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

امید پورعبداله[1]، رضا غیاثی [2*]

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، پردیس بین‌المللی کیش، دانشگاه تهران

۲- دانشیار، آزمایشگاه سنجش و پایش آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران

پست الکترونیکی نویسندگان:

omid.pourabdollah@alum.sharif.edu -۱

rghiassi@ut.ac.ir -۲

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 بعضا تبعات خاص زیست محیطی به همراه داشته باشد. پساب خروجی تاسیسات آب‌شیرین‌کن و به طور مشخص تغییرات میزان شوری و دما تاثیرات 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 MIKE۲۱ 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 غیاثی، 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

O. Pourabdollah [۱], R. Ghiassi [۲]

۱- Ph.D. Student of Water Science and Engineering of University of Tehran, Kish Int. Campus, Iran.

۲- Associate Prof., Water and Environmental Measurement and Monitoring Laboratory, 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 measurment, 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 MIKE۲۱ 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 ـ مقدمه و تاریخچه تحقیقات

شیرین‌سازی آب دریا یکی از بهترین یا در برخی مناطق مانند مناطق ساحلی تنها روش ممکن جهت تولید آب شیرین می‌باشد. این مناطق معمولا برای تأمین نیازهای اقتصادی، اجتماعی و حمل و نقل شامل سازه‌های بندری و دریایی می‌باشند. شیرین‌سازی سایر فرآیندهای مهم صنعتی و عمرانی دارای اثرات زیست محیطی است. تأثیر توام تاسیسات آب‌شیرین‌کن و سازه‌های بندری و دریایی بر محیط زیست ساحل می‌تواند بعضا تبعات خاص زیست محیطی به همراه داشته باشد. با توجه به ماهیت پدیده انتقال و انتشار یک ماده در ماده‌ایی دیگر که معمولا با حجم بیشتری نسبت به ماده انتقال یافته یا منتشر شده می‌باشد، پدیده انتشار پساب تاسیات آب‌شیرین‌کن‌ها بدلیل افزایش دو پارامتر اصلی دما و شوری در کنار سایر پارامترهای موثر زیست محیطی قابل اهمیت می‌باشد. برای درک کیفیی وضعیت موجود نوار ساحلی و نحوه پراکندگی پساب آب‌شیرین‌کن، جمع آوری داده‌های 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 شیرین‌کن‌های موجود در دنیا و عملا تمامی آن‌ها درکشورمان به دو روش اسمز معکوس(RO) و تقطیری (MED) شیرین‌سازی آب دریا را انجام میدهند. که در هر دو روش مذکور در کنار مصرف انرژی، پساب خروجی باعث افزایش دما و شوری می‌گردد. با توجه به اهمیت موارد زیست‌محیطی و عدم شناخت کافی نحوه انتشار پساب آب‌شیرین‌کن‌ها در موقعیت‌های مکانی مختلف، در طی سال‌های گذشته مطالعات متنوعی در بخش برداشت‌های میدانی و تحلیلی کیفیت آب سواحل انجام گرفته است.

در یکی از قدیمی‌ترین مطالعات، فالکونر [۱] یک مدل ریاضی دو بعدی متوسط گیری شده در عمق برای پیش‌بینی مشخصات جریان توسعه داد. در این مدل ارتفاع آب، سرعت میانگین در عمق وتوزیع غلظت در رودخانه‌ها، مصب ها و آب‌های ساحلی قابل محاسبه بوده است.

مورتن و همکاران [۲] اثرات زیست محیطی ساحلی تاسیسات آب‌شیرین‌کن با فرآیند اسمز معکوس در مقایسه با روش تقطیری را مورد ارزیابی قراردادند. میزان مصرف آب ورودی، دما و میزان غلظت مواد شـیمیایی پسـاب خروجی آب‌شـیرین‌کن در این مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

بررسی اثرات پساب آب شیرین‌کن 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 تالاورا و رویز انجام گرفت [۳]. دانون و همکاران [۴] اثرات پساب تاسیسات آب‌شیرین‌کن بر حیات دریا را مورد بررسی قرار دادند. شوری، دما و نوسانات قلیایی کل بدلیل تخلیه پساب از تاسیسات شیرین‌سازی می‌تواند نقش بسزایی در فراوانی و توزیع گونه های گیاهی و جانوری داشته باشد. تورکومادا و همکاران [۵] با انجام بررسی‌های میدانی، پردازش داده‌ها و مدل‌سازی در نرم افزار ArcGIS به اعتبارسنجی و ارزیابی مطالعات و مدل‌های ارایه شده پراکندگی پساب تاسیسات آب شیرین‌کن‌های 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 می‌باشد که بر مورفولوژی نوار ساحل تاثیرگذار است. درک صحیح از شناخت روند سواحل و پیش‌بینی وقایع، پیش از رخ داد از اهیمت بالایی برخوردار است. تغییرات در تاسیسات ساحلی مستلزم توجه به موضوع لایروبی و در معرض قرار گرفتن فعالیت‌ها جهت حفظ عمق مورد نیاز بندر می‌باشد. روش عبور رسوب (Sand bypassing) به عنوان یکی از بهترین روش‌ها جهت کاهش رسوب‌گذاری 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 وجنوبی تقسیم می‌کند. تفاوت‌های سطح آب وچگالی میان این دو قسمت دریاچه در بهار به دلیل ورود حجم زیادی از آب شیرین به دریاچه جنوبی افزایش می‌یابد. با توجه به تبخیر زیاد در تابستان، آن‌ها با ادغام نتایج نظریه هیدرولیک نشان دادند که جریان تبادل از طریق شکاف میان دو قسمت، تفاوت‌های

سطح آب وشوری 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 دیباج نیا [۸] انجام گرفت. در این مطالعه مدل سه بعدی با درنظر 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 نازل هایی در زوایای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه نسبت به محوری 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 یکسان سازی 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 آب های 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 آب شیرین‌کن 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 آب شیرین‌کن و به کار بردن مناسب‌ترین سیستم آب شیرین‌کن متناسب با پارامترهای مختلف بوده است. مدل سازی 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. دراین 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 ارایه 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 آب‌شرین‌کن در نوار ساحل شرقی مدیترانه پرداختند. مدل هیدرودینامیکی سه بعدی پساب خروجی، تاثیرات 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 میابد.

مدل سازی خروجی پساب تاسیسات آب‌شیرین‌کن فورتالزا برزیل توسط پریئرا و همکاران [۱۸] انجام گرفت. نتایج مدل‌سازی تخلیه پساب در کیفیت آب سواحل فورتالزا توسط محققین ارائه گردیده است، در این مطالعه ارزیابی رقیق سازی توده شوری در حوزه میدانی نزدیک ساحل و مدل سازی هیدرودینامیکی جهت ارزیابی رقیق‌سازی در محدوده دور ارایه گردید. نتایج این مطاله 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 مدلأسازی 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 PSU ۴۰۰) توسط صفایی و جماعت [۲۰] با درنظر 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 کاهش‌یافته را ارائه دادند. مطالعات مشابه دیگری نیز توسط محققین انجام گرفته است که در مقاله مروری بر مطلعات مدل‌سازی‌های انجام شده بر خروجی پساب تاسیسات آب شیرین‌کن توسط الاحمدی و همکاران [۲۳] به تعدادی از آن‌ها نیز اشاره گردیده است.

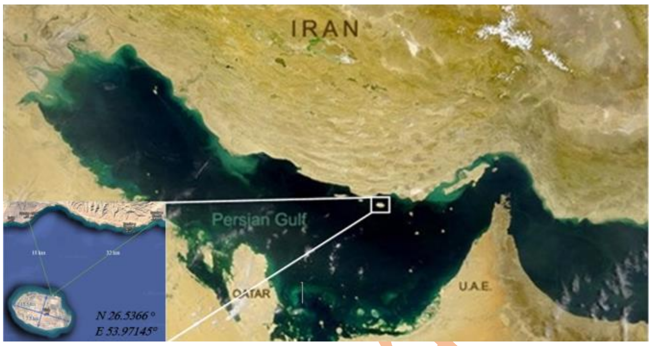
در سال‌های اخیر هوش مصنوعی کاربرد قابل توجهی در علوم مهندسی داشته است. نمونه ای از کاربرد هوش مصنوعی در مباحث مهندسی سواحل مطالعات امینی و همکاران [۲۴] در استفاده مدل‌های پیش‌بینی هوش مصنوعی برای چرخش‌های روزانه و فصلی در دریاچه‌های کم‌عمق می‌باشد. اگرچه کاربرد هوش مصنوعی نمی‌تواند جایگزین اندازه‌گیری‌های 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 ـ 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 تقریبا 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 بنادر برای تردد دریایی مسافر و بار، بندر آفتاب و بندر چارک هستند. شکل (۱)



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 زیست محیطی 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 شیرین کن 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 ″۲۶°۳۴′۰۸ شمالی و ″۵۴°۰۰′۷,۱۲ 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 می‌رود. این پروژه از سال ۱۳۵۳ آغاز به کار نموده و با نصب چهار دستگاه آب‌شیرین‌کن، فرایند شیرین‌سازی آب دریا را کلید زده است.

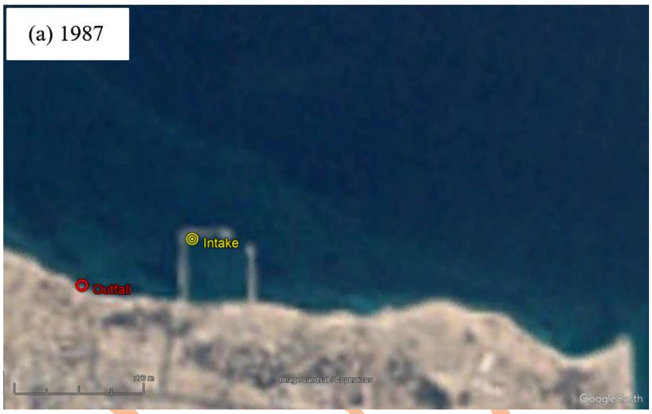
در حال حاضر، این تأسیسات قادر به تولید متوسط روزانه حدود ۲۲۰۰۰ متر مکعب آب شیرین از طریق دو روش MED (شیرین‌سازی چندمرحله‌ای) و RO (اسمز معکوس) هستند. فرایند کار به این صورت است که در هر ساعت حدود ۵۰۰۰ متر مکعب آب دریا وارد سیستم می‌شود و تقریباً ۱۰۰۰ متر مکعب آب شیرین تولید می‌گردد.

تفاوت دمایی میان آب ورودی و خروجی، بسته به فصل سال متغیر است؛ به‌عنوان مثال، در فصل تابستان، دمای آب ورودی به‌حدود ۳۶ °C رسیده و دمای پساب خروجی تا ۵۰ °C اندازه‌گیری شده است.

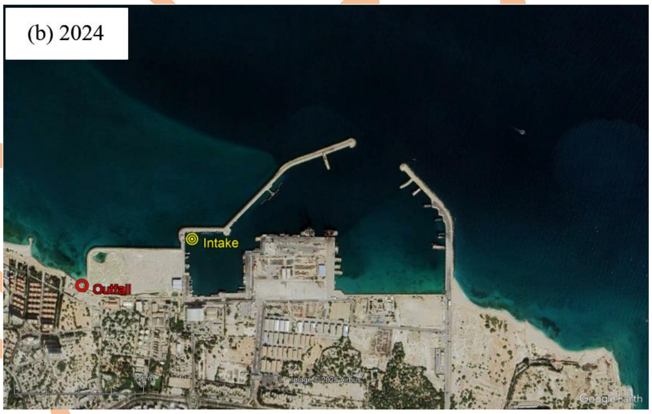

شکل ۲: موقعیت مکانی بندر شمالی و نیروگاه آب و برق کیش

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 (۳.آ) 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 موج‌شکن های بندرگاه به دو صورت مسیر روباز و لوله در سطح خط ساحلی به دریا انتقال می‌یابد:



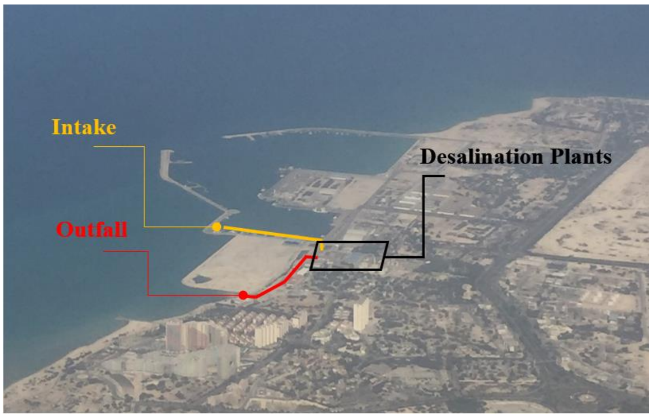
شکل ۳-آ: بندر تجاری کیش در سال ۱۹۸۷



شکل ۳-ب: بندر تجاری کیش در سال ۲۰۲۴

شرایط فعلی در سال ۱۴۰۴ از نظر موقعیت موج شکن‌ها و مرز خشکی و دریا مشابه شکل (۳. ب) می‌باشد با این تفاوت که تاسیسات در خشکی افزایش یافته و پرکردن بخش استحصال گردیده نیز تقریبا تکمیل گردیده است. پرکردن این بخش سبب نفوذ مصالح از لابه لای موج شکن غربی حوضچه به داخل آن و متعاقبا ورودی آب شیرین‌کن گردید که نیازمند تمهیدات بیشتری جهت کنترل ورودی می‌باشد.

شکل(۴) جانمایی ورودی و خروجی تاسیسات آب‌شیرین‌کن نشان داده شده است.



شکل ۴: عکس هوایی و جانمایی ورودی و خروجی تاسیسات آب‌شیرین‌کن

۲-۴- مشخصات فنی محدوده مطالعاتی

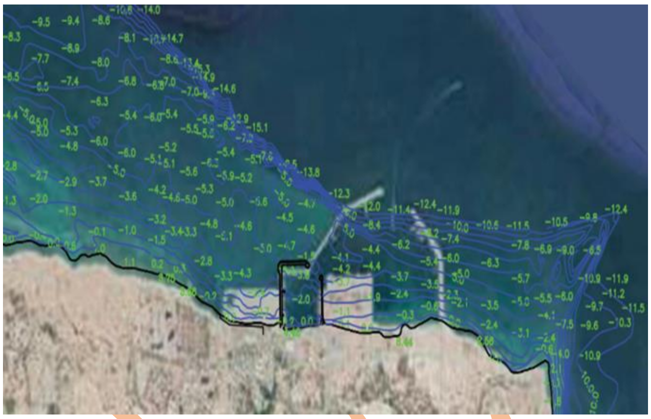
در بخش اول مشخصات فنی محدوده مطالعاتی، میدان مطالعاتی و محاسباتی شامل مشخصات هندسی و هیدروگرافی ارایه گردیده است و در بخش دوم متغیرهای هیدرولیکی و کیفی آب دریا تعریف شده است.

۲-۴-۱- میدان مطالعاتی و محاسباتی

همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، عمق آب در نواحی ساحلی اطراف بندرگاه کیش از مقادیر بسیار کم آغاز می‌شود؛ تا رسیدن به دهانه بندر، عمق میانگین به حدود ۱۲ متر می‌رسد. این نتایج بر پایه آخرین داده‌های اندازه‌گیری‌شده موجود در مرکز اسناد جزیره کیش است. در فاصله‌ای حدود ۱ کیلومتر از خط ساحلی، عمق به‌طور تقریبی به‌صورت خطی از ۰ تا ۷ متر افزایش می‌یابد؛ سپس افزایش ناگهانی به عمق حدود ۱۲ متر مشاهده می‌شود. با دور شدن از دهانه بندرگاه، عمق بستر به‌طور چشم‌گیری تا حدود ۲۵ متر افزایش می‌یابد.

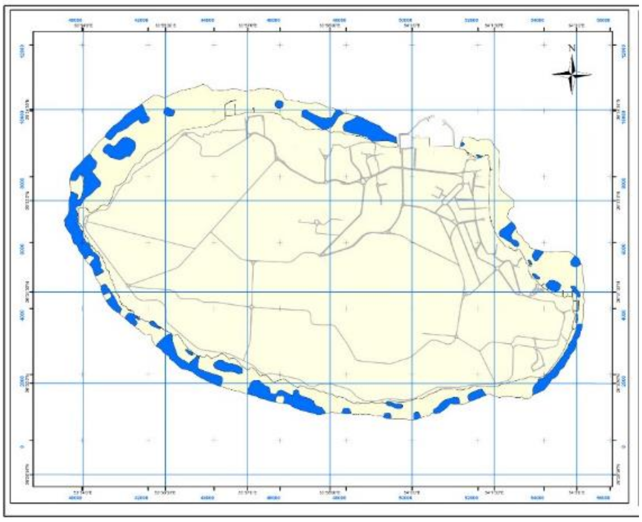
با توجه به ساختار موج جزر و مد پیرامونی جزیره کیش و اطراف بندرگاه و مقایسه آن با عمق محدود این محدوده، می‌توان از فرضیات ویژه مدل‌سازی آب‌های کم‌عمق به‌عنوان روش مناسبی در تحلیل استفاده کرد.

از آنجایی که بستر دریا در این منطقه دارای تپه‌های مرجانی زیرآبی است و این ذخایر مرجانی به‌ویژه در ناحیه غربی بندرگاه کنونی گسترده‌اند، مطالعه دقیق این محدوده از اهمیت بالایی برخوردار است. عمق متوسط بنادر مرجانی کیش حدود ۵ متر است و مرجان‌های زنده غالباً در عمق بین ۳ تا ۷ متر پراکنده‌اند.



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 عملا پدیده رسوب‌گذاری در این ناحیه مشاهده نگردد.



شکل ۶: نقشه پراکنش مرجان‌های زنده (محدوده های 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 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 ارایه گردیده است.

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

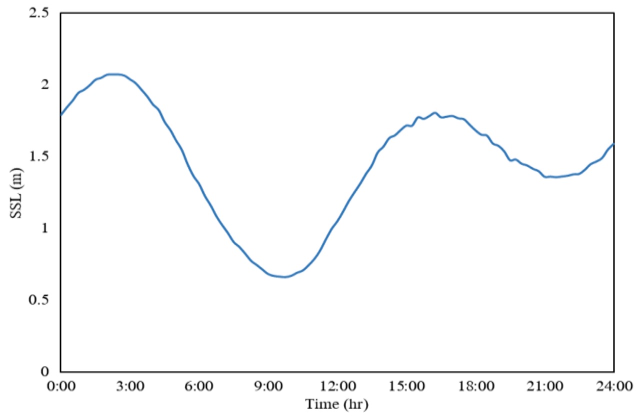
بمنظور مدلسازی جریان و کیفیت آب در منطقه مورد نظر تغییرات تراز آب در این محدوده مورد نیاز می‌باشد. در محدوده پیرامونی جزیره کیش اختلاف تراز سطح آب در روزهای مشخصی مقدار قلبل توجهی می‌باشد. بطور مثال طبق اطلاعات مندرج در سایت سازمان نقشه‌برداری میانگین سالیانه اختلاف ارتفاع تراز آب در بازه ۲۰۲۳/۳/۶ الی 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 نقشه برداری 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 ــ 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

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



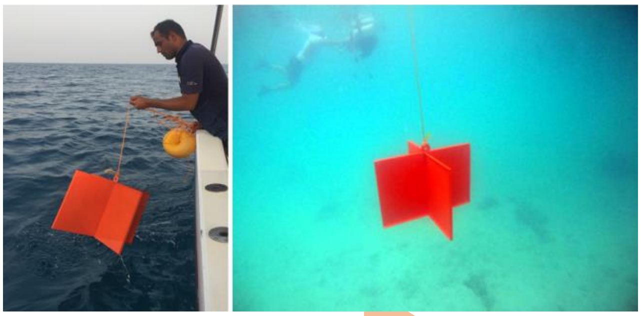
شکل ۸: نمودار جز و مد ۱۰ مرداد ۱۴۰۱

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

۳ ـ 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 جیوه‌ایی با دقت ۵+- 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 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.



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 ــ 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) ارایه گردیده است. همانطور که نتایج آزمایش نشان می‌دهد در نقطه ۴ که محل خروجی پساب می‌باشد تغییرات پارامترهای کیفیت آب کاملا واضح می‌باشد. بطوریکه میانگین پارمترهای 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٪ داشته اند. عملا با نزدیکی به محل خروجی پساب پارامترهای کیفی آب تحت تاثیر قرار گرفته و با دور شدن از این ناحیه میزان تاثییرات 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.

۳ ــ ۳- اندازه‌گیری مرحله دوم

پس از اندازه‌گیری مرحله اول در فصل زمستان و بررسی نتایج اولیه، با درنظر 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 ۸و۹) 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 کاملا مشهود می‌باشد.

۳ ــ 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)
١	١٠:٢١	٢٤	٧,١	٣٦,١	٥٠,٦
٢	١٥:٠٩	٢٢,٥	٧,١	٢٦,٣	٥٠,٦
٣	١٤:٤١	-	٧,١	٣٥,٧	٥٠,٦
٤	١٥:٥٥	٤٢	٧,٤	٤٣	٥٨,٥
٥	١٦:١٠	٢٢,٥	٧,١	٣٦,٦	٥٠,٥
٦	١٦:٣٠	٢٢	٧,٢	٣٦,٦	٥٠,٧
٧	١٦:٥٠	٢٢,٥	٧,١	٣٦,٥	٥٠,٧
٨	١٧:٢٥	٢٢,٥	٧,١	٣٦,٨	٥١
٩	١٧:٤٠	٢٠	٦,٩	٤٠	٥٤,٦

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

No.	Time	Temp (°C)	EC (mS/cm)
١	١٢:٣٠	٣٦,٥	٥٦,٦
٢	١٢:٣٥	٣٧	٥٦,٦
٣	١٢:٤٥	٣٧	٥٥,٧
٤	١٢:٥٠	٣٧	٥٦,٤
٥	١٣,٠٥	٣٧	٥٦
٦	١٣:١٧	٣٨	٥٦,٩
٧	١٣:٢٢	٣٧,٥	٥٤,٩
٨	١٣:٢٦	٤٨,٥	٦٤,٣
٩	١٣:٣٤	٤٠,٥	٦٧,٩
١٠	١٣:٣٧	٤٢	٦٢,٤
١١	١٣:٤٥	٤٦	٦١,٥
١٢	١٣:٤٩	٣٧	٥٩

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 حلت عادی آب دریا نزدیک شده است، بطوریکه تقریبا 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 نزدیک‌شدن به محل خروجی پساب افزایش قابل توجه داشت.

دربازه زمانی لندازه‌گیری مرحله سوم جهت غلبه 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 دقیقه‌ایی میزان جابجایی اندازه‌گیری گردید تا مقادیر متوسط تغییرات سرعت ثبت گردد.

نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی با نتایج مطالعات سایر محققین [۳] در خصوص تاثیر پساب آب‌شیرین‌کن 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 ـ مدلسازی جریان و کیفیت آب

به منظور درک بهتر از نحوه انتشار پساب آب‌شیرین‌کن 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 ـ 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

جدول ۳: نتایج برداشت میدانی مرداد ۱۴۰۱

No.	Time	Temp (°C)	Salinity (psu)	Current Speed (m/s)	Direction (Deg)
۱	۱۳:٤٥	۳٥	۳۳,٦	۰,۳۱	۳۰٤
۲	۱٤:۰٥	۳٥	۳۲,٥	۰,۳۲	۳۰۱
۳	۱٤:۱٦	۳٥	۳۲,٥	۰,٤٨	۲۹۳,٦

انتگرال‌گیری بروی عمق (معادلات آب کم عمق) به معادلات دو بعدی بقای جرم و بقای حرکت (ناویر-استوکس) به عنوان معادلات حاکم تبدیل می‌گردد. معادله پیوستگی متوسط گیری شده در عمق بصورت زیر نوشته می شود:

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

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:

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

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

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

و معادله اندازه حرکت در جهت yمتوسط 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 آشفتگی می‌باشد. τ_{xz_b} و τ_{yz_b} تنش برشی در راستای x و y که از روابط زیر بدست می‌آید:

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

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

که در آنها ρ چگالی آب، g شتاب ثقل و C_{chezy} ضریب شزی می‌باشد.

معادله انتقال انتشار متوسط‌گیری شده در عمق نیز به شرح ذیل می‌باشد:

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

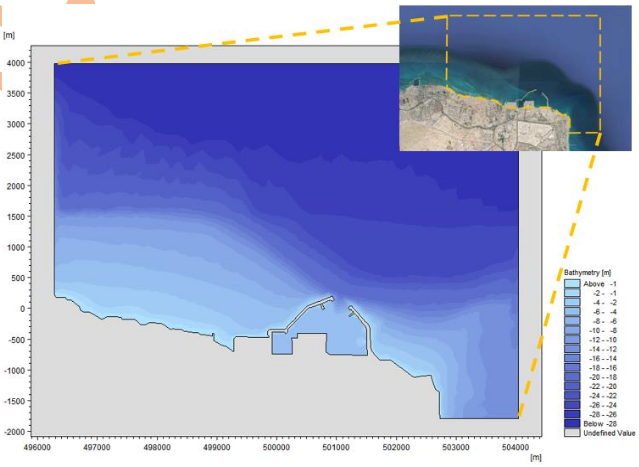
که در آن C غلظت کمیت مورد نظر مثل دما یا شوری در هر المان D_x وD_y متوسط ضریب انتشار در امتداد x و y و کمیت S منابع چشمه یا چاه کمیت مورد نظر در هر المان می باشد.

در حال حاظر نرم افزارهای مدل‌سازی مختلفی توسط محققان و مهندسان جهت مدل‌سازی و طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به هدف مدل‌سازی هر کدام از نرم افزارها دارای مزیت‌های بیشتری جهت استفاده کاربر می‌باشند. نرم افزار مایک ۲۱ (Mike ۲۱) توسط شرکت DHI ارایه گردیده است و یکی از پرکاربردترین نرم افزارهای مدل‌سازی در حوزه سواحل و بنادر می‌باشد. مدل‌سازی در این نرم افزار برپایه معادلات دوبعدی متوسط‌گیری شده عمق جهت شبیه‌سازی هیدرودینامیک الگوی

جریان طی جزر و مدهای مختلف تعریف گردید. پارامترهای اصلی هیدرودینامیکی مورد استفاده در مدل‌سازی این مطالعه تعیین شرایط مرزی، میزان جز و مد، ضریب زبری بستر و چسبندگی می‌باشد. از تغییرات اثر موج و باد با توجه به شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه صرف نظر گردید.

۴ ـ ۲- میدان محاسباتی و مش بندی

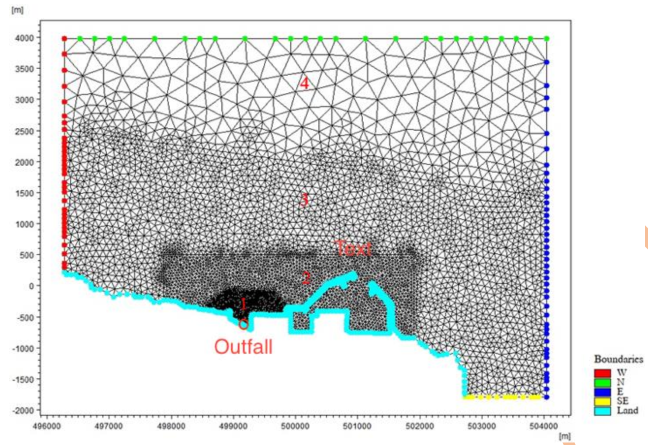
محدوده میدان محاسباتی همانطورکه در شکل (۷) مشاهده می‌گردد، تعیین گردید. موقعیت بندر و محل خروجی پساب در محدوده میانی میدان محاسباتی به ترتیب با فاصله‌های ۳/۵، ۴/۵ و ۴/۳ کیلومتر از مرز شرقی، شمالی و غربی می‌باشد. مرزهای این محدوده در فواصلی انتخاب گردید که تغییرات دما و شوری در این نواحی متصور نباشد. جهت مدل‌سازی دقیق‌تر اطلاعات هندسی و عمق‌سنجی[۲] منطقه مورد نظر در مدل‌سازی تعریف گردیده است. شکل (۱۱) نشان دهنده موقعیت محدوده مدلسازی در شمال شرقی جزیره کیش و نیز داده های 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 نظرگرفتن 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 همانطورکه در شکل (۱۲) مشاهده می‌گردد، تقسم 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.



شکل ۱۲: محدوده مدل‌سازی و مش‌بندی

۴ – ۳- شرایط اولیه، مرزی و بستر

۴ – ۳-۱- 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 ۰/۰۰۱ 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 ۰/۳ m^3/s با شوری ۴۵ psu و دمای خروجی ۵۰ درجه سانتی‌گراد فرض گردید. میزان دبی خروجی باتوجه به ظرفیت و راندمان تاسیسات

---

۲. Hydroghrphy

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 نقطه‌ایی در محل لوله خروجی پساب و با آهنگ ثابت در طول مدلسازی تعریف گردید.

۴ ــ ۳-۲- شرایط مرزی جریان

تعریف مناسب شرایط مرزی در مدل‌سازی از اهمیت ویژه‌ایی 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 در محدوده مورد مطالعه شامل خروجی تاسیسات آب‌شیرین‌کن و بندر تجاری کیش، محدوده مدل‌سازی مطابق با شکل (۱۲) تعریف گردید. برای اطراف میدان محاسباتی تعداد پنج مرز تعریف شد: (۱) مرز خط ساحلی، موج شکن‌ها و حوضچه بندرگاه (Land) به رنگ آب آسمانی، این مرز از نوع مرز خشکی بوده و سرعتی عمود بر آن وجود ندارد. (۲و۳) 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 مدل‌سازی، داده‌های جزر و مدی اندازه‌گیری شده در تاریخ ۱۰ مرداد ۱۴۰۱ می‌باشد 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 می‌باشد، با در نظر گرفتن موقعیت جزیره کیش، محدوده مدل‌سازی، مستندات قبلی و مشاهدات میدانی جزر و مد مرز شرقی و جنوب شرقی با فاصله زمانی کوتاه به مرز غربی نیز منتقل می‌گردد.

۴ ــ ۳-۳- مشخصات بستر

مقدار ضریب زبری بستر معادل عدد مانینگ به مقدار $32 s / m^{1/3}$ و ضریب چسبندگی برابر با $0.002\ m^2/s$ با توجه به مشاهدات میدانی و مطالعات انجام شده [۲۶-۲۸] منظور گردید.

ضریب چسبندگی در نرم افزار Mike۲۱ با عنوان ضریب ویسکوزیته گردابی افقی (Horizontal Eddy Viscosity) تعریف گردید.

۴ ــ ۳-۴- مشخصات سطح آزاد

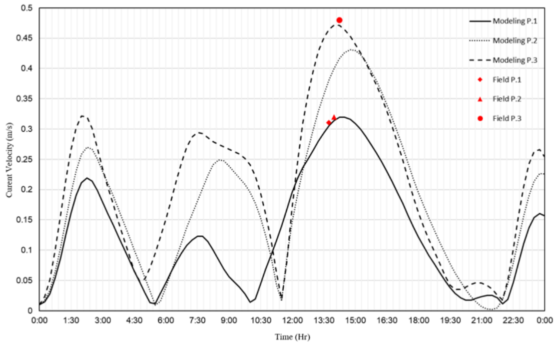
با توجه به اینکه هدف از اندازه‌گیری و مدل‌سازی بررسی اثرات خروجی پساب تاسیسات آب‌شیرین‌کن در محیط پیرامونی می‌باشد، محدوده مدل‌سازی با وسعت گسترده انتخاب نگردیده است. زمان انتخابی جهت اندازه‌گیری و مدل‌سازی وزش باد بسیار کم بوده و از اینرو شرایط مرزی خاصی برای وزش باد به سطح آزاد آب در مدل اعمال نگردیده است. شایان ذکر است در مدل‌سازی انتشار حرارتی دمای هوای محیط اعمال گردیده است.

همانطور که در بخش‌های قبلی نیز اشاره گردید، پساب خروجی توسط دو مسیر نهر و لوله در مرز خط ساحلی به دریا انتقال پیدا می‌کند و دارای هیچگونه دیفیوزر نمی‌باشد.

۴ ــ ۴- نتایج مدل‌سازی

در ادامه بخش قبل درمورد تعریف پارامترهای مختلف و مورد نیاز موثر در مدل‌سازی توضیح داده شد، نتایج مدل‌سازی 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 می‌باشد، 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)). گام‌های 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 Mike۲۱ بصورت خودکار پایداری Courant را کنترل و درصورت نیاز گام‌های محاسباتی را اصلاح می‌کند.

از آنجاکه دقت مدلسازی باید با روشی دیگر واسنجی گردد، نتایج مدل با اندازه‌گیری میدانی مقایسه گردید. شکل (۱۳) تغییرات سرعت در مدل عددی و مقدار اندازه‌گیری شده در برداشت میدانی سوم را نشان میدهد.



شکل ۱۳: تغییرات سرعت مدل عددی و اندازه‌گیری میدانی.

همانطور که مشـــاهده می‌گردد اختلاف میزان ســـرعت در مدل‌ســـازی و مقدار اندازه‌گیری شـــده در نقطه ۱ و ۳ در زمان‌های مورد نظر تقریبا برهم منطبق هســـتند. در نقطه ۲ بدلیل موقعیت ورودی بنـدرگـاه و تغییر جهـت هـای احتمـالی میزان ســـرعـت اندازه‌گیری شـــده و مدل‌ســـازی با مقدار مدل‌ســـازی اختلاف دارد. جدول (۴) نیز نشان دهنده مقدار دما در سه نقطه اندازه‌گیری شده در برداشـــت ســـوم و مدل عددی می‌باشـــد. همانطور که دمای اندازه‌گیری شـــده در ســـه نقطه ثابت می‌باشـــد در مدل‌ســـازی نیز با اختلاف ۱ درجه تغییرات دمایی در این سه نقطه وجود ندارد.

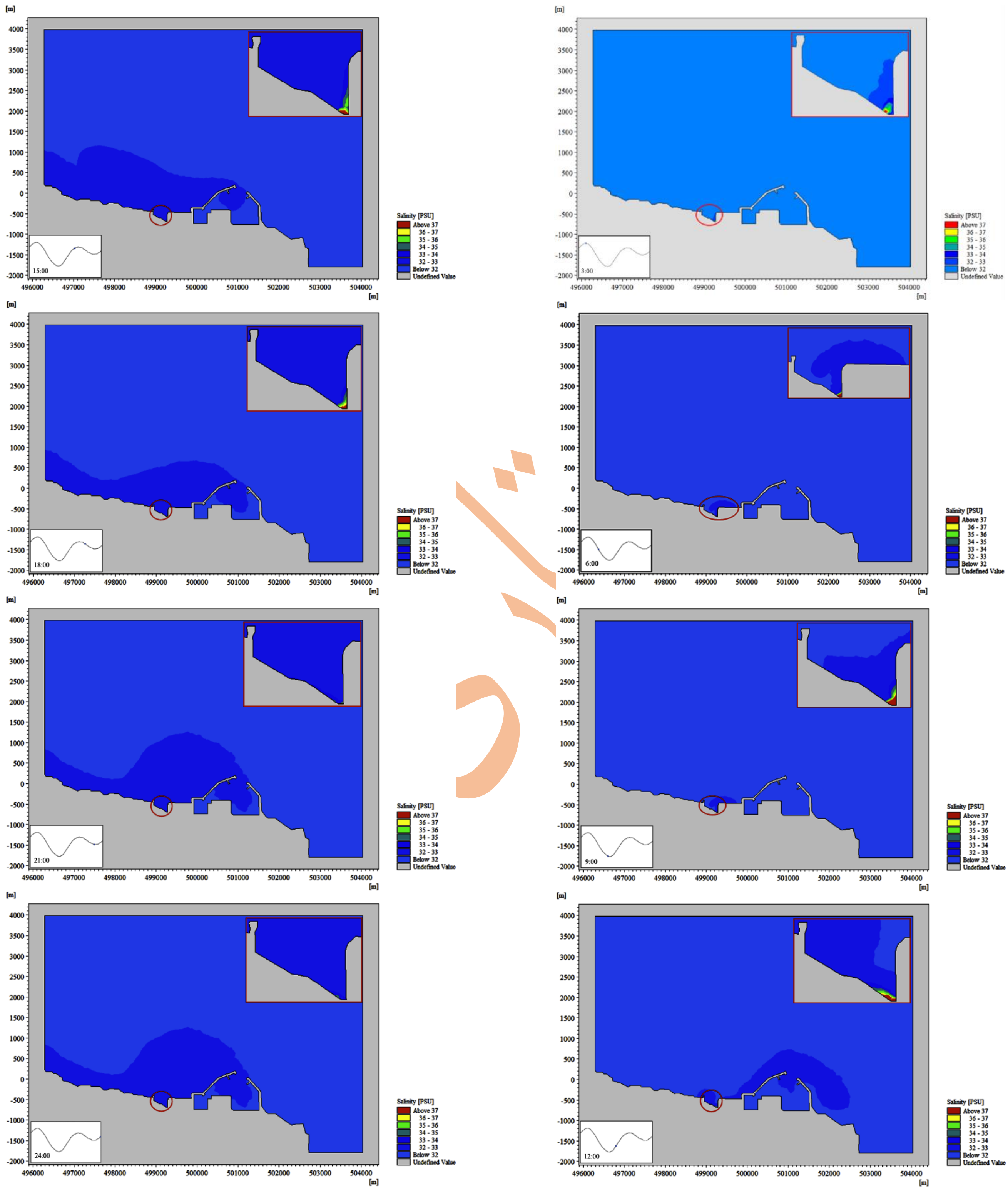
جدول ۴. مقادیر میزان دمای اندازه‌گیری میدانی و مدل‌سازی

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 (۱و۲) نیز نشان داده شده است در اطراف محل خروجی پساب مشهود می‌باشد. این درحالی است که نتایج ارایه گردیده در این مقاله، مدل‌سازی انجام شده برای یک روز می‌باشد و طبیعتا 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 متعاقبا حجم کرانه ساحلی تاثیر قابل توجهی بر محیط زیست دریا خواهد داشت. این درحالی است که ورودی تاسیسات آب‌شیرین‌کن 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 موجب افزایش ۳ درجه‌ای محدوده شده است ۱۷۰ متر از محل خروجی است. فاصله اختلاط این نوع آب شیرین‌کن ها معمولا ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر می باشد [۲۹]. با فرض فاصله اختلاط معادل ۲۰۰ متر می توان نتیجه گرفت که دما در انتهای ناحیه اختلاط کمتر- از ۳ درجه افزایش یافته و از نظر توصیه نامه های معتبر [۳۰] مشکل ندارد.

درصورتیکه ملاحظات لازم در محل خروجی پساب باتوجه 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 موج شکن‌ها میزان سرعت جریان در نزدیکی ساحل به شدت کاهش یافته و محدوده وسیع‌تری تحت اثر دمای بالاتر قرار می گیرد.



شکل ۱۴: الگوی انتشار شوری در ساعت‌های مختلف مدلسازی

۵ ـ نتیجه‌گیری

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 آب‌شیرین‌کن 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 آب‌شیرین‌کن 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.

درصورتیکه ملاحظات لازم در محل خروجی پساب باتوجه 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 بهتر و در محدوده کوچکتری اتفاق می افتاد. در نتیجه آب گرم خروجی آب شیرین‌کن 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 می گیرد.

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 شیرین‌کن 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.

همچنین در صورت وجود طرح توسعه برای تاسیسات آب‌شیرین‌کن جزیره کیش، توصیه می‌گردد محل آبگیر آب شیرین‌کن تغییر یابد.

جهت تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد اعمال تغییرات شبانه‌روزی دما، کاربرد تئوری‌های مختلف آشفتگی 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(٤), pp.٤۳۷-٤٥۲ DOI:۱۰,۱۰۸۰/۰۰۲۲۱٦۸۹۲۰۹٤۹۸۸۹۳.

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:۱۰,۱۰۱٦/S۰۰۱۱-۹۱٦٤(۹۷)۰۰۰۰۲-۷.

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.۲۷۷-۲۸٦ DOI:۱۰,۱۰۱٦/S۰۰۱۱-۹۱٦٤(۰۱)۰۰۳۲۰-٤.

٤. Danoun, R., ۲۰۰۷. Thesis. Desalination Plants: Potential impacts of brine discharge on marine life.

٥. Fernández-Torquemada, Y., Gónzalez-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.۱۳۷-۱٤٥ DOI:۱۰,٥۰۰٤/dwt.۲۰۰۹,٥۷٦.

٦. Kudale, M.D., ۲۰۱۰. Impact of port development on the coastline and the need for protection. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences, 39*(٤), pp. ٥۹۷-٦۰٤.

۷. Marjani, A. and Jamali, M., ۲۰۱٤. Role of exchange flow in salt water balance of Urmia Lake. *Dynamics of atmospheres and oceans, 65,* pp.۱-۱٦ DOI:۱۰,۱۰۱٦/j.dynatmoce.۲۰۱۳,۱۰,۰۰۱.

۸. Soltanpour, M. and Dibajnia, M., ۲۰۱٥. Field measurements and ۳D numerical modeling of

١٧. Wood, J.E., Silverman, J., Galanti, B. and Biton, E., ٢٠٢٠. Modelling the distributions of desalination brines from multiple sources along the Mediterranean coast of Israel. *Water Research, 173*, p.١١٥٥٥٥. DOI:١٠,١٠١٦/j.watres.٢٠٢٠,١١٥٥٥٥.

١٨. Pereira, S.P., Rosman, P.C.C., Alvarez, C., Schetini, C.A.F., Souza, R.O. and Vieira, R.H.S.F., ٢٠١٥. Modeling of coastal water contamination in Fortaleza (Northeastern Brazil). *Water Science and Technology, 72*(٦), pp.٩٢٨-٩٣٦. DOI:١٠,٢١٦٦/wst.٢٠١٥,٢٩٢.

١٩. Pradhan, U., Panda, U.S., Naik, S., Mishra, P., Kumar, D.S., Begum, M. and Murthy, M.R., ٢٠٢٢. Coupled hydrodynamic and water quality modeling in the coastal waters off Chennai, East Coast of India. *Frontiers in Marine Science, 9*, p.٩٨٧٠٦٧. DOI: ١٠,٣٣٨٩/fmars.٢٠٢٢,٩٨٧٠٦٧.

٢٠. Safaie, A. and Jamaat, A., ٢٠٢٤. Numerical study of hydrodynamics and salinity transport processes in a hypersaline lake: A case study of Lake Urmia. *Advances in Water Resources, 185*, p.١٠٤٦٣٢. DOI:١٠,١٠١٦/j.advwatres.٢٠٢٤,١٠٤٦٣٢.

٢١. Jia, Y., Yang, X., Jiang, H., Lu, B., Tuo, Y., Deng, Y., Zhang, X. and Li, J., ٢٠٢٤. Effect of two-dam coexistence on thermal regime: A special withdrawal measure in Fengman reservoir, China. *Ecological Informatics*, *82*, p.١٠٢٧١٦. DOI:١٠,١٠١٦/j.ecoinf.٢٠٢٤,١٠٢٧١٦.

٢٢. Nia, M.Y., Canestrelli, A., Klammler, H., Annable, M.D., Pinton, D. and Jawitz, J.W., ٢٠٢٤. An analytical approach to predict seasonal salinity variations in estuaries. AGU٢٤ (New Orleans).

٢٣. Ahmed, S.I.A., Elsaie, Y., Soussa, H., Gado, M.S. and Balah, A., ٢٠٢٢. Review on Hydrodynamic Modelling of Desalination Plants Brine Effluent Marine Outfalls. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science, 8*, p.٧. DOI:١٠,٢٢١٦١/ijaems.٨٧,٣

٢٤. Amini, H., Lam, M.Y. and Ahmadian, R., ٢٠٢٥. Artificial Intelligence predictive models for diurnal and seasonal shallow lake turnovers. Copernicus Meetings. No. EGU٢٥-٢٠٩٧٥ https://doi.org/١٠,٥١٩٤/egusphere-egu٢٥-٢٠٩٧٥.

٢٥. Lumpkin, R., Özgökmen, T. and Centurioni, L., ٢٠١٧. Advances in the application of surface drifters. *Annual review of marine science*, *9*(١), pp.٥٩-٨١

hydrodynamics in Chabahar Bay, Iran. *International journal of maritime technology, 3,* pp.٤٩-٦٠ DOR:٢٠,١٠٠١,١,٢٣٤٥٦٠٠٠,٢٠١٥,٣,٠,١,٣.

٩. Abessi, O. and Roberts, P.J., ٢٠١٦. Dense jet discharges in shallow water. *Journal of Hydraulic Engineering, 142*(١), p.٠٤٠١٥٠٣٣ DOI: ١٠,١٠٦١/(ASCE)HY.١٩٤٣-٧٩٠٠,٠٠٠١٠٥٧.

١٠. Sola, I., Zarzo, D. and Sánchez-Lizaso, J.L., ٢٠١٩. Evaluating environmental requirements for the management of brine discharges in Spain. *Desalination, 47*١, p.١١٤١٣٢. DOI: ١٠,١٠١٦/j.desal.٢٠١٩,١١٤١٣٢.

١١. Anton, J., Tse, E. and Wells, C., ١٩٧١, September. Parameter identification criteria for salt brine dispersion from desalination plant ocean outfalls. In IEEE ١٩٧١ Conference on Engineering in the Ocean Environment (pp. ٣١٣-٣١٦). IEEE. https://doi.org/١٠,١١٠٩/OCEANS.١٩٧١,١١٦١٠٣٠

١٢. Steedman, R.K. and Craig, P.D., ١٩٨٣. Wind-driven circulation of Cockburn Sound. *Marine and Freshwater Research, 34*(١), pp.١٨٧-٢١٢. DOI:١٠,١٠٧١/MF٩٨٣٠١٨٧.

١٣. Payo, A., Cortés, J.M., Antoranz, A. and Molina, R., ٢٠١٠. Effect of wind and waves on a nearshore brine discharge dilution in the east coast of Spain. *Desalination and Water Treatment, 18*(١-٣), pp.٧١-٧٩. DOI:١٠,٥٠٠٤/dwt.٢٠١٠,١٣٣٥.

١٤. Tayyebi, S. and Alishiri, M., ٢٠١٤. The control of MSF desalination plants based on inverse model control by neural network. *Desalination, 333*(١), pp.٩٢-١٠٠. DOI:١٠,١٠١٦/j.desal.٢٠١٣,١١,٠٢٢.

١٥. Patel, Y.B., Nimbalkar, P.T., Nagendra, T. and Shukla, V.K., ٢٠١٦. Numerical modeling of brine dispersion in shallow coastal waters. *International Journal of Civil Engineering and Technology, 7*(٣). DOI:IJCIET_٠٧_٠٣_٠٣١.

١٦. Botelho, D.A., Singh, A., Mccall, E., Vos, C., Coletti, J., Bruce, L., Lyons, S., Gartner, A., Bailey, M., Atkinson, B. And Mccreath, A., ٢٠١٦. Numerical simulations of brine dispersion associated with the discharge of the proposed stage ٢ of the Perth Seawater Desalination Plant. In ٢٠١٩ E-proceedings of the ٣٨th IAHR World Congress (Panama City), Global Trends. http://dx.doi.org/١٠,٣٨٥٠/٣٨WC٠٩٢٠١٩-١٣٤٤

DOI: ١٠,١١٤٦/annurev-marine-٠١٠٨١٦-٠٦٠٦٤١.

٢٦. Mishra, P., Panda, U.S., Pradhan, U., Kumar, C.S., Naik, S., Begum, M. and Ishwarya, J., ٢٠١٥. Coastal water quality monitoring and modelling off Chennai city. *Procedia Engineering, 116*, pp.٩٥٥-٩٦٢. DOI:١٠,١٠١٦/j.proeng.٢٠١٥,٠٨,٣٨٦.

٢٧. Kulkarni, R.R., ٢٠١٣. Numerical Modelling of Coastal Erosion using MIKE٢١, Master's thesis, Institutt for bygg, anlegg og transport.

٢٨. Nunes, V. and Pawlak, G., ٢٠٠٨. Observations of bed roughness of a coral reef. *Journal of Coastal Research*, *24-*٢B pp.٣٩-٥٠.DOI:١٠,٢١١٢/٠٥-٠٦١٦,١.

٢٩. Khordagui, H., ١٩٩٧. Environmental aspects of brine reject from desalination industry in the ESCWA region. *ESCWA,* Beirut, ٣.

٣٠. Mundial, B., ٢٠٠٧. Environmental, Health, and Safety (EHS) Guidelines.