

بررسی جبهه‌ی پیش‌رونده و غلظت نهایی جریان جت سطحی در آب‌های عمیق

سمیرا سلمان‌زاده*

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های
آبی، دانشکده مهندسی علوم آب،
دانشگاه شهید چمران اهواز.

پست الکترونیک:

samira.salmanzade@yahoo.com

جواد احدیان

دانشیار، دانشکده مهندسی علوم آب،
دانشگاه شهید چمران اهواز.

پست الکترونیک:

Ja_ahadiyan@yahoo.com

توانایی پیش‌بینی غلظت و پیشروی جبهه آلودگی در منابع آبی پذیرنده، به‌خصوص در حوالی و حواشی وارد شدن به منابع آبی از نظر زیست‌محیطی، حائز اهمیت می‌باشد. از این‌رو، در این پژوهش به بررسی جبهه پیش‌رونده آلودگی و میزان غلظت آن تحت اثر نازل تخلیه‌کننده با زوایای همگرایی متفاوت پرداخته می‌شود. برنامه‌ریزی انجام آزمایش‌های این تحقیق، تحت اثر متغیرهای هندسی و هیدرولیکی پایه‌ریزی گردید که بررسی اثر زاویه‌ی همگرایی نازل تخلیه‌کننده جریان، هدف اصلی این پژوهش می‌باشد. بررسی‌های حاصل از نتایج نشان می‌دهند که افزایش زاویه‌ی همگرایی نازل تخلیه‌کننده جریان از ۱۵ به ۹۰ درجه، تأثیر معناداری در افزایش پیشروی جبهه آلودگی خواهد داشت. همچنین در تحلیل داده‌ها مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت سیال چگال، میزان غلظت در طول خط مرکزی منحنی پایین‌افتادگی نسبت به غلظت اولیه ۵۲ درصد افزایش می‌یابد. در نهایت، میزان غلظت خط مرکزی فلاکس جت با افزایش زاویه‌ی همگرایی از ۱۵ به ۹۰ درجه، ۴۶ درصد افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: جبهه پیش‌رونده آلودگی، جت سطحی، زاویه‌ی همگرایی نازل، محیط پیرامون عمیق، غلظت نهایی خط مرکزی.

۱- مقدمه

مردن را در خدمت دارند، روندی فزاینده یافته‌است. با توجه به اینکه آب، یکی از مهمترین و بنیادی‌ترین عوامل حیات موجودات زنده است، از این نظر، جلوگیری از آلودگی آن نیز به همان نسبت، مهم و مورد توجه می‌باشد [۱].

رایج‌ترین روش تخلیه پساب، به‌ویژه برای کارخانه‌ها و پروژه‌های کوچک، تخلیه توسط انواع تخلیه‌کننده‌ها و کانال‌های ساحلی در منابع آب پذیرنده می‌باشد. این روش، باعث اختلاط اولیه بسیار کمی می‌شود. همچنین منجر به افزایش غلظت در محدوده تخلیه پساب، خصوصاً به‌علت نیروی شناوری معکوس، در لایه‌های پایینی منبع پذیرنده می‌شود [۲].

برای افزایش راندمان اختلاط می‌توان از انواع جت‌ها استفاده نمود. بدیهی است که با افزایش سرعت جریان جت، اختلاط افزایش می‌یابد. جریان جت‌های متلاطم

امروزه آلودگی‌های محیطی به‌ویژه آلودگی آب به اشکال مختلف، در نتیجه پیشرفت تکنولوژی و بالا رفتن استانداردهای زندگی، در حال افزایش است. از آنجاکه آلاینده‌ها در ارتباط با مسائل زیست‌محیطی مشکلاتی را موجب می‌گردند و شرایط مطلوب را برای زندگی، نامطلوب می‌گردانند، این مسأله توجه بسیاری از دانشمندان و سیاستمداران را به خود جلب نموده‌است. میزان آلودگی‌های صنعتی، کشاورزی و خانگی در جوامع پیشرفته بشری در نتیجه فعالیت‌های انسانی که تکنولوژی

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۶/۰۹/۱۷، بازنگری ۱۳۹۶/۰۱/۲۱، پذیرش ۱۳۹۶/۰۲/۰۹

DOI: 10.22091/cer.2017.509.1018 شناسه دیجیتال

سرعت، کاهش دما در طول خط مرکزی جت، نسبت رقیق‌شدگی و اختلاف فشار هسته جت با محیط پیرامون اشاره نمود. این محققین دریافتند که موقعیت سرعت خط مرکزی به‌صورت تدریجی تغییر می‌نماید [۹]. پالومار، لارا و لوسادا^۶، به بررسی و اندازه‌گیری شرایط هیدرولیکی جت، با جریان همسو با شدت کم پرداخته و مدل انتگرالی را برای پیش‌بینی خصوصیات جریان ارائه داده‌اند. آزمایش‌های انجام گرفته توسط آنها برای اندازه‌گیری تراژکتوری با عدد فرود چگال برابر ۵ و سرعت سیال پذیرنده برابر ۸ میلیمتر بر ثانیه بوده است. در نهایت، محققین بیان می‌کنند مدل انتگرالی معرفی شده، برای سرعت‌های صفر تا ۸/۷ میلیمتر بر ثانیه، پیش‌بینی خوبی از روند جریان داشته است [۱۰]. بیسالدوچ^۷ و همکاران، ناحیه نزدیک‌شونده در جریان جت چگال منفی را مورد بررسی قرار دادند. این محققین جریان خروجی از جت مایل را بررسی کرده و با سیستم پردازش تصویر، توزیع سرعت را در ناحیه نزدیک جت بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد که ناحیه نزدیک و دور جت بر یکدیگر تأثیر بسزایی داشته و تحلیل پخشیدگی جت را تنها براساس ناحیه نزدیک جت نمی‌توان تشریح نمود [۱۱]. خیرخواه‌گیلده و همکاران، به بررسی دیواره جت‌های شناور تحت شرایط مستغرق پرداختند و تأثیر میانگین عدد رینولدز و ناویراستوکس در مدل‌های متلاطم را مورد بررسی قرار دادند [۱۲]. دستغیب، موسوی جهرمی و نوروزپور، به پیش‌بینی مشخصات هیدرولیکی جت شناور دایره‌ای با استفاده از شبکه‌های مصنوعی انسیس (ANN^۸) و انفیس (ANFIS^۹) پرداختند. داده‌های آزمایشگاهی با نتایج تحلیلی شبکه‌های مصنوعی مقایسه گردید. بررسی‌ها نشان داد که شبکه‌ی مصنوعی ANFIS نتایج بهتری نسبت به ANN ارائه می‌دهد [۱۳]. اخیراً

نوعی از جریان‌ات آشفته هستند که براساس نیروهای مومنتوم و شناوری ارزیابی می‌شوند. جریان جت معمولاً توسط یک منبع مداوم و تحت تأثیر نیروهای مومنتوم انتشار می‌یابد [۳].

دویت، ونری و کیتلز^۱، تحقیقاتی بر مبنای تعامل جت‌های متلاطم در حالت جریان متقاطع پایه‌گذاری نمودند. نتایج آنها نشان داد که میانگین سرعت افقی جریان جت شناور در نازل جت، بزرگتر از سرعت عرضی جریان (متقاطع) بوده که برای حالت عمیق، قوی‌تر می‌باشد [۴]. اولیور، دیویدسون و نوکز^۲، تراژکتوری و میانگین رقت خط مرکزی جت شناور منفی را با استفاده از لیزر و سیستم فلورسنس در نقطه شیرجه بررسی نمودند. آنها به این نتیجه رسیدند که ارتفاع نازل جت و زاویه‌ی همگرایی می‌تواند جریان مرزی را تحت تأثیر قرار دهد [۵-۷]. عابسی و روبرتز^۳، به بررسی اثر جهت‌گیری نازل جت چگال در محیط‌های راکد پرداختند. آنها آزمایش‌های خود را برای جهت‌گیری افقی نازل برای زوایای ۱۵-۸۵ درجه نسبت به افق برنامه‌ریزی نمودند. محققین نتیجه گرفتند که اختلاط در میان لایه‌های بالایی نقطه برخورد اتفاق می‌افتد. بنابراین به زاویه نازل وابسته بوده و بیشینه غلظت در نقطه تأثیر در زوایای ۴۵-۶۵ درجه اتفاق می‌افتد. همچنین غلظت در ناحیه نزدیک جت^۴ بیشتر نسبت به جهت‌گیری نازل، وابسته است و برای زوایای بالاتر از ۶۰ درجه کاملاً با پیش‌بینی‌ها مطابقت دارد [۸]. مینگوان^۵ و همکاران، خصوصیات جت مستغرق با درجه حرارت متفاوت نسبت به منبع پذیرنده را با استفاده از تکنیک‌های عددی بررسی کردند. این محققین، قوانین جریان توسعه‌یافته در جت‌های مستغرق را تحلیل نموده و با نتایج سایر محققین مقایسه نمودند. از جمله پارامترهای مورد مقایسه آنها می‌توان به توزیع

¹- Dewit, Van Rhee and Keetels

²- Oliver, Davidson and Nokes

³- Abessi and Roberts

⁴- Near- field

⁵- Minguan

⁶- Palomar, Lara and Losada

⁷- Besalduch

⁸- Artificial Neural Network

⁹- Adaptive Neuro- Fuzzy Inference Systems

طبق مروری بر مطالعات انجام شده، مسأله تخلیه جریان‌های چگال، پساب‌ها و فاضلاب‌های سنگین از نظر محیط‌زیستی دارای اهمیت می‌باشند. کاهش اثرات مخرب انواع آلاینده‌ها در هنگام تخلیه و همچنین کاهش آلودگی سواحل، مسأله‌ای مهم تلقی می‌شود. از این‌رو، در این پژوهش به بررسی این مهم پرداخته شده است. طبق مروری بر تحقیقات گذشته، بررسی همزمان جبهه پیش‌رونده جریان جت چگال و غلظت نهایی این جبهه تحت اثر نازل تخلیه‌کننده جریان صورت پذیرفته است. بنابراین در مقاله حاضر، این بررسی در آب‌های عمیق تحت شرایط هندسی و هیدرولیکی متفاوت انجام گرفته است. تفاوت این پژوهش با سایر مطالعات انجام گرفته، در شیوه و نحوه تخلیه جریان جت چگال می‌باشد. در این پژوهش، جریان خروجی به‌صورت کاملاً مماس بر سطح محیط پذیرنده تخلیه می‌شود. همچنین از نازل‌های دایره-ای با قطرهای مختلف جهت تخلیه جریان چگال استفاده شده است. با توجه به کمبود پژوهش‌های جامع در این زمینه و همچنین اهمیت موضوع و تحقق این اهداف، در پژوهش حاضر به بررسی این موضوعات پرداخته شده است. از این‌رو، با استفاده از مدل فیزیکی ساخته شده در آزمایشگاه هیدرولیک، جریان جت سطحی تحت اثر متغیرها و آزمایش‌های متعددی که برنامه‌ریزی شده است؛ بررسی شده و در انتها به تحلیل آماری پرداخته می‌شود. همچنین صحت‌سنجی نتایج حاصل با استفاده مدل فیزیکی ارزیابی می‌گردد.

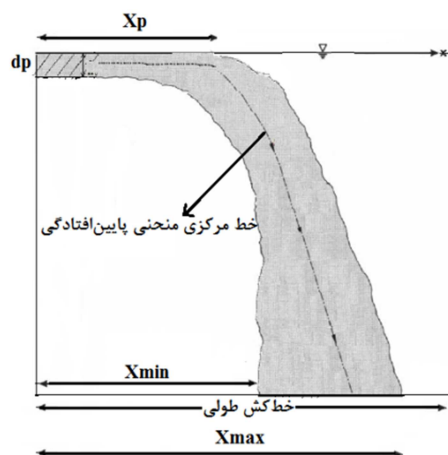
۲- مواد و روش‌ها

با توجه به اهداف مدنظر در تحقیق حاضر جهت بررسی جبهه پیش‌رونده جریان جت سطحی تحت تأثیر زاویه‌ی همگرایی نازل تخلیه‌کننده جریان، اقدام به برنامه‌ریزی آزمایشگاهی گردید. براین‌اساس، در این بخش، پارامترهای حاکم بر حرکت جریان جت سطحی به‌صورت بدون بعد ارائه می‌شود. شکل ۱ پارامترهای مؤثر

سلمان‌زاده و احدیان، به بررسی پراکنش حدی جریان جت خروجی در محیط هم‌فاز و غیرهم‌فاز پرداختند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که توسعه‌ی محدوده پیشروی جریان جت در محیط غیرهم‌فاز، در اعداد فرود چگال زیر بحرانی روی می‌دهد. همچنین، از نظر کمی، حداکثر توسعه‌ی محدوده پیشروی جریان جت در محیط غیرهم‌فاز تا حدود ۲۰۰ برابر قطر نازل است که در محیط هم‌فاز چنین توسعه‌ای از جریان تا ۴۰۰ برابر قطر نازل روی می‌دهد. بررسی‌های محققان نشان می‌دهد که در غلظت‌های بیشتر از ۴۰ تا ۵۰ گرم بر لیتر اثر محیط پذیرنده‌ی غیرهم‌فاز در توسعه‌ی جریان جت بسیار بیشتر از اثر محیط پذیرنده‌ی هم‌فاز است [۱۴]. سعیدی، عابسی و علی‌آبادی‌فراهانی، به پیش‌بینی رژیم‌های حاکم بر جریان تخلیه سطحی فاضلاب چگال در مقایسه با نتایج مدل شبیه‌ساز گرمیکس پرداختند. تخلیه فاضلاب‌های سنگین تولیدی در مناطق ساحلی در دریا از طریق کانال‌های ساحلی، روشی متداول در دفع این پساب‌ها در محیط‌زیست محسوب می‌گردد. جریان‌های تخلیه‌ای بسته به شرایط تخلیه و محیط پذیرنده، الگوهای متفاوتی خواهند یافت. در این تحقیق، سه الگوی جریان جت آزاد، جت چسبیده به کرانه و پلوم که در مطالعه‌های آزمایشگاهی و میدانی مختلف گزارش گردیده، در نظر گرفته شده است. گرمیکس یک مدل شبیه‌ساز رایانه‌ای است که برای مدل‌سازی اختلاط فاضلاب‌های چگال در تخلیه جریان به پیکره‌های آبی توسعه داده شده است. این مدل، برای تعیین الگوی حرکتی جریان در تخلیه سطحی از مبانی مربوط به فاضلاب‌های شناور بهره می‌گیرد. الگوهای جریان استخراج شده از اجرای مدل گرمیکس و مشاهدات آزمایشگاهی هر یک جداگانه در قالب یک نمودار بی‌بعد که محورهای افقی و قائم آن در برگرنده مجموع شرایط آزمایش‌اند، توسعه داده شد و محدوده وقوع هر الگو تعیین گردید [۱۵].

۲-۱- تحلیل ابعادی

در شکل ۱ محور y مختصاتی منطبق بر محل جت و مبدأ مختصات در راستای محور جت و منطبق بر کف فلوم آزمایشگاهی در نظر گرفته شده‌است.



شکل ۱- نمایش منحنی پایین‌افتادگی جریان جت سطحی به‌همراه پارامترهای مربوطه.

X_{max} ، طول نهایی مرز بالایی تراژکتوری، X_{min} ، طول نهایی مرز پایینی تراژکتوری، ρ_j ، جرم حجمی سیال جت، g ، شتاب ثقل، θ_c زاویه‌ی همگرایی برای نازل جت، C_0 ، غلظت اولیه سیال جت، C_m غلظت خط مرکزی منحنی پایین‌افتادگی در مکان‌های مختلف از جت، σ کشش سطحی محیط پذیرنده، u_0 ، سرعت اولیه‌ی ورودی و x و y ، مختصات طولی و ارتفاعی جریان جت می‌باشند.

در جریان جت سطحی که در این پژوهش بررسی و اندازه‌گیری شده‌اند را نشان می‌دهد. این پارامترها شامل X_p ، موقعیت نقطه شیرجه، X_{max} ، طول نهایی مرز بالایی تراژکتوری و X_{min} ، طول نهایی مرز پایینی تراژکتوری می‌باشد.

با توجه به پارامترهای حاکم بر پدیده جریان جت و به‌منظور دستیابی به روابط حاکم به‌صورت عبارات بدون بعد در این تحقیق، اقدام به آنالیز ابعادی بین پارامترهای مؤثر در این پدیده گردید. پارامترهای مؤثر در حرکت سیال جت در سیال پذیرنده را می‌توان به‌صورت رابطه (۱) بیان نمود. در این رابطه، ρ_a ، جرم حجمی سیال پذیرنده، μ_j ، لزجت مطلق اولیه سیال جت، d_p ، قطر جت، X_p ، حد انتهایی پیشروی افقی خط مرکزی جریان جت نسبت به محل خروج یا موقعیت نقطه شیرجه،

$$f(\rho_a, \mu_j, d_p, X_p, X_{max}, X_{min}, \rho_j, g, \theta_c, C_0, C_m, \sigma, u_0, x, y) = 0 \quad (1)$$

کلی مرز پایینی، پارامتر هفتم، زاویه‌ی همگرایی جت، پارامتر هشتم، نسبت غلظت خط مرکزی تراژکتوری در مکان‌های مختلف از محل جت به غلظت اولیه (غلظت نهایی) و پارامتر نهم، محدوده پیشروی جریان جت می‌باشد. با توجه به این روابط در کلیه آزمایش‌های انجام شده، پارامترهای مختلف در روابط بدون بعد، اندازه‌گیری و مقادیر آنها محاسبه گردید.

در نهایت با تلفیق پارامترهای بدون بعد در رابطه (۲)، پارامترهای بدون بعد اصلی و مؤثر حاکم بر پدیده جریان جت، که در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرند، حاصل گردید. در رابطه (۲)، پارامتر اول، عدد رینولدز فلاکس ورودی، پارامتر دوم، عدد فرود چگال جریان جت، پارامتر سوم، عدد وبر پیش‌رونده، پارامتر چهارم، نسبت طولی پیش‌رونده افقی، پارامتر پنجم، نسبت طول کلی مرز بالایی، پارامتر ششم، نسبت طول

$$f\left(\frac{\rho_j \cdot u_0 \cdot d_p}{\mu_j}, \frac{u_0}{\sqrt{\left(\frac{\Delta\rho}{\rho_a} \cdot g \cdot d_p\right)}}, \frac{\rho_j \cdot u_0^2 \cdot X_p}{\sigma}, \frac{X_p}{d_p}, \frac{X_{max}}{d_p}, \frac{X_{min}}{d_p}, \theta_c, \frac{C_m}{C_0}, \frac{x}{d_p}\right) = 0 \quad (2)$$

برای اندازه‌گیری دبی جریان جت از دبی‌سنج دقیق با دقت ۰/۲ درصد، جهت تعیین هدایت الکتریکی آب^{۱۰} و دمای لحظه‌ای آب‌نمک مخزن تزریق و آب‌فلوم از دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی^{۱۱} دیجیتالی پرتابل با دقت ۰/۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر استفاده گردید. از طرفی، به‌صورت عمودی به فاصله هر ۱۵ سانتی‌متر یک خط‌کش دقیق با دقت ۱ میلی‌متر و به ارتفاع ۱ متر، همچنین خط‌کش‌های طولی چاپ شده بر روی کاغذ روغنی شفاف بر روی دیواره‌ی فلوم چسبانیده شد. در طی انجام آزمایش‌ها سیال پذیرنده از طریق مخزن تأمین و پمپ، به فلوم منتقل می‌شد و تا ارتفاع معلومی فلوم را پر می‌نمود. جریان جت نیز از طریق مخزن تزریق و پمپ مربوطه و پس از آن از طریق نازل‌های دایره‌ای جت، بر روی سطح سیال پذیرنده (آب زلال) موجود در فلوم آزمایشگاهی تخلیه می‌شد. مخزن تزریق جریان جت نیز به‌صورت مکعب‌مستطیل ساخته شد و با توجه به حجم مزبور، میزان مشخصی از نمک به مخزن تزریق انتقال داده می‌شد. جهت مشخص نمودن مسیر حرکت جریان آب‌نمک در سیال پذیرنده، از ماده‌ی رنگی حلال در آب استفاده شد. دانسیته سیال جت از طریق محاسباتی با روش شناوری و اندازه‌گیری آزمایشگاهی با استفاده از هیدرومتر دقیق ۱۵۱H استاندارد شده در یک دمای مشخص محاسبه و برداشت می‌شد. پس از شکل‌گیری منحنی پایین‌افتادگی، داده‌برداری با قرائت از روی خط‌کش‌های نصب شده بر روی فلوم انجام می‌گردید و به‌صورت هم‌زمان با دوربین^{۱۲} مدل hs ۵۰SX عکس‌برداری صورت پذیرفت.

لازم به توضیح است که برنامه‌ریزی آزمایش‌ها به‌گونه‌ای انجام شد که در تمامی آنها عدد رینولدز جریان جت در محدوده جریان متلاطم قرار گیرد که کمینه مقدار آن ۳۴۸۳/۰۵ بود. بنابراین، در ارائه نتایج از عدد رینولدز صرف نظر شده‌است.

۲-۲- برنامه‌ریزی آزمایش‌ها

برنامه‌ریزی انجام آزمایش‌های این تحقیق بدین صورت پایه‌ریزی شد که کلیه آنها در سه قطر ۵، ۸ و ۱۵ میلی‌متر برای زوایای همگرایی ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه اقدام به بررسی پراکنش حدود و تعیین غلظت خط مرکزی منحنی پایین‌افتادگی برای سه غلظت ۱۵، ۳۰ و ۶۰ گرم بر لیتر (سیال آب نمک) انجام گردید.

۲-۳- مدل آزمایشگاهی

در این مرحله با توجه به اهداف پژوهش، اقدام به استفاده از مدل فیزیکی موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز گردید. بخش‌های مختلف این مدل فیزیکی را می‌توان در بندهای زیر خلاصه نمود:

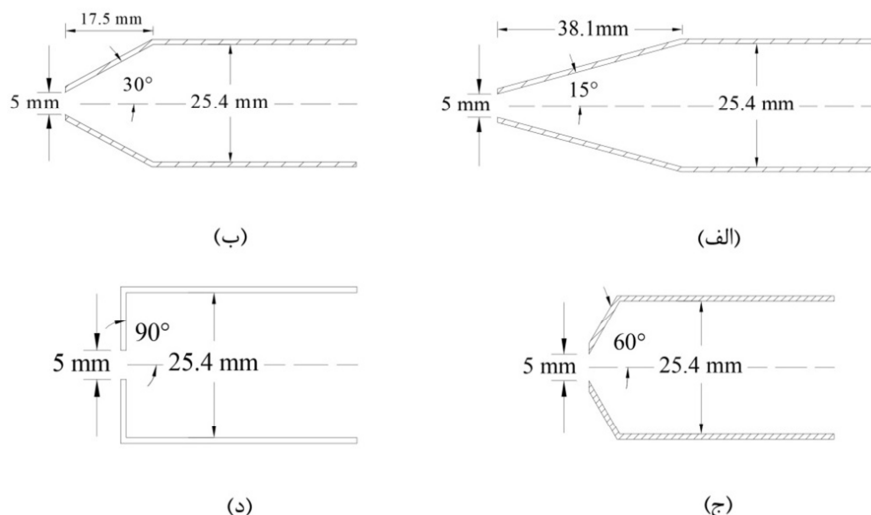
- ۱- مخزن تأمین آب و پمپ انتقال آب به فلوم آزمایش‌ها.
- ۲- مخزن تزریق جت و پمپ اختلاط به‌منظور همگن نمودن سیال جت.
- ۳- فلوم آزمایش‌ها و پمپ تزریق جت.
- ۴- لوله انتقال سیال از مخزن تزریق به جت.
- ۵- خروجی فلوم آزمایش‌ها و تجهیزات مربوطه.
- ۶- تهیه جت با زاویه همگرایی مختلف در قطر اولیه ۵، ۸ و ۱۵ میلی‌متر.

در شکل ۲ نمونه‌ای از نازل‌های تخلیه‌کننده‌ی جریان با زوایای همگرایی مختلف نشان داده شده‌است.

¹⁰- Electrical Conductivity (EC)

¹¹- Electrical Conductivity meter (EC meter)

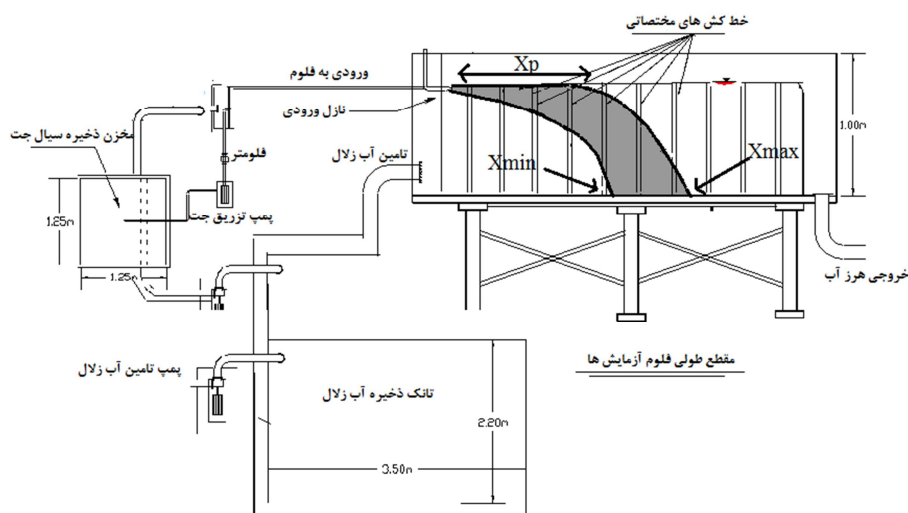
¹²- Canon



شکل ۲- نمایش جت ۵ میلی‌متر با زاویه‌های همگرایی مختلف. (الف) ۱۵، (ب) ۳۰، (ج) ۶۰ و (د) ۹۰ درجه.

۳ مدل آزمایشگاهی جریان جت و فلوم در محیط پذیرنده نشان داده شده است.

جهت اطمینان و کنترل از قرائت صحیح خط‌کش‌های نصب شده بر روی فلوم، مجدداً داده‌ها با تصاویر ضبط شده توسط دوربین مقایسه گردید. در شکل



شکل ۳- مدل آزمایشگاهی جریان جت سطحی و فلوم در محیط پذیرنده.

سپس تأثیر زاویه‌ی همگرایی بر میزان غلظت جریان جت سطحی پیش‌رونده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

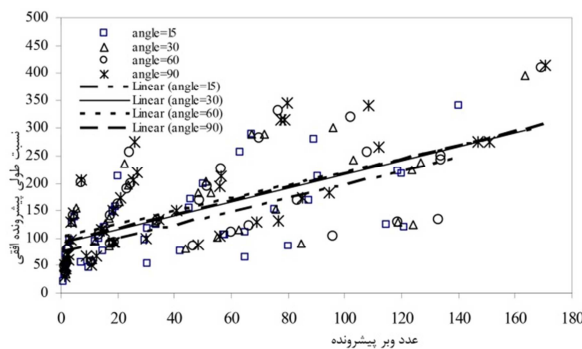
۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی موقعیت نقطه‌ی شیرجه تحت اثر زاویه‌ی همگرایی

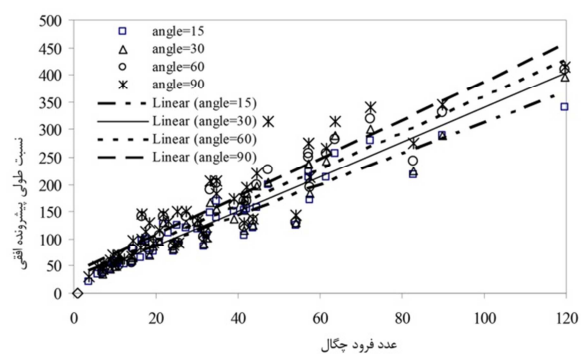
موقعیت نقطه شیرجه یکی از پارامترهای مهم در مسائل زیست‌محیطی است؛ چراکه، این بخش از منحنی پایین‌افتادگی، باعث پیشروی بیشتر جریان جت شده و

طبق اهداف ذکر شده در این مقاله که بررسی جبهه پیش‌رونده و غلظت نهایی جریان جت سطحی در آب‌های عمیق می‌باشد، ابتدا به بررسی اثر زاویه‌ی همگرایی نازل تخلیه‌کننده جریان بر میزان پیشروی جت سطحی تخلیه‌شونده در محیط عمیق پرداخته می‌شود.

پذیرنده صورت پذیرفته‌است، کشش سطحی محیط پذیرنده (آب زلال) بر پیشروی فلاکس جت مؤثر می‌باشد. در شکل ۴- الف و ۴- ب تغییرات موقعیت نقطه شیرجه با توجه به عدد فرود چگال و عدد وبر پیش‌رونده در زوایای همگرایی مختلف نشان داده شده‌است. در شکل ۴- ب هدف، نشان دادن وابستگی حرکت جریان جت سطحی به نیروهای چسبندگی در سیال پذیرنده و ویژگی‌های محیط است.



(ب)



(الف)

شکل ۴- تغییرات موقعیت نقطه شیرجه تحت اثر زاویه‌ی همگرایی نازل (الف) عدد فرود چگال و (ب) عدد وبر پیش‌رونده در زوایای همگرایی ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه.

سیال جت قبل از تزریق، در یک لوله با سطح بزرگتری در ارتباط بوده و با نزدیک شدن به مقطع خروجی نازل، مومنتوم که عامل اصلی پیشروی جریان است، افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، افزایش زاویه همگرایی باعث ایجاد شوک بیشتر به جریان ورودی به سیال پذیرنده می‌گردد. به گونه‌ای که در زاویه ۹۰ درجه این پدیده به صورت کاملاً ناگهانی اتفاق می‌افتد. همین امر سبب پیشروی جبهه جریان گردیده و در نهایت منحنی پایین‌افتادگی با طی مسافت طولانی‌تری نسبت به نازل تخلیه‌کننده سقوط می‌نماید. خطوط برازش داده شده در شکل ۴، روند تغییرات طول‌های پیش‌رونده تحت اثر زاویه‌ی همگرایی را نشان می‌دهد. با کاهش زاویه‌ی همگرایی روند پیشروی طول‌های مورد بررسی با شیب کمتری ادامه می‌یابد. به عبارتی در یک عدد فرود چگال مساوی، با افزایش زاویه‌ی همگرایی، طول‌های پیشروی فرونی می‌یابند.

شکل ۴ و جدول ۱ ارتباط بین پیشروی افقی جریان جت یا همان پیشروی موقعیت شیرجه را نسبت به زاویه‌ی همگرایی نازل تخلیه‌کننده جریان نشان می‌دهد. مطابق با نتایج حاصل شده در خصوص توسعه منحنی‌های پایین‌افتادگی در جریان پذیرنده، مشاهده شده‌است که با افزایش زاویه همگرایی و در عددهای فرود چگال یکسان، میزان پیشروی جبهه جریان افزایش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان در مومنتوم اولیه ورودی جریان جت جست‌وجو نمود. هرچه زاویه همگرایی بزرگتر باشد، جریان جت با نیروی بیشتری به جریان پذیرنده وارد می‌شود. این پدیده در تمامی آزمایش‌های انجام شده، مشاهده گردید؛ به طوری که، در تمامی غلظت‌ها، دبی‌های اولیه و قطرهای مورد آزمایش با افزایش زاویه همگرایی توسعه منحنی پایین‌افتادگی در جریان پذیرنده، افزایش می‌یافت. افزایش زاویه‌ی همگرایی نازل تخلیه‌کننده به این معنا می‌باشد که

موقعیت نقطه شیرجه (X_p) در حدود ۴۱ درصد افزایش می‌یابد. جدول ۱ موقعیت نقطه شیرجه در اعداد فرود چگال یکسان در زوایای همگرایی مختلف را نشان می‌دهد.

زاویه‌ی همگرایی باعث توسعه پیشروی بیشتر جریان در محیط پذیرنده می‌گردد و محدوده پیشروی جریان جت با طی کردن با فاصله بیشتری نسبت به نازل خروجی از آن دور می‌گردد. در نهایت، تحلیل نتایج نشان می‌دهد که به‌طور میانگین، با افزایش زاویه‌ی همگرایی،

جدول ۱- مقادیر نسبت طولی پیش‌رونده افقی (X_p/d_p) با در نظر گرفتن اعداد فرود و زاویه‌ی همگرایی.

زاویه (درجه)	۱۵	۳۰	۶۰	۹۰
عدد فرود	۶۸/۷۵	۷۰	۷۸/۷۵	۱۲۸/۷۵
	۱۴۰	۱۵۶	۲۰۲	۲۰۶
	۲۱۴	۲۳۶	۲۵۶	۲۷۶
	۲۵۶	۲۹۰	۲۹۶	۳۱۴
	۲۸۰	۳۰۰	۳۲۰	۳۴۰
	۲۹۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۴۴
	۳۴۰	۳۹۶	۴۱۰	۴۱۴

همچنین موقعیت نقطه شیرجه در زاویه‌ی ۹۰ درجه حداکثر می‌باشد.

در شکل ۵، وابستگی پیشروی حدود بالا و پایین نسبت به زاویه‌ی همگرایی نازل نشان داده شده‌است و کلیه داده‌ها در برابر عدد فرود چگال رسم شده‌است. با توجه به شکل، مشاهده می‌شود میزان پیشروی حدود با افزایش عدد فرود چگال افزایش می‌یابد. با افزایش عدد فرود چگال تغییرات سرعت در واحد طول افزایش یافته و باعث توسعه بیشتر فلاکس جت می‌شود. براساس شکل ۵، با افزایش زاویه‌ی همگرایی نازل تخلیه کننده جریان جت سطحی، به‌طور میانگین برای هر چهار زاویه، حد بالا (X_{max}) ۴۰ درصد و حد پایین (X_{min}) ۴۵ درصد افزایش می‌یابد.

۳-۳- اختلاط و غلظت نهایی منحنی سقوط جریان جت سطحی تحت اثر زاویه‌ی همگرایی

در این بخش، نتایج مشاهدات آزمایشگاهی انجام شده به منظور بررسی اختلاط و غلظت نهایی جریان چگال تخلیه شده توسط جت سطحی دایره‌ای تحت اثر

۳-۲- بررسی پراکنش حدهای بالا و پایین تحت اثر زاویه‌ی همگرایی

بررسی پراکنش حدهای بالا و پایین از نظر حفظ محیط‌زیست بستر منابع آبی، حائز اهمیت می‌باشد. بیشینه طول مرز پایینی (X_{min}) به‌عنوان اولین و بیشینه طول مرز بالایی (X_{max}) به‌عنوان آخرین نقطه‌ای که جریان چگال با بستر برخورد می‌نماید، در نظر گرفته می‌شود. حیات بسیاری از موجودات کفزی در اقیانوس‌ها و دریاها با خطر برخورد آلاینده‌ها به کف مواجه است. از این‌رو، پیش‌بینی اولین و آخرین محل برخورد آلاینده با کف منابع آبی اهمیت پیدا می‌کند. در این تحقیق بیشینه طول‌های مرز بالایی و پایینی تحت تأثیر زاویه‌ی همگرایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به اطلاعات موجود در جدول ۲ و ۳ و همچنین شکل ۵، با افزایش زاویه‌ی همگرایی نازل تخلیه کننده جریان، میزان پیشروی حدود بالا و پایین در منحنی پایین افتادگی جبهه پیش‌رونده جریان افزایش می‌یابد. به‌گونه‌ای که بیشینه طول پیشروی در منحنی پایین افتادگی برای حدود بالا، پایین و

صورت پذیرفت. در تخلیه سطحی جریان چگال، جریان خروجی تحت تأثیر دو نیروی افقی مومنتوم و نیروی شناوری در محیط پذیرنده پیشروی می‌نماید.

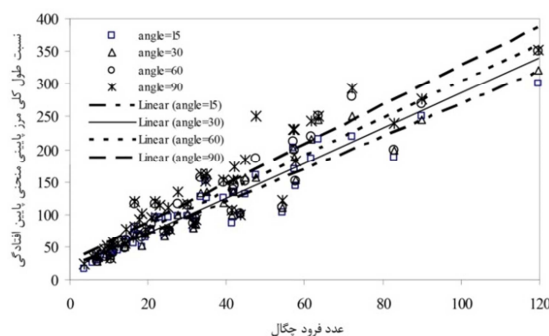
زاویه‌ی همگرایی ارائه می‌گردد. اندازه‌گیری غلظت خط مرکزی جریان در طول منحنی پایین‌افتادگی از طریق EC متر دقیق دیجیتالی و ارتباط میزان شوری با غلظت

جدول ۲- مقادیر نسبت طول کلی مرز بالایی منحنی پایین‌افتادگی (X_{max}/d_p) با در نظر گرفتن اعداد فرود و زاویه‌ی همگرایی.

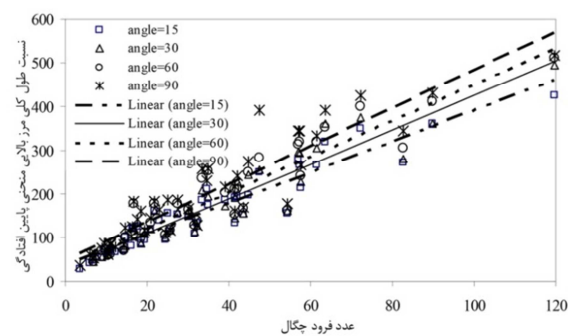
زاویه (درجه)	۱۵	۳۰	۶۰	۹۰
عدد فرود	۱۸/۵	۸۷/۵	۹۸/۴	۱۶۰/۹
	۳۴/۹	۱۷۵	۲۵۲/۵	۲۵۷/۵
	۵۷/۳	۲۶۷/۵	۳۲۰	۳۴۵
	۶۳/۶	۳۲۰	۳۵۲/۵	۴۲۵
	۷۲/۲	۳۵۰	۴۰۰	۴۲۵
	۸۹/۸	۳۶۲/۵	۴۱۲/۵	۴۳۰
	۱۱۹/۷	۴۲۵	۵۱۲/۵	۵۱۷/۵

جدول ۳- مقادیر نسبت طول کلی مرز پایینی منحنی پایین‌افتادگی (X_{min}/d_p) با در نظر گرفتن اعداد فرود و زاویه‌ی همگرایی.

زاویه (درجه)	۱۵	۳۰	۶۰	۹۰
عدد فرود	۱۸/۵	۵۱/۲۵	۶۵	۱۰۱/۲۵
	۳۴/۹	۱۳۴	۱۵۴	۱۶۲
	۵۷/۳	۱۷۰	۲۰۰	۲۳۰
	۶۳/۶	۲۱۶	۲۵۰	۲۵۰
	۷۲/۲	۲۲۰	۲۷۰	۲۹۴
	۸۹/۸	۲۵۰	۲۸۰	۲۷۶
	۱۱۹/۷	۳۰۰	۳۵۰	۳۵۲



(ب)



(الف)

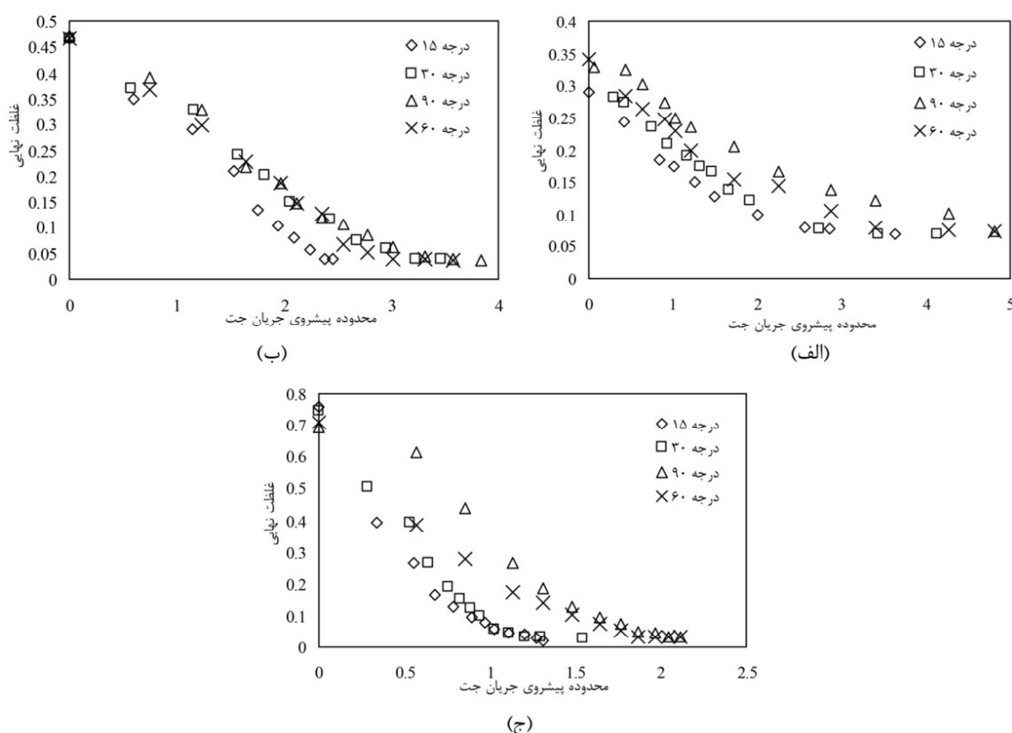
شکل ۵- تغییرات حدود تحت اثر زاویه‌ی همگرایی نسبت به عدد فرود چگال در زوایای همگرایی ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه. (الف) حد بالایی و (ب) حد پایینی.

این نیرو، سرعت پیشروی جریان جت کاهش می‌یابد. در این شرایط، نیروی شناوری بر نیروی مومنتوم غلبه نموده، جریان، ارتباط خود را با سطح آزاد آب از دست داده و

در بخش ابتدایی مسیر، به دلیل سرعت ناشی از نیروی مومنتوم، حرکت جریان به صورت افقی و در مجاورت با سطح آب خواهد بود. به تدریج با کم شدن اثر

به تدریج با افزایش نیروی شناوری منحنی سقوط کرده و سبب پخشیدگی جریان شده که موجب می‌گردد غلظت خط مرکزی منحنی، کاهش یافته و در نهایت برای هر چهار زاویه، در نقطه برخورد با بستر، میزان غلظت یکسان گردیده و به غلظت آب شرب که نقش سیال پذیرنده را به عهده دارد، نزدیک می‌شود. در قسمت‌های مختلف این شکل، مقایسه‌ی سه غلظت ۱۵، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب برای زوایای ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه با دبی 0.378 مترمکعب بر ثانیه رسم شده است. تحلیل داده‌های آزمایشگاهی نشان داد که با افزایش غلظت سیال چگال از ۱۵ به ۶۰ گرم بر لیتر، میزان غلظت در طول خط مرکزی منحنی پایین‌افتادگی نسبت به غلظت اولیه ۵۲ درصد افزایش می‌یابد. در نهایت، میزان غلظت خط مرکزی فلاکس جت با افزایش زاویه‌ی همگرایی از ۱۵ به ۹۰ درجه، ۴۶ درصد افزایش می‌یابد.

جریان به صورت مستغرق تغییر شکل می‌یابد. با افزایش زاویه نازل جت، نیروی مومنتوم که سبب پیشروی جریان می‌گردد، افزایش می‌یابد. این افزایش سرعت، جریان جت را تنها به جلو می‌راند و فرصت پخشیدگی و جابه‌جایی ذرات نمک با مولکول‌های سیال پذیرنده که آب شرب می‌باشد را نمی‌دهد. شکل ۶ نشان‌دهنده این موضوع می‌باشد. در شکل ۶، پروفیل‌های غلظت برای زاویه‌های ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه برای غلظت‌های ۱۵، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب رسم شده است. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، زاویه‌ی ۹۰ درجه بیشترین غلظت را دارا می‌باشد. در این زاویه میزان مومنتوم خطوط جریان به دلیل وارد شدن شوک ناگهانی در زاویه‌ی همگرایی حداکثر می‌باشد و همین عامل سبب می‌شود که در شرایط یکسان برای هر سه زاویه، غلظت خط مرکزی نسبت به غلظت اولیه در زاویه ۹۰ درجه بیشترین باشد.



شکل ۶- پیشروی جبهه‌ی جریان چگال تحت تأثیر زاویه‌ی همگرایی در غلظت‌های (الف) ۱۵، (ب) ۳۰ و (ج) ۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب.

غلظت اولیه سیال جت بیشتر باشد، منحنی پایین‌افتادگی چگال‌تر و سنگین‌تر خواهد بود و در مقایسه با حالتی که غلظت اولیه‌ی سیال جت کم‌تر است، محدوده‌ی پیشروی جریان جت کمتر می‌باشد و منحنی پایین‌افتادگی سریع‌تر

جدول ۴ نمونه‌ای از پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. در این جدول، میزان غلظت در محدوده پیشروی جت موجود می‌باشد. با توجه به اطلاعات موجود در جدول، مشاهده می‌شود که هرچه

سقوط می‌نماید. همچنین با پیشروی بیشتر محدوده جت، میزان غلظت خط مرکزی منحنی پایین‌افتادگی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، زمانی که فلاکس جت در حال طی کردن مسیر خود در سیال پذیرنده می‌باشد این فرصت را

پیدا می‌کند تا بتواند با سیال پذیرنده مخلوط شود و از غلظت آن کاسته شود. هرچه این محدوده پیشروی بیشتر باشد، فرصت بیشتری برای مخلوط و ترکیب شدن با سیال پذیرنده حاصل می‌گردد.

جدول ۴- تغییرات غلظت خط مرکزی جریان در محدوده‌های مختلف x/d_p در زوایای ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه.

ب- غلظت اولیه، ۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب					
محدوده x/d_p زاویه (درجه)	۰-۱	۱-۲	۲-۳	۳-۴	۴-۵
۱۵	۰/۴	۰/۱۹	۰/۰۵	-	-
۳۰	۰/۴۲	۰/۲۵	۰/۱	۰/۰۳۸	-
۶۰	۰/۴۳	۰/۲۵	۰/۱۳	۰/۰۳۸	-
۹۰	۰/۴۳	۰/۲۶	۰/۱۵	۰/۰۴	-

الف- غلظت اولیه، ۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب					
محدوده x/d_p زاویه (درجه)	۰-۱	۱-۲	۲-۳	۳-۴	۴-۵
۱۵	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۶	-
۳۰	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷
۶۰	۰/۲۸	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۰۸
۹۰	۰/۳۱	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۰۸

ج- غلظت اولیه، ۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب					
محدوده x/d_p زاویه (درجه)	۰-۱	۱-۲	۲-۳	۳-۴	۴-۵
۱۵	۰/۲۷	۰/۰۴	-	-	-
۳۰	۰/۳۲	۰/۰۷	-	-	-
۶۰	۰/۴۵	۰/۰۷	۰/۰۲	-	-
۹۰	۰/۵۱	۰/۲۱	۰/۰۳	-	-

برای مشخص نمودن رابطه بین پارامترها از نرم‌افزار آماری SPSS^{۱۳} بهره گرفته شد؛ به گونه‌ای که روش‌های مختلف خطی و غیرخطی مورد آزمون آماری با پارامترهای وابسته قرار گرفت و نهایتاً مدل زیر برای پارامترها استخراج شد.

در جدول ۵، بهترین ضرایب a، b، c، d با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS به روش رگرسیون غیرخطی برای ۸۰ درصد داده‌ها استخراج شدند. براساس ضرایب محاسبه شده برای مدل‌های آماری، خصوصیات مهم توسعه جریان جت در سیال پذیرنده، اقدام به برآورد دقت آنها گردید. در این راستا با استفاده از روش ریشه‌ی خطای جذر

میانگین مربعات ($RMSE^{14}$) خطای هریک از معادلات یاد شده برآورد گردید.

با توجه به اینکه ضریب رگرسیون (R^2) به تنهایی معیار مناسبی برای دقت مربوط به معادلات نمی‌باشد، یکی از روش‌های متداول جهت برآورد دقت یک معادله، روش ریشه متوسط مجذورات مجموع خطاها می‌باشد. جدول ۶، برای هریک از معادلات نتیجه‌گیری شده دقت مربوطه را براساس ۲۰ درصد داده‌هایی که در استخراج مدل آماری نقشی نداشته‌اند؛ نشان می‌دهد.

از طرفی، در این تحقیق با استفاده از مدل‌های آماری بسط داده شده برای هر آزمایش با توجه به روابط (۳) تا (۶)، مقادیر C_m/C_0 ، X_p/d_p ، X_{max}/d_p و

¹⁴- Root Mean Summation of Square Error (RMSE)

¹³-Statistical Package for Social Science

حالت، نمایه‌ای از میزان دقت هر یک از مدل‌های آماری متناظر آنها ترسیم گردید. ضریب رگرسیون نیز در این محاسبه و در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده خواهد بود.

جدول ۵- تخمین ضرایب پارامترهای بدون بعد.

پارامتر	X_{max}/d_p	X_{min}/d_p	X_p/d_p	C_m/C_0
a	۵۹/۰۷۱	۴۰/۳۲۳	۴۷/۷۶۵	-۰/۱۸۸
b	-۱/۲۵۸	-۴/۱۶۴	-۱/۲۳۱	/۱۷۲
c	۴/۳۱۲	۴/۳۹۷	۰/۱۷	۰/۴۵
d	-۷/۰۸۱	-۱۳/۱۸۸	-۶/۷۱۲	۰/۱۲۱

$$\frac{X_{max}}{d_p} = a\sqrt{Wb_F} + b\sqrt{Fr_d} + c\sqrt{\theta} + d \quad R^2 = 0.936 \quad (۳)$$

$$\frac{X_{min}}{d_p} = a\sqrt{Wb_F} + b\sqrt{Fr_d} + c\sqrt{\theta} + d \quad R^2 = 0.903 \quad (۴)$$

$$\frac{X_p}{d_p} = a\sqrt{Wb_F} + bFr_d + c\theta + d \quad R^2 = 0.956 \quad (۵)$$

$$\frac{C_m}{C_0} = aLn\left(\frac{x}{d_p}\right) + b(\theta^c) + d \quad R^2 = 0.82 \quad (۶)$$

جدول ۶- برآورد دقت مدل‌های آماری با معیار RMSE.

پارامتر	$\frac{X_{max}}{d_p}$	$\frac{X_{min}}{d_p}$	$\frac{X_p}{d_p}$	$\frac{C_m}{C_0}$
RMSE	۴۳	۴۱/۸	۴۴/۶	۳۸/۵
MSE	۱۹۹۰/۹	۱۹۱۷/۷	۵۳۰/۴	۰/۰۸
دقت (درصد)	۸۴	۸۳	۸۶	۸۱
خطا (درصد)	۱۶	۱۷	۱۴	۱۹

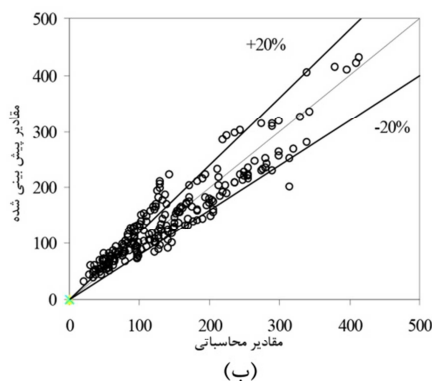
شکل ۷، مقادیر اندازه‌گیری شده هر یک از پارامترهای فوق را در مقابل مقادیر متناظر محاسباتی برای کلیه آزمایش‌های انجام شده (داده‌های مربوط به استخراج و صحت‌سنجی) نمایش می‌دهد. یکی از راهکارهای بررسی دقت معادلات آماری، استفاده از خط ۴۵ درجه و بررسی تغییرات مقادیر اندازه‌گیری در مقابل مقادیر محاسباتی است. این تغییرات در شکل ۷ بررسی شده است. مطابق با شکل ۷، مدل‌های آماری تخمین

طول‌های نامبرده در منحنی تراژکتوری جت سطحی چگال را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی نموده و ۲۰ درصد داده‌های محاسباتی در مقابل پیش‌بینی در نزدیکی خط ۴۵ درجه واقع شده‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

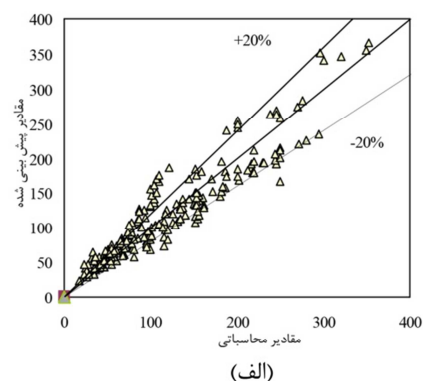
در این تحقیق به بررسی جبهه پیش‌رونده و غلظت نهایی جریان جت سطحی در آب‌های عمیق پرداخته شد.

میزان غلظت خط مرکزی فلاکس جت، تحت اثر زاویه‌ی همگرایی نازل تخلیه‌کننده مورد ارزیابی قرار گرفت.

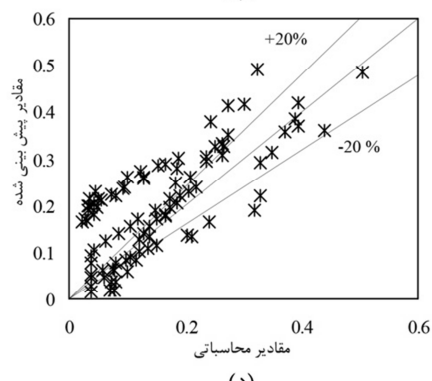


(ب)

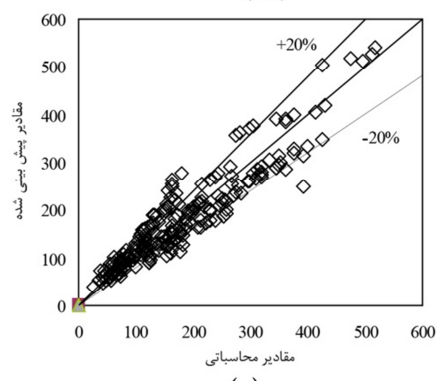
کلیه پارامترهای جت سطحی شامل موقعیت نقطه شیرجه، بیشینه طول‌های مرز بالا و پایین و همچنین



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۷- مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده. (الف) بیشینه طول مرزپایین، (ب) بیشینه طول شیرجه، (ج) بیشینه طول مرز بالا و (د) غلظت نهایی.

نمودن هرچه بیشتر آلودگی از منبع تخلیه و ساحل رودخانه دارای اولویت می‌باشد، از این‌رو، استفاده از نازل‌های تخلیه‌کننده با زوایای بزرگ‌تر در اولویت می‌باشد.

در تکمیل پژوهش حاضر می‌توان پیشنهاداتی را برای مطالعات بعدی مطرح نمود. به‌عنوان مثال می‌توان به بررسی جریان جت سطحی در محیط‌های آبی کم عمق پرداخت. همچنین به‌جای استفاده از نازل‌های تخلیه‌کننده جریان دایره‌ای، از نازل با سایر اشکال هندسی استفاده نمود. استفاده نمودن از نازل‌های چندگانه به‌جای نازل منفرد می‌تواند نتایج بررسی‌های جبهه پیش‌رونده را تحت تأثیر قرار دهد. به‌علاوه بررسی‌هایی جهت کاهش هم‌زمان غلظت جریان جت چگال و افزایش پیشروی هرچه بیشتر جبهه آلودگی صورت پذیرد.

بررسی‌های نهایی نشان داد که هرچه زاویه‌ی همگرایی نازل تخلیه‌کننده بیشتر و به ۹۰ درجه نزدیک‌تر شود، عملکرد تخلیه جهت دور نمودن جبهه جریان چگال از منبع تخلیه، مطلوب‌تر صورت می‌پذیرد. نتایج حاصل شده نشان داد که هرچه زاویه‌ی همگرایی نازل تخلیه‌کننده جریان افزایش یابد، جریان جت چگال پیشروی بیشتری دارد. به‌عبارت دیگر، جبهه آلودگی از محل تخلیه‌کننده فاصله بیشتری می‌گیرد که این موضوع از نظر زیست‌محیطی در تخلیه فاضلاب‌های سنگین و همچنین تخلیه پساب کارخانجات در دریاها و منابع آبی و دور نمودن آنها از سواحل دارای اهمیت است. از طرفی مشخص گردید با افزایش زاویه‌ی همگرایی، غلظت خط مرکزی منحنی پایین‌افتادگی جریان پیش‌رونده افزایش می‌یابد. اما از آنجاکه که در مساله آلودگی سواحل، دور

مراجع

- [1] Abessi, O., & Roberts, P. (2014). "Multiport Diffusers for Dense Discharges", *Hydraulic Engineering*, 140(8), 04014032.
- [2] Gungor, E., & Roberts, P.J.W. (2009). "Experimental studies on vertical dense jets in a flowing current", *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(11), 935-948.
- [۳] احدیان، ج.، محمدی، ف.، بهرامی، ح. (۱۳۹۳). "بررسی اثر زاویه قائم و خصوصیات هیدرولیکی بر نحوه توزیع جریان جت غلیظ منفرد با استفاده از مدل فیزیکی"، *مجله علوم و فنون دریایی*، دوره ۱۳، شماره ۱، ش.ص. ۵۱-۶۰.
- [4] De wit, L., Van Rhee, C., & Keetels, G. (2014). "Turbulent Interaction of a Buoyant Jet with Cross-Flow", *Journal of Hydraulic Engineering*, 140(12), 04014060.
- [5] Oliver, C.J., Davidson, M.J., & Nokes, R.I. (2013). "Predicting the Near-field Mixing of Desalination Discharges in a Station Environment", *Desalination*, 309, 148-155 .
- [6] Oliver, C.J., Davidson, M.J., & Nokes, R.I. (2013). "Removing the Boundary Influence on Negatively Buoyant Jets", *Environmental Fluid Mechanics*, 13, 625-648 .
- [7] Oliver, C.J., Davidson, M., & Nokes, R I. (2013). "Behavior of Dense Discharges Beyond the Return Point", *Journal of Hydraulic Engineering*, 139(12), 1304-1308.
- [8] Abessi, O., & Roberts, P.J. (2015). "Effect of Nozzle Orientation on Dense Jets in Stagnant Environments", *Journal of Hydraulic Engineering*, 141(8), 06015009.
- [9] Minguan, Y., Shengnan, X., Can, K., & Yuli, W. (2013). "Effect of Geometrical Parameters on Submerged Cavitation Jet Discharged from Profiled Central-body Nozzle", *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 26(3), 476-482.
- [10] Palomar, P., Lara, J.I., & Losada, I.J. (2012). "Near Field Brine Discharge Modeling Part2: Validation of Commercial Tools", *Desalination*, 290, 28-42.
- [11] Besalduch, L.A., Badas, M.G., Ferreri, S., & Querzoli, G. (2014). "On the near field behavior of inclined negatively buoyant jets", In *EPJ Web of Conferences* , 67, 02007.
- [12] Kheirkhah Gildeh, H., Mohammadian, A., Nistor, I., & Qiblawey, H. (2014). "Numerical Modeling of Turbulent Buoyant Wall Jets in Stationary Ambient Water", *Journal of Hydraulic Engineering*, 140(6), 04014012.
- [13] Dastgheib, S., Musavi-Jahromi, S.H., & Nowroozpour, A. (2013). "Predicting Hydraulic Properties of Circular Buoyant Jets in the Static Ambient Flow Using ANN and ANFIS", In *World Environmental and Water Resources Congress 2013*, 1880-1895.
- [۱۴] سلمانزاده، س.، احدیان، ج. (۱۳۹۵). "پراکنش حدی جریان جت خروجی در محیط هم‌فاز و غیرهم‌فاز"، *مجله علوم و مهندسی آبیاری*، دانشگاه شهید چمران اهواز، دوره ۳۹، شماره ۱، ش.ص. ۹۳-۱۰۷.
- [۱۵] سعیدی، م.، عابسی، ع.، علی آبادی فرهانی، آ. (۱۳۹۵). "پیش‌بینی رژیم‌های حاکم بر جریان تخلیه سطحی فاضلاب چگال در مقایسه با نتایج مدل شبیه‌ساز کُرمیکس"، *مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست*، دوره ۱۸، شماره ۳، ش.ص. ۱۴۳-۱۵۵.

The Investigation of Progressive Front and Superficial Jet Final Concentration in Deep Water

S. Salmanzadeh*

M.Sc. Student, Faculty of
Water Sciences and
Engineering, Shahid Chamran
University of Ahwaz.

e-mail:

samira.salmanzade@yahoo.com

J. Ahadiyan

Associate Professor, Faculty of
Water Sciences and
Engineering, Shahid Chamran
University of Ahwaz.

e-mail:

Ja_ahadiyan@yahoo.com

The ability how to predict concentration and pollution front progressing in receiving water resources is environmentally essential, especially adjacency to the water resources entrance. Hence, this study analyses the pollution progressive front and its rate of concentration affected by discharging nozzle with various convergence angles. In this research, the conduct of experiments schedule is based on geometrical and hydraulic variable effect. The main purpose of this study is to analyze the convergence angle of flow discharging nozzle. The results obtained, showed that the convergence angle of flow discharging nozzle increase from 15° to 90° degree has a remarkable impact on pollution front progressing increase. Data analysis showed that increase in dense fluid leads to 52 percent increase in concentration rate through the trajectory center line in comparison with initial concentration. Eventually, the jet flux center line concentration rate rises by 46 percent as convergence angle increases.

Keywords: Progressive front of pollution, Superficial jet, Convergence angle nozzle, Deep water, Final concentration of center line.

* Corresponding author