Iranian Hydraulic Association
Journal of Hydraulics

Research Article
https://doi.org/10.30482/jhyd.2021.265927.1501

Studying the Best Method for Saline Wastewater Discharge: A Case Study of One of Assaluyeh Desalination Plants

Vahid Babaiynejad [1], Babak Khorsandi [2*]

1- Research Assistant, Department of Civil and Environmental Engineering, Amirkabir University of Tehran (Tehran Polytechnic), Tehran, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Tehran, Iran.

[*] **b.khorsandi@aut.ac.ir**

Received: 5 January 2021, Accepted: 13 June 2021 J. Hydraul. Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: In today's world, fresh water is known as a limited resource that all economic and social activities of human beings and more importantly human life and other organisms depend on this limited resource and this limited resource is decreasing day by day. At present, in most countries, desalination of the seas and oceans is the most important source of water supply near the coast. One of the products of desalination plants is saline effluent that is discharged into the sea environment. Improper discharge of this effluent causes damage to the environment and can cause irreparable damage to human life and other organisms. In this research, in a case study, the most optimal method of discharging the effluent of one of the Assaluyeh desalination plants is studied in order to achieve the maximum amount of effluent dilution in the near and far fields. Also, the effect of increasing the number of dischargers on the dilution rate of effluent discharged from multi-port dischargers in the far field is analyzed.

Methodology: The most important environmental problem of desalination plants is the production of brine (containing high concentration of salt) that is discharged directly into the sea. In this research, using the VISJET integral model, the dilution of effluent from an Assaluyeh desalination plant is studied. The VISJET is an integral model that uses the Lagrangian method to solve equations and predict the amount of effluent dilution in the Water environment. The VISJET has the ability to simulate a multilayer environment and simulates effluent with positive, neutral and negative buoyancy. The VISJET does not consider effluent dilution in the remote field. Therefore, in this research, the CORMIX model is used to dilute the effluent in the far field. The CORMIX model has been developed to analyze and predict the discharge of effluents with positive, neutral and negative buoyancy into the water environment. Discharge of various types of industrial and toxic effluents in the form of single-port and multi- port submerged and surface discharge, as well as considering environmental conditions such as wind speed, speed and direction of ambient flow and land slope are among the features of this model. In addition to near-field effluent mixing, this model also predicts effluent mixing in the far field. The CORMIX consists of three sub-models: CORMIX1 (discharge using single-channel discharge), CORMIX2 (discharge using multi-duct discharge) and CORMIX3 (surface discharge).

Results and Discussion: In this section, using the CORMIX model, the dilution of the effluent of Assaluyeh desalination plant is studied. Then, using CORMIX and VISJET models, the submerged discharge scenario of this plant at different depths is analyzed, with the aim of

achieving the maximum amount of effluent dilution in near and far fields. At a distance of 200 meters from the discharge site of Assaluyeh desalination plant, the salinity of the ambient fluid increases by 16%. Therefore, Iranian environmental standards are not observed. This type of discharge (surface discharge) has the least dilution in the nearby field due to minimizing the contact of the effluent with the sea environment. In a submerged discharge, the height of the effluent in the plume condition increases with increasing discharge height from the ground. In this case, due to more contact of the effluent with the water environment and having more time for mixing, the dilution of the effluent increases. Using a mile discharge with a Froude number of 27.4 at a depth of 9 meters is the best method for discharging the effluent of Assaluyeh desalination plant as a single port. In this case, the concentration of ambient fluid at a distance of 200 meters from the discharge site will increase by 1.5 percent, which is fully in accordance with Iranian environmental laws. Effluent dilution in a dynamic environment, in addition to the Froude number, discharge angle and ambient flow, also depends on the mass flux of the effluent. According to the results, increasing the number of outlets in multi-port dischargers (by keeping the Froude number constant, ambient flow velocity and discharge angle for all dischargers) increases the dilution rate of effluent in near and far fields.

Conclusion: Surface discharge of Assaluyeh desalination plant effluent increases the concentration of the receiving fluid by 16% at a distance of 200 m from the discharge site. The use of a 60-degree multi-port discharger with 10 outlets and a Froude number of 27.4 at a depth of 3.8 meters to discharge the effluent of the Assaluyeh desalination plant increases the concentration of ambient fluid by 0.8% at a distance of 200 meters from the discharge site. This scenario is recommended for optimal discharge of effluent according to environmental standards.

Keywords: CORMIX, VISJET, Effluent, Salt, Desalination.

© 2021 Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran.

This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)

(http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

انجمن هیدرولیک ایران
نشریه هیدرولیک

مقاله پژوهشی
https://doi.org/10.30482/jhyd.2021.265927.1501

بررسی بهینه‌ترین روش برای تخلیه پساب شور: مطالعه موردی یک کارخانه آب‌شیرین‌کن در عسلویه

وحید بابایی‌نژاد [۱]، بابک خورسندی [۲*]

۱- دستیار محقق، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران).
۲- استادیار گروه مهندسی آب و محیط زیست، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران).

[*] **b.khorsandi@aut.ac.ir**

دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۶، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۳ وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: کارخانه‌های آب‌شیرین‌کن عسلویه یکی از منبع‌های مهم تامین آب شرب این منطقه‌هاست. یکی از این کارخانه‌ها در این پژوهش بررسی شده است. پساب یا شورابه این کارخانه به صورت سطحی در ساحل خلیج فارس تخلیه می‌شود و باعث افزایش ۱۶ درصدی غلظت نمک سیال محیط در فاصله ۲۰۰ متری از محل تخلیه می‌شود. در این پژوهش، با استفاده از مدل‌های CORMIX و VISJET به بررسی پیش‌فرض‌های مختلف تخلیه پساب این کارخانه، به منظور دستیابی به بهینه‌ترین روش تخلیه از لحاظ میزان رقیق‌سازی و قانون‌های زیست‌محیطی پرداخته می‌شود. برخورد جت خروجی از تخلیه‌کننده‌های مایل مستغرق به سطح آب باعث کاهش میزان رقیق‌سازی می‌شود و به همین دلیل استفاده از این نوع تخلیه‌کننده‌ها در عمق‌های کم دریا مناسب نیست. در صورت استفاده از تخلیه‌کننده مستغرق تک‌مجرایی با زاویه ۰، ۳۰ و ۶۰ درجه (به‌ترتیب در عمق‌های ۱، ۵ و ۹ متر)، غلظت نمک سیال محیط در فاصله ۲۰۰ متری از محل تخلیه به‌ترتیب ۹/۴، ۲/۲ و ۱/۵ درصد افزایش خواهد یافت. افزایش خروجی‌ها و استفاده از تخلیه‌کننده چندمجرایی باعث کاهش ارتفاع صعود بیشینه (ماکزیمم) جت، فاصله افقی نقطه برخورد پساب به زمین از تخلیه‌کننده و سرعت خروجی پساب می‌شود. در صورت استفاده از تخلیه‌کننده چندمجرایی مایل بازاویه تخلیه ۶۰ درجه و با شمار ۱۰ خروجی در عمق ۳/۸ متری برای تخلیه پساب این کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه، غلظت نمک سیال محیط در فاصله ۲۰۰ متری از محل تخلیه تنها به میزان ۰/۸ درصد افزایش می‌یابد و این گزینه از لحاظ زیست‌محیطی بهترین گزینه برای تخلیه پساب این واحد صنعتی است.

کلید واژگان: CORMIX، VISJET، پساب، شورابه، آب‌شیرین‌کن.

۱- مقدمه

امروزه در بسیاری از کشورها شیرین کردن آب دریاها و اقیانوس‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین منبع‌های تامین آب منطقه‌های نزدیک به ساحل شناخته می‌شود. مهم‌ترین تاثیر زیست‌محیطی کارخانه‌های آب‌شیرین‌کن تولید پساب با غلظت بالای نمک (شورابه) به جای مانده از شیرین کردن آب دریاست. یکی از بهترین و ساده‌ترین روش‌ها برای مدیریت این پساب‌ها، برگرداندن دوباره آنها به دریا است. تخلیه نادرست این محصول باعث آسیب رساندن به محیط‌زیست می‌شود که می‌تواند آسیب و زیان‌های جبران‌ناپذیری در زندگی انسان‌ها و دیگر موجودها ایجاد کند. تخلیه این پساب‌ها در دراز مدت باعث بالا رفتن غلظت (شوری) و دمای آب دریا می‌شود و این تغییرپذیری‌ها حیات آبزیان را به خطر می‌اندازد. پساب تولیدی به علت غلظت بالاتر نسبت به آب دریا پس از تخلیه به عمق دریا سقوط می‌کنند و بازدارنده رسیدن اکسیژن به موجودهایی می‌شود که در کف دریا زندگی می‌کنند (Missimer and Maliva, 2018). غلظت بالای پساب باعث از بین رفتن شرایط حیات آبزیان می‌شود به طوری که اغلب در نزدیکی محل تخلیه این‌گونه پساب‌ها، به دلیل بالا رفتن غلظت نمک محیط، هیچ موجودی زندگی نمی‌کند. برای کاهش این گونه آسیب‌ها، تخلیه پساب باید به گونه‌ای باشد که در کمترین زمان و مکان، پساب تخلیه شده با آب دریا مخلوط شده و غلظت نمک پساب تخلیه شده

به کمترین میزان ممکن نسبت به غلظت محیط برسد. به همین منظور در طول سالیان گذشته محققان مختلف تلاش کرده‌اند تا بهینه‌ترین روش تخلیه پساب شور حاصل از کارخانه‌های آب‌شیرین‌کن را مشخص کنند. Zeitoun and McIlhenny (1971) برای یافتن بهینه‌ترین زاویه تخلیه پساب چگال در محیط ساکن به بررسی میزان رقیق‌سازی پساب تخلیه شده با زاویه‌های ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه پرداختند. بنابر نتایج آنها، زاویه تخلیه ۶۰ درجه در اعداد فرود مختلف، نسبت به دیگر زاویه‌های تخلیه مسیر بیشتری را پیش از برخورد به زمین طی می‌کند و در این زاویه میزان تماس پساب با محیط پذیرنده به بیشترین میزان ممکن می‌رسد. بنابراین میزان اختلاط و رقیق‌سازی پساب در این زاویه نسبت به دیگر زاویه‌ها بیشتر است. در سال‌های بعد نیز برای تعیین زاویه بهینه برای دستیابی به بیشترین میزان رقیق‌سازی پساب چگال حاصل از کارخانه‌های آب‌شیرین‌کن آزمایش‌های چندی توسط محققان مختلف از جمله Pincince and List (1971)، Roberts and Toms (1987) و Abessi and Roberts (2015) صورت گرفت و همگی زاویه تخلیه ۶۰ درجه را به عنوان بهینه‌ترین زاویه برای تخلیه پساب چگال معرفی کردند. Malcangio and Petrillo (2010) با هدف کاهش آسیب‌ها و زیان‌های زیست‌محیطی ناشی از تخلیه پساب شور بر روی موجودهای منطقه ساحلی جنوب ایتالیا و به ویژه حیات علف دریایی (پوزیدونیا) تحقیقات خود را آغاز کردند. شبیه‌سازی‌ها توسط مدل MIKE3 و در فاصله‌های ۶۰۵ و ۷۰۷ متر از خط ساحلی انجام شد. بنابر نتایج شبیه‌سازی، پساب تخلیه شده با هر دو طول لوله تخلیه بر محل رشد علف دریایی تاثیر قابل توجهی نداشت، ولی دیگر موجودها در صورت استفاده از لوله تخلیه با طول کمتر، شرایط بهتری را خواهند داشت. بنابراین نتایج ارائه شده در این بررسی نشان می‌دهد استفاده از لوله تخلیه با طول کمتر به دلیل افزایش میزان رقیق‌سازی پساب در نتیجه شرایط محیطی و همچنین به دلیل ملاحظه‌های اقتصادی، بهینه‌ترین حالت تخلیه در منطقه مورد نظر می‌باشد. Loya-Fernández et al. (2018) به بررسی استفاده از پخشنده در تخلیه پساب شور و تاثیر آن در میزان رقیق‌سازی پساب شور پرداختند. بررسی موردی در این تحقیق، مربوط به پساب حاصل از کارخانه آب‌شیرین‌کن Nuevo Canal de Cartagena در جنوب اسپانیا بود. آنان در آغاز به شبیه‌سازی میزان رقیق‌سازی پساب شور تخلیه شده از یک لوله تخلیه افقی مستغرق پرداختند. آن‌گاه شبیه‌سازی را برای یک تخلیه‌کننده مایل با زاویه ۶۰ درجه که پساب را از طریق پخشنده تخلیه می‌کند انجام دادند. بنابر نتایج به‌دست آمده، نصب پخشنده به طور قابل توجهی میزان رقیق‌سازی را افزایش می‌دهد و پساب تخلیه شده در فاصله کوتاهی از محل تخلیه با محیط پذیرنده مخلوط شده و بنابراین استفاده از پخشنده میزان رقیق‌سازی را به شدت بالا می‌برد. در این تحقیق در یک بررسی موردی به بررسی بهینه‌ترین روش تخلیه پساب یکی از کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه به منظور دستیابی به بیشترین میزان رقیق‌سازی پساب در میدان نزدیک و میدان دور پرداخته می‌شود. همچنین تاثیر افزایش شمار تخلیه‌کننده‌ها بر میزان رقیق‌سازی پساب تخلیه شده از تخلیه‌کننده‌های چند مجرایی در میدان دور بررسی می‌شود. در این تحقیق با استفاده از مدل‌های عددی به مقایسه تخلیه پساب شور از تخلیه‌کننده‌های سطحی، تک‌مجرایی و چندمجرایی مستغرق پرداخته می‌شود. کارخانه‌های آب‌شیرین‌کن مختلفی در ایران وجود دارد که پساب آنها به صورت سطحی و همانند با کارخانه آب‌شیرین‌کن یاد شده در این تحقیق تخلیه می‌شود. با توجه به اطلاعات و بررسیهای انجام شده، تاکنون بررسی همانندی با این بررسی در ایران انجام نشده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تجزیه و تحلیل ابعادی

برابر شکل ۱ (که در آن Si میزان رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین، Z ارتفاع صعود بیشینه جت، Xi فاصله افقی نقطه برخورد پساب به زمین از تخلیه‌کننده و θ زاویه تخلیه نسبت به افق) پساب خروجی در دو منطقه میدان نزدیک و میدان دور با محیط پذیرنده مخلوط می‌شود. طول میدان نزدیک نسبت به میدان دور کوتاه است. میدان نزدیک از لحظه خروج پساب از تخلیه‌کننده تا برخورد پساب به زمین را شامل می‌شود. میدان دور نیز از لحظه برخورد پساب به زمین آغاز می‌شود و تا کیلومترها به سمت پایین دست ادامه می‌یابد. در میدان نزدیک پساب در دو مرحله با سیال محیط پذیرنده مخلوط می‌شود. در مرحله نخست پساب با سرعت بالا و به صورت جت از تخلیه‌کننده خارج می‌شود. در این مرحله میزان رقیق‌سازی

پساب به عدد فرود جت خروجی و همچنین زاویه تخلیه‌کننده نسبت به افق بستگی دارد. جت خروجی باعث هم‌آوری سیال محیط به درون جت و در نتیجه کاهش غلظت و شار ممنتوم جت خروجی می‌شود. مرحله دوم هنگامی آغاز می‌شود که شار مومنتوم جت نزدیک به صفر می‌شود و پساب به واسطه شار شناوری حرکت می‌کند. 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 به سمت بستر محیط پذیرنده حرکت می‌کند و هماوری سیال محیط پذیرنده به درون پلوم باعث افزایش میزان رقیق‌سازی پساب می‌شود (Jiang et al., 2013). هرچه زاویه تخلیه‌کننده 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., 2013). میزان رقیق‌شدگی پساب (S) (در اثر اختلاط با محیط آبی) در هر نقطه از پایین دست محل تخلیه به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود. Si میزان رقیق‌شدگی پساب در نقطه برخورد با زمین می‌باشد.

$$S = \frac{(\rho_0 - \rho_a)}{(\rho - \rho_a)} \qquad (1)$$

در رابطه بالا ρ_0 چگالی پساب پیش از تخلیه، ρ_a چگالی محیط پذیرنده و ρ چگالی پساب در نقطه مورد نظر است.

یکی از مهم‌ترین فراسنجه‌های تاثیرگذار بر پویایی و اختلاط جریان تخلیه‌شده، عدد فرود (Fr) جریان خروجی است. درصورتی‌که $Fr > 1$ باشد جریان به صورت جت و درصورتی‌که $Fr < 1$ باشد جریان به صورت پلوم خواهد بود. عدد فرود جریان چگال به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود.

$$F_r = \frac{U}{\sqrt{Dg_0'}} \qquad (2)$$

در رابطه بالا U سرعت جت خروجی، D قطر نازل تخلیه‌کننده و g' شتاب گرانش اصلاح‌شده می‌باشد که به صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود.

$$g_0' = g\frac{(\rho_0 - \rho_a)}{\rho_a} \qquad (3)$$

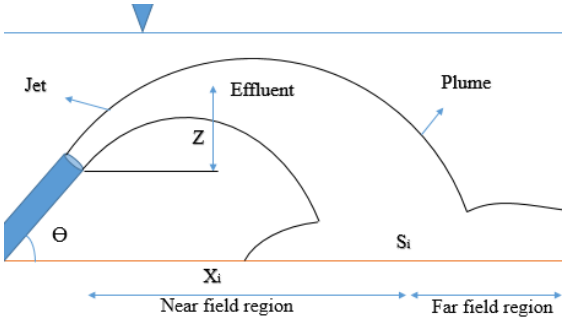


Fig. 1 Schematic of a submerged discharge of effluents showing jet and plume mode.

شکل ۱ ویژگی‌های پساب تخلیه‌شده به صورت مستغرق مایل در حالت جت و پلوم.

که در آن g شتاب گرانش می‌باشد.

۲-۲- مدل عددی

در این تحقیق با استفاده از مدل انتگرالی VISJET به بررسی میزان رقیق‌سازی پساب حاصل از یک کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه پرداخته می‌شود[۱]. VISJET یک مدل انتگرالی است و با استفاده از روش لاگرانژی به حل معادله‌های و پیش‌بینی میزان رقیق‌سازی پساب تخلیه شده در محیط آبی می‌پردازد. VISJET توانایی شبیه‌سازی محیط چند لایه را دارا می‌باشد و پساب با شناوری مثبت، خنثی و منفی را شبیه‌سازی می‌کند. این مدل تغییر زمانی را در نظر نمی‌گیرد و برای جریان ماندگار طراحی شده است (Cheung et al., 2000). VISJET رقیق‌سازی پساب در میدان دور را در نظر نمی‌گیرد و به همین دلیل در این تحقیق برای رقیق‌سازی پساب در میدان دور از مدل CORMIX استفاده می‌شود. مدل CORMIX برای تحلیل و پیش‌بینی تخلیه پساب‌هایی با شناوری مثبت، خنثی و منفی به محیط آبی توسعه یافته است. تخلیه انواع پساب‌های صنعتی و سمی به صورت مستغرق تک مجرایی و چند مجرایی و تخلیه سطحی، و همچنین در نظر گرفتن شرایط محیطی مانند میزان سرعت باد، سرعت و جهت جریان محیط و شیب زمین از جمله ویژگی‌های این مدل می‌باشد. این مدل افزون بر اختلاط پساب در میدان نزدیک، اختلاط پساب در میدان دور را هم پیش‌بینی می‌کند (Jirka et al., 1996). امواج و جریان‌های دریایی می‌توانند بر روی آشفتگی محیط و درنتیجه میزان رقیق‌سازی پساب تخلیه‌شده

[۱] به دلیل درخواست کارشناس کارخانه که داده‌های مربوط به تخلیه را به نویسندگان ارائه نمود، از ذکر نام کارخانه خودداری گردیده است.

اثر بگذارند. در طراحی اغلب بدترین شرایط (محیط ساکن) در نظر گرفته می‌شود و جریان‌های دریایی که باعث افزایش میزان رقیق‌سازی می‌شود را در نظر نمی‌گیرند. مدل‌های استفاده شده در این تحقیق باتوجه به سرعت جریان محیط و سرعت باد، میزان تاثیر امواج دریایی را در نظر می‌گیرند. بررسی‌های Loya-Fernández et al. (2018) نشان داد که نتایج مدل CORMIX با اندازه‌گیری‌های میدانی همخوانی خوبی (۶-۸٪ خطا) دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تاثیر موجها و جریان‌های دریایی به خوبی توسط مدل برآورد زده شده است.

۲-۳- اعتبار سنجی مدل

اعتبار نتایج ارائه شده توسط هر مدل عددی به واسطه صحت‌سنجی آن مدل مشخص می‌شود. در این قسمت به بررسی میزان اعتبار مدل‌های VISJET و CORMIX، در در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده پرداخته می‌شود. شکل ۲- a مقایسه نتایج به دست آمده توسط مدل‌های CORMIX و VISJET و داده‌های اندازه‌گیری شده Kikkert et al. (2007) را برای ارتفاع صعود بیشینه جت (Z)، برای اعداد فرود مختلف در تخلیه پساب چگال با زاویه ۶۰ درجه در محیط ساکن را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مدل‌های CORMIX و VISJET میزان ارتفاع صعود بیشینه جت را به ترتیب با اختلاف ۱۲ و ۷ درصدی نسبت به بررسی آزمایشگاهی، به خوبی برآورد می‌کنند.

شکل ۲- b و c مقایسه نتایج به دست آمده توسط مدل‌های CORMIX و VISJET و بررسی تجربی Roberts and Toms (1987) را برای رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین و برای اعداد فرود مختلف، در تخلیه‌کننده مستغرق مایل با زاویه تخلیه ۶۰ درجه را نشان می‌دهد.

همچنین باتوجه به مقایسه نتایج مدل CORMIX و نتایج بررسی میدانی توسط Loya-Fernández et al. (2012) و Loya-Fernández et al. (2018) ، مدل CORMIX با خطای ۶ تا ۸ درصد میزان رقیق‌سازی پساب در میدان دور را برآورد می‌کند.

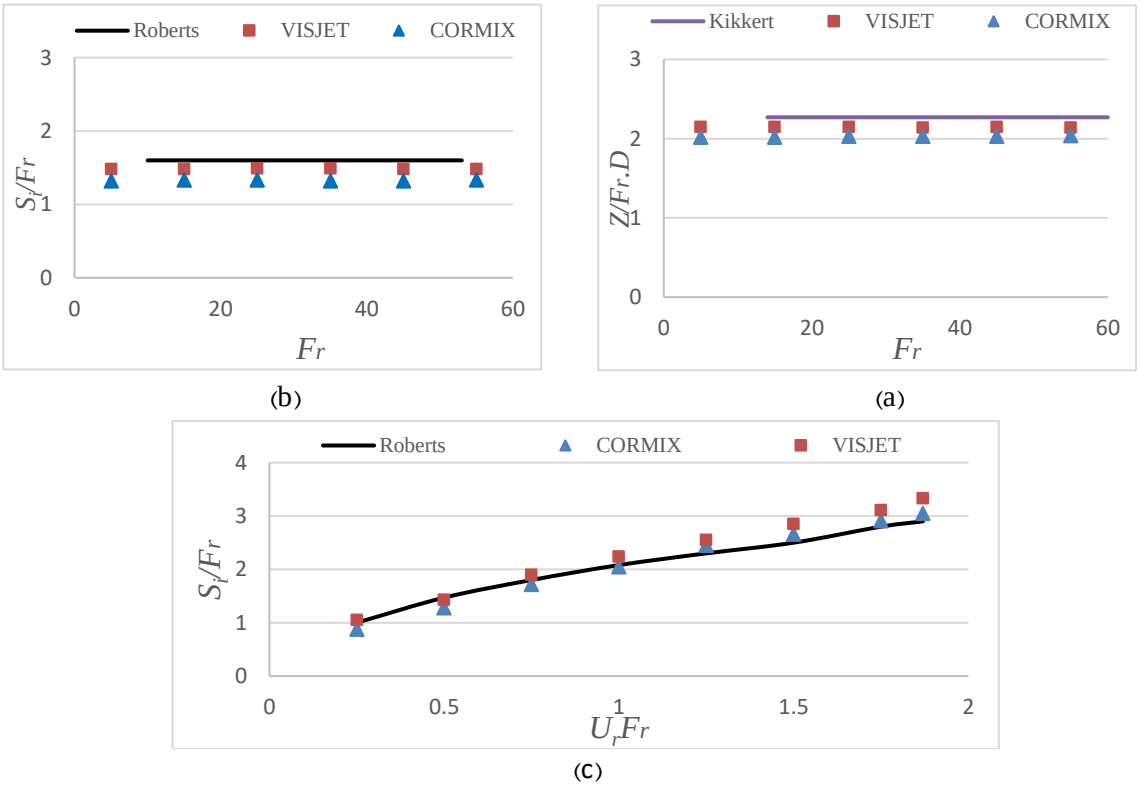


Fig. 2 Comparison of effluent simulation results with 60 ° angle VISJET and CORMIX with experimental studies. (a) The maximum ascent height of the jet in the static environment. (b) Dilution in the static environment. (c) Dilution in the dynamic environment.

شکل ۲ مقایسه نتایج شبیه‌سازی پساب تخلیه‌شده با زاویه ۶۰ درجه VISJET و CORMIX با مطالعات تجربی. (a) ارتفاع صعود بیشینه جت در محیط ساکن. (b) رقیق‌سازی در محیط ساکن. (c) رقیق‌سازی در محیط پویا.

نتایج شبیه‌سازی پساب برای دوحالت تخلیه در محیط ساکن (شکل ۲-b) و محیط پویا (شکل ۲-c) ارائه شده است. در شکل ۲ پ، $U_r = U_a/U$ است که U_a سرعت جریان محیط است. مدل VISJET رقیق‌سازی پساب چگال در محیط ساکن و پویا را به ترتیب با اختلافی در حدود ۷ و ۱۵ درصد نسبت به بررسی آزمایشگاهی پیش‌بینی می‌کند. مدل CORMIX نیز میزان رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین در محیط ساکن و پویا را، به ترتیب با اختلافی در حدود ۱۸ و ۸ درصد نسبت به بررسی آزمایشگاهی پیش‌بینی می‌کند.

باتوجه به نتایج اعتبارسنجی مشخص شد مدل VISJET ویژگی‌های پساب در میدان نزدیک را به خوبی برآورد می‌کند و بنابراین برای برآورد ویژگی‌های پساب در میدان نزدیک از مدل VISJET استفاده می‌شود. باتوجه به اینکه مدل VISJET ویژگی‌های پساب در میدان دور را پیش‌بینی نمی‌کند برای برآورد میزان رقیق‌سازی پساب در میدان دور از مدل CORMIX استفاده می‌شود.

۲-۴- مدل‌سازی

در این تحقیق با استفاده از مدل‌های CORMIX و VISJET به بررسی پیش‌فرض‌های مختلف تخلیه پساب چگال به منظور یافتن بهینه‌ترین مکان برای تخلیه پساب یک کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه پرداخته می‌شود. بنابر اطلاعات دریافتی از این کارخانه آب‌شیرین‌کن، دبی پساب خروجی این کارخانه برابر ۰/۱۸ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد که از طریق یک لوله به قطر یک متر در عمق نیم متری ساحل خلیج فارس به صورت سطحی تخلیه می‌شود. غلظت پساب خروجی برابر ۹۸ گرم بر لیتر و غلظت میانگین سیال محیط در محل تخلیه در فصول تابستان و زمستان تاحدودی یکسان و برابر ۳۹ گرم بر لیتر می‌باشد (Yao., 2008). در این کارخانه شیرین‌سازی آب با استفاده از روش اسمز معکوس صورت می‌گیرد که در این روش تغییرپذیری‌های دمایی پساب ناچیز می‌باشد. تایج محیط ساکن قابل تعمیم به محیط پویا نیز می‌باشد اما عکس این موضوع صادق نیست. به همین دلیل در این تحقیق برای تعیین ویژگی‌های پساب در میدان نزدیک، سرعت جریان برابر صفر در نظر گرفته می‌شود اما رقیق‌سازی پساب در میدان دور به واسطه آشفتگی و جریان محیط صورت می‌گیرد. بنابر نتایج Yao (2008) در محل تخلیه پساب میزان سرعت جریان محیط بین ۰/۱m/s تا ۰/۳ m/s است. سرعت جریان محیط برای برآورد میزان رقیق‌سازی پساب در میدان دور، برابر ۰/۲ m/s و میانگین سرعت باد ۱/۵ m/s و ضریب دارسی وایسباخ در محل تخلیه ۰/۲ در نظر گرفته شد. تخلیه پساب در محیط دریا با سرعت بالا (U > ۱۰ m/s) اثرگذاری‌های نامطلوبی بر زندگی آبزیان دارد (Jirka et al. 1996). به همین دلیل بیشینه عدد فرود خروجی برای پیش‌فرض‌های مختلف برابر ۲۷/۴ (قطر تخلیه‌کننده ۲۰cm) در نظر گرفته شده است. همچنین برای تخلیه‌کننده‌های چند مجرایی فاصله افقی تخلیه‌کننده‌ها برابر ۱۵ متر درنظر گرفته شد تا پساب خروجی باهم ادغام نشوند. بنابر اطلاعات دریافتی از کارخانه آب‌شیرین‌کن میزان تولید آب شیرین و بنابراین دبی پساب خروجی در طول سال تاحدودی ثابت است. برای تخلیه پساب در عمق کم و به صورت سطحی، تغییرپذیری‌های کم دبی تاثیر چندانی در میزان رقیق‌سازی ندارد.

۳- یافته‌ها و بحث

در این قسمت در آغاز با استفاده از مدل CORMIX به بررسی میزان رقیق‌سازی پساب یک کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه پرداخته می‌شود و در ادامه با استفاده از مدل‌های CORMIX و VISJET به بررسی پیش‌فرض تخلیه مستغرق پساب این کارخانه در عمق‌های مختلف، با هدف دستیابی به بیشترین میزان رقیق‌سازی پساب در میدان‌های نزدیک و دور پرداخته می‌شود.

۳-۱- رقیق‌سازی پساب یک کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه

شکل ۳ نتایج مدل CORMIX را برای میزان رقیق‌سازی پساب (S) در فاصله‌های افقی مختلف از تخلیه‌کننده (X) را نشان می‌دهد. در این حالت با افزایش فاصله افقی پساب از تخلیه‌کننده میزان رقیق‌سازی افزایش می‌یابد. همان‌طور که گفته شد پساب این کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه از طریق یک لوله به قطر یک متر در عمق نیم متری ساحل خلیج فارس به صورت سطحی تخلیه می‌شود. به دلیل کم بودن عمق تخلیه، پساب تخلیه شده بی‌درنگ با بستر دریا برخورد می‌کند. در این حالت به علت

تخلیه سطحی مسیر حرکت پساب در میدان نزدیک بسیار کوتاه می‌باشد و به همین دلیل میزان رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین بسیار ناچیز (Si = ۱/۶) است. در این حالت بیشترین رقیق‌سازی در میدان دور صورت می‌گیرد و در میدان دور جریان محیط به عنوان مهم‌ترین عامل در رقیق‌سازی پساب به شمار می‌آید (Bene et al., 1994). بنابر استاندارد محیط زیست ایران به هنگام تخلیه پساب شور در محیط آبی، در فاصله افقی ۲۰۰ متری از محل تخلیه نباید تغییر غلظت سیال محیط ($\Delta\rho_a$) بیش از ۱۰ درصد باشد (Memari and Siadatmousavi, 2018). بنابر نتایج، در فاصله ۲۰۰ متری از محل تخلیه پساب کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه، میزان شوری سیال محیط ۱۶ درصد افزایش می‌یابد و بنابراین استانداردهای زیست محیطی ایران رعایت نمی‌شود. این نوع تخلیه (تخلیه سطحی) به دلیل به کمینه رسیدن تماس پساب با محیط دریا، در میدان نزدیک دارای کمترین میزان رقیق‌سازی بوده و در نتیجه باعث وارد آمدن بیشترین آسیب و زیان به محیط زیست دریا می‌شود (Bene et al., 1994). همان‌طور که ملاحظه می‌شود میزان رقیق‌سازی در تخلیه پساب شور به صورت سطحی، به‌کلی وابسته به جریان محیط است و هرچه میزان جریان محیط افزایش پیدا کند رقیق‌سازی پساب افزایش می‌یابد. جریان محیط تاثیر چندانی در میزان رقیق‌سازی پساب در میدان نزدیک ندارد و اختلاف بین جهت جریان محیط و جهت تخلیه پساب در تخلیه سطحی، تاثیری در میزان رقیق‌سازی ندارد.

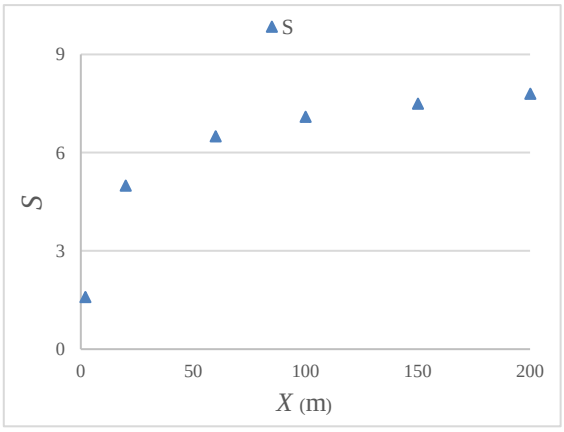


Fig. 3 Dilution of effluent released from an Assaluyeh desalination plant effluent in the near- and far-fields.

شکل ۳ رقیق‌سازی پساب تخلیه شده از یک کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه در میدان‌های نزدیک و دور.

۳-۲- بررسی پیش‌فرض رقیق‌سازی پساب کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه در میدان نزدیک

تخلیه سطحی پساب بدترین نوع تخلیه پساب از نظر میزان رقیق‌سازی است و به همین دلیل سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا [1] این نوع تخلیه را ممنوع کرده است Alameddine and (El-Fadel, 2007). بنابر نتایج Zeitoun and McIlhenny (1971) پساب تخلیه شده هر چه گستره دراز و گسترده‌تری را در محیط پذیرنده طی کند باعث اختلاط بیشتر پساب با محیط آبی شده و در مکان و زمان کوتاهی، از میزان غلظت پساب کاسته می‌شود. تخلیه پساب با استفاده از پخشنده و به صورت مستغرق باعث افزایش طول مسیر حرکت پساب در محیط آبی می‌شود و به همین دلیل به میزان قابل توجهی میزان رقیق‌سازی پساب را افزایش می‌دهد. در ادامه به بررسی پیش‌فرض تخلیه مستغرق (تک مجرایی و چند مجرایی) پساب یک کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه در عمق‌های مختلف و با اعداد فرود مختلف، در محیط ساکن پرداخته می‌شود.

شکل ۴ نتایج مدل VISJET برای میزان رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین (S_i) را برای تخلیه افقی پساب به ازای اعداد فرود خروجی مختلف نشان می‌دهد. ارتفاع دهانه خروجی از کف دریا (h) برابر ۰/۲، ۰/۵ و ۰/۸ متر است. با افزایش عدد فرود میزان رقیق‌سازی در نقطه برخورد به زمین برای همه ارتفاع‌های تخلیه‌کننده از کف زمین به صورت تا حدودی خطی افزایش می‌یابد. بنابر نتایج، میزان رقیق‌سازی به ازای همه اعداد فرود، برای h =۰/۵m بیشترین، و برای h =۰/۲m کمترین میزان را دارد. در تخلیه‌کننده مستغرق (h < ۱m) با افزایش ارتفاع تخلیه‌کننده از سطح زمین، ارتفاع سقوط پساب در حالت پلوم افزایش می‌یابد. در این حالت به دلیل تماس بیشتر پساب با محیط آبی و داشتن زمان بیشتر برای اختلاط، میزان رقیق‌سازی پساب افزایش می‌یابد (Zeitoun and McIlhenny, 1971). قطر جت خروجی با حرکت در محیط آبی به دلیل هماوری سیال محیط به درون جت افزایش می‌یابد. درصورتی‌که دهانه تخلیه‌کننده در نزدیکی بستر یا سطح آب قرار داشته باشد طول

[1] United States Environmental Protection Agency

حرکت جت به دلیل افزایش قطر و برخورد دیواره جت به سطح یا بستر محیط آبی کوتاه می‌شود. به همین دلیل قراردادن دهانه تخلیه‌کننده در نزدیکی سطح (h =۰/۸m) یا بستر (h =۰/۲m) محیط آبی، باعث کاهش طول حرکت پساب (جت) در محیط آبی و در نتیجه کاهش میزان رقیق‌سازی می‌شود. میزان رقیق‌سازی برای h =۰/۸m بیشتر از h =۰/۲m است که دلیل این موضوع بیشتر بودن ارتفاع سقوط پلوم (Plume) در حالت h =۰/۸m نسبت به h =۰/۲m است. اما هنگامیکه تخلیه‌کننده بیرون از سطح آب قرار داشته باشد، تخلیه از نوع سطحی خواهد بود. در تخلیه سطحی پساب به روی سطح محیط آبی تخلیه می‌شود. در این نوع تخلیه، رفتار پساب تنها به شکل پلوم خواهد بود و به این ترتیب میزان رقیق‌سازی نسبت به تخلیه‌کننده‌های مستغرق، که رفتار پساب به صورت جت و پلوم است، کاهش چشمگیری خواهد داشت. برای تخلیه پساب در عمق یک متری به دلیل کم بودن عمق آب، استفاده از تخلیه‌کننده‌های مایل امکان‌پذیر نبوده و به همین دلیل بهینه‌ترین حالت تخلیه پساب، استفاده از تخلیه‌کننده افقی می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت بهینه‌ترین حالت برای تخلیه پساب کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه در عمق یک متری، استفاده از تخلیه‌کننده افقی مستغرق با ارتفاع تخلیه‌کننده ۰/۵ متر و با عدد فرود ۲۷/۴ است.

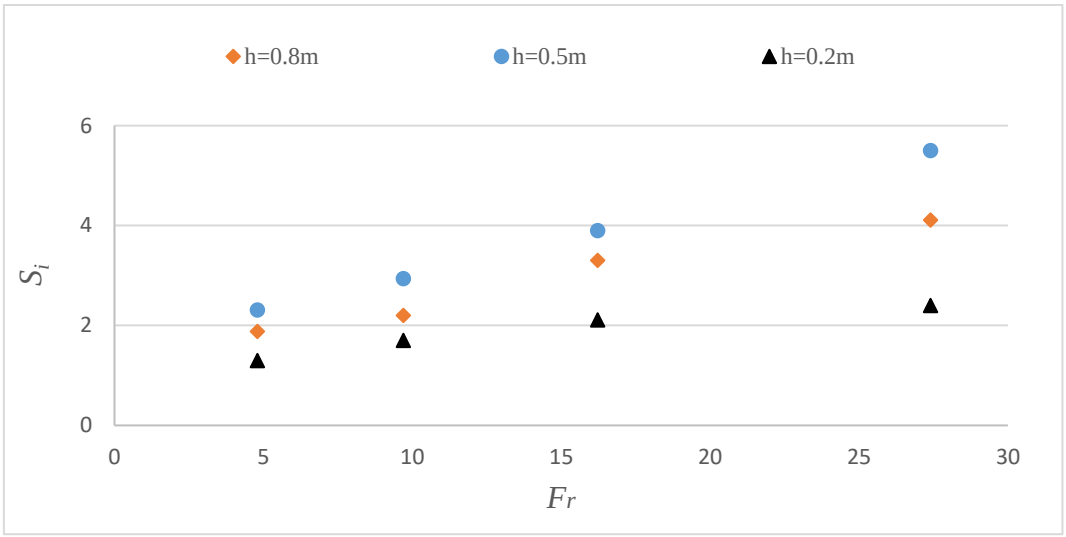


Fig. 4 Dilution of effluents at the point of impact discharged in a depth of 1 m from an Assaluyeh desalination plant.

شکل ۴ رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین تخلیه شده از یک کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه در عمق ۱ متری.

شکل ۵ میزان رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین را برای اعداد فرود و زاویه‌های مختلف تخلیه‌کننده در عمق ۵ متر را نشان می‌دهد. میزان رقیق‌سازی پساب تخلیه شده با زاویه یکسان و کمتر از ۳۰ درجه ($\theta \leq$ ۳۰)، با افزایش عدد فرود، به صورت خطی افزایش می‌یابد. در این حالت ($\theta \leq$ ۳۰) میزان رقیق‌سازی پساب تخلیه شده برای همه اعداد فرود به‌صورت استغراق کامل است و با افزایش عدد فرود و زاویه تخلیه، ارتفاع صعود جت افزایش یافته و طول مسیر حرکت پساب در محیط آبی بیشتر می‌شود و در نتیجه میزان رقیق‌سازی افزایش می‌یابد. رقیق‌سازی برای هر زاویه تخلیه، وابسته به عدد فرود تخلیه است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، برای تخلیه پساب با زاویه ۴۵ درجه، برای اعداد فرود کم ($F_r <$ ۱۶)، با افزایش عدد فرود میزان رقیق‌سازی افزایش می‌یابد اما با افزایش عدد فرود (۱۶ $< F_r$) میزان رقیق‌سازی ثابت می‌ماند. برای تخلیه پساب با زاویه ۶۰ درجه نیز برای اعداد فرود کمتر از ۱۰ میزان رقیق‌سازی به‌کلی وابسته به عدد فرود است و با افزایش عدد فرود میزان رقیق‌سازی افزایش می‌یابد. اما برای اعداد فرود بیشتر از ۱۰، رقیق‌سازی مستقل از عدد فرود می‌شود و با افزایش عدد فرود میزان رقیق‌سازی ثابت می‌ماند. رقیق‌سازی پساب به دلیل حرکت پساب در محیط آبی و تماس آن با محیط پذیرنده صورت می‌گیرد (Zeitoun and McIlhenny, 1971). درصورتی‌که پساب به دلیل مومنتوم بالا با سطح آب برخورد کند طول مسیر حرکت پساب در محیط پذیرنده کاهش می‌یابد و با افزایش عدد فرود، ارتفاع صعود بیشینه جت خروجی و ارتفاع سقوط پلوم

ثابت می‌ماند. به همین دلیل در صورت برخورد جت خروجی با سطح آب میزان رقیق‌سازی به صورت مستقل از عدد فرود جت خروجی عمل کرده و تاحدودی ثابت می‌ماند (Jiang et al. 2013). بنابر نتایج در بازه عدد فرود ۵- ۱۰، ۱۰- ۱۶ و ۱۶- ۲۷/۲ بیشترین رقیق‌سازی به ترتیب در تخلیه پساب با زاویه ۶۰، ۴۵ و ۳۰ درجه صورت می‌گیرد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت بهینه‌ترین حالت تخلیه پساب کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه در عمق ۵ متر، استفاده از تخلیه‌کننده با زاویه ۳۰ درجه و با عدد فرود ۲۷/۲ است.

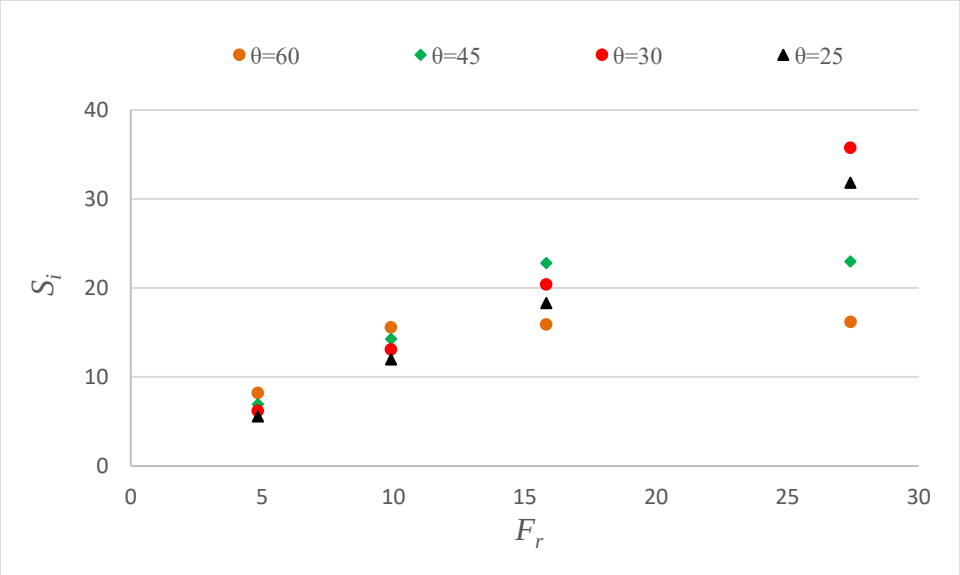


Fig. 5 Dilution of effluents at the point of impact discharged a depth of 5 m from an Assaluyeh desalination plant.

شکل ۵ رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین تخلیه شده از یک کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه در عمق ۵ متری.

شکل ۶ میزان رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین را برای اعداد فرود و زاویه‌های تخلیه ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در عمق ۹ متر را نشان می‌دهد. میزان رقیق‌سازی در این عمق برای همه زاویه‌های تخلیه، به دلیل برخورد نکردن جت با سطح آب به‌کلی وابسته به عدد فرود است و با افزایش عدد فرود رقیق‌سازی به صورت خطی افزایش می‌یابد. بیشترین میزان رقیق‌سازی به ازای همه اعداد فرود مربوط به زاویه تخلیه ۶۰ درجه است. در این زاویه پساب بیشترین طول مسیر حرکت را در مقایسه با دیگر زاویه‌ها دارد. با کاهش زاویه تخلیه‌کننده، ارتفاع صعود جت کاهش می‌یابد و به همین دلیل طول مسیر حرکت پساب در حالت پلوم کاهش می‌یابد و تماس پساب با محیط آبی کاهش پیدا می‌کند. با حرکت پساب (جت) در محیط آبی، سیال محیط به درون جت کشیده می‌شود و به همین دلیل قطر جت خروجی افزایش یافته و جت چگال‌تر می‌شود. چگال‌تر شدن جت باعث کاهش طول مسیر حرکت جت و بنابراین کاهش میزان رقیق‌سازی پساب می‌شود. همچنین هرچه زاویه تخلیه‌کننده افزایش یابد احتمال برخورد جت خروجی به سطح زمین کمتر می‌شود. به همین دلیل برای تخلیه پساب چگال، زاویه تخلیه ۶۰ درجه بهینه‌ترین زاویه تخلیه است (Roberts and Toms., 1987). بنابر نتایج به دست آمده، بهینه‌ترین حالت تخلیه پساب کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه در عمق‌های بیشتر از ۹ متر، تخلیه با زاویه ۶۰ درجه و با عدد فرود ۲۷/۷ است.

شکل ۷ ویژگی‌های پساب تخلیه‌شده از کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه را به صورت تک مجرایی و چند مجرایی نشان می‌دهد. در این حالت عدد فرود خروجی برای همه تخلیه‌کننده‌ها برابر ۲۷/۴ است. باتوجه به اینکه زاویه تخلیه ۶۰ درجه بیشترین میزان رقیق‌سازی را دارد در این قسمت زاویه همه تخلیه‌کننده‌ها نسبت به افق برابر ۶۰ درجه در نظر گرفته شده است. بنابر نتایج، با افزایش شمار تخلیه‌کننده‌ها (N) ارتفاع صعود بیشینه جت (شکل ۷ –a) و فاصله افقی نقطه برخورد پساب به زمین از تخلیه‌کننده (شکل ۷–b) کاهش می‌یابد. برای تخلیه پساب شور با حجم بالا، در صورت استفاده از تخلیه‌کننده‌های تک مجرایی

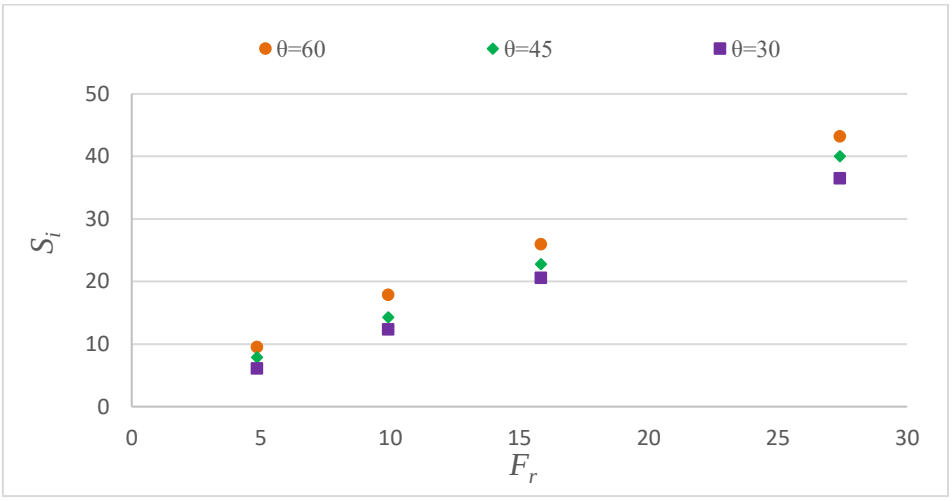
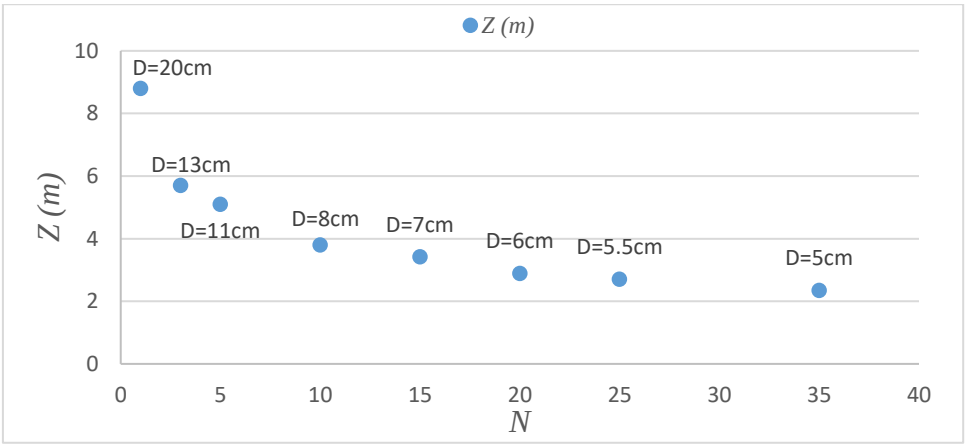
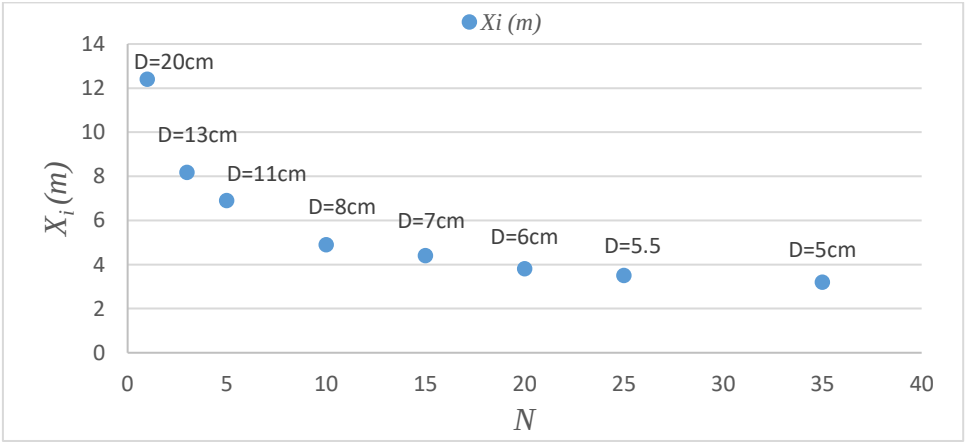


Fig. 6 Dilution of effluents at the point of impact discharged a depth of 9 m from an Assaluyeh desalination plant.

شکل ۶ رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین تخلیه شده از یک کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه در عمق ۹ متری.



(a)



(b)

Fig. 7 Specifications of effluents discharged with 60° angle from single-port and multi-port dischargers. (a) Maximum jet ascent height. (b) The horizontal distance from the point of discharge of effluents to their point of impact to the ground. N is the number of dischargers.

شکل ۷ ویژگی‌های پساب تخلیه شده از تخلیه‌کننده تک مجرایی و چند مجرایی با زاویه تخلیه ۶۰ درجه. (a) ارتفاع صعود بیشینه جت.

(b) فاصله افقی نقطه برخورد پساب به زمین. N شمار تخلیه‌کننده‌ها می‌باشد.

شار مومنتوم جت خروجی بسیار بالا می‌رود و به همین دلیل ارتفاع صعود جت و فاصله افقی نقطه برخورد پساب به زمین از تخلیه‌کننده با نرخ بالایی افزایش می‌یابد. در این حالت برای جلوگیری از برخورد جت با سطح آب، باید تخلیه‌کننده در قسمت‌های با عمق زیاد دریا به کار برده شود. قرار دادن تخلیه‌کننده در عمق‌های زیاد دریا به دلیل هزینه‌های بالای ساخت و نگهداری آن صرفه اقتصادی ندارد. برای حل این مسئله امروزه به جای استفاده از تخلیه‌کننده‌های تک‌مجرایی، از تخلیه‌کننده‌های چند مجرایی استفاده می‌شود (Abessi and Roberts, 2017). در این صورت با ثابت ماندن عدد فرود جت خروجی، شار مومنتوم جت خروجی به دلیل افزایش شمار تخلیه‌کننده‌ها به میزان زیادی کاهش می‌یابد و به همین دلیل ارتفاع صعود بیشینه جت و فاصله افقی نقطه برخورد پساب به زمین از تخلیه‌کننده کاهش یافته و می‌توان تخلیه‌کننده را در قسمت‌های کم عمق دریا قرار داد (Abessi and Roberts, 2014). همچنین استفاده از تخلیه‌کننده‌های چند مجرایی باعث می‌شود ضمن ثابت ماندن عدد فرود جت خروجی، سرعت جت خروجی کاهش یابد که این موضوع برای زندگی آبزیان مناسب است (Jirka et al. 1996). باتوجه به اینکه عدد فرود خروجی برای همه تخلیه‌کننده‌ها ثابت است میزان رقیق‌سازی نیز برای همه تخلیه‌کننده‌ها میزان ثابتی دارد. بنابر نتایج با افزایش شمار تخلیه‌کننده‌ها از ۱ به ۱۰، ارتفاع صعود بیشینه جت از ۹ متر به ۳/۸ متر و فاصله افقی نقطه برخورد پساب به زمین از تخلیه‌کننده از ۱۲/۴ متر به ۵ متر کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش شمار تخلیه‌کننده‌ها از ۱۰ به ۳۵، ارتفاع صعود بیشینه جت از ۳/۸ متر به ۲/۳ متر و فاصله افقی نقطه برخورد پساب به زمین از تخلیه‌کننده از ۵ متر به ۳/۸ متر کاهش می‌یابد. بنابر نتایج، استفاده از تخلیه‌کننده چند مجرایی با شمار خروجی بیش از ۱۰ عدد تاثیر زیادی بر روی ارتفاع صعود بیشینه جت و فاصله افقی نقطه برخورد پساب به زمین از تخلیه‌کننده ندارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت برای تخلیه پساب کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه، استفاده از تخلیه‌کننده چند مجرایی با شمار ۱۰ خروجی و عدد فرود ۲۷/۴، از لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی بهترین گزینه است.

۳-۳- بررسی پیش‌فرض رقیق‌سازی پساب کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه در میدان دور

شکل ۸ نتایج مدل CORMIX را برای تاثیر زاویه تخلیه‌کننده بر میزان رقیق‌سازی پساب از ابتدای میدان دور تا فاصله ۲۰۰ متری از محل تخلیه را نشان می‌دهد. همانطور که گفته شد بیشترین عدد فرود مجاز برای تخلیه پساب کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه ۲۷/۴ است و به همین دلیل در این قسمت عدد فرود ۲۷/۴ در نظر گرفته شده است. بنابر نتایج، برای همه زاویه‌های تخلیه، میزان رقیق‌سازی در ابتدای میدان دور با شیب زیادی افزایش می‌یابد و با دور شدن از میدان نزدیک میزان رقیق‌سازی با شیب کمی افزایش می‌یابد. باتوجه به شکل ۸ بیشترین میزان رقیق‌سازی پساب چگال در میدان نزدیک و ابتدای میدان دور صورت می‌گیرد (Abessi and Roberts, 2014). میزان رقیق‌سازی پساب در میدان دور به ترتیب برای تخلیه پساب با زاویه‌های ۶۰، ۴۵، ۳۰ و ۰ درجه، بیشترین میزان را دارد. بنابر نتایج مدل CORMIX، غلظت سیال محیط پذیرنده در فاصله ۲۰۰ متری از محل تخلیه برای تخلیه پساب با زاویه‌های ۶۰، ۴۵، ۳۰ و ۰ درجه به ترتیب به میزان ۱/۵، ۱/۸، ۲/۴ و ۹/۴ درصد افزایش می‌یابد. هرچه رقیق‌سازی پساب در میدان دور بیشتر باشد پساب با غلظت کمتری وارد میدان دور می‌شود و بنابراین بیشتر تحت تاثیر جریان محیط قرار می‌گیرد و به همین دلیل با افزایش زاویه تخلیه‌کننده از ۰ تا ۶۰ درجه میزان رقیق‌سازی در میدان دور افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان گفت در صورتی‌که پساب کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه به صورت مستغرق ($60 > \theta > 0$) و با عدد فرود ۲۷/۴ تخلیه شود غلظت محیط در فاصله ۲۰۰ متری از محل تخلیه، کمتر از ۱۰ درصد افزایش می‌یابد و استانداردهای زیست‌محیطی ایران رعایت خواهد شد. توصیه می‌شود تخلیه پساب این کارخانه به صورت مستغرق مایل و با زاویه ۶۰ درجه و در عمق ۹ متری دریا صورت گیرد تا کمترین آسیب به محیط زیست وارد شود.

شکل ۹ تاثیر شمار تخلیه‌کننده‌ها بر میزان رقیق‌سازی پساب از ابتدای میدان دور تا فاصله ۲۰۰ متری از تخلیه‌کننده (مدلسازی شده با CORMIX) را نشان می‌دهد. باتوجه به اینکه زاویه تخلیه ۶۰ درجه بیشترین میزان رقیق‌سازی در میدان‌های دور و نزدیک را دارد در این قسمت زاویه تخلیه همه تخلیه‌کننده‌ها برابر ۶۰ درجه درنظر گرفته شده است. همچنین عدد فرود خروجی همه تخلیه‌کننده‌ها برابر ۲۷/۴ و سرعت جریان محیط

نیز برابر ۰/۲ m/s است. بنابر نتایج برای عدد فرود و زاویه تخلیه ثابت، با افزایش شمار تخلیه‌کننده‌ها میزان رقیق‌سازی در میدان دور افزایش می‌یابد. در میدان دور رقیق‌سازی پساب به سرعت جریان محیط وابسته است و هرچه سرعت جریان محیط افزایش یابد میزان رقیق‌سازی افزایش می‌یابد (Alameddine and El-Fadel, 2007). هرچه شمار خروجی تخلیه‌کننده‌ها افزایش می‌یابد، شار جرمی پساب خروجی از هریک از خروجی‌ها کاهش می‌یابد. هرچقدر شار جرمی پساب خروجی کاهش یابد، پساب بیشتر تحت تاثیر جریان محیط قرار می‌گیرد و میزان اختلاط پساب با سیال محیط بیشتر می‌شود. در صورتی‌که برای تخلیه پساب کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه از تخلیه‌کننده‌های چند مجرایی با شمار بیش از سه تخلیه‌کننده (با زاویه تخلیه ۶۰ درجه و عدد فرود ۲۷/۴) استفاده شود میزان غلظت سیال محیط در فاصله ۲۰۰ متری از محل تخلیه، کمتر از یک درصد افزایش خواهد یافت. باتوجه به شکل ۷ تخلیه‌کننده چند مجرایی با شمار ۱۰ تخلیه‌کننده (با زاویه تخلیه ۶۰ درجه و عدد فرود ۲۷/۴)، در میدان نزدیک از لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی به عنوان مناسب‌ترین گزینه برای تخلیه پساب این کارخانه انتخاب شد. تخلیه پساب این کارخانه با استفاده از تخلیه‌کننده چندمجرایی با شمار ۱۰ خروجی و با زاویه تخلیه ۶۰ درجه و عدد فرود ۲۷/۴، میزان رقیق‌سازی در میدان دور را به شدت افزایش می‌دهد. استفاده از تخلیه‌کننده چند مجرایی با شمار خروجی بیش از ۱۰ عدد، تاثیر چندانی بر روی کاهش غلظت سیال محیط در فاصله ۲۰۰ متری از محل تخلیه ندارد. بنابراین این شمار از خروجی (۱۰ عدد)، با زاویه تخلیه ۶۰ درجه و عدد فرود ۲۷/۴، برای تخلیه پساب کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه از لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی بهترین گزینه است.

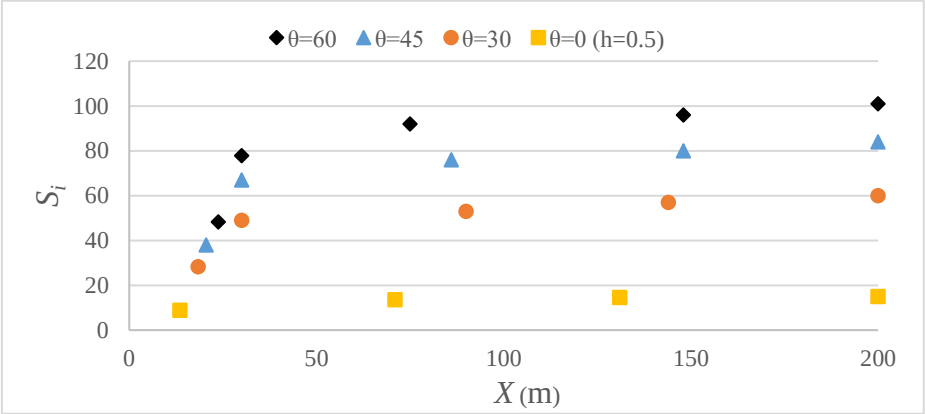


Fig. 8 The effect of discharge angle on the dilution rate of effluents discharged from an Assaluyeh desalination plant in the far-field region.

شکل ۸ تاثیر زاویه تخلیه‌کننده بر میزان رقیق‌سازی پساب یک کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه در میدان دور.

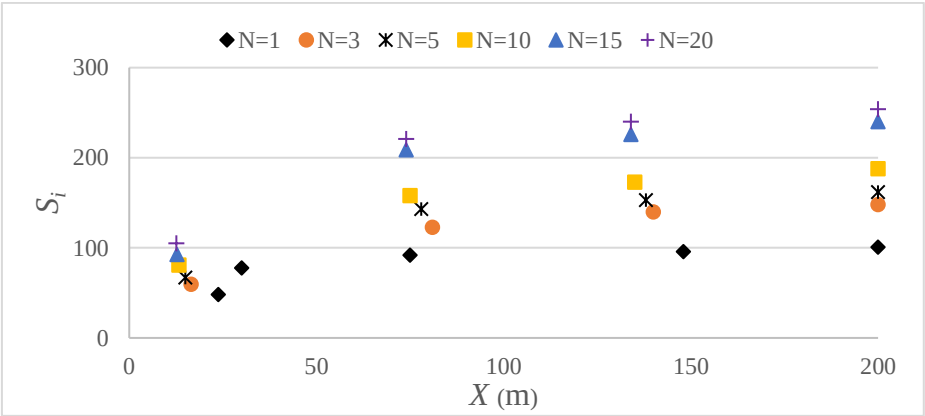


Fig. 9 The effect of the number of dischargers on the dilution rate in the far-field region for the effluents discharged from an Assaluyeh desalination plant.

شکل ۹ تاثیر شمار تخلیه‌کننده‌ها بر میزان رقیق‌سازی پساب یک کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه در میدان دور.

جدول ۱ میزان رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین و همچنین رقیق‌سازی پساب و تغییر غلظت سیال محیط پذیرنده ($\Delta\rho_a$) در فاصله ۲۰۰ متری از محل تخلیه را برای پیش‌فرض‌های مختلف تخلیه نشان می‌دهد. برای تخلیه پساب کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه به صورت تک مجرایی، پیش‌فرض‌های ۳، ۲ و ۱ به ترتیب مناسب‌ترین گزینه است. همچنین در صورت استفاده از تخلیه‌کننده‌های چند مجرایی نیز پیش‌فرض ۶ مناسب‌ترین و پیش‌فرض ۱ بدترین انتخاب است.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این تحقیق با استفاده از مدل‌های CORMIX و VISJET به بررسی بهینه‌ترین مکان و روش برای تخلیه پساب کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه پرداخته شد که در ادامه خلاصه نتایج به‌دست آمده ارائه می‌شود.

۱- تخلیه سطحی پساب کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه باعث افزایش ۱۶ درصدی غلظت سیال محیط پذیرنده در فاصله ۲۰۰ متری از محل تخلیه می‌شود که این موضوع برخلاف آیین‌نامه و قانون‌های زیست‌محیطی ایران است.

۲- استفاده از تخلیه‌کننده مستغرق مایل ($\theta = ۶۰$) با عدد فرود ۲۷/۴ در عمق ۹ متر، بهینه‌ترین روش برای تخلیه پساب کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه به صورت تک مجرایی است. در این صورت میزان غلظت سیال محیط در فاصله ۲۰۰ متری از محل تخلیه ۱/۵ درصد افزایش می‌یابد که به‌کلی بروفق آیین‌نامه‌ها و قانون‌های جاری محیط زیست ایران است.

۳- استفاده از تخلیه‌کننده چند مجرایی به جای تخلیه‌کننده تک مجرایی با عدد فرود ثابت باعث می‌شود ضمن ثابت ماندن میزان رقیق‌سازی، ارتفاع صعود بیشینه جت، فاصله افقی نقطه برخورد پساب به زمین از تخلیه‌کننده و سرعت تخلیه پساب کاهش یابد. در این صورت می‌توان تخلیه‌کننده را در عمق‌های کم دریا قرار داد و همچنین به دلیل کم شدن سرعت تخلیه پساب، آسیب‌های ناشی از آشفتگی جت خروجی بر روی آبزیان کاهش می‌یابد.

۴- رقیق‌سازی پساب در محیط پویا، افزون بر عدد فرود، زاویه تخلیه‌کننده و جریان محیط، به شار جرمی پساب خروجی نیز بستگی دارد. بنابر نتایج، افزایش شمار خروجی‌ها در تخلیه‌کننده‌های چند مجرایی (با ثابت ماندن عدد فرود، سرعت جریان محیط و زاویه تخلیه‌کننده برای همه تخلیه‌کننده‌ها)، باعث افزایش میزان رقیق‌سازی پساب در میدان‌های نزدیک و دور می‌شود.

۵- استفاده از تخلیه‌کننده چند مجرایی مایل ($\theta = ۶۰$) با شمار ۱۰ تخلیه‌کننده و عدد فرود ۲۷/۴ در عمق ۳/۸ متری برای تخلیه پساب کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه، باعث افزایش ۰/۸ درصدی غلظت سیال محیط در فاصله ۲۰۰ متری از محل تخلیه می‌شود و این پیش‌فرض برای تخلیه بهینه از لحاظ رعایت استاندارد محیط‌زیستی تاکید می‌شود.

جدول ۱ نتایج مربوط به بررسی پیش‌فرض‌های مختلف تخلیه پساب یک کارخانه آب‌شیرین‌کن عسلویه

Table 1 Results related to the study of different scenarios of effluent discharge an Assaluyeh desalination plants

Scenario	N	Fr	θ	H (m)	Si	S (X=200m)	$\Delta\rho_a$ (%) (X=200m)
1	1	27.4	0	1	5.5	15	9.4
2	1	27.4	30	5	35.78	61	2.4
3	1	27.4	60	9	43.2	101	1.5
4	3	27.4	60	5.8	43.2	148	1.1
5	5	27.4	60	5.1	43.2	162	0.9
6	10	27.4	60	3.8	43.2	188	.8
7	N > 10	27.4	60	H < 3.5	43.2	S > 200	$\Delta\rho_a < 1$

۵- فهرست نشانه‌ها

قطر تخلیه‌کننده، m	D
سرعت جریان محیط، m/s	Ua
سرعت نسبی	Ur = Ua/U

سرعت پساب خروجی، m/s	U
میزان رقیق‌سازی پساب در نقطه برخورد به زمین	Si
رقیق‌سازی پساب	S
فاصله افقی نقطه برخورد پساب به زمین از تخلیه‌کننده، m	Xi
فاصله افقی محل پساب از تخلیه‌کننده، m	X
ارتفاع صعود بیشینه جت، m	Z
عدد فرود تخلیه	Fr
چگالی پساب در نقطه مورد نظر، k/m^3	ρ
چگالی سیال محیط پذیرنده، k/m^3	ρ_a
چگالی اولیه پساب، k/m^3	ρ_0
زاویه دهانه تخلیه‌کننده نسبت به افق	θ
شتاب گرانش، m/s^2	g
عمق آب در محل تخلیه، m	H
ارتفاع دهانه تخلیه‌کننده از سطح زمین، m	h
شمار خروجی در تخلیه‌کننده چند مجرایی	N

۶- منبع‌ها

Abessi, O. and Roberts, P.J. (2014). Multiport diffusers for dense discharges. Journal of Hydraulic Engineering, 140(8), 04014032.

Abessi, O. and Roberts, P.J. (2015). Dense jet discharges in shallow water. Journal of Hydraulic Engineering, 142(1), 04015033.

Abessi, O. and Roberts, P.J. (2017). Multiport diffusers for dense discharge in flowing ambient water. Journal of Hydraulic Engineering, 143(6), 04017003.

Alameddine, I. and El-Fadel, M. (2007). Brine discharge from desalination plants: a modeling approach to an optimized outfall design. Desalination, 214(1-3), 241-260.

Cheung, S.K.B., Leung, D.Y.L., Wang, W., Lee, J.H.W. and Cheung, V. (2000). VISJET-a computer ocean outfall modelling system. In Proceedings Computer Graphics International 2000, pp. 75-80. IEEE.

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

Jiang, B., Law, A.W.K., and Lee, J.H.W. (2013). Mixing of 30 and 45 inclined dense jets in shallow coastal waters. Journal of Hydraulic Engineering, 140(3), 241-253.

Jirka, G.H., Doneker, R.L., and Hinton, S.W. (1996). User's manual for CORMIX: A hydrodynamic mixing zone model and decision support system for pollutant discharges into surface waters. US Environmental Protection Agency, Office of Science and Technology.

Kikkert , G.A., Davidson, M.J. and Nokes, R.I. (2007). Inclined negatively buoyant discharges. Journal of Hydraulic Engineering, 133(5), 545-554.

Loya-Fernández, Á., Ferrero-Vicente, L.M., Marco-Méndez, C., Martínez-García, E., Zubcoff, J., and 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. and Sánchez-Lizaso, J.L. (2018). Quantifying the efficiency of a mono-port diffuser in the dispersion of brine discharges. Desalination, 431, 27-34.

Malcangio, D. and Petrillo, A.F. (2010). Modeling of brine outfall at the planning stage of desalination plants. Desalination, 254(1-3), 114-125.

Memari, S. and Siadatmousavi, S.M. (2018). Numerical Modeling of Heat and Brine Discharge near Qeshm Desalination Plant. International Journal of Coastal and Offshore Engineering, 1(4), 27-35.

Missimer, T.M. and Maliva, R.G., (2018). Environmental issues in seawater reverse osmosis desalination: Intakes and outfalls. Desalination, 434, 198-215.

Pincince A. B., and List E. J. (1973). Disposal of brine into an estuary. Journal (Water Pollution Control Federation), 2335-2344.

Roberts, P.J., and Toms, G. (1987). Inclined dense jets in flowing current. Journal of Hydraulic Engineering, 113(3), 323-340.

Yao, F. (2008). Water mass formation and circulation in the Persian Gulf and water exchange with the Indian Ocean (Doctoral dissertation, University of Miami). Indian Ocean.

Zeitoun, M.A. and McIlhenny, W.F. (1971). Conceptual designs of outfall systems for desalination plants. In Offshore Technology Conference. Offshore Technology Conference.