

انتشار جریان چگال جت دایره ای در محیط پذیرنده خیلی کم عمق ساکن

بهشاد مرداسی^۱، جواد احدیان^{۱*}، نیما شهینی کرم زاده^۲

۱. گروه سازه های آبی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲. گروه سازه های دریایی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۰۲

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22113/jmst.2019.74420.1959

چکیده

تخلیه جریان آلاینده در محیط پذیرنده تاثیرات منفی زیست محیطی را به همراه دارد. شرایط محیط پذیرنده خیلی کم عمق تاثیر بسزایی بر پخشیدگی جریان آلاینده خواهد داشت. در این پژوهش به بررسی پارامترهای انتشار و پیشروی جریان در محیط بی نهایت کم عمق پرداخته شده است. برای دستیابی به اهداف تحقیق حاضر یک مدل آزمایشگاهی تخلیه کننده سطحی در شرایط بی نهایت کم عمق بر پا شد که آزمایش‌های مدنظر در فلومی به طول ۳/۲ متر، عرض ۰/۶ متر و ارتفاع ۰/۹ متر انجام گردید. بر این اساس با در نظر گرفتن سه تخلیه کننده منفرد ساده به قطرهای ۱/۲، ۱/۶ و ۲/۲ سانتی‌متر، جریان غلیظ با غلظت‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ گرم در لیتر در یک محیط پذیرنده با شرایط H/d برابر با ۲ (بی نهایت کم عمق) برنامه‌ریزی آزمایش‌ها صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که با افزایش عدد فرود ضریب انتشار کاهش یافت این کاهش به دلیل افزایش سرعت ورودی سیال جت و افزایش ممنتم جریان می‌باشد. از طرفی در شرایط یکسان، سیال با غلظت بیشتر ضرایب انتشار بالاتر و طول پیشروی کمتری دارد. همچنین در این تحقیق با در نظر گرفتن الگوی حرکت جریان، پهنه‌ی انتشار سیال آلاینده در محیط پذیرنده، نسبت به عدد فرود اولیه دسته بندی شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که جریان آلاینده با عدد فرود کمتر از ۵ نحوه‌ی پخشیدگی مرزهای حرکتی آلاینده تقریباً مشابه به معادله سهمی درجه دو می‌باشد. ضرایب $C_{b,a}$ سهمی برای هر آزمایش به طور مجزا محاسبه شد. این در حالیست که برای جریان‌هایی با عدد فرود بیشتر از ۵ پهنه‌ی پخشیدگی جریان تقریباً مشابه به معادله بیضوی است. برای این قسمت معادله‌ی ریاضی-تجربی ۳ بعدی (x,y,t) بدست آورده شد. از طرفی نتایج نشان داد که با افزایش عدد فرود چگال در تمامی غلظت‌ها پارامتر پیشروی جریان افزایش می‌یابد. این در حالی است که برای تمامی غلظت‌ها این روند با آهنگ تقریباً ثابتی تغییر می‌کند. همچنین نتایج بدست آمده حاکی از وابسته بودن پارامتر پیشروی نسبت به عدد رینولدز و عدد وبر است. تاثیر موثر عددهای رینولدز و وبر بر پخشیدگی و پهنه‌ی جریان نشان داد که در تمامی غلظت‌ها تا محدوده‌ای، بسیار تاثیر گذار بوده است و از مرز ۲۸۰۰ به بعد تاثیر تقریباً ناچیزی داشته است.

واژگان کلیدی: جت سطحی دایره‌ای، پخشیدگی، بی‌نهایت کم عمق، جریان چگال

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: ja_ahadiyan@yahoo.com

۱. مقدمه

امروزه با توجه به توسعه شهری و افزایش جمعیت شهرها در مناطق ساحلی با تولید حجم زیادی از انواع فاضلاب های بهداشتی و صنعتی همراه است. روش های مختلفی برای دفع فاضلاب ها و زهاب ها وجود دارد. اما تمام این روش ها از نظر فنی و زیست محیطی مناسب نمی باشند. دفع ثقلی زهاب (پلوم) در منابع پذیرنده کم عمق (مانند کانال ها، دریاچه های کم عمق، رودخانه ها و تالاب ها) در مقادیر کوچک سنتی مرسوم می باشد. اما در این روش ها اختلاط اولیه پساب دفع شده با محیط پذیرنده کم عمق بسیار کم است و نیروی شناوری که در اثر غلظت بیشتر نسبت به سیال پذیرنده ایجاد می شود، باعث حرکت به سمت بستر و کناره های منبع پذیرنده و کاهش سطوح اختلاط می-گردد. تخلیه این آلاینده ها از طریق تخلیه کننده های دریایی از روش های متداول در دفع آلاینده ها انجام می شود. تخلیه کننده ها از لحاظ هندسی و هیدرولیکی متفاوت هستند. تخلیه کننده های تک مجرای یا جمعی در اشکال هندسی متفاوت و شرایط هیدرولیکی (مستغرق یا سطحی) در مجرا خروجی جت به پخش فاضلاب در محیط با حداکثر اختلاط و ترقیق می-گردد (Abessi & et al 2011) [4]. برای افزایش راندمان اختلاط می توان از انواع جت ها استفاده نمود. جریان جت و پلوم از نظر ظاهری تقریباً مشابه هستند اما مکانیزم های حاکم بر آنها متفاوت است (Albertson & et al 1950) [9]. اختلاط جریان جت توسط جریان های گردابه ای اتفاق می-افتد. در حالیکه عامل اختلاط در پلوم نیروهای شناوری داخل جریان می-باشد. جریان جت های متلاطم و پلوم ها نوعی از جریانات آشفته هستند که براساس نیروهای مومنتم و شناوری ارزیابی می-شوند. جریان جت معمولاً توسط یک منبع مداوم و تحت تأثیر نیروهای مومنتم انتشار می یابد (Mohamadi 2011) [6]. زیتون و همکاران (Zeitoun, M. 1972) [13] آزمایش هایی را در مورد جت های مورب با زوایای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه

نسبت به افق و در منبع پذیرنده ساکن انجام داده اند. براساس مقدار حداکثر صعود تراژکتوری جت، نتیجه گرفته اند که زاویه ۶۰ درجه باعث بیشترین رقیق سازی می شود. احدیان (Ahadiyan 2009) تأثیر خصوصیات هیدرولیکی جت بر ژئومتری تراژکتوری در جت های دایره ای مستغرق در منابع آب پذیرنده را با استفاده از تحلیلهای آزمایشگاهی و مدل فیزیکی بررسی نمودند. طبق نتایج مشخص شد 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 هیدرواستاتیکی درگ می باشد. هولی و جریکا، (Holley & Jirka, 1986) به منظور بررسی تأثیر مرزهای ثابت محیط پذیرنده بر رفتار جریان، نحوه تأثیر عمق محیط پذیرنده در ایجاد ناپایداری و تغییر شکل جریان های شناور در آب های ساکن را مورد مطالعه قرار داده اند. نتایج این تحقیق نشان می دهد که عدد فرود چگال بیشترین تأثیر را در اختلاط جریان داشته است (Fazeli & et al 2015) [5] به بررسی تأثیر زاویه همگرایی بر مشخصات هندسی پخشیدگی در تخلیه سطحی فاضلاب های سنگین از کانال مستطیلی در محیط های ساکن و کم عمق پرداخت. نتایج بدست آمده نشان داد که با افزایش زاویه همگرایی کانال تخلیه کننده و همچنین کاهش عمق جریان پذیرنده تأثیر نیروی مومنتم جت بیشتر شده و جریان پیشروی افقی بیشتری دارد. (Abessi & et al. 2011) [4] خصوصیات جریان در تخلیه سطحی فاضلاب های سنگین از کانالهای مستطیلی در محیط های ساکن و غیرلایه بندی شده را مورد مطالعه قرار داده اند. آنها رفتار هندسی جریان را از طریق شبیه سازی فرایند تخلیه در اتاق تاریک ثبت کردند و از طریق پردازش رقومی تصاویر بدست آمده مورد بررسی قرار دادند، علاوه بر مشخصات هندسی جریان، رفتار اختلاطی آن را تعیین و در قالب مجموعه هایی از نمودارهای بی بعد ارائه دادند که به این نتیجه منجر شد که به دلیل

نظر تئوری به این رسیدند که اگر ارتفاع بالاترین نقطه جت مستغرق کمتر از ۷۵٪ از عمق آب باشد جت در سطح نمایان نخواهد شد، ولی در عمل این گونه نبود و ارتفاع جت را تا ۹۰ درصد از عمق آب میتوان افزایش داد. در آخر آنها به این نتیجه رسیدند که در آبهای خیلی کم عمق فقط جت مستغرق با زاویه‌ای ۳۰ درجه را می‌توان قرار داد تا در سطح آب نمایان نشود. در مطالعات آزمایشگاهی سجادی و احدیان (Sajadi & Ahadiyan 2016) [2] در محیط کم عمق مشخص شد که در یک عمق نسبی ثابت با افزایش عدد فرود چگال مقدار ضریب انتشار کاهش می‌یابد. برای یک عدد فرود چگال ثابت، به طور متوسط با افزایش عمق نسبی مقدار ضریب انتشار افزایش می‌یابد. (Oliver & et al 2013) [12] به پیش بینی اختلاط در نزدیکی میدان تخلیه آب شیرین کن‌ها در محیط‌های ساکن پرداختند. او از مدل انتگرال اصلاح شده برای پیش‌بینی شناوری منفی در نزدیکی میدان تخلیه استفاده کرد. این مدل براساس پروفیل گوسین، در سطح بیرونی این جریان‌ها طراحی شد. از این طریق تاثیر شناوری ناشی از ناپایداری در قسمت داخلی جریان از طریق کاهش شار شناوری جریان اصلی به ثبت رسیده است. ژانگ و ژو (Zhang & Zhu 2014) [14] با تزریق مخلوط آب و هوا از طریق یک نازل به بررسی تراژکتوری جت جوشان در جریان‌های متقاطع پرداخته‌اند. آنها خط مرکزی تراژکتوری را برای هردو فاز آب و هوا در جت جوشان مورد تحلیل قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بعد از جدایی سیال از تخلیه کننده، خط مرکزی فاز هوا می‌تواند به صورت مستقیم حرکت کند و جریان جت بعد از طی کردن مسیر افقی و مستقیمی، منحنی تراژکتوری را ایجاد کرده و به پایین سقوط می‌کند. عمق محیط پذیرنده بر اساس نظریه کراوا و چمپین (Crow & Champagne. 1971) [10] به چهار دسته تقسیم شده است. طبق طبقه بندی، هر دسته با توجه به مشخصات جت و محیط پذیرنده، به آب عمیق، آب کم عمق، آب خیلی

سطح آزاد محیط، مسیر حرکت جریان نیز متفاوت از حالت مستغرق است. (Abessi & et al. 2010) [3] تخلیه‌ی سطحی جریانهای سنگین خروجی از کانالهای مستطیلی را از طریق شبیه سازی آزمایشگاهی در آبهای ساکن مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. آنها موقعیت نقطه‌ی برخورد جریان با بستر و موقعیت دستیابی جریان به نقطه ترقیق نهایی خود در محیط را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصله نشان دهنده‌ی رابطه‌ی مستقیم مشخصات جریان با عمق محیط و شارهای اولیه‌ی جریان خروجی می‌باشد. (Abessi & et al. 2012) [7] به تخلیه سطحی پساب با شناوری منفی در آبهای ساکن و لایه بندی نشده پرداختند. آنها رفتار اختلاطی جریان را با استفاده از دستگاه ضبط ویدئویی دیجیتال همراه با آغشته کردن مواد تخلیه کننده به رنگ و همچنین استفاده از میکروسنسورهای رسانا بررسی کردند. منحنی تراژکتوری جت توسط پردازش تصاویر و رقت جریان با استفاده از سنسورها مشخص شد. نتایج نشان داد تخلیه جریان چگال سطحی، حداکثر رقت را در پایان منطقه اختلاط اولیه، حدود ۴۰ - ۵۰ درصد بالاتر از نقطه برخورد دارد. آنها بعد از مقایسه‌ی نتایج بی بعد بدست آمده از نمودارها، به نتایج مشابه با جت مستغرق با شناوری مثبت رسیدند. (Abessi, & Roberts. 2015) [8] جت‌های غلیظ مستغرق را در آبهای خیلی کم عمق بررسی کردند، آنها با بررسی جت‌های مختلف در اعماق مختلف به این نتیجه رسیدند که در آبهای عمیق و کم عمق نقطه ضربه جت به سطح آب با رابطه به دست می‌آید (D بیانگر قطر نازل، F عدد فرود دنسیمیتری جت و H عمق آب) برای آبهای عمیق در تمامی زاویه‌های جت‌ها با افق به صورت کاملاً مستغرق هستند، (وقتی که مقدار عمق کاهش پیدا کند یا مقدار افزایش پیدا کند) نقطه بالایی جت مستغرق با سطح برخورد کرده و بر روی سطح نمایان می‌شود، آنها برای زاویه‌های مختلف جت مستغرق حدودی را برای رابطه بالا بدست آوردند و در آخر از

$$f(\rho_a, \rho_j, \sigma, \mu_j, u_0, d, g, H, t, t_0, y, x, x_{um}, a, b, c) = 0 \quad (1)$$

در معادله (۱)، ρ_a : جرم حجمی سیال پیرامون (پذیرنده)، ρ_j : جرم حجمی سیال جت، σ : کشش سطحی آب، μ_j : لزجت مطلق اولیه سیال جت، u_0 : سرعت اولیه ورودی جت، d : قطر جت، g : شتاب ثقل، H : عمق آب محیط پذیرنده، t زمان خروجی جریان، t_0 زمان رسیدن جریان به جداره صلب (زمان پایدار)، (x, y) مختصات مرزهای پیشرونده فلاکس جت، x_{um} طول ناحیه توسعه کامل یافته، (a, b, c) : ضرایب انتشار می باشد.

$$f\left(\frac{\Delta\rho}{\rho_a}, \frac{u_0^2 H \rho_j}{\sigma}, \frac{u_0 d \rho_j}{\mu_j}, \frac{u_0}{\sqrt{(\frac{\Delta\rho}{\rho_a} \cdot g \cdot d)}}, \frac{x}{y}, \frac{t}{t_0}\right) = 0 \quad (2)$$

در معادله (۲) به ترتیب از چپ به راست عبارتند از: دانسیته نسبی بین سیال جت و سیال پذیرنده، عدد وبر، عدد رینولدز ورودی، عدد فرود چگال اولیه جریان جت، نسبت طول به عرض مسیر حرکتی جت و زمان خروجی جریان نسبت به زمان پایدار می باشد. با توجه به اینکه تعدادی از پارامترها ثابت هستند و از طرفی در کلیه برنامه ریزی های آزمایش $\frac{H}{d}$ ثابت و برابر ۲ در نظر گرفته شده است. برخی پارامترهای موثر مربوط به هر آزمایش به صورت منفرد باید بررسی شود. برای این منظور نماینده هر آزمایش در این تحقیق پارامتر سرعت اولیه ورودی جت می باشد. در هر آزمایش استخراج روابط بدون بعد تاثیرگذار آن به شرح رابطه (۳) می باشد. لازم به توضیح است که با توجه به اثر گذاری عمق جریان پذیرنده در شرایط بی نهایت کم عمق از پارامتر H به جای d در روابط نهایی استفاده شد.

کم عمق و آب بی نهایت کم عمق تعریف شده است. نسبت عمق به قطر جت در محیط عمیق بزرگتر از ۲۰ است. در محیط آب کم عمق این نسبت بین ۶ تا ۲۰ و در محیط خیلی کم عمق بین ۲ تا ۶ است. طبق تحقیقات کراوا و چمپین آب بی نهایت کم عمق محیطی است که نسبت عمق به قطر جت کمتر و یا مساوی ۲ باشد. در این تحقیق با توجه به عدم وجود مطالعات جامع در زمینه تخلیه سطحی آلاینده های سنگین از خروجی های ساحلی پیشرونده در محیط، مشخصات اختلاطی جت در حالت های مختلف مورد بررسی و مطالعات قرار گرفت. به این منظور به شبیه سازی فرآیند تخلیه در آزمایشگاه با استفاده از یک مدل هیدرولیکی و تحلیل رقومی مشاهدات آزمایشگاهی انجام پذیرفت. تعیین پارامترهای حرکت در محدوده وسیعی از متغیرها انجام پذیرفت.

۲. مواد و روش ها

در این تحقیق توسعه مجموعه ای از نمودار های بی بعد برای پیش بینی نحوه پخشیدگی عرضی، مسیر حرکت، تغییرات غلظت و نحوه زوال آن در امتداد خط مرکزی در حالت خروجی جت سطحی دایره ای مورد بررسی قرار گرفت. نسبت های بین مقیاس طولی و عرضی گروه های بی بعدی تشکیل می دهند که می توان از آن ها در تغییر نتایج مطالعات آزمایشگاهی به موارد واقعی استفاده نمود. استخراج روابط بی بعد برای توصیف رفتار جریان از طریق این پارامترها بی بعد از طریق تحلیل آزمایش ها به روش مقیاس طولی است. این کار با استفاده از تئوری باکینگهام و از طریق ارتباط بین متغیرهای درگیر با مشخصات جریان انجام شد.

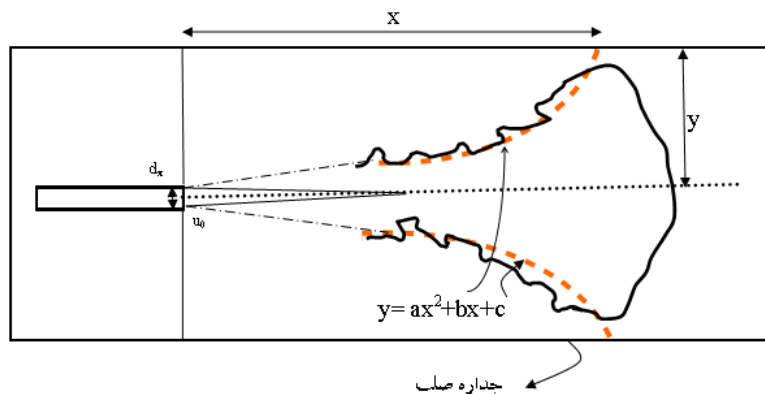
تحلیل ابعادی

با توجه به موقعیت قرارگرفتن نازل جت که روی سطح محیط پذیرنده است، پارامتر های حاکم بر پدیده تخلیه جریان جت سطحی، به منظور دستیابی به روابط بدون بعد حاکم، به شرح زیر است. پارامترهای موثر در حرکت سیال جت عبارتند از:

همان عدد فرود چگال است. برخی از پارامترهای تعریف شده در این پژوهش در شکل (۱) آورده شده است.

$$\frac{x_{um}}{H} = f\left(\frac{u_0^2 H \rho_j}{\sigma}, \frac{u_0 d \rho_j}{\mu_j}, \frac{u_0}{\sqrt{(\frac{\Delta \rho}{\rho_a}) \cdot g \cdot d}}\right) \quad (3)$$

در رابطه (۳) پارامتر اول عدد وبر در جریان آلاینده، پارامتر دوم عدد رینولدز جریان آلاینده و پارامتر سوم



شکل ۱. نمایش اختلاط جت در محیط پذیرنده بی نهایت کم عمق

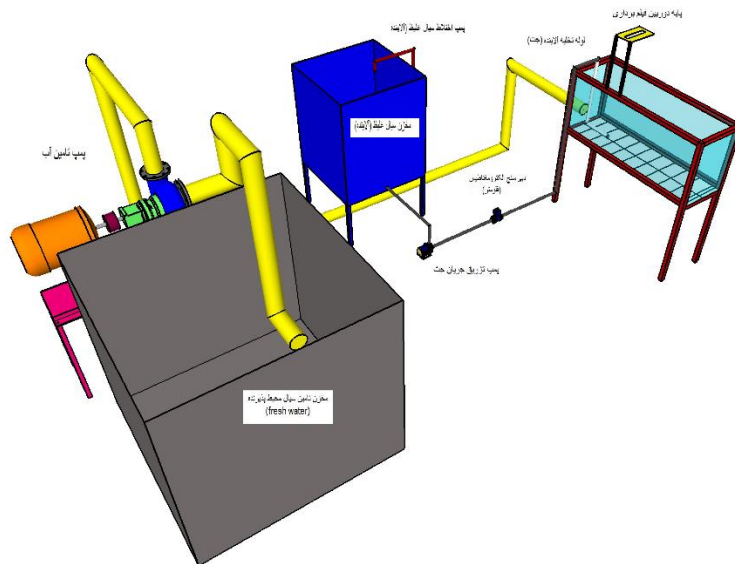
سیال تزریق شونده توسط پمپ تزریق سبب پخشیدگی جریان جت می شود. برای مشاهده پخشیدگی و طول پیشروی هسته جت از ماده رنگی پر منگنات پتاسیم استفاده گردید. در راستای اهداف تحقیق، فلوم آزمایش ها امکان برداشت مختصات جریان خروجی جت را دارا بود. از یک دستگاه EC متر دقیق دیجیتالی پرتابل WTW-3310 با دقت ۰/۰۱ درصد میکروزیمنس بر سانتی متر که دارای سنسور اندازه گیری دما نیز بود، برای اندازه گیری EC و دما استفاده شد. مقدار EC و دمای لحظه ای آب-نمک مخزن تزریق و آب فلوم اندازه گیری شد. غلظت ها روی صفحه مشبندی شده در سه قطر و نه دبی اندازه گیری شد. کل مدت زمان آزمایش به وسیله دوربین دیجیتالی CANOON-G31 با کیفیت سی فرم بر ثانیه فیلم برداری و ذخیره شد. از طرفی ارتباط بین شوری و دانسیته تغییرات، دانسیته سیال تزریق شونده در طول فلوم ثبت و اندازه گیری شد. برنامه ریزی آزمایش ها به گونه ای بود که هر آزمایش با یکبار تکرار انجام پذیرد. آزمایش اول برای بررسی روند افزایش غلظت و تکرار همان آزمایش برای تعیین غلظت خط مرکزی انجام شد. این کار در تمامی

مدل آزمایشگاهی

در این پژوهش جهت بررسی تاثیر پارامترهای هندسی، هیدرولیکی بر مشخصات پیشروی جبهه ی جریان جت، مدل سازی در آزمایشگاه انجام پذیرفت. مدل تشکیل شده از فلوم آزمایشگاهی با دیواره ی شفاف و از جنس پلکسی گلاس در ابعاد طولی ۳/۲ متر، عرضی ۰/۶ متر و ارتفاعی ۰/۹ متر می باشد. بخش های مختلف این مدل فیزیکی شامل مخزن تامین آب و پمپ انتقال آب به فلوم، مخزن تزریق جت و پمپ اختلاط سیال جت، فلوم و پمپ تزریق جت، لوله انتقال سیال از مخزن تزریق به جت، خروجی فلوم و تجهیزات مربوطه و نازل های تزریق جت می باشد. جهت اندازه گیری دبی خروجی از مخزن سیال جت، یک فلومتر الکترومغناطیس با دقت ۰/۲ درصد، بعد از خروجی مخزن تزریق شونده با شرایط استاندارد مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش سیال فلوم اصلی، آب شرب شهری و سیال تزریق شونده به آن، سیالی با چگالی بالاتر (سیال آب - نمک) بود که یک پمپ جداگانه متصل به مخزن تزریق، وظیفه اختلاط و چرخش سیال مخزن تزریق را برعهده داشت. اختلاف چگالی در دو سیال و همچنین نیروی اعمال شده به

توضیح است که پمپ مربوط به اختلاط مخزن سیال آلاینده همواره وارد مدار بود؛ بنابراین سیال تزریق شونده همگنی برخوردار بود. پس از تزریق و پخشیدگی سیال آلاینده داده‌های مورد نیاز شامل مختصات حدود پخشیدگی در دید از بالا، تغییرات غلظت خط مرکزی با استفاده از برداشت EC و فیلم برداری با شرایط استاندارد از پخشیدگی برداشت شد. از طرفی برای افزایش دقت هر آزمایش دو با تکرار می‌گردید. شکل (۲) تصویر شماتیک مدل آزمایشگاهی و تجهیزات مربوطه است.

آزمایش‌ها تکرار شد. شکل (۲) نمائی شماتیک از فلوم آزمایش‌ها به همراه مخزن ذخیره و سیستم جت در محیط بی نهایت کم عمق را نمایش می‌دهد. شکل (۳) نمائی واقعی از فلوم آزمایش‌ها را به تصویر کشیده است. مطابق با شکل‌های (۲) و (۳) ابتدا فلوم آزمایش‌ها از مخزن ذخیره آب شرب تا ارتفاع مد نظر براساس معیار عمق بی نهایت کم عمق پر می‌شد. پس از ساکن و آرام شدن آب موجود در فلوم پمپ مربوط به تزریق جریان جت آلاینده وارد مدار می‌شد و سیال آلاینده را به فلوم تزریق می‌نمود. لازم به



شکل ۲. نمائی شماتیک از فلوم آزمایش‌ها به همراه مخزن ذخیره و سیستم جت



شکل ۳. نمایی واقعی از فلوم آزمایش

۳. نتایج و بحث

در این بخش به بررسی پخشیدگی جریان و عرض بازشدگی محیط جریان چگال می‌پردازیم. ضریب انتشار در این حالت مربوط به بازشدگی مرزهای حرکتی می‌باشد. آزمایش‌های این تحقیق نشان داد که مرزهای حرکتی به صورت غیر خطی با معادله درجه دوم توسعه می‌یابد. این حالت با نتایج آلبرسون (۱۹۵۰) مطابقت دارد. از این رو معادله در نظر گرفته شده برای مرزهای حرکتی جت برای جریان‌هایی با عدد فرود اولیه بیشتر از ۵ به صورت زیر خواهد بود.

$$y = ax^2 + bx + c \quad (۴)$$

بر اساس این معادله ضرایب انتشار در آزمایش‌های مختلف استخراج گردید. ضرایب انتشار، مربوط به پخشیدگی جریان جت بوده که می‌توان آن را بر اساس پروفیل گوسین تعیین و محاسبه نمود. پارامترهای موثر بر ضریب انتشار را می‌توان، عدد فرود اولیه چگال و نسبت طول به عرض مسیر جریان در لحظه برخورد به مرز صلب (دیواره فلوم) برشمرد.

$$\left(x - \frac{t}{0.046t_0} \right)^2 + \frac{y^2}{\left(\frac{t}{0.023*t_0} \right)^2} = 1 \quad (۵)$$

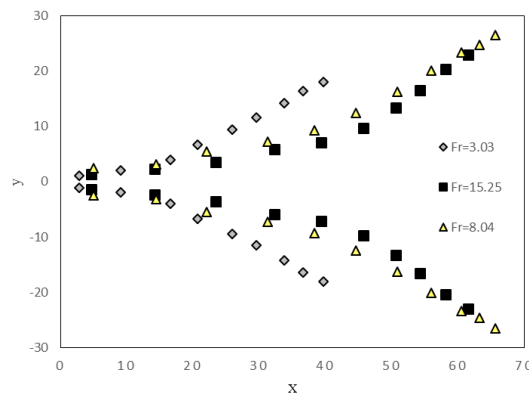
در جدول (۱) ضرایب انتشار، عدد فرود اولیه و طول برخورد جریان با دیواره داده شده است. همچنین رابطه (۵) معادله ریاضی-تجربی مسیر حرکتی جریان آلاینده در محیط بی نهایت کم عمق نسبت به زمان را برای جریان با عدد فرود چگال اولیه بالای ۵ را نشان می‌دهد. برای استخراج این رابطه با توجه به شبیه بودن پهنه‌ی پخشیدگی جریان به شکل هندسی منظم از معادله بیضی استفاده شد. در استخراج این رابطه از تحلیل تصاویر و برداشت مختصات نسبت زمان به درصد نزدیکی از تخمین قطرهای کوچک و بزرگ مساحت بیضی شکل پخشیدگی، نسبت به زمان بهره برده شد. در نتیجه پخشیدگی جریان، نسبت به زمان شروع جریان به زمان رسیدن مرز آلاینده به جداره صلب (زمان پایدار) است، بررسی شد. با توجه به رابطه بین زمان و قطرهای بیضی پخشیدگی رابطه ریاضی-تجربی مرز جریان آلودگی نسبت به زمان بدست آمد.

جدول (۱) داده های ضرایب انتشار، عدد فرود اولیه و طول برخورد جریان با دیواره

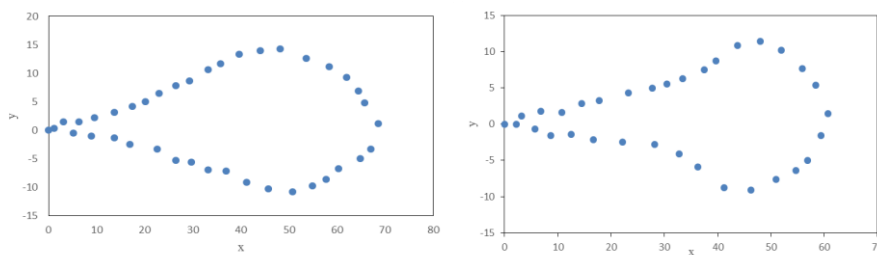
a	b	c	x	Fr ₀	a	b	c	x	Fr ₀
۰/۰۰۱	۰/۶۸۶	-۰/۴۸	۶۶/۱۲	۹/۶۹	۰/۰۰۶	-۰/۰۶۹	۳/۲۳	۶۸/۹	۶
۰/۰۱۲	۰/۱۵۸	-۰/۰۵	۹۲/۸۱	۲۰	۰/۰۰۷	-۰/۱۲۴	۳/۶۷	۸۵/۷	۱۱/۳۷
۰/۰۰۴	-۰/۴۹	۲/۰۶	۸۴/۳۲	۸/۰۴	۰/۰۰۵	-۰/۱۲۳	۲/۷۸	۸۸/۱	۱۱/۵
۰/۰۰۶	-۰/۱۶۳	۲	۱۰۶/۸۱	۱۵/۲۵	۰/۰۰۶	-۰/۲۵	۳/۱۱	۹۳	۱۰/۳۵
-۰/۰۰۲	۰/۳۵	-۰/۱	۵۵/۴۶	۲/۵۳	۰/۰۰۵	۰/۱۳۵	۲/۷۱	۵۲/۴۲	۱۲/۴
۰/۰۰۶	-۰/۱۶	۳/۱۸	۹۷/۸	۶/۸۶	۰/۰۰۶	۰/۱۵	۰/۹۷	۵۱/۵	۵
۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۶۲	۱۱۵/۳	۱۳/۹	۰/۰۰۳	۰/۰۲۶	۲/۴۶	۷۲/۷۵	۹/۴۶
۰/۰۱۵	-۰/۲	۴/۹۳	۴۶/۷	۷/۲۲	۰/۰۰۵	-۰/۱۳۸	۳/۰۳	۵۷/۳۲	۴/۲۵
۰/۰۱۴	-۰/۰۴	۱/۹۱	۵۷	۱۴/۹	۰/۰۰۳	-۰/۰۲۷	۰/۹۷	۷۸/۷۴	۸/۶۱

نیروی شناوری منفی جریان در سیال با غلظت بیشتر و پخشیدگی جریان عرضی بیشتر است. بر اساس نتایج بدست آمده ضریب انتشار به طور متوسط از غلظت کم به زیاد افزایش می‌یابد. این موضوع به دلیل انتشار مولکولی و پخشیدگی مولکولی بین سیال چگال و سیال پذیرنده می‌باشد. از طرفی در آزمایش مشابه با غلظت های متفاوت مطابق با سری شکل (۵) نحوه پخشیدگی و پهنه جریان جت متفاوت است و طبق دلایل ذکر شده در غلظت های بیشتر پهنه جریان جت افزایش می‌یابد.

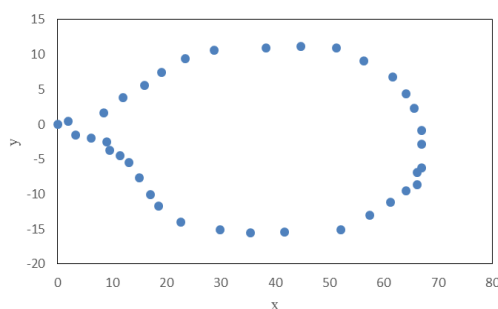
در شکل (۴) به بررسی ضریب انتشار نسبت به عدد فرود اولیه آلاینده پرداخته شده است. این شکل نشان دهنده تاثیر عدد بی بعد فرود بر ضریب انتشار در محیط پذیرنده بی نهایت کم عمق است. مطابق شکل (۴) مشخص است با افزایش عدد فرود ضریب انتشار کاهش می‌یابد. این کاهش به دلیل افزایش سرعت ورودی سیال جت و افزایش مومنتم جریان، افت انرژی بیشتر در اثر اصطحکاک بیشتر با مرزهای سیال جت می‌باشد. از طرفی شکل (۵) نشان می‌دهد که در شرایط یکسان ضریب انتشار بالاتر مربوط به غلظت های بیشتر می‌باشد. این نتیجه به دلیل افزایش



شکل (۴) تغییرات ضرایب انتشار نسبت به عدد فرود اولیه آلاینده



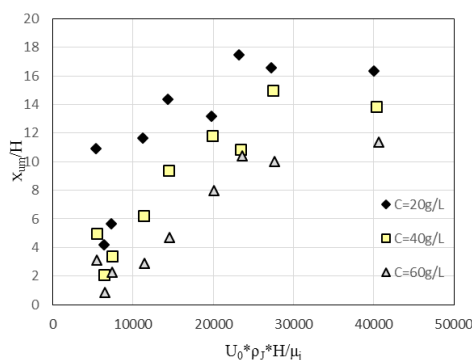
(ب)



(الف)

(ج)

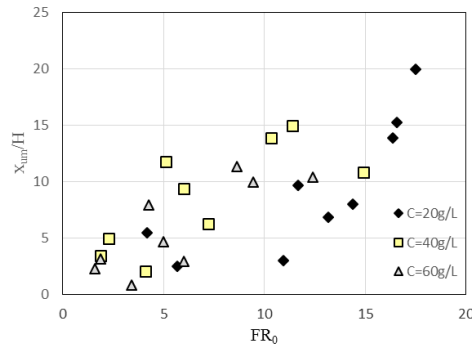
سری شکل (۵) تغییرات پخشیدگی جریان در زمان ۵ ثانیه در غلظت های الف) ۲۰ g/L (ب) ۴۰ g/L (ج) ۶۰ g/L



شکل (۶) پارامتر پیشروی جریان نسبت به عدد رینولدز ورودی

محیط پذیرنده بسیار به نحوه حرکت جت موثر بوده و باعث می شود تاثیر پذیری لزجت جریان بسیار مهم باشد. در کل می توان نتیجه گرفت که فارغ از میزان غلظت اولیه سیال جت روند تغییرات پارامتر پیشروی خطی جریان نسبت به عدد رینولدز با آهنگ ثابتی صورت می پذیرد. نکته مهم دیگر این است که با افزایش غلظت مقادیر پارامتر پیشروی کمتری به دلیل دانسیته بیشتر سیال رخ می دهد. نکته جالب اینکه میزان پارامتر پیشروی در سیال ۲۰ گرم در لیتر به حدود ۱۷ برابر عمق سیال پذیرنده محدود می شود. حال اینکه برای غلظت ۴۰ و ۶۰ گرم در لیتر این طول پیشروی به ترتیب به ۱۴ و ۱۰ برابر عمق سیال پذیرنده محدود می شود.

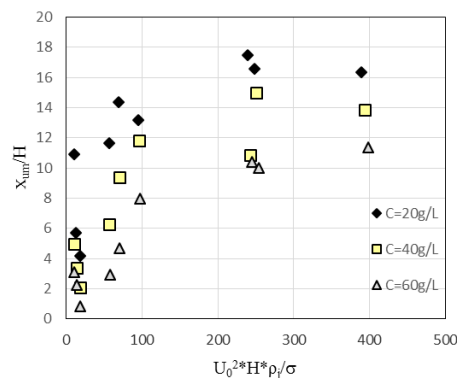
مطابق با شکل (۶) اثر پارامتر پیشروی جریان نسبت به عدد رینولدز ورودی نمایش داده شده است. عدد رینولدز ورودی در واقع به صورت $\frac{u_0 d \rho_j}{\mu_j}$ تعریف شده است که در آن اثر محیط پذیرنده بسیار کم با H مشخص گردیده است. بر اساس این شکل به طور کلی مشخص می شود که اثر عدد رینولدز ورودی از حدود ۲۸۰۰۰ و بیشتر، از بین می رود. این در حالی است که این موضوع در کلیه غلظت ها تقریباً وجود دارد و می توان بیان نمود با عدد رینولدز تعریف شده که هم شرایط جریان آلاینده و هم عمق محیط پذیرنده در آن نهفته است، عدد رینولدز تا ۲۸۰۰۰ بر پیشروی جریان بسیار موثر است و حال آنکه پس از آن اثر این پارامتر تقریباً ناچیز می شود. در واقع در سرعت های کم جریان آلاینده شرایط سیال در



شکل (۷) تغییرات پارامتر پیشروی در برابر عدد فرود چگال اولیه جریان

فرود در محدوده فوق بحرانی به عنوان عدد فرود مرزی تغییرات پارامتر پیشروی به شدت افزایش می‌یابد. این عدد فرود مرزی در حدود ۱۲ می‌باشد. حال آنکه برای غلظت های ۴۰ و ۶۰ گرم در لیتر پس از یک عدد فرود مشخص تغییرات پارامتر پیشروی ثابت می‌شود. در هر دو غلظت این عدد فرود مرزی در حدود ۸ می‌باشد. در واقع با کاهش اثر نیروی ثقل اندرکنش ممنتم انتقالی و نیروی شناوری به جهتی است که باعث افزایش شدید پارامتر پیشروی می‌شود. در بررسی پارامتر پیشروی نشان می‌دهد که اثر غلظت در پیشروی بسیار تعیین کننده است. در واقع در یک غلظت مشخص نحوه عملکرد پخشیدگی جریان دچار تنوع می‌گردد.

شکل (۷) تغییرات پارامتر پیشروی در برابر عدد فرود چگال اولیه جریان نمایش می‌دهد. در این نمودار عدد فرود اولیه به صورت $\frac{u_0}{\sqrt{(g'.d)}}$ تعریف شده است که در واقع شتاب ثقل موثر جریان می‌باشد. نکته مهمی که در این نمودار استخراج می‌شود این است که در کلیه آزمایش های تحقیق حاضر جریان در حالت فوق بحرانی از نظر عدد فرود چگال قرار دارد. در این حالت حداکثر عدد فرود چگال در حدود ۱۸ می‌باشد. از طرفی این موضوع بدیهی است که با افزایش عدد فرود چگال طول پیشروی افزایش می‌یابد و نکته مهم اینجا است که این تغییرات روی هم وجه خطی ندارند و در غلظت های ۴۰ و ۶۰ گرم در لیتر روند بسیار متفاوتی با غلظت ۲۰ گرم بر لیتر دارد. در غلظت ۲۰ گرم در لیتر با افزایش یک عدد



شکل (۸) تغییرات پارامتر پیشروی در برابر عدد وبر جریان

مشخص می‌شود که اثر عدد وبر از حدودا ۲۵۰ و بیشتر از بین می‌رود و این موضوع برای کلیه غلظت ها صادق است. در کل می‌توان بیان نمود که با عدد

شکل (۸) تغییرات پارامتر پیشروی را در برابر عدد وبر اولیه جریان نمایش می‌دهد. به صورتی که عدد وبر به صورت $\frac{u_0^2 H \rho_j}{\sigma}$ تعریف شده است. در این شکل

آهنگ تقریباً ثابتی تغییر می‌کند. همچنین نتایج بدست آمده حاکی از وابسته بودن پارامتر پیشروی نسبت به عدد رینولدز و عدد وبر نیز است. تاثیر موثر عددهای رینولدز و وبر بر پخشیدگی و پهنه‌ی جریان نشان می‌دهد که در تمامی غلظت‌ها تا محدوده‌ای، بسیار تاثیر گذار بوده است و از یک مرزی به بعد تاثیر تقریباً ناچیزی داشته است.

منابع

Ahadiyan, J. ۲۰۰۹. The impact of convergence on the mixing angle in the submerged jet using physical and mathematical models. Ph.D. Thesis, Shahid Chamran University. Water Science Engineering Faculty.

Sajadifar, R., Ahadiyan, J. 2016. Spreading Coefficient of Buoyant Jet flow in the Shallow and Deep Ambient Current, Journal of water and soil, 30 (5), 1403-1414 (In Persian).

Abessi, O., Saeedi, M, Kheyrikhah, H ۲۰۱۰. Front View contamination, mixing and final dilution in wastewater discharges to surface waters inhabited heavy, Journal of Water and Wastewater (1) 91.

Abessi, O., Saeedi, M, Kheyrikhah ۲۰۱۱, the flow characteristics in heavy discharge of wastewater to surface water in not static or layering structure, "Journal of Water and Wastewater, (4)

Fazeli, A, Hasan por, F, Ahadiyan, J ۲۰۱۴. Laboratory study of factors affecting the diffusion currents are concentrated in shallow waters. International Conference on Science, Engineering and Technology, Environment, School of Environmental Tehran University.

Mohammad, p. ۲۰۱۱. The effect of dilution and disposal of wastewater and drainage conditions in the submerged jet on receiving resources using physical models. Ph.D. Thesis, Shahid Chamran University. Water Science Engineering Department.

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

وبر تعریف شده که هم شرایط سیال جت و محیط پذیرنده در آن موجود است عدد وبر تا حدود ۲۵۰ بر پارامتر پیشروی جریان آلاینده موثر است و بعد از آن این مقدار تقریباً بدون تاثیر است. با افزایش غلظت مقدار پارامتر پیشروی کم می‌شود. دلیل این کاهش را می‌توان دانسیته بیشتر سیال دانست. میزان پارامتر پیشروی در سیال با غلظت ۶۰ گرم در لیتر حدوداً ۱۰ برابر عمق محیط پذیرنده محدود شده است. این در حالیست که این پارامتر برای غلظت ۴۰ و ۲۰ گرم بر لیتر به ترتیب تقریباً با ۲۰ و ۴۰ درصد افزایش همراه است.

۴. نتیجه گیری

در این پژوهش به بررسی پارامترهای انتشار و پیشروی جریان در محیط بی نهایت کم عمق پرداخته شد. نتایج نشان داد که با افزایش عدد فرود ضریب انتشار کاهش می‌یابد این کاهش به دلیل افزایش سرعت ورودی سیال جت و افزایش ممنتم جریان می‌باشد. از طرفی نتایج نشان می‌دهد که در شرایط یکسان، سیال با غلظت بیشتر ضرایب انتشار بالاتر و طول پیشروی کمتری دارد. دلیل این تغییرات را می‌توان دانسیته بیشتر جریان آلاینده دانست. همچنین با در نظر گرفتن الگوی حرکت جریان، پهنه‌ی انتشار سیال آلاینده در محیط پذیرنده، نسبت به عدد فرود اولیه دسته بندی شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که جریان آلاینده با عدد فرود بیشتر از ۵ نحوه‌ی پخشیدگی مرزهای حرکتی آلاینده تقریباً مشابه به معادله سهمی درجه دو می‌باشد. ضرایب $c_{b,a}$ سهمی برای هر آزمایش به طور مجزا محاسبه شد. این در حالیست که برای جریان‌هایی با عدد فرود بیشتر از ۵ پهنه‌ی پخشیدگی جریان تقریباً مشابه به معادله بیضی است. برای این قسمت معادله‌ی ریاضی- تجربی ۳ بعدی (x,y,t) بدست آورده شد. ادامه نتایج نشان می‌دهد که با افزایش عدد فرود چگال در تمامی غلظت‌ها پارامتر پیشروی جریان افزایش می‌یابد. این در حالیست که برای تمامی غلظت‌ها این روند با

- Abessi, O., and Roberts, P. J. 2015. Dense jet discharges in shallow water. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 142 (1), 04015033-1 to 17.
- Albertson, M. L., Dai, Y. B., Jensen, R. A., & Rouse, H. 1950. Diffusion of submerged jets. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 115(1), 639-664.
- Crow, S. C., and Champagne, F. H. 1971. Orderly structure in jet turbulence. *Journal of Fluid Mechanics*, 48(03), 547-591.
- Holley, E. R., & Jirka, G. H. 1986. Mixing in rivers. US Army Engineer Waterways Experiment Station
- Oliver, C. J., Davidson, M. J., & Nokes, R. I. 2013. Predicting the near-field mixing of desalination discharges in a stationary environment. *Journal of Desalination*, 309, 148-155.
- Zeitoun, M. 1972. Model Studies of Outfall Systems for Desalination Plants. Part III. Numerical Simulation and Design Considerations.
- Zhang, W., & Zhu, D. Z. 2014. Trajectories of Air-Water Bubbly Jets in Cross flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 140(7), 06014011.

Spreading of circular buoyant jet in the infinite shallow water ambient

B . Mardasi¹ , J . Ahadiyan*² , N . Shehni karam zadeh

1. Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

2. Khorramshahr University of Marine Science Technology, Iran

Abstract

Discharge of contaminants in acceptor ambient has environmental impacts. Circumstances of Extremely shallow acceptor will have a significant impact on the diffusion of contaminants flow. In this study, diffusion and progression parameters in extremely shallow ambient have been investigated. For the purposes of this study, a laboratory model of surface draining in extremely shallow water was set up and experiments was carried in flume with 3.2 meters length, 0.6 meters width and 0.9 height. Accordingly, experiments were programmed by taking three simple dump with 1.2, 1.6, and 2.2 cm diameter, The concentrate flow with of 20, 40 and 60 grams per liter concentration in a acceptor environment with $H / d = 2$. The results showed that the diffusion coefficient decreases with increasing Froude number. This is due to increasing the fluid jet input speed and momentum. On the other hand the results show that, the fluid with a higher concentration has higher diffusion factors and less progression length under the same circumstances. Also diffusion of contaminants fluid in the acceptor ambient, were classified with the initial Froude number due to flow pattern. Studies show that in contaminants flow with Froude number greater than 5, diffusion boundaries are almost similar to the second-order parabolic equation. Coefficients a, b and c were calculated separately for each experiment. While for flows with Froude number lesser than 5, diffusion expanse of flow is almost similar to the oval equation. The 3D mathematical-experimental equation(x, y, t) was obtained for this part. More results show that at all concentrations, the progression parameters increased with increasing densitometry Froude number. While this process changes in a constant rate for all concentrations. The results also indicate dependence of progression parameter to the Weber number. The effectiveness of Reynolds and Weber numbers on diffusion and flow region shows that they are effective in all concentrations up to specific amount, and negligible after this amount.

Keywords : circular surface jet , Diffusion , extremely shallow , Dense flow

*Corresponding author, E-mail: ja_ahadiyan@yahoo.com