

بررسی توزیع پساب تاسیسات آب شیرین کن در اطراف بندر جزیره کیش با اندازه‌گیری میدانی و مدلسازی عددی

امید پورعبداله^۱، رضا غیائی^{۲*}

۱- دانش آموخته دکتری علوم و مهندسی آب، دانشگاه تهران

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشکده‌گان فنی، دانشگاه تهران

پست الکترونیکی نویسندگان:

۱- omid.pourabdollah@ut.ac.ir

۲- rghiassi@ut.ac.ir

چکیده:

شیرین‌سازی آب دریا یکی از بهترین یا در برخی مناطق تنها روش ممکن جهت تولید آب مصرفی می‌باشد. تأثیر توام تاسیسات آب‌شیرین‌کن و سازه‌های بندری بر محیط زیست ساحل می‌تواند بعضاً تبعات خاص زیست محیطی به همراه داشته باشد. پساب خروجی تاسیسات آب‌شیرین‌کن و به طور مشخص تغییرات میزان شوری و دما تأثیرات قابل توجهی بر مجموعه‌های مرجانی دارد. در این مقاله اثر توام بندر تجاری جزیره کیش و تاسیسات آب‌شیرین‌کن بر تغییرات کیفی آب محدوده مربوطه مورد بررسی میدانی و عددی قرار گرفت.

در ۳ مرحله نمونه برداری میدانی از ۲۴ نقطه مختلف نزدیک ساحل شمالی جزیره کیش پارامترهای کیفی آب اندازه‌گیری گردید. سرعت و جهت جریان نیز جهت صحت‌سنجی مدل‌سازی انجام شده اندازه‌گیری شد. مدلسازی جریان و پراکنش آلودگی حرارتی و شوری با استفاده از مدل دو بعدی در پلان MIKE ۲۱ انجام شد. میدان محاسباتی به ابعاد حدود ۳۰ کیلومتر مربع و با کاربرد چهار اندازه مختلف المان در چهار ناحیه منقطع گردید. مقایسه نتایج مدل‌سازی عددی با اندازه‌گیری‌های میدانی نشانگر دقت قابل قبول است. نتایج مدل‌سازی الگوی انتشار شوری، نشان دهنده گستره قابل توجه در منطقه پیرامونی محل خروجی پساب و بندرگاه تجاری کیش می‌باشد. بطوریکه در محدوده نزدیک به محل خروجی پساب میزان شوری و دما بدلیل وجود موج شکن غربی، کاهش سرعت جریان و عدم تغییر محل خروجی ۱۶-۱۵ درصد بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. دورترین نقطه ای که در آن دمای خروجی آب موجب افزایش ۳ درجه‌ای محدوده شده است ۱۷۰ متر از محل خروجی است.

واژگان کلیدی:

مدلسازی عددی، اندازه‌گیری میدانی، آب شیرین‌کن ساحلی، اثرات زیست محیطی.

* رضا غیائی، دانشیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه تهران.

ایمیل: rghiassi@ut.ac.ir (نویسنده مسئول مقاله)

Investigation of brine dispersion of desalination plants in surrounding of Kish Island Port using field measurements and numerical modeling

. Pourabdollah ^۱, R. Ghiassi ^۲

^۱- Ph.D. Water Science and Engineering, University of Tehran, Iran.

^۲- Associate Prof. School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Abstract:

Desalination of seawater is one of the most effective methods, and in some cases, the only possible method for producing drinking water. The combined effect of desalination plants and port structures on the coastal environment can sometimes have specific environmental consequences. The dispersion from the desalination plants, especially the changes in salinity and temperature, has significant effects on coral reefs. In this paper, the effect of the commercial port of Kish Island with regard to the desalination plants was investigated using field measurements and numerical modeling. In ۳ stages of field measurement, water quality parameters were measured from ۲۴ different points near the northern coast of Kish Island. The speed and direction of the current were also measured to verify the accuracy of the numerical modeling. The current and dispersion of thermal and salinity pollution were modeled using MIKE۲D two-dimensional model. The computational domain was about ۳۰ square kilometers in size and was discretized into four zones using four different element sizes. Comparison of the numerical modeling results with field measurements indicated acceptable accuracy. The results of the modeling of the salinity diffusion pattern indicate a significant spread in the zone surrounding the outfall of desalination plants and the Kish Island commercial port. Around the outfall, average of temperature and electrical conductivity (EC) increased by ۱۶% and ۱۴%, respectively. It is due to the effect of west breakwater on current reduction that resulted in increasing brine concentration. The ultimate point where the ambient temperature has increased by ۳ degrees is ۱۷۰ meters from the outfall. Therefore, considering the impact of temperature changes on coral reef is critically important. Given the absence of measured data on water quality parameters, current, and velocity direction across various tides at this location, the findings of this study contribute to a better understanding of the environmental status of the area.

Keywords: Numerical Modeling, Field Study, Coastal Desalination Plants, Environmental Impact.

۱- مقدمه و تاریخچه تحقیقات

شیرین سازی آب دریا یکی از بهترین یا در برخی مناطق مانند مناطق ساحلی تنها روش ممکن جهت تولید آب شیرین می باشد. این مناطق معمولاً برای تأمین نیازهای اقتصادی، اجتماعی و حمل و نقل شامل سازه های بندری و دریایی می باشند. شیرین سازی سایر فرآیندهای مهم صنعتی و عمرانی دارای اثرات زیست محیطی است. تأثیر توأم تاسیسات آب شیرین کن و سازه های بندری و دریایی بر محیط زیست ساحل می تواند بعضاً تبعات خاص زیست محیطی به همراه داشته باشد. با توجه به ماهیت پدیده انتقال و انتشار یک ماده در ماده ای دیگر که معمولاً با حجم بیشتری نسبت به ماده انتقال یافته یا منتشر شده می باشد، پدیده انتشار پساب تاسیسات آب شیرین کن ها بدلیل افزایش دو پارامتر اصلی دما و شوری در کنار سایر پارامترهای موثر زیست محیطی قابل اهمیت می باشد. برای درک کیفی وضعیت موجود نوار ساحلی و نحوه پراکندگی پساب آب شیرین کن، جمع آوری داده های میدانی مانند: سرعت و جهت جریان در جزر و مدهای مختلف، هیدورگرافی و مدل سازی عددی در نرم افزارهای مرتبط قابل انجام است. سهم قابل توجهی از آب شیرین کن های موجود در دنیا و عملاً تمامی آن ها در کشورمان به دو روش اسمز معکوس (RO) و تقطیری (MED) شیرین سازی آب دریا را انجام میدهند. که در هر دو روش مذکور در کنار مصرف انرژی، پساب خروجی باعث افزایش دما و شوری می گردد. با توجه به اهمیت موارد زیست محیطی و عدم شناخت کافی نحوه انتشار پساب آب شیرین کن ها در موقعیت های مکانی مختلف، در طی سال های گذشته مطالعات متنوعی در بخش برداشت های میدانی و تحلیلی کیفیت آب سواحل انجام گرفته است.

در یکی از قدیمی ترین مطالعات، فالکونر [۱] یک مدل ریاضی دو بعدی متوسط گیری شده در عمق برای پیش بینی مشخصات جریان توسعه داد. در این مدل ارتفاع آب، سرعت میانگین در عمق و توزیع غلظت در رودخانه ها، مصب ها و آب های ساحلی قابل محاسبه بوده است.

مورتن و همکاران [۲] اثرات زیست محیطی ساحلی تاسیسات آب شیرین کن با فرآیند اسمز معکوس در مقایسه با روش تقطیری را مورد ارزیابی قرار دادند. میزان مصرف آب ورودی، دما و میزان غلظت

مواد شیمیایی پساب خروجی آب شیرین کن در این مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

بررسی اثرات پساب آب شیرین کن ساحل بارانکو دل تورو واقع در جنوب جزایر قناری جهت شناسایی اثرات ناشی از تخلیه بر روی جانوران و گیاهان منطقه، با توجه ویژه به وجود گونه گیاهی دریایی موجود در بستر شنی آن منطقه با انجام مطالعات ژرفاسنجی جهت شناسایی نحوه هدایت خروجی با توجه به تغییر عمق توسط تالورا و رویز انجام گرفت [۳]. دانون و همکاران [۴] اثرات پساب تاسیسات آب شیرین کن بر حیات دریا را مورد بررسی قرار دادند. شوری، دما و نوسانات قلیایی کل بدلیل تخلیه پساب از تاسیسات شیرین سازی می تواند نقش بسزایی در فراوانی و توزیع گونه های گیاهی و جانوری داشته باشد. تورکومادا و همکاران [۵] با انجام بررسی های میدانی، پردازش داده ها و مدل سازی در نرم افزار ArcGIS به اعتبارسنجی و ارزیابی مطالعات و مدل های ارائه شده پراکندگی پساب تاسیسات آب شیرین کن های غربی دریای مدیترانه به روش اسمز معکوس پرداختند.

تأثیر توسعه بندر و تغییرات در خط ساحلی و نیاز به حفاظت آن توسط کوداله [۶] مورد ارزیابی قرار گرفت. خط ساحلی به طور طبیعی تحت تاثیر جزر و مد و تغییرات فصلی موثر بر امواج و باد می باشد که بر مورفولوژی نوار ساحل تاثیر گذار است. درک صحیح از شناخت روند سواحل و پیش بینی وقایع، پیش از رخ داد از اهمیت بالایی برخوردار است. تغییرات در تاسیسات ساحلی مستلزم توجه به موضوع لایروبی و در معرض قرار گرفتن فعالیت ها جهت حفظ عمق مورد نیاز بندر می باشد. روش عبور رسوب (Sand bypassing) به عنوان یکی از بهترین روش ها جهت کاهش رسوب گذاری پیشنهاد گردید.

مرجانی و جمالی [۷] تاثیر تبادل جریان در دریاچه ارومیه را مورد بررسی قرار دادند. با توجه به جاده ۱۵ کیلومتری که دو دریاچه را به دو قسمت شمالی و جنوبی تقسیم می کند. تفاوت های سطح آب و چگالی میان این دو قسمت دریاچه در بهار به دلیل ورود حجم زیادی از آب شیرین به دریاچه جنوبی افزایش می یابد. با توجه به تبخیر زیاد در تابستان، آن ها با ادغام نتایج نظریه هیدرولیک نشان دادند که جریان تبادل از طریق شکاف میان دو قسمت، تفاوت های

سطح آب و شوری دو دریاچه را کاهش می‌دهد و بنابراین به احیای وضعیت پیش از ساخت دریاچه تا پایان پاییز کمک می‌کند.

مدل سه بعدی هیدرودینامیک و اندازه‌گیری میدانی خلیج چابهار توسط سلطان‌پور و دیباج‌نیا [۸] انجام گرفت. در این مطالعه مدل سه بعدی با در نظر گرفتن پارامترهای جزرومد و باد ایجاد گردید و نتایج مدل‌سازی با اندازه‌گیری میدانی مورد واسنجی قرار گرفت. مقایسه نتایج شبیه‌سازی جریان جزر ومدی با اندازه‌گیری میدانی از دقت قابل‌قبولی برخوردار بوده و تاثیر توامان باد و جزرومد بر کیفیت آب خلیج چابهار اثر قابل‌توجهی داشته است.

آبه‌سی و همکاران [۹] آزمایشات گسترده‌ای بر روی جت‌های متراکم خروجی پساب آب شور بصورت مایل در آبهای کم عمق با نازل‌هایی در زوایای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه نسبت به محورری افقی انجام دادند و تغییرات تمرکز غلظت در مسیر پرتاب با روش سه بعدی فلورسانس القایی لیزر اندازه‌گیری گردید. سولا و همکاران [۱۰] به بررسی اثر زیست محیطی تعداد ۳۰ آب‌شیرین‌کن در کشور اسپانیا مابین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ پرداختند. هدف آن‌ها ارزیابی کیفی طرح‌های زیست محیطی مانیتورینگ تاسیسات آب‌شیرین‌کن این کشور بود. الزامات مانیتورینگ پساب خروجی و طراحی با گذشت زمان بهبود یافته است ولی بازنگری در این الزامات در سطح ملی جهت یکسان‌سازی توصیه گردید. این استانداردسازی باید بیشتر متوجه تاسیسات آب‌شیرین‌کن با ظرفیت بالا باشد زیرا احتمال تأثیرگذاری بیشتری بر محیط دریا دارند.

در زمینه مطالعات عددی کیفیت آب ساحلی آنتون و همکاران [۱۱] جهت شناسایی معیار نحوه انتشار پساب خروجی تاسیسات آب‌شیرین‌کن در اقیانوس از مدل ساده شده ریاضی جریان یک بعدی در میدان سه بعدی استفاده کردند. استیدمن و کریج [۱۲] به مطالعه و مدل‌سازی وضعیت گردش جریان آب در منطقه Cockburn Sound تحت تاثیر شرایط مختلف وزش باد مانند نسیم ساحلی و طوفان زمستانی پرداختند. مشاهدات اندازه‌گیری جریان نشان داد که میانگین سرعت کمتر از ۰/۰۵ متر بر ثانیه در این منطقه و ۰/۰۷ متر بر ثانیه در آب‌های آزاد ساحلی مجاور بوده است. حداکثر جریان ناشی از جزر و مد نیز بسیار کم و با بزرگی ۰/۰۱ متر بر ثانیه بود.

پایو و همکاران [۱۳] تاثیر باد و امواج بر رقیق شدن پساب خروجی دو تاسیسات آب‌شیرین‌کن در ساحل آلیکانته واقع در جنوب شرقی اسپانیا را مورد بررسی قرار دادند. خروجی پساب این دو تاسیسات با یک کانال مشترک به نزدیکی ساحل انتقال می‌یابد. مدیران تاسیسات باید قبل از تخلیه پساب، آن را با آب دریا رقیق نموده تا مقادیر شوری کاهش یابد. برای درک بیشتر، سناریوی منحصر به فرد اثر باد و امواج بر این روند مخلوط کردن در نزدیکی ساحل توسط محققین ارائه گردید. عملکرد موج حاکی از کاهش میزان شوری بوده است. نه تنها ارتفاع موج، بلکه مدت زمان طوفان نیز نقش مهمی را ایفا می‌نماید.

علیشیری و طیبی [۱۴] بررسی مفهومی فرآیندهای شیرین‌سازی آب دریا و ارائه الگوریتم مدل‌سازی غیر خطی معکوس در هوش مصنوعی را مورد بررسی قرار دادند. هدف آن‌ها اتخاذ تصمیم‌های اساسی جهت انتخاب بهینه فرآیند آب‌شیرین‌کن و به کار بردن مناسب‌ترین سیستم آب‌شیرین‌کن متناسب با پارامترهای مختلف بوده است. مدل‌سازی عددی پراکندگی آب شور در آب‌های کم عمق ساحلی توسط پتل و همکاران [۱۵] انجام گرفت. جهت بهره‌برداری بهینه از تاسیسات شیرین‌سازی آب، نحوه قرارگیری مکان ورودی و خروجی باید بگونه‌ای باشد تا گردش جریان شوری خروجی در ورودی به حداقل برسد. بدین منظور پراکندگی پساب خروجی تاسیسات آب‌شیرین‌کن در پروژهای متداول با استفاده از تکنیک مدل‌سازی عددی باید مورد ارزیابی قرار گیرد.

بوتل‌هو و همکاران [۱۶] به مطالعه موردی شبیه‌سازی عددی پراکندگی پساب خروجی مرحله دوم ساخت تاسیسات آب‌شیرین‌کن شهر پرتس استرالیا پرداختند. در این مطالعه نتایج شبیه‌سازی هیدرودینامیکی و کیفیت آب جهت بررسی پراکندگی پساب خروجی توامان بخش اول تاسیسات شیرین‌سازی و بخش پیشنهادی دوم این تاسیسات بر منطقه Cockburn Sound ارائه گردید. جهت صحت‌یابی نتایج مدل‌سازی عددی، برداشت‌های میدانی در فاصله دور و نزدیک انجام گرفت. وود و همکاران [۱۷] نیز به مدل‌سازی نحوه انتشار چند منبع خروجی پساب آب‌شیرین‌کن در نوار ساحل شرقی مدیترانه پرداختند. مدل هیدرودینامیکی سه بعدی پساب خروجی، تأثیرات روش انتشار توده پساب در محدوده دور و نزدیک از ساحل را بیان نمود. بررسی اثر پیش ترکیب‌کردن آب مورد استفاده

خنک‌سازی تاسیسات و پساب خروجی حاکی از کاهش اثرات منفی شناوری توده پساب و جلوگیری از گسترش آن می‌باشد و این درحالی است که پساب خروجی پخش‌کنندها در محدوده دور از ساحل بصورت جریان‌هایی با چگالی بالای شوری، بصورت نامنظم انتشار می‌یابد.

مدل سازی خروجی پساب تاسیسات آب‌شیرین‌کن فورتالزا برزیل توسط پریثرا و همکاران [۱۸] انجام گرفت. نتایج مدل‌سازی تخلیه پساب در کیفیت آب سواحل فورتالزا توسط محققین ارائه گردیده است، در این مطالعه ارزیابی رقیق‌سازی توده شوری در حوزه میدانی نزدیک ساحل و مدل سازی هیدرودینامیکی جهت ارزیابی رقیق‌سازی در محدوده دور ارایه گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که توده پساب از خروجی بستر دریا بیش از ۲ کیلومتر از نزدیکترین ساحل فاصله داشته است.

پرادهان و همکاران [۱۹] مدل‌سازی همزمان هیدرودینامیک و کیفیت آب در آب‌های ساحلی چنای در سواحل شرقی هند را انجام دادند. پارامترهای کیفیت آب شبیه‌سازی‌شده در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی برای فصول مختلف برای دما، شوری، اکسیژن محلول و کلروفیل انجام شد. نتایج مدل‌سازی با اندازه‌گیری‌های مورد واسنجی قرار گرفت. بطوریکه عملکرد مدل هیدرودینامیک و کیفیت آب تا سه روز پیش‌بینی قابل قبولی انجام داد.

مطالعه هیدرودینامیک فرآیند انتقال شوری در دریاچه ارومیه به عنوان یک دریاچه با شوری بالا (بیش از 400 PSU) توسط صفایی و جماعت [۲۰] با در نظر گرفتن فعالیت‌های انسانی و شرایط تغییر اقلیم بصورت مطالعه موردی انجام گرفت.

تغییرات میانگین دمای آب دریاچه کونوسی فنلاند در فصل تابستان در بازه زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۲۱ توسط نوری و همکاران [۲۱] بررسی گردید. آن‌ها حدود ۹۵۰ پروفیل دمایی آب در تابستان (ژوئیه تا سپتامبر) را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند.

یاوری نیا و همکاران [۲۲] رویکرد تحلیلی جهت پیش‌بینی تغییرات فصلی شوری در خورها را ارایه کردند. پیش‌بینی دقیق تغییرات فصلی شوری برای ارزیابی سلامت اکوسیستم خورها از

اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مدل‌های سنتی مورد استفاده برای پیش‌بینی تغییرات شوری معمولاً نیاز به داده‌های گسترده و محاسباتی قابل توجه دارند. برای حل این چالش‌ها، آن‌ها یک مدل جدید با پیچیدگی کاهش یافته را ارائه دادند. مطالعات مشابه دیگری نیز توسط محققین انجام گرفته است که در مقاله مروری بر مطالعات مدل‌سازی‌های انجام شده بر خروجی پساب تاسیسات آب شیرین‌کن توسط الاحمدی و همکاران [۲۳] به تعدادی از آن‌ها نیز اشاره گردیده است.

در سال‌های اخیر هوش مصنوعی کاربرد قابل توجهی در علوم مهندسی داشته است. نمونه‌ای از کاربرد هوش مصنوعی در مباحث مهندسی سواحل مطالعات امینی و همکاران [۲۴] در استفاده مدل‌های پیش‌بینی هوش مصنوعی برای چرخش‌های روزانه و فصلی در دریاچه‌های کم‌عمق می‌باشد. اگرچه کاربرد هوش مصنوعی نمی‌تواند جایگزین اندازه‌گیری‌های میدانی و تحلیل‌های هیدرودینامیک باشد، ولی به عنوان یک ابزار کمکی در کنار روش‌های موجود جهت کاهش زمان و هزینه‌های اندازه‌گیری می‌تواند مفید باشد.

در این مطالعه اثر موج شکن‌های بندر بر خروجی تاسیسات آب شیرین‌کن بررسی شده و با توجه به موقعیت خاص محیط زیست سواحل مرجانی منطقه، انجام این کار ویژه و توجیه پذیر بوده است.

۲ - منطقه مورد مطالعه

۲-۱- جزیره کیش

جزیره مرجانی کیش، یکی از جزایر تاریخی و مهم خلیج فارس، همچون دیگر مناطق، تحت تأثیر شرایط محیطی و ویژگی‌های جغرافیایی پیرامون خود قرار دارد. این جزیره با شکلی تقریباً بیضوی، مساحتی بالغ بر ۹۱ کیلومتر مربع دارد، طول آن حدود ۱۵/۵ کیلومتر و عرض آن در حدود ۷/۵ کیلومتر است، و دارای بیش از ۳۵ کیلومتر خط ساحلی می‌باشد. نزدیک‌ترین بندر برای تردد دریایی مسافر و بار، بندر آفتاب و بندر چارک هستند شکل (۱).

می‌رود. این پروژه از سال ۱۳۵۳ آغاز به کار نموده و با نصب چهار دستگاه آب‌شیرین‌کن، فرایند شیرین‌سازی آب دریا را کلید زده است.

در حال حاضر، این تأسیسات قادر به تولید متوسط روزانه حدود ۲۲۰۰۰ متر مکعب آب شیرین از طریق دو روش MED (شیرین‌سازی چندمرحله‌ای) و RO (اسمز معکوس) هستند. فرایند کار به این صورت است که در هر ساعت حدود ۵۰۰۰ متر مکعب آب دریا وارد سیستم می‌شود و تقریباً ۱۰۰۰ متر مکعب آب شیرین تولید می‌گردد.

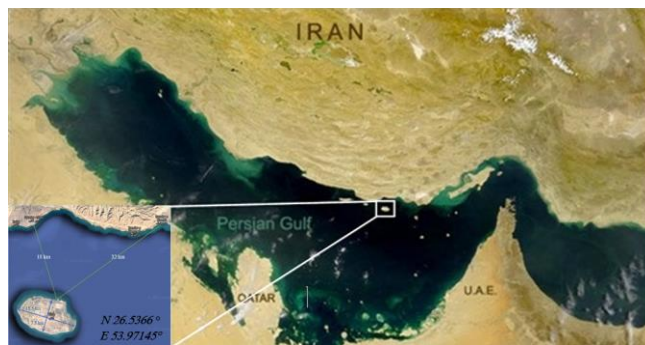
تفاوت دمایی میان آب ورودی و خروجی، بسته به فصل سال متغیر است؛ به‌عنوان مثال، در فصل تابستان، دمای آب ورودی به حدود 36°C رسیده و دمای پساب خروجی تا 50°C اندازه‌گیری شده است.



شکل ۲: موقعیت مکانی بندر شمالی و نیروگاه آب و برق کیش

۲-۳- پلان بندر تجاری

در دهه ۶۰ خورشیدی اجرای بندر تجاری کیش شروع شد و طی سال‌های اخیر جهت استحصال زمین، با لایروبی‌های انجام شده از درون حوضچه و اطراف بندرگاه، بخش جدیدی در ضلع غربی به محوطه باراندازی آن اضافه گردیده است. طول اسکله‌های بندر بیش از ۲۰۰۰ متر می‌باشد و در دهه ۸۰ خورشیدی ساخت اسکله ۱۲۰۰۰ تنی آغاز گردیده است. همانطور که در شکل (۲.۳) مشاهده می‌گردد در ابتدا حوضچه بندرگاه شمالی کیش به شکل مربع مستطیل و با ورودی در قسمت شمال شرقی بوده است. محل ورودی آب شیرین‌کن در بخش شمال غربی حوضچه بندرگاه و آب خروجی به بیرون از موج‌شکن‌های بندرگاه به دو صورت مسیر روباز و لوله در سطح خط ساحلی به دریا انتقال می‌یابد.



شکل ۱: موقعیت جزیره کیش در خلیج فارس

مرجانی بودن سواحل جزیره کیش اهمیت ویژه‌ای برای بررسی عوامل تغییرات زیست‌محیطی دارد. ذخایر مرجانی کیش نه تنها به دلیل جذابیت‌های توریستی و اکوتوریسم مورد توجه‌اند، بلکه نقش آنها در تعادل و پایداری اکوسیستم دریایی پیرامونی حیاتی است. متأسفانه در سال‌های اخیر پدیده سفیدشدن مرجان‌ها که به معنای آسیب یا مرگ این موجودات است بر اثر تغییرات زیست‌محیطی شدت یافته است. فرایند ساخت و توسعه بنادر معمولاً پیامدهای زیست‌محیطی به همراه دارد، لذا لازم است که براساس پارامترهای زیست‌محیطی و ضوابط قانونی، میزان این اثرات به حداقل برسد. در اطراف بندر تجاری کیش، تأثیرات قابل توجهی مشاهده می‌شود که عمدتاً ناشی از مجاورت آن با تأسیسات آب‌شیرین‌کن و خروجی پساب می‌باشد. به‌طوری‌که، شرایط محیط پیرامون این بخش، مسیر جریان پساب را تغییر داده؛ در نتیجه‌ی آن، دما و شوری آب در محدوده خروجی افزایش یافته است.

۲-۲- موقعیت آب شیرین‌کن شمالی و بندر تجاری

در ناحیه شمالی جزیره کیش، تأسیسات مشترک نیروگاه برق و آب (نیروگاه آب‌وبرق کیش) واقع است که مسئول تأمین بخش عمده‌ای از نیازهای برقی و آبی جزیره کیش می‌باشد. همچنین، بندر تجاری کیش که به‌عنوان بندرگاه اصلی جزیره شناخته می‌شود در همین منطقه و در مختصات جغرافیایی $26^{\circ}33'43''$ شمالی و $53^{\circ}59'40''$ شرقی قرار گرفته است.

با افزایش تدریجی توسعه‌های صورت‌گرفته طی چند دهه اخیر، نیاز پایدار به تأمین منابع آب مصرفی، استفاده از روش‌های شیرین‌سازی آب دریا را ضروری ساخته است. نیروگاه شمالی جزیره، که به نام نیروگاه آب‌وبرق کیش معروف است (شکل ۲)، نخستین تأسیسات تولید هم‌زمان برق و آب شیرین در شمال جزیره به‌شمار



شکل ۴: عکس هوایی و جانمایی ورودی و خروجی تاسیسات آب شیرین کن

۲-۴- مشخصات فنی محدوده مطالعاتی

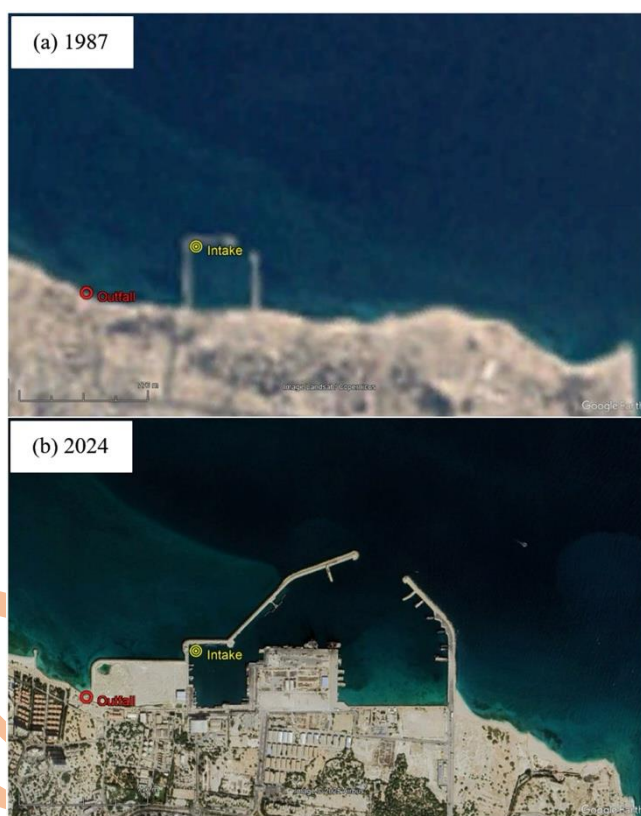
در بخش اول مشخصات فنی محدوده مطالعاتی، میدان مطالعاتی و محاسباتی شامل مشخصات هندسی و هیدروگرافی ارایه گردیده است و در بخش دوم متغیرهای هیدرولیکی و کیفی آب دریا تعریف شده است.

۲-۴-۱- میدان مطالعاتی و محاسباتی

همان طور که در شکل (۵) مشاهده می شود، عمق آب در نواحی ساحلی اطراف بندرگاه کیش از مقادیر بسیار کم آغاز می شود؛ تا رسیدن به دهانه بندر، عمق میانگین به حدود ۱۲ متر می رسد. این نتایج بر پایه آخرین داده های اندازه گیری شده موجود در مرکز اسناد جزیره کیش است. در فاصله ای حدود ۱ کیلومتر از خط ساحلی، عمق به طور تقریبی به صورت خطی از ۰ تا ۷ متر افزایش می یابد؛ سپس افزایش ناگهانی به عمق حدود ۱۲ متر مشاهده می شود. با دور شدن از دهانه بندرگاه، عمق بستر به طور چشم گیری تا حدود ۲۵ متر افزایش می یابد.

با توجه به ساختار موج جزر و مد پیرامونی جزیره کیش و اطراف بندرگاه و مقایسه آن با عمق محدود این محدوده، می توان از فرضیات ویژه مدل سازی آب های کم عمق به عنوان روش مناسبی در تحلیل استفاده کرد.

از آنجایی که بستر دریا در این منطقه دارای تپه های مرجانی زیرآبی است و این ذخایر مرجانی به ویژه در ناحیه غربی بندرگاه کنونی گسترده اند، مطالعه دقیق این محدوده از اهمیت بالایی برخوردار است. عمق متوسط بنادر مرجانی کیش حدود ۵ متر است و مرجان های زنده غالباً در عمق بین ۳ تا ۷ متر پراکنده اند.



شکل ۳- (a) بندر تجاری کیش در سال ۱۹۸۷، (b) بندر تجاری کیش در سال ۲۰۲۴

شرایط فعلی در سال ۱۴۰۴ از نظر موقعیت موج شکن ها و مرز خشکی و دریا مشابه شکل (۳.ب) می باشد با این تفاوت که تاسیسات در خشکی افزایش یافته و پر کردن بخش استحصال گردیده نیز تقریباً تکمیل گردیده است. پر کردن این بخش سبب نفوذ مصالح از لابه لای موج شکن غربی حوضچه به داخل آن و متعاقباً ورودی آب شیرین کن گردید که نیازمند تمهیدات بیشتری جهت کنترل ورودی می باشد.

شکل (۴) جانمایی ورودی و خروجی تاسیسات آب شیرین کن نشان داده شده است.

۷/۷ کیلومتر می‌باشد. شایان ذکر است طول خط ساحلی حدود ۴/۶ کیلومتر می‌باشد.



شکل ۷: محدوده مدل‌سازی و موقعیت نقاط نمونه برداری

مسیر و نقاط مراحل سه‌گانه اندازه‌گیری پارامترهای کیفی آب و سرعت جریان علاوه بر شکل (۷) در بخش اندازه‌گیری میدانی نیز به تفکیک ارائه گردیده است.

۲-۴-۲- متغیرهای هیدرولیکی و کیفی آب دریا

بمنظور مدل‌سازی جریان و کیفیت آب در منطقه مورد نظر تغییرات تراز آب در این محدوده مورد نیاز می‌باشد. در محدوده پیرامونی جزیره کیش اختلاف تراز سطح آب در روزهای مشخصی مقدار قابل توجهی می‌باشد. بطور مثال طبق اطلاعات مندرج در سایت سازمان نقشه‌برداری میانگین سالیانه اختلاف ارتفاع تراز آب در بازه ۲۰۲۳/۳/۶ الی ۲۰۲۴/۳/۶ به میزان ۱/۳۷ متر می‌باشد که در بازه حداقل صفر و حداکثر ۲/۳۱ متری به ترتیب ثبت گردیده است. میزان جز و مد اندازه‌گیری شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشوری در تاریخ ۱۰ مرداد ۱۴۰۱ مطابق شکل (۸) است. محل نصب دستگاه سنجش تراز آب سازمان نقشه‌برداری کشوری در بخش شمال غربی حوضچه آرامش بندرگاه کیش بوده است.

شکل (۹) میزان تغییرات تراز سطح آب دریا و نیز مقدار عقب نشینی در کنار یکی از صخره‌های مرجانی در نزدیکی ساحل را نشان می‌دهد.

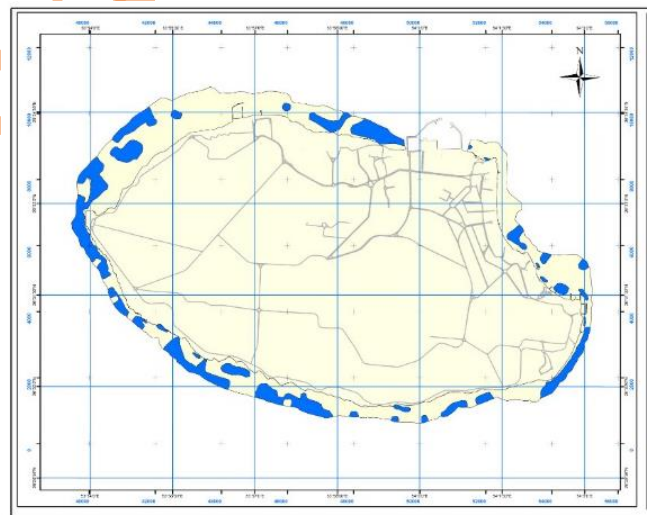
۳- اندازه‌گیری میدانی

با توجه به عدم وجود اطلاعات از سرعت و جهت جریان، میزان دما و شوری در محدوده مورد مطالعه و همینطور اهمیت تاثیر جزر و مد و هیدروگرافی محدوده بر تغییرات این کمیت‌ها، پارامترهای



شکل ۵: هیدروگرافی ناحیه شمالی پیرامون بندرگاه کیش

شکل (۶) نقشه پراکنش مرجان‌های زنده پیرامونی جزیره کیش را نشان می‌دهد. موقعیت قرارگیری جزیره در خلیج فارس و هیدروگرافی اطراف آن و ماهیت مرجانی محدوده سبب گردیده است که عملاً پدیده رسوب‌گذاری در این ناحیه مشاهده نگردد.

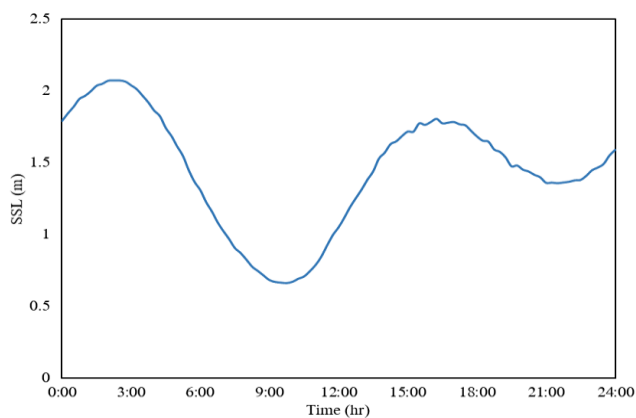


شکل ۶: نقشه پراکنش مرجان‌های زنده (محدوده‌های آبی رنگ) پیرامون جزیره کیش

بمنظور انجام مدل‌سازی، محدوده مدل‌سازی و موقعیت نقاط نمونه‌برداری با توجه به شرایط هندسی محدوده و نحوه انتشار پساب مطابق با شکل (۷) تعیین گردید. مرز شرق و غرب بصورت شمالی-جنوبی و مرز شمالی بصورت شرقی-غربی می‌باشد. مرز پایین محدوده مدل‌سازی محصور به خط ساحلی و بخشی از دریا در سمت شمال شرقی جزیره تعریف گردیده است. طول امتداد مرزهای جنوب شرقی، شرق، غرب و شمال بترتیب برابر با ۱/۳، ۵/۸، ۳/۸ و

اندازه‌گیری آب دریا می‌باشد، استفاده گردید. در انتقال و اندازه‌گیری نمونه‌ها، ضوابط استانداردهای مربوطه مانند میزان دمای محیط جهت جلوگیری از تغییر شرایط نمونه‌ها در انتقال رعایت گردید. تعدادی از نمونه‌ها نیز جهت اندازه‌گیری مجدد در آزمایشگاه آب و محیط زیست دانشکده فنی دانشگاه تهران اندازه‌گیری گردید. جهت اندازه‌گیری سرعت جریان روش‌های متفاوتی وجود دارد که متناسب با شرایط محیطی و جغرافیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از این روش‌ها که در مناطق کم عمق مورد استفاده قرار می‌گیرد روش شناور پره‌ای سطحی (Surface Drifter) است. این روش از دقت قابل قبولی جهت اندازه‌گیری سرعت متوسط جریان‌های زیرسطحی برخوردار است [۲۵]. در این روش با کاربرد مبانی روش مختصات لاگرانژی سرعت جریان اندازه‌گیری می‌شود. همانطور که در شکل (۱۰) مشاهده می‌گردد متناسب با عمق محدوده مورد بررسی شناور چهار پره ساخته شد و مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به مجهز بودن قایق مورد استفاده به دستگاه موقعیت‌یاب دقیق و اندازه‌گیری موقعیت شناور پره‌ای در یک بازه زمانی مناسب، سرعت و جهت جریان در زمانها و نقاط مختلف برداشت گردید.

کیفیت آب، سرعت و جهت جریان بصورت میدانی اندازه‌گیری گردید.



شکل ۸: نمودار جز و مد ۱۰ مرداد ۱۴۰۱



شکل ۹: عقب‌نشینی و تغییرات تراز سطح آب در محدوده جزیره کیش

۳-۱- روش اندازه‌گیری

به منظور اندازه‌گیری پارامترهای کیفی آب و با توجه به امکانات موجود، نمونه برداری از عمق کمتر از یک متر انجام گرفت. دمای آب داخل ظرف توسط دماسنج جیوه‌ای با دقت ± 5 درجه سانتی‌گراد و بلافاصله پس از نمونه برداری (در سایه و دور از تابش مستقیم خورشید) اندازه‌گیری گردید. جهت اندازه‌گیری سایر پارامترهای کیفی آب (شوری، هدایت الکتریکی و ...) نمونه‌ها در آزمایشگاه مجهز به تجهیزات اندازه‌گیری دقیق در جزیره کیش اندازه‌گیری شد. از دستگاه اندازه‌گیری مدل HACH که مجهز به سنجنده‌های هدایت الکتریکی و شوری (بصورت مجزا) با قابلیت

۳-۳- اندازه‌گیری مرحله دوم

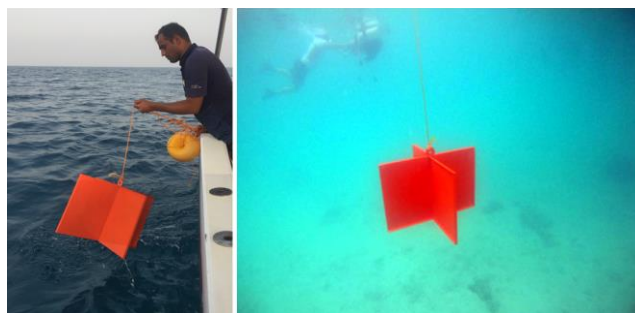
پس از اندازه‌گیری مرحله اول در فصل زمستان و بررسی نتایج اولیه، با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی جزیره کیش تصمیم بر اندازه‌گیری در تیرماه سال ۱۴۰۱ بدلیل افزایش دمای آب و محیط گرفته شد. جهت ثبت اطلاعات دقیق‌تر از محدوده نزدیک به محل خروجی پساب، نمونه برداری در ۱۲ نقطه همانطور که در شکل جدول (۲) مشاهده می‌گردد، انجام گرفت. همانطور که نتایج آزمایشات پارامترهای کیفیت آب در جدول (۲) نشان می‌دهد اثر پساب خروجی تاسیسات آب‌شیرین‌کن در محدوده نزدیک به محل خروجی بدلیل کم بودن سرعت جریان در کناره موج شکن واضح است. دلیل این موضوع همانطور که پیش‌تر نیز اشاره گردید بدلیل احداث موج شکن غربی و عدم تغییر محل خروجی پساب می‌باشد. در ناحیه تداخل ریختن پساب از لوله و نهر خروجی (نقطه ۸ و ۹) میانگین پارامترهای دما و هدایت الکتریکی (EC) نسبت به سایر نقاط به ترتیب افزایش ۱۶٪ و ۱۵٪ داشته است. نتایج برداشت این مرحله نسبت به مرحله قبل شدت تاثیر پساب خروجی بر محیط پیرامونی را دقیق‌تر نشان می‌دهد. بطوریکه تاثیر محل و نحوه خروج پساب تاسیسات آب‌شیرین‌کن بر محیط پیرامونی کاملاً مشهود می‌باشد.

۳-۴- اندازه‌گیری مرحله سوم

پس از اندازه‌گیری مرحله اول و دوم جهت ثبت اطلاعات بیشتری از پارامترهای کیفیت آب در فواصل دورتر از خط ساحلی و همینطور سرعت و جهت جریان اندازه‌گیری مرحله سوم انجام شد. بدین منظور در ۳ نقطه که در شکل جدول (۳) مشاهده می‌گردد نتایج پارامترهای دما، شوری و مقدار سرعت و جهت جریان در نقاط

جدول ۱: اندازه‌گیری اولیه پارامترهای کیفیت آب نوار شمالی جزیره کیش

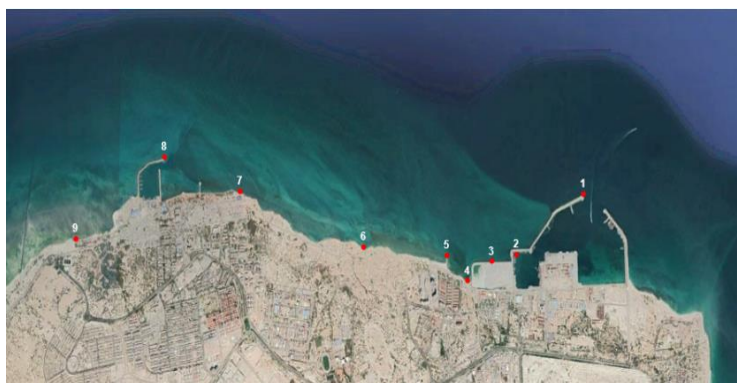
No.	Time	Temp (°C)	pH	TDS (g/L)	EC (mS/cm)
۱	۱۵:۲۱	۲۴	۷,۱	۳۶,۱	۵۰,۶
۲	۱۵:۰۹	۲۲,۵	۷,۱	۲۶,۳	۵۰,۶
۳	۱۴:۴۱	-	۷,۱	۳۵,۷	۵۰,۶
۴	۱۵:۵۵	۴۲	۷,۴	۴۳	۵۸,۵
۵	۱۶:۱۰	۲۲,۵	۷,۱	۳۶,۶	۵۰,۵
۶	۱۶:۳۰	۲۲	۷,۲	۳۶,۶	۵۰,۷
۷	۱۶:۵۰	۲۲,۵	۷,۱	۳۶,۵	۵۰,۷
۸	۱۷:۲۵	۲۲,۵	۷,۱	۳۶,۸	۵۱
۹	۱۷:۴۰	۲۰	۶,۹	۴۰	۵۴,۶



شکل ۱۰: شناور پره‌ای سطحی، راست: شناور زرد و پره قرمز در حال انداختن داخل آب - چپ: چهار پره در زیر آب در حال حرکت با جریان دریایی

۳-۲- اندازه‌گیری مرحله اول

در مرحله اول اندازه‌گیری در بهمن ماه سال ۱۴۰۰، نمونه برداری در ۹ نقطه که در شکل جدول (۱) مشاهده می‌گردد در محدوده خط ساحلی انجام گرفت. نمونه‌برداری از نقاط ۱، ۳، ۵ و ۸ از کنار موج شکن‌ها و نقطه ۲ از داخل حوضچه آرامش انجام گرفت. نتایج آزمایشات پارامترهای کیفیت آب در جدول (۱) آرایه گردیده است. همانطور که نتایج آزمایش نشان می‌دهد در نقطه ۴ که محل خروجی پساب می‌باشد تغییرات پارامترهای کیفیت آب کاملاً واضح می‌باشد. بطوریکه میانگین پارامترهای دما، PH و هدایت الکتریکی نقاط ۲ تا ۸ بترتیب ۲۲/۴، ۷/۱ و ۵۰/۶ می‌باشد که در نقطه ۴ این پارامترها به ترتیب افزایش ۸۸٪، ۴٪ و ۱۶٪ داشته‌اند. عملاً با نزدیکی به محل خروجی پساب پارامترهای کیفی آب تحت تاثیر قرار گرفته و با دور شدن از این ناحیه میزان تاثیرات کاهش پیدا می‌کند. دلیل این امر افزایش سرعت جریان می‌باشد که در ناحیه اطراف محل خروجی پساب همانطور که پیش‌تر نیز اشاره گردید، کاهش یافته است.



جدول ۲. اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت آب در محدوده نزدیک خروجی پساب

No.	Time	Temp (°C)	EC (mS/cm)
۱	۱۲:۳۰	۳۶,۵	۵۶,۶
۲	۱۲:۳۵	۳۷	۵۶,۶
۳	۱۲:۴۵	۳۷	۵۵,۷
۴	۱۲:۵۰	۳۷	۵۶,۴
۵	۱۳:۰۵	۳۷	۵۶
۶	۱۳:۱۷	۳۸	۵۶,۹
۷	۱۳:۲۲	۳۷,۵	۵۴,۹
۸	۱۳:۲۶	۴۸,۵	۶۴,۳
۹	۱۳:۳۴	۴۰,۵	۶۷,۹
۱۰	۱۳:۳۷	۴۲	۶۲,۴
۱۱	۱۳:۴۵	۴۶	۶۱,۵
۱۲	۱۳:۴۹	۳۷	۵۹



به منظور درک بهتر از نحوه انتشار پساب آب شیرین کن و با توجه به شرایط محیطی، المان‌های مرزی و عدم امکان سنجش کامل پهنه مورد نظر، از مدل‌سازی ریاضی جهت مدل‌سازی انتشار پساب استفاده گردید.

۴-۱- معادلات دیفرانسیل و نرم افزار مدل‌سازی

جهت مدل‌سازی جریان آب و نحوه انتقال و انتشار از حل عددی معادلات ریاضی استفاده می‌گردد. معادلات هیدرودینامیک تغییر سطح آب و جریان تحت اثر نیروهای مختلف در دریا توسط مدول هیدرودینامیک مشخص می‌گردد. این معادلات سه بعدی با انتگرال‌گیری بر روی عمق (معادلات آب کم عمق) به معادلات دو بعدی بقای جرم و بقای حرکت (ناویر-استوکس) به عنوان معادلات حاکم تبدیل می‌گردد. معادله پیوستگی متوسط‌گیری شده در عمق بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial UH}{\partial x} + \frac{\partial VH}{\partial y} = 0$$

که در آن ζ تراز سطح آزاد آب، H عمق جریان، U و V سرعت آب در راستای x و y که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$U = \frac{1}{H + \zeta} \int_{-H}^{\zeta} u dz ; V = \frac{1}{H + \zeta} \int_{-H}^{\zeta} v dz$$

مختلف در مردادماه ۱۴۰۱ اندازه‌گیری گردید. در این مرحله سعی گردید با توجه به شرایط تلاطم دریا، هیدروگرافی، تردد شناورها و محدوده مدل‌سازی عددی زمان و مکانی انتخاب گردد که بیان‌گر مناسب‌ترین حالت از وضعیت پارامترهای مدنظر باشد.

همانطور که مقدار پارامترهای دما و شوری نشان می‌دهد بدلیل افزایش سرعت جریان در فاصله دورتر از محدوده برداشت مراحل قبل، مقادیر پارامترهای دما و PH و EC به حالت عادی آب دریا نزدیک شده است، بطوریکه تقریباً هر سه شرایط یکسانی را دارند. این درحالی است که در برداشت‌های مرحله اول و دوم که در نزدیکی خروجی آب شیرین کن انجام شده بود این تغییرات با نزدیک شدن به محل خروجی پساب افزایش قابل توجه داشت.

دربازه زمانی اندازه‌گیری مرحله سوم جهت غلب جریان‌های جزرومدی از سمت شرق به غرب بوده است. جهت اندازه‌گیری سرعت و جهت جریان همانطور که در بخش روش اندازه‌گیری اشاره گردید، در یک بازه زمانی چند دقیقه‌ای میزان جابجایی اندازه‌گیری گردید تا مقادیر متوسط تغییرات سرعت ثبت گردد.

نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی با نتایج مطالعات سایر محققین [۳] در خصوص تاثیر پساب آب شیرین کن بر اجتماعات زیستی محلی و بطور مشخص خطر اثرات آن بر محیط مرجانی در جزیره کیش منطبق می‌باشد. همانطور که در مطالعه دیگری [۶] تاکید گردیده است ساخت بنادر بدون تمهیدات مدیریت رسوب و کیفیت آب، تبعات زیست‌محیطی دارد، نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی موید این موضوع نیز می‌باشد.

۴-۲- مدل‌سازی جریان و کیفیت آب

No.	Time	Temp (°C)	Salinity (psu)	Current Speed (m/s)	Direction (Deg)
۱	۱۳:۴۵	۳۵	۳۳,۶	۰,۳۱	۳۰,۴
۲	۱۴:۰۵	۳۵	۳۲,۵	۰,۳۲	۳۰,۱
۳	۱۴:۱۶	۳۵	۳۲,۵	۰,۴۸	۲۹۳,۶



که در آن C غلظت کمیت مورد نظر مثل دما یا شوری در هر المان D_x و D_y متوسط ضریب انتشار در امتداد x و y و کمیت S منابع چشمه یا چاه کمیت مورد نظر در هر المان می باشد.

در حال حاضر نرم افزارهای مدل سازی مختلفی توسط محققان و مهندسان جهت مدل سازی و طراحی مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به هدف مدل سازی هر کدام از نرم افزارها دارای مزیت های بیشتری جهت استفاده کاربر می باشند. نرم افزار مایک ۲۱ (Mike 21) توسط شرکت DHI ارایه گردیده است و یکی از پرکاربردترین نرم افزارهای مدل سازی در حوزه سواحل و بنادر می باشد. مدل سازی در این نرم افزار برپایه معادلات دوبعدی متوسط گیری شده عمق جهت شبیه سازی هیدرودینامیک الگوی جریان طی جزر و مدهای مختلف تعریف گردید. پارامترهای اصلی هیدرودینامیکی مورد استفاده در مدل سازی این مطالعه تعیین شرایط مرزی، میزان جزر و مد، ضریب زبری بستر و چسبندگی می باشد. از تغییرات اثر موج و باد با توجه به شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه صرف نظر گردید.

۴-۲- میدان محاسباتی و مش بندی

محدوده میدان محاسباتی همانطور که در شکل (۷) مشاهده می گردد، تعیین گردید. موقعیت بندر و محل خروجی پساب در محدوده میانی میدان محاسباتی به ترتیب با فاصله های ۳/۵، ۴/۵ و ۴/۳ کیلومتر از مرز شرقی، شمالی و غربی می باشد. مرزهای این محدوده در فواصل انتخاب گردید که تغییرات دما و شوری در این نواحی متصور نباشد. جهت مدل سازی دقیق تر اطلاعات هندسی و

معادله اندازه حرکت در جهت x متوسط گیری شده در عمق بصورت زیر نوشته می شود:

$$\frac{\partial(UH)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(U^2H) + \frac{\partial}{\partial y}(UVH) = -gH \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{\tau_{xz_b}}{r} + v^t H \left[\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right]$$

و معادله اندازه حرکت در جهت y متوسط گیری شده در عمق بصورت زیر نوشته می شود:

$$\frac{\partial(VH)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(UVH) + \frac{\partial}{\partial y}(V^2H) = -gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{\tau_{yz_b}}{\rho} + v^t H \left[\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right]$$

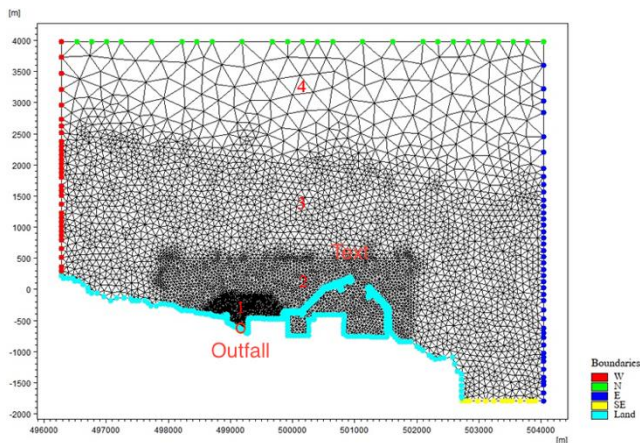
که در آن v^t ویسکوزیته سینماتیکی آشفنگی می باشد. τ_{yz_b} و τ_{xz_b} تنش برشی در راستای x و y که از روابط زیر بدست می آید:

$$\tau_{xz_b} = \rho \frac{g}{C_{chezy}^2} U \sqrt{U^2 + V^2}$$

$$\tau_{yz_b} = \rho \frac{g}{C_{chezy}^2} V \sqrt{U^2 + V^2}$$

که در آنها ρ چگالی آب، g شتاب ثقل و C_{chezy} ضریب شزی می باشد. معادله انتقال انتشار متوسط گیری شده در عمق نیز به شرح ذیل می باشد:

$$\frac{\partial(HC)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(HUC) + \frac{\partial}{\partial y}(HVC) = HD_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + HD_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + S$$



شکل ۱۲: محدوده مدل‌سازی و مش‌بندی

۴ - ۳ - شرایط اولیه، مرزی و بستر

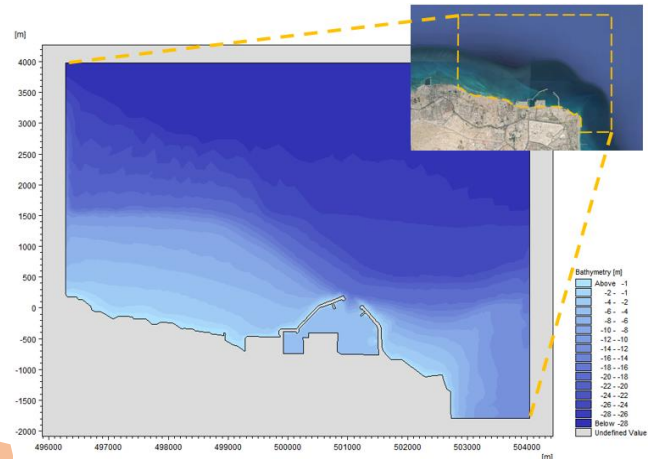
۴ - ۱ - ۳ - شرایط اولیه

جهت مدل‌سازی مقدار اولیه تراز سطح آب ۱/۷۹۲ متر مطابق با مقدار جزر و مد اندازه‌گیری شده اعمال گردید. سرعت اولیه در راستای X و Y به ترتیب برابر با ۰/۰۱ و ۰/۰۱ تعریف گردید. باتوجه به اینکه تغییرات شوری در طول یک شبانه‌روز در محدوده مطالعاتی بسیار اندک بوده است مقدار شوری مبنا ۳۲ *psu* در شرایط اولیه ثابت فرض گردید؛ درخصوص تغییرات دما علی‌رغم اینکه تغییرات دما در طول روز متفاوت است، لیکن دمای آب در منطقه تغییرات چندانی نداشت و مقدار دمای اولیه ۳۴ درجه سانتی‌گراد تعریف گردید. مقدار دبی خروجی پساب $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ با شوری ۴۵ *psu* و دمای خروجی ۵۰ درجه سانتی‌گراد فرض گردید. میزان دبی خروجی باتوجه به ظرفیت و راندمان تاسیسات آب‌شیرین‌کن فرض گردید. مقادیر شوری و دمای خروجی نیز باتوجه به مقادیر اندازه‌گیری شده در محل خروجی پساب در مدل‌سازی اعمال گردید. دبی خروجی بصورت نقطه‌ای در محل لوله خروجی پساب و با آهنگ ثابت در طول مدل‌سازی تعریف گردید.

۴ - ۳ - ۲ - شرایط مرزی جریان

تعریف مناسب شرایط مرزی در مدل‌سازی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از اینرو با توجه به اطلاعات و مدل‌سازی‌های انجام شده و قابل استناد در پهنه گسترده خلیج فارس، جهت دقت بیشتر مدل‌سازی و با توجه به عدم وجود اطلاعات از پارامترهای محیطی

عمق‌سنجی^۲ منطقه مورد نظر در مدل‌سازی تعریف گردیده است. شکل (۱۱) نشان دهنده موقعیت محدوده مدل‌سازی در شمال شرقی جزیره کیش و نیز داده‌های ترسیم شده عمق‌سنجی می‌باشد.



شکل ۱۱. محدوده مدل‌سازی و تغییرات تراز بستر دریا در محدوده ساحل شمال شرقی

برای مدل‌سازی جریان و تغییرات دما در محدوده مورد مطالعه از ماژول مدل جریان با مش‌های منعطف (Flow Model (FM)) نرم افزار مایک استفاده گردید. این ماژول امکان مدل‌سازی دوبعدی با در نظر گرفتن تغییرات عمق بستر با مش‌بندی انعطاف‌پذیر را دارد. مش‌بندی انجام شده در این میدان از نوع مثلثی با ابعاد متغییر ۷ متری تا ۲۰۰ متری در ۴ بخش مختلف همانطور که در شکل (۱۲) مشاهده می‌گردد، تقسیم بندی گردید.

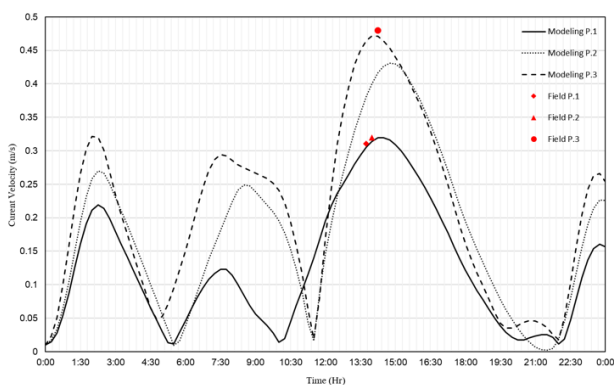
بخش اول با مش‌های با حداکثر بعد ۱۶۰ متر در محدوده مابین نوار ساحلی به طول حداکثر ۱/۸۱ کیلومتر و حداکثر فاصله ۶۱۰ متر از محل خروجی پساب، بخش دوم متشکل از مش‌هایی با حداکثر بعد ۱۹۰ متر با حداکثر طول ۴/۰۳ کیلومتر و عرض ۱/۳۵ کیلومتر، بخش سوم با بزرگترین بعد مش ۲۱۲ متری و حداکثر طول و عرض ۷/۷ و ۳/۲ کیلومتر و بخش چهارم با حداکثر بعد مش ۲۳۳ متر و حداکثر طول و عرض ۷/۷ و ۲/۶ کیلومتر تعیین گردید.

^۲. Hydrography

اعمال نگردیده است. شایان ذکر است در مدل سازی انتشار حرارتی دمای هوای محیط اعمال گردیده است. همانطور که در بخش های قبلی نیز اشاره گردید، پساب خروجی توسط دو مسیر نهر و لوله در مرز خط ساحلی به دریا انتقال پیدا می کند و دارای هیچگونه دیفیوزر نمی باشد.

۴-۴- نتایج مدل سازی

در ادامه بخش قبل در مورد تعریف پارامترهای مختلف و مورد نیاز موثر در مدل سازی توضیح داده شد، نتایج مدل سازی انتشار شوری و دما در روز ۱۰ مرداد ۱۴۰۱ به شرح ذیل انجام گردید. مدلسازی برای یک روز کامل (۲۴ ساعت) که شامل ۲ جزر و مد می باشد، انجام شد. جزر و مد اول با هدف آماده سازی مدل (warm-up) منظور شده بود که از آن برای مقایسه نتایج استفاده نشده است (شکل ۱۳). گام های اعلام خروجی نتایج هر ۱۵ دقیقه یکبار تنظیم گردید. حداقل و حداکثر گام زمانی حل معادلات در مدلسازی ۰/۰۰۱ و ۳۰ ثانیه به ترتیب انتخاب گردید. نرم افزار Mike2۱ بصورت خودکار پایداری Courant را کنترل و در صورت نیاز گام های محاسباتی را اصلاح می کند. از آنجاکه دقت مدل سازی باید با روشی دیگر واسنجی گردد، نتایج مدل با اندازه گیری میدانی مقایسه گردید. شکل (۱۳) تغییرات سرعت در مدل عددی و مقدار اندازه گیری شده در برداشت میدانی سوم را نشان میدهد.



شکل ۱۳: تغییرات سرعت مدل عددی و اندازه گیری میدانی.

همانطور که مشاهده می گردد اختلاف میزان سرعت در مدل سازی و مقدار اندازه گیری شده در نقطه ۱ و ۳ در زمان های مورد نظر تقریباً برهم منطبق هستند. در نقطه ۲ بدلیل موقعیت

در محدوده مورد مطالعه شامل خروجی تاسیسات آب شیرین کن و بندر تجاری کیش، محدوده مدل سازی مطابق با شکل (۱۲) تعریف گردید. برای اطراف میدان محاسباتی تعداد پنج مرز تعریف شد: (۱) مرز خط ساحلی، موج شکن ها و حوضچه بندرگاه (Land) به رنگ آب آسمانی، این مرز از نوع مرز خشکی بوده و سرعتی عمود بر آن وجود ندارد. (۲ و ۳) مرز جزر و مد در شرق east به رنگ آبی و جنوب شرقی south-east به رنگ زرد، داده های این دو مرز با استفاده از اطلاعات اندازه گیری شده جزر و مد در کناره موج شکن اعمال گردیدند. (۴) مرز باز در شمال north به رنگ سبز، که امکان عبور جریان از این مرز وجود دارد. (۵) مرز جزر و مد در غرب west به رنگ قرمز، داده های این مرز با استفاده از اطلاعات اندازه گیری شده جزر و مد با احتساب بازه زمانی لازم برای حرکت جزر و مد در فاصله مکانی حدود سه کیلومتر اعمال گردیدند. اطلاعات مرزی مورد استفاده در مرز شرقی و جنوب شرقی محدوده مدل سازی، داده های جزر و مدی اندازه گیری شده در تاریخ ۱۰ مرداد ۱۴۰۱ می باشد و در شکل (۸) نشان داده شده است. با توجه به جریان غالب جزر و مد در خلیج فارس و تنگه هرمز که از سمت تنگه به سمت خلیج فارس در زمان مد می باشد، با در نظر گرفتن موقعیت جزیره کیش، محدوده مدل سازی، مستندات قبلی و مشاهدات میدانی جزر و مد مرز شرقی و جنوب شرقی با فاصله زمانی کوتاه به مرز غربی نیز منتقل می گردد.

۴-۳-۳- مشخصات بستر

مقدار ضریب زبری بستر معادل عدد مانینگ به مقدار $32 \text{ s/m}^{1/3}$ و ضریب چسبندگی برابر با $0.02 \text{ m}^2/\text{s}$ با توجه به مشاهدات میدانی و مطالعات انجام شده [۲۶-۲۸] منظور گردید. ضریب چسبندگی در نرم افزار Mike2۱ با عنوان ضریب ویسکوزیته گردابی افقی (Horizontal Eddy Viscosity) تعریف گردید.

۴-۳-۴- مشخصات سطح آزاد

با توجه به اینکه هدف از اندازه گیری و مدل سازی بررسی اثرات خروجی پساب تاسیسات آب شیرین کن در محیط پیرامونی می باشد، محدوده مدل سازی با وسعت گسترده انتخاب نگردیده است. زمان انتخابی جهت اندازه گیری و مدل سازی وزش باد بسیار کم بوده و از اینرو شرایط مرزی خاصی برای وزش باد به سطح آزاد آب در مدل

موجب افزایش ۳ درجه‌ای محدوده شده است ۱۷۰ متر از محل خروجی است. بر اساس توصیه مراجع علمی معتبر، به منظور پرهیز از اثرات مخرب محیط زیستی ناشی از تغییرات دما لازم است میانگین افزایش دما در فاصله ۳۰۰ متری از محل خروج پساب از یک درجه تجاوز نکند [۲۹]. با عنایت به اینکه دما در محدوده کمتر از ۳۰۰ متر تا حدود ۳ درجه افزایش یافته می‌توان گفت شرایط فعلی از نظر توصیه نامه های معتبر [۳۰] مشکل دارد:

در صورتیکه ملاحظات لازم در محل خروجی پساب با توجه به موج‌شکن‌های بندر رعایت می‌گردید؛ جریان در محدوده نزدیک ساحل سرعت به مراتب بیشتری داشت و میزان اختلاط آب گرم خروجی از تاسیسات آب شیرین‌کن و آب دریا بسیار بیشتر بود، آب گرم خروجی آب شیرین‌کن سریعتر با آب دریا اختلاط پیدا می‌کرد و زودتر محو می‌گردید. لیکن در حال حاضر بعلت تطویل موج‌شکن‌ها میزان سرعت جریان در نزدیکی ساحل به شدت کاهش یافته و محدوده وسیع‌تری تحت اثر دمای بالاتر قرار می‌گیرد.

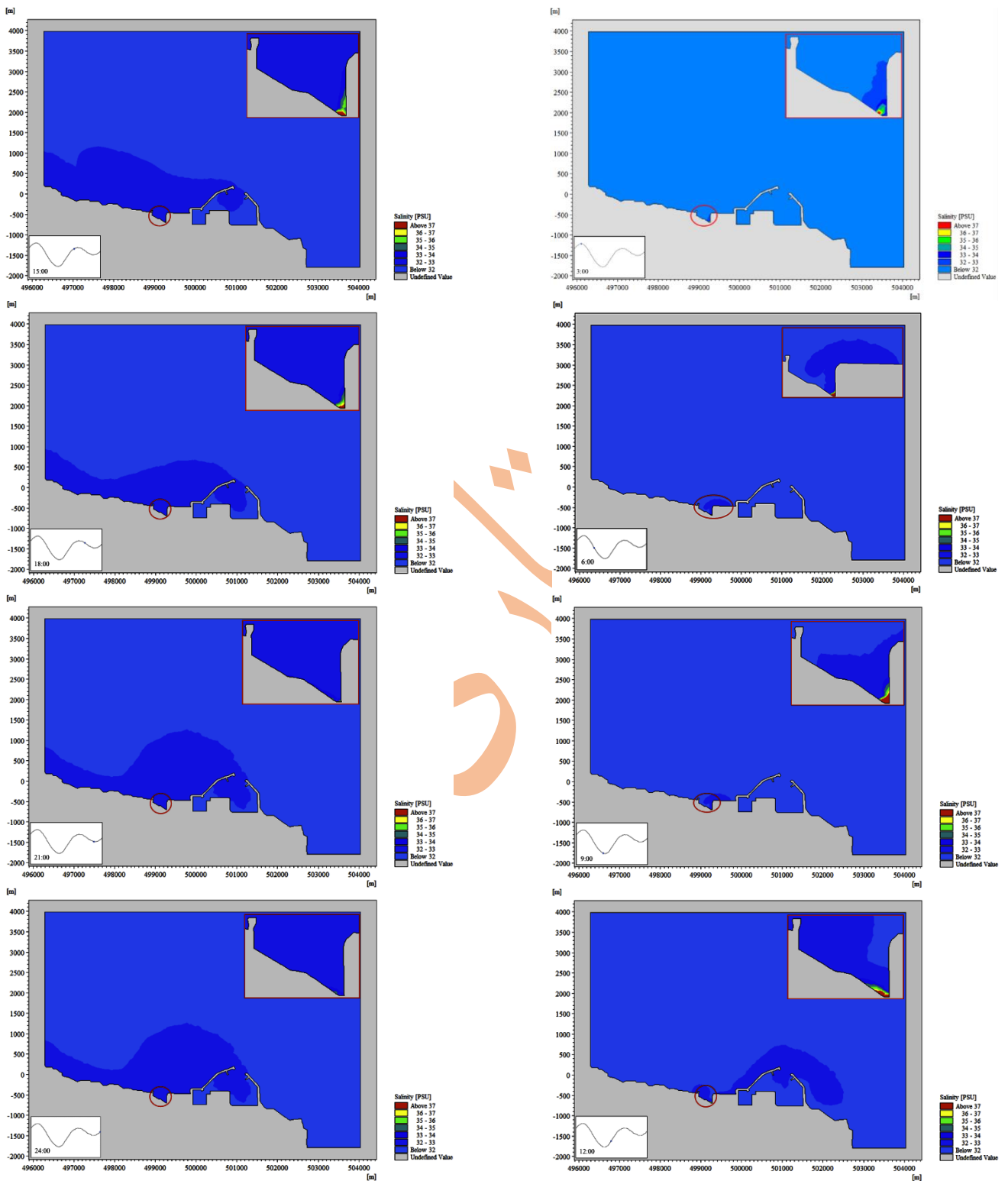
ورودی بندرگاه و تغییر جهت های احتمالی میزان سرعت اندازه‌گیری شده و مدل‌سازی با مقدار مدل‌سازی اختلاف دارد. جدول (۴) نیز نشان دهنده مقدار دما در سه نقطه اندازه‌گیری شده در برداشت سوم و مدل عددی می‌باشد. همانطور که دمای اندازه‌گیری شده در سه نقطه ثابت می‌باشد در مدل‌سازی نیز با اختلاف ۱ درجه تغییرات دمایی در این سه نقطه وجود ندارد.

جدول ۴. مقادیر میزان دمای اندازه‌گیری میدانی و مدل‌سازی

No.	Temp (°C) Field	Temp (°C) Model
۱	۳۵	۳۴
۲	۳۵	۳۴
۳	۳۵	۳۴

شکل (۱۳) و جدول (۴) نشان می‌دهد که نتایج مدل عددی می‌تواند معیار مناسبی از شرایط موجود در واقعیت باشد. شکل (۱۴) الگوی انتشار شوری در ساعات مختلف مدل‌سازی را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۱۴) مشاهده می‌گردد گستره قابل توجهی از محدوده مدل‌سازی تحت تاثیر پساب خروجی آب شیرین‌کن قرار گرفته است. میزان شدت تغییرات پارامترهای کیفیت آب همانطور که در اندازه‌گیرهای میدانی در جدول (۲۱) نیز نشان داده شده است در اطراف محل خروجی پساب مشهود می‌باشد. این درحالی است که نتایج رایج گردیده در این مقاله، مدل‌سازی انجام شده برای یک روز می‌باشد و طبیعتاً تاثیرات خروجی پساب در طی ادوار گذشته و در آینده مقادیر قابل توجهی می‌باشد. همانطور که ابعاد محدوده مدل‌سازی نشان می‌دهد از محل خروجی پساب تا ورودی بندرگاه در سمت شرق و تا انتهای محدوده غربی مدل به ترتیب فواصلی بیش از حدود ۲ و ۳ کیلومتر می‌باشد. این میزان تحت تاثیر قراردادن شوری و دما در خط ساحلی، حوضچه بندرگاه و متعاقباً حجم کرانه ساحلی تاثیر قابل توجهی بر محیط زیست دریا خواهد داشت. این درحالی است که ورودی تاسیسات آب شیرین‌کن نیز در این محدوده قرار دارد که باید در بهترین مکان ممکن از لحاظ کیفیت آب ورودی قرار داشته باشد.

بررسی توزیع حرارت در زمانهای مختلف شکل (۱۴) نشان می‌دهد که فاصله دورترین نقطه ای که در آن دمای خروجی آب



شکل ۱۴: الگوی انتشار شوری در ساعت‌های مختلف مدسازی

۵ - نتیجه گیری

همچنین در صورت وجود طرح توسعه برای تاسیسات آب شیرین کن جزیره کیش، توصیه می‌گردد محل آبرگیر آب شیرین کن تغییر یابد. جهت تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد اعمال تغییرات شبانه‌روزی دما، کاربرد تئوری‌های مختلف آشفستگی و بررسی شرایط انتشار بدون وجود موج‌شکن‌های جدید در مدلسازی مدنظر قرار گرفته و تاثیر بلندمدت انباشت شوری در رسوبات بستر و تاثیر آن بر زیست بوم نیز بررسی گردد.

منابع

۱. Falconer, R. A., ۱۹۹۲. Flow and water quality modelling in coastal and inland water. *Journal of Hydraulic Research*, ۳۰(۴), pp. ۴۳۷-۴۵۲
doi.org/10.1080/00221689209498893
۲. Morton, A.J., Callister, I.K. and Wade, N.M., ۱۹۹۷. Environmental impacts of seawater distillation and reverse osmosis processes. *Desalination*, 108 (۱-۳), pp. ۱-۱۰
[doi:10.1016/S0011-9164\(97\)0002-7](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(97)0002-7)
۳. Talavera, J.P. and Ruiz, J.Q., ۲۰۰۱. Identification of the mixing processes in brine discharges carried out in Barranco del Toro Beach, south of Gran Canaria (Canary Islands). *Desalination*, 139 (۱-۳), pp. ۲۷۷-۲۸۶
[doi:10.1016/S0011-9164\(01\)0320-4](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(01)0320-4)
۴. Danoun, R., ۲۰۰۷. Thesis. Desalination Plants: Potential impacts of brine discharge on marine life.
۵. Fernández-Torquemada, Y., González-Correa, J.M., Loya, A., Ferrero, L.M., Díaz-Valdés, M. and Sánchez-Lizaso, J.L., ۲۰۰۹. Dispersion of brine discharge from seawater reverse osmosis desalination plants. *Desalination and Water Treatment*, 5(۱-۳), pp. ۱۳۷-۱۴۵
[doi:10.5004/dwt.2009.576](https://doi.org/10.5004/dwt.2009.576)
۶. Kudale, M.D., ۲۰۱۰. Impact of port development on the coastline and the need for protection. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 39(۴), pp. ۵۹۷-۶۰۴.
۷. Marjani, A. and Jamali, M., ۲۰۱۴. Role of exchange flow in salt water balance of Urmia Lake. *Dynamics of atmospheres and oceans*, 65, pp. ۱-۱۶
[doi:10.1016/j.dynatmoce.2014.10.001](https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2014.10.001)
۸. Soltanpour, M. and Dibajnia, M., ۲۰۱۵. Field measurements and 3D numerical modeling of

با توجه به صحت‌سنجی نتایج حاصل از مدل‌سازی با اندازه‌گیری میدانی نتیجه داد که الگوی مدلسازی شده انتشار شوری در محدوده اطراف خروجی پساب تاسیسات آب شیرین کن شمالی جزیره کیش دقت خوبی دارد. نتایج آزمایشات ۲۴ نقطه مختلف از پارامترهای کیفیت آب در محدوده ساحل شمالی جزیره کیش نشان می‌دهد در نزدیکی محل خروجی پساب آب شیرین کن دما و شوری افزایش قابل توجهی دارد. بطوریکه دما و شوری آب در نزدیکی خروجی حدود ۱۶-۱۵ درصد بالاتر از مقادیر طبیعی اندازه‌گیری شد و مدل عددی نیز همین حدود افزایش را تایید نمود.

در صورتیکه ملاحظات لازم در محل خروجی پساب با توجه به موج‌شکن‌های بندر رعایت می‌گردید؛ جریان در محدوده نزدیک ساحل سرعت به مراتب بیشتری داشت و میزان اختلاط آب گرم خروجی از تاسیسات آب شیرین کن و آب دریا بسیار بهتر و در محدوده کوچکتری اتفاق می‌افتاد. در نتیجه آب گرم خروجی آب شیرین کن سریعتر با آب دریا اختلاط پیدا می‌کرد و زودتر محو می‌گردید. لیکن با توجه به وجود موج شکنها در نزدیکی محل خروج پساب آب شیرین کن، میزان سرعت جریان در نزدیکی ساحل به شدت کاهش یافته و محدوده وسیع‌تری تحت اثر دمای بالاتر قرار می‌گیرد.

بطوریکه در ناحیه تداخل ریختن پساب از لوله و نهر خروجی، میانگین پارامترهای دما و هدایت الکتریکی نسبت به سایر نقاط پیرامونی به ترتیب افزایش ۱۵/۸۶٪ و ۱۴/۸٪ داشته است. همانطور که نتایج مدل عددی نشان داده است، گستره قابل توجهی از محدوده مدل‌سازی تحت تاثیر پساب خروجی آب شیرین کن قرار گرفته است. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد لازم باشد برای کاهش اثرات منفی زیست محیطی بازنگری لازم نسبت به نحوه پخش پساب فعلی در داخل آب دریا اقدام شود. یکی از راهکارهای مناسب می‌تواند نصب دیفیوزر یا افشانه در دهانه لوله خروجی باشد تا پساب به طور مناسب‌تری از لحاظ نحوه پخش وارد دریا گردیده و اختلاط اولیه بهبود یابد. در بلندمدت نیز بهتر است محل تخلیه به منطقه‌های دورتر از ساحل و نقاطی با سرعت آب بیشتر انتقال یابد.

from multiple sources along the Mediterranean coast of Israel. *Water Research*, 173, p.110000.

[doi:10.1016/j.watres.2020.110000](https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.110000).

18. Pereira, S.P., Rosman, P.C.C., Alvarez, C., Schetini, C.A.F., Souza, R.O. and Vieira, R.H.S.F., 2010. Modeling of coastal water contamination in Fortaleza (Northeastern Brazil). *Water Science and Technology*, 72(7), pp.928-937. [doi:10.2166/wst.2010.292](https://doi.org/10.2166/wst.2010.292).

19. Pradhan, U., Panda, U.S., Naik, S., Mishra, P., Kumar, D.S., Begum, M. and Murthy, M.R., 2022. Coupled hydrodynamic and water quality modeling in the coastal waters off Chennai, East Coast of India. *Frontiers in Marine Science*, 9, p.987067. [doi:10.3389/fmars.2022.987067](https://doi.org/10.3389/fmars.2022.987067).

20. Safaie, A. and Jamaat, A., 2024. Numerical study of hydrodynamics and salinity transport processes in a hypersaline lake: A case study of Lake Urmia. *Advances in Water Resources*, 185, p.106732. [doi:10.1016/j.advwatres.2024.106732](https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2024.106732).

21. Jia, Y., Yang, X., Jiang, H., Lu, B., Tuo, Y., Deng, Y., Zhang, X. and Li, J., 2024. Effect of two-dam coexistence on thermal regime: A special withdrawal measure in Fengman reservoir, China. *Ecological Informatics*, 82, p.102716. [doi:10.1016/j.ecoinf.2024.102716](https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102716).

22. Nia, M.Y., Canestrelli, A., Klammler, H., Annable, M.D., Pinton, D. and Jawitz, J.W., 2024. An analytical approach to predict seasonal salinity variations in estuaries. AGU24 (New Orleans).

23. Ahmed, S.I.A., Elsaie, Y., Soussa, H., Gado, M.S. and Balah, A., 2022. Review on Hydrodynamic Modelling of Desalination Plants Brine Effluent Marine Outfalls. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 8, p.7. [doi:10.22117/ijaems.87,3](https://doi.org/10.22117/ijaems.87,3)

24. Amini, H., Lam, M.Y. and Ahmadian, R., 2020. Artificial Intelligence predictive models for diurnal and seasonal shallow lake turnovers. Copernicus Meetings. No. EGU20-20970 <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu20-20970>.

25. Lumpkin, R., Özgökmen, T. and Centurioni, L., 2017. Advances in the application of surface drifters. *Annual review of marine science*, 9(1), pp.09-81 [doi:10.1146/annurev-marine-010816-06661](https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010816-06661).

hydrodynamics in Chabahar Bay, Iran. *International journal of maritime technology*, 3, pp.49-70.

[dor:20.1001.1.23456789.2010.3.1.3](https://doi.org/10.1001/1.23456789.2010.3.1.3).

9. Abessi, O. and Roberts, P.J., 2016. Dense jet discharges in shallow water. *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(1), p.04010033 [doi:10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.2010.057](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.2010.057).

10. Sola, I., Zarzo, D. and Sánchez-Lizaso, J.L., 2019. Evaluating environmental requirements for the management of brine discharges in Spain. *Desalination*, 471, p.114132. [doi:10.1016/j.desal.2019.114132](https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.114132).

11. Anton, J., Tse, E. and Wells, C., 1991, September. Parameter identification criteria for salt brine dispersion from desalination plant ocean outfalls. In IEEE 1991 Conference on Engineering in the Ocean Environment (pp. 213-216). IEEE. <https://doi.org/10.1109/OCEANS.1991.116103>.

12. Steedman, R.K. and Craig, P.D., 1983. Wind-driven circulation of Cockburn Sound. *Marine and Freshwater Research*, 34(1), pp.187-212. [doi:10.1071/MF9830187](https://doi.org/10.1071/MF9830187).

13. Payo, A., Cortés, J.M., Antoranz, A. and Molina, R., 2010. Effect of wind and waves on a nearshore brine discharge dilution in the east coast of Spain. *Desalination and Water Treatment*, 18(1-3), pp.71-79. [doi:10.5004/dwt.2010.1330](https://doi.org/10.5004/dwt.2010.1330).

14. Tayyebi, S. and Alishiri, M., 2014. The control of MSF desalination plants based on inverse model control by neural network. *Desalination*, 333(1), pp.92-100. [doi:10.1016/j.desal.2013.11.022](https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.11.022).

15. Patel, Y.B., Nimbalkar, P.T., Nagendra, T. and Shukla, V.K., 2016. Numerical modeling of brine dispersion in shallow coastal waters. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 7(3). [doi:IJCIET 07 03 031](https://doi.org/10.1016/j.ijci.2016.03.031).

16. Botelho, D.A., Singh, A., Mccall, E., Vos, C., Coletti, J., Bruce, L., Lyons, S., Gartner, A., Bailey, M., Atkinson, B. and McCreath, A., 2016. Numerical simulations of brine dispersion associated with the discharge of the proposed stage 2 of the Perth Seawater Desalination Plant. In 2016 E-proceedings of the 34th IAHR World Congress (Panama City), Global Trends. <http://dx.doi.org/10.3800/34WC.92016-1344>

17. Wood, J.E., Silverman, J., Galanti, B. and Biton, E., 2020. Modelling the distributions of desalination brines

۲۶. Mishra, P., Panda, U.S., Pradhan, U., Kumar, C.S., Naik, S., Begum, M. and Ishwarya, J., ۲۰۱۵. Coastal water quality monitoring and modelling off Chennai city. *Procedia Engineering*, 116, pp.۹۵۵-۹۶۲. [doi:10.1016/j.proeng.2015.08.386](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.386).

۲۷. Kulkarni, R.R., ۲۰۱۳. Numerical Modelling of Coastal Erosion using MIKE۲۱, Master's thesis, Institutt for bygg, anlegg og transport.

۲۸. Nunes, V. and Pawlak, G., ۲۰۰۸. Observations of bed roughness of a coral reef. *Journal of Coastal Research*, 24-۲B pp.۳۹-۵۰. [doi:10.2112/05-0616.1](https://doi.org/10.2112/05-0616.1).

۲۹. Khordagui, H., ۱۹۹۷. Environmental aspects of brine reject from desalination industry in the ESCWA region. *ESCWA*, Beirut, ۲.

۳۰. Mundial, B., ۲۰۰۷. Environmental, Health, and Safety (EHS) Guidelines.

نشریه