

عوامل مؤثر بر ادغام پساب تخلیه شده از تخلیه کننده های چندپورتی

وحید بابایی نژاد و بابک خورسندی

دوره ۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صفحات ۳۱۸ - ۳۲۷

Vol. 7(2), Summer 2021, 318-327

DOI: 10.22034/jewe.2020.254408.1449

Factors Influencing the Merging Point of
Effluents Discharged from Multi-Port
Dischargers

Babaiynejad, V. and Khorsandi, B.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

بابایی نژاد، و. و خورسندی، ب. (۱۴۰۰). عوامل مؤثر بر ادغام پساب تخلیه شده از تخلیه کننده های چندپورتی. محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۷، شماره ۲، صفحات: ۳۱۸-۳۲۷.

Citing this paper : Babaiynejad, V. and Khorsandi, B. (2021), Factors influencing the merging point of effluents discharged from multi-port dischargers. Environ. Water Eng., 7(2), 318-327. DOI: 10.22034/jewe.2020.254408.1449

مقاله پژوهشی

عوامل مؤثر بر ادغام پساب تخلیه شده از تخلیه کننده های چندپورتی

وحید بابایی نژاد^۱ و بابک خورسندی^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، تهران، ایران

^۲ استادیار، گروه مهندسی آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، تهران، ایران

*نویسنده مسئول: b.khorsandi@aut.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۱۰/۰۳]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۰۹/۲۴]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۸/۰۵]

چکیده

احداث کارخانه های آب شیرین کن از دهه های گذشته رو به افزایش بوده و پساب تولیدی آن ها یکی از عوامل اصلی در تخریب محیط زیست دریایی است. استفاده از تخلیه کننده های چندپورتی یکی از روش های کاهش اثرات محیط زیستی این نوع پساب ها به شمار می آید. ادغام پساب تخلیه شده باعث کاهش میزان رقیق سازی پساب تخلیه شده در محیط آبی می شود. هدف این پژوهش تعیین محدوده ادغام جت ها با استفاده از پارامتر $L/F.D$ (فاصله افقی تخلیه کننده ها، F عدد فرود خروجی و D قطر تخلیه کننده) بود. بدین منظور، با استفاده از مدل انتگرالی CorJet به بررسی تأثیر زاویه تخلیه کننده، سرعت و جهت جریان محیط بر ادغام پساب چگال تخلیه شده پرداخته شد. در محیط ساکن ادغام جت ها برای تخلیه پساب با زاویه های تخلیه کننده ۴۵، ۶۰ و ۷۵° نسبت به افق، به ترتیب در $L/F.D$ کم تر از ۱/۵۳، ۱/۸۷ و ۲/۱۲ اتفاق افتاد. همچنین ادغام جت ها در محیط پویا برای تخلیه پساب با زاویه های ۴۵، ۶۰ و ۷۵°، برای جریان هم راستا به ترتیب در $L/F.D < ۱/۳۲$ ، $L/F.D < ۱/۴۸$ و $L/F.D < ۱/۵۹$ و برای جریان غیر هم راستا در $L/F.D < ۱/۲$ ، $L/F.D < ۱/۳$ و $L/F.D < ۱/۳۳$ صورت گرفت. طبق نتایج، زاویه بین جهت جریان محیط و جهت تخلیه پساب، فاصله افقی بین تخلیه کننده ها و زاویه تخلیه کننده نسبت به افق، مهم ترین عوامل مؤثر بر ادغام پساب چگال تخلیه شده از تخلیه کننده های چندپورتی بود.

واژه های کلیدی: CorJet؛ پلوم؛ پساب؛ جت؛ کارخانه آب شیرین کن

۱- مقدمه

در دهه‌های گذشته افزایش جمعیت، بالا رفتن سطح رفاه و بهداشت و رشد اقتصادی، باعث افزایش مصرف سرانه آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعتی و شهری شده است. به همین دلیل، حجم آب‌های زیرزمینی به سرعت در حال کاهش است. این منابع به‌تنهایی پاسخگوی نیازهای بشر امروزی نیست. با توجه به حجم بالای آب‌شور دریاها و اقیانوس‌ها، استفاده از کارخانه‌های آب‌شیرین‌کن به‌منظور شیرین کردن آب دریاها و اقیانوس‌ها می‌تواند جایگزین مناسبی برای منابع طبیعی آب شیرین در حال اتمام باشد. کارخانه‌های آب‌شیرین‌کن علاوه بر تولید آب شیرین، پسابی با غلظت بالا نیز تولید می‌کنند که بهینه‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش برای امحا آن‌ها بازگرداندن مجدد پساب به آب دریا است. غلظت بالای این پساب باعث به هم خوردن تعادل محیط‌زیست در محل تخلیه می‌شود و معمولاً در اطراف محل تخلیه به‌علت غلظت بالای نمک، شرایط ادامه حیات برای هیچ موجود زنده‌ای فراهم نمی‌باشد (Loya-Fernández et al. 2018; Heck et al. 2018; Lykkebo Petersen et al. 2019; Panagopoulos and Haralambous 2020).

با توجه به اینکه تخلیه پساب‌های ناشی از کارخانه‌های آب‌شیرین‌کن به آب دریاها و اقیانوس‌ها باعث آسیب رساندن به محیط‌زیست و آبریزان می‌شود، پژوهش‌گران مطالعات زیادی در راستای بهینه‌سازی تخلیه پساب و در نتیجه کاهش اثرات مخرب بر محیط تخلیه انجام داده‌اند. Loya-Fernández et al. (2018) به بررسی استفاده از دیفیوزر در تخلیه پساب شور و اثر آن در میزان رقیق‌سازی پساب شور پرداختند. فرناندز در ابتدا به شبیه‌سازی میزان رقیق‌سازی پساب شور تخلیه شده از یک لوله تخلیه افقی مستغرق پرداخت. سپس شبیه‌سازی را برای یک تخلیه‌کننده مایل ۶۰ درجه که پساب را از طریق دیفیوزر تخلیه می‌کند انجام دادند. طبق نتایج بدست آمده، نصب دیفیوزر به طور قابل توجهی میزان رقیق‌سازی را افزایش می‌دهد و پساب تخلیه شده در فاصله کوتاهی از محل تخلیه با محیط پذیرنده مختلط می‌شود. استفاده از دیفیوزر میزان رقیق‌سازی را در میدان نزدیک و میدان دور به شدت بالا برد بگونه‌ای که میزان رقیق‌سازی در فاصله یک کیلومتری از محل تخلیه تا ۱۷ برابر افزایش یافت. (Cipollina et al. (2005) به بررسی

رفتار پساب چگال تخلیه‌شده به‌صورت مایل و با زاویه‌های ۳۰ و ۴۵ و ۶۰° در محیط پویا پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود تنها به بررسی تراژکتوری جت چگال (حداکثر ارتفاع صعود جت Z_m)، فاصله افقی حداکثر ارتفاع از دهانه تخلیه‌کننده (X_m) و فاصله افقی نقطه برخورد پساب به سطح زمین از تخلیه‌کننده (X_i) پرداختند. یافته‌های آنها نشان داد تغییرات لزجت پساب خروجی تأثیر چندانی بر رفتار جت خروجی ندارد و تراژکتوری جت وابسته به عدد فرود جت خروجی است. (Shao and Law (2010) به بررسی تخلیه پساب چگال با زاویه ۳۰ و ۴۵° در مناطق کم‌عمق دریا پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود برای اندازه‌گیری غلظت و میدان سرعت به ترتیب از روش‌های اندازه‌گیری فلورسانس ناشی از لیزر مسطح و پردازش تصویر استفاده کردند. طبق نتایج آنها در تخلیه پساب با زاویه ۳۰°، به‌دلیل نزدیکی دهانه تخلیه‌کننده به سطح زمین، بستر تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر رفتار پساب خواهد داشت. ولی پساب تخلیه‌شده از تخلیه‌کننده ۴۵° به‌دلیل فاصله زیاد دهانه تخلیه‌کننده از سطح زمین، تحت تأثیر بستر قرار نمی‌گیرد.

یکی از مهم‌ترین نکاتی که باید در طراحی تخلیه‌کننده‌های چندپورتی در محیط پویا موردتوجه قرار گیرد، ادغام یا عدم ادغام جت‌ها در طول مسیر حرکت پساب است که بر اختلاط پساب مؤثر است. (Abessi and Roberts (2014) مطالعات خود را در ارتباط با ادغام جت‌ها تنها روی تخلیه‌کننده‌های چندپورتی با زاویه ۶۰° انجام دادند و تنها فاصله تخلیه‌کننده‌ها را عامل ادغام پساب معرفی نمودند و تأثیر زاویه تخلیه‌کننده نسبت به افق را بر ادغام جت‌ها بررسی نکردند. ایشان محدوده ادغام جت‌ها را با استفاده از پارامتر $L/F.D$ تنها برای تخلیه پساب با زاویه ۶۰° در محیط ساکن انجام دادند و محدوده ادغام جت‌ها ($L/F.D$) در محیط پویا را بررسی نکردند. زاویه بهینه تخلیه پساب چگال، با توجه به شرایط مختلف می‌تواند متغیر باشد (Shao and Law 2010). دینامیک و اختلاط پساب تخلیه‌شده با زاویه‌های مختلف تخلیه‌کننده در محیط ساکن و پویا متفاوت می‌باشد. همچنین دیگر پارامتر تأثیرگذار بر ادغام جت‌ها، زاویه بین جهت جریان محیط و جهت پساب تخلیه‌شده (Φ) است که می‌تواند بین ۰



کف دریا حرکت می‌کند. در این حالت تماس پلوم با سیال محیط پذیرنده باعث کاهش غلظت پساب می‌شود (Bleninger and Jirka 2010). هرچه زاویه تخلیه کننده نسبت به افق بیشتر باشد ارتفاع سقوط پلوم بیشتر می‌شود که این موضوع باعث اختلاط بیش‌تر پساب با سیال محیط پذیرنده و در نتیجه کاهش غلظت پساب می‌شود (Jiang et al. 2014). طبق رابطه (۱)، میزان رقیق‌شدگی پساب (S) (در اثر اختلاط با محیط آبی) در هر نقطه پایین دست تخلیه، به‌صورت نسبت چگالی پساب قبل از تخلیه (ρ_0)، به چگالی پساب در مکان موردنظر (ρ_t) تعریف می‌گردد.

$$S = \frac{\rho_0}{\rho_t} \quad (1)$$

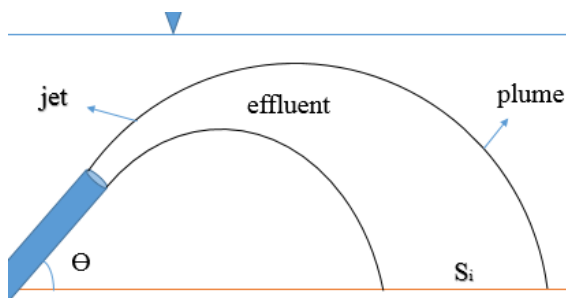
یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر دینامیک و اختلاط جریان تخلیه‌شده، عدد فرود (F) جریان خروجی است. چنانچه $F > 1$ باشد جریان به‌صورت جت خواهد بود و اگر $F < 1$ باشد جریان به‌صورت پلوم خواهد بود. عدد فرود جریان چگال به‌صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$F = \frac{U}{\sqrt{Dg'_0}} \quad (2)$$

که، U سرعت جریان خروجی، D قطر نازل تخلیه و g' شتاب گرانش اصلاح‌شده می‌باشد که به‌صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود.

$$g'_0 = g \frac{(\rho_0 - \rho_a)}{\rho_a} \quad (3)$$

که، ρ_a چگالی محیط و g شتاب گرانش می‌باشد.



شکل ۱- شماتیک پساب تخلیه‌شده به‌صورت مستغرق مایل در حالت جت و پلوم.

Fig. 1 Schematic of submerged discharges of dense effluent in jet and plume mode

(جریان همراستا^۱) تا 180° (جریان مخالف^۲) متغیر باشد که این پارامتر نیز در همه جهتها توسط Abessi and Roberts (2017) بررسی نشد. در پژوهش حاضر با استفاده از مدل انتگرالی CorJet به بررسی تأثیر زاویه تخلیه کننده (60° و 75°) و زاویه بین جهت جریان محیط و جهت تخلیه پساب (0° ، 45° ، 135° و 180°) بر ادغام یا عدم ادغام جت‌های تخلیه‌شده از تخلیه کننده‌های چندپورتی و در نتیجه میزان رقیق‌سازی در محیط ساکن و پویا پرداخته شد. همچنین مقدار پارامتر $L/F.D$ که محدوده ادغام جت‌ها را مشخص می‌کند برای زاویه‌های مختلف تخلیه کننده (60° و 75°) در محیط ساکن و پویا مشخص گردید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آنالیز ابعادی

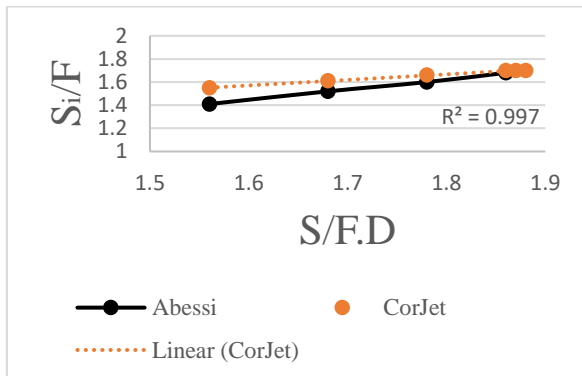
برای کاهش اثرات محیط‌زیستی پساب کارخانه‌های آب‌شیرین‌کن، تخلیه پساب باید به‌گونه‌ای انجام شود که پساب تخلیه‌شده در فاصله زمانی کوتاهی با سیال محیط پذیرنده مخلوط و بنابراین رقیق شود (Moeini et al. 2013; Khorsandi et al. 2021). برای رسیدن به این اختلاط، استفاده از تخلیه کننده‌هایی که پساب را به‌صورت جت مستغرق تخلیه می‌کنند ضروری است (Portillo et al. 2015; Del-Pilar-Ruso et al. 2012). طبق شکل (۱)، که Si میزان رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین و θ زاویه تخلیه نسبت به افق می‌باشد، پساب تخلیه‌شده در دو مرحله با سیال محیط پذیرنده مخلوط می‌شود. در مرحله اول پساب به‌صورت جت از تخلیه کننده خارج می‌شود. میزان اختلاط پساب با سیال محیط پذیرنده در مرحله اول به عواملی مانند شار مومنتوم، عدد فرود جت خروجی و همچنین زاویه تخلیه کننده نسبت به افق بستگی دارد. جت خروجی باعث هم‌آوری سیال محیط به درون جت می‌شود که این مسئله باعث کاهش غلظت و شار مومنتوم جت خروجی می‌شود. مرحله دوم هنگامی آغاز می‌شود که شار مومنتوم جت کاهش قابل توجهی می‌یابد و در مقایسه با شار شناوری می‌توان از مقدار آن صرف‌نظر نمود. در این حالت پساب از حالت جت به پلوم تبدیل می‌شود. با توجه به اینکه چگالی پساب نسبت به چگالی سیال محیط پذیرنده بیشتر است پساب در حالت پلوم به‌واسطه شار شناوری به سمت

²Counterflow
Environment and Water Engineering

¹Coflow

مشخص می‌شود. بدین منظور، برای حصول اطمینان از دقت نتایج مدل، نتایج به‌دست‌آمده توسط مدل با نتایج مطالعات آزمایشگاهی مقایسه شد.

شکل (۳) مقایسه رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین (S_i) (نرمال شده با عدد فرود) به‌دست‌آمده توسط مدل CorJet و مطالعه تجربی (Abessi and Roberts (2014) برای $L/F.D$ مختلف، در تخلیه‌کننده چندپورتی با زاویه تخلیه 60° در محیط ساکن و با عدد فرود $13/87$ را نشان می‌دهد. مدل CorJet میزان رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین را در مقایسه با مطالعه آزمایشگاهی با انحرافی در حدود 5% به‌خوبی پیش‌بینی کرد. طبق نتایج مدل، میزان رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین برای $1/87 >$ $L/F.D$ مقداری ثابت است که این موضوع نشان می‌دهد برای این مقادیر، فاصله تخلیه‌کننده‌ها تأثیری در میزان رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین ندارد؛ بنابراین فاصله جت‌ها به‌اندازه کافی زیاد است و برای $L/F.D > 1/87$ جت‌ها با هم ادغام نمی‌شوند. طبق نتایج (Abessi and Roberts (2014) جت‌ها در $L/F.D < 2$ با هم ادغام می‌شوند که این مقدار توسط CORJET با انحراف 6% ، حدود $1/87$ تخمین زده شد.



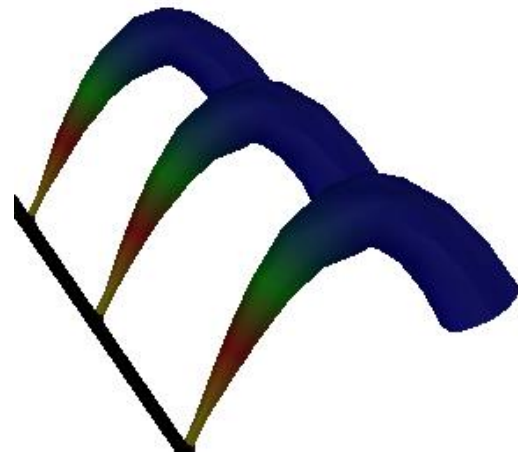
شکل ۳- رقیق‌سازی پساب تخلیه‌شده (از تخلیه‌کننده چندپورتی در محیط ساکن) با زاویه 60° در نقطه برخورد به زمین در مقایسه با نتایج (Abessi and Roberts (2014)

Fig. 3 Dilution of effluent at the point of impact with the ground, discharged at an angle of 60° (from a multi-port discharger in a quiescent environment), and compared to the results of Abessi and Roberts (2014)

شکل (۴) پارامتر بدون بعد رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین به‌دست‌آمده توسط مدل CorJet و نتایج Abessi and Roberts (2017) را در برابر $L/F.D$ مختلف (برای عدد

۲-۲- مدل CorJet

مدل CorJet برای تحلیل و پیش‌بینی تخلیه پساب‌هایی با شناوری مثبت، خنثی و منفی به محیط آبی تهیه‌شده است. این مدل به‌وسیله دانشگاه کرنل آمریکا و آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا در طول سال‌های ۱۹۸۵-۱۹۹۵ طراحی و توسعه داده‌شده است و یک مدل تجاری می‌باشد. CorJet یک مدل انتگرالی دقیق و سه‌بعدی و از زیرمجموعه‌های مدل CORMIX است. این مدل بر اساس روش انتگرال اوپلری به حل معادلات و پیش‌بینی رقیق‌سازی پساب می‌پردازد. از مهم‌ترین توانایی‌های این مدل می‌توان به در نظر گرفتن تأثیر ادغام جت‌ها در تخلیه‌کننده‌های چندپورتی (شکل ۲) اشاره کرد (Bleninger and Jirka 2010). در نظر گرفتن جریان محیط در جهت‌های مختلف نیز از دیگر ویژگی‌های مدل CorJet است. CorJet قابلیت شبیه‌سازی محیط‌های مختلف و با چگالی‌های متفاوت را دارا است (Palomar et al. 2012). مدل CorJet توانایی بالایی در شبیه‌سازی پساب چگال تخلیه‌شده در محیط ساکن و پویا دارد (Bleninger and Jirka 2010; Angelidis et al. 2017). در این پژوهش با توجه به قابلیت این مدل در شبیه‌سازی تخلیه‌کننده‌های چندپورتی و در نظر گرفتن ادغام جت‌ها در محیط ساکن و پویا، از مدل CorJet استفاده‌شده است.



شکل ۲- شماتیک تخلیه‌کننده چندپورتی با ۳ خروجی
Fig. 2 Schematic of a multi-port discharger with 3 outputs

۲-۳- صحت‌سنجی مدل

یکی از مهم‌ترین فرآیندها در هر پژوهشی، مقایسه نتایج به‌دست‌آمده با نتایج محققین دیگر است. اعتبار و ارزش نتایج به‌دست‌آمده توسط هر مدل عددی، با صحت‌سنجی آن مدل

محیطی صفر و 0.3 m/s در نظر گرفته شد. همچنین برای بررسی تأثیر زاویه تخلیه کننده بر ادغام پساب تخلیه شده از تخلیه کننده‌های چندپورتی، زاویه تخلیه کننده برای محیط پویا و ساکن 45° ، 60° و 75° در نظر گرفته شد.

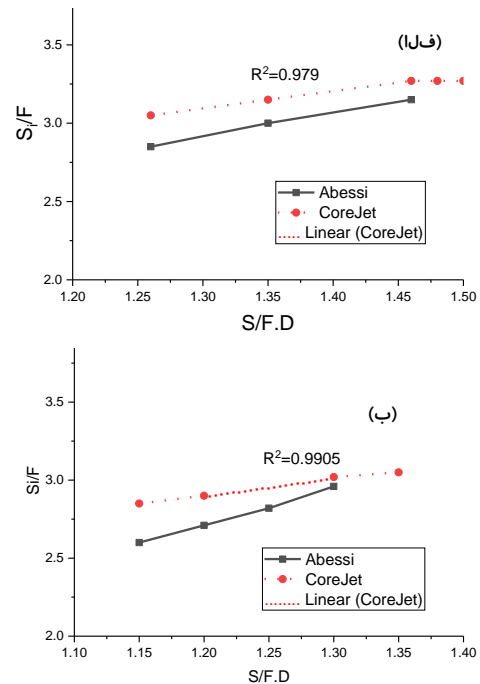
۳- یافته‌ها و بحث

در این قسمت به ارائه نتایج مدل CorJet در تخمین تأثیر زاویه تخلیه کننده و جهت جریان محیط بر ادغام و میزان رقیق‌سازی پساب تخلیه شده از تخلیه کننده‌های چندپورتی در نقطه برخورد به زمین پرداخته شد.

۳-۱- محیط ساکن

شکل (۵) مقدار رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین برای تخلیه پساب چگال با تخلیه کننده چندپورتی (با فاصله‌های مختلف تخلیه کننده‌ها از هم) را در محیط ساکن نشان می‌دهد. زاویه تخلیه کننده‌ها نسبت به سطح افق برابر 45° ، 60° و 75° است. برای تخلیه کننده با زاویه 45° و 60° و 75° میزان رقیق‌سازی پساب به ترتیب برای $L/F.D$ بزرگ‌تر از $1/53$ ، $1/87$ و $2/12$ ، به مقدار بیشینه خود رسیده و مستقل از فاصله تخلیه کننده‌ها می‌شود که این موضوع نشانگر عدم ادغام جت‌ها در این مقدار است. در زاویه‌های بزرگ‌تر، ادغام به نسبت زودتر جت‌ها (و در نتیجه کاهش رقیق‌سازی) به دلیل افزایش طول مسیر حرکت پساب در حالت پلوم می‌باشد. هرچه زاویه تخلیه کننده ($0^\circ < \theta < 90^\circ$) بیش تر باشد، ارتفاع سقوط پساب در حالت پلوم افزایش می‌یابد که این مسئله باعث بازشدگی بیش تر پلوم شده (با افزایش ارتفاع سقوط، قطر پلوم افزایش می‌یابد) و بنابراین عدم ادغام پساب‌ها در $L/F.D$ بزرگ‌تر صورت می‌گیرد؛ اما در صورت کاهش زاویه تخلیه کننده، ارتفاع سقوط پساب در حالت پلوم کم می‌شود و قطر پلوم نسبت به تخلیه پساب با زاویه‌های بزرگ‌تر، در طول مسیر افزایش کمتری خواهد داشت. به همین دلیل هرچه زاویه تخلیه کننده نسبت به افق کاهش می‌یابد عدم ادغام جت‌ها در مقادیر کوچک‌تر $L/F.D$ اتفاق می‌افتد. در این پژوهش همانند نتایج ارائه شده توسط Abessi and Roberts (2014) میزان رقیق‌سازی با افزایش فاصله تخلیه کننده‌ها از هم به صورت خطی افزایش می‌یابد و می‌توان نتیجه گرفت که با به تأخیر افتادن ادغام جت‌ها میزان رقیق‌سازی افزایش می‌یابد. با توجه به شکل (۵)، رقیق‌سازی پساب برای تخلیه کننده با زاویه 60° نسبت به تخلیه کننده با زاویه‌های 45° و 75° مقدار

فرد $13/87$ و زاویه تخلیه 60° در محیط پویا را مقایسه می‌کند. در این قسمت، جهت جریان محیط به صورت همراستا (شکل (۴-الف)) و مخالف جهت (شکل (۴-ب)) پساب خروجی است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، مدل میزان رقیق‌سازی پساب چگال تخلیه شده در محیط پویا را با انحرافی در حدود 6% نسبت به نتایج تجربی، به خوبی پیش‌بینی کرد.



شکل ۴- مقایسه نتایج رقیق‌سازی پساب چگال تخلیه شده در محیط پویا با زاویه 60° مدل CorJet با مطالعه Abessi and Roberts (2017). الف) $\phi = 0^\circ$ ، ب) $\phi = 180^\circ$.

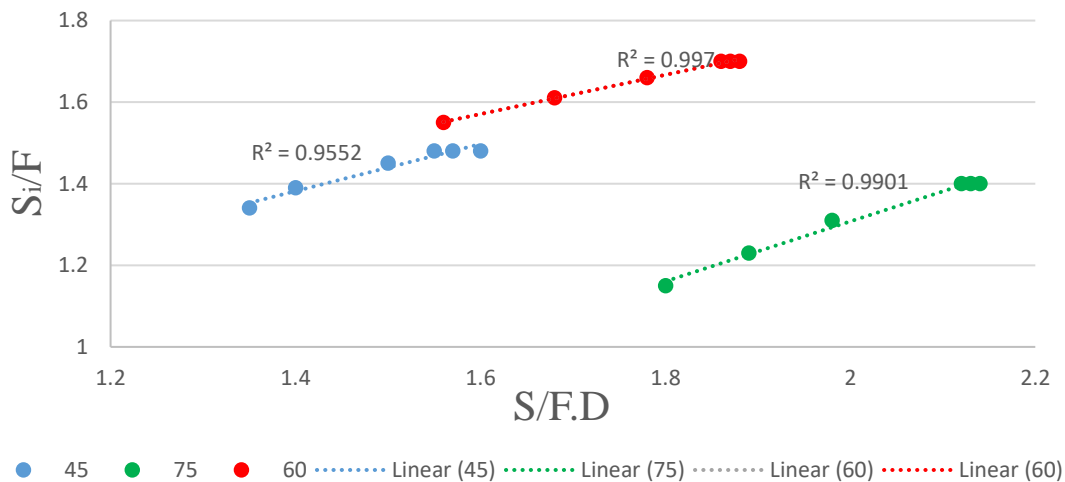
Fig. 4 Comparison of the dilution (at the point of impact with the ground) of dense effluent discharged in a dynamic environment with a 60° computed by the CorJet model with the experimental study of Abessi and Roberts (2017). a) $\phi = 0^\circ$ and b) $\phi = 180^\circ$

۲-۴- مدل سازی

در این پژوهش با استفاده از مدل انتگرالی CorJet به بررسی تأثیر زاویه تخلیه کننده (در محیط‌های ساکن و پویا) و جهت جریان محیط بر ادغام و اختلاط جت‌های چگال تخلیه شده از تخلیه کننده‌های چندپورتی، با 3 m خروجی به قطر 0.2 m و عدد فرود خروجی $13/87$ پرداخته شد. برای شبیه‌سازی تخلیه پساب در محیط پویا، زاویه بین جهت جریان محیط و جهت تخلیه پساب برابر صفر، 45° ، 135° و 180° در نظر گرفته شد. برای این منظور یک محیط فرضی نامحدود (که جت خروجی با سطح آب یا دیواره برخورد نداشته باشد)، با سرعت

Papakonstantis and 2018) در محیط ساکن می‌باشد (Papakonstantis and Tsatsara 2019).

بیش‌تری را دارد که این مسئله همانند تخلیه‌کننده‌های تک‌پورتی به دلیل افزایش طول مسیر حرکت پساب در تخلیه پساب با زاویه 60° نسبت به تخلیه پساب با زاویه‌های 45° و



شکل ۵- میزان رقیق‌سازی پساب چگال تخلیه‌شده از تخلیه‌کننده چندپورتی در نقطه برخورد به زمین

Fig. 5 Dilution of dense effluent discharged from a multi-port discharge at the point of impact with the ground

می‌یابد؛ اما در محیط پویا، جریان محیط اطراف پساب خروجی را احاطه می‌کند و نیروی وارده از طرف جریان محیط باعث می‌شود که قطر پساب در محیط پویا نسبت به محیط ساکن کمتر افزایش یابد؛ اما دلیل دیگری که باعث کاهش مقدار پارامتر $L/F.D$ برای ادغام جت‌ها در محیط پویا می‌شود کاهش ارتفاع سقوط پلوم است. در محیط پویا، جریان محیط باعث کاهش ارتفاع صعود ماکزیمم جت می‌شود که این مسئله باعث کاهش ارتفاع سقوط پلوم در محیط پویا نسبت به محیط ساکن می‌شود. هرچه طول مسیر حرکت پساب (جت و پلوم) در محیط آبی افزایش یابد هم‌اوری سیال محیط به درون جت و قطر پساب افزایش می‌یابند و در نتیجه احتمال ادغام پساب‌های تخلیه‌شده بیشتر می‌شود. برای حالت $\Phi = 45^\circ$ نیز ادغام جت‌ها برای زاویه‌های 45° ، 60° و 75° به ترتیب برای مقادیر $L/F.D < 1/29$ ، $L/F.D < 1/41$ و $L/F.D < 1/49$ اتفاق می‌افتد. در صورت افزایش زاویه بین جهت جریان محیط و جهت تخلیه پساب، جت‌ها در $L/F.D$ کوچک‌تری با هم ادغام می‌شوند که این موضوع به دلیل نیروی وارده از طرف جریان محیط به بدنه جت می‌باشد که باعث کاهش ارتفاع صعود ماکزیمم جت و در نتیجه کاهش ارتفاع سقوط پلوم می‌شود (Abessi and Roberts 2017). طبق نتایج، در محیط پویا هرچه زاویه تخلیه پساب افزایش می‌یابد میزان

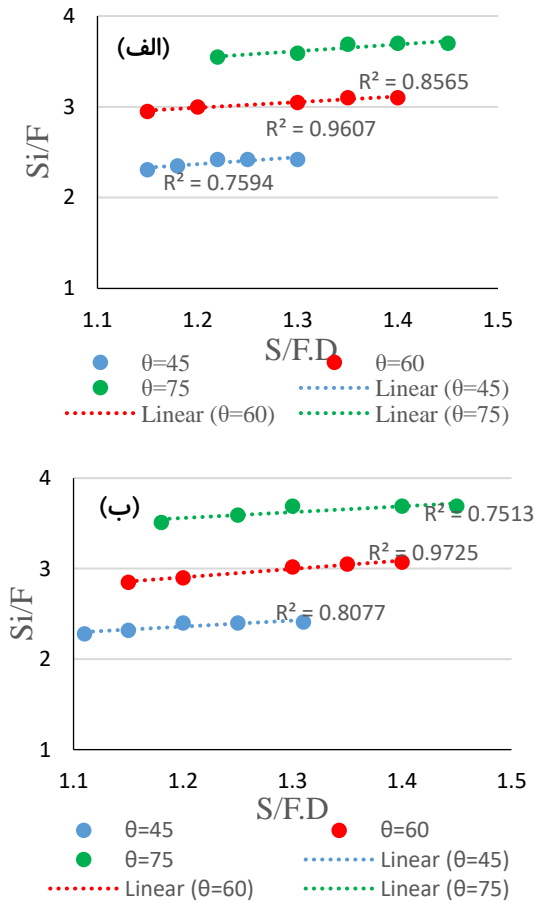
۳-۲- محیط پویا

۳-۲-۱- تخلیه پساب در محیط پویا با $\Phi = 0^\circ$ (جریان

همراستا) و $\Phi = 45^\circ$

شکل (۶) میزان رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین برای فاصله‌های مختلف تخلیه‌کننده‌ها در محیط پویا را نشان می‌دهد. در این قسمت زاویه بین جهت جریان محیط و جهت پساب خروجی 0° (همراستا با جهت پساب خروجی) (شکل ۶-ب) است. با توجه به شکل (۶)، میزان رقیق‌سازی با افزایش فاصله تخلیه‌کننده‌ها از هم افزایش می‌یابد که این موضوع به علت افزایش فاصله افقی تخلیه‌کننده‌ها و در نتیجه به تأخیر افتادن ادغام جت‌ها می‌باشد (Abessi and Roberts 2017). با توجه به نتایج، برای این مقدار از سرعت محیط $U_a = 0.3 \text{ m/s}$ در حالت جریان هم‌راستا، ادغام جت‌ها برای تخلیه پساب با زاویه‌های 45° ، 60° و 75° ، به ترتیب برای $L/F.D < 1/32$ ، $L/F.D < 1/48$ و $L/F.D < 1/59$ صورت می‌گیرد. پساب تخلیه‌شده در محیط پویا، در مقایسه با پساب تخلیه‌شده در محیط ساکن (در شرایط تخلیه یکسان)، در مقادیر $L/F.D$ کوچک‌تری (فاصله تخلیه‌کننده‌های کمتر) با هم ادغام می‌شوند. این موضوع به دو دلیل اتفاق می‌افتد اول این که قطر پساب تخلیه‌شده، با حرکت در محیط آبی و هم‌اوری سیال محیط به درون خود افزایش

پساب خروجی ۱۳۵ (شکل ۷- الف) و ۱۸۰° (جریان خلاف جهت) (شکل ۷- ب) است. در این حالت، همانند حالت جریان هم‌راستا با افزایش فاصله تخلیه کننده‌ها از هم میزان رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین با نرخ کمی افزایش می‌یابد (Abessi and Roberts 2017).

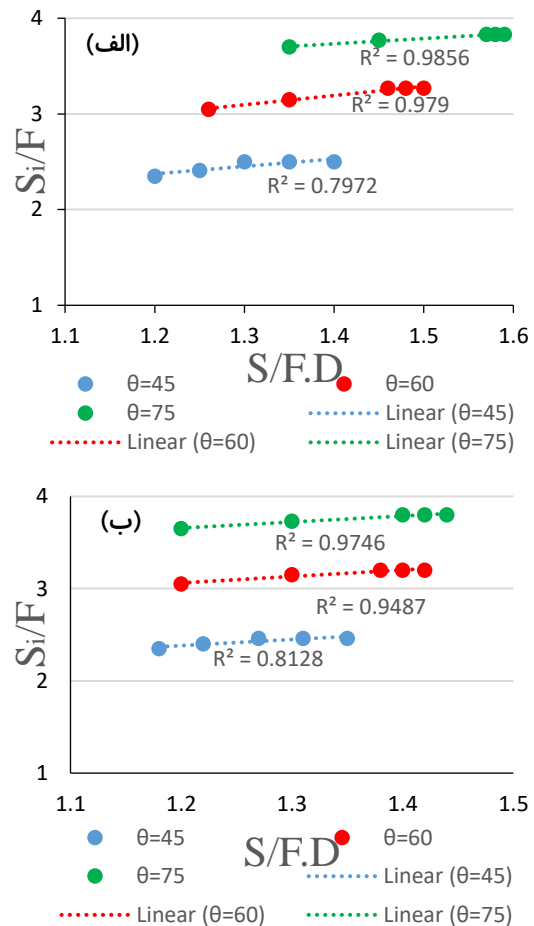


شکل ۷- میزان رقیق‌سازی پساب تخلیه‌شده از تخلیه کننده چندپورتی در نقطه برخورد به زمین در محیط پویا. الف) ۱۳۵° = ϕ . ب) ۱۸۰° = ϕ .

Fig. 7 Dilution of effluent discharged from a multi-port discharge at the point of impact to the ground in a dynamic environment. A) $\phi = 135^\circ$. B) $\phi = 180^\circ$

میزان رقیق‌سازی پساب در حالت $\phi = 135^\circ$ برای تخلیه پساب با زاویه‌های ۴۵، ۶۰ و ۷۵° به ترتیب برای مقادیر L/F.D بزرگ‌تر از ۱/۲۲، ۱/۳۲ و ۱/۳۵ مقداری ثابت دارد. میزان رقیق‌سازی در شرایط مشابه برای حالت $\phi = 180^\circ$ با مقدار ناچیزی کاهش نسبت به حالت $\phi = 135^\circ$ ، برای تخلیه کننده با زاویه ۴۵، ۶۰ و ۷۵° به ترتیب برای مقادیر L/F.D بزرگ‌تر از ۱/۲، ۱/۳ و ۱/۳۳ مقداری ثابت دارد. ثابت شدن

رقیق‌سازی نیز افزایش می‌یابد. با افزایش زاویه تخلیه پساب، ارتفاع سقوط پساب (پلوم) بیش‌تر شده و پساب بیش‌تر تحت تأثیر جریان محیط قرار می‌گیرد. در این حالت مقدار مسافتی که پساب توسط جریان محیط حمل می‌شود افزایش یافته و در نتیجه میزان رقیق‌سازی نیز افزایش می‌یابد (Abessi and Roberts 2016).



شکل ۶- میزان رقیق‌سازی پساب تخلیه‌شده از تخلیه کننده چندپورتی در نقطه برخورد به زمین در محیط پویا. الف) $\phi = 0^\circ$ و ب) $\phi = 45^\circ$.

Fig. 6 Dilution of effluent discharged from a multi-port discharger at the point of impact to the ground in a dynamic environment. a) $\phi = 0^\circ$ and b) $\phi = 45^\circ$

۳-۲-۲- تخلیه پساب در محیط پویا با $\phi = 135^\circ$ و $\phi = 180^\circ$ (خلاف جهت)

شکل (۷) میزان رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین را، برای تخلیه پساب چگال از تخلیه کننده چندپورتی در محیط پویا، با فاصله‌های مختلف تخلیه کننده‌ها از هم را نشان می‌دهد. در این قسمت زاویه بین جهت جریان محیط و جهت

در L/F.D بزرگ‌تر از ۱/۵۳، ۱/۸۷ و ۲/۱۲ به‌صورت جت مستقل عمل کرده و پساب خروجی باهم ادغام نمی‌شوند.

۳- طبق نتایج، ادغام جت‌ها در محیط پویا نسبت به محیط ساکن (با L/F.D یکسان)، برای فاصله تخلیه‌کننده‌های کم‌تر اتفاق می‌افتد به‌گونه‌ای که در محیط پویا با $\phi = 0^\circ$ ، ادغام پساب تخلیه‌شده با زاویه‌های ۴۵، ۶۰ و 75° ، به ترتیب در $L/F.D < 1/32$ ، $L/F.D < 1/48$ و $L/F.D < 1/59$ اتفاق می‌افتد.

۴- در محیط پویا با $\phi = 180^\circ$ ، مرز ادغام (L/F.D) پساب تخلیه‌شده با زاویه‌های ۴۵، ۶۰ و 75° ، به ترتیب برابر ۱/۲، ۱/۳ و ۱/۳۳ است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت هرچه زاویه بین جهت تخلیه پساب و جهت جریان محیط بیشتر شود ($0^\circ < \phi < 180^\circ$)، پارامتر L/F.D برای ادغام جت‌ها کاهش می‌یابد.

سپاسگزاری

نویسندگان از نظرات داوران محترم سپاسگزاری می‌نمایند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده (یا تولید شده) در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

References

- Abessi, O. and Roberts P. J. (2014). Multiport diffusers for dense discharges. *J. Hydraul. Eng.*, 140(8), 04014032.
- Abessi, O. and Roberts, P. J. (2016). Dense jet discharges in shallow water. *J. Hydraul. Eng.*, 142(1), 04015033.
- Abessi, O. and Roberts P. J. (2017). Multiport diffusers for dense discharge in flowing ambient water. *J. Hydraul. Eng.*, 143(6), 04017003.
- Angelidis, P., Kalpakis, D., Gyrikis, V. and Kotsovinos, N. (2017). 2D brine sewage after impinging on a shallow sea free surface. *Environ. Fluid Mech.*, 17(3), 615-28.
- Bleninger, T. and Jirka, G. H. (2010). Environmental planning, prediction and management of brine discharges from desalination plants. Institute for Hydromechanics, Univ. Karlsruhe, Karlsruhe, Germany.
- Cipollina, A., Brucato A., Grisafi, F. and Nicosia, S. (2005). Bench-scale investigation of inclined dense jets. *J. Hydraul. Eng.*, 131(11), 1017-1022.
- Del-Pilar-Ruso, Y., Martinez-Garcia, E., Giménez-Casalduero, F., Loya-Fernández, A., Ferrero-Vicente, L. M., Marco-Méndez, C., Sánchez-Lizaso, J. L. (2015). Benthic community recovery from brine impact after the implementation of mitigation measures. *Water Res.*, 70, 325-336.
- Heck, N., Lykkebo Petersen, K., Potts, D. C., Haddad, B. and Paytan, A. (2018). Predictors of coastal stakeholders' knowledge about seawater desalination impacts on marine ecosystems. *Sci. Tot. Environ.*, 639, 785-792.

رقیق‌سازی به معنی عدم ادغام جت‌ها می‌باشد. پساب تخلیه‌شده در حالت غیرهم‌راستا نسبت به حالت هم‌راستا در مقادیر L/F.D کوچک‌تری با هم ادغام می‌شوند. این موضوع (کاهش مقدار پارامتر L/F.D برای ادغام جت‌ها در محیط غیرهم‌راستا نسبت به محیط هم‌راستا و محیط ساکن) به دلیل کاهش ارتفاع صعود جت و کاهش ارتفاع سقوط پلوم نسبت به حالت جریان هم‌راستا است. همچنین این مسئله باعث کاهش میزان رقیق‌سازی پساب در حالت غیرهم‌راستا نسبت به حالت هم‌راستا می‌شود (Loya-Fernández et al. 2012).

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از مدل انتگرالی CorJet به بررسی تأثیر زاویه تخلیه‌کننده و جهت جریان محیط بر ادغام پساب چگال تخلیه‌شده از تخلیه‌کننده‌های چندپورتی پرداخته شد که خلاصه نتایج در زیر آمده است.

۱- زاویه تخلیه‌کننده، جهت جریان محیط و همچنین فاصله تخلیه‌کننده‌ها از هم از عوامل تأثیرگذار در ادغام پساب تخلیه‌شده از تخلیه‌کننده‌های چندپورتی است.

۲- در محیط ساکن، پساب چگال تخلیه‌شده از تخلیه‌کننده‌های چندپورتی با زاویه‌های ۴۵، ۶۰ و 75° ، به ترتیب

- Jiang, B., Law, A. W. K. and Lee, J. H. W. (2014). Mixing of 30 and 45 inclined dense jets in shallow coastal waters. *J. Hydraul. Eng.*, 140(3), 241-253.
- Khorsandi, B., Gaskin, S., and Mydlarski, L. (2013). Effect of background turbulence on an axisymmetric turbulent jet. *J. Fluid Mech.*, 736, 250-286.
- Loya-Fernández, Á., Ferrero-Vicente, L. M., Marco-Méndez, C., Martínez-García, E., Zubcoff, J., & Sánchez-Lizaso, J. L. (2012). Comparing four mixing zone models with brine discharge measurements from a reverse osmosis desalination plant in Spain. *Desalination*, 286, 217-224.
- Loya-Fernández, Á., Ferrero-Vicente, L. M., Marco-Méndez, C., Martínez-García, E., Vallejo, J. J. Z., & Sánchez-Lizaso, J. L. (2018). Quantifying the efficiency of a monoport diffuser in the dispersion of brine discharges. *Desalination*, 431, 27-34.
- Lykkebo Petersen, K., Heck, N., Reguero, B. G., Potts, D., Hovagimian, A., and Paytan, A. (2019) Biological and Physical Effects of Brine Discharge from the Carlsbad Desalination Plant and Implications for Future Desalination Plant Constructions. *Water*, 11(2), 208.
- Moeini, M., Khorsandi, B. and Mydlarski, L. (2021). Effect of coflow turbulence on the dynamics and mixing of a non-buoyant turbulent jet. *J. Hydraul. Eng.*, 147(1), 04020088.
- Palomar, P., Lara, J. L., Losada, I. J., Rodrigo, M. and Álvarez, A. (2012). Near field brine discharge modelling part 1: Analysis of commercial tools. *Desal.*, 290, 14-27.
- Papakonstantis, I. G., & Tsatsara, E. I. (2018). Trajectory characteristics of inclined turbulent dense jets. *Environmental Processes*, 5(3), 539-554.
- Papakonstantis, I. G., & Tsatsara, E. I. (2019). Mixing characteristics of inclined turbulent dense jets. *Environmental Processes*, 6(2), 525-541.
- Panagopoulos, A. and Haralambous, K. J. (2020). Environmental impacts of desalination and brine treatment - Challenges and mitigation measures. *Marine Pollut. Bull.*, 161B, 111773.
- Portillo, E., Louzara, G., Ruiz de la Rosa, M., Quesada, J., Gonzalez, J. C., Roque, F. and Mendoza, H. (2012). Venturi diffusers as enhancing devices for the dilution process in desalination plant brine discharges. *Desal. Water Treat.*, 51 (1-3), 525-542.
- Shao, D. and Law, A. W. K. (2010). Mixing and boundary interactions of 30 and 45 inclined dense jets. *Environ. Fluid Mech.*, 10(5), 521-553.

Research Paper

Factors Influencing the Merging Point of Effluents Discharged from Multi-Port Dischargers

Vahid Babaiynejad¹ and Babak Khorsandi^{2*}

¹M.Sc. Student, Department of Water and Environmental Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Tehran, Iran

²Assist. Professor, Department of Water and Environmental Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Tehran, Iran

*Corresponding author: b.khorsandi@aut.ac.ir

Received: October 26, 2020

Revised: December 14, 2020

Accepted: December 23, 2020

Abstract

The construction of desalination plants has been increasing over the past decades and their brine discharge negatively impact the marine environment. The use of multi-port dischargers results in higher initial dilution and reduces the environmental impact of this type of effluent. Merging of the discharged effluents from multi-port dischargers reduces the dilution rate of the effluents in the aqueous environment. The aim of this study was to determine the location of jet merging as a function of the $L/F.D$ parameter (L is the horizontal distance between discharger ports, F is the Froude number at the outlet, and D is the diameter of discharger ports). Using the CorJet integral model, the effect of discharge angle, and velocity and direction of ambient flow on merging of discharged dense effluents was investigated. In quiescent environments, merging of jets with discharge angles of 45, 60 and 75° with respect to the horizon occurred at $L/F.D$ less than 1.53, 1.87 and 2.12, respectively. Furthermore, in dynamic environments, merging of jets for discharge angles of 45, 60 and 75°, occurred at $L/F.D < 1.32$, $L/F.D < 1.48$ and $L/F.D < 1.59$, respectively, for the releases in coflows, and at $L/F.D < 1.2$, $L/F.D < 1.3$ and $L/F.D < 1.33$, respectively, for the discharges in counterflows. According to the results, the angle between the direction of ambient flow and the direction of effluent discharge, the horizontal distance between dischargers, and the discharge angle with respect to the horizon were the most important factors affecting the merging location of dense effluent discharged from multi-port dischargers.

Keywords: CorJet; Desalination Plant; Effluent; Jet; Plume.