوسط مخزن به سرعت خروجی نازل کاهش نشان می‌دهد. مقایسه میزان همبستگی چهار گزینه (سرعت متوسط در زاویه‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه به ترتیب شامل گزینه‌های اول تا چهارم) به صورت دو به دو نشان می‌دهد که گزینه‌های سوم و دوم بیشترین میزان همبستگی را دارند. تغییرات تنش برشی در اطراف مخزن به ترتیب در ایستگاه‌های دوم و چهارم با افزایش همراه است که می‌تواند به دلیل انعکاس جت آب روی دیواره داخلی مخزن باشد. همچنین، مقایسه پارامترهای بی‌بعد عدد فرود و نسبت عمق موضعی به عمق آب مخزن نشان می‌دهد که با افزایش این نسبت، عدد فرود در نزدیکی بستر مخزن افزایش می‌یابد.

### واژه‌های کلیدی

پرورش ماهی مدار بسته، جت مستغرق، جریان چرخشی، زاویه پرتاب نازل، مخزن استوانه‌ای

### مقدمه

جریان ورودی مخزن، پیشنهادها، روابط و منحنی‌هایی ارائه کرده‌اند. سرعت مطلوب مخزن را ایبلینگ و همکاران (Ebeling *et al.*, 2005)، ۱۰ درصد و تیمونس و همکاران (Timmons *et al.*, 1998) بین ۱۵ تا ۲۰ درصد سرعت جریان ورودی مخزن پیشنهاد داده‌اند. جریان ورودی سیستم پس از طی مسیر حلزونی از خروجی‌های مرکزی و جانبی مخزن خارج می‌شود.

برای حفظ سلامت ماهی، لازم است سرعت چرخش آب در مخزن نسبتاً یکنواخت باشد، سرعتی که برای ماهی استرس ایجاد نکند و راندمان تخلیه فضولات را در شرایط بهینه نگه دارد. سرعت چرخشی بهینه آب در مخزن در هر ثانیه، معادل ۰/۵ تا ۲ برابر طول پیکر ماهی پیشنهاد می‌شود (Davison, 1997). محققان برای سرعت مطلوب

(Oca & Masaló, 2007) بر تأثیر مثبت پاکسازی رسوب از طریق تنظیم جت‌های ورودی نازل در موقعیت‌های مختلف تأکید داشته‌اند.

معمولاً ورودی مخزن پرورش ماهی، به‌صورت جت آزاد مستغرق از کناره مخزن است. برای ایجاد شرایط همگن در سرعت جریان مخزن معمولاً جریان ورودی از طرفین مخزن و از نازل‌های متعدد در عمق وارد می‌شود. بنابراین نیروی مؤثر در چرخش آب از طرف جت مستغرق اعمال می‌گردد.

تأثیر قطر نازل‌ها و مقدار آب خروجی از مرکز مخزن بر هیدرودینامیک جریان در مخازن استوانه‌ای از موضوعات مورد بحث بوده است. در این راستا لاباتوت و همکاران (Labatut *et al.*, 2006) دریافتند که هنگامی که خروجی نازل تأثیر قابل توجهی بر مقدار سرعت چرخشی جریان در مخزن دارد، درصد آب خروجی از مرکز تغییر قابل توجهی ندارد و تأثیر زیادی بر یکنواختی پروفیل سرعت در مقطع شعاعی نیز نخواهد گذاشت. همچنین، جریان ممتنم نیروی عامل در کنترل جریان چرخشی در مخزن و منتج از نیروی محرک جت آب است که به واسطه قطر نازل و سرعت جت آب ایجاد می‌شود.

ونگاس و دیگران (Venegas *et al.*, 2014) تأثیر ونتوری باز زنگی بر هیدرولیک جت آب خروجی را مطالعه کردند. نتایج ایشان بیانگر آنست که اضافه نمودن این وسیله بر بهبود عملکرد هیدرولیک جت بسیار مؤثر است به طوری که سرعت مماسی قوی‌تر و یکنواخت‌تر و زمان اختلاط و الگوی جریان ثانویه کوتاه‌تر شده است، و نهایتاً منجر به افزایش راندمان رسوب‌زدایی شده است. این بهبود عملکرد می‌تواند منجر به کاهش مصرف آب شود. به هر حال مولف این مقاله نیز اطمینان از تأثیر مثبت این وسیله بر سلامت ماهی را نیز منوط به تحقیقات بیشتر می‌داند.

تأثیر قطر نازل‌ها و مقدار آب خروجی از مرکز مخزن بر هیدرودینامیک جریان در مخازن استوانه‌ای از موضوعات مورد بحث بوده است. در این راستا لاباتوت و همکاران (Labatut *et al.*, 2005) دریافتند که هنگامی که خروجی نازل تأثیر قابل توجهی بر مقدار سرعت چرخشی جریان در مخزن دارد، درصد آب خروجی از مرکز تغییر قابل توجهی ندارد و تأثیر زیادی بر یکنواختی پروفیل سرعت در مقطع شعاعی نیز نخواهد گذاشت. همچنین، جریان ممتنم نیروی عامل در کنترل جریان چرخشی در مخزن و منتج از نیروی محرک جت آب است که به واسطه قطر نازل و سرعت جت آب ایجاد می‌شود.

برای تعیین معیارهای طراحی حوضچه پرورش ماهی و شرایط هیدرولیکی حاکم بر این مخازن، ایبلینگ و همکاران (Ebeling *et al.*, 2005) روی مخازنی با مشخصات زیر مطالعه کردند: قطر داخلی ۹۹ سانتی‌متر در کف، ۱۱۷ سانتی‌متر در بالا و عمق ۵۱ سانتی‌متر آب با احتساب ۱۰ تا ۲۰ درصد خروجی مرکزی<sup>۱</sup> و ۸۰ تا ۹۰ درصد خروجی جانبی<sup>۲</sup>، اندازه‌گیری سرعت در سه جهت و در اعماق ۱۰-۵ سانتی‌متر از کف، در عمق میانه و در ۱۰ سانتی‌متر از سطح آب و در یک شبکه نیم متری و با احتساب سرعت جریان چرخشی ۵ تا ۶ درصد سرعت جت آب خروجی نازل. برای تعیین تأثیرات موقعیت نازل‌های ورودی جریان، کاروالو و همکاران (Carvalho *et al.*, 2013) دبی ۱۲ لیتر در دقیقه را از طریق جت آب لوله‌های عمودی در سه عمق مختلف با ۱۳ سانتی‌متر فاصله عمودی از یکدیگر و فواصل ۷۰، ۲۲۰ و ۴۱۰ میلی‌متر از دیواره مخزن، در مخزن حوضچه پرورش میگو به قطر تقریبی یک متر وارد کردند. بررسی این محققان بیانگر افزایش تخلیه رسوب از ۳ به ۲۲ درصد پس از ۵ دقیقه است. افراد دیگری چون واتن و بک (Watten & Beck, 1987)، دیویدسون و سامرفلت (Davidson & Summerfelt, 2005) و اکا و ماسالو

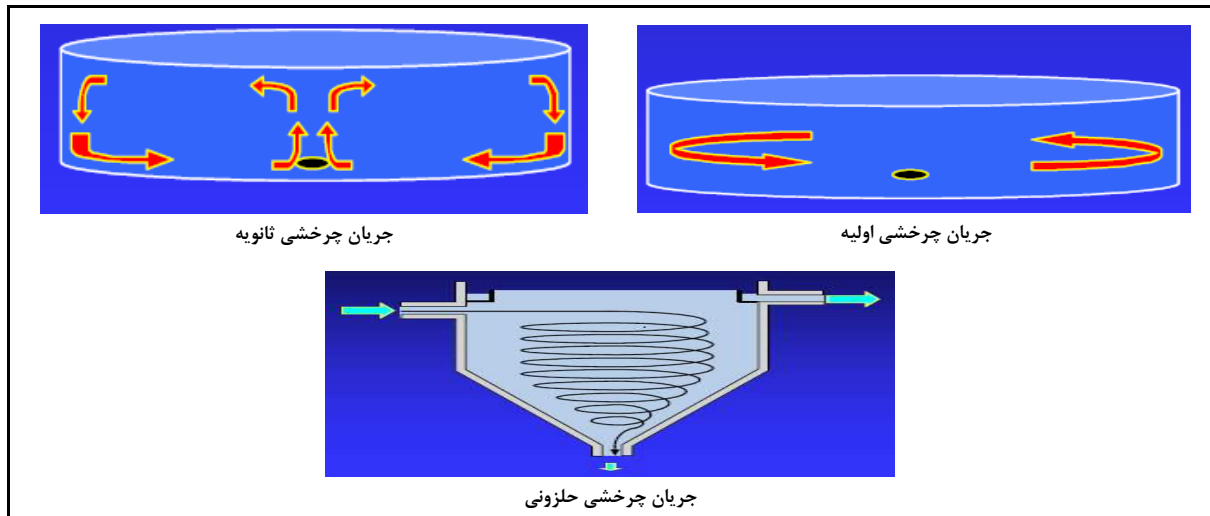
### مواد و روش‌ها

هیدرولیک جریان چرخشی در مخزن مدور بسته به عوامل مؤثر در چرخش آب، به چرخش آزاد و چرخش اجباری تقسیم می‌شود. در چرخش آزاد با افزایش شعاع، سرعت جریان افزایش می‌یابد در حالی که در چرخش اجباری با افزایش شعاع سرعت جریان کاهش می‌یابد. در جریان ورودی به مخزن آب پرورش ماهی، نیروی مؤثر در چرخش آب از طرف جت مستغرق اجباری بوده و در قسمت میانی دارای چرخش آزاد است. در جریان انتقال طولی جت خروجی نازل، طی فرآیند انتقال انرژی از جت آب به سیال داخل مخزن، انرژی جت مستهلک می‌شود و انرژی سیال درون مخزن افزایش می‌یابد و این موجب جریان چرخشی آب داخل مخزن خواهد شد. این جریان چرخشی، به دلیل اختلاف انرژی آب در شعاع و عمق مخزن، با چرخش ثانویه مواجه می‌شود و به دلیل پتانسیل زهکش جریان خروجی مرکزی مخزن جریان حلزونی به سمت مرکز مخزن ایجاد می‌شود. ترکیب جریان چرخشی اولیه، ثانویه و حلزونی موجب تغییرات جریان‌های موضعی در مخزن می‌شود (شکل ۱).

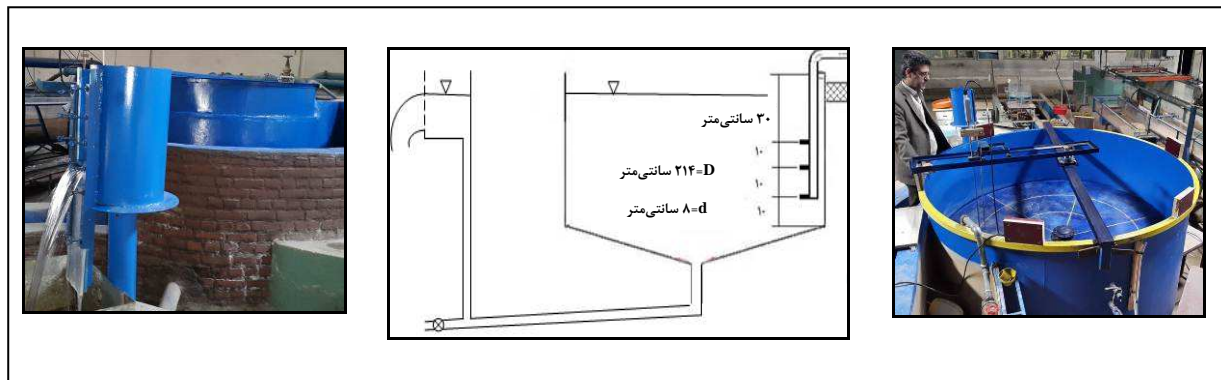
شکل پروفیل طولی سرعت جریان جت آب خروجی از نازل، تابع پروفیل عرضی سرعت جریان خروجی از نازل و جریان مماسی داخل مخزن است. بنابراین تصمیم گرفته شد که جت آب خروجی با زاویه‌های مختلف پاشیده و تأثیر آن در الگوی جریان مخزن بررسی شود. لذا جریان ورودی از طریق جت آب از سه نازل ورودی به قطر داخلی هر یک ۸ میلی‌متر ایجاد شد (شکل ۲).

نیانتکی و دیگران (Nyantekyi *et al.*, 2015) جریان آشفته سه‌بعدی جت با استفاده از روش ذرات تصویر سرعت‌سنجی را مورد بررسی قرار دادند. برای نسبت ارتفاع زیر روزنه به قطر روزنه ۰، ۲ و ۴ اندازه‌گیری دقیق انجام شد. تأثیر حضور جریان برگشتی بر توزیع سرعت متوسط و تنش‌های رینولدزی بررسی شده و به کمک تحلیل همبستگی دو نقطه‌ای، توزیع مکانی سازه در مقیاس بزرگ بر لایه‌های برشی داخلی دامنه جریان بررسی شده است. نتایج ایشان نشان داد که سازه‌های با مقیاس بزرگتر بر لایه‌های داخلی ناحیه مشابه (جلوترین شعاع تأثیر جت آب) تأثیر جدی گذاشته است. همچنین، تحلیل نوسان سرعت در صفحات متقارن و جانبی با استفاده از روش عکس فوری و به کمک آمار تلاطم موجب بینش بهتر از میدان ایجاد شده و توزیع مواضع با انرژی بیشتر شده است. لذا، ساختار جریان برای تنش برشی رینولدزی و شدت تلاطم جریان، با انرژی بیشتر توزیع یافته، در حالی که شدت تلاطم در دیوار طبیعی کمتر شده است.

جریان ورودی مخزن آب پرورش ماهی، که معمولاً از یک یا چند روزنه در عمق با زاویه ۴۵ درجه از کنار دیواره مخزن تابیده می‌شود، موجب چرخش اجباری آب در مخزن می‌شود. بنابراین نیروی مؤثر در چرخش آب از طرف جت مستغرق اعمال می‌گردد. بررسی تأثیر زاویه پرتاب خروجی نازل بر هیدرولیک جریان و راندمان تخلیه رسوب در مخازن دایروی پرورش ماهی، اهمیت بالایی دارد که در این مقاله به این موضوع مهم پرداخته شده است.



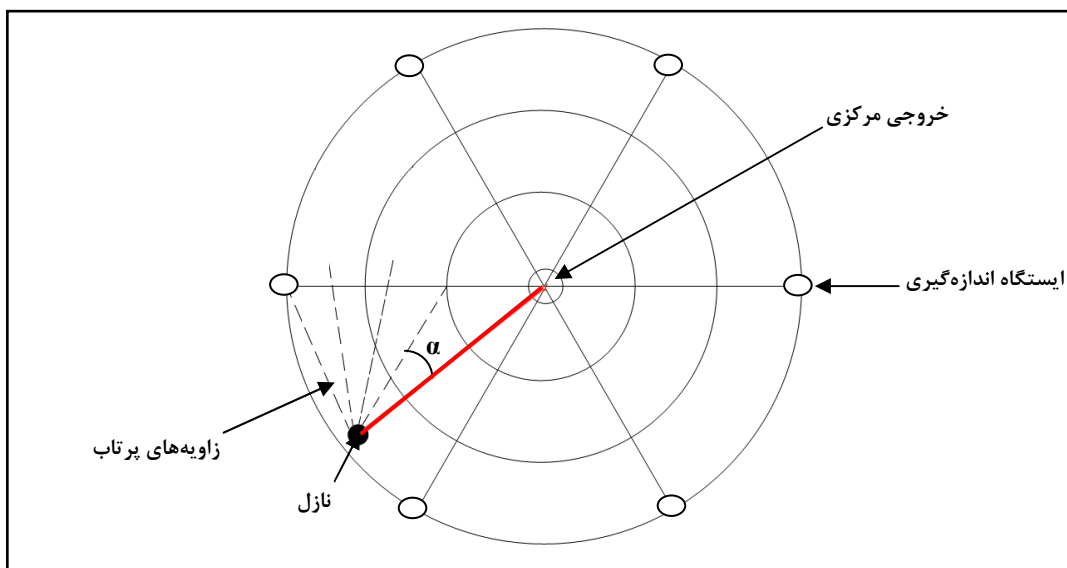
شکل ۱- نمایش جریان چرخشی اولیه، تانبوی و حلزونی



شکل ۲- مخزن، نازل‌های ورودی جریان و خروجی جانبی

موقعیت پرتاب جت آب در مخزن در شکل ۳ نشان داده شده است. از طریق مرکز مخزن، کل جریان خارج و از سرریز جانبی قسمت عمده جریان برای کنترل عمق جریان در مخزن عبور داده می‌شود (شکل ۳). در این مقاله تنش برشی از رابطه ۱ استفاده شده است.

(۱)  $\tau = (du/dh).\mu$  که در آن،  $\tau$ =تنش برشی؛  $du$ = تغییرات سرعت جریان در طول قطاع جریان؛  $dh$ = طول قطاع؛ و  $\mu$ = لزوجت دینامیکی سیال آب.



شکل ۳- موقعیت پرتاب جت آب در مخزن

### روش اجرای آزمایش‌ها

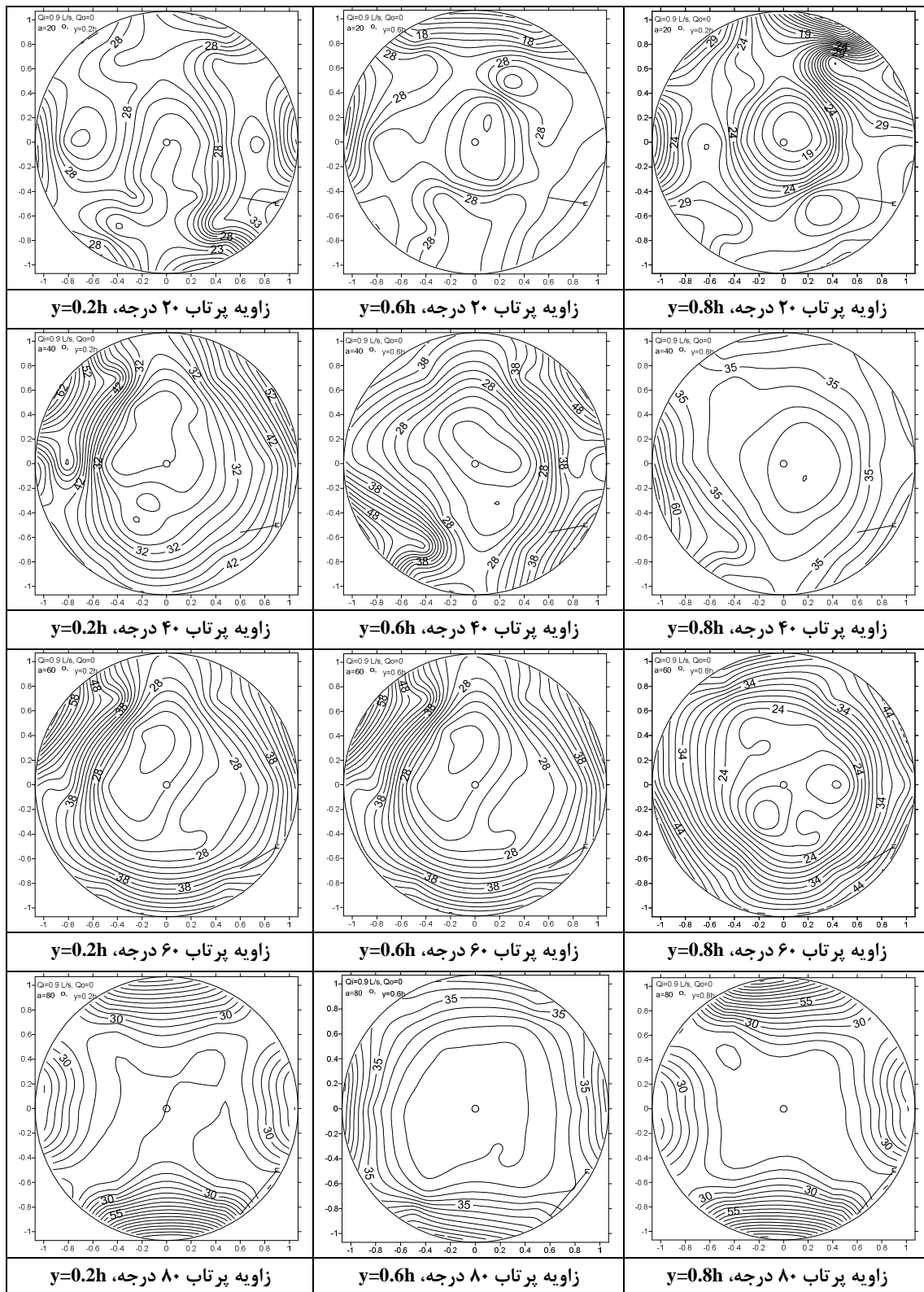
ابتدا جریان ورودی از طریق جت آب از سه نازل وارد مخزن شد. پس از آن، سطح آب داخل مخزن از طریق سرریز مخزن جانبی که به مرکز مخزن اصلی متصل است، تنظیم و مقدار دبی ورودی با استفاده از سرریز مثلثی نصب شده در محل خروجی آب، اندازه‌گیری شد. سپس، مقدار خروجی مرکزی با استفاده از شیر تحتانی تنظیم شد. سرعت جریان در مخزن به کمک سرعت‌سنج دو جهته (در جهات X و Y)، در ۲۴ نقطه در هر عمق و در اعماق ۰/۲، ۰/۶ و ۰/۸ سطح آب (۷۲ نقطه برای هر آزمایش) اندازه‌گیری شده است. آزمایش‌ها برای دبی ۰/۹ لیتر بر ثانیه و با تغییر زاویه پرتاب نازل در زاویه‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه نسبت به شعاع محوری مخزن اجرا شده است.

### نتایج و بحث

در شکل ۴، الگوی جریان برای دبی ۰/۹ لیتر بر ثانیه و با تغییر زاویه پرتاب نازل در زاویه‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه نسبت به شعاع محوری مخزن و در اعماق ۰/۲، ۰/۶ و ۰/۸ سطح آب نشان داده شده است. با مقایسه الگوی

جریان مشاهده می‌شود که زاویه پرتاب ۴۰ و ۶۰ درجه، الگوی همگن‌تری ایجاد کرده است و جریان‌های چرخشی موضعی کوچک کمتری شکل گرفته است. سرعت متوسط جریان در مخزن، برای زاویه‌های نازل ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه، به ترتیب ۲۶، ۳۲، ۳۰ و ۳۷ سانتی‌متر بر ثانیه اندازه‌گیری شده و معادل ۴، ۵/۴، ۵ و ۶ درصد سرعت خروجی جت آب است. سرعت متوسط از میانگین حسابی مقادیر سرعت جریان در هر آزمایش به دست آمده است. غالباً با انحراف جت آب خروجی نازل به سمت دیواره مخزن، سرعت متوسط در مخزن افزایش یافته است.

آزمایش دیگری نیز با یک نازل منفرد در موضع نازل‌های سه‌تایی، به قطر داخلی ۳ سانتی‌متر، به فاصله ۱۰ سانتی‌متر از کف مخزن، با زاویه پرتاب ۶۰ درجه و با دبی خروجی ۰/۹ لیتر بر ثانیه اجرا شد. نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که سرعت متوسط در این آزمایش ۱۷/۴ متر بر ثانیه است و به رغم ایجاد جریان آرام‌تر در مخزن، سرعت جریان در مخزن ۱۴ درصد سرعت خروجی جت آب به دست آمده است. سرعت متوسط از متوسط برآوردهای مقادیر سرعت در دو جهت به دست آمده است.



شکل ۴- خطوط هم سرعت جریان در اعماق  $0.2h$ ،  $0.6h$  و  $0.8h$  سطح آب، برای دبی  $0.9$  لیتر بر ثانیه جریان ورودی با زاویه‌های پرتاب  $20^\circ$ ،  $40^\circ$ ،  $60^\circ$  و  $80^\circ$  درجه نسبت به شعاع محوری مخزن

در جدول ۱ مشاهده می‌شود که ضریب تغییرات و واریانس در عمق‌های ۰/۲ و ۰/۶ سطح آب برای زاویه ۴۰ درجه و در عمق ۰/۸ سطح آب برای زاویه ۶۰ درجه کمترین مقدار است. در جدول ۲ نیز میزان همبستگی و چهار گزینه سرعت در زاویه‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه و در عمق متوسط ۰/۶ سطح آب به صورت دو به دو مقایسه شده و گزینه‌های ۳ و ۲ و سپس گزینه‌های ۴ و ۳، و ۲ و ۴ دارای بیشترین میزان همبستگی بوده است.

جدول ۱- مقادیر سرعت جریان در لایه بیرونی (فاصله ۱۵ سانتی‌متر تا جداره مخزن) برای زاویه‌های پرتاب ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه نازل نسبت به مرکز مخزن در عمق ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ سطح آب

۰/۸				۰/۶				۰/۲				عمق از سطح آب
۸۰	۶۰	۴۰	۲۰	۸۰	۶۰	۴۰	۲۰	۸۰	۶۰	۴۰	۲۰	زاویه (درجه)
$V_4$	$V_3$	$V_2$	$V_1$	$V_4$	$V_3$	$V_2$	$V_1$	$V_4$	$V_3$	$V_2$	$V_1$	
۴۸/۳۱	۳۷/۱۷	۴۳/۹۴	۲۷/۲۳	۳۹/۹۱	۳۵/۸۶	۳۸/۸۸	۲۵/۶۶	۴۵/۹۱	۳۸/۹۶	۴۱/۸	۲۷/۸۲	سرعت (سانتی‌متر بر ثانیه)
۴۳/۱۴	۳۷/۷۴	۳۴/۴۹	۱۸/۲۳	۳۸/۷۲	۳۸/۷۸	۳۵/۹۱	۱۶/۵۱	۳۷/۵۲	۳۶/۹۲	۴۰/۹۴	۲۶/۶۵	
۴۶/۲۳	۳۹/۶	۵۶/۸۶	۲۷/۶۲	۳۷/۶۹	۴۰/۱۱	۳۴/۲۲	۱۹/۲۸	۴۱/۶۴	۴۲/۳۶	۴۱/۹۵	۲۹/۰۲	
۴۳/۰۹	۳۹/۷۹	۳۸/۸۱	۲۱/۳۴	۴۸/۵	۳۴/۳۸	۳۹/۱۸	۳۲/۹	۴۷/۵	۴۲/۵۹	۴۱	۲۵/۷۸	
۵۱/۲	۴۳/۲	۳۸/۴۲	۲۸/۰۵	۵۲/۲۹	۴۳/۱۴	۴۱/۸۳	۲۶/۸۶	۴۵/۸۶	۴۴/۷۴	۴۴/۰۵	۲۷/۴۲	
۴۳/۴۳	۴۱/۲۳	۴۱/۰۱	۲۵/۷۴	۳۶/۹۵	۴۳/۶۳	۳۷/۴	۲۴/۳۳	۴۸/۱۷	۴۳/۰۱	۴۲/۹۷	۲۴/۵۱	
۱۱/۱۳	۴/۹۷	۶۰/۹۴	۱۵/۸۳	۴۱/۳۲	۱۴/۱	۷/۱۵	۳۳/۶۶	۱۶/۶۳	۸/۴۴	۱/۴۴	۲/۵۳	واریانس
۴۵/۹	۳۹/۷۹	۴۲/۲۵	۲۴/۷۲	۴۲/۳۴	۳۹/۳۲	۳۷/۹	۲۴/۲۶	۴۴/۴۳	۴۱/۴۳	۴۲/۱۲	۲۶/۸۷	میانگین سرعت (سانتی‌متر بر ثانیه)
۲۴/۲۵	۱۲/۴۹	۱۴۴/۲۳	۶۴/۰۶	۹۷/۵۷	۳۵/۸۵	۱۸/۸۷	۱۳۸/۷۸	۳۷/۴۳	۲۰/۳۷	۳/۴۲	۹/۴	ضریب تغییرات

جدول ۲- مقایسه میزان همبستگی چهار گزینه سرعت به صورت دو به دو

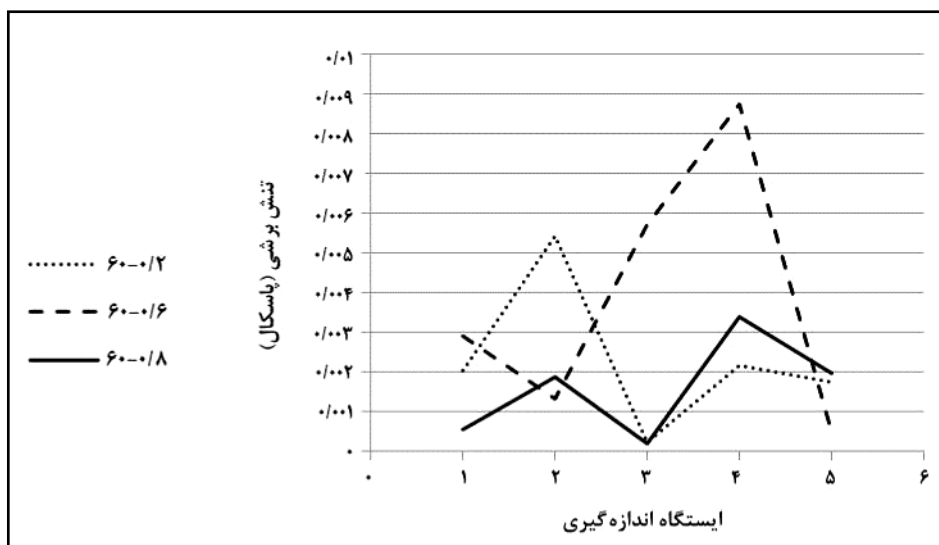
معنی‌دار	همبستگی	تعداد	جفت	ردیف
۰/۵۹۷	۰/۱۱۴	۲۴	$V_1 - V_2$	۱
۰/۹۲۵	-۰/۰۲۰	۲۴	$V_1 - V_3$	۲
۰/۹۷۶	۰/۰۰۷	۲۴	$V_1 - V_4$	۳
.	۰/۹۲	۲۴	$V_2 - V_3$	۴
.	۰/۷۳۵	۲۴	$V_2 - V_4$	۵
.	۰/۸۲۶	۲۴	$V_3 - V_4$	۶

در جدول ۳ با استفاده از آزمون t مقایسه میانگین زاویه پرتاب نازل با زاویه ۶۰ درجه را نشان می‌دهد. انجام شده است که گزینه‌های ۴ و ۱ اختلاف معنی‌داری را با هم نشان نداده‌اند. تغییرات تنش برشی در اطراف مخزن به ترتیب در ایستگاه‌های شماره ۲ و ۴ با افزایش هر چند کوچک همراه است که می‌تواند به دلیل انعکاس جت آب روی دیواره داخلی مخزن باشد. شکل ۵ تغییرات تنش برشی مماسی در لایه بیرونی اندازه‌گیری شده (۱۵ سانتی‌متر تا جداره مخزن) برای

جدول ۳- مقایسه میانگین نمونه‌های دو به دو با آزمون t

معنی‌دار (دو طرفه)	درجه آزادی	آزمون t	اختلافات جفتی				جفت	ردیف	
			فاصله اطمینان در سطح ۹۵ درصد		متوسط خطای استاندارد	انحراف معیار			متوسط
			حد بالا	حد پایین					
۰/۰۰۳	۲۳	-۳/۴	-۲/۳	-۹/۶	۱/۸	۸/۶	-۵/۹۱	$V_1 - V_2$	۱
۰/۰۴۴	۲۳	-۲/۱	-۰/۱۲	-۸/۳	۱/۹	۹/۷	-۴/۲۱	$V_1 - V_3$	۲
۰/۶۵۴	۲۳	۰/۵	۶/۶	-۴/۲	۲/۶	۱۲/۹	۱/۱۹	$V_1 - V_4$	۳
۰/۰۲۴	۲۳	۲/۴	۳/۲	۰/۲	۰/۷	۳/۴	۱/۷	$V_2 - V_3$	۴
.	۲۳	۴/۱	۱۰/۶	۳/۶	۱/۷	۸/۴	۷/۱	$V_2 - V_4$	۵
۰/۰۰۱	۲۳	۳/۷	۸/۴	۲/۴	۱/۴	۷/۱	۵/۴	$V_3 - V_4$	۶





شکل ۵- تغییرات تنش برشی مماسی در نزدیکی دیواره مخزن

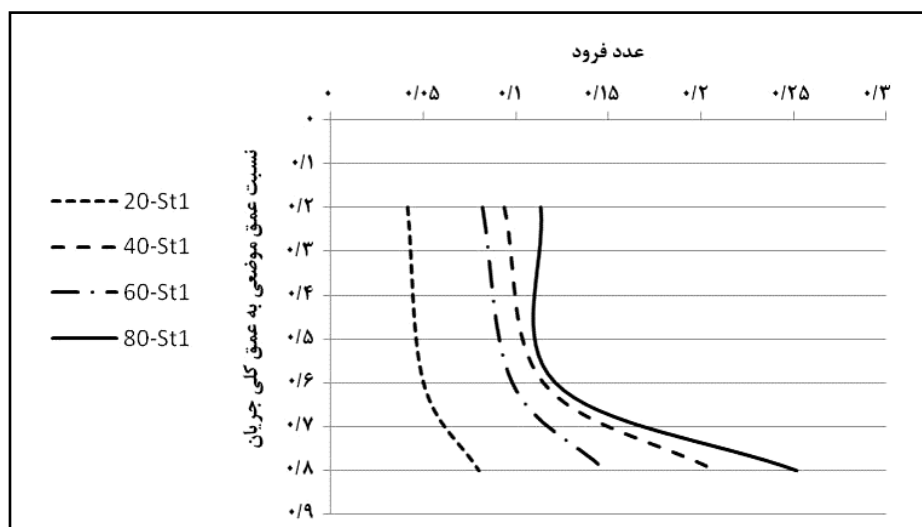
در اینجا عدد فرود از رابطه ۲ به دست آمده است.

$$Fr = V^2/gh \quad (2)$$

که در آن،

$V$  = سرعت متوسط جریان (سانتی متر بر ثانیه)؛  $g$  = شتاب ثقل (متر مربع بر ثانیه)؛ و  $h$  = عمق موضعی جریان (متر).

با مقایسه پارامترهای بی بعد عدد فرود و نسبت عمق موضعی به عمق کلی جریان ( $h/H$ ) در شکل ۶، مشاهده می‌شود که با افزایش این نسبت، عدد فرود ابتدا تغییرات قابل توجهی ندارد و در نزدیکی بستر مخزن عدد فرود افزایش یافته است. این الگوی تغییرات در سایر ایستگاه‌های اندازه‌گیری نیز مشاهده شده است.



شکل ۶- رابطه بین پارامترهای بی بعد عدد فرود و نسبت عمق موضعی به عمق کلی جریان

## نتیجه‌گیری

مقایسه میزان همبستگی چهار گزینه سرعت در زاویه‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه و در عمق متوسط ۰/۶ سطح آب به صورت دو به دو نشان می‌دهد که گزینه‌های ۳ و ۲ و سپس گزینه‌های ۴ و ۳ و ۲ و ۴ دارای بیشترین میزان همبستگی هستند. نتایج آزمون  $t$  برای مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که گزینه‌های ۴ و ۱ اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. تغییرات تنش برشی مماسی در لایه بیرونی اندازه‌گیری شده (۱۵ سانتی‌متر تا جداره مخزن) برای زاویه پرتاب نازل با زاویه ۶۰ درجه نیز بیانگر آن است که تغییرات تنش برشی در اطراف مخزن به ترتیب در ایستگاه‌های شماره ۲ و ۴ با افزایش همراه است که می‌تواند به دلیل انعکاس جت آب روی دیواره داخلی مخزن باشد.

مقایسه پارامترهای بی‌بعد فرود و نسبت عمق موضعی به عمق کلی جریان نشان می‌دهد که با افزایش این نسبت، ابتدا عدد فرود تغییرات قابل توجهی نداشته و سپس افزایش می‌یابد. این الگوی تغییرات در سایر ایستگاه‌های اندازه‌گیری نیز مشاهده شده است.

با تغییر زاویه پرتاب نازل آب از طرف مرکز به سمت دیواره مخزن، ابتدا تعداد کانون‌های جریان موضعی کاهش می‌یابد، در زاویه پرتاب ۴۰ و ۶۰ درجه، به شرایط بهینه خود می‌رسد و مجدداً افزایش می‌یابد (در شرایط بهینه جریان‌های موضعی حداقل هستند و جریان یکنواخت‌تری در مخزن ایجاد می‌شود). در زاویه پرتاب ۸۰ درجه، به دلیل برخورد جریان خروجی نازل با دیواره و انعکاس آن در محیط داخلی مخزن، چهار کانون سرعت موضعی در این محیط شکل می‌گیرد. همچنین، با تغییر زاویه پرتاب نازل آب به ترتیب در ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه، سرعت متوسط مخزن افزایش می‌یابد و در شرایط بهینه کمی کاهش نشان می‌دهد. مقایسه آزمایش خروجی آب از یک نازل و سه نازل نیز نشان می‌دهد که با افزایش تعداد نازل، سرعت متوسط مخزن و سرعت جریان خروجی از نازل افزایش ولی نسبت سرعت متوسط مخزن به سرعت خروجی نازل کاهش می‌یابد.

## مراجع

- Carvalho, R., Lemos, D. E. L. and Tacon, A. G. J. 2013. Performance of single-drain and dual-drain tanks in terms of water velocity profile and solids flushing for in vivo digestibility studies in juvenile shrimp. *Aquacult. Eng.* 57, 9-17.
- Davidson, J. W. and Summerfelt, S. T. 2005. Solids removal from a coldwater recirculating system, comparison of a swirl separator and a radial-flow settler. *Aquacult. Eng.* 33, 47-61.
- Davison, W. 1997. The effects of exercise training on teleost fish, a review of recent literature. *Comp. Biochem. Physiol.* 117A(1): 67-75.
- Ebeling, J. M., Timmons, M. B., Joiner, J. A. and Labatut, R. A. 2005. Mixed-Cell Raceway: engineering design criteria, construction, and hydraulic characterization. *North American J. Aquacult.* 67, 193-201.
- Labatut, R. A., Timmons, M. B., Ebeling, J. M. and Bhaskaran, R. 2005. Experimental evaluation of the effects of nozzle diameter and effluent withdrawal strategy on tank hydrodynamics in a large-scale Mixed-Cell Raceway (MCR). Available at: <https://ag.arizona.edu>.
- Nyantekyi-Kwakye, B., Tachie, M. F., Clark, S. P., Malenchak, J. and Muluye, G. Y. 2015. Experimental study of the flow structures of 3d turbulent offset jets. *J. Hydraul. Res.* 53(6): 773-786.
- Oca, J. and Masaló, I. 2007. Design criteria for rotating flow cells in rectangular aqua-culture tanks. *Aquacult. Eng.* 36, 36-44.

- Timmons, M. B., Summerfelt, S.T. and Vinci, B. J. 1998. Review of circular tank technology and management. *Aquacult. Eng.* 18, 51-69.
- Venegasa, P. A., Narváeza, A. L., Arriagadab, A. E. and Llancaleo K. A. 2014. Hydrodynamic effects of use of eductors (Jet-Mixing Eductor) for water inlet on circular tank fish culture. *Aquacult. Eng.* 59, 13-22.
- Watten, B. J. and Beck, L. T. 1987. Comparative hydraulics of a rectangular cross-flow rearing unit. *Aquacult. Eng.* 6, 127-140.

## **Hydraulic Effects of Jet Current Alignment on Flow Pattern in a Cylindrical Aquaculture Tank**

**M. Sajedi-Sabegh<sup>\*</sup>, M. Saneie, H. A. Abdolhay, Sh. Behmanesh and A. Matinfar**

<sup>\*</sup> Corresponding Author: Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, AREEO, P. O. Box: 13445-1136, Tehran, Iran. Email: m\_sabegh@yahoo.com

Received: 23 July 2015, Accepted: 5 December 2015

In recirculating aquaculture systems, inlet flow current usually enters from the inner pyramid of the tank in the form of submerged jets. The hydraulics of jet alignment has an important effect on flow uniformity and solid removal efficiency. This paper examined experimental analysis of flow pattern in a cylindrical tank by placing a nozzles at each of three depths using four angle options (20°, 40°, 60°, and 80°) between the radius and jet alignments. The results indicate that angles of 40° and 60° created more uniform current in the tank. Changing the jet alignment from 20° to 80° decreased the number of local eddies and increased the average velocity in the tank. Comparison of inlet currents from one nozzle and from three nozzles showed that increasing the number of nozzles increased the jet velocity and the average velocity in the tank, but decreased the ratio of average velocity of the tank to external velocity of the nozzle jet. Paired comparisons of four options (average velocity for angles of 20° (op. 1), 40° (op. 2), 60° (op. 3), and 80° (op. 4)) show that options 2 and 3 had the strongest correlation. Shear stress monitoring in a round tank showed that shear stress increased at the stations of options 2 and 4. Increasing the ratio of h/H, increased the Froude number near the bed of the tank.

**Keywords:** Circular Current, Cylindrical Tank, Jet Angle, Recirculating Aquaculture System, Submerged Jet