

تحلیل خصوصیات جبهه جریان جت سطحی صفحه‌ای همگرا و شیبدار در منابع آب ساکن

طوبی حیدری^۱، نیما شهینی کرمزاده^{۲*}، جواد احدیان^۳

- ۱- کارشناس ارشد مهندسی رودخانه، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر
- ۲- استادیار گروه سازه‌های دریایی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر
- ۳- دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

*nima.shahni@gmail.com

تاریخ پذیرش ۹۶/۰۳/۰۶

تاریخ دریافت ۹۵/۰۸/۰۳

چکیده

در این مطالعه نتایج بررسی آزمایشگاهی جریان چگال تخلیه شونده از جت‌های سطحی صفحه‌ای همگرا و شیبدار در منابع پذیرنده ساکن و عمیق ارائه شده است. در این راستا، ویژگی‌های جبهه جریان جت تحت تأثیر پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مختلف مورد توجه قرار گرفته است. بدین منظور در محیط آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز، از فلومی با ابعاد $۳/۲ \times ۰/۶ \times ۰/۹$ مترمکعب استفاده شد. سیال جت نیز به صورت محلول آب-نمک رنگی و در غلظت‌های مختلف فراهم شد. تخلیه سیال جت در سه شیب متفاوت با استفاده از یک کانال مستطیلی با عرض ثابت و چهار زاویه همگرایی انجام گرفت. استخراج داده‌های مربوط به آزمایش‌ها با استفاده از ردیابی تصاویر ثبت شده توسط دوربین ویدئویی دیجیتال انجام گرفت. مطابق نتایج حاصل، موقعیت نقطه شیرجه جریان جت در محدوده $۱/۲$ و موقعیت برخورد آن وابسته به عمق محیط پذیرنده مشاهده شد. همچنین، نسبت طول موقعیت شیرجه به موقعیت برخورد جریان برای بیشتر داده‌ها در محدوده $۰/۸$ تا $۰/۱$ مشاهده شد.

واژگان کلیدی: جت سطحی، جت چگال، همگرایی، موقعیت شیرجه، موقعیت برخورد.

۱- مقدمه

های تخلیه کننده به دریا باز می‌گردانند. پس، مطالعه فرآیندهای مربوطه برای انتقال مناسب و کم‌خطر پساب‌های حاصل به محیط پذیرنده امری ضروری است. به همین دلیل در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای به صورت مدل‌سازی فیزیکی و عددی پیرامون بررسی و شناخت رفتار جریان تخلیه شونده از تخلیه کننده‌های مستغرق و سطحی صورت گرفته است. پینسین و لیست [2] و رابرتز و همکاران [3] مسیر حرکت جریان و اختلاط مربوط

توسعه فعالیت‌های صنعتی و تجاری در سراسر دنیا باعث آلودگی منابع آب موجود در کره زمین می‌شوند. از آن جمله کارخانجات نمک‌زدایی هستند که یکی از اساسی‌ترین منابع برای تولید آب شیرین و قابل شرب محسوب می‌شوند [1]. این کارخانجات، آب شور حاصل از فرآیند شیرین‌سازی را که دارای جرم حجمی بیشتری نسبت به آب پذیرنده است از طریق سازه-

های سطحی پیشرونده در محیط پذیرنده ساکن و لایه‌بندی نشده، با استفاده از ثبت ویدئویی دیجیتال بررسی نمودند. مطابق نتایج بدست آمده، رقیق‌شدگی در شرایط تخلیه سطحی در مقایسه با تخلیه مستغرق کاهش می‌یابد. باشیشالشر و همکاران [13] در مطالعه آزمایشگاهی دیگری روی جت‌های چگال مستغرق مایل، ترقیق جریان را بررسی کردند. ایشان پارامترهای اولیه جت شامل قطر نازل، زاویه اولیه جت نسبت به افق، غلظت جریان و دبی آن را تغییر دادند و مشاهده نمودند که از بین زوایای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه، زاویه نازل ۶۰ درجه بهترین نرخ رقیق‌شدگی را ارائه می‌دهد. تخلیه این نوع از جت‌های چگال در آب‌های کم عمق به وسیله عابسی و رابرتز [14] مورد مطالعه قرار گرفت. آنها پروفیل‌های غلظت مربوط به جت‌های چگال را در زوایای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه بدست آوردند. همچنین شرایط را در سه رژیم آب عمیق، تماس سطحی و آب کم عمق تعیین نمودند. آنها مشاهده نمودند که برای حالت تماس سطحی با کاهش عمق، رقیق‌شدگی نیز کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده نمودند که در آب‌های کم عمق و تماس سطحی، پروفیل‌های غلظت به صورت نیمه گوسی است. برخی از پژوهشگران به طور مستقیم در مطالعات خود به بررسی دو پارامتر موقعیت شیرجه و برخورد پرداختند. به‌عنوان نمونه، کاسم و همکاران [15] در یک مدل‌سازی عددی، تخلیه سطحی جریان-هایی با شناوری منفی را از طریق تخلیه کننده‌های صفحه‌ای واگرا بررسی نمودند. نتایج نشان داد که با افزایش زاویه واگرایی و کاهش عدد فرود چگال، طول موقعیت شیرجه کاهش می‌یابد. لا و همکاران [16] نیز به بررسی تخلیه سطحی از طریق تخلیه کننده-های مستطیلی شناور پرداختند. آنها با بررسی تأثیر شوری روی انتشار سطحی مشاهده نمودند که سیال جت در فاصله $\frac{x}{D} = 6$ (x مسافت طی شده و D قطر معادل است) به سمت پایین دست شیرجه می‌رود. عابسی و همکاران [17] موقعیت شیرجه و برخورد در جت‌های سطحی تخلیه شده در محیط پذیرنده ساکن را با استفاده از پردازش دیجیتال تصاویر بررسی نمودند. مطابق نتایج حاصل، جریان پیش از تبدیل از حالت جت به حالت پلوم شیرجه می‌رود و موقعیت نقطه برخورد به مقیاس طولی جت به پلوم و عمق آب وابسته است. علاوه بر آن، نقطه برخورد به وسیله

به تخلیه کننده‌های مستغرق با شناوری منفی را در زاویه ۶۰ درجه بررسی نمودند. سیپولینا و همکاران [4] نیز این تخلیه کننده‌ها را مورد مطالعه قرار دادند و به بررسی منحنی‌های پایین‌افتادگی جریان در زوایای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه برای نازل پرداختند. در ارتباط با جت‌های سطحی آلوده، نشات و همکاران [5] مطالعه-ی آزمایشگاهی را انجام دادند. آنها به بررسی تأثیر زاویه‌ی جت، نسبت سرعت، نوع آلودگی و غلظت آن روی مسیر حرکت جریان، پروفیل‌های سرعت و غلظت و عرض پخشیدگی سیال جت پرداختند. فراری و کویرزولی [6] نیز با تمرکز بر مسیر حرکت جریان جت‌های مستغرق مایل با شناوری منفی، موقعیت نهایی صعود سیال جت را بررسی نمودند. وسترو و همکاران [7] جت‌های صفحه‌ای مستغرق مورب با شناوری منفی را مورد مطالعه قرار دادند و در مقایسه با جت‌های دایره‌ای مشاهده نمودند که بیشینه ارتفاع صعود سیال جت در جت‌های صفحه‌ای با زاویه‌ی ۴۵ درجه کمتر از جت‌های دایره‌ای است. زیتون و همکاران [8] در این زمینه، مطالعات خود را بر اندازه‌گیری میزان رقیق‌شدگی در بیشینه ارتفاع صعود جت متمرکز نمودند. ایشان از میان زوایای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه برای جت، بهترین نرخ رقیق‌شدگی را در زاویه ۶۰ درجه مشاهده نمودند. پروفیل‌های دما و سرعت در جت‌های سطحی مستطیلی به وسیله اوگینو و کاتائی [9] به صورت فیزیکی و از طریق تخلیه سیال جت با دمای پایین در محیط پذیرنده‌ای با دمای بالا صورت گرفت. داویدسون و ونگ [10] با استفاده از تکنیک لیزر و پردازش تصاویر، تقابل نواحی انحراف یافته قوی و ضعیف در جت‌هایی که در جهت جریان تخلیه می‌شوند را بررسی نمودند. در یک مدل‌سازی عددی با استفاده از نرم افزار CORMIX، بلننگر و جیرکا [11] فرآیند تخلیه مستغرق جت‌های شناور مایل را شبیه‌سازی نمودند. آنها در پژوهش‌های خود زاویه قرارگیری نازل را برای رسیدن به بیشینه نرخ رقیق‌شدگی بررسی نمودند. نتایج نشان داد که برای بستر مسطح زاویه نازل بین ۶۰ تا ۷۵ درجه، برای بسترهای شبیدار با شیب ملایم زاویه بین ۴۵ تا ۶۰ درجه و برای بسترهای شبیدار با شیب زیاد زاویه بین ۳۰ تا ۴۵ درجه مناسب است. عابسی و همکاران [12] رفتار اختلاط جریان‌های شناور منفی را برای کانال-

تخلیه، نسبت عرض کانال تخلیه در محل خروج به عرض بالادست آن، نسبت عرض کانال تخلیه در محل خروج به عمق آب پذیرنده، عدد رینولدز اولیه جریان، عدد فرود اولیه جریان، عدد فرود چگال، نسبت طول موقعیت شیرجه به طول موقعیت برخورد، نسبت عرض کانال تخلیه در محل خروج به طول موقعیت شیرجه و نیز طول موقعیت برخورد. در رابطه (۲) از اثر پارامترهای $\frac{b}{H}$ و $\frac{b}{X_p}$ به دلیل ثابت بودن مقادیر آنها در تمامی آزمایش‌ها چشم پوشی شد. همچنین به علت قرارگیری عدد رینولدز جریان جت در محدوده جریان متلاطم (کمینه مقدار رینولدز ۲۲۰۰ مشاهده شد) از اثر آن چشم پوشی شد. بنابراین می‌توان نوشت:

$$f\left(\theta, \varphi, Fr, Fr_d, \frac{X_p}{X_i}, \frac{b}{X_p}, \frac{b}{X_i}\right) = 0 \quad (۳)$$

جدول ۱. مشخصات آزمایشگاهی برای جت‌های سطحی صفحه‌ای

همگرا و شیبدار

Q=0.08lit/sec

θ	φ	C=5gr/lit		C=15gr/lit		C=45gr/lit	
		X_p	X_i	X_p	X_i	X_p	X_i
0	90	20.64	58.34	10	39.5	4.25	28.32
0.04	90	19.2	43.3	7.5	36.21	3.25	25.25
0.08	90	24.77	60	14.18	45.2	4.34	29.28
0.08	45	33.39	61.92	22.5	52.44	5.28	32.98
0.04	45	20.64	47.56	10	39.5	4.5	27.5
0	45	25.5	60	19.68	47	4.75	30.5
0	25	31.56	62.88	29.33	51.91	5.32	35
0.04	25	28.13	59.48	13	48.5	4.83	30
0.08	25	41.28	68.44	37	60	5.69	35.47
0.08	12.5	52.62	72	39.5	62	7.15	38.55
0.04	12.5	31.56	62.88	16.5	52.48	5.12	32.17
0	12.5	34.08	65	33.5	59.04	6.25	37.3

Table 1. Experimental conditions for convergent and inclined plane surface jets

در جدول (۱) مشخصات تعدادی از آزمایش‌های انجام گرفته در این مطالعه ارائه شده است.

۳- مواد و روش‌ها

مدل آزمایشگاهی استفاده شده در این مطالعه، فلومی به ابعاد $۳/۲ \times ۰/۶ \times ۰/۹$ مترمکعب است. جنس دیواره‌ها و کف این فلوم از پلکسی گلاس است. سیال جت به صورت محلول

عابسی و رابرتز [18] در جت‌های چگال مستغرق، با تمرکز بر جهت نازل بررسی شد. ایشان ویژگی‌های جریان جت‌های چگال منفرد در زوایای ۱۵ تا ۸۵ درجه را در بیشینه ارتفاع صعود جت و نقطه برخورد بررسی کردند و بیشترین میزان رقیق‌شدگی را در زاویه ۶۰ درجه مشاهده نمودند. مطابق آنچه در مروری بر مطالعات پیشین گذشت، بررسی آزمایشگاهی در زمینه تحلیل رفتار جریان تخلیه شونده از تخلیه کننده‌های صفحه‌ای همگرا گزارش نشده است. موقعیت‌های شیرجه و برخورد جریان به دلیل اهمیت شناخت نوع رفتار جریان در ساحل و بستر محیط پذیرنده یکی از مهمترین پارامترهای تأثیرگذار هستند. بنابراین در این مطالعه، موقعیت‌های شیرجه و برخورد جریان تحت تأثیر متغیرهای مختلف بررسی می‌شوند.

۲- تحلیل ابعادی

پس از شناسایی پارامترهای حاکم بر پدیده جریان جت اقدام به تحلیل ابعادی بین آنها شد. پارامترهای مؤثر بر این پدیده را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

$$f(B, b, y, \theta, \varphi, H, \rho_j, \rho_a, \mu_j, g, U_{0j}, X_p, X_i) = 0 \quad (۱)$$

در رابطه (۱)، B عرض بالادست کانال تخلیه، b عرض کانال تخلیه در محل خروجی کانال، y عمق جریان در محل خروجی کانال، θ شیب کانال تخلیه نسبت به افق، φ زاویه همگرایی کانال تخلیه، H عمق آب پذیرنده، ρ_j جرم حجمی سیال جت، ρ_a جرم حجمی سیال پذیرنده، μ_j لزجت مطلق اولیه سیال جت، g شتاب ثقل، U_{0j} سرعت خروجی جریان جت، X_p طول موقعیت شیرجه و X_i طول موقعیت برخورد است.

با استفاده از تحلیل ابعادی به روش Π باکینگهام روابط بدون بعد زیر بدست آمدند:

$$f\left(\theta, \varphi, \frac{b}{B}, \frac{b}{H}, Re, Fr, Fr_d, \frac{X_p}{X_i}, \frac{b}{X_p}, \frac{b}{X_i}\right) = 0 \quad (۲)$$

پارامترهای بدست آمده در رابطه (۲) به ترتیب عبارتند از: شیب کانال تخلیه نسبت به افق، زاویه همگرایی کانال

۴- نتایج و بحث

در تخلیه‌کننده‌های سطحی نقطه‌ای که سیال جت از سطح جدا می‌شود، نقطه شیرجه و نقطه‌ای که سیال جت با بستر برخورد می‌کند، نقطه برخورد نامیده می‌شود [17]. در شکل (۲) نمونه آزمایش انجام شده به همراه تعیین موقعیت نقاط شیرجه و برخورد نشان داده شده است.

شکل ۲. نمونه آزمایش انجام شده و موقعیت نقاط شیرجه و برخورد

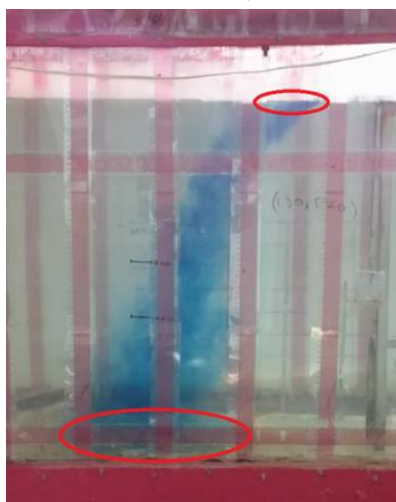
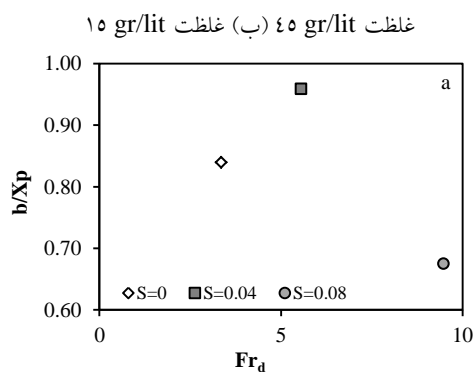


Fig. 2. Sample test and plunge and impact locations

در شکل‌های (۳ و ۴) نسبت عرض کانال تخلیه در محل خروج به موقعیت‌های شیرجه و برخورد تحت تأثیر شیب طولی کانال در مقابل عدد فرود چگال ترسیم شده است. شکل‌های (۳الف و ۴الف) برای غلظت ۴۵ گرم بر لیتر، دبی ۰/۰۴۲ لیتر بر ثانیه و زاویه همگرایی ۲۵ درجه و شکل‌های (۳ب و ۴ب) برای غلظت ۱۵ گرم بر لیتر، دبی ۰/۰۴۲ لیتر بر ثانیه و زاویه همگرایی ۲۵ درجه ترسیم شدند.

شکل ۳. موقعیت شیرجه جریان جت و تأثیر شیب طولی بر آن (الف)



آب-نمک و در غلظت‌های ۵، ۱۵ و ۴۵ گرم بر لیتر فراهم شد. محلول‌های حاصل به منظور آشکارسازی مسیر حرکت با استفاده از ماده‌ای که تأثیری در تغییر میزان دانسیته نداشت، رنگی شد. دبی سیال جت از طریق یک فلومتر الکترومغناطیس با دقت ۰/۰۱ لیتر بر ثانیه در مقادیر ۰/۰۴۲، ۰/۰۸ و ۰/۱۰۵ لیتر بر ثانیه تنظیم شد. تزریق سیال جت از طریق کانال‌های مستطیلی دارای چهار زاویه همگرایی ۱۲/۵، ۲۵، ۴۵ و ۹۰ درجه و عرض ثابت ۰/۰۶ متر انجام شد. عرض قسمت خروجی در تمامی کانال‌ها با رعایت نسبت همگرایی ۰/۰۳۵ متر در نظر گرفته شد. کانال‌های تخلیه کننده تزریق سیال جت را به صورت مماس بر سطح محیط پذیرنده انجام می‌دادند. پس، کانال‌ها در زاویه همگرایی مورد نظر و شیب‌های ۰، ۴ و ۸ درصد روی یک پایه، تنظیم و نصب، و عمق آب درون فلوم در تمامی آزمایش‌ها ثابت و ۰/۷ متر تنظیم شد. پیش از تزریق سیال جت از ساکن بودن سیال محیطی اطمینان، و در فاصله زمانی طی شده برای ساکن شدن سیال محیطی، دمای سیال جت و سیال محیطی با استفاده از ترمومتر و جرم حجمی آنها با استفاده از هیدرومتر اندازه‌گیری شد. در هر اجرای آزمایشگاهی ثبت مسیر حرکت سیال جت در محیط پذیرنده با استفاده از دوربین ویدئویی دیجیتال سونی با فرکانس ۵۰ فریم بر ثانیه در مدل DSC-WX220 انجام گرفت. این دوربین که روبروی دیواره فلوم و عمود بر صفحه قائم مرکزی جریان قرار داشت، تصاویر مقطع جریان را ثبت کرد. برداشت داده‌ها با استفاده از ردیابی تصاویر و نرم‌افزار Grapher-2D انجام گرفت. در شکل (۱) مدل آزمایشگاهی مورد نظر نشان داده شده است.

شکل ۱. مدل آزمایشگاهی استفاده شده برای انجام آزمایش‌ها



Fig. 1. The experimental model used for the tests

شیب صفر است، طول موقعیت شیرجه و به تبع آن طول موقعیت برخورد کمتر از شیب صفر است. چرا که در شیب ۴ درصد مومتم اولیه در دو جهت X و Z تقسیم می‌شود؛ حال آنکه در شیب صفر، مومتم اولیه تنها در جهت X است. شکل-های (۳ و ۴) تأثیر غلظت سیال جت بر طول موقعیت‌های شیرجه و برخورد را نیز نشان می‌دهند. در شرایطی که شیب طولی کانال تخلیه ثابت است؛ با افزایش مقدار غلظت سیال جت، طول موقعیت شیرجه و برخورد کاهش می‌یابد. افزایش غلظت موجب افزایش اختلاف جرم حجمی و افزایش نیروی شناوری می‌شود. در نتیجه جریان چگال‌تر می‌شود و سریع‌تر تماس خود را با سطح از دست می‌دهد. کاسم و همکاران [15]

شکل ۵. موقعیت شیرجه جریان جت و تأثیر زاویه همگرایی کانال بر آن

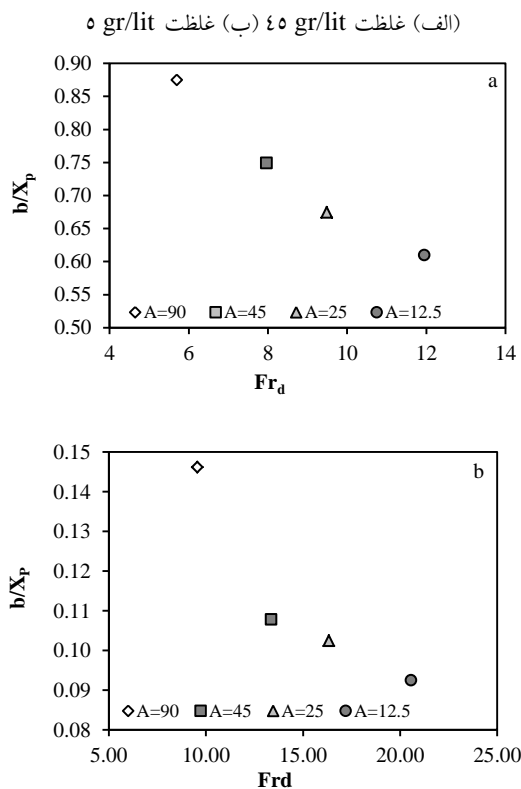


Fig. 5. The plunge location of jet flow and the effect of convergence angle of channel on it (a) C= 45 g/lit (b) C= 5 g/lit

در مطالعه عددی خود روی کانال‌های واگرای سطحی به نتیجه‌ای مشابه مبنی بر کاهش طول موقعیت شیرجه با افزایش غلظت جریان دست یافتند. همچنین؛ عباسی و همکاران [17] در بررسی

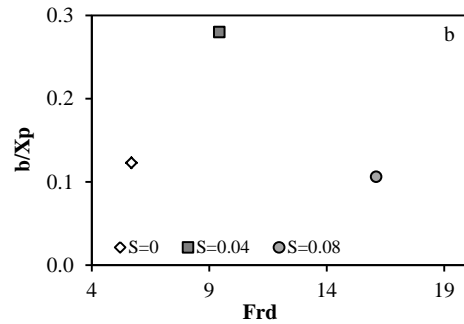


Fig. 3. The plunge location of jet flow and the effect of longitudinal slope on it (a) C= 45 g/lit (b) C= 15 g/lit

شکل ۴. موقعیت برخورد جریان جت و تأثیر شیب طولی بر آن (الف)

غلظت ۴۵ gr/lit (ب) غلظت ۱۵ gr/lit

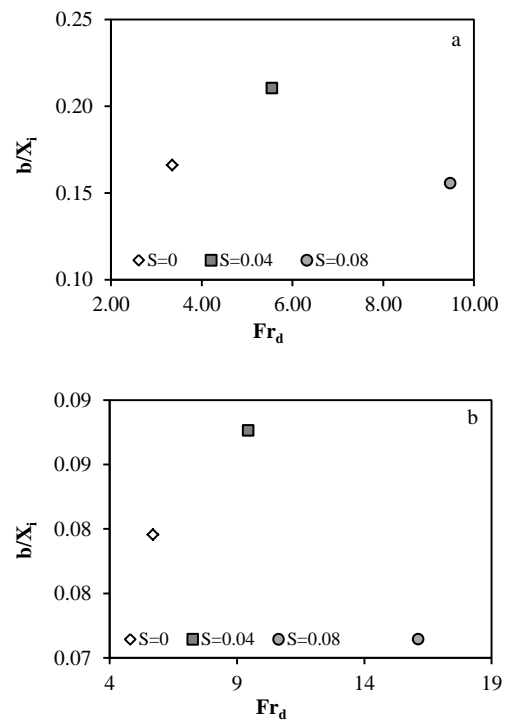


Fig. 4. The impact location of jet flow and the effect of longitudinal slope on it (a) C= 45 g/lit (b) C= 15 g/lit

مطابق نتایج حاصل از شکل‌های (۳ و ۴)، شیب ۸ درصد بیشترین طول موقعیت شیرجه و برخورد را به خود اختصاص می‌دهد. شیب ۸ درصد، مومتم اولیه بالایی را برای جریان جت تأمین می‌کند و در این حالت جریان پیشروی بیشتری دارد. در شیب‌های صفر و ۴ درصد که بسیار به یکدیگر نزدیک هستند، با وجود اینکه در شیب ۴ درصد مقدار مومتم اولیه بیش از

در شکل (۷) طول موقعیت‌های شیرجه و برخورد جریان جت در مقابل عمق سیال پذیرنده در حالیکه هر دو نسبت به L_M نرمال شده‌اند، ترسیم شده است. L_M مقیاس طولی جت به پلوم است.

$$L_M = \frac{(U_{0j}Q_0)^{3/4}}{(\frac{\Delta\rho}{\rho_a}gQ_0)^{1/2}} \quad (۴)$$

در رابطه (۴)، U_{0j} سرعت جریان جت خروجی از کانال، Q_0 دبی جریان جت خروجی از کانال، g شتاب ثقل، ρ_a جرم حجمی سیال پذیرنده و $\Delta\rho$ اختلاف جرم‌های حجمی سیال جت و سیال پذیرنده است.

شکل ۷. الف) موقعیت نقطه شیرجه جریان جت سطحی (ب) موقعیت

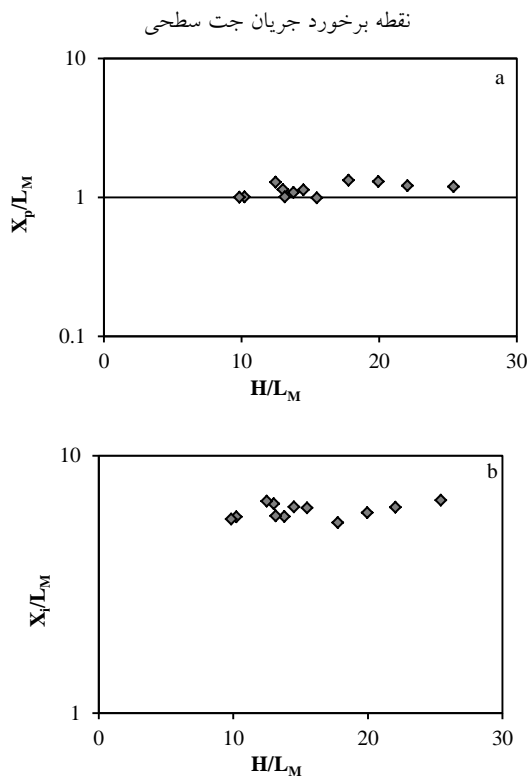


Fig. 7. (a) The plunge location of surface jet flow (b) The impact location of surface jet flow

در شکل (۷) به منظور مقایسه با نتایج مطالعه عابسی و همکاران [17] از داده‌های مربوط به آزمایش‌های شیب صفر استفاده شد. مطابق شکل (۷ الف) موقعیت نقطه شیرجه در محدوده ۱/۲ قرار دارد. عابسی و همکاران [17] این موقعیت را در

آزمایشگاهی کانال‌های مستطیلی سطحی، کاهش طول موقعیت‌های شیرجه و برخورد جریان را با افزایش غلظت جریان مشاهده نمودند. شکل‌های (۵ و ۶) برای نشان دادن تأثیر زاویه همگرایی کانال تخلیه بر موقعیت‌های شیرجه و برخورد ترسیم شده‌اند. شکل‌های (۵ الف و ۶ الف) غلظت ۴۵ گرم بر لیتر، دبی ۰/۰۴۲ لیتر بر ثانیه، شیب ۸ درصد و شکل‌های (۵ ب و ۶ ب) غلظت ۵ گرم بر لیتر، دبی ۰/۰۴۲ لیتر بر ثانیه و شیب ۸ درصد را نشان می‌دهند.

شکل ۶. موقعیت برخورد جریان جت و تأثیر زاویه همگرایی کانال بر آن

الف) غلظت ۴۵ gr/lit (ب) غلظت ۵ gr/lit

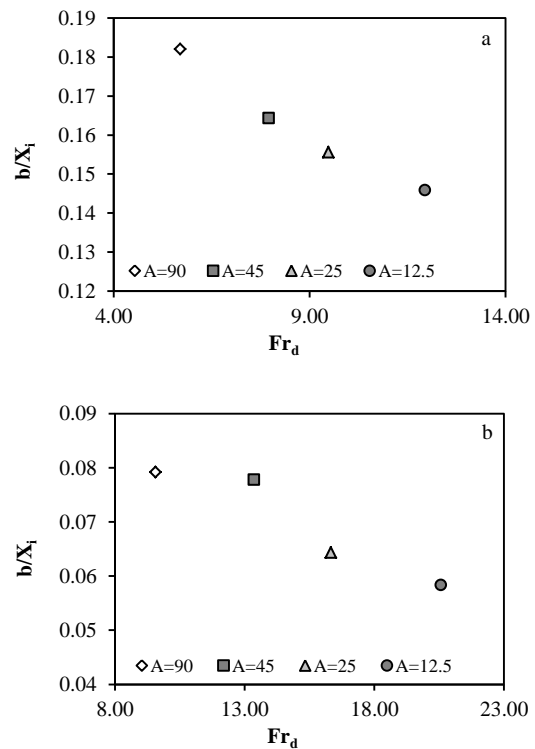


Fig. 6. The impact location of jet flow and the effect of convergence angle of channel on it (a) C= 45 g/lit (b) C= 5 g/lit

در شکل‌های (۵ و ۶) مشاهده می‌شود که با کاهش زاویه همگرایی، طول موقعیت‌های شیرجه و برخورد افزایش می‌یابد. کاهش زاویه همگرایی کانال تخلیه موجب افزایش مومتم اولیه و پیشروی بیشتر جریان جت می‌شود. این دو شکل تأثیر افزایش غلظت سیال جت بر کاهش طول موقعیت‌های شیرجه و برخورد را نیز نشان می‌دهند.

استفاده شد. مطابق نتایج حاصل مشاهده شد که با افزایش شیب طولی کانال تخلیه پس از یک مقدار کمینه و کاهش زاویه همگرایی کانال تخلیه، طول موقعیت‌های شیرجه و برخورد به دلیل افزایش مومتم اولیه و سرعت خروج جریان، افزایش می‌یابد. افزایش اختلاف جرم‌های حجمی سیال جت و سیال پذیرنده با افزایش نیروی شناوری موجب کاهش طول موقعیت‌های شیرجه و برخورد می‌شود. علاوه بر آن با توجه به عمق ثابت محیط پذیرنده، موقعیت نقطه شیرجه در محدوده ۱/۲ و موقعیت نقطه برخورد وابسته به عمق محیط پذیرنده مشاهده شد. همچنین نسبت طول موقعیت‌های شیرجه به برخورد برای داده‌ها در محدوده ۰/۱ تا ۰/۸ حاصل شد.

References

۶- مراجع

- [1] Sanchez D. 2009 Near-field evolution and mixing of a negatively buoyant jet consisting of brine from a desalination plant. Masters's Thesis, Department of Building and environmental technology Lund university, Sweden.
- [2] Pincine A.B. & List E.J. 1973 Disposal of brine into an estuary. Journal of Water Pollutant, 45, 2335-2344.
- [3] Roberts P.J.W., Ferrari A. & Daviero G. 1997 Mixing in inclined dense jets. Journal of Hydraulic Engineering, 123(8), 693-699.
- [4] Cipollina A., Brucato A., Grisafi F. & Nicosia S. 2005 Bench-Scale investigation of inclined dense jets. Journal of Hydraulic Engineering, 131(11), 1017-1022.
- [5] Nashat A.A., Abozeid G., Mohamed A.A. & Darweesh M.S. 2010 Hydraulics of surface polluted water-jet in open channel flow. Journal of Engineering Science, 38(1), 71-84.
- [6] Ferrari S. & Querzoli G. 2010 Mixing and re-entrainment in a negatively buoyant jet. Journal of Hydraulic Research, 48(5), 632-640.
- [7] Voustrou M.K., Yannopoulos P.C. & Christodoulou G.C. 2015 Experiments on plane negatively buoyant jets. E-proceedings of the 36th IAHR world congress 28 June-3July, Hague, Netherlands.
- [8] Zeitoun M.A., Reid R.O., McHilheny W.F. & Mitchell T.M. 1972 Model studies of ocean outfall systems for desalination plants. Office of saline water, U.S. Department of Interior, Washington.
- [9] Ogino F. & Katai K. 1994 Buoyancy effect on three-dimensional turbulent surface jet. Journal of Heat Mass Transfer, 37(1), 281-289.

محدوده ۱/۰۵ گزارش نمودند. تفاوت جزئی مشاهده شده ناشی از تأثیر همگرایی کانال‌های تخلیه است. در مطالعه حاضر عمق محیط پذیرنده ثابت است در حالیکه در مطالعه عابسی و همکاران [17] عمق متغیر بود. ایشان گزارش نمودند که موقعیت برخورد با تغییرات عمق محیط پذیرنده تغییر می‌کند. مطابق شکل (۷ ب) داده‌های آزمایشگاهی پراکندگی کمی را نشان دادند و تقریباً در محدوده ۷/۵ قرار می‌گیرند. بنابراین، وابستگی موقعیت برخورد به عمق محیط پذیرنده تأیید می‌شود. در شکل (۸) نسبت موقعیت شیرجه به برخورد برای تمامی داده‌های آزمایشگاهی به تفکیک رژیم‌های جریان نشان داده شده است.

شکل ۸. نسبت موقعیت شیرجه به برخورد جریان جت سطحی

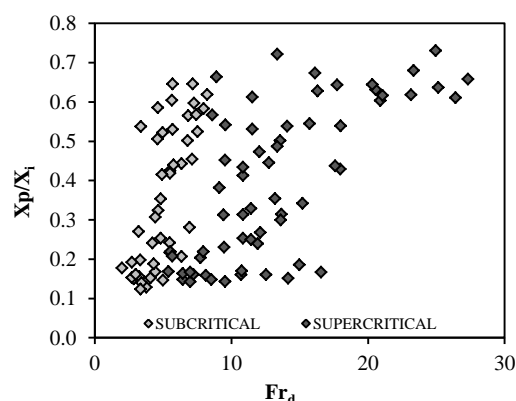


Fig. 8. Ratio of plunge location to impact location of surface jet flow

نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که بیشتر آزمایش‌ها در محدوده رژیم فوق بحرانی قرار دارند. همچنین، به نظر می‌رسد در محدوده اعداد فرود چگال بین ۱ تا ۱۰، ۱۰ تا ۲۰ و ۲۰ تا ۳۰ داده‌ها به ترتیب در محدوده ۰/۱ تا ۰/۷، ۰/۱۵ تا ۰/۸ و ۰/۶ تا ۰/۸ قرار می‌گیرند.

۵- نتیجه گیری

در این مطالعه، موقعیت‌های شیرجه و برخورد در تخلیه سطحی جریان چگال از تخلیه کننده‌های صفحه‌ای همگرا و شیب‌دار در محیط پذیرنده ساکن به صورت آزمایشگاهی بررسی شد. برای تحلیل داده‌های آزمایشگاهی از فرآیند ردیابی تصاویر، انجام تحلیل ابعادی و ترسیم نمودارهای بدون بعد

- [15] Kassem A., Imran J. & Khan J. 2003 Three-dimensional modeling of negatively buoyant flow in diverging channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(12), 936-947.
- [16] 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.
- [17] Abessi O., Saeedi M., Hajizadeh Zaker N. & Khirkhah Gildeh H. 2011 Waste field characteristics, ultimate mixing and dilution in surface discharge of dense jets into stagnant water bodies. *Journal of Water & Wastewater*, 1, 1-14. (In Persian)
- [18] Abessi O. & Roberts P.J.W. 2015 Effect of nozzle orientation on dense jets in stagnant environments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 141(8), 1-8.
- [10] Davidson M.J. & Wang H.J. 2002 Strongly advected jet in a coflow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128, 742-752.
- [11] Bleninger T. & Jirka G.H. 2008 Modeling and environmentally sound management of brine discharges from desalination plants. *Desalination*, 221, 585-597.
- [12] Abessi O., Saeedi M., Hajizadeh Zaker N. & Khirkhah H. 2010 Flow characterization dilution in surface discharge of negatively buoyant flow in stagnant and non-stratified water bodies. *Journal of Water & Wastewater*, 4, 71-82. (In Persian)
- [13] Bashitialshaaer R., Larson M. & Persson K.M. 2012 An experimental investigation on inclined negatively buoyant jets. *Journal of Water*, 4, 720-738.
- [14] Abessi O. & Roberts P.J.W. 2015 Dense jets discharges in shallow water. *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(1), 1-13.

Analysis of Flow Front Characteristics of Convergent and inclined Plane Surface Jet in Stagnant Water Resources

T. Heidari¹, N. Shahni Karamzadeh^{2*}, J. Ahadiyan³

1- Graduated M.Sc. of River Engineering., Faculty of Sea Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology.

2- Assistant Prof., Faculty of Sea Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology.

3- Associate Prof., Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.

*nima.shahni@gmail.com

Abstract:

This study presented the results of an experimental study on the dense flow discharging from convergent and inclined plane surface jet in stagnant and deep ambient resources. In recent years extensive studies have been conducted on examining and understanding of flow behavior discharging through submerged and surface jets. This study discusses the plunge and impact location under the effect of different variables. The study tests were carried out in a $3.2 \times 0.6 \times 0.9$ m³ flume. The Jet fluid obtained from salt dissolution in water was prepared in three concentrations of 5, 15, and 45 g/lit. To show fluid's moving path, the obtained solution was colored. The flow rate of the jet fluid in values of 0.042, 0.08 and 0.105 lit/sec was adjusted by using an electromagnetic flow meter. The injection of the jet fluid was carried out by using rectangular channels in four convergence angle of 12.5, 25, 45 and 90 degrees and the constant width of 0.06m. Discharge channels injected the jet fluid tangent to the surface of the ambient water. Thus, the channels were installed and adjusted on a base at slopes of zero, 0.04 and 0.08. The water depth in the flume was adjusted at a constant value of 0.7m in all experiments. The ambient fluid was settled before injection of the jet fluid. During this time interval, the temperature of the jet fluid and the ambient fluid were measured by a thermometer and their densities were measured by a hydrometer. For each experiment, the moving path of the jet fluid in the receiving ambient was recorded by using a Sony digital camcorder (DSC-WX220). This camera recorded the images of flow's section that was placed in front of the flume's wall and perpendicular to the central vertical plane of the jet flow. The data was obtained by using of images routing process. Based on the results, the 8-percent slope has the longest length of plunge and impact locations. The 8-percent slope provides high initial momentum. Therefore, the flow has further advance in this condition. Slopes of 0 and 4 percent are very close to each other. The length of plunge and impact locations in the 4-percent slope are lower than zero slope. The initial momentum is divided into X and Z directions in 4 percent slope, but all initial momentum is in X direction in zero slope. While the longitudinal slope of the discharge channel is fixed, the length of plunge and impact locations reduce with the jet fluid concentration increasing because the density difference and buoyancy force increase with the concentration increasing. Besides that, the length of plunge and impact locations increases with the convergence angle decreasing. The initial momentum and the discharge velocity of jet flow increase with the convergence angle of discharge channel decreasing. Increasing the initial momentum leads to further advance of jet flow. As the ambient has a fixed depth, was seen the location of the plunge point in the range of 1.2 and the location of the impact point depending on the ambient depth. Finally, the ratio of the length of plunge to impact locations for data was within the range of 0.1-0.8.

Keywords: Surface jet, Dense jet, Convergence, Plunge location, Impact location