# The Impact of Channel Shape at Surface Discharge from Rectangular and Trapezoid Sections into Stagnant and Non-stratified Water Bodies

#### F. Shacheri<sup>1</sup>, O. Abessi<sup>2</sup>, J. Mohammadvali Samani<sup>3</sup>, M. Saeedi<sup>4</sup>

 MSc Student of Water Structure Engineeing, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
 Assist. Prof., School of Civil Engineering, Nooshiravani University of Technology, Babol, Iran (Corresponding Author) Oabessi@nit.ac.ir

3. Prof. of Water Structure Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran 4. Prof. of Water and Environment, School of Civil Engineering, Iran Unversity of Science and Technology, Tehran, Iran

(Received Nov. 1, 2017 Accepted June 1, 2017)

#### To cite this article :

Shacheri F., Abssi, O., Mohammadvali, J., Saeedi, M., 2018, "The impact of channel shape at surface discharge from rectangular and trapezoid sections into stagnant and non-stratified water bodies" Journal of Water and Wastewater, 29(2), 101-113. Doi: 10.22093/wwj.2017. 49230.2140. (In Persian)

#### Abstract

In recent years, with growing population and industrialization of the world, desalination techniques have developed drastically to supply the rising needs of coastal cities to fresh water. The brine is the second product of the producing fresh water process in the desalination facilities, that is usually discharged into the sea through marine outfalls (surface and submerged). The main purpose of the outfall is to enhance the dilution and reduce the impact on the local environment. In this study, in order to investigate the impact of the shape of the surface discharge channel, rectangular and trapezoidal sections with the equivalent diameter were used to discharge wastewater with negative buoyancy into stagnant and non-stratified water bodies. Experiments have been carried out in a dark room and processed using digital analysis. The location of plunge point, impact point and the dilution in this point, and the location of the ultimate point and dilution at this point were the flow characteristics studied in this research. According to the shape impact and less hydraulic conflict with the surroundings, trapezoidal section had better geometric characteristics compared to rectangular section. Results of the experiments were presented in the form of non-dimensional diagrams and equations. Finally, statistical indices such as Root Mean Square Error (RMSE) and R-Square ( $R^2$ ) were used to verify the accuracy of the presented dimensionless equations. The results indicated that the closer the shape of surface channel discharge is to the best hydraulic cross section (semicircular), the better geometric and mixing characteristics would be obtained for the flow along near-field area. In this way, prediction of flow characteristics and design of actual samples of these outfalls will be possible.

## *Keywords:* Shape Impact, Dense Flow, Surface Discharge, Mixing, Densimetric Froude Number.

Journal of Water and Wastewater

## تأثیر شکل کانال در تخلیه سطحی جریان چگال از دو مقطع مستطیلی و ذوزنقهای در محیطهای ساکن و همگن

فاطمه شاچري ، عزير عابسي ، جمال محمدولي ساماني ، محسن سعيدي أ

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران ۲ - استادیار گروه عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروان بابل (نویسنده مسئول) Oabessi@nit.ac.ir ۳ - استاد گروه استاد گروه سازههای آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران ۴ - استاد گروه آب و محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

(دریافت ۹۵/۲/۱۲ پذیرش ۹۹/۳/۱۱)

بر ای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفر مایید: شاچری، ف.، عابسی، ع.، محمدولی سامانی، ج.، سعیدی، م.، ۱۳۹۷، " تأثیر شکل کانال در تخلیه سطحی جریان چگال از دو مقطع مستطیلی و ذوزنقهای در محیطهای ساکن و همگن" ، مجله آب و فاضلاب، ۲۱(۲)، ۱۱۳–۱۰۱. کا 2020.2107. 49230.214

## چکیدہ

در سالهای اخیر با افزایش جمعیت و صنعتی شدن جهان، صنایع نمکزدایی از آب دریا به منظور تأمین نیازهای فزاینده شهرهای ساحلی به آب شیرین، گسترش زیادی یافتهاند. پساب بسیار شور، محصول ثانویه فرایند تولید آب شیرین در تأسیسات نمکزدایی آب دریا است که معمولاً با استفاده از انواع تخلیه کنندههای دریایی سطحی و مستغرق به محیط دریا تخلیه می شود. هدف اصلی تخلیه کننده ها دستیابی به ترقیق مناسب و کاهش اثرات مخرب محیطزیستی تخلیه فاضلاب بر محیط زیست است. در این پژوهش اثر شکل کانال در تخلیه سطحی پسابهای با شناوری منفی از دو مقطع مستطیلی و ذوزنقهای با قطر معادل یکسان در محیط ساکن و همگن مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشها در اتاق تاریک و با استفاده از دوربین دیجیتال انجام شد و از طریق تحلیل رقومی تصاویر، مورد پردازش قرار گرفت. موقعیت نقطه غوطهوری، نقطه برخورد و میزان ترقیق در نقطه برخورد از مین یا موقعیت و ترقیق نهایی جریان در محیط از جمله پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش بود. نتایج مشاهدات آزمایشگاهی به صورت کمی در قالب مجموعهای از نمودارها و روابط بی بعد ارائه شد. در نهایت از سنجههای آماری ماند. مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین <sup>(R)</sup>) برای بررسی دقت روابط بی بعد آرائه شده، آستفاده شد. نتایج به دست آمده بیانگر آن است که هرچه شکل کانال تخلیه کننده به شکل بهترین مقطع هیدرولیکی (نیم دایره) نزدیک تر باشد. جریان در مقاده از می موابع نزدیک، مشخصات هندسی و اختلاط بهتری خواه داشت.

*واژههای کلیدی*: تأثیر شکل، جریان چگال، تخلیه سطحی، اختلاط، عدد فرود دنسیمتریک

#### ۱ – مقدمه

۸۰ درصد شهرهای عمده جهان در مجاورت ساحل واقع شدهاند. در این مناطق تخلیه فاضلاب بـه محیطهـای آبـی بـهعنـوان گزینـهای اقتصادی و مطلوب از نظر محیطزیستی نسبت به تخلیه در خشکی، همواره مطرح بوده است. ویژگیهـای مطلـوب فیزیکی و شیمیایی محیطهای دریایی برای تجزیـه مـواد آلـی در درون خـود و قابلیت پیکرههای آبی برای ترقیق فاضـلابهـای تجمعی از جملـه عوامـل

تأثیرگذار در این رابطه است (Kikkert 2006). بهطور معمول تخلیه فاضلاب به دریا از طریق تخلیه کننده های دریایی و به صورت سطحی یا مستغرق انجام میگیرد. هدف اصلی تخلیه کننده ها، افزایش ترقیق جریان در پیکره آبی و کاهش تأثیرات مخرب محیط زیستی فاضلاب در محیط پذیرنده است. برای کاهش این تأثیرات، تخلیه کننده ها باید به گونه ای طراحی شود که پلوم یا

Journal of Water and Wastewater



<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Marine Outfalls

نامطلوب بسیار زیادی برای محیط زیست دریایی به همراه داشته باشد. این تأثیرات ناشی از شوری زیاد فاضلاب خروجی و مواد

آلاينده آن بر موجودات دريايي، بهويژه جاندارن كفرى است كه

کمینه سازی آن تنها از طریق طراحی مناسب و رعایت نمودن

الزامات مورد نیاز برای اختلاط حداکثری جریان در محیط ممکن

است. (Crowe et al. 2012; Lia & Lee 2012; Oliver et al.).

بالا، امکان مناسبی برای ترقیق و اختلاط با آب محیط فراهم

خواهد کرد. پیشبینی رفتار جریان در تخلیه فاضلابهای شور از

انواع تخلیهکنندههای دریایی اولین گام در طراحی این سیستمها

محسوب مي شود (Shao & Law 2010). در اين زمينه مطالعات

گستردهای برای تعیین رفتار جریان های بسیار شور و چگال

خروجی از تخلیهکنندههای مستغرق تک مجرایی و چند مجرایی در

محیطهای ساکن و متحرک انجام گرفته است. در این مطالعات

مشخصات هندسي و اختلاطي جريان اعم از حداكثر ارتفاع خيـزش،

مسير حركت، ميزان ترقيق در طول مسير و اثر برهمكنش جتها

.(Robert et al. 1997; Cipollina et al. 2005; Kikkert et al. 2007; Tarrade et al. 2010; Marti et al. 2011; Abessi &

Roberts 2014; Abessi & Roberts 2015 a,b)

ر یک\_\_\_\_ گر م\_\_\_ورد بررس\_\_\_ ق\_\_\_رار گرفت\_\_\_ه اس\_\_\_

در ارتباط با تخلیه کننده های سطحی نیز تخلیه یساب های

حرارتی سبک با شناوری مثبت نسبت به تخلیه یسابهای با

شناوري منفى تاكنون بيشتر مورد توجه قرار گرفتهاند. يژوهش هاي

انجام شده بر روی تخلیه سطحی فاضلابهای حرارتی و سبک،

تاكنون مشخصات هندسي و اختلاطي جريان در محيط ساكن و

الگوى طبقهبندى جريان هاى سطحى در محيط هاى متحرك را

آشکار ساخته است. این یژوهش ها در قالب مدل کرمیکس ۳۳ برای

شبیه سازی جریانات سطحی فاضلاب های سبک در حالات مختلف

تخلیه و محیط پذیرنده برای طراحی و استفاده های مهندسی تجمیع

شده است. در این مدل رژیمهای مختلف جریان در محیطهای

متحرک با سرعتهای جانبی کم تا بسیار زیاد و تأثیر شرایط کم

عمقی پیکره آبی یذیرنده نیز در نظر گرفته شده است Chu & Jirka).

1986; Nash & Jirka 1996; Amon & Benner 1998; Jirka

جریان خروجی در صورت دارا بودن سرعت اولیه و آشفتگی

2013)

جت تخلیه شده، استانداردهای تجویز شده را در ناحیهای کوتاه از محل تخليه بر آورده كند (USEPA 1980a). پساب خروجی از تخلیهکننده ها تحت تأثیر سه فاز مجزای اختلاط در میدان نزدیک، اختلاط در میدان دور و اختلاط دراز مدت در محیط دریا یخش می شود. فاز اول که مرحله اختلاط اولیه یا اختلاط در ناحیه میدان نزدیک<sup>۲</sup> است، ناحیهای در مجاورت دهانه تخلیهکننده است کـه طـی آن مشخصات جریان خروجی اعم از شار مومنتم، شار شناوری، نوع و شکل کانال تخلیهکننده، تعیینکننده رفتار جریان در محیط مىباشد. در اين ناحيه ميزان اختلاط و ترقيق بالا و اثرات محيط بر اختلاط جريان ناچيز است. آشفتگي القاء شده توسط شارهاي جريان خروجي در انتهاي ميدان نزديک از بين ميرود و اين محدوده تنها ناحیهای از اختلاط جریان در محیط است که توسط مهندس طراح قابل کنترل است. مهندس طراح با شناسایی يارامترهاي تأثيرگذار بر فرايند اختلاط در اين ناحيه، تنها از طريق انتخاب مناسب پارامترهای هیـدرولیکی جریـان خروجی قـادر بـه دستیابی به حداکثر ترقیق برای دستیابی به استانداردهای محيطزيستي خواهد بود.

تخلیــهکننــدههـای مســتغرق کــه در اعمــاق آب در بســتر محیط یذیرنده کار گذاشته می شوند، شامل دو دسته تخلیه کننده های تکمجرایی و چندمجرایی میباشند. تخلیهکنندههای مستغرق متداول تر و دارای بازده بالاتری هستند، با ایس وجود تخلیهکنندههای سطحی برای تخلیه پسابهای حجیم در شرایطی که ترقیق پایین تری مورد نیاز باشد، بهدلیل راحتی و هزینه کمتر همواره مورد توجه بودهاند. تخلیه سطحی فاضلاب به دریا در این حالت با استفاده از کانال های ساحلی پیشرونده که پساب را در فاصله کافی از ساحل در سطح آب پذیرنده رها میکنند، انجام می گیرد (Jones et al. 2007).

در سال های اخیر با افزایش جمعیت و صنعتی شدن جهان، استفاده از نمکزدایی بهعنوان یک روش ماندگار و در برخی موارد تنها منبع تأمين آب شرب شهرها و صنايع مورد توجه بسيار قرار گرفته است. این موضوع باعث توسعه صنایع نمکزدایم آب دریا در ساحل و افزایش موارد تخلیه فاضلابهای شور و سنگین به این ییکر، های آبی باز شده است. تخلیه های آب شور می تواند اثرات

Initial Mixing

2007a)

<sup>3</sup> CORMIX



Near Field Mixing

Journal of Water and Wastewater

Vol.29, No. 2, 2018



**Fig 1.** Schematic view of dense surface discharge in stagnant environment (Abessi et al. 2012) شکل ۱–الگوی توسعه جریان در تخلیه سطحی پسابهای سنگین در (Abessi et al. 2012)

این معنی که برای سرعتهای پایین (20 > Fr<sub>d</sub>)، طولی از جریان که در جلوی تخلیهکننده است متأثر از شکل مجرای تخلیه است و با تغییر آن تغییر می کند. به دلیل آن که در تخلیه کننده های مستغرق عمدتاً سرعت تخلیه و عدد فرود جریان بالا است، همواره می توان از تأثیر شکل هندسی منبع تخلیه در این شرایط صرفنظر کرد (Roberts et al. 1997). در تخلیهکننده های سطحی به دلیل ماهیت ثقلی جریان، سرعت و عدد فرود پایین است لذا شکل منبع تخلیه عاملی تأثیرگذار در شکل گیری جریان خروجی محسوب می شود. علی رغم اهمیت اثر شکل هندسی منبع تخلیه در رفتار جریانهای مطحی فاضلابهای چگال، تاکنون هیچ پژوهش نظام مندی در این زمینه انجام نگرفته است. در پژوهش های محدود انجام شده در رابطه با تأثیر شکل هندسی منبع در تخلیه سیالات تراکم پذیر، رابطه با تأثیر شکل هندسی منبع در تخلیه سیالات تراکم پذیر، در ابطه با تأثیر شکل هندسی منبع در تخلیه سیالات در مقاطع دا مشاهده شده است که مقاطع با گوشههای تیز نسبت به مقاطع دایـرهای از ویژگـیه ای ا

در این پژوهش، به منظور بررسی اثر شکل مقطع بر تخلیه سطحی پسابهای با شناوری منفی در محیط ساکن از دو مقطع مستطیل و ذوزنقه استفاده شد. برای دو مقطع مذکور، قطر معادل یکسان (D<sub>e</sub>=٩/٩٨ cm) در نظر گرفته شد. مقاطع با قطر معادل یکسان متناظر هستند با دایرهای که مساحتی معادل با این مقاطع دارد. در این پژوهش، به منظور ارزیابی تأثیر شکل منبع در تخلیه سطحی پسابهای با شناوری منفی از کانالهای پیشرونده، از در مورد جریان های با شناوری خنثی و منفی پژوهش های کمتری انجام گرفته شده است Kassem & Khan 2003; Law). Adrian et al. 2004; Gholamreza-Kashi et al. 2007; Abessi 2011; Abessi et al. 2012 Saeedi et al., 2012) بهدلیل عدم وجود اطلاعات آزمایشگاهی و میدانی کافی،

مدلهای ریاضی از تقریبهایی با دقت پایین برای پیشبینی مشخصات جریانهای سطحی چگال استفاده میکنند و این موضوع طراحی علمی و بهرهبرداری مناسب از این تأسیسات را با مشکل مواجه ساخته است. استفاده از مدلهای فیزیکی برای مدلسازی تخلیه سطحی فاضلابهای سنگین در محیط آزمایشگاه، امکان شناخت بهتر از فرایند اختلاط و ترقیق جریانهای سطحی چگال در محیط دریا را میسر میسازد.

در برخی پژوهشها در سالهای اخیر ویژگیهای اختلاطی و هندسی جریان چگال از تخلیهکننده سطحی با مقطع مستطیلی در محیطهای ساکن مورد بررسی قرار گرفته است ;Abessi 2011). (2012; Saeedi et al. 2012

مسیر حرکت جریان، میزان ترقیق در امتداد مسیر، موقعیت نقطه برخورد، موقعیت نقطه غوطه وری، پروفیل غلظت. الگوی عمومی حرکت و الگوی طبقهبندی جریانهای چگال در محیطهای متحرک از جمله پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش ها بوده است. الگوی توسعه داده شده در ارتباط با حرکت جریان در تخلیه سطحی پسابهای با شناوری منفی در محیطهای ساکن و لایهبندی نشده توسط عابسی در شکل ۱ نشان داده شده است جریان خروجی از تخلیهکننده ابتدا تحت تأثیر سرعت اولیه خود یک مسیر افقی کوتاه را طی کرده سپس با استهلاک شار مومنتم اولیه و غلبه نیروی شناوری در نقطه غوطهوری (Xp) به سمت بستر محیط پذیرنده منحرف می شود. جریان خروجی در نهایت به شکل یک جریان چگال در مجاورت بستر آرام گرفته و در جهت شیب کف به آهستگی به حرکت در می آید.

جریان خروجی از تخلیهکننده های دریایی به منظور دستیابی به اختلاط و ترقیق مناسب معمولاً دارای سرعت اولیه زیاد و نتیجتاً عدد فرود و رینولدز بالا می باشد. اثر شکل هندسی مجرای تخلیهکننده بر مشخصات میدان نزدیک جریان، برای اعداد فرودبالا قابل صرفنظر کردن بوده و تنها به ازای عدد فرود کوچک تر از ۲۰ قابل ملاحظه است (Roberts et al. 1997)؛ به



طریق انجام یکسری آزمایش ها در شرایط مختلف نسبت به بررسی رفتار جریان در محیط ساکن و لایهبندی نشده برای هریک از مقاطع و مقایسه آن ها با یکدیگر اقدام شد. نتایج مشاهدات کمی بهصورت نمودار و روابط بیبعد ارائه شده است.

## ۲ – مواد و روشها ۲ – ۱ – روش کار

در آزمایش های انجام شده در این پژوهش، بازه تغییر پارامترهای جریان اعم از دبی، سرعت و چگالی فاضلاب خروجی به ترتیب ۱۹۶۷ تا ۱۰۰۰ سانتی متر مکعب بر ثانیه، ۲۰ تا ۳۶ سانتی متر بر ثانیه و ۱۹۳۹ تا ۱۰۵۳/۱ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شد. بازه تغییر متغیرها در این آزمایش ها متناسب با نمونه های شد. بازه تغییر متغیرها در این آزمایش ها متناسب با نمونه های واقعی انتخاب شده تا نتایج آزمایشگاهی حاصل در مقیاس واقعی قابل استفاده شود (Bleninger & Jirka 2008). این آزمایش ها در مدل آزمایشگاهی تحقیقات هیدرولیک محیط زیست دانشکده مدل آزمایشگاهی تحقیقات هیدرولیک محیط زیست دانشکده مانتی متر انجام گرفته است. در این پژوهش، اثر شکل هندسی سطح مقطع کانال تخلیه کننده بر پارامترهایی مانند موقعیت نقطه فوطه وری، موقعیت نقطه برخورد، ترقیق تجمعی در این نقطه، موقعیت به اهمیت محیط زیستی و طراحی این پارامترها مورد بررسی قرار به اهمیت محیط زیستی و طراحی این پارامترها مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲-۲-مدل آزمایشگاهی

مدل آزمایشگاهی مورد استفاده، مخزنی به طول ۶ متر، عرض ۱/۸ متر و عمق ۱/۵ متر بود. چارچوب فولادی این مخزن امتداد طولی آن را به سه پنجره ۲ متری تقسیم کرده بود و دو طرف آن با شیشهای به ضخامت ۲۰ میلیمتر پوشانیده شده بود. مخزن از آب با چگالی ۹۹۸ کیلوگرم بر متر مکعب پر شد. کانالهایی با مقاطع مستطیلی و ذوزنقهای به عرض ۱۰ سانتیمتر به عنوان تخلیه کننده سطحی در این آزمایش ها مورد استفاده قرار گرفتند. این کانال ها، فاضلاب مصنوعی تولید شده را توسط یک سیستم پمپاژ با سرعت های مختلف در داخل مخزن و در مجاورت سطح آب تخلیه میکردند. از دبی سنج الکترونیکی برای اندازه گیری میزان دبی فاضلاب خروجی استفاده شد، سپس بر اساس عمق قرائت شده در

دهانه خروجی کانال، سرعت جریان محاسبه شد. پساب مورد استفاده در این آزمایشها، آب شور ناشی از انحلال نمک طعام (سدیم کلرید) در آب شیرین بود که جریانی از پساب در غلظتهای مختلف با جرمهای حجمی متفاوت ایجاد می نمود. مشخصات ظاهری پلوم در محیط پذیرنده، با رنگ محلول در آب بهعنوان آشکارساز مشخص می شد و ثبت مسیر حرکت در زمینه نور سفید با استفاده از دوربین دیجیتال سونی مدل DCR-SR47 انجام شد. آزمایشها از طریق ثبت دیجیتال مسیر حرکت جریان در اتاق تاریک در مقابل یک منبع نور سفید لامپ فلورسنت بود که در پشت مخزن جانمایی شده بود. شکل از ۲۵ نمایی از طرح سه بعدی مدل است که با استفاده از نرمافزار نمایی از طرح سه بعدی مدل است که با استفاده از نرمافزار را نشان می دهد.

شکل ۳، نیز نمایی از تخلیه سطحی پساب با شناوری منفی از دو مقطع مستطیل و ذوزنقه را در محیط ساکن و همگن نشان میدهد. موقعیت نقاط غوطهوری و برخورد و همچنین مسیر حرکت جریان برای هریک از این مقاطع در این شکل نشان داده شده است. با انجام و ثبت آزمایش ها در اتاق تاریک، امکان پردازش رقومی تصاویر دیجیتال برداشت شده به منظور تعیین مشخصات حرکت جریان به نحو مطلوب فراهم شد. در این پژوهش، از روش تحلیل رقومی که پیشتر توسط عابسی و همکاران در سال ۲۰۱۲ توسعه داده شده بود، استفاد شد. در این روش پس از استخراج تصاویر مجزا از ویدیوی ثبت شده از هر یک از آزمایش ها، با



مجله آب و فاضلاب ود ۱۳۹۷ تهواره ۲، سال ۱۳۹۷

Journal of Water and Wastewater

Vol.29, No. 2, 2018



Fig 3. Schematic view of dense surface discharge in stagnant environment, a) rectangular channel b) trapezoidal channel شکل۳- نمایی از تخلیه سطحی یساب با شناوری منفی در محیط ساکن، الف) كانال مستطيل ب) كانال ذوزنقه

استفاده از نرمافزار Image Stream 7.0، تصاویر آزمایش میانگین گیری شده و یک تصویر مستقل از زمان (شکل ۴) برای پردازش رقبومی ایجاد میشود (Nokes 2008). تصویر رنگی میانگین گیری شده آزمایش به تصویر مقیاس خاکستری که تنها توانایی آشکارسازی شدت رنگ سیاه در بازه صفر تا ۲۵۵ (صفر برای سفید خالص و ۲۵۵ برای سیاه خالص) را دارا می باشد، تبدیل شد. این تصویر بهمنظور تحلیل رقومی با استفاده از برنامه توسعه داده شده در نرمافزار Matlab مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. تصویر مذکور در متلب در قالب یک ماتریس m × n معرفی شد که در آن m تعداد نقاط افقی و n تعداد نقاط عمودی هر تصویر بود و مقدار هر مؤلفه ماتر بس بيانگر شدت نور سياه نقطه متناظر با آن مى باشد.



Fig 4. Averaged image of surface discharge in stagnant environment شکل۴- تصویر میانگینگیری شده در تخلیه سطحی فاضلابهای سنگین در محیطهای ساکن

۲-۳- تحلیل ابعادی رفتار کلی جریان خروجی از تخلیهکنندههای دریایی عمدتاً تحت

<sup>1</sup> Grayscale

تأثیر فرایندهای ناحیه میدان نز دیک تعیین مے شود. استفاده از تحلیلهای ابعادی در این پژوهشها، بر دو فرض اولیه آشفتگی کامل جریان برای صرفنظر کردن از تأثیرات لزجت و فرض تقريب بوسينسک استوار است (Jirka et al. 1981). طبق یژوهش های صورت گرفته، مشخصات جریان خروجی در محدوده میدان نزدیک در محیطهای ساکن تابع متغیرهای تأثیرگذار از جمله  $(M_0 = Q_0, U_0)$ ، اندازه حرکت  $(Q_0 = U_0, A_0)$ ، شار حجمی شناوری ( $B_0 = Q_0, g_0$ )، فاصله از دهانه تخلیهکننده (X)، عمق آب محیط (H)، عرض و عمق کانال تخلیهکننده (b<sub>0</sub>. h<sub>0</sub>) و زاویه خروجی ( $\theta_0$ ) است (Jones et al. 1996). در معادلات ارائه شده A<sub>0</sub> سطح مقطع جريان بر حسب سانتيمتر مربع، U<sub>0</sub> سرعت اوليه جت خروجی از منبع بر حسب سانتیمتر بر ثانیه و go شـتاب ثقـل  $\hat{g_0} = ({}^{\rho_0 - \rho_a} / {}_{\rho_a}) * g$ کاهش یافته است که برابر است با مشخصات جريان (0) را بهصورت معادله ۱ به اين متغيرها وابسته دانستهاند

$$\Theta = f_1(Q_0, M_0, B_0, X, H, b_0, h_0, \theta_0)$$
(1)

در محیطهای عمیق و در حالت تخلیه افقی (θ = θ)، با صرفنظر کردن از متغیرهای وابسته (θ<sub>0</sub>) مشخصات جریان بهصورت معادلـه ۲ و تابع شارهای اولیه جریان خروجی (Q<sub>0</sub>. M<sub>0</sub>. B<sub>0</sub>)، فاصله از محل تخلیه (X) و مشخصات هندسی منبع است

(٢)

 $\Theta = f_2 (Q_0, B_0, M_0, h_0, b_0, X, H)$ 

در این پدیده با توجه به فرایندهای پیچیده حاکم، استفاده از روش مقياس طولي در مطالعه تخليهكتنده هاي دريايي بهعنوان روشي ساده و کار آمد همواره مورد توجه بوده است (Fischer et al. 1979). در این روش با ترکیب مقادیر نسبی متغیرهای با نیروهای مؤثر شرکت کننده در یدیده اختلاط، می توان این متغیرها را در گروههایی با بعد طول تحت عنوان مقياس طولى دستهبندى نمود. مرحله اصلى از تحلیل آزمایش ها به روش مقیاس طولی، ارائه روابط و نمودارهای بدون بعد برای توصيف رفتار جريان از طريق ايس يارامترهای بي بعد است. اين امر با استفاده از شارهاي اوليه جريان و تئوري باکینگهام میسر میشود. در اینجا می توان مشخصات جریان خروجی از طریق تجمیع در قالب مقیاس های طولی تأثیرگذار (L<sub>O</sub>. L<sub>M</sub>) را به صورت معادله ۳ عنوان کرد



مجله آب و فاضلاب رود ۲۸۱۸ شداره ۲، سال ۱۳۹۷ S

f<sub>3</sub>(b<sub>0</sub>. L<sub>Q</sub>. L<sub>M</sub>. X. H. h<sub>0</sub>) = خصوصيات جت با بعد طول (٣) ، در ایسن معادلسه ( $L_Q = \frac{Q_0}{M_n^{1/2}}$ ) مقیساس طسولی تخلیسه، (b<sub>0</sub> ) مقياس طولى جت به پلوم، ( $L_M = \frac{M_0^{3/4}}{B_n^{1/2}}$ كانال تخليه كننده، (h<sub>0</sub>) عمق كانال تخليهكننده و X فاصله از محل تخلیه است. در این معادله تمام پارامترها با بعد طول میباشند. مقیاس طولی تخلیه (L<sub>Q</sub>) ناحیهای را که در آن هندسه کانال تخلیه، خصوصیات جریان را تحت تأثیر قرار میدهد، نشان میدهد و در واقع نشاندهنده اهميت نسبى شار حجمي اوليه به شار مومنتم اوليه است (Xiao et al. 2009). مقياس طولي جت به پلوم (L<sub>M</sub>) بيانگر فاصله ای است که در آن انتقال از ناحیه غلب اندازه حرکت (رفتار جت مانند جریان) به ناحیه غلبه شناوری (رفتار پلوم شکل جریان) در محیطهای ساکن و همگن اتفاق میافتد. نسبت این دو مقیاس  $(Fr_{d} = \frac{u_{0}}{\sqrt{gA_{0}^{1/2}}} \propto \frac{L_{M}}{L_{Q}})$  طولی به عنوان عدد فرود دنسیمتریک (Fr\_{d} = \frac{u\_{0}}{\sqrt{gA\_{0}^{1/2}}} \propto \frac{L\_{M}}{L\_{Q}}) بيان مى شود. براى 1 « <sup>LM</sup> ، تأثير ديناميكى شار حجمى منبع نادیده گرفته می شود و L<sub>Q</sub> از دسته پارامترهای تأثیر گذار حذف مى كردد (Beleninger & Jirka 2008). بنابراين، با استفاده از آنالیز ابعادی، شکل بدون بعد پارامتر جریان، • Ф ، را می توان بهصورت تابعي از نسبت هاي بدون بعد زير توصيف كرد (Jones et al. 1996)

$$\Phi^* = f\left(\frac{L_Q}{L_M} \cdot \frac{X}{L_M} \cdot \frac{H}{L_M} \cdot AR\right)$$
(<sup>¢</sup>)

 $\frac{h_0}{b_0}$  که در آن AR، نسبت شکل کانال تخلیه است که به صورت AR، نسبت شکل کانال تخلیه است که به صورت مود تعریف شده است. پژوهشهای خود به منظور تعیین مشخصات هندسی و اختلاطی جریان و توسعه  $\mathcal{R}_{J}$  و ( $S/Fr_d$ ) و ( $S/Fr_d$ ) را به عنوان پارامتر هندسی و ترقیق نرمال (بدون بعد) جت مورد Roberts et al. 1997; Bleninger & Jirka (2008)

$$\frac{X}{L_{M}} = f_{5} \left( \frac{H}{L_{M}} \cdot \frac{h_{0}}{b_{0}} \cdot \frac{L_{M}}{L_{Q}} \right)$$
 ( $\Delta$ )

$$\frac{S_{m}}{Fr_{d}} = f\left(\frac{H}{L_{M}}\right) \tag{$\beta$}$$



موقعیت نقطه غوطه وری جریان، محدوده ای است که در آن جریان بهطور کامل ارتباط خود را با سطح از دست داده و استغراق می یابد (Abessi et al. 2012). در این پژوهش موقعیت نقطه غوطهوری از طریق بررسی نحوه تغییرات غلظت جریان در نقاط مجاور سطح بر آورد شد. در این حالت محدودهای در مجاور سطح در تصویر میانگین گیری شده که در آن یک پرش بزرگ در غلظت جریان یا یک کاهش ناگهانی در شدت رنگ سیاه مشاهده شده، بهعنوان موقعیت نقطه غوطه وری جریان انتخاب شد. شکل ۵ موقعیت افقی نقطه غوطهوری (xp) (برای هر دو مقطع مورد پژوهش) در برابر مقياس طولي جت به پلوم نشان ميدهد و هر دو نسبت به شار حجمی (L<sub>Q</sub>) بیبعد شدهاند، در این شکل نتایج پـژوهشهـای دیگـر نيز ارائه شده است. نتايج نشان ميدهد كه پيشروي افقي نقطه غوطهوري جريان در تخليه سطحي فاضلابهاي سنگين تابع عدد فرود دنسیمتریک جریان است. ملاحظه میشود که در هر دو مقطع مستطیلی و ذوزنقهای، با افزایش عدد فرود دنسیمتریک، پیشروی افقی جریان با روند کلی مشابه افزایش می یابد. در شکل ۵، با مقایسه دو مقطع مستطیلی و ذوزنقه ای ملاحظه میشود، مقطع ذوزنقامای نسبت به مقطع مستطیلی، با افزایش عدد فرود دنسیمتریک جریان از پیشروی افقی بیشتری برخوردار است. علت آن را می توان این طور تفسیر کرد که در فرودهای کوچک تر از ۲۰ مقياس طولى تخليه ( $L_Q$ ) مقياس طولى تخليه ( $Fr_d < 20$ ) هندسی کانال تخلیمه است، اهمیت بیشتری یافته (Roberts et al. 1997)، از اینرو، علی رغم بی بعدسازی نسبت به L<sub>M</sub> α Fr<sub>d</sub>)، L<sub>M</sub>) بهدلیل تأثیر شکل هندسی کانال تخلیه بر رفتار جریان، در کانال های ذوزنقه ای با توجه به درگیری هیدرولیکی كمتر اين مقطع با محيط، جريان سطحي، پيشروي افقى بيشتري داشته و نقطه غوط وري در فاصله طولاني تري از منبع اتفاق میافتد. بنابراین به ازای فروده ای کوچک، مشاهده می شود که مقیاس طولی تخلیه و در نتیجـه آن شـکل هندسـی کانـال، بـر رفتـار جریان در میدان نزدیک بهطور معنی داری تأثیر گذار است. رابطه خطبی برازش شده بر دادههای آزمایشگاهی پژوهش حاضر (۱/۱۱۷ برای مقطع مستطیل)، با شیب خط گزارش شده توسط



Vol.29, No. 2, 2018

نرمافزار لب فيت ( استفاده شد (Silva et al. 1999). با جايگذاري ضرایب بهدست آمده شکل نهایی این روابط برای پیشبینی موقعیت نقطه غوطهوری بهترتیب برای مقطع مستطیل و ذوزنقه با عدد فرود در محدودہ 5 $Fr_d < 5$  به صورت زیر ارائه شد

$$\frac{X_{\rm p}}{L_{\rm M}} = 0.96 \left(\frac{\rm H}{L_{\rm M}}\right)^{0.71} * \left(\frac{\rm h_0}{\rm b_0}\right)^{0.196} * \left(\frac{\rm L_M}{\rm L_Q}\right)^{-0.2} \tag{A}$$
$$R^2 = 0.93 \qquad \text{RMSE} = 0.35$$

01/0<sup>1</sup>

$$\frac{X_{p}}{L_{M}} = 0.044 \left(\frac{H}{L_{M}}\right)^{2.57} * \left(\frac{h_{0}}{b_{0}}\right)^{0.995} * \left(\frac{L_{M}}{L_{Q}}\right)^{2.1}$$
(9)  
R<sup>2</sup> = 0.85 RMSE = 0.25

بهمنظور صحتسنجي آماري روابط بهيعد ارائه شده، از شاخص های مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۲</sup> (RMSE) و ضریب تعیین (R<sup>2</sup>) استفاده شده است. برای محاسبه شاخص ریشه میانگین مربعات خطا از معادله ۱۰ استفاده شد

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} (X_j - X(cal)_j)^2}{n}}$$
 (1.)

ن معادلیه RMSE، ریشه میانگین مربعات خطا، X<sub>i</sub> مقدار اندازهگیری شده پارامتر مورد نظر، X(cal) مقدار بر آورد شده آن از فرمول های ارائه شده و n تعداد دفعات آزمایش است. شاخص مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا یکی از شاخص های اصلی صحت سنجي معادلات است. اگر مقدار اين شاخص کوچک تر از ۰/۱ باشد برازندگی مدل بسیار خوب است. اگر بین ۰/۱ و ۰/۵ باشد برازندگی مدل خوب است و اگر بین ۰/۵ و ۸/۰ باشد برازندگی مدل متوسط است (MacCallum et al. 1996). مقدار جـذر ميـانگين مربعـات خطـا (RMSE) و ضـريب تعيـين (R<sup>2</sup>) به ترتیب برای مستطیل ۰/۳۵، ۱/۹۳ و برای ذوزنقه ۲۵/۰ و ۸۵/ ۰ بهدست آمد. همانطور که ملاحظه می شود هر دو معادله دقت قابل قبولي دارند و از اين معادلات مي توان براي ييش بيني موقعیت نقطه غوطه وری در هر یک از ایـن مقـاطع مـذکور اسـتفاده ک, د.

<sup>1</sup> LAB Fit

<sup>2</sup> Root Mean Square Error (RSME)

Vol.29, No. 2, 2018

This study(REC. This study (REC.) This study (TRA.) Sharp and Vayas 1977 Abessi et al., 2012

عابسی و همکاران در سال ۲۰۱۲ که معادل ۱/۰۷۶ بوده است، اندكى متفاوت است (Abessi et al. 2012). اين تفاوت مى تواند بهدلیل تأثیر شکل هندسی کانال در عدد فرودهای کوچک باشد که على رغم بي بعد بودن گرافها، با افزايش عرض كانال مستطيلي از ۶/۴ سانتیمتر به ۱۰ سانتیمتر نیز اثر خود را نشان داده است. در ادامه با استفاده از آنالیز ابعادی ارائه شده که در آن تمام یارامترهای مؤثر لحاظ شده، می توان معادلـه ۵ را بـرای پـیشبینـی

$$\frac{X_{p}}{L_{M}} = a_{1} \left(\frac{H}{L_{M}}\right)^{\alpha} * \left(\frac{h_{0}}{b_{0}}\right)^{\beta} * \left(\frac{L_{M}}{L_{Q}}\right)^{\gamma}$$
(Y)

موقعیت نقطه غوطهوری به صورت زیر ارائه نمود

در این معادله هدف، تعیین ضرایب ، β، β، β و در نهایت استخراج روابط بىبعدى براى پيشبيني موقعيت نقطه غوطهوري برای هر یک از مقاطع مورد مطالعه است. به این منظور داده های بهدست آمده به دو دسته تقسیم شدند. دسته اول، ۸۰ درصد دادهها هستند که تحت عنوان دادههای آموزش و دسته دوم، ۲۰ درصد دادهها بهعنوان دادههای تست نامگذاری شدند. انتخاب دادههای تست به صورت تصادفی بوده است. از دسته اول برای به دست آوردن ضــرايب ،β ، α، β، α و از دســـته دوم دادههــا بــراى اعتبارسنجي اين روابط استفاده شد. براي تعيين ضرايب موجـود بـا استفاده از دادههای آموزش، از آنالیز رگرسیونی غیرخطے در





Journal of Water and Wastewater



پژوهش های محیطزیستی با توجه به حساسیت زیستگاه اعماق دريا، اغلب به ارزيابي موقعيت نقطه برخورد و ميزان ترقيق در اين نقطه می پردازند و دستیابی به حداکثر ترقیق در بستر از جمله اهداف مهم در طراحی تخلیهکنندههای دریایی است. در این پژوهش بـرای تعيين موقعيت نقطه برخورد، تغييرات شدت نور سياه در رديفهاي افقی مجاور بستر در تصویر میانگین آزمایش، مورد بررسی و تحليل قرار گرفته است. در شکل ۶، موقعیت بدون بعد نقطه برخورد  $\left(\frac{H}{L_{M}}\right)$  در برابر پارامتر بدون بعد  $\left(\frac{X_{i}}{L_{M}}\right)$  برای دو مقطع مستطيل و ذوزنقه همراه با مطالعات پيشين ترسيم شده است. نتايج نشان میدهد که موقعیت افقی نقطه برخورد. به عمق محیط پذیرنده بستگی دارد. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده، با افزایش عمق محيط پذيرنده، فاصله نقطه تماس جريان با كف بيشتر خواهـ د شد. از مقایسه دو مقطع مذکور ملاحظه می شود که در مقطع ذوزنقهای نسبت به مقطع مستطیلی، موقعیت نقطه برخورد با بستر در تخلیه سطحی جریانهای چگال، با افزایش عمق سریع تر افزایش یافته و امتداد طول نقطه برخورد بهطور نسبی بزرگ تر است. در كانال مستطيلي نقطه غوطهوري زودتر حادث شده و شيب مسير حرکت نسبت به کانال ذوزنقهای بیشتر است؛ بهعبارت دیگر جریان خروجی از کانال مستطیلی با سرعت بیشتری نسبت به کانال ذوزنقهای سقوط میکند. این امر سبب می شود که مقطع ذوزنقه نسبت به مقطع مستطيل داراي مسيرحركت طولاني ترى باشد و برخورد در فاصله بیشتری از محل تخلیه رخ دهد. از این رو کانال با مقطع ذوزنقهای از مشخصات ترقیق مناسب تری نسبت به مقطع مستطیلی برخوردار خواهد بود. برای اعداد فرود کوچک در تخلیه جريان بەدلىل اھميت شكل تخليەكنندە، مقطع ھندسي كانال يىك پارامتر تأثیرگذار بوده و الگوی حرکت جریان را تحت تأثیر قرار میدهد. در شکل ۶ نتایج این پژوهش و پژوهشهای پیشین ترسیم شده که روند مشابهی در الگوی تغییرات نقطه برخورد را نشان می دهد.

بهمنظور پیشبینی موقعیت نقطه برخورد، معادله ۵ را می توان بهصورت زیر نوشت

$$\frac{X_{i}}{L_{M}} = b_{1} \left(\frac{H}{L_{M}}\right)^{\alpha} * \left(\frac{h_{0}}{b_{0}}\right)^{\beta} * \left(\frac{L_{M}}{L_{Q}}\right)^{\gamma}$$
(11)



**Fig. 6**. The location of the impact point of dense surface discharge شکل 9- موقعیت نقطه برخورد در تخلیه سطحی فاضلابهای سنگین

همانطور که قبلاً اشاره شد، ضرایب ۵، ۵، ۹ و در نهایت استخراج معادلات بیبعد بهترتیب برای هریک از مقاطع مستطیل و ذوزنقه در محدوده 5 < Frd > 1.7 بهصورت زیر بهدست آمد

$$\frac{X_{i}}{L_{M}} = 0.922 \left(\frac{H}{L_{M}}\right)^{0.86} * \left(\frac{h_{0}}{b_{0}}\right)^{0.18} * \left(\frac{L_{M}}{L_{Q}}\right)^{0.59}$$
(17)  
$$R^{2} = 0.82 \qquad RMSE = 0.48$$

$$\frac{X_{i}}{L_{M}} = 2.85 \left(\frac{H}{L_{M}}\right)^{0.44} * \left(\frac{h_{0}}{b_{0}}\right)^{-0.09} * \left(\frac{L_{M}}{L_{Q}}\right)^{-0.34}$$
(17)  
R<sup>2</sup> = 0.98 RMSE = 0.18

نتایج نشان میدهد که هر دو معادله دقت قابل قبولی دارند و از ایـن معادلهها می توان برای پیش بینی موقعیت نقطه برخورد در هـر یـک از مقاطع مذکور استفاده کرد.

در این پژوهش به منظور تعیین میزان ترقیق در نقط بر خورد  $(I_i)$ ، از نسبت شدت یکپارچه نور سیاه در نقط برخورد  $(I_i)$ ، از نسبت شدت یکپارچه نور سیاه در نقط برخورد  $(I_i)$ ، از نسبت شدت نور در مبدأ است) به شدت نور در مبدأ است) استفاده شد. در شکل ۷ نسبت ترقیق پساب در نقطه برخورد به عدد فرود چگال  $(\frac{S_i}{Fr_d})$  در برابر پارامتر بی بعد عمق  $(\frac{H}{L_M})$  همراه با نتایج ترسیم شده است (Abessi et al. 2012). شکل ۷ نشان می دهد که ترقیق جریان در نقطه برخورد (S<sub>i</sub>) مراه با نتایج ترقیق جریان در نقطه برخورد به این ترسیم شده است (S<sub>i</sub>) می در نقطه برخورد به عرد که مرود چگال (S<sub>i</sub>) محیط پذیرنده (H) و پارامترهای اولیه تخلیه ترقیق جریان در نقطه برخورد (S<sub>i</sub>) می مرود (S<sub>i</sub>) می می می شود. همانطور در این شکل ۸ نشان می در در (S<sub>i</sub>) می می شود. همانطور که در این شکل ملاحظه می شود. تخلیه سطحی می شود. همانطور که در این شکل ملاحظه می شود. تعلیه سطحی



۳-۳- اختلاط نهایی جریان در محیط

پس از برخورد جریان با بستر، فاضلاب خروجی با مصرف باقیمانده شارهای اولیه به ترقیق نهایی خود در محیط دست می یابد. ترقیق نهایی (Sm) در واقع حداکثر ترقیقی است که بر اثر شارهای اولیه جریان خروجی حاصل میشود و پس از آن تنها کاهش ناچیزی در غلظت جریان فاضلاب خروجی مشاهده می شود. رابر تز و همکاران در سال ۱۹۹۷، محدودهای در مجاورت بستر، که در آن ترقيق جريان تقريباً بهصورت مجانب در آمده و غلظت جريان (شدت نور سیاه) در امتداد مسیر در جهت X، بهطور محسوس تغییر نكرده را بهعنوان موقعیت ترقیق نهایی (X<sub>m</sub>) معرفی نموده اند. این نقطه در واقع ابتدای محدودهای است که غلظت جریان بعد از آن، بهطور محسوس تغییر نکرده و کاهش نمی یابد. در این پژوهش نیز از همین روش برای تعیین موقعیت ترقیق نهایی ( X<sub>m</sub>) استفاده شده است. در شکل ۸، موقعیت ترقیق نهایی (X<sub>m</sub>) در برابر عمق محیط پذیرنده برای هر دو مقطع یاد شده ترسیم و هر دو نسبت به L<sub>M</sub> نرمالسازی شدهاند. همانطور که در شکل ۸ ملاحظه میشود از نظر موقعیت نقطه ترقیق نهایی جریان در محیط، تفاوت قابل ملاحظهای بین دو مقطع مذکور مشاهده نمی شود.

در شکل ۸ مشاهده میشود که نتایج پژوهش حاضر بـا پـژوهش پیشین از انطباق خوبی برخوردار است. اما تفـاوت معنـیداری بـین مقادیر بهدست آمده برای مقطع مستطیلی و ذوزنقهای مشاهده نشد.



<sup>1</sup> Flow Ultimate Dilution

Journal of Water and Wastewater

Vol.29, No. 2, 2018

یسابهای سنگین در آبهای عمیقتر امکان بهتری برای ترقیق جریان در نقطه برخورد را فراهم خواهد ساخت و این ضرورت فاصله گرفتن از ساحل برای دستیابی با عمق های بیشتر در تخلیه سطحي فاضلاب هاي شور را نشان مي دهد. در شكل ۷ با مقايسه دو مقطع مستطیلی و ذوزنقه ای مشاهده می شود به از ای مقدار یکسان (H/L<sub>M</sub>)، مقطع ذوزنقهای نسبت به مقطع مستطیلی ترقیق بهتری خواهد داشت. علت این امر را می توان این طور تفسیر کرد که در فرودهای کوچک، تأثیر شکل در فاصله زیادی از نقطه تخلیه همچنان برقرار خواهد بود. بهدلیل شکل مقطع ذوزنقهای، جریان در مجاورت سطح پخش میشود و مسیر طولانی تری را در مجاورت سطح قبل از غلبه نیروی شناوری طی میکند؛ در حالی که در مقطع مستطیلی به علت درگیری بیشتر جریان با آب محیط، نیروی مومنتم که عامل رانش افقی جریان است، سریع تر مستهلک شده و نیروی شناوری در فاصله کوتاهتری غلبه می یابد. به این ترتیب مقطع ذوزنقه از فرصت بیشتری برای اختلاط با محیط پذیرنده پیش از رسيدن به كف برخوردار بوده و بيشتر رقيق مي شود. اين موضوع بيانگر آن است که هرچه شکل کانال تخليهکننده به شکل بهترين مقطع هیدرولیکی (نیم دایره) نزدیک تر باشد، درگیری هیدرولیکی جريان خروجي با محيط كمتر، مسير حركت طولاني تر و سقوط جريان آهستهتر خواهد بـود، در نتيجـه فاضـلاب فرصـت بيشـتري برای پخشیدگی و ترقیق در محیط پذیرنده در اختیار خواهد داشت. مقایسه نتایج حاضر با یژوهش (Abessi et al. 2012) روند مشابهی داشت.



**شکل۷**- ترقیق جریان در نقطه برخورد جریان چگال با بستر





Fig. 9. The ultimate flow dilution of dense surface discharge into stagnant non-stratified ambient **شکل ۹** – ترقیق نهایی در تخلیه سطحی فاضلابهایی با شناوری منفی در محیط ساکن و لایهبندی نشده

## ۴-نتيجەگىرى

نتایج حاصل از مدلسازی آزمایشگاهی بهمنظور مقایسه مشخصات هندسی و اختلاطی جریان در تخلیه سطحی پسابهای سنگین از دو مقطع مستطیلی و ذوزنقهای، در محدوده عدد فرود دنسیمتریک ۵-۱/۷ ارائه شد.

در این پژوهش مشاهده شد شکل هندسی کانال تخلیه بر مشخصات هندسی و اختلاطی جریان تأثیرگذار و تعیین کننده موقعیت نقطه غوطه وری، نقطه برخورد و میزان ترقیق در نقطه برخورد است. همچنین در بررسی مقایسه ای این دو کانال مشاهده شد که به طور کلی مقادیر این پارامترها برای مقطع ذوزنقه ای بیشتر از مقطع مستطیلی است. پارامترهای دیگر مورد بررسی ترقیق نهایی و موقعیت دستیابی به آن بوده که با توجه به فاصله بیشتر این نقاط از مجرای تخلیه برای دو مقطع مستطیلی و ذوزنقه ای مقادیر آنها تقریباً یکسان محاسبه شده است. برای اعداد فرود کوچک مورد بررسی در فاصله زیاد از مجرای تخلیه، تأثیر شکل هندسی مقطع بر مشخصات جریان خروجی از بین رفته و مشخصات جریان در این نقطه مستقل از شکل کانال می باشند، لذا برای شارهای یکسان خروجی موقعیت ترقیق نهایی (Xm) و میزان ترقیق در این نقطه (Sm) برای دو مقطع یکسان خواهد بود.

به این ترتیب در شرایطی که در طراحی، طول مسیر حرکت جریان یا ترقیق در نقطه برخورد مدنظر باشد، مقطع ذوزنقه مناسب است و در صورتی که موقعیت و ترقیق نهایی مدنظر باشد، این دو نزدیکی در موقعیت دستیابی به حداکثر ترقیق جریان در محیط برای مقاطع مستطیلی و ذوزنقهای را میتوان به فاصله بیشتر این نقطه این نقطه از دهانه تخلیه مرتبط دانست زیرا مقیاس طولی تخلیه (L<sub>Q</sub>)، بیانگر محدوده ای است که در آن هندسه کانال تخلیه، خصوصیات جریان را تحت تأثیر قرار می دهد. این محدوده تنها طولی کوچک از امتداد جریان را در برگرفته و تأثیر آن در فاصله طولانی از مجرای تخلیه مستهلک می شود. از اینرو در نقطه دستیابی به ترقیق نهایی که در فاصله بیشتری از مجرای تخلیه قرار دارد، عملاً تأثیر شکل هندسی مجرای تخلیه از بین رفته و مشخصات جریان مستقل از آن می باشند، لذا موقعیت ترقیق نهایی برای دو مقطع مستطیلی و ذوزنقه ای تقریباً یکسان است.

میزان ترقیق نهایی ( S<sub>m</sub>)، در واقع حداکثر کاهش غلظت جریان در محیط بر اثر شارهای اولیه جریان خروجی است. بعد از دستیابی جريان به ترقيق نهايي، كاهش غلظت آلاينده در محيط بسيار جزئي و تنها ناشی از فرایند انتقال و انتشار مولکولی است. در این پژوهش برای تعیین ترقیق نهایی روند کاهش، شدت نور یکپارچه شده در صفحه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. مقدار این پارامتر مستقیماً با استخراج شدت نور، از طریق برش های افقی از تصاویر میانگین در مجاورت بستر بهدست آمده است. شکل ۹ نسبت ترقیق نهایی به عدد فرود (Sm در برابر نسبت عمق محیط پذیرنده به مقیاس طولی جت به پلوم (H لی) را برای مقاطع فوقالذکر در مقایسه با پژوهش های پیشین نشان میدهد. نتایج بيانگر آن است كه ترقيق و افزايش اختلاط جريان با عمق، امكان مطلوبي براي تخليه فاضلاب در مناطق ساحلي عميق فراهم خواهـد ساخت. همانطور که در شکل ۹ مشاهده می شود مشابه حالت قبل، میزان ترقیق نهایی فاضلاب در محیط در تخلیه سطحی جریانهای با شناوری منفی، برای دو مقطع مستطیلی و ذوزنقهای تقریباً مشابه بوده و تفاوت قابل ملاحظهای در آن مشاهده نمی شود. با استفاده از آنالیز ابعادی انجام شده، معادله بی بعد به دست آمده از نرم افزار LABFIT بهمنظور پیشبینی ترقیق نهایی برای مقطع مستطیلی و ذوزنقهای برای اعداد فرود کوچک در محدود، 5 < Fr<sub>d</sub> Fr<sub>d</sub> Fr برابر است با

$$\frac{s_{m}}{Fr_{d}} = 0.712 \left(\frac{H}{L_{M}}\right) - 0.0623$$
(1°)  
R<sup>2</sup> = 0.85 RMSE = 0.3



Journal of Water and Wastewater

Vol.29, No. 2, 2018

قبولی برخوردار است و میتوان از آنها برای پیشبینی پارامترهای جریان استفاده کرد. مهندس طراح با آگاهی از استانداردها و کنترل پارامترهای تأثیرگذار در نهایت قادر به طراحی تخلیهکننده های مشابه برای تخلیه سطحی پسابهای سنگین با استفاده از کانالهای سطحی پیشرونده در شرایط بهینه خواهد بود.

### ۵– قدردانی

به این وسیله از حمایتهای معاونت پژوهشی دانشگاههای علم و صنعت ایران و تربیت مدرس، بابت فراهمسازی امکانات پژوهشی و زیرساختهای آزمایشگاهی مورد استفاده در این پـژوهش تشکر و قدردانی می شود. مقطع دارای تأثیرات یکسان تشخیص داده شده اند. از مقایسه دو مقطع مستطیلی و ذوزنقه ای نیز نتیجه می شود که هرچه شکل کانال تخلیه کننده به شکل بهترین مقطع هیدرولیکی (نیم دایره) نزدیک تر باشد، مسیر حرکت طولانی تر و سقوط جریان چگال طی آن آهسته تر و ترقیق فاضلاب خروجی بیشتر است. به عبارت دیگر، مقاطع نزدیک به بهترین مقطع هیدرولیکی از مشخصات هندسی و اختلاطی بهتری بر خوردار خواهند بود. نتایج حاصل از این پژوهش به صورت یک سری گراف ها و روابط بی بعد ارائه شد، برای صحت سنجی آماری روابط ارائه شده از مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (<sup>2</sup>R) استفاده شد. میزان مربعات خطای محاسبه شده بیانگر آن است که روابط ارائه شده از دقت قابل

#### References

- Abessi, O. & Roberts, W.P., 2015, "Effect of nozzle orientation on dense jets in stagnant environments", *Journal of Hydraulic Engineering*, 10.1061/(ASCE), HY.1943-7900.0001032, 06015009.
- Abessi, O. & Roberts, W.P., 2015, "Dense jet discharges in shallow water", *Journal Hydraulic Engineering*, ISSN 0733-9429/04015033(13).
- Abessi, O., 2011, "Analysis of surface discharge of negatively buoyant effluents into non-stratified water bodies", PhD Thesis, Iran University of Science and Technology, School of Civil Engineering, Tehran, Iran. (In Persian)
- Abessi, O., Roberts, W.P., 2014, "Multiport diffusers for dense discharges", *Journal Hydraulic Engineering*, 140 (8), 04014032-1-04014032-12.
- Abessi, O., Saeedi, M., Davidson, M. & Hajizadeh Zaker, N., 2012, "Flow classification of negatively buoyant surface discharges in an ambient current", *Journal Coastal Research*, DOI 10.2112/JCOASTRES-D-10-00131.1, 28 (1-a), 148-155.
- Abessi, O., Saeedi, M., Bleninger, T. & Davidson, M., 2012, "Surface discharge of negatively effluent in unstratified stagnant water", *Journal of Hydro-Environment Research*, 6, 181-193.
- Amon, R.M.W. & Benner, R., 1998, "Seasonal patterns of bacterial abundance and production in the Mississippi River plume and their importance for the fate of enhanced primary production", *FEMS Microbiology Ecology*, 35 (3), 289-300.
- Bleninger, T. & Jirka, G., 2008, "Modelling and environmentally sound management of brine discharges from desalination plants", *Journal of Desalination*, 221, 585-597.
- Chu, V.H. & Jirka, G.H., 1986, "Surface buoyant jets" In: *Encyclopedia of fluid mechanics*, Chap. 25, Gulf, Houston.
- Cipollina, A., Brucato, A., Grisafi, F. & Nicosia, S., 2005, "Bench-scale investigation of inclined dense jets", *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(11), 1017-1022.
- Crowe, A.T., Davidson, M.J., & Nokes, R.I., 2012, "Maximum height and return point velocities of desalination brine discharges", *18<sup>th</sup> Australasian Fluid Mechanics Conference Launceston*, Australia.
- Fischer, H. B., List, E. J., Koh, C. Y., Imberger, J. & Brooks, N. H., 1979, *Mixing in inland and coastal waters*, Academic Press, Inc., Orlando, Florida.
- Gholamreza-Kashi, S., Martinuzzi, R.J. & Baddour, R.E., 2007, "Mean flow field of a nonbuoyant rectangular surface jet", *Journal of Hydraulic Engineering*, 133 (2), 234-239.
- Jirka, G.H., 2007a, "Buoyant surface discharges into water bodies. II: jet integral model", *Journal of Hydraulic Engineering*, 133 (9), 1021-1036.

Journal of Water and Wastewater



- Jirka, G.H., Adams, E.E. & Stolzenbach, K.D., 1981, "Buoyant surface jets", *Journal of Hydraulics Division.*, 107, (11), 1467-1487.
- Jones, G., Nash, D., Doneker, L. & Jirka, G.H., 2007, "Buoyant surface discharge into water bodies I: Flow classification and prediction methodology", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 133, No. 9, 1010-1020.
- Jones, G.R., Nash, J.D. & Jirka, G.H., 1996, "CORMIX3: An expert system for mixing zone analysis and prediction of buoyant surface discharge", *DeFrees Hydraulics Laboratory*, Cornell University.
- Kikkert, G., A., 2006, "Buoyant jets with tow and three-dimensional trajectories", PhD Thesis, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- Kassem, J.A.M. & Khan, J.A., 2003, "Three-dimensional modeling of negatively buoyant flow in diverting channels", *Journal Hydraulic Engineering*, 129 (12), 936-947.
- Kikkert, G., Davidson, J. & Nokes, I., 2007, "Inclined negatively buoyant discharges", *Journal of Hydraulic Engineering*, 133, 545-554.
- Law Adrian, W.K., Fun Ho, W. & Monismith, S.G., 2004, "Double diffusive effect on desalination discharges", *Journal of Hydraulic Engineering*, 130 (5), 450-457.
- Lia, C.C.K. & Lee, J.H.W., 2012, "Mixing of inclined dense jets in stationary ambient", *Journal of Hydro-Environment Research*, 6, 9-28.
- MacCallum, R. C., Browne, M. W. & Sugawara, H. M., 1996, "Power analysis and determination of sample size for covariance structure modelling", *Psychological Methods*, 1, 130-149.
- Marti, C. L., Antenucci, J. P., Luketina, D., Okely, P. & Imberger, J., 2011, "Near-field dilution characteristics of a negatively buoyant hypersaline jet generated by a desalination plant", *Journal Hydraulic of Engineering*, 137(1), 57-65.
- Miller, R.S., Madnia, C.K. & Givi, P., 1995, "Numerical simulation of non-circular jets", *Journal Computers* and Fluids, 24, (1), 1-25.
- Nash, J.D. & Jirka, G.H., 1996, "Buoyant surface discharges into unsteady ambient flows", *Journal of Dynamics Atmospheres and Oceans*, 24 (1-4), 75-84.
- Nokes, R., 2008, Image Stream Version 7.00, User's Guide, Department of Civil and Natural Resources Engineering University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- Oliver, C.J., Davidson, M.J. & Nokes, R.I., 2013, "Removing the boundary influence on negatively Pincince, A.B., List, E.J., 1973. Disposal of brine into an estuary", *Journal of Water Pollut. Control Fed.*, 45, 2335-2344.
- Roberts, P.J.W., Ferrier, A. & Daviero, G., 1997, "Mixing in inclined dense jets", *Journal of Hydraulic Engineering*, 123 (8), 693-699.
- Saeedi, M., Farahani, A. Abessi, O. & Bleninger, T., 2012, "Laboratory studies defining flow regimes for negatively buoyant surface discharges into crossflow", *Journal of Environmental Fluid Mechanics*, 12, 439-449, DOI 10.1007/s10652-012-9245-4.
- Shao, D., Law, A.W.K., 2010, "Mixing and boundary interactions of 30 and 45 inclined dense jets", *Journal of Environmental Fluid Mechanics*, 10 (5), 521-553.
- Silva, W.P. & Silva, C.M.D.P.S., 1999-2011, "LAB Fit curve fitting software (nonlinear regression and treatment of data program)", V 7.2.48, Online, available at the World Wide Web at: www.labfit.net
- Tarrade, L., Miller, B. & Smith, G., 2010, "Physical modelling of brine dispersion of desalination plant outfalls", 6<sup>th</sup> International Conference on Marine Wastewater Discharges, MWWD 2010, Langkawi, Malaysia, 25 -29.
- USEPA, 1980a, *Ambient water quality criteria*, EPA 440/5-80-015 to 079, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Xiao, J., Travis, J.R. & Breitung, W., 2009, "Non-boussinesq integral model for horizontal turbulent buoyant round jets", *Science and Technology of Nuclear Installations*", doi:10.1155/2009/862934.



