مطالعه عددی انتشار پساب آب شیرین‌کن کنارک با نرم افزار Cormix

زکریا عزیزی[۱] ، مهدی رضاپور[۲*]، مهدی اژدری مقدم[۳]

[۱] کارشناس ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه سیستان‌وبلوچستان، zakaryaazizi70@gmail.com
[۲] استادیار، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی، rezapour@cmu.ac.ir
[۳] استاد، دانشگاه سیستان‌وبلوچستان، mazhdary@eng.usb.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۲۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۱۵

کلمات کلیدی:
آب شیرین‌کن
پساب
کارخانه کنارک
Cormix
پخش شوری

چکیده

در این مطالعه، به صورت موردی به شبیه سازی عددی پخش پساب آب شیرین کن در کارخانه کنارک پرداخته شده است. با جمع‌آوری داده‌هایی از قبیل مشخصات آب خروجی از آب‌شیرین‌کن (غلظت آب خروجی، دبی، دما، هندسه خروجی)، شرایط محیطی شامل سرعت باد در منطقه، سرعت جریان آب، جذرومد، عمق سنجی منطقه و مشخصات آب دریا، به راه‌اندازی مدل عددی پخش آلودگی در ساحل دریا با استفاده از نرم‌افزار Cormix11 در عمق‌ها و دبی های مختلف پرداخته‌شده است بطوریکه تاثیر پارامترهای مهم پخش پساب، با در نظر گرفتن شرایط محیطی، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج عددی نشان می‌دهد که افزایش دبی پساب منجر به افزایش گستردگی شوری در آب دریا می‌گردد. اما در حالت‌هایی می‌توان این پخش را با سرعت جریان و زمان جذرومد مدیریت کرد به‌طوری‌که افزایش دبی تأثیر کمتری روی پخش آب‌شور در دریا داشته باشد.

Numerical Study of Effluent Distribution from Konarak Desalination Plant Using Cormix

Zakarya Azizi[1], Mehdi Rezapour[2*], Mahdi Azhdary Moghadam[3]

[1] *MSc student, University of Siatan and Balouchestan,* zakaryaazizi70@gmail.com
[2] *Assistant professor, Chabahar Maritime University,* rezapour@cmu.ac.ir
[3] *Professor, University of Siatan and Balouchestan,* mazhdary@eng.usbc.ir

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 15 May 2022
Accepted: 06 Sep 2022

Keywords:
Desalination
Effluent
Konarak Plant
Cormix
Salinity Distribution

ABSTRACT

This article presents a case study of numerical simulation of effluent in Konarak plant. by collecting data related to the case study which includes data such as output water characteristics of desalination (water concentration, discharge, temperature, outlet geometry), environmental conditions including wind speed in the region, the velocity of water flow, tidal velocity, tidal depth, and sea surface profile, to launch a numerical distribution model pollution at the seashore have been investigated using Cormix11 software at different depths and the effect of important parameters of effluent distribution on distribution and considering environmental conditions have been studied.
Numerical results show that increasing the discharge of effluent leads to more salinity in the sea. but in some cases, it can be managed with flow velocity and tidal time so that increasing discharge has less effect on water distribution in the sea.

۱ - مقدمه

امروزه به دلیل وجود خشک‌سالی و گسترش شهرها احتیاج به مصرف آب شیرین در قسمت‌های مختلف مثل صنعت و کشاورزی افزایش پیدا کرده است و این در حالی می‌باشد که در اکثر کشورها با افت منابع آبی روبرو هستیم. بخش وسیعی از کره زمین بوسیله آب‌شور دریاها و اقیانوس‌ها احاطه گردیده است که می‌توان با تبدیل نمودن آب‌شور به آب شیرین به منابع سرشاری از آب شیرین دست یافت. برای این امر می‌توان از کارخانه‌های آب‌شیرین‌کن در کنار دریا استفاده کرد. یکی از دغدغه‌های اصلی فناوری‌های شیرین‌سازی، تخلیه پساب و اثرات زیست‌محیطی ناشی از آن است. پس از استخراج حجم زیادی از آب شیرین با استفاده از فرآیندهای شیرین‌سازی، مانند اسمز معکوس، آب با مقادیر زیاد نمک غلیظ به نواحی آبی دریا تخلیه می‌شود. این امر به‌نوبه خود اکوسیستم‌های دریایی و گونه‌های آبزیان را تهدید می‌کند.

شوری، حرارت و مواد شیمیایی سه عامل از مهم‌ترین عواملی می‌باشند که از راه پساب‌های کارخانه‌های آب‌شیرین‌کن وارد آب دریا می‌شوند. پساب خارج شده از این کارخانه‌ها می‌تواند بر محیط‌زیست اثرات نابجایی مانند خروج آبزیان بومی و تغییر اکوسیستم منطقه داشته باشد. مطابق با استانداردهای زیست‌محیطی در کشور ایران مقدار ورودی پساب در مناطق آبی با مساحت ۲۰۰ مترمربع نباید بالاتر از ده درصد میزان شوری آن پیکره آبی باشد[۱]. با در نظر داشتن این موضوع که محیط‌زیست دریا قسمت مهمی از اکوسیستم را تشکیل می‌دهد و در صورت صدمه دیدن این قسمت از اکوسیستم، پیامدهای ناگواری زندگی انسان را بر روی کره‌ی زمین تهدید می‌نماید. به نظر می‌رسد با بررسی و تحقیق در ارتباط با مدل‌سازی پساب خروجی از کارخانه‌ها آب‌شیرین‌کن می‌توان به بهترین موقعیت مکانی تخلیه پساب با کمترین تأثیر بر محیط‌زیست منطقه رسید.

در زمینه پخش پساب، مطالعات آزمایشگاهی و عددی زیادی انجام شده است. البرونی[۱] و همکارانش در سال ۲۰۰۹، به بررسی اثرهای نوسانات جزر و مدی بر حرکت و پخش شدن پساب حاصل از کارخانه آب‌شیرین‌کن در سواحل امارات بوسیله یک مدل‌سازی فرا رفت دوبعدی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که آهنگ ثابت خروجی پساب و وارونگی حرکت توده‌های آب در این ناحیه از خلیج‌فارس سبب اجتماع پساب و توسعه آن در خط ساحلی گردیده است[۲]. مالکانجیو[۲] و همکاران در سال ۲۰۱۱، در یک پژوهش که هدف آن تأثیرات حاصل از تخلیه نمودن پساب بر روی منطقه ساحلی و زندگی گونه‌های گیاهی حفاظت‌شده در شهر بندری بریندیزی در جنوب کشور ایتالیا بود، توانستند با مدل هیدرودینامیکی سه بعدی مایک، خروجی طراحی کنند که منجر به تأثیرات مخرب کمتری می‌گردد[۳]. پورنالنا[۳] و همکارانش در سال۲۰۱۲، به مطالعه پساب خروجی دو کارخانه مولد برق و آب‌شیرین‌کن برکای ۱ و ۲ در ساحل کشور عمان، بوسیله نرم‌افزار شبیه‌ساز دوبعدی CORMIX پرداختند. آن‌ها با مطالعه داده‌های بویه‌های شناور در منطقه مورد مطالعه و مدل‌سازی به این نتایج دست یافتند که به طور کلی پسماند آب‌نمک به سمت بستر، سیر نزولی دارد اما به علت عدم قطعیت داده‌های ورودی، تحولات شوری بر پایه سرعت جریانات و آهنگ شار و چگالی، نتایج برای دو سناریو در لوله‌های خروجی پساب مورد استخراج قرار گرفت و نتایج این تحقیق نشان داد که استانداردهای محیط زیست در فاصله ۱۵۰ متری از لوله‌های خروجی پسماند رعایت گردیده است[۴]. زمانی و همکارانش در سال ۲۰۱۳، در یک پژوهش در خلیج چابهار، به مطالعه خصوصیات فیزیکی آب در این منطقه پرداختند. در این تحقیق پارامترهای فیزیکی آب شامل دما و شوری بوسیله مدل ریاضی سه‌بعدی هیدرودینامیکی‌کوهیرنس، پیش‌بینی شدند و با داده‌های میدانی مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج بدست آمده از این مدل نشان می‌دهد که به‌طورکلی مقدار شوری آب دریا در خلیج چابهار به غیر از زمان رخداد مونسان در دیگر ماه‌های سال بالاتر از آب‌های بیرون خلیج می‌باشد.

میلوف[۴] و همکاران در سال ۲۰۱۴ به مطالعه یک مدل بهینه، جهت طراحی سیستم دفع ایمن پساب شور کارخانه‌های آب‌شیرین‌کن RO پرداختند و با ترکیب روش‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی، مدلی تازه را برای ایجاد به‌صرفه‌ترین مدل برای گسترش خروجی‌های چند پورتی مطرح کردند. میلوف و همکاران از مدل هیدرودینامیکی CORMIX جهت بررسی مقدار رقیق‌سازی پساب شور تخلیه گردیده در آب‌های ساحلی استفاده نمودند[۵].

یان[۵] در سال ۲۰۱۵، در رساله دکتری خود به قیاس مدل‌های متفاوت عددی بر روی میزان شوری آب خلیج‌فارس پرداخت و بعد با گزینش مناسب‌ترین مدل جهت تغییرات شوری منطقه و اثرات آب‌وهوا و نیز اثرات انسانی را در طولانی مدت بر روی خلیج‌فارس مدل‌سازی نمود و از این تحقیق نتیجه گرفت که مقدار شوری منطقه در طولانی مدت افزایش می‌یابد[۶].

فرناندز[۶] و همکاران در سال ۲۰۱۷ به بررسی انتشار پلوم، قبل و بعد از نصب دیفیوزر پرداختند. آن‌ها نتایج حاصل از شش سال پایش عملیاتی را با شبیه‌سازی انجام‌شده توسط شبیه‌سازی مدل اختلاط عددی CORMIX با انطباق با داده‌های میدانی مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از دیفیوزر، فرآیند رقیق‌سازی را در میدان نزدیک افزایش می‌دهد و در میدان بسیار دور، افزایش نرخ رقیق‌سازی نمونه‌ها در ۱ کیلومتری نقطه تخلیه، تا حدود ۱۷ برابر افزایش می‌یابد[۷].

هدف اصلی مطالعه حاضر، بررسی پخش شوری پساب کارخانه آب‌شیرین‌کن کنارک با استفاده از مدل عددی CORMIX است تا

بتوان طرحی بهینه برای بخش تخلیه پساب این کارخانه ارائه داد که پایین‌ترین اثرات سوء زیست‌محیطی را بر محیط دریا و موجودات آبزی حساس داشته باشد. به این منظور با استفاده از نرم افزارCormix11، بر اساس سناریوهای مختلف، پخش پساب آب شیرین‌کن مورد مطالعه شبیه سازی شده است و نتایج خروجی با محدودیت‌های استاندارد محیط‌زیست مقایسه گردیده است. همچنین بر اساس نتایج بدست آمده پیشنهاداتی جهت پخش بهتر پساب و کاهش اثرات زیست محیطی ارایه خواهد شد. با توجه به طرح توسعه آشیرین کن کنارک این مطالعه برای اولین بار برای دبی های بیشتر و تحت شرایط مختلف محیطی به شبیه سازی پخش پساب صورت می پذیرد.

۲ - معادلات اساسی حاکم

زمانی‌که پساب از یک منبع نقطه‌ای درون یک محیط تخلیه می‌گردد، اول بر پایه خصوصیت آلاینده، دمای محیط، وزش باد، غلظت مواد داخل آب و دیگر عوامل، پساب تخلیه گردیده، شروع به پخش شدن در هر دو راستای سطح می‌کند. این فرآیند را انتشار نامگذاری نموده‌اند که در آن پخش شدن ذرات پساب بر اثر ترکیب شدن اثرات برشی و اختلاف‌پتانسیل می‌باشد. پخش شدن پساب در راستای عمق هم انجام می‌شود، به این شکل که با سپری شدن زمان، غلظت ماده کاهش می‌یابد، ولی تقریباً مرکز جرم آن ثابت است. دلیل این پدیده، آشفتگی در جریانات آب می‌باشد.

معادله‌های حاکم بر پخش شدن پساب را می‌توان به شکل ذیل بیان کرد:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = F_h + F_v - \left(\frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial wC}{\partial z}\right) - k_p C + C_S S \quad (۱)$$

$$F_h = \frac{\partial}{\partial x}\left(D_h \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(D_h \frac{\partial C}{\partial y}\right) \quad (۲)$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial z}\left(D_v \frac{\partial C}{\partial z}\right) \quad (۳)$$

که F_h تابع انتشار پساب سطحی در راستای x و y، F_v تابع انتشار پساب عمقی در راستای z می‌باشد. C میزان غلظت پساب، u، v و w میزان سرعت آب در راستای x و y و z است. D_h مقدار ضریب انتشار پساب در سطح، D_v مقدار ضریب انتشار پساب عمقی، k_p نرخ میرایی پساب و C_S غلظت پساب در منبع ورودی تعریف می‌شوند. $C_S S$ هم مقدار پساب در چشمه و چاه است که اگر پساب وارد محیط گردد، S مثبت و اگر از محیط خارج گردد، S منفی در نظر گرفته می‌شود.

۳ – مدل عددی CORMIX

تحلیل توأم رابطه‌های حاکم بر جریان، بعلاوه پخش پساب آلوده درون محیط سیال، مستلزم استفاده از مدل عددی متناسب با خصوصیات حاکم بر طرح می‌باشد. با توجه به خصوصیت و محتوای پخش شدن آلودگی و کم‌عمق بودن مکان‌های تخلیه پساب، معادلات حاکم بر آب‌های کم‌عمق جهت مدل‌سازی پخش شدن آلودگی بکار گرفته می‌شوند. مدل CORMIX یک نمونه مدل محدوده اختلاط هیدرودینامیکی جهت تخلیه نمودن آلاینده‌ها درون محیط‌های آبی است. این مدل با تحلیل نمودن و پیش‌بینی حالت پخش‌شدن آلودگی‌های ورودی درون محیط‌های آبی، توانایی طراحی و بهینه‌سازی سیستم تخلیه پساب را ایجاد می‌کند[۸].

مدل CORMIX در بین مدل‌های موجود دارای مقبولیت و دقت بالایی می‌باشد. علت این موضوع استفاده از نتایج حقیقی اندازه‌گیری شده در نیروگاه‌های متفاوت و مد نظر گرفتن حالت‌های متفاوت خروج جت آب و ادغام نتایج با رابطه‌های تحلیلی در این مدل است که سبب بیشتر شدن دقت نتایج آن می‌شود.

نتایج مدلCORMIX در شرایط ساده توپوگرافی و شرایط محیطی همانند، برطبق واقعیت است و احتیاجی به عملیات اندازه‌گیری و استفاده از پارامترهای کالیبراسیون ندارد. این موضوع مزیت مهمی در مدل‌های تحلیلی محسوب می‌شود[۸].

۴ – منطقه مورد مطالعه

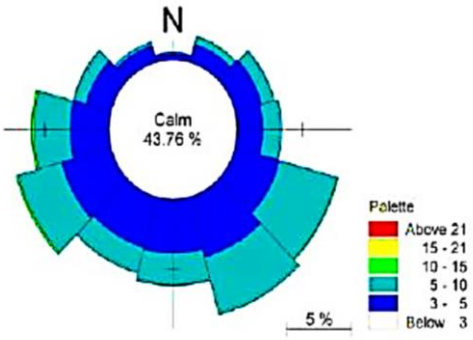
مورد مطالعاتی تحقیق خروجی پساب آب‌شیرین‌کن کنارک در استان سیستان و بلوچستان و در ساحل شمال غرب خلیج چابهار در فاصله ۳۵ کیلومتری چابهار و ۱۵ کیلومتری کنارک در موقعیت جغرافیایی $25^{\circ}26'17''$ شمالی و $60^{\circ}29'18''$ شرقی واقع‌شده است. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی این آب‌شیرین‌کن نشان داده‌شده است.

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آب‌شیرین‌کن کنارک (Google earth)

آب‌شیرین‌کن چابهار از نوع RO و دارای ظرفیت اسمی ۲۸ هزار مترمکعب در روز هست. قرارداد عملیات احداث این آب‌شیرین‌کن در پایان سال ۱۳۸۶ منعقدشده است. شکل ۲ واحد آب‌شیرین‌کن کنارک را نشان می‌دهد.

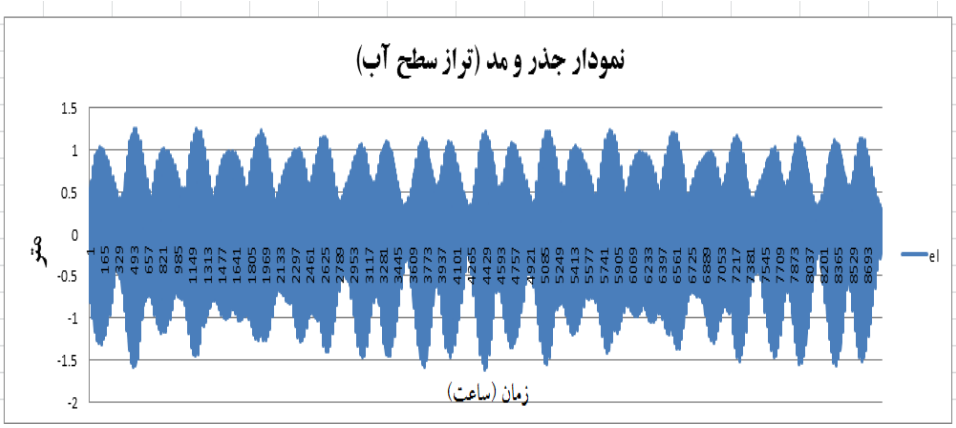
شکل ۲ - واحد آب‌شیرین‌کن کنارک

شرایط آب و هوایی روی پدیده رقیق‌سازی و پخش پساب در دریا اثرات قابل‌توجهی دارد بطوریکه هرچقدر ارتفاع جذرومد و سرعت جریان بیشتر باشد درصد رقیق‌سازی نیز بیشتر خواهد شد. با تحلیل اطلاعات حاصل از ایستگاه سینوپتیک چابهار، گلباد مرتبط با آب‌شیرین‌کن کنارک مطابق شکل ۳ نشان داده می‌شود.



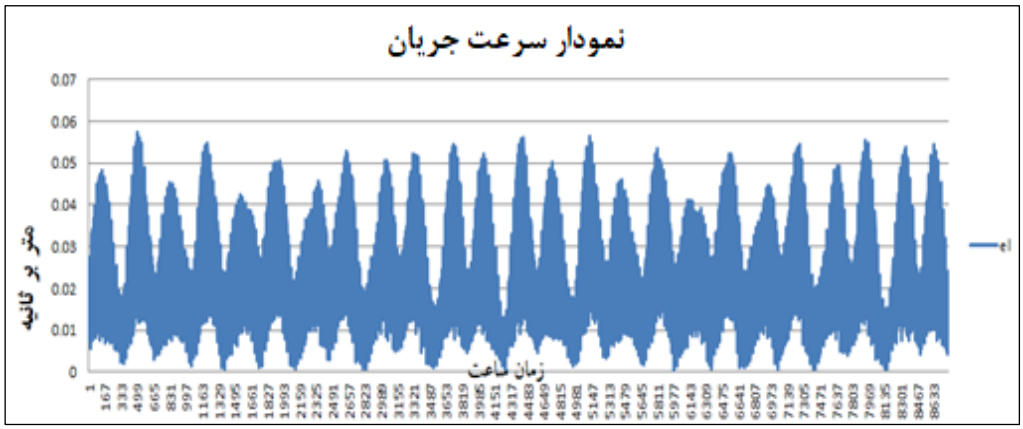
شکل ۳- گلباد محدوده خلیج چابهار[۹]

در این گلباد، سرعت کمتر از ۳ متر بر ثانیه به‌عنوان شرایط آرامش در نظر گرفته‌شده است. همچنین طول بردار نشان داده‌شده در هر سمت، درصد وقوع وزش باد با سرعت مشخص‌شده در آن جهت را نشان می‌دهد. همان‌طور که در گلباد مشاهده می‌گردد ۴۳/۷۶ درصد بادها دارای سرعت کمتر از ۳ متر بر ثانیه و از سمت جنوب شرقی می‌باشند، بنابراین در مدل‌سازی، جهت ورودی، مطابق با داده‌های گلباد و با سرعت ۳ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. اطلاعات جذر و مد منطقه از مدل خروجی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران برای سال ۲۰۱۹ در بازه یک‌ساعته استخراج گردیده است. ارتفاع سطح آب مطابق با نمودار شکل ۴ می‌باشد(هرسال معادل ۸۸۵۶ ساعت است). طبق داده‌ها بیشترین ارتفاع جذر و مد ۱.۲۵ متر است.



شکل ۴- نمودار جذر و مد در منطقه آب‌شیرین‌کن کنارک سال ۲۰۱۹[۱۰]

اطلاعات سرعت جریان منطقه از مدل خروجی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران برای سال ۲۰۱۹ در بازه یک‌ساعته مطابق با نمودار شکل ۵ استخراج گردید. مطابق با داده‌های دریافتی، بیشترین سرعت جریان ۰/۰۵۷ متر بر ثانیه و کمترین آن برابر با ۰/۰۰۰۱ متر بر ثانیه است.



شکل ۵- نمودار سرعت جریان در منطقه آب‌شیرین‌کن کنارک سال ۲۰۱۹[۱۰]

دما و شـــوری آب دریا در محدوده‌ی آب‌شـــیرین‌کن کنارک به ترتیب ۲۹ °C و ۳۸ ppt است که در سال ۱۳۹۳ توسط میری و همکارانش به صـورت میدانی اندازه‌گیری شـده اسـت[۱۱]. با در نظر گرفتن این دو پارامتر، مقدار چگالی آب دریا توســط نرم‌افزار CORMIX محـاســبـه می‌شـــود کـه مـقـدار آن برابر بـا ۱۰۲۴/۳۲ kg/m^2 می‌باشد.

در جدول ۱، عمق آب دریا برای چهار موقعیت جغرافیایی که فواصل بین آنها ۵۰۰ متر است، ارائه شده است. شکل ۶، نمای شـــمـاتیـک این چهـار موقعیـت جغرافیـایی را در محـدوده‌ی آب‌شیرین‌کن نشان می‌دهد.

شکل ۶- نمای شماتیک نقاط انتخاب‌شده برای محاسبه عمق آب دریا در محدوده آب‌شیرین‌کن کنارک

جدول ۱ - مشخصات نقاط انتخابی دریا در محدوده آب‌شیرین‌کن کنارک

مشخصه	موقعیت جغرافیایی			
	۱	۲	۳	۴
	۲۵°۲۶′۱۷″ شمال ۶۰°۲۹′۱۸″ شرقی	۲۵°۲۶′۲″ شمال ۶۰°۲۹′۲۵″ شرقی	۲۵°۲۵′۴۷″ شمال ۶۰°۲۹′۳۲″ شرقی	۲۵°۲۵′۳۲″ شمال ۶۰°۲۹′۳۹″ شرقی
فاصله از ساحل $[m]$	۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰
عمق $[m]$	۰	۶	۸/۵	۱۰

۵ – ورودی‌های مدل

مشخصات و ویژگی‌های پساب یکی از مهم‌ترین عوامل نحوه پخش پســاب در آب دریا هســت. در جدول ۲ مقادیر داده‌های پســاب آب‌شــیرین‌کن کنارک جهت مدل‌ســازی در نرم‌افزار CORMIX آورده شده است.

جدول ۲- مشخصات پساب آب‌شیرین‌کن کنارک (پرسش میدانی)

نوع داده ورودی	واحد	مقدار
غلظت پساب خروجی	mg/lit	۹۰۰۰۰
اختلاف غلظت پساب با آب دریا	mg/lit	۶۰۰۰۰
دبی پساب خروجی	m^3/s	۰/۸۳
دما پساب	c	۳۲

شـرایط محیطی در محل خروجی پسـاب، اثر مسـتقیمی بر نحوه پخش آلودگی پساب در دریا دارد. در این بخش می‌بایست عمق

جدول ۳- مشخصات محیطی در خروجی پساب آب‌شیرین‌کن کنارک

نوع داده ورودی	واحد	مقدار
عمق متوسط دریا در ناحیه موردبررسی	m	۶
عمق آب در محل خروجی پساب	m	۶
سرعت باد	m/s	۳
نوع جریان	-	غیردائمی
پریود جذر و مد	hr	۱۸
سرعت ماکزیمم جریان	m/s	۰/۰۵۷

سرعت جریان جذر مد در زمان تعریف‌شده	m/s	وابسته به شرایط جذرومد
زمان موردنظر بعد از حالت اسلک(صفر)	hr	متغیر
ضریب زبری بستر دریا (ضریب دارسی ویسباخ)	-	۰/۲
غلظت یا دانسیته آب دریا	mg/lit	۱۰۲۴/۳۲

آب دریا در ناحیه خروجی پساب و شرایط محیطی از قبیل سرعت باد منطقه، شرایط جذرومدی، زبری بستر دریا و غلظت آب دریا به‌عنوان ورودی برای نرم‌افزار cormix تعریف گردد. در جدول ۳ مقادیر این پارامترها به‌صورت مجزا ذکرشده است.

مشخصات کانال خروجی پساب آب‌شیرین‌کن به‌عنوان یک عامل ایجادکننده پساب نقش مهمی در الگوی پخش پساب در آب دریا را دارد که در جدول ۴ این مشخصات ذکرشده است.

جدول ۴- مشخصات کانال دبی خروجی پساب آب‌شیرین‌کن کنارک

نوع داده ورودی	واحد	مقدار
سمت قرارگیری کانال	-	چپ
زاویه ورودی کانال نسبت به دریا	*degrees*	۹۰
شیب کف	*degrees*	۱/۴۳۲۱
عمق پساب کانال	m	۱/۵
نوع کانال	-	مستطیلی
عرض کانال	m	۲
عمق کانال پساب	m	۱/۵

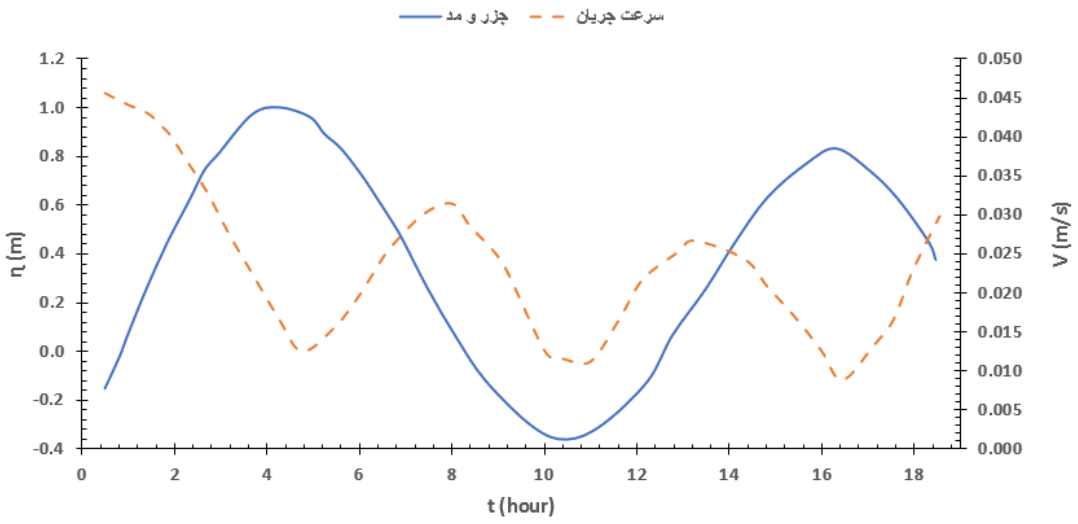
جهت بررسی پخش پساب خروجی آب شیرین‌کن کنارک به داخل آب دریا، مطابق جدول ۵، از سه سناریوی مختلف استفاده شده است.

جدول ۵- سناریوهای مختلف جهت مدل‌سازی پخش پساب خروجی

سناریو	توضیحات
سناریوی اول (حال حاضر)	آب‌شیرین‌کن با ظرفیت ۲۸۰۰۰ مترمکعب در روز و با دبی خروجی پساب ۰/۸۳مترمکعب بر ثانیه
سناریوی دوم (طرح آتی)	آب‌شیرین‌کن با ظرفیت ۵۰۰۰۰ مترمکعب در روز و با دبی خروجی پساب ۱/۵ مترمکعب بر ثانیه
سناریوی سوم (طرح آتی)	آب‌شیرین‌کن با ظرفیت ۱۰۰۰۰۰ مترمکعب در روز و با دبی خروجی پساب ۳ مترمکعب بر ثانیه

همان‌طور که از شکل ۷ مشاهده می‌شود، باگذشت زمان از صفر که مربوط به زمان اسلک[1] می‌باشد (به زمانیکه تراز جزر و مد منطبق بر تراز MHW باشد. یعنی در واقع نه جزر باشد و نه مد)، مقادیر سرعت جریان با افزایش ارتفاع آب کاهش می‌یابد. بنابراین با در نظر گرفتن هم سرعت جریان بیشینه و هم کمینه که مقادیر آن به ترتیب ۰/۰۵۷ و ۰/۰۱ است، محدوده پخش شوری و محدوده اختلاط میدان نزدیک برای هر سناریو مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۶، نتایج حاصل از بررسی سناریوهای مختلف را در زمان‌های مختلف اسلک نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در تمام بررسی‌ها، برای آب دریا، حالت جریان غیردائمی همراه با در نظر گرفتن شرایط جزرو مد، لحاظ شده است.

۶- نتایج و بحث



شکل ۷- نمودار جذر و مد به همراه سرعت جریان

جدول ۶- محدوده پخش شوری و اختلاط میدان نزدیک در سناریوهای مختلف برای شرایط بیشینه و کمینه سرعت جریان و زمان‌های مختلف اسلک

[1] Slack

	حالت سرعت	سرعت جریان (متر بر ثانیه)	زمان پس از اسلک (ساعت)	محدوده پخش شوری طول در عرض (m)	محدوده اختلاط میدان نزدیک(m) از خط ساحلی
سناریوی اول	بیشینه	۰/۰۵۷	۱	۳۳ در ۳۳	۳۳
			۲	۶۵ در ۴۰	۶۵
			۳	۹۸ در ۴۵	۶۵
			۴	۱۳۰ در ۴۰	۱۳۰
	کمینه	۰/۰۱	۱	۱۲ در ۵۰	۵/۵
			۲	۴در ۱۲۰	۲۷
			۳	۵۵ در ۱۵۰	۳۸
			۴	۳۶ در ۱۱۵	۲۳
سناریوی دوم	بیشینه	۰/۰۵۷	۱	۴۰ در ۶۰	۳۲
			۲	۷۰ در ۸۰	۶۶
			۳	۱۰۰ در ۹۰	۹۸
			۴	۱۳۰ در ۱۰۰	۱۳۰
	کمینه	۰/۰۱	۱	۲۸ در ۱۳۰	۱۲/۵
			۲	۲۴ در ۱۲۰	۱۸
			۳	۶۰ در ۲۰۰	۴۰
			۴	۷۵ در ۲۳۰	۵۰
سناریوی سوم	بیشینه	۰/۰۵۷	۱	۴۵ در ۱۰۵	۳۳
			۲	۴۵ در ۱۰۵	۶۵
			۳	۱۱۰ در ۱۶۰	۹۸
			۴	۱۴۰ در ۱۸۰	۱۳۰
	کمینه	۰/۰۱	۱	۲۲ در ۱۳۰	۹
			۲	۶۰ در ۲۶۰	۴۰
			۳	۴۵ در ۲۰۰	۲۶
			۴	۵۵ در ۲۳۰	۳۴

۶-۱- صحت‌سنجی

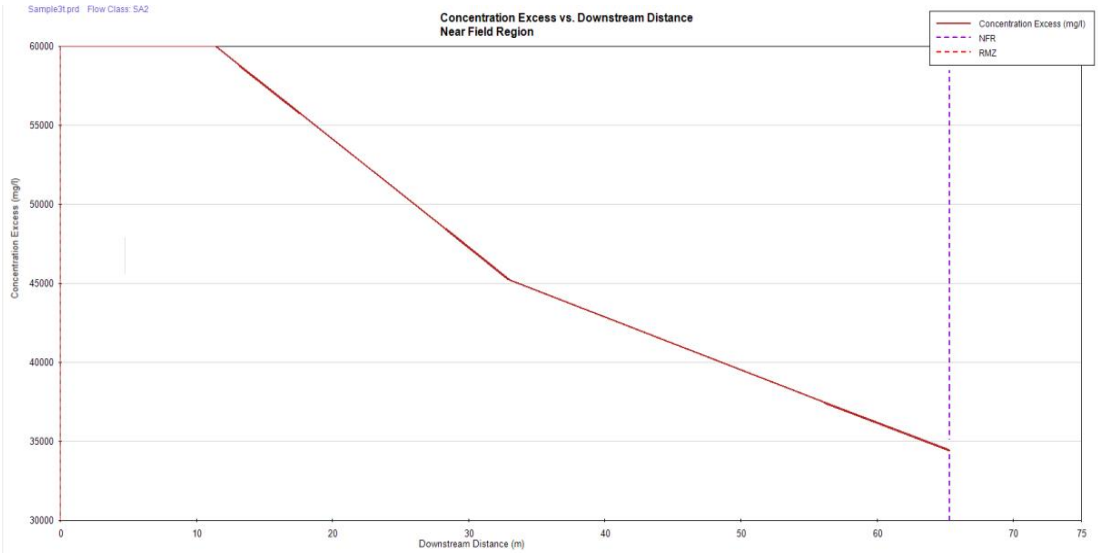
به‌منظور صحت‌سنجی مدل‌سازی و اعتبار نتایج پخش شوری خروجی آب‌شیرین‌کن در اطراف کانال خروجی در دریا، عکس‌های هوایی که در سال‌ها و ماه‌های مختلف گرفته شده و دارای کیفیت مناسبی هستند، توسط نرم‌افزار Google Earth استخراج شد و با نتایج خروجی مدل CORMIX، مقایسه گردید. شکل ۸، الگوی پخش شوری برای دبی ۳ متر مکعب بر ثانیه با سرعت جریان حداکثر ۰/۰۵۷ متر بر ثانیه بعد از ۲ ساعت پس از اسلک را نشان می‌دهد.

شکل ۸-الگوی پخش شوری برای دبی ۳ مترمکعب بر ثانیه با سرعت جریان ۰/۰۵۷ متر بر ثانیه

با بررسی‌های انجام‌شده، مشاهده شد که عکس هوایی که مربوط به تاریخ ۲۰۱۳/۰۴/۰۳ است، نسبت به سایر عکس‌ها، وضوح مناسب‌تری برای ارزیابی محدوده پخش شوری در آب دریا دارد. همانطور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، نتایج خروجی مدل کورمیس با عکس هوایی مقایسه و ارزیابی گردید. نتایج نشان

می‌دهد که محدوده‌ی پخش شوری در واقعیت با خروجی نرم‌افزار تقریباً یکسان است. همچنین شکل ۱۰، غلظت در محدوده‌ی اختلاط میدان نزدیک در این سناریو را نشان می‌دهد که محدوده غلظت در طول ۴۵ و عرض ۱۰۵ متر است.

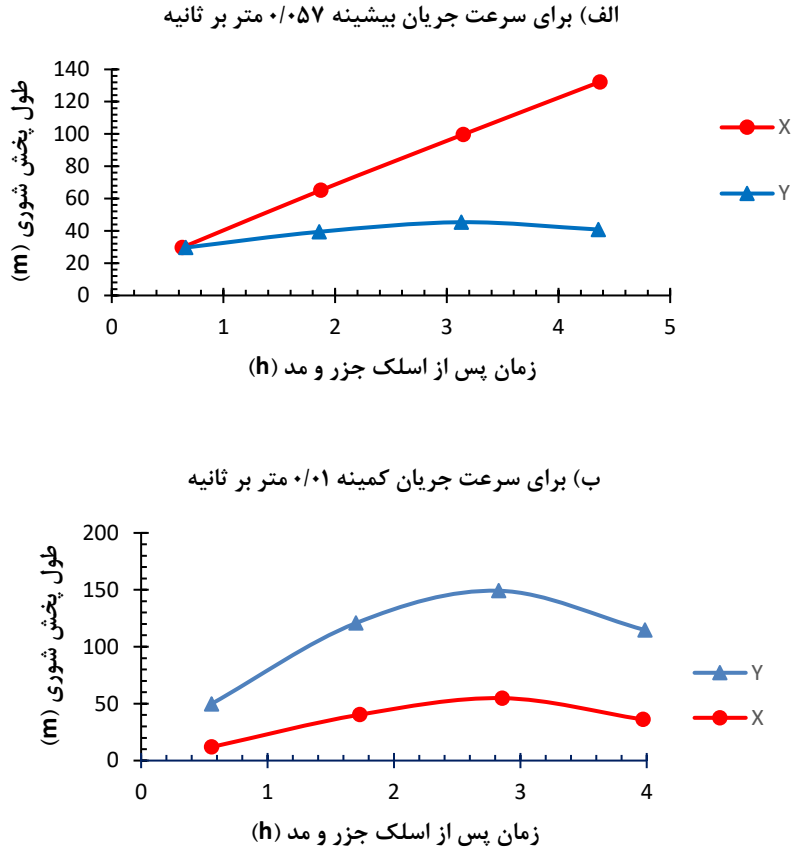
شکل ۹- مقایسه عکس هوایی پخش شوری به تاریخ ۲۰۱۳/۰۴/۰۳ با خروجی مدل کورمیکس



شکل۱۰-غلظت در محدوده اختلاط میدان نزدیک برای دبی ۳ مترمکعب بر ثانیه با سرعت جریان حداکثر ۰/۰۵۷ متر بر ثانیه بعد از۲ ساعت پس از اسلک

۶-۲-اثر مدت زمان اسلک در شرایط جزرومد

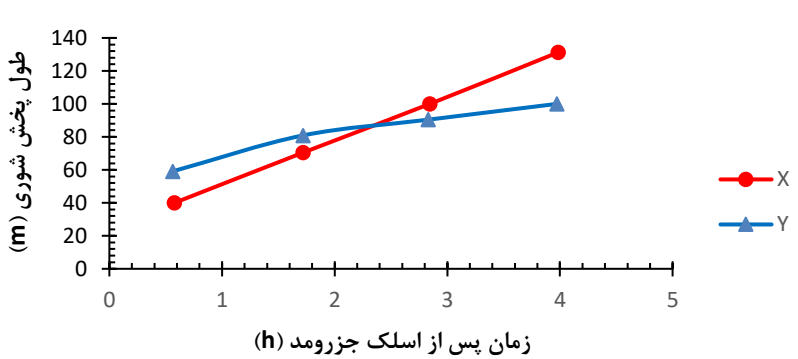
در این بخش به بررسی اثر جذرومد بر روی میزان پخش شوری پساب آب‌شیرین‌کن در سناریوهای مختلف برای شرایط بیشینه و کمینه سرعت جریان، پرداخته شده است. شکل ۱۱، تاثیر مدت زمان پس از اسلک در شرایط جزرومد بر روی طول پخش شوری برای دبی ۰/۸۳ مترمکعب بر ثانیه نشان می‌دهد.

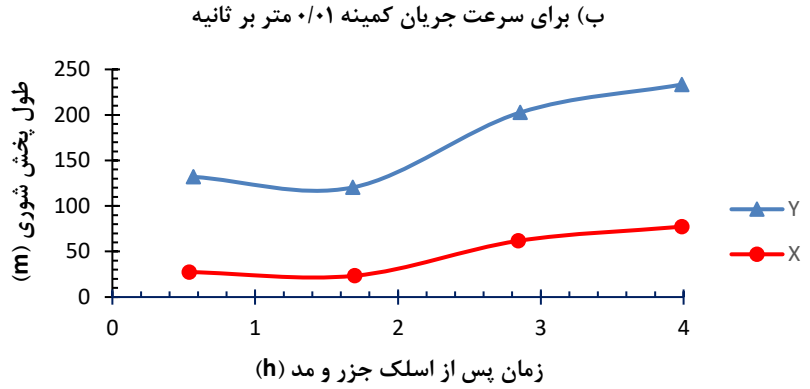


شکل ۱۱- تاثیر مدت زمان پس از اسلک در شرایط جزرومد بر روی طول پخش شوری برای دبی ۰/۸۳ مترمکعب بر ثانیه

همان‌طور که از نمودارها مشاهده می‌گردد، در حالت الف، در شرایط جزرومد با افزایش زمان پس از اسلک، میزان طول پخش پساب در دریا افزایش می‌یابد که به علت بالا بودن سرعت جریان حاصل از جذرومد، این عامل روی میزان پخش در جهت عمود بر خروجی یعنی در جهت X تأثیر بیشتری از خود نشان می‌دهد. در حالت ب، تا مدت زمان ۳ ساعت پس از اسلک، با افزایش زمان، میزان طول پخش پساب در دریا افزایش می‌یابد ولی با افزایش بیشتر مدت زمان، مقدار آن کاهش می‌یابد. علت این امر، سرعت پایین جریان حاصل از جزرومد است. به عبارت دیگر سرعت خروجی جریان پساب بر سرعت جزرومد غلبه داشته و به همین علت این عامل روی میزان پخش در جهت راستای خروجی یعنی در جهت Y تاثیر بیشتری دارد.

شکل ۱۲، تاثیر مدت زمان پس از اسلک در شرایط جزرومد بر روی طول پخش شوری برای دبی ۱/۵ مترمکعب بر ثانیه نشان می‌دهد.

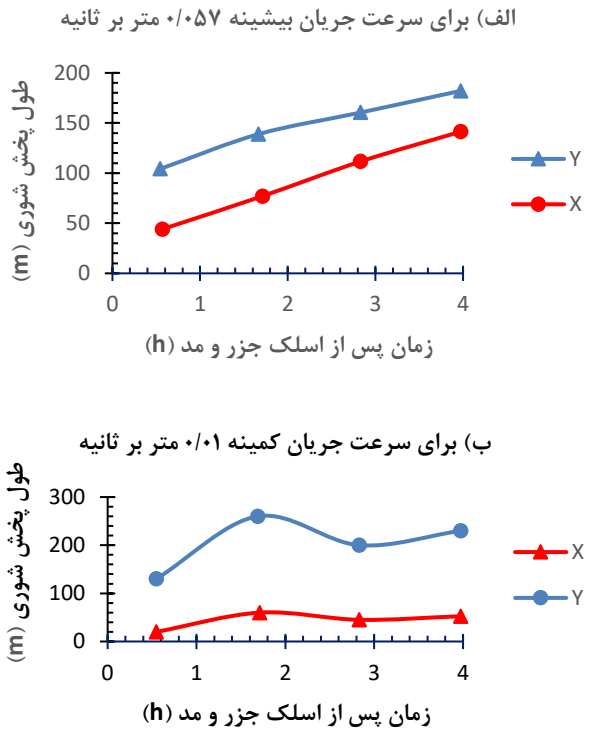




شکل ۱۲- تاثیر مدت زمان پس از اسلک در شرایط جزرومد بر روی طول پخش شوری برای دبی ۱/۵ مترمکعب بر ثانیه

برای این سناریو در حالت الف، با افزایش زمان پس از اسلک در جذر و مد میزان طول پخش پساب در دریا افزایش می‌یابد که این عامل تا ۲/۵ ساعت بعد از اسلک روی میزان پخش در جهت راستای خروجی (Y) تأثیر بیشتری از خود نشان می‌دهد و علت آن غلبه کردن سرعت خروجی جریان پساب به اثر جذر و مد می‌باشد. از زمان ۲/۵ ساعت بعد از اسلک به دلیل افزایش اثر جذرومد روی دبی خروجی پساب، میزان فاصله پخش در جهت X بیشتر تغییر می‌کند. برای حالت ب، به دلیل پایین بودن سرعت جریان جذرومدی، اثر آن روی دبی خروجی پساب کمتر بوده و به همین دلیل پخش در جهت راستای خروجی پساب Y بیشتر مشاهده می‌گردد.

شکل ۱۳، تاثیر مدت زمان پس از اسلک بر روی طول پخش شوری برای دبی ۳ مترمکعب بر ثانیه نشان می‌دهد. همان‌طور که از نمودارها مشاهده می‌گردد، در حالت الف، افزایش زمان پس از اسلک منجر به افزایش میزان طول پخش پساب در دریا می‌گردد. به دلیل بالا بودن دبی خروجی، اثر آن روی طول پخش در راستای X کمتر می‌باشد که این امر منجر به افزایش بیشتر طول پخش در جهت Y می‌شود. لذا می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش دبی خروجی پساب در سناریوهای آتی واحد آب‌شیرین‌کن، اثر جذرومد در کاهش انتشار شوری در دریا کمتر می‌گردد و منجر به حاد شدن قضیه خواهد شد.

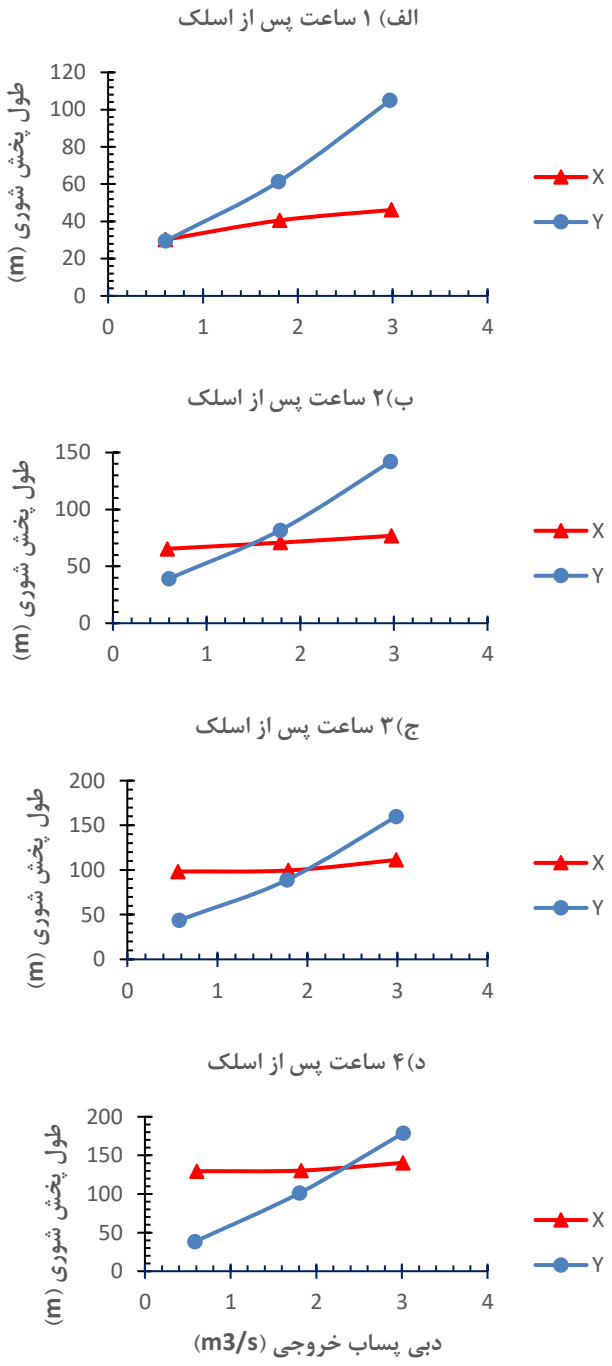


شکل ۱۳- تاثیر مدت زمان پس از اسلک در شرایط جزرومد بر روی طول پخش شوری برای دبی ۳ مترمکعب بر ثانیه

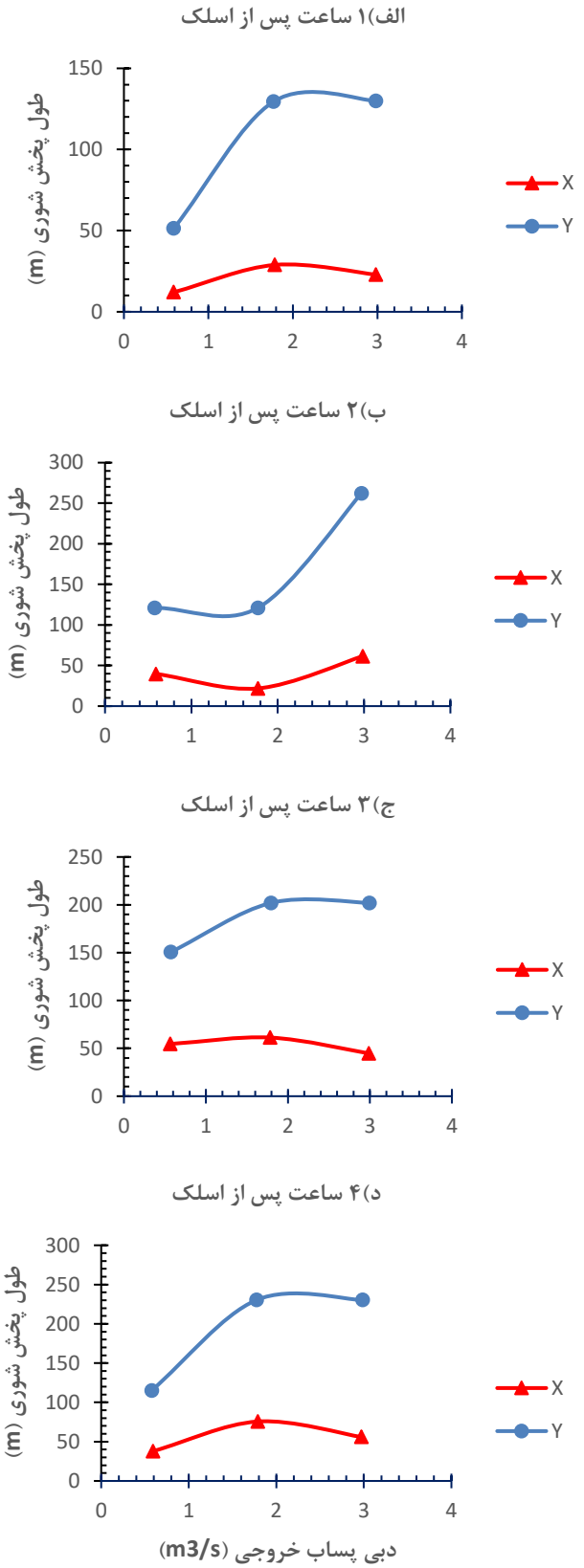
از طرف دیگر، در حالتی که سرعت جریان جذرومد کم است (حالت ب)، افزایش زمان پس از اسلک روی طول انتشار در جهت X آن‌چنان تغییری ایجاد نمی‌کند؛ اما در جهت Y در بازه یکتا دو ساعت به صورت افزایشی، سپس تا سه ساعت کاهشی و دوباره افزایش می‌یابد. علت آن می‌تولند به دلیل افزایش عمق آب بعد از فاصله ۲۰۰ متری از ساحل و اثر متفاوت جذر و مد روی آن باشد.

۶-۳-اثر دبی خروجی پساب

در این بخش به بررسی اثر دبی پساب خروجی بر روی میزان پخش شوری برای شرایط بیشینه و کمینه سرعت جریان و در زمان های مختلف پس از اسلک پرداخته شده است. شکل ۱۴، اثر دبی پساب خروجی را برای سرعت جریان ۰/۰۵۷ متر بر ثانیه نشان می‌دهد. همان‌طور که از نمودارها مشاهده می‌گردد، در مدت زمان‌های مختلف پس از اسلک، افزایش دبی پساب خروجی منجر به افزایش طول پخش شوری در آب دریا می‌گردد و همان‌طور که پیش‌بینی شده بود، تاثیر افزایش دبی در راستای خروجی (Y) بیشتر است و در جهت (X) کمتر نمایان می‌گردد.



شکل ۱۴- تاثیر دبی پساب خروجی بر روی طول پخش شوری برای سرعت جریان ۰/۰۵۷ متربرثانیه



شکل ۱۵- تاثیر دبی پساب خروجی بر روی طول پخش شوری برای سرعت جریان ۰/۰۱ متربرثانیه

شکل ۱۵، تاثیر دبی پساب خروجی را برای سرعت جریان ۰/۰۱ متر بر ثانیه در زمان‌های مختلف پس از اسلک نشان می‌دهد. همان‌طور که از نمودارها مشاهده می‌گردد، در زمان یک و دو ساعت بعد از اسلک، با افزایش دبی پساب خروجی، طول پخش شوری در آب دریا افزایش می‌یابد. البته این اثر در جهت X کمتر نمایان می‌شود. نکته قابل توجه این است که در حالت الف، با افزایش دبی بیشتر از ۱/۵ مترمکعب بر ثانیه، افزایش دبی تقریباً تأثیری روی طول پخش شوری در دریا ندارد درحالیکه در حالت ب، این روند برعکس است و با افزایش دبی تا ۱/۵ مترمکعب بر ثانیه، تقریباً تاثیری روی طول پخش شوری در دریا ندارد. در حالت ج، در زمان سه ساعت بعد از اسلک، دبی پساب خروجی، فقط در جهت Y و در بازه دبی ۰/۸۳ تا ۱/۵ مترمکعب بر ثانیه، اثر می‌گذارد و در جهت X اثر قابل‌توجهی ندارد. در حالت د، در زمان چهار ساعت پس از اسلک، در بازه دبی ۰/۸۳ تا ۱/۵ مترمکعب بر ثانیه، طول پخش شوری هم در جهت X و هم در جهت Y با افزایش دبی، افزایش می‌یابد ولی برای دبی بیشتر از ۱/۵ مترمکعب بر ثانیه، اثر قابل توجهی بر روی طول پخش شوری ندارد.

۷- نتیجه گیری

نتایج اصلی و مهم این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

افزایش زمان پس از اسلک در سرعت‌های بالای جریان جذر و مد، اثر بیشتری روی فاصله پخش شوری در جهت عمود بر خروجی پساب (X) دارد و منجر به افزایش طول پخش پساب در جهت (X) می‌گردد.

افزایش زمان پس از اسلک در سرعت‌های پایین جریان جذرومد، اثر بیشتری روی فاصله پخش شوری در جهت راستای خروجی پساب (Y) دارد و منجر به افزایش بیشتر طول پخش پساب در جهت Y می‌گردد.

در دبی‌های بالاتر افزایش زمان پس از اسلک هم در سرعت‌های بالای جریان جذرومد و هم در سرعت‌های پایین جذر و مد، اثر بیشتری در افزایش طول پخش پساب در جهت Y دارد.

افزایش دبی خروجی پساب، تاثیر بیشتری روی طول پخش شوری در جهت Y دارد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از سناریوهای مختلف می‌توان به‌طورکلی نتیجه گرفت که افزایش دبی پساب منجر به پخش شوری بیشتر در آب دریا می‌گردد اما در حالت‌هایی می‌توان این پخش را با سرعت جریان و زمان جذرومد مدیریت کرد؛ به‌طوری‌که افزایش دبی تأثیر کمتری روی پخش آب‌شور در دریا داشته باشد. لذا با بررسی نتایج پیشنهاد می‌گردد پساب خروجی در ساعت‌های ۴ ساعت بعد از اسلک صورت پذیرد و زمانی که پخش شوری در جهت X مدنظر می‌باشد و مسائل محیط زیستی اجازه افزایش غلظت در این جهت را نمی‌دهد بهتر است در سرعت‌های کمتر جریان خروجی پساب رخ دهد اما اگر مسائل محیط زیستی در جهت Y مهم می‌باشد بهتر است در سرعت‌های جریان بیشتر عملیات خروج پساب صورت بگیرد.

کلید واژگان

1- Al-Brawni
2- Malcangio
3- Purnalna
4- Maalouf
5- Yan
6- Fernandez

۸ - مراجع

1- Abdul-Wahab et al.,Optimization of multistage flash desalination process by using a two-level factorial design, Applied Thermal Engineering 27, 413–421, 2007.

2- Al-Barwani, Thuwayba, David W.Chapman, and Hana Am., Strategic brain drain: Implications for higher education in Oman, Higher Education Policy 22.4: 415-432, 2009.

3- Malcangio, D., Petrillo, A.F., Modelling of brine outfall at the planning stage of desalination plants, Desalination 254 ,114-125, 2010.

4- Purnama, Anton, et al., CORMIX simulations of brine discharges from Barka plants, Oman, Desalination and Water Treatment 32.1-3: 329-338, 2011.

5- Sami Maalouf, Diego Rosso, and William W.-G Yeh.,O., Optimal planning and design of seawater RO brine outfalls under environmental uncertainty, Desalination, no. 333, pp. 134–145, 2014.

6- Yan, Xiaohui., Numerical Simulation of the Long-term Balance of Salinity in the Persian Gulf," Diss.Université d'Ottawa/University of Ottawa, 2015.

7- Ángel Loya-Fernández,et al., Quantifying the efficiency of a mono-port diffuser in the dispersion of brine Discharges, Desalination Volume 431, Pages 27-34, 1 , 2018.

8- Robet L.doneker, Gerhad H.Jirka., User manual for cormix, 2009.

9- Ghaderi, F., Azizi, F. and Tamaddoni, A., Selection of suitable areas for the construction of desalination plants based on the analysis of wind conditions in Southern regions of the country, Iran Water and Wastewater Science and Engineering Congress, University of Tehran, Tehran, February 16 and 18, 2016. (In Persian)

10- Extracted from the atmospheric model of the Institute of Geophysics, University of Tehran. (In Persian)
11- Miri, M., The effect of desalination effluent on the structure of the population of polychaetes in the Chabahar Gulf region, Master Thesis, Khorramshahr University of Marine Sciences and Technology, p.81, 2012. (In Persian)