پراکنش حدی جریان جت خروجی در محیط هم‌فاز و غیر هم‌فاز

سمیرا سلمان‌زاده[1] و جواد احدیان[2*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز
۲*- نویسنده مسئول: استادیار گروه سازه‌های آبی دانشکده‌ی مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱/۱۸

چکیده

در این پژوهش پراکنش حدی جریان جت در محیط هم‌فاز و غیر هم‌فاز مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا یک مدل فیزیکی شامل فلوم آزمایشگاهی و ملحقات مربوط به آن ساخته شد. بر روی این فلوم جت‌های هیدرولیکی دایره‌ای به قطر پنج، هشت و پانزده میلیمتر تحت زوایای همگرایی مختلف مورد آزمون واقع شدند. آزمایش‌ها، در محیط پذیرنده هم‌فاز (آب زلال) و غیر هم‌فاز (هوا) انجام گردید. طبق نتایج به دست آمده نوع محیط پذیرنده باعث تغییر در شرایط مرزی، مسیر حرکتی جریان تخلیه شونده و توسعه‌ی جریان خواهد شد. نتایج نشان داد که توسعه فلاکس جریان جت در محیط غیر هم‌فاز، در اعداد فرود چگال زیر بحرانی روی می‌دهد و حال آن‌که در محیط هم فاز عدد فرود دنسیمتریک در محدوده‌ی فوق بحرانی قرار می‌گیرد. از نظر کمی حداکثر توسعه فلاکس جریان جت در محیط غیر هم‌فاز تا حدود ۲۰۰ برابر قطر نازل می‌باشد که در محیط هم‌فاز چنین توسعه‌جریانی تا ٤۰۰ برابر قطر نازل روی می‌دهد. بررسی‌ها نشان داد که برای غلظت‌های بیشتر از ٤۰ تا ۵۰ گرم بر لیتر اثر محیط پذیرنده غیر هم فاز در توسعه‌ی جریان جت بسیار بیشتر از محیط هم فاز است. همچنین مکانیزم حاکم بر توسعه فلاکس جریان جت ریزشی و مستغرق بررسی گردید و مشخص شد که در حالت ریزشی شیب منحنی تزریق، بیشتر از حالت مستغرق می‌باشد.

کلیدواژه‌ها : محیط غیر هم‌فاز، جت ریزشی، توسعه‌ی جریان جت، پراکنش حدی.

Distribution limit of jet flow in the same and dissimilar phases of ambient fluid

S. Salmanzade[1] and J. Ahadiyan[2*]

1- M.sc. Student of Hydraulic Structures, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
2*- Assistant Professor of Department of Hydraulic Structures, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received:15 November 2014 Accepted:7 April 2015

Abstract

In this article we studied the distribution limits of jet injection in the same phase and dissimilar phase ambient. To achieve the proposes of this research a physical model was set upped consist of experimental flume and related accessories, circular jets nozzles 5, 8 and 15 mm diameter which had various contraction angles. The experiments were conducted at the same phase (clear water) and dissimilar phase (air surrounding) of ambient fluid. According to the results there is a significant effect on the properties of distribution limits on the partially submerged and free jet flow. The results showed that the jet flux has been developed at the dissimilar ambient fluid in the subcritical Densimetric Froude number. While the Densimetric Froude number was supercritical range in the same phase ambient flow. The quantity investigation shows that the maximum of jet flux development in the dissimilar ambient flow in the jet nozzle diameter is about 200 times where in the same phase ambient fluid this development has the nozzle diameter occurred 400 times. The results showed that the effect of dissimilar phase ambient on development of jet flow is much

greater than the same phase ambient at the concentrations of 40 to 50 grams per liter. The govern mechanisms of the flux development of free outfall and submerged jet flow and It was found that the slope of the curve of the free jet injection is more of a submerged jet.

Keywords: Dissimilar phase, Free jet, Development of jet flow, Ddistribution limit.

مقدمه

امروزه باتوجه به افزایش روند رو به رشد صنایع و توسعه‌ی شهرنشینی، حجم زهاب و پساب در حال افزایش می‌باشد. تخلیه پساب‌های سنگین در نواحی ساحلی نیز رشد بسیار چشمگیری داشته است (دل بن و همکاران[۱]، ۱۹۹۴). این پساب‌ها عمدتاً در نمک‌زداهای ساحلی، صنایع استخراج و پالایش نفت و گاز، صنایع تولید کود و سم و صنایع ساحلی برداشت شن و ماسه تولید می‌گردند (کینگ لاو و همکاران[۲]، ۲۰۰۴). باتوجه به توسعه‌ی روزافزون صنایع ساحلی نمک‌زدایی آب‌دریا، طی سال‌های اخیر با استفاده از تخلیه-کننده‌های سطحی که تاکنون بیشتر در تخلیه‌ی فاضلاب‌های بسیار حجیم نیروگاه‌های ساحلی مورد استفاده بود، برای تخلیه‌ی فاضلاب-های شور و سنگین تولیدی در این تأسیسات نیز مورد توجه قرار گرفته است (احدیان و موسوی جهرمی، ۱۳۸۸). باتوجه به اینکه رودخانه‌ها، تالاب‌ها و سواحل دریا به عنوان منابع آب پذیرنده زهاب و پساب تولید شده در اثر فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و شهری می‌باشند، برای حفظ شرایط کیفی، زیست‌محیطی و توریستی این اماکن، نیاز به کارگیری روش‌های مناسب دفع پساب و زهاب می‌باشند (احدیان و موسوی جهرمی، ۲۰۰۹). تخلیه به آب‌های جاری، مخازن و رودخانه‌ها امروزه مشکل بزرگی را برای جوامع بشری به وجود آورده است. روش‌های مختلفی برای دفع پساب و زهاب وجود دارد، اما تمام این روش‌ها ازنظر فنی و زیست‌محیطی مناسب نمی‌باشند. دفع ثقلی زهاب و پساب در منابع پذیرنده کم‌عمق (مانند کانال‌ها، دریاچه‌های کم عمق، رودخانه‌ها و تالاب‌ها) در مقادیر کوچک به صورت سنتی مرسوم می‌باشد، اما در این روش، اختلاط اولیه زهاب و پساب دفع شده با منبع پذیرنده، بسیار کم می‌باشد و نیروی شناوری (در مورد زهاب‌ها و پساب‌های چگال) که در اثر غلظت بیشتر نسبت به سیال پذیرنده ایجاد می‌شود، باعث حرکت به سمت بستر و کناره‌های منبع پذیرنده و کاهش سطوح اختلاط آنها می‌شود (فیشر و همکاران[۳]، ۱۹۷۹). یکی از راه‌های مؤثر و سریع برای رقیق نمودن جریان چگال، استفاده از جت مستغرق متلاطم است. جت‌های مستغرق متلاطم، در فاصله زمانی نسبتاً کوتاهی مقدار زیادی آب و جریان آلودگی را به علت شرایط تلاطمی بالای خود مخلوط نموده و اثرات مخرب آن را سریعاً کاهش می‌دهند (کیم و همکاران[۴]، ۲۰۰۱). به طور کلی این روش دفع، دارای مزایایی مانند اختلاط اولیه زیاد، امکان تعیین محل اصلی اختلاط و فاصله آن از محل دفع و جلوگیری از ایجاد لایه‌های زهاب و پساب در بستر منبع پذیرنده می‌باشد. طی سال‌های گذشته مطالعات وسیعی برای تعیین رفتار این تخلیه کننده‌ها در محیط‌های پذیرنده صورت گرفته‌است. تئوری جت‌های مستغرق توسط (آلبرستون و همکاران[۵]، ۱۹۵۰) با فرض‌هایی نظیر الگوی فشار هیدرواستاتیکی و تشابه پروفیل‌های سرعت در مکان‌های مختلف از جت منطبق بر توزیع گوسین ارائه شده است. در تحقیقات ایشان ضریب انتشار جت برای سرعت و غلظت بررسی شده است. (پینسینس و لیست[۶]، ۱۹۷۳)، (رابرتس و همکاران[۷]، ۱۹۹۷)، آزمایش‌هایی را در مورد جت‌های مایل با زوایای ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه نسبت به افق و در منبع پذیرنده ساکن انجام داده‌اند. آنها نتیجه گرفته‌اند که زاویه ۶۰ درجه باعث بیشترین رقیق سازی می‌شود. بر اساس این نتایج، زاویه ۶۰ درجه به عنوان استاندارد طراحی تخلیه پساب‌های شور اعلام شده است. بر اساس تحقیقات رابرتس و همکاران (۱۹۹۷) برای حالتی که اختلاف درجه حرارت بین سیال جت و سیال پذیرنده ناچیز است، منحنی پایین‌افتادگی جریان ایجاد نشده و جریان جت به صورت آزاد سقوط می‌کند. احدیان و موسوی‌جهرمی (۲۰۰۹) تأثیر خصوصیات هیدرولیکی جت بر ژئومتری تراژکتوری در جت‌های دایره‌ای مستغرق در منابع آب پذیرنده را با استفاده از تحلیل‌های آزمایشگاهی و مدل فیزیکی انجام دادند که براساس یافته‌های ایشان مشخص شده‌است که میزان تغییر طول تراژکتوری به قطر نازل وابسته بوده که دلیل عمده آن کاهش نیروهای اصطکاکی، اثر کاهش عرض پیشانی جت و در نتیجه، سطح کمتر مقابل جریان و کاهش نیروی اصطکاکی درگ می‌باشد. تحقیقات کاتبرسن و دیویس[۸] (۲۰۰۸) بر مبنای ترسیب ناشی از پساب جریان خروجی از جت‌های دایره‌ای مستغرق که به صورت افقی در منبع آب پذیرنده تخلیه می‌گردید، پایه‌گذاری گردید. آنها رفتار متوسط رسوب گذاری ناشی از جریان جت مستغرق را به

1-Del Bene *et al.*
2-Keung Law *et al.*
3-Fischer *et al.*

4-Kim *et al.*
5-Albertson *et al.*
6-Pincince and List
7-Roberts's *et al.*
8-Cuthberston and Davis

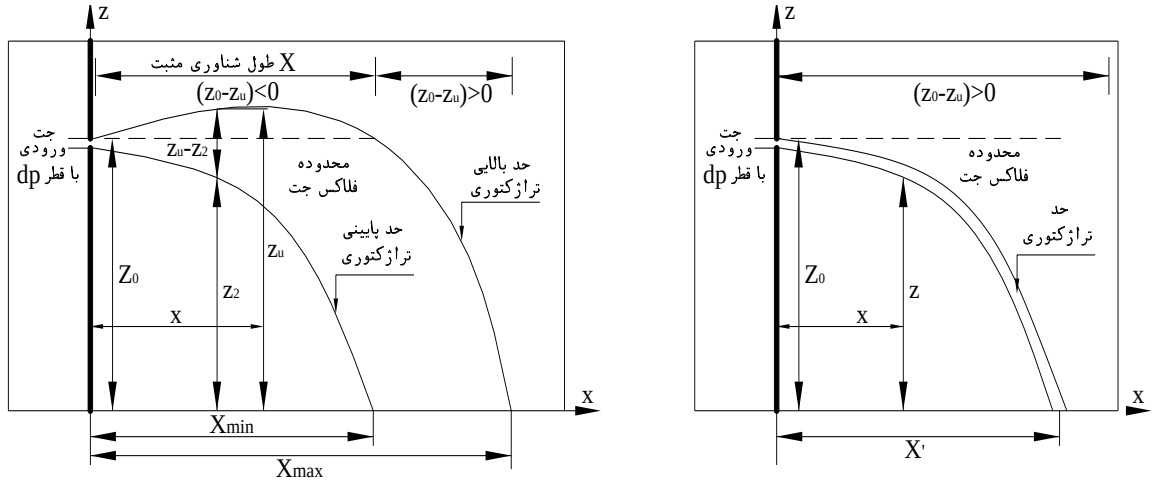
صورت آزمایشگاهی بررسی نمودند. بر اساس نتایج پژوهش این محققین رسوب گذاری ناشی از جریان جت به سه پارامتر اساسی نیروی مومنتم، شناوری فلاکس جریان جت و خصوصیات سرعت سقوط ذرات رسوبی موجود در پساب و همچنین سرعت جریان پذیرنده وابسته است. در خصوص توزیع و پراکنش جت‌های مستغرق در محیط‌های پذیرنده لایه‌بندی شده از قبیل سواحل دریا و یا مخازن پشت سدها می‌توان به تحقیق‌های تئوری و آزمایشگاهی جیرکا[1] (۲۰۰۴ و ۲۰۰۶) اشاره نمود. وی جریان جت تنها و چندگانه را مدل‌سازی نمود. نتیجه‌ی تحقیق وی مشخص نمود که که برای ناحیه نزدیک جت که هنوز اختلاط کاملی میان جت و سیال پذیرنده رخ نداده است، می‌توان از مدل انتگرالی با دقت قابل قبول بهره جست. لای و لی[2] (۲۰۱۲) به بررسی اختلاط جت چگال شیبدار در محیط‌های ساکن پرداختند. آنها با استفاده از مسیریاب جریان، منحنی‌های تراژکتوری را تحت زوایای مختلف خروجی جریان و غلظت‌های مختلف دنبال نمودند. نتایج آنها نشان داد که افتادگی تراژکتوری در جت‌های چگال بیشتر از سایرین دیده می‌شود. لای و لی (۲۰۱۲) در تحقیقات خود، پیرامون بررسی مشخصات منحنی پایین افتادگی جت‌های مستغرق چگال منفی با استفاده از مدل فیزیکی و ریاضی در زوایای ۱۵، ۳۰، ۳۷/۵، ۴۵، ۵۲/۵ و ۶۰ درجه نسبت به افق پرداختند. در تحقیق آنها روش لیزر و فلورسنس و تعیین سرعت ذرات با استفاده از عکس‌برداری به کار گرفته شده است. بازه عدد فرود چگال مورد استفاده آنها ۱۰الی۴۰ بوده‌است و نتایج خود را به‌صورت پارامترهای مختلف در این بازه ارائه نموده‌اند. یکی از مهمترین نتایجی که از تحقیق این محققین به دست آمده اختلاف حدود ۵۰ تا۲۰۰ درصدی در پارامترهای اندازه‌گیری شده توسط آنها با نتایج آزمایش‌های شائو و لا[3] (۲۰۱۱) می‌باشد؛ این در حالی است که در هر دو تحقیق از ابزار اندازه‌گیری بسیار پیشرفته و یکسانی استفاده نموده‌اند. شائو و لا (۲۰۱۱) در تحقیقات خود در زمینه تأثیر پدیده کواندا بر جت‌های آزاد افقی چگال پرداختند. آنها ویژگی‌های مختلف نقطه برخورد جریان با کف مخزن را با توجه به تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی بررسی نموده‌اند و دریافتند که محورهای سرعت و غلظت در نقطه برخورد، به علّت تفاوت در شرایط مرزی در کف مخزن، از یکدیگر دور می‌شوند. اولیور و همکاران[4] (۲۰۱۳a) به پیش‌بینی اختلاط در نزدیکی میدان تخلیه آب‌شیرین‌کن‌ها در محیط‌های ساکن پرداختند. آن‌ها از مدل انتگرالی اصلاح شده برای پیش‌بینی شناوری منفی در نزدیکی میدان تخلیه استفاده کردند. این مدل براساس پروفیل گوسین در سطح بیرونی این جریان‌ها طراحی شده و اصل سادگی انتگرالی را حفظ نموده‌است. از این طریق تأثیر شناوری ناشی از ناپایداری در قسمت داخلی جریان از طریق کاهش شار شناوری جریان اصلی به ثبت رسیده است. اولیور و همکاران (۲۰۱۳b) مطالعات خود را با هدف حذف تأثیر مرزها در شناوری منفی جت‌ها گسترش دادند. آن‌ها با استفاده از سیستم لیزر- فلورسانس به تعیین پراکنش جریان، حداکثر و حداقل غلظت و منحنی پایین افتادگی جریان برای طیف گسترده‌ای از اعداد فرود دنسیمتریک و زاویه‌های هم‌گرایی مختلف پرداختند. عابسی و همکاران[5] (۲۰۱۲) به تخلیه سطحی پساب در حالت شناوری منفی در آب‌های ساکن لایه‌بندی نشده پرداختند. آنها رفتار اختلاطی جریان را با استفاده از دستگاه ضبط ویدئویی دیجیتال همراه باآغشته‌سازی مواد تخلیه‌کننده به رنگ و همچنین استفاده از میکروسنسورهای رسانا بررسی نمودند و با استفاده از پردازش تصاویر، منحنی‌های تراژکتوری جریان جت را رسم نمودند. نتایج آنها نشان داد تخلیه جریان چگال سطحی، حداکثر رقّت را در پایان منطقه اختلاط اولیه دارد. این اختلاف در تحقیق آنها حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد بیشتر گزارش شده است. آنها بعد ازمقایسه‌ی نتایج بی‌بعد بدست آمده از نمودارها در نحوه و نوع پراکنش جریان جت، به نتایج مشابهی در جت مستغرق با شناوری مثبت دست یافتند. با توجه به آنچه که در بخش مروری بر منابع ذکر گردید، در مجموع تأثیر نوع محیط پذیرنده کمتر مورد توجه قرار گرفته است؛ لذا در تحقیق حاضر مقایسه آزمایشگاهی پراکنش حدی جریان جت مستغرق در محیط پذیرنده‌ی هم‌فاز و غیر هم‌فاز صورت پذیرفته است. در این راستا متغیرها و آزمایش‌های متعددی برنامه‌ریزی شده که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

با توجه به اهداف مدنظر در تحقیق حاضر برای بررسی تأثیر پارامترهای هندسی، هیدرولیکی جت مستغرق و ریزشی و همچنین اثر نوع محیط پذیرنده بر نحوه پراکنش جبهه‌ی آلودگی ناشی از جریان تخلیه‌شونده اقدام به برنامه‌ریزی آزمایشگاهی گردید. بر این اساس، در این بخش پارامترهای حاکم بر حرکت جریان جت مستغرق و ریزشی به صورت بدون بعد ارائه می‌شود. شکل (۱) پارامترهای مؤثر بر جریان جت مستغرق و ریزشی را به تصویر کشیده است.

1-Jirka
2-Lai and Lee
3-Shao and Law
4-Oliver *et al.*

5-Abessi *et al.*



ب (احدیان، ۱۳۸۸) **الف**

شکل ۱- پارامترهای موثر بر جریان جت، (الف): محیط پذیرنده غیر هم‌فاز (ب) محیط پذیرنده هم‌فاز

تحلیل ابعادی

تحلیل ابعادی جت در محیط پذیرنده هم‌فاز

با توجه به پارامترهای حاکم بر پدیده جریان جت و به منظور دست‌یابی به روابط بدون بعد حاکم، اقدام به تحلیل ابعادی بین پارامترهای تأثیرگذار بر این پدیده شد. پارامترهای مؤثر در حرکت سیال جت در سیال پذیرنده‌ی هم‌فاز را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

$$f_1(\rho_a, \rho_j, \mu_j, u_0, d_p, g, Z_0, (x, z_u), (x, z_2), X, X_{\max}, X_{\min}, \theta_c) = 0 \quad (۱)$$

در رابطه‌ی (۱)، ρ_a: جرم حجمی سیال پیرامون (آب زلال)، ρ_j: جرم حجمی سیال جت، μ_j: لزجت مطلق اولیه سیال جت، u_0: سرعت اولیه ورودی جت، d_p: قطر جت، g: شتاب ثقل، (x,z_u): مختصات مرزبالایی جریان پیش‌رونده، (x,z_2): مختصات مرزپایینی جریان پیش‌رونده، X: فاصله‌ای که تا آن فلاکس جریان جت (تراژکتوری) رو به بالا حرکت می‌کند، X_{max}: طول نهایی مرز بالایی تراژکتوری، X_{min}: طول نهایی مرز پایینی تراژکتوری، Z_0: ارتفاع محل جت در بالاترین قسمت قطر و θ_c: زاویه هم‌گرایی برای نازل جت می‌باشد. با استفاده از تحلیل ابعادی بین پارامترهای فوق، روابط بدون بعد زیر برای این پدیده استخراج شد:

$$f_1\left(\frac{\rho_j u_0 d_p}{\mu_j}, \frac{u_0}{\sqrt{g' d_p}}, \frac{Z_0 - Z_U}{x}, \left(\frac{x}{h_0}, \frac{z_U}{h_0}\right), \left(\frac{x}{h_0}, \frac{z_2}{h_0}\right), \frac{X}{d_p}, \frac{X_{max}}{d_p}, \frac{X_{min}}{d_p}, \theta_c\right) = 0 \quad (۲)$$

در رابطه‌ی (۲)، پارامتر اول عدد رینولدز فلاکس ورودی (Re_j)، پارامتر دوم عدد فرود دنسیمتریک (Fr_d) که در آن g': شتاب ثقل موثر و برابر با $\frac{\Delta\rho}{\rho_a} g$ است، پارامتر سوم نسبت شناوری جریان جت، عبارت‌های چهارم و پنجم مختصات جریان جت برای مرزبالایی و پایینی با در نظر گرفتن بار سرعت ورودی ($h_0 = \frac{u_0^2}{2g}$)، پارامتر ششم نسبت طولی بخش شناوری مثبت، پارامتر هفتم و هشتم نسبت طول کلی مرز بالایی و پایینی تراژکتوری و پارامتر نهم زاویه‌ی هم‌گرایی جت می‌باشد. لازم به توضیح است که در کلیه‌ی آزمایش‌ها عدد رینولدز در محدوده جریان متلاطم قرار داشت که حداقل مقدار آن ۳۴۸۳ بود در نتیجه در ارائه نتایج از بررسی این پارامتر صرف نظر شده‌است. در شکل (۱-الف) پارامترهای تأثیرگذار در اعداد بدون بعد برای محیط هم‌فاز نشان داده شده‌است. در شکل (۱-الف) محور z مختصاتی منطبق بر محل جت و مبدا مختصات در راستای محور جت و منطبق بر کف فلوم آزمایشگاهی در نظر گرفته شده است. همان‌طوری که در این شکل مشخص شده است، طولی که تراژکتوری در آن رو به بالا حرکت می کند، با تغییر علامت ($-z_0$) (z_u قابل محاسبه می‌باشد به‌گونه‌ای که حد بالایی منحنی تراژکتوری نسبت به محل جت افزایش عمق نشان می‌دهد، (z_0-z_u) دارای علامت منفی بوده که طول طی شده‌ی منحنی تراژکتوری در این حالت X نامگذاری شده است (احدیان، ۱۳۸۸).

تحلیل ابعادی جت در محیط پذیرنده‌ی غیر هم‌فاز

پارامترهای حاکم بر پدیده جریان جت تخلیه شونده در محیط پذیرنده‌ی غیر هم‌فاز (هوا) را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

$$f_2(\rho_a, \rho_j, \mu_j, g, u_0, d_p, (x,z), X', \theta_c) = 0 \qquad (۳)$$

در معادلهٔ (۳)، ρ_a: جرم حجمی سیال پیرامون (سیال هوا)، ρ_j: جرم حجمی سیال جت، μ_j: لزجت مطلق اولیه سیال جت، g: شتاب ثقل، u_0: سرعت اولیه ورودی جت، d_p: قطر جت، (x,z): مختصات مسیر تراژکتوری ریزشی، X': حداکثر فاصله‌ی طولی که جریان جت طی می‌کند و θ_c: زاویه هم‌گرایی برای نازل جت می‌باشد. با استفاده از تحلیل ابعادی بین پارامترهای فوق، روابط بدون بعد زیر برای این پدیده استخراج شد:

$$f_2(\frac{\rho u_0 d_p}{\mu_j}, \frac{u_0}{\sqrt{g' d_p}}, (\frac{x}{h_0}, \frac{z}{h_0}), \frac{X'}{d_p}, \theta_c) = 0 \qquad (۴)$$

در معادله‌ی (۴)، پارامتر اول عدد رینولدز فلاکس ورودی، پارامتر دوم عدد فرود دنسیمتریک با توضیحات ارائه شده در بخش قبلی، پارامترسوم مختصات بدون بعد جت ریزشی بر اساس بار سرعت، پارامتر چهارم فاصله‌ی نسبی طی شده توسط جریان پیش‌رونده جت ریزشی و پارامتر پنجم زاویه‌ی هم‌گرایی جت می‌باشد. لازم به توضیح است که در این سری از آزمایش‌ها نیز رینولدز جریان خروجی جت در محدوده جریان متلاطم قرار داشت که حداقل مقدار آن ۳۹۲۵ بود در نتیجه از بررسی این پارامتر صرف نظر شده‌است.

برنامه‌ریزی آزمایش‌ها

کلیه آزمایش‌ها در سه قطر پنج، هشت و پانزده میلی‌متر برای جت، چهار غلظت اولیه ۱۵، ۳۰ ، ۵۰ و ۲۰۰ گرم بر لیتر، در پنج زاویه هم‌گرایی ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه و در چهار دبی مختلف تزریق شونده جت و در دو محیط پذیرنده‌ی ساکن (سیال آب زلال و هوا) صورت پذیرفت. از طرفی تمامی آزمایش‌ها در دمای یکسان برای جریان جت و منبع آب پذیرنده انجام شد. این موضوع به دلیل اعمال شرایط یکسان دمایی می‌باشد، که در طی انجام آنها با استفاده از دماسنج و هیدرومتر، دما و جرم حجمی هر دو جریان جت و منبع آب پذیرنده اندازه‌گیری و کنترل می‌شد. لازم به توضیح است که اکثر آزمایش‌های محیط هم‌فاز در تحقیق (احدیان، ۱۳۸۸) انجام شده بود و این تحقیق در محیط غیر هم‌فاز با شرایط اولیه یکسان انجام گردید.

وسایل اندازه‌گیری

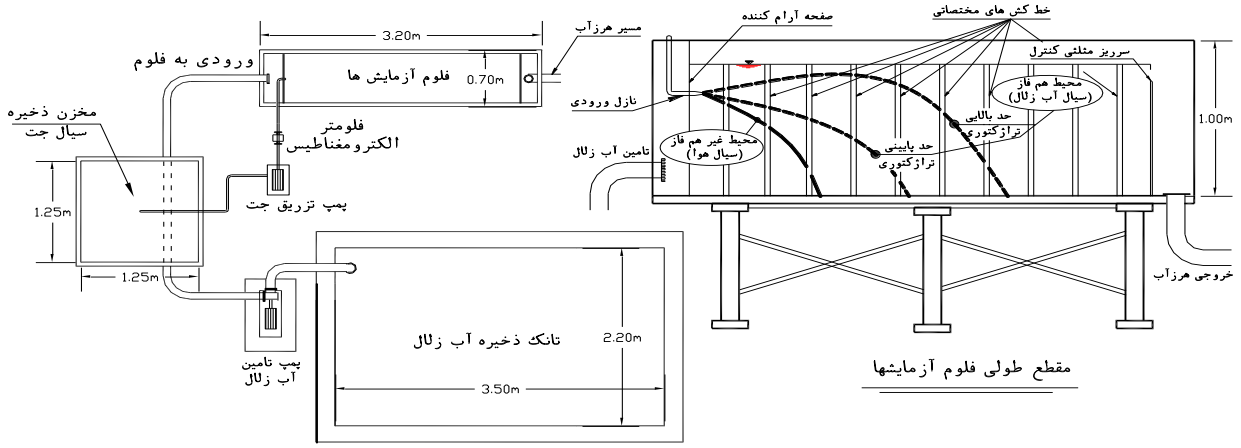
در این مطالعه برای بررسی تأثیر پارامترهای هندسی، هیدرولیکی و محیط پذیرنده بر مشخصات جبهه‌ی آلودگی اقدام به مدل‌سازی این پدیده در آزمایشگاه شد. مدل آزمایشگاهی مورد استفاده شامل یک سیستم هیدرولیکی متشکل از فلوم آزمایشگاهی با دیواره‌های شفاف و جنس پلکسی‌گلاس در ابعاد طولی ۳/۲ متر، عرضی ۰/۶ متر و ارتفاعی یک متر و سایر ملحقات مربوط به آن در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز می‌باشد (احدیان، ۱۳۸۸). شکل (۲) این تأسیسات را نمایش می‌دهد. بخش‌های مختلف این مدل فیزیکی شامل: مخزن تامین آب و پمپ انتقال آب به فلوم آزمایش‌ها، مخزن تزریق جت و پمپ اختلاط به منظور همگن کردن سیال جت، فلوم و پمپ تزریق جت، لوله انتقال سیال از مخزن تزریق به جت، خروجی فلوم و تجهیزات مربوطه و نازل‌های تزریق جت می‌باشد. برای اندازه‌گیری دبی خروجی از مخزن سیال جت یک فلومتر دقیق دو اینچ الکترومغناطیس مدل مگاب ۳۰۰۰ با دقت نسبی ۰/۲ درصد بعد از خروجی مخزن تزریق شونده با شرایط استاندارد قرار گرفت. در این مطالعه در بخش اول آزمایش‌ها سیال فلوم، آب زلال بود که سیال جت (آب نمک) با جرم حجمی بیشتر به آن تزریق می‌گردید. در بخش دوم آزمایش‌ها که هدف اساسی این تحقیق به شمار می‌رود، سیال پذیرنده، محیط آزاد (هوا) در نظر گرفته شد و اصلاحات اساسی در فلوم انجام گردید. به طور کلی اختلاف در جرم حجمی دو سیال فلوم و جت سبب پخشیدگی ماده‌ی تزریق شونده می‌شود. این در حالی است که وقتی محیط هم‌فاز انتخاب می‌شود، میزان پخشیدگی بسیار بیشتر از حالتی است که محیط غیر هم‌فاز (هوا) باشد. برای رؤیت این پدیده‌ی هیدرولیکی و ثبت مسیر حرکت، از ماده‌ی رنگی استفاده گردید. فلوم توسط خط‌کش چاپ شده بر روی کاغذ شفاف، شبکه‌بندی گردید که با این عمل امکان برداشت مختصاتی مسیرهای جریان خروجی جت میسر می‌گردید. با استفاده از شوری‌سنج (EC متر) دقیق دیجیتالی قابل حمل با دقت ۰/۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر که دارای سنسور اندازه‌گیری دما نیز بود، شوری و دمای لحظه‌ای آب نمک مخزن تزریق و آب فلوم (در سری اول آزمایش‌ها) اندازه‌گیری شد. یک پمپ جداگانه متصل به مخزن تزریق، وظیفه اختلاط و چرخش سیال مخزن تزریق را بر عهده داشت. برنامه ریزی انجام آزمایش‌ها به این گونه انجام پذیرفت که با غلظت‌های سیال تزریق‌شونده ۱۵، ۳۰، ۵۰ و۲۰۰ گرم بر لیتر، نازل‌های جت با قطرهای پنج، هشت و پانزده میلیمتر در زوایای ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و۹۰ درجه قابل تغییر باشند. البته آزمایش‌های محیط هم‌فاز قبلاً توسط تحقیق (احدیان، ۱۳۸۸) انجام شده ولی در این تحقیق چندین آزمایش جدید در محیط هم‌فاز تکرار شد و کلیه‌ی آزمایش‌های محیط غیر هم‌فاز با اصلاحاتی که در فلوم آزمایش‌ها پدیدار گشت، انجام شد. در مجموع در حدود ۳۵ آزمایش جدید محیط هم‌فاز علاوه بر آزمایش‌های تحقیق (احدیان، ۱۳۸۸) و حدود ۲۵۰ آزمایش محیط غیر هم‌فاز با شرایط مشابه و متناظر با محیط هم‌فاز انجام شد. در شکل (۲) نمای تجهیزات ذکر شده در

آزمایشگاه هیدرولیک به تصویر کشیده شده‌است. برای دست‌یابی به غلظت‌های مدنظر، مقدار مشخصی از نمک (سدیم کلرید) در تانک ۴۰ لیتری جداگانه‌ای حل می‌گردید و سپس به مخزن تزریق جت منتقل می‌شد. پس از این مرحله، مخزن تزریق با ارتفاع معین از آب شرب شهری پر و توسط پمپ اختلاط، محلول همگن آب نمک تهیه می‌گردید. در ادامه برای انجام آزمایش‌های جت مستغرق فلوم از آب زلال پر و عمل تزریق جت به آن توسط پمپ مخصوص انجام می‌شد. پس از شکل‌گیری منحنی پایین‌افتادگی (تراژکتوری)، داده برداری انجام می‌شد. این در حالی است که در آزمایش‌های بخش دوم، فلوم به طور کامل تخلیه می‌گردید و هیچ آب زلالی به آن وارد نمی‌شد. پس از آن پمپ تزریق روشن و مسیر پرتابه به صورت مختصاتی توسط مش‌بندی انجام شده بر روی دیواره فلوم برداشت می‌گردید. از طرفی در کلیه آزمایش‌ها دبی سیال جت توسط فلومتر الکترومغناطیس دقیق برداشت می‌شد.

نتایج و بحث

حداکثر طول مرز بالایی و پایینی در محیط هم‌فاز

همان‌گونه که در بخش تحلیل ابعادی اشاره گردید، این مقاله بر خصوصیات جبهه آلودگی ناشی از تزریق جت در محیط هم‌فاز و غیر هم‌فاز پایه‌گذاری شده است. در ابتدای نتایج و بحث تغییرات حداکثر طول طی شده‌ی منحنی پایین افتادگی در محیط هم‌فـاز (آب زلال) بررسـی مـی‌شـود. پارامترهـای X_{max} و X_{min} از خصوصـیات مهـم منحنی‌های پایین افتادگی جریان جت به شمار می‌روند. در این راستا برای کلیه داده‌های آزمایشگاهی تغییرات طـول‌هـای X_{max} و X_{min} محاسبه و در مقابل عدد فرود دنسیمتریک برای زاویه‌های هم‌گرایی مختلف ترسیم شدند. با مقایسه و بررسی نتایج مشخص شد که طول نهایی تراژکتوری برای مرز بالایی (X_{max}) در حدود ۳۹ درصد بـرای تغییر زاویه هم‌گرایی از ۱۵ به ۹۰ درجه افزایش می‌یابد. این در حالی است که طول نهایی مرز پایینی (X_{min}) برای تغییر زاویـه از ۱۵ بـه ۹۰ درجه در حدود ۴۱/۵ درصد افزایش مـی‌یابـد. بـا افـزایش زاویـه هم‌گرایی، توسعه منحنی خروجی جت افزایش یافته و یا بـه عبـارت دیگر در یک طول طی شدهٔ ثابت، پارامتر شناوری کاهش می‌یابد. در نتیجه افزایش نیروی مومنتم در راستای x برای افزایش زاویـه از ۱۵ به ۹۰ درجه را به دنبال دارد. نیـروی مـومنتم عامـل اصـلی قـدرت جریان جت در سیال پذیرنده می‌باشد که با افزایش زاویه هـم‌گرایـی افزایش یافته و باعث می‌شود که فلاکس جریان جت به جلـو رانـده شود. بنابراین افزایش زاویه هم‌گرایی تأثیر معنـی‌داری بـر توسـعه‌ی منحنی حاصل خواهد داشت. به طور کلی افزایش زاویـه هـم‌گرایـی باعث ایجاد شوک بیشتر به جریان ورودی به سیال پذیرنده می‌گردد. چراکه سیال جت قبل از ورود به نـازل جـت در یـک لولـه بـا قطـر بزرگ‌تری که شرایط ماندگاری در آن حاکم است جریان داشته و بـا نزدیک شدن به نازل، مومنتم مربوطه تغییـر نمـوده و ایـن در حـالی است که برای زاویه هم‌گرایی ۹۰ درجه این موضوع بـه طـور کـاملاً ناگهانی اتفاق افتاده و شدت بیشـتری را بـرای توسـعه جریـان جـت برقرار می‌کند. جدول (۱) نمونه‌ای از محاسبات این موضوع را نمایش می‌دهد.

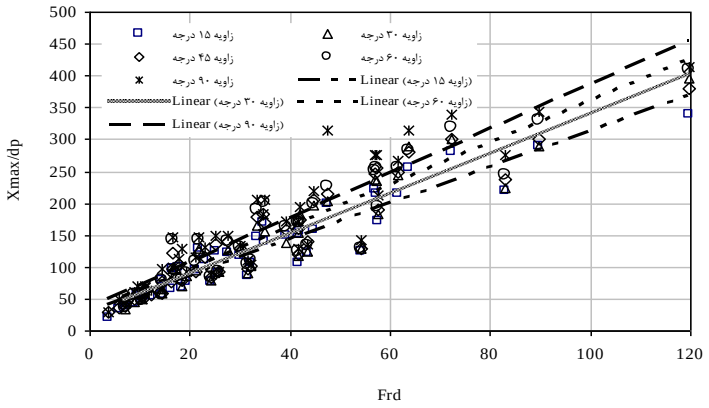


شکل ۲- مدل آزمایشگاهی جریان جت و فلوم در محیط پذیرنده هم‌فاز و غیر هم‌فاز

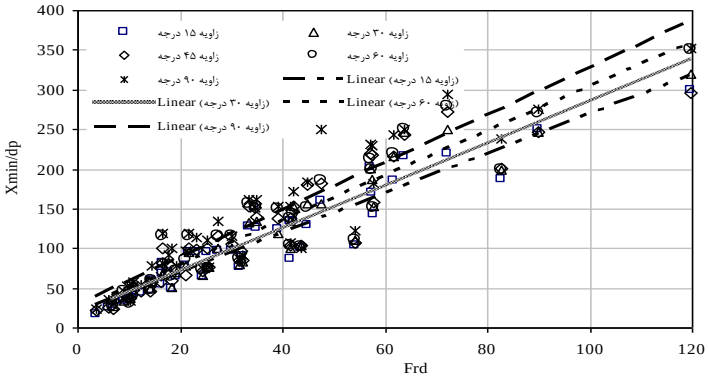
همان‌طوری که در جدول (۱) ملاحظه می‌شود، با افـزایش عـدد فرود چگال که در واقع فزونی یـافتن نیروهـای حرکتـی و مـومنتمی جریان به نیروهای شناوری است خصوصیات منحنـی پـایین‌افتـادگی افزایش می‌یابد. برای بررسی دقیق‌تر برای کلیه آزمایش‌هـای انجـام شده این تغییرات مـورد تحلیـل واقـع شـد کـه شـکل (۳) تغییـرات Xmax/dp و Xmin/dp را نسبت به عدد فـرود دنسـیمتریک و زاویه‌هم‌گرایی نمایش می‌دهد.

جدول ۱- تغییرات بدون بعد پارامترهای تراژکتوری

Q_0 (L/s)	Fr_j	θ_c	X_{max}/dp	X_{min}/dp	Q_0 (L/s)	Fr_j	θ_c	X_{max}/dp	X_{min}/dp
۰/۰۸۲	۷/۰۰	۱۵	۳۸/۰	۲۹/۳۳	۰/۲۸۵	۲۴/۳۳	۱۵	۷۶/۶۷	۶۴/۶۶
۰/۰۸۲	۷/۰۰	۳۰	۳۴/۶۲	۲۷/۳۳	۰/۲۸۵	۲۴/۳۳	۳۰	۸۰/۰۰	۶۶/۶۷
۰/۰۸۲	۷/۰۰	۴۵	۳۸/۱۰	۲۴/۶۷	۰/۲۸۵	۲۴/۳۳	۴۵	۸۳/۳۳	۷۲/۱۰
۰/۰۸۲	۷/۰۰	۶۰	۳۶/۶۶	۲۸/۰۰	۰/۲۸۵	۲۴/۳۳	۶۰	۸۴/۶۷	۷۳/۳۵
۰/۰۸۲	۷/۰۰	۹۰	۴۳/۳۱	۳۴/۶۷	۰/۲۸۵	۲۴/۳۳	۹۰	۸۸/۰۰	۷۴/۶۲
۰/۱۶۷	۱۴/۲۶	۱۵	۵۹/۶۲	۴۸/۱۲	۰/۳۷	۳۱/۵۹	۱۵	۸۶/۶۲	۷۶/۶۹
۰/۱۶۷	۱۴/۲۶	۳۰	۵۸/۳۴	۴۹/۲۹	۰/۳۷	۳۱/۵۹	۳۰	۹۱/۳۴	۸۰/۱۰
۰/۱۶۷	۱۴/۲۶	۴۵	۵۹/۳۴	۴۶/۶۱	۰/۳۷	۳۱/۵۹	۴۵	۹۶/۶۶	۸۵/۳۴
۰/۱۶۷	۱۴/۲۶	۶۰	۵۶/۶۸	۴۸/۱۰	۰/۳۷	۳۱/۵۹	۶۰	۱۰۳/۳	۸۶/۶۸
۰/۱۶۷	۱۴/۲۶	۹۰	۶۶/۶۸	۵۴/۳۴	۰/۳۷	۳۱/۵۹	۹۰	۱۱۰/۰	۸۷/۶۷



الف) حداکثر طول مرز بالایی



ب) حداکثر طول مرز پایینی

شکل ۳- تغییرات خصوصیات تراژکتوری نسبت به عدد فرود چگال

با توجه به شکل (۳) فوق خصوصیات منحنی خروجی با افزایش عدد فرود، افزایش می‌یابد. از طرفی در یک عدد فرود دنسیمتریک مساوی نیز با افرایش زاویه هم‌گرایی این خصوصیات افزایش می‌یابد. همان‌طوری که بیان شد با افزایش زاویه هم‌گرایی مؤلفه افقی نیروی مومنتم که باعث توسعه بیشتر فلاکس جریان جت می‌شود، افزایش یافته و پارامترهای مهم تراژکتوری را فزونی می‌بخشد. از نظر کیفی با افزایش عدد فرود دنسیمتریک تغییرات سرعت در واحد طول افزایش یافته و باعث توسعه بیشتر فلاکس جت می‌شود. برای مشخص نمودن رابطه بین پارامترها از نرم افزار آماری SPSS بهره گرفته شد به گونه‌ای که روش‌های مختلف خطی و غیر خطی مورد آزمون آماری با پارامترهای وابسته قرار گرفت و نهایتاً مدل‌های خطی زیر برای پارامترها استخراج شد:

$$\frac{X_{\max}}{d_p} = 3.207 Fr_d + 0.376\theta + 13.92 \qquad R^2 = 0.88 \quad (۵)$$

$$\frac{X_{\min}}{d_p} = 2.745 Fr_d + 0.323\theta + 7.72 \qquad R^2 = 0.91 \quad (۶)$$

لازم به توضیح است که بهترین ضرایب با استفاده از نرم افزار آماری SPSS به روش رگرسیون خطی برای ۸۰ درصد داده‌ها استخراج شدند. بر اساس ضرایب محاسبه شده برای مدل‌های آماری خصوصیات مهم توسعه‌ی جریان جت در سیال پذیرنده، اقدام به برآورد دقت آنها گردید. در این راستا با استفاده از روش ریشه‌ی میانگین مجذورات مجموع خطا[1]، خطای هریک از معادله‌های یاد شده برآورد گردید. با توجه به این‌که ضریب تعیین (R^2) به تنهایی معیار مناسبی برای دقت مربوط به معادلات نمی‌باشد، یکی از روش‌های متداول برای برآورد دقت یک معادله روش ریشه‌ی متوسط مجذورات مجموع خطاها می‌باشد. جدول (۲) برای هریک از معادله‌ها نتیجه‌گیری شده دقت مربوطه را که بر اساس ۲۰ درصد داده‌هایی که در استخراج مدل آماری نقشی نداشته‌اند را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که در بند گذشته نیز اشاره گردید، مدل‌های آماری براساس ۸۰ درصد داده‌ها استخراج شد. مابقی داده‌ها جهت برآورد دقت و صحت سنجی روابط مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج مندرج در جدول (۳) مربوط به محاسبات خطای ۲۰ درصد داده‌ها بوده که برای صحت سنجی مورد استفاده قرار گرفتند و این در حالی است که برای کلیه داده‌ها خطای هر دو معادله (۵) و (۶) در حدود ۱۱/۵ درصد برآورد گردید. از طرفی در این تحقیق با استفاده از مدل‌های آماری بسط داده شده برای هر آزمایش مقادیر X_{max}/dp، و X_{min}/dp محاسبه و در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی متناظر آنها ترسیم گردید. ضریب تعیین نیز در این حالت نمایه‌ای از میزان دقت هر یک از مدل‌های آماری خواهد بود. شکل (۴) مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی هریک از پارامترهای فوق را در مقابل مقادیر متناظر محاسباتی برای کلیه آزمایش‌های انجام شده (داده‌های مربوط به استخراج و صحت سنجی) نمایش می‌دهد.

همان‌طوری که از شکل (۴) بر می‌آید، مدل آماری خطی با دقت قابل قبولی قادر به پیش بینی حداکثر طول طی شده‌ی مرز بالایی و پایینی بوده و همان‌طوری که مشاهده می‌شود، اکثر داده‌های محاسباتی در مقابل مقادیر پیش بینی بر روی خط ۴۵ درجه واقع شده‌اند

نسبت طولی جریان پیش‌رونده در محیط غیر هم‌فاز

یکی از خصوصیات مهم در توسعه جریان جت ریزشی پارامتر X' می‌باشد که در شکل (۱) نمایش داده شد. لذا مطابق با برنامه‌ریزی آزمایش‌ها برای کلیه داده های آزمایشگاهی تغییرات طول X' محاسبه و در مقابل عدد فرود چگال برای زاویه‌های هم‌گرایی مختلف ترسیم شد. جدول (۳) نمونه‌ای از نتایج تغییرات X' نسبت به زاویه هم‌گرایی برای جت پنج میلیمتری و غلظت ۳۰ گرم بر لیتر در زاویه‌های هم‌گرایی مختلف را نمایش می‌دهد.

با مقایسه مقادیر جدول (۳) و همچنین برای دیگر حالت‌های آزمایشی مشخص شد که طول کلی جریان پیشرونده، در محیط غیر هم‌فاز، X'، در حدود ۳۰ درصد برای تغییر زاویه هم‌گرایی از ۱۵ به ۹۰ درجه افزایش می‌یابد. برای کلیه داده‌های آزمایشگاهی تغییرات این پارامترها نسبت به عدد فرود دنسیمتریک و زاویه هم‌گرایی بررسی شد. شکل (۵) تغییرات این پارمترها را نسبت به عدد فرود دنسیمتریک و زاویه هم‌گرایی نمایش می‌دهد.

با توجه به شکل‌فوق طول کلی جریان پیشرونده با افزایش عدد فرود افزایش می‌یابد. از طرفی در یک عدد فرود چگال مساوی نیز با افزایش زاویه هم‌گرایی این طول افزایش می‌یابد. لازم به توضیح است که عدد فرود چگال برای تزریق سیال جت سنگین در محیط پذیرنده غیر هم‌فاز(هوا) به صورت زیر بحرانی محاسبه می‌شود زیرا تفاوت جرم حجمی سیال جت با سیال پیرامون، $\frac{\Delta\rho}{\rho_a}$، که در مخرج کسر عدد فرود چگال قرار می‌گیرد برای آزمایش‌های محیط غیر هم فاز این تحقیق حداقل و حداکثر برابر با ۶۱۳/۳۳ و ۶۷۷/۳۵ می‌باشد که باعث کوچک شدن عدد فرود می‌گردد. این در حالی است که برای جریان جت در محیط هم‌فاز (آب زلال) این اختلاف حداقل و حداکثر برابر با ۰/۰۰۸۵ و ۰/۱۱۴۵ به دست می‌آید. از این رو می‌توان گفت از نظر رژیم جریان سنگین، آزمایش‌های بخش محیط غیر هم‌فاز در محدوده‌ی زیر بحرانی قرار دارند. همچنین برای

1-Root Mean of Square Error (RMSE)

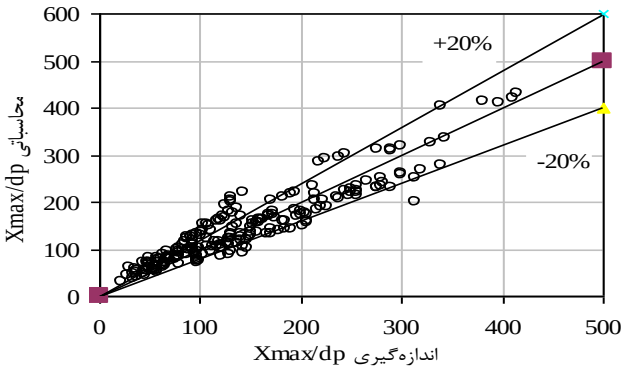
مشخص نمودن ارتباط ریاضی بین پارامترها از نرم افزار آماری SPSS بهره گرفته شد به گونه‌ای که روش‌های مختلف خطی و غیر خطی مورد آزمون آماری با پارامترهای وابسته قرار گرفت و نهایتاً مدل‌های خطی زیر برای پارامترها استخراج شد:

$$\frac{X'}{d_p} = 519.6Fr_d + 0.184\theta - 27.32 \quad R^2 = 0.86 \qquad (۷)$$

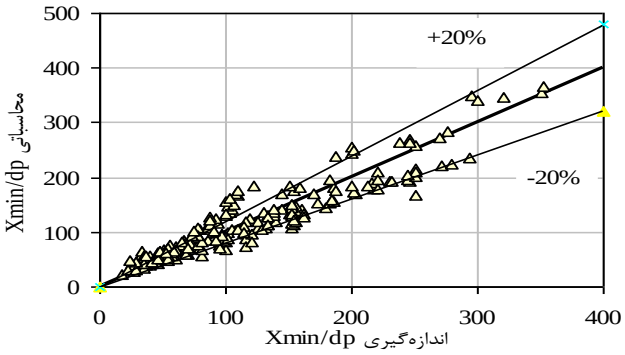
بر اساس رابطه استخراج شده اقدام به برآورد دقت به روش ریشه‌ی میانگین مجذورات مجموع خطا گردید که دقت پارامترهای آماری را به خوبی می‌تواند تخمین بزند. جدول (۴) جزییات محاسبه‌ی دقت و خطای رابطه (۷) را نمایش می‌دهد. این جدول برای معادله نتیجه‌گیری شده، دقت مربوط به ۲۰ درصد داده‌هایی که در استخراج مدل آماری نقشی نداشته‌اند را نشان می‌دهد. به دلیل اینکه مدل‌های آماری براساس ۸۰ درصد داده‌ها استخراج شده است، مابقی داده‌ها برای برآورد دقت و صحت سنجی روابط مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج موجود در جدول (۴) مربوط به محاسبات خطای ۲۰ درصد داده‌ها بوده که برای صحت سنجی مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۲- دقت مدل‌های آماری با معیار RMSE

ردیف	(Xmax/dp)	(Xmin/dp)
متوسط مربع خطاها (MSE)	۷۷۱/۸۲	۴۸۳/۱۴
متوسط داده‌های اندازه‌گیری	۱۳۱/۸۷	۱۰۸/۹۶
دقت (درصد)	۸۷/۹۳	۷۹/۸۳
خطا (درصد)	۲۱/۰۷	۲۰/۱۷



(الف)

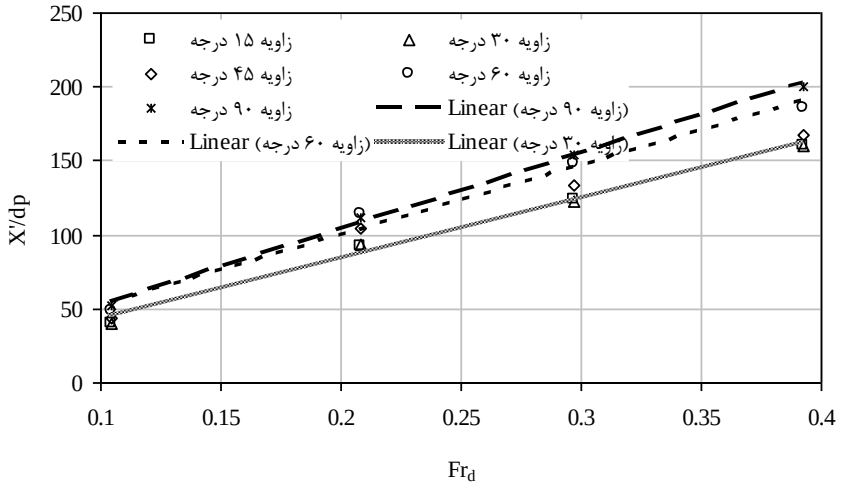


(ب)

شکل ٤- مقادیر پیش بینی و اندازه‌گیری شده، الف) حداکثر طول حد بالای، ب) حداکثر طول حد پایینی

جدول ۳- نمونه‌ای از نتایج طول کلی جریان پیشرونده نسبت به زاویه هم‌گرایی در محیط غیر هم‌فاز

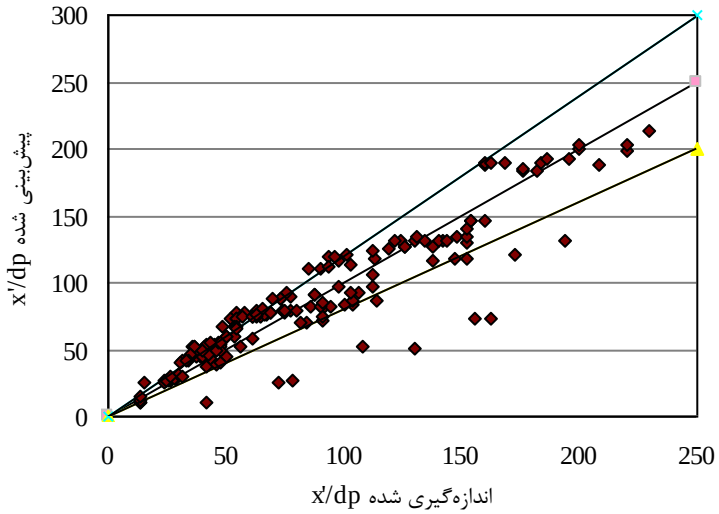
X'/d_p	X' (mm)	θ	U_0 (m/s)	X'/d_p	X' (mm)	θ	U_0 (m/s)
۱۲۴	۶۲۰	۱۵		۴۰	۲۰۰	۱۵	
۱۲۲	۶۱۰	۳۰		۴۰	۲۰۰	۳۰	
۱۳۴	۶۷۰	۴۵	۱/۸۹	۴۴	۲۲۰	۴۵	۰/۶۶
۱۴۸	۷۴۰	۶۰		۴۸	۲۴۰	۶۰	
۱۵۴	۷۷۰	۹۰		۵۲	۲۶۰	۹۰	
۱۶۰	۸۰۰	۱۵		۹۲	۴۶۰	۱۵	
۱۶۰	۸۰۰	۳۰		۹۴	۴۷۰	۳۰	
۱۶۸	۸۴۰	۴۵	۲/۴۹	۱۰۴	۵۲۰	۴۵	۱/۳۳
۱۸۶	۹۳۰	۶۰		۱۱۴	۵۷۰	۶۰	
۲۰۰	۱۰۰۰	۹۰		۱۱۲	۵۶۰	۹۰	



شکل ۵- تغییرات طول کلی جریان پیشرونده نسبت به عدد فرود دنسیمتریک

جدول ٤- دقت مدل آماری $\frac{X'}{d_p}$ به روش RMSE

ردیف	X'/d_p
متوسط مربع خطاها (MSE)	۲۱۱/۲۵
متوسط داده‌های اندازه‌گیری	۸۵/۲۹
دقت (درصد)	۸۵/۵
خطا (درصد)	۱۴/۵



شکل ٦- تغییرات مقادیر پیش بینی و اندازه‌گیری شده طول کلی جریان پیشرونده جت ریزشی

یکی از راهکارهای بررسی دقت معادله‌های آماری استفاده از خط ۴۵ درجه و بررسی تغییرات مقادیر اندازه‌گیری در مقابل مقادیر محاسباتی است؛ این تغییرات در شکل (۶) بررسی شده است. مطابق با شکل (۶)، مدل آماری برآورد طول کلی جریان پیشرونده در جت ریزشی (محیط غیر هم‌فاز) با دقت قابل قبولی قادر به پیش بینی بوده و برای ۲۰ درصد داده‌های محاسباتی در مقابل پیش بینی بر روی خط ۴۵ درجه واقع شده‌اند.

از نظر مقایسه‌ای می‌توان شرایط محیط پذیرنده را بدین صورت در نظر گرفت که توسعه فلاکس جریان جت در محیط غیر هم‌فاز، در عدد فرود دنسیمتریک زیر بحرانی رخ داده و حال آنکه در محیط هم فاز این موضوع در اعداد فرود دنسیمتریک فوق بحرانی رخ می‌دهد. از نظر کمی حداکثر توسعه فلاکس جریان جت در محیط غیر هم‌فاز در عدد فرود چگال حدود ۰/۳ در حدود ۱۴۰ تا ۱۵۰ برابر قطر نازل می‌باشد که برای محیط هم‌فاز چنین توسعه جریانی در عدد فرود چگال حدود ۴۰ رخ می‌دهد. به عبارت دیگر در شرایط یکسان هیدرولیکی برای جریان تزریق شونده، در غلظت‌های تا حدود ۴۰ تا ۵۰ گرم بر لیتر اثر محیط پذیرنده هم فاز در توسعه‌ی جریان جت بسیار بیشتر از محیط غیر هم فاز می‌باشد و این در حالی است که برای غلظت‌های بیشتر به لحاظ توسعه جریان جت، اثر محیط غیر هم‌فاز نسبت به حالت هم فاز بیشتر خواهد بود.

اندرکنش جریان جت و محیط هم‌فاز و غیر هم‌فاز

در بخش دیگر بررسی‌های این تحقیق منحنی‌های پایین افتادگی برای کلیه اجراهای آزمایشگاهی برای دو محیط پذیرنده‌ی هم‌فاز و غیر هم‌فاز، ثبت و ترسیم گردید. به طور کلی بررسی‌ها نشان داد که در شرایط یکسان، افزایش زاویه‌ی هم‌گرایی نازل، تأثیر معنی‌دار بر طول منحنی خروجی خواهد داشت و منحنی مسافت بیشتری را طی می‌کند. دلیل عمده این موضوع افزایش مومنتم فلاکس جت در اثر افزایش زاویه هم‌گرایی است. نیروی مومنتم عامل اصلی قدرت جریان جت در سیال پذیرنده بوده که با افزایش زاویه هم‌گرایی فزونی یافته و باعث می‌گردد فلاکس جت به جلو رانده شود. زمانی‌که جریان جت در سیال هوا (محیط غیر هم فاز) رها می‌شود در زوایای هم‌گرایی مختلف، منحنی تراژکتوری دچار پخشیدگی با دو حد بالا و پایین نخواهد شد. البته در این‌جا نیز اثر افزایش زاویه همگرایی بر طول طی شده‌ی جریان جت کاملاً مشهود است. این افزایش در طول تراژکتوری در جریان جت ریزشی با تغییر زاویه از ۱۵ به ۹۰ درجه برابر با ۳۰ درصد است که برای کلیه سرعت‌های ورودی، یکسان می‌باشد. مادامی‌که سیال جت و سیال پذیرنده هم‌فاز هستند، به دلیل اختلاف جرم حجمی کم بین آنها، جریان جت در سیال پذیرنده پخش شده که دو z با تفاوت معنی‌دار را باعث می‌شود. تأثیر محیط پذیرنده در حالت دو فازی را می‌توان به شرایط مرزی و وجود مرزهای صلب در جریان جت مستغرق و عدم تأثیر مرزهای هندسی تخلیه‌شونده بر حرکت جریان خروجی از جت در جریان جت ریزشی مربوط دانست. زمانی‌که جریان جت با سرعت زیاد در سیال پذیرنده‌ی آب ساکن رها می‌شود، اختلاف سرعت بین فلاکس جت و سیال پیرامون باعث آشفتگی و اختلاط در جریان می‌شود به‌طوری‌که، انرژی سیال جت مستهلک می‌گردد. در محیط پذیرنده‌ی هم‌فاز، این اختلاط جریان جت توسط گردابه‌های کوچکی که به صورت چرخشی در اطراف گردابه‌های اصلی قرار دارند صورت می‌پذیرد. از طرفی درتوسعه‌ی اولیه، جریان جت توسط سیال پیرامون

محصور می‌شود. هسته‌ی جریان جت که شامل جریان‌های گردابه‌ای نمی‌شود و دارای طول تقریبی ۵/۲ برابر نازل می‌باشد، تحت تأثیر پخشیدگی قرار نمی‌گیرد و توسط سیال پذیرنده به دام می‌افتد. در ناحیه دورتر، سیال جت با سیال پذیرنده توسط جریان‌های گردابی مخلوط شده و سیال پذیرنده در هسته‌ی جت نفوذ می‌کند و منحنی تراژکتوری جریان جت رو به پایین سقوط می‌کند. در صورتی‌که در محیط پذیرنده‌ی غیر هم‌فاز با سیال جت (سیال هوا) به دلیل عدم تأثیر مرزها و عدم حضور جریان‌های گردابی منحنی تراژکتوری بدون اینکه به دو محدوده‌ی بالا و پایین تقسیم شود، در نقطه‌ی شیرجه سقوط می‌کند. لازم به توضیح است که این جریان‌های گردابی بر توزیع سرعت اثر دارند. در هر دو جریان جت مستغرق و ریزشی، در فاصله‌ی یکسان حدوداً ۸۰ میلی متری ازمحل نازل جت (ناحیه‌ی هسته‌ی جت) اصطکاک ناشی از سیال پذیرنده و تشکیل جریان‌های گردابی بدون تأثیر بوده، و پروفیل سرعت یکنواخت و ثابت می‌باشد. در این ناحیه جریان خروجی از نازل بدون پخشیدگی به سمت جلو رانده می‌شود. به طور کلی می‌توان اذعان داشت در این ناحیه حد بالایی و پایینی در سیال پذیرنده‌ی هم‌فاز (سیال آب زلال) و منحنی پایین‌افتادگی در سیال پذیرنده‌ی غیر هم‌فاز(سیال هوا) بر روی یکدیگر مماس شده‌اند. پس از خروج از این ناحیه‌ی مخروطی شکل، سیال پیرامون در هسته‌ی جت نفوذ نموده و سرعت مرکزی رو به کاهش می‌گراید. در این هنگام قسمت مرکزی جت متلاطم گشته و با افزایش اختلاط به تعادل خواهد رسید. به این ترتیب است که پس از این ناحیه (هسته‌ی‌جت) در تزریق در محیط هم‌فاز (سیال آب زلال)، نمایان شدن حد بالایی و پایینی در منحنی خروجی و در جریان محیط غیر هم‌فاز (سیال هوا)، سقوط منحنی رخ می‌دهد. برای بررسی دقیق، کلیه مسیرهای تراژکتوری در جریان جت هم‌فاز و غیر هم‌فاز به صورت مختصاتی برداشت شدند. برای حد بالایی در محیط هم‌فاز مختصات (X,Z_u) و برای حد پایینی مختصات (X,Z_2)، شکل(۱) برداشت گردید. در محیط غیر هم‌فاز مختصات برداشت شده مطابق با شکل (۱)، (X,Z) می‌باشد. درجدول (۵) نمونه‌ای از داده-های منحنی‌های برداشت شده برای آزمایش جت با قطر ۱۵ میلی متر، زاویه هم‌گرایی ۱۵ و ۹۰ درجه، غلظت ۳۰ گرم بر لیتر و سرعت اولیه ۰/۹۶ متر بر ثانیه برای هر دو محیط هم‌فاز و غیر هم‌فاز آورده شده است.

جدول ۵- مختصات جریان محیط هم‌فاز و غیر هم‌فاز، ($C=30$ گرم بر لیتر، $dp=15$ میلی مترو $u_0=0.96$ متر بر ثانیه)

جت مستغرق (محیط هم‌فاز)				جت ریزشی (محیط غیر هم‌فاز)			
$\theta_c=15^0$		$\theta_c=90^0$		$\theta_c=15^0$		$\theta_c=90^0$	
مرز بالایی		مرز پایینی		مرز بالایی		مرز پایینی	
x	z	x	z	x	z	x	z
۰	۵۷۰	۰	۵۵۵	۰	۵۶۲	۰	۵۵۴
۵۰	۶۰۵	۵۰	۵۵۰	۵۰	۵۴۹	۵۰	۵۴۸
۲۰۰	۶۲۰	۲۰۰	۵۳۰	۲۰۰	۴۱۲	۲۰۰	۴۶۳
۳۵۰	۶۱۰	۳۵۰	۴۹۰	۳۵۰	۱۵	۳۵۰	۲۱۰
۵۰۰	۵۹۵	۵۰۰	۴۳۰	۳۶۰	۰	۴۷۰	۰
۶۵۰	۵۶۰	۶۵۰	۳۰۰				
۸۰۰	۴۶۰	۸۰۰	۲۱۰				
۹۵۰	۳۵۰	۹۵۰	۹۰				
۱۱۰۰	۲۴۰	۹۷۰	۰				
۱۱۵۰	۱۲۰						
	۰						

محدوده‌ی حرکتی فلاکس جت		مرز پایینی		مرز بالایی		مرز پایینی		مرز بالایی	
x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
۰	۵۵۴	۰	۵۵۵	۰	۵۷۰	۰	۵۵۵	۰	۵۷۰
۵۰	۵۴۸	۵۰	۵۸۰	۵۰	۶۱۰	۵۰	۵۵۰	۵۰	۶۰۵
۲۰۰	۴۶۳	۲۰۰	۵۵۰	۲۰۰	۶۲۵	۲۰۰	۵۳۰	۲۰۰	۶۲۰
۳۵۰	۲۱۰	۳۵۰	۵۱۰	۳۵۰	۶۲۰	۳۵۰	۴۹۰	۳۵۰	۶۱۰
۴۷۰	۰	۵۰۰	۴۶۰	۵۰۰	۶۰۵	۵۰۰	۴۳۰	۵۰۰	۵۹۵
		۶۵۰	۴۰۰	۶۵۰	۵۸۰	۶۵۰	۳۰۰	۶۵۰	۵۶۰
		۸۰۰	۳۳۰	۸۰۰	۵۲۰	۸۰۰	۲۱۰	۸۰۰	۴۶۰
		۹۵۰	۲۲۰	۹۵۰	۴۴۰	۹۵۰	۹۰	۹۵۰	۳۵۰
		۱۱۰۰	۹۰	۱۱۰۰	۳۲۰	۹۷۰	۰	۱۱۰۰	۲۴۰
		۱۱۷۰	۰	۱۲۵۰	۲۱۰			۱۱۵۰	۱۲۰
				۱۳۵۰	۷۰				۰
				۱۴۰۰	۰				

(ابعاد بر حسب میلی متر هستند)

معادله‌ی مسیر جریان تخلیه شونده در جت ریزشی

مطابق با کلیه برداشت‌های انجام شده برای مختصات منحنی‌های خروجی جریان جت در محیط هم‌فاز و غیر هم‌فاز اقدام به بررسی معادله‌ی حاکم بر نحوه توزیع حرکتی آنها شد. با استفاده از قوانین فیزیکی می‌توان رابطه‌ی (۸) که مربوط به حرکت مسیر پرتابه در شرایط ایده‌آل است را استخراج نمود.

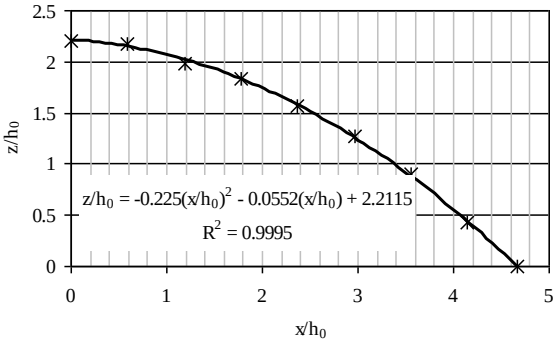
$$\frac{z}{h_0} = \frac{x}{h_0}\tan\theta - 0.25\frac{x^2}{h_0^2}\sec^2\theta \qquad (۸)$$

که در این رابطه θ: زاویه پرتابه نسبت به افق و (x,z): مختصات حرکتی پرتابه و h_0 : بار سرعت اولیه پرتابه می‌باشد. نکته‌ی مهم در این رابطه، صرف‌نظر از نیروی اصطکاکی هوا می‌باشد. از طرفی این معادله برای حرکت پرتابی اجسام صلب در محیط ایده‌آل ارائه شده است. با توجه به این‌که در تحقیق حاضر اولاً پرتابه از جنس سیال می‌باشد و ثانیاً به دلیل سرعت اولیه نسبتاً کم، از اصطکاک با هوا نمی‌توان صرف‌نظر نمود. در تحقیق حاضر برای هر یک از منحنی‌های جریان جت خروجی، معادله با شکل عمومی زیر برازش داده شد که البته در نظر گرفتن چنین شکل عمومی به دلایل یاد شده از قبیل عدم امکان صرف‌نظر از مقاومت هوا و یا پرتابه‌ی سیال و غیره می‌باشد:

$$\frac{z}{h_0} = a(\frac{x}{h_0})^2 + b(\frac{x}{h_0}) + c \qquad (۹)$$

با توجه به شکل عمومی معادله بر اساس رابطه‌ی (۹) ضرایب a، b و c برای کلیه آزمایش‌ها استخراج شدند. شکل (۷) نمونه‌ای از پارامترهای مختصاتی بدون بعد شده‌ی مسیر منحنی در محیط غیر هم‌فاز به همراه معادله‌ی برازش داده شده را برای غلظت ۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب، دبی ۰/۱۱۲ لیتر بر ثانیه با قطر هشت میلی متر و زاویه‌ی هم‌گرایی ۳۰ درجه را نشان می‌دهد.

برای کلیه آزمایش‌های انجام شده در محیط هم‌فاز و غیر هم‌فاز محاسباتی همانند آنچه که در شکل (۷) مشاهده می‌شود انجام شد. ضرایب معادله‌ی درجه‌ی دوم استخراج گردید و نتایج مورد بررسی واقع شد. با تحلیل نمودارهای حاصل و استفاده از معادله (۹) که مسیر جریان خروجی را نشان می‌دهد، تغییرات ضرایب مطابق با جدول (۶) به دست آمد. نتایج حاصل از جدول (۶) نشان می‌دهد که با افزایش زاویه‌ی هم‌گرایی، پارامتر a که میزان صعود تراژکتوری جریان جت ریزشی را نشان می‌دهد افزایش می‌یابد. و یا به عبارت دیگر شیب منحنی در نقاط ابتدایی کاهش می‌یابد. با افزایش زاویه‌ی هم‌گرایی که در نهایت به ۹۰ درجه منتهی می‌شود، گرادیان سرعت در واحد طول نسبت به زاویه‌ی ۱۵ درجه بیشتر شده که باعث توسعه بیشتر جریان در این زاویه هم‌گرایی می‌شود. چراکه مؤلفه عمودی نیروی مومنتم در این حالت با افزایش زاویه، فزونی می‌یابد و باعث صعود تراژکتوری می‌گردد. لذا برای زاویه ۱۵ درجه، مؤلفه‌ی سرعت عمودی در بدو ورود جریان جت به سیال پذیرنده حداقل و در زاویه ۹۰ درجه حداکثر می‌باشد. جدول (۶) کلیه نتایج حاصل از این موضوع را برای جت ریزشی و جت مستغرق نمایش می‌دهد.



شکل ۷- نمودار بدون بعد منحنی پایین افتادگی

جدول (٦) پارامترهای آزمایشگاهی حاصل از نمودار بی بعد تراژاکتوری

جت ریزشی (محیط غیر هم‌فاز)			جت مستغرق (محیط هم‌فاز)					
			حد بالایی			حد پایینی		
زاویه	a	b	c	a	b	c	a	b
۱۵	-۰/۲۷۱	-۰/۴۴۵	۷/۸۲	-۰/۱۶۱	۰/۶۵۱	۱۱/۱۷	-۰/۱۹۳	۰/۳۸۸	۱۱/۳۴
۳۰	-۰/۲۷۰	-۰/۸۲۱	۷/۱۹	-۰/۱۴۱	۰/۵۲۳	۱۲/۲۳	-۰/۱۶۲	۰/۲۵۹	۱۲/۱۲
۴۵	-۰/۲۲۳	-۰/۰۹۳	۶/۵۴	-۰/۱۳۷	۰/۵۰۵	۱۱/۵۷	-۰/۱۳۳	۰/۲۱۸	۱۱/۴۲
۶۰	-۰/۱۹۶	-۰/۱۳۶	۷/۱۸	-۰/۱۱۸	۰/۴۵۸	۱۲/۲۳	-۰/۱۲۸	۰/۱۸۳	۱۱/۲۶
۹۰	-۰/۱۶۲	-۰/۴۱۵	۶/۶۸	-۰/۱۱۱	۰/۴۵۱	۱۱/۷۸	-۰/۱۰۲	۰/۱۷۵	۱۰/۶۱

لازم به توضیح است که اعداد مندرج در جدول (۷) نتایج میانگین کلیه آزمایش‌های مربوط به یک زاویه مشخص می‌باشد. به طور کلی بررسی‌ها نشان می‌دهد که برای افزایش زاویه هم‌گرایی شیب منحنی رو به کاهش گراییده و بنابراین فلاکس جریان جت توسعه‌ی بیشتری می‌یابد.

نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی پراکنش حدی جریان جت مستغرق در محیط هم‌فاز و غیر هم‌فاز پرداخته شد. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که در شرایط اولیه‌ی یکسان هندسی و هیدرولیکی، افزایش زاویه‌ی هم‌گرایی نازل خروجی، تأثیر معنی‌داری بر طول تراژکتوری‌های جریان جت مستغرق و ریزشی خواهد داشت. در کل افزایش طول فلاکس توسعه‌ی جریان در جت مستغرق بیشتر از جت ریزشی است. به گونه‌ای که در محیط پذیرنده غیر هم‌فاز نازل تأثیر کمتری خواهد داشت. از نظر کمی در محیط غیر هم‌فاز اثر نازل حداکثر افزایش ۳۰ درصدی نشان می‌دهد و این در حالی است که برای محیط هم‌فاز این تأثیر در حدود ۴۰ درصد است. در محیط غیرهم‌فاز به دلیل اختلاف شدید دانسیته سیال پیرامون و جت، مرزهای حرکتی کمتر تحت تاثیر اصطکاک قرار می‌گیرند. نتایج نشان داد که توسعه فلاکس جریان جت در محیط غیر هم‌فاز، در اعداد فرود دنسیمتریک زیر بحرانی روی می‌دهد و حال آنکه در محیط هم فاز عدد فرود دنسیمتریک در محدوده‌ی فوق بحرانی می‌باشد. از نظر کمی حداکثر توسعه فلاکس جریان جت در محیط غیر هم‌فاز تا حدود ۲۰۰ برابر قطر نازل می‌باشد که در عدد فرود حدود ۰/۴ به وقوع می‌پیوندد. در محیط هم‌فاز چنین توسعه‌جریانی تا ۴۰۰ برابر قطر نازل برای اعداد فرود چگال حدود ۱۲۰ مشاهده می‌شود. در شرایط یکسان هیدرولیکی جریان جت، غلظت‌های حدود ۴۰ تا ۵۰ گرم بر لیتر اثر محیط پذیرنده هم فاز در توسعه‌ی جریان جت بسیار بیشتر از محیط غیر هم فاز می‌باشد و این در حالی است که برای غلظت‌های بیشتر، اثر محیط غیر هم‌فاز بیشتر می‌شود. همچنین در تحقیق حاضر مکانیزم حاکم بر توسعه فلاکس جریان جت ریزشی و مستغرق با استخراج معادله‌ی حاکم بر حرکت پرتابی بررسی گردید و مشخص شد که در حالت ریزشی شیب منحنی تزریق شدیدتر از حالت مستغرق می‌باشد. این موضوع را می‌توان در ضرایب استخراج شده برای معادله‌ی منحنی بررسی نمود.

منابع

۱- احدیان، ج. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر زاویه هم‌گرایی بر طول اختلاط در جت‌های مستغرق با استفاده از مدل فیزیکی و ریاضی. پایان‌نامه دکتری،رشته سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۹۸ صفحه.

۲- احدیان، ج. و س. ح. موسوی جهرمی، ۱۳۸۸. بررسی عوامل مؤثر بر توسعه جریان جت مستغرق در منابع آب پذیرنده ساکن. نشریه آب و خاک. ۲۳(۴): ۱۹۲-۱۷۹.

3- Abessi, O., Saeedi, M., Bleninger, T. and M. Davidson. 2012. Surface discharge of negatively buoyant effluent in un-stratified stagnant water. Journal of Hydro-Environment Research, 6(3): 181-193.

4- Ahadiyan, J. and S. H. Musavi-Jahromi. 2009. Effects of jet hydraulic properties on geometry of trajectory in circular buoyant jets in the static ambient flow. Journal of Applied Science, 9(21): 3843-3849.

5- Albertson, M. L., Dai, Y. B., Jenson, R. A. and H. Rouse. 1950. Diffusion of submerged jets. Transaction journal of American Society Civil Engineering (ASCE), 115(1): 639-664.

6- Cuthberston, A. And P. Davis. 2008. Deposition from Particle-Laden, round, turbulent, horizontal, buoyant jets in stationary and co-flowing receiving fluids. Journal of Hydraulic Engineering (ASCE), 134(4): 390-402.

7- Del Bene, J. V., Jirka, G. and J. Largier. 1994. Ocean brine disposal. Journal of Desalination, 97(1-3): 365-372.

8- Fischer, H. B., John List, E. Koh, R. C. Y., Imberger, J. and N.H. Brooks. 1979. Mixing in inland and coastal waters. Journal of Fluid Mechanics. 114: 532-533.

9- Jirka, G. H. 2004. Integral model for turbulent buoyant Jet in unbounded stratified flows part 1: Single round jet. Journal of Environmental Fluid Mechanics, 4: 1-56.

10- Jirka, G. H. 2006. Integral model for turbulent buoyant jets in unbounded stratified flows. Part 2: Plane jet dynamics resulting from multiport diffuser jets. Journal of Environmental Fluid Mechanics, 6: 43-100.

11- Keung Law, W.A., Fun Ho, W. and G. S. Monismith. 2004. Double diffusive effect on desalination discharges. Journal of Hydraulic Engineering, 122(11): 450-457.

12- Kim, Y. D., Kang, S. W., Seo, I. W. and B. C. Oh. 2001. Modeling the mixing of wastewater effluent discharged from ocean outfalls using a hybrid model. Journal of Coastal Engineering, 43(4): 259-288.

13- Lai, C. C. K. and Lee, j. H. W. 2012. Mixing of incliend dense jet in stationary ambient. Journal of Hydro Environment Research, 6(1): 9-28.

14- Oliver, C. J. Davidson, M. J. and R. I. Nokes. 2013a. Predicting the near-field mixing of desalination discharges in a station environment. Journal of Desalination, 309: 148-155.

15- Oliver, C. J., Davidson, M. J. and R. I. Nokes. 2013b. Removing the boundary influence on negatively buoyant jets. Journal of Environmental Fluid Mechanics, 13: 625–648.

16- Pincince, A. B. and , E. J. List. 1973. Disposal of brine in to an estuary. Journal of Water Pollutant Control Federation, 45(11): 2335-2344.

17- Roberts's, P. J. w. Ferrier, A. and G. Daviero. 1997. Mixing in inclined densa jet. Journal of Hydraulic Engineering, 123(8): 693-699.

18- Shao, D. and A. W. K. Law, 2011. Boundary Impingement and attachment of horizontal offset dense. Journal of Hydro-Environment Research, 5(1): 15-24.