





دانشکده مهندسی عمران  
پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی

شبیه سازی عددی و تحلیلی چرخه ی پالایش و تجدیدپذیری آب ساحلی در خورها  
و خلیج ها؛ مطالعه موردی: خلیج چابهار

نگارنده: علی نوری شورکایی

استاد راهنما:

مهدی عجمی

استاد مشاور:

ابراهیم جعفری

بهمن ۱۳۹۵

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی عمران

گروه مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای علی نوری شورکایی به شماره دانشجویی: ۹۳۱۷۸۶۴

تحت عنوان: شبیه سازی عددی و تحلیلی چرخه ی پالایش و تجدیدپذیری آب ساحلی در خورها و خلیج ها؛  
مطالعه موردی: خلیج چابهار

در تاریخ ۱۳۹۵/۱۱/۱۸ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	ابراهیم جعفری		مهدی عجمی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	جلیل شفائی		احمد احمدی
			رمضان واقعی

## تقدیم نامه

تقدیم به:

پدر و مادر عزیز و مهربانم

که در سختی‌ها و دشواری‌های زندگی همواره یاور و دلسوز و فداکار

و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده‌اند.

## سپاس‌گزاری

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی‌شائبه‌ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم.

اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می‌کند و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب ”من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ و جلّ:“

از پدر و مادر عزیزم، این دو معلم بزرگوارم، که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یآوری بی‌چشم داشت برای من بوده‌اند؛

از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر مهدی عجمی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛

و از استادان فرزانه و دلسوز؛ جناب آقای دکتر احمد احمدی و دکتر رمضان واقعی که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

## تعهد نامه

اینجانب علی نوری شورکایی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه شبیه‌سازی عددی و تحلیلی چرخه‌ی پالایش و تجدیدپذیری آب ساحلی در خورها و خلیج‌ها؛ مطالعه موردی: خلیج چابهار تحت راهنمایی دکتر مهدی عجمی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ ۱۳۹۵/۱۱/۱۸

### امضای دانشجو

#### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

## چکیده

این پژوهش به تعیین زمان فلاشینگ، با استفاده از مدل عددی نرم افزار مایک ۲۱ و مقایسه آن با روش تحلیلی و انتخاب روش تحلیلی مناسب در خلیج چابهار پرداخته است. ابتدا جهت اطمینان از مدل، نتایج حاصل با داده‌های نقطه‌ای در خلیج چابهار واسنجی شده، سپس جهت صحت سنجی مدل، به مقایسه نتایج مدل با نتایج نرم افزار کوهیرنس پرداخته شده است. در این پژوهش عواملی چون اثر باد، تغییر فصل‌های سال، اثر ضریب پراکندگی، اثر طرح توسعه بندر خلیج چابهار و اثر فاکتور جریان بازگشتی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج قابل توجهی بدست آمد. با استفاده از مدل هیدرودینامیکی نرم افزار مایک، جهت و سرعت خلیج چابهار تعیین شد. با توجه به خروجی‌های مدل هیدرودینامیکی جهت جریان در خلیج چابهار از سمت شرق به سمت غرب می‌باشد. نتایج حاصل از تاثیر عوامل ذکر شده، حاکی از آن است که تاثیر جریانات ناشی از باد در خلیج چابهار ۱۳,۸ درصد است که در مقایسه با اثر جزر ومد مقدار ناچیزی است. بهترین فصل جهت فلاشینگ خلیج چابهار فصل تابستان بوده که آلودگی خلیج بعد از گذشت ۱۶,۶۴ روز از آن خارج می‌شود. فصل پاییز به مدت ۱۹,۱۶ روز، زمستان به مدت ۱۷,۶۴ روز، فصل بهار به مدت ۱۷,۸۱ روز طول می‌کشد تا آلودگی آن خارج شود. مناطق بحرانی خلیج چابهار جهت فلاشینگ نیز، در تمامی این فصل‌ها تعیین شد. در صورتی که حلالیت آلودگی با استفاده از ضریب پراکندگی صفر، از آن گرفته شود، ۱۵ درصد به زمان فلاشینگ اضافه می‌شود. طرح توسعه بنادر باعث افزایش زمان فلاشینگ خلیج چابهار می‌شود، به‌طوری‌که در قسمت فرورفتگی توسعه بندر آلودگی باقی می‌ماند. روش تحلیلی مورد استفاده در این پژوهش، منشور جزر و مدی است که زمان فلاشینگ را به دلیل نادیده گرفتن جریان‌های بازگشتی به خلیج در هنگام مد، دست پایین تخمین می‌زند. جهت تعیین زمان فلاشینگ دقیق از روش منشور جزر و مدی اصلاح شده توسط سنفورد استفاده کرده و پس از مقایسه این روش با روش عددی مایک، عدد فاکتور جریان بازگشتی، ۰,۹۲ بدست آمد.

**واژگان کلیدی:** زمان فلاشینگ، خلیج چابهار، مایک ۲۱، مدل هیدرودینامیکی، مدل انتقال آلودگی، مدل SW، روش منشور جزر و مدی، فاکتور جریان بازگشتی

## مقالات مستخرج شده از پایان نامه:

۱. نوری شورکایی. علی، رودباری شهمیری. سعید، عجمی. مهدی. (۱۳۹۴) " بررسی مناسب ترین روش نیمه تجربی پیش بینی ارتفاع وپریود امواج در بندر " چهار دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه سیستان بلوچستان.

۲. نوری شورکایی. علی، رودباری شهمیری. سعید، عجمی. مهدی. (۱۳۹۴) " پیش بینی ارتفاع موج در سواحل به روش شبکه عصبی و مقایسه آن با روش SPM " سومین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری، دانشگاه شهید بهشتی.

۳. نوری شورکایی. علی، جعفری. ابراهیم، عجمی. مهدی. (۱۳۹۶) " شبیه سازی عددی الگو و روند گردش و پالایش آب در خلیج چابهار "، نشریه علمی – پژوهشی مهندسی دریا ( درحال داوری)

۴. نوری شورکایی. علی، عجمی. مهدی. (۱۳۹۶) " بررسی مقایسه ای عددی و تحلیلی گردش و پالایش آب خلیج چابهار جهت تعیین زمان فلاشینگ "، نشریه هیدرولیک ( درحال داوری)



عنوان	فهرست مطالب	صفحه
چکیده.....	خ.....	
تقدیم‌نامه.....	ث.....	
سپاس‌گزاری.....	ج.....	
فهرست عنوان‌ها.....	ذ.....	
فهرست شکل‌ها.....	س.....	
فهرست جدول‌ها.....	ض.....	
فصل ۱ کلیات.....	۱.....	
۱-۲- فلاشینگ.....	۳.....	
۱-۳- عوامل موثر در فلاشینگ.....	۳.....	
۱-۴- مکانیزم فلاشینگ.....	۴.....	
۱-۵- تعاریف.....	۵.....	
۱-۵-۱- زمان فلاشینگ.....	۵.....	
۱-۵-۲- سن.....	۵.....	
۱-۵-۳- زمان ماند و زمان گذر.....	۶.....	
۱-۶- تعریف مساله و بیان سوالات پژوهش.....	۶.....	
۱-۷- منطقه مورد مطالعه.....	۶.....	
۱-۷-۱- خلیج چابهار.....	۶.....	
۱-۷-۲- جایگاه اقتصادی چابهار و تاسیسات دریایی آن.....	۸.....	
۱-۷-۳- موج‌شکنهای موجود در خلیج چابهار :.....	۸.....	
۱-۷-۴- وضعیت باد در چابهار.....	۹.....	
۱-۷-۵- جریانهای دریایی در چابهار.....	۱۰.....	

۱۰	جزر و مد در چابهار	۶-۷-۱
۱۱	ضرورت انجام تحقیق	۸-۱
۱۳	اهداف و روش های تحقیق	۹-۱
۱۴	بخشهای مختلف پایان نامه	۱۰-۱
۱۵	فصل ۲ مروری بر تحقیقات گذشته	
۱۶	مقدمه	۲-۱
۱۶	مروری بر تحقیقات گذشته	۲-۲
۲۷	فصل ۳ مواد و روشها	
۲۸	مقدمه	۱-۳
۲۹	روشهای تحلیلی	۲-۳
۲۹	روش نسبت آب شیرین	۱-۲-۳
۳۰	روش منشور جزر ومدی	۲-۲-۳
۳۲	تخمین فرمول نودسن:	۳-۳-۳
۳۴	مدلسازی عددی	۴-۳
۳۶	ماژول SW	۱-۴-۳
۳۶	فرمولاسیون مدل	۱-۱-۴-۳
۳۸	داده های ورودی	۲-۱-۴-۳
۳۹	پارامترهای خروجی	۳-۱-۴-۳
۴۰	ماژول Flow Model FM	۲-۴-۳
۴۱	مدل هیدرودینامیکی Flow Model FM	۱-۲-۴-۳
۴۳	مدل انتقال Flow Model FM	۲-۲-۴-۳
۴۵	مدل Coupled Model FM	۳-۴-۳

## فصل ۴ مدل‌سازی و تحلیل نتایج ..... ۴۷

۴۸-۱-۴ مقدمه ..... ۴۸

۴۸-۲-۴ گلباد خلیج چابهار ..... ۴۸

۵۱-۳-۴ گلموج خلیج چابهار ..... ۵۱

۵۶-۴-۴ مدل SW ..... ۵۶

۵۶-۱-۴-۴ تهیه فایل شبکه‌بندی و ساخت مدل ..... ۵۶

۵۸-۲-۴-۴ ضرایب واسنجی مدل SW ..... ۵۸

۵۹-۵-۴ مدل هیدرو دینامیکی Flow model Fm ..... ۵۹

۵۹-۱-۵-۴ داده‌های ورودی ..... ۵۹

۶۲-۲-۵-۴ نتایج مدل هیدرو دینامیکی ..... ۶۲

۶۳-۶-۴ مدل انتقال FLOW Model FM ..... ۶۳

۶۳-۷-۴ تعیین زمان فلاشینگ با مدل عددی مایک ..... ۶۳

۸۰-۸-۴ تعیین زمان فلاشینگ با استفاده از روش تحلیلی ..... ۸۰

## فصل ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ..... ۸۳

۸۴-۱-۵ مقدمه ..... ۸۴

۸۴-۲-۵ نتیجه‌گیری کلی ..... ۸۴

۸۵-۳-۵ پیشنهادات برای ادامه کار ..... ۸۵

۸۶-مراجع ..... ۸۶

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱-۱- خلیج نایبند ایران ..... ۲
- شکل ۲-۱-۲- نمایش مکانیزم فلاشینگ ..... ۴
- شکل ۳-۱-۳- سن  $Ta$ ، زمان ماند  $Tr$ ، زمان گذر  $Tt$  ..... ۵
- شکل ۴-۱-۴- سن‌های متفاوت در رسیدن به موقعیت یکسان ..... ۶
- شکل ۵-۱-۵- موقعیت خلیج چابهار در دریای عمان ..... ۷
- شکل ۶-۱-۶- موقعیت تاسیسات دریایی خلیج چابهار ..... ۹
- شکل ۷-۱-۷- نقشه مربوط به واحدهای صنایع شیلاتی در پسابندر ..... ۱۳
- شکل ۱-۲-۱- محدوده مورد مطالعه و موقعیت مکانی دستگاههای اندازه‌گیری برداشت میدانی پارامترهای دریایی در چابهار ..... ۱۷
- شکل ۲-۲-۲- غلظت آلودگی در ۱ سپتامبر (سه بعدی) ..... ۱۸
- شکل ۳-۲-۳- غلظت آلودگی در ۳۰ سپتامبر (سه بعدی) ..... ۱۸
- شکل ۴-۲-۴- موقعیت بندر سعید مصر ..... ۱۹
- شکل ۵-۲-۵- ارتفاع موج در جزیره مصنوعی بندر سعید ..... ۲۰
- شکل ۶-۲-۶- پیش‌بینی جریان و چگالی توسط مدل در لایه‌های سطحی و نزدیک بستر در تنگه هرمز در فصل زمستان ..... ۲۰
- شکل ۷-۲-۷- پیش‌بینی جریان و چگالی توسط مدل در لایه‌های سطحی و نزدیک بستر در تنگه هرمز در فصل تابستان ..... ۲۱
- شکل ۸-۲-۸- پیش‌بینی نیمرخ عمودی چگالی در تنگه هرمز در فصول تابستان (راست) و زمستان (چپ) ..... ۲۱
- شکل ۹-۲-۹- خور موسی و موقعیت ایستگاههای آن ..... ۲۲
- شکل ۱۰-۲-۱۰- نمایش میزان تجدیدپذیری محلی در لایه سطحی خلیج گرگان پس از گذشت ۶۲ روز از اجرای مدل ..... ۲۳
- شکل ۱۱-۲-۱۱- نمایش میزان تجدیدپذیری محلی در لایه دوم خلیج گرگان پس از گذشت ۶۲ روز از اجرای مدل ..... ۲۳
- شکل ۱۲-۲-۱۲- نمایش میزان تجدیدپذیری محلی در لایه سوم خلیج گرگان پس از گذشت ۶۲ روز از اجرای مدل ..... ۲۴
- شکل ۱۳-۲-۱۳- شکل هندسی خور Lynnhaven ..... ۲۵
- شکل ۱۴-۲-۱۴- رابطه نسبت تصویر و عدد رینولدز با عدد گردابه ..... ۲۶
- شکل ۱-۳-۱- نمودار طرح اولیه جهت تعریف زمان فلاشینگ ..... ۲۹

- شکل ۴-۱- گل باد فصل پاییز ۲۰۰۲ خلیج چابهار ..... ۴۹
- شکل ۴-۲- گل باد بهار ۲۰۰۲ خلیج چابهار ..... ۴۹
- شکل ۴-۳- گل باد تابستان ۲۰۰۲ خلیج چابهار ..... ۵۰
- شکل ۴-۴- گل باد زمستان ۲۰۰۲ خلیج چابهار ..... ۵۰
- شکل ۴-۵- گل باد سالانه ۲۰۰۲ خلیج چابهار ..... ۵۱
- شکل ۴-۶- گلموج پاییز ۲۰۰۲ خلیج چابهار ..... ۵۲
- شکل ۴-۷- گلموج زمستان ۲۰۰۲ خلیج چابهار ..... ۵۳
- شکل ۴-۸- گلموج تابستان ۲۰۰۲ خلیج چابهار ..... ۵۳
- شکل ۴-۹- گلموج بهار ۲۰۰۲ خلیج چابهار ..... ۵۴
- شکل ۴-۱۰- گلموج سالانه ۲۰۰۲ خلیج چابهار ..... ۵۵
- شکل ۴-۱۱- شبکه بندی خلیج چابهار به همراه داده‌های ژرفاسنجی ..... ۵۶
- شکل ۴-۱۲- فایل شبکه بندی و معرفی مرزها ..... ۵۷
- شکل ۴-۱۳- مقایسه ارتفاع موج مدل با ارتفاع موج نقطه مورد نظر ..... ۵۹
- شکل ۴-۱۴- سرعت و جهت جریان در حالت جزر و در یک گام زمانی خاص ..... ۶۰
- شکل ۴-۱۵- سرعت و جهت جریان در حالت مد در یک گام زمانی خاص ..... ۶۱
- شکل ۴-۱۶- ارتفاع سطح آب در یک گام زمانی خاص ..... ۶۱
- شکل ۴-۱۷- سرعت جریان در جهت X ..... ۶۲
- شکل ۴-۱۸- سرعت جریان در جهت Y ..... ۶۲
- شکل ۴-۱۹- آلودگی فرضی خلیج چابهار ..... ۶۴
- شکل ۴-۲۰- نقاط پیشنهادی جهت تعیین زمان فلاشینگ خلیج چابهار ..... ۶۴
- شکل ۴-۲۱- بعد از گذشت ۱۷,۶۴ روز ..... ۶۶
- شکل ۴-۲۲- بعد از گذشت ۱۳,۸۴ روز ..... ۶۶
- شکل ۴-۲۳- فلاشینگ خلیج بعد از گذشت ۳۶,۴۷ روز ..... ۶۷
- شکل ۴-۲۴- نمودار غلظت- زمان نقطه ۱ در زمستان ..... ۶۷
- شکل ۴-۲۵- نمودار غلظت- زمان نقطه ۲ در زمستان ..... ۶۸
- شکل ۴-۲۶- نمودار غلظت- زمان نقطه ۳ در زمستان ..... ۶۸
- شکل ۴-۲۷- نمودار غلظت- زمان نقطه ۴ در زمستان ..... ۶۹
- شکل ۴-۲۸- نمودار غلظت- زمان نقطه ۵ در زمستان ..... ۶۹
- شکل ۴-۲۹- نمودار غلظت- زمان نقطه ۶ در زمستان ..... ۷۰
- شکل ۴-۳۰- فلاشینگ خلیج چابهار بعد از گذشت ۱۷,۸۱ روز ..... ۷۱

- شکل ۴-۳۱- فلاشینگ خلیج چابهار بعد از گذشت ۳۲,۴۶ روز ..... ۷۱
- شکل ۴-۳۲- فلاشینگ خلیج چابهار بعد از گذشت ۱۶,۶۴ روز ..... ۷۲
- شکل ۴-۳۳- فلاشینگ خلیج چابهار بعد از گذشت ۳۳,۵۷ روز ..... ۷۳
- شکل ۴-۳۴- فلاشینگ خلیج چابهار در فصل پاییز بعد از گذشت ۱۹,۱۶ روز ..... ۷۴
- شکل ۴-۳۵- فلاشینگ منطقه بحرانی خلیج چابهار در فصل پاییز بعد از گذشت ۳۹,۶ روز ..... ۷۴
- شکل ۴-۳۶- موقعیت طرح توسعه بند در خلیج چابهار ..... ۷۶
- شکل ۴-۳۷- مناطق مورد بررسی در مدلسازی طرح توسعه خلیج چابهار ..... ۷۶
- شکل ۴-۳۸- فلاشینگ خلیج چابهار در حالت توسعه یافته بعد از گذشت ۶۱ روز ..... ۷۷
- شکل ۴-۳۹- منطقه بحرانی خلیج چابهار در حالت توسعه یافته بعد از گذشت ۹۹,۶۵ روز ..... ۷۸
- شکل ۴-۴۰- فلاشینگ خلیج چابهار در حالت ضریب پراکندگی صفر، بعد از گذشت ۲۰,۷۸ روز ... ۷۹
- شکل ۴-۴۱- فلاشینگ خلیج چابهار بدون باد فصل پاییز ..... ۸۰

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- میزان کمینه و بیشینه کشند در منطقه چابهار (بر حسب متر)..... ۱۱
- جدول ۱-۲- موقعیت مکانی و زمانی دستگاه‌های اندازه‌گیری در پروژه برداشت میدانی پارامترهای دریایی در چابهار ..... ۱۷
- جدول ۲-۲- چهار مؤلفه جزر و مدی بندر چابهار برای سال ۲۰۰۶..... ۱۸
- جدول ۱-۴- معرفی وروردهای مرزهای خلیج چابهار ..... ۵۷
- جدول ۲-۴- ضرایب واسنجی مدل ..... ۵۸
- جدول ۴-۵- سناریوهای مورد بررسی در مدلسازی ..... ۶۳
- جدول ۴-۶- فازبندی طرح توسعه بندر چابهار ..... ۷۵

## فهرست نشانه‌ها

$f$	فرکانس	$A$	مساحت
$\theta$	جهت انتشار امواج	$u$	سرعت
$C_g$	سرعت گروهی موج	$T_f$	زمان فلاشینگ
$C$	سرعت انتشار موج	$V_f$	حجم آب تازه
$S$	عبارت چشمه و چاه	$R$	نرخ تخلیه
$h$	عمق آب	$S_0$	غلظت شوری خارج از خلیج
$C$	ضریب شزی	$V$	حجم خلیج
$f$	ضریب اصطکاک باد	$f^*$	میانگین حجم متوسط آب شیرین
$P_a$	فشار هوا	$V_R$	حجم آب شیرین
$P_w$	جرم حجمی آب	$V_T$	حجم آب وارد شده با مد
$p, q$	دانسیته شار در جهت‌های مختلف	$S^*$	غلظت شوری داخل خلیج
$\xi$	تغییرات تراز سطح آب	$T$	دوره جزر ومد
$D_x$	ضریب پخش در جهت $X$	$Q_{Top}$	دبی ورودی خلیج
$D_y$	ضریب پخش در جهت $y$	$Q_{bottom}$	دبی خروجی خلیج
$SC$	منبع آلودگی	$S_{Top}$	شوری ورودی به خلیج
$C$	غلظت	$S_{bottom}$	شوری خروجی از خلیج
$D$	ضریب پخش	$E$	طیف انرژی موج فرکانسی جهتی
		$t$	زمان



# فصل ۱ کلیات

## ۱-۱- مقدمه

سواحل، اغلب مناطق طبیعی بزرگی هستند. کشور ایران با داشتن بیش از ۳۰۰۰ کیلومتر مرز آبی در جنوب و شمال کشور که حدود ۲۳۰۰ کیلومتر آن از سواحل خلیج فارس شروع و تا سواحل دریای عمان امتداد پیدا می کند، نیاز مبرم به شناخت عوامل موثر در این محیط به خوبی احساس می شود تا با بررسی های همه جانبه محیط ساحلی از نظر کمی و کیفی شناخته شود. خلیج در اصل زمانی شکل می گیرد که مقدار فراوانی آب تا اندازه ای توسط خشکی احاطه شود. آب در این ناحیه نسبت به آب های اطراف و دریا آرام تر بوده و مکان مناسبی برای لنگر انداختن کشتی ها فراهم می شود تا از تغییرات شدید آب و هوایی ایمن باشند. اگر این مناطق به اندازه کافی بزرگ و عمیق باشند آن گاه تبدیل به بندرگاه های طبیعی شده که از اهمیت اقتصادی و استراتژیکی فراوانی برخوردار می باشند. بسیاری از شهرهای بزرگ جهان در یک بندرگاه طبیعی واقع شده اند.

در کشورهای همجوار با دریا، سواحل به عنوان کانون فعالیت های اقتصادی اعم از تجارت، صنعت و حمل و نقل کالا و مسافر، تفریحی، گردشگری و شیلات و پرورش آبزیان محسوب گردیده و در همه حال فرصت های ایده آلی را برای توسعه اقتصادی و سرمایه گذاری های کلان فراهم می سازد خلیج ها که حاصل پیشروی آب در خشکی هستند، در معرض خطر طیف وسیعی از تهدیدات، شامل پخش آلاینده ها، انتشار تصادفی مواد آلوده کننده و دیگر فعالیت های انسانی که می تواند باعث ایجاد تغییرات در محیط زیست طبیعی شود، قرار دارند [1].

در شکل ۱-۱ می توان نمونه ای از پیشروی آب دریا به خشکی را مشاهده کرد.



شکل ۱-۱- خلیج نابیند ایران [1].

خلیج‌ها، در معرض خطر طیف وسیعی از تهدیدات، شامل پخش آلاینده‌ها، انتشار تصادفی مواد آلوده کننده و دیگر فعالیت‌های انسانی که می‌تواند باعث ایجاد تغییرات در محیط زیست طبیعی شود، قرار دارند [2].

## ۱-۲- فلاشینگ

تخلیه مواد زائد در هر خلیج ساحلی، بر کیفیت آب و ذاتا محیط زیست موثر است، که توسط ترکیبی از عوامل متعدد، نوع، شدت بارگذاری، مقاومت و آسیب‌پذیری مولفه‌های زیست‌محیطی و مشخصات تخلیه<sup>۱</sup> را تعیین می‌کند. تخلیه یا فلاشینگ خلیج می‌تواند، به عنوان از بین برنده غلظت آلوده کننده، با توانایی انتقال هیدرودینامیکی تعریف شود و با تبادل میان آب داخل خلیج و آب بیرون از خلیج کنترل شود. در واقع تبادل یا فلاشینگ، یک عامل تعیین کننده در کیفیت آب است. به‌طور کلی، فلاشینگ با ورود و خروج آب دریا به خلیج، باعث از بین بردن آلودگی خلیج و یا مانداب<sup>۲</sup> ایجاد شده در خلیج می‌شود. گردش آب خلیج، مسئله‌ی مهمی برای کشورهای که روی توسعه ساحلی برنامه ریزی کرده اند می‌باشد. بنابراین پیش از ساخت یک بندر می‌بایست گردش آب در فضای بندر را در نظر گرفت [3].

مقیاس‌های زمانی گردش آب، چگونگی پاسخ یک سیستم مانند خلیج را نسبت به مواد حل شده و معلق نشان می‌دهد. مواد موجود در آب، مواد قابل بازیافت و غیر قابل بازیافت هستند. فرآیندهایی چون شوری، لاروهای غیرفعال و مواد مغذی و آلاینده‌ها، به عنوان مواد قابل ردیابی برای تخمین مقیاس زمانی هستند. در مورد مقیاس‌های زمانی جهت انتقال مواد آلوده، بحث‌های فراوانی شده است. دینامیک اقیانوس، خور و سواحل، مقیاس زمانی انتقال آب را در خلیج و خور تعیین می‌کند، که نقش مهمی در کیفیت آب و اکولوژی خور ایفا می‌نماید [4].

## ۱-۳- عوامل موثر در فلاشینگ

۳ عامل باید در فلاشینگ مورد بررسی قرار گیرد؛

۱. تاثیر جزر و مد:

تبادل آب و فلاشینگ خلیج با این عملکرد به ۲ فاکتور بستگی دارد:

الف) نسبت حجم آب ورودی در یک چرخه جزر و مد، به کل حجم آب در خلیج. این نسبت، به دامنه جزر و مد، اثر هیدرولیکی ورودی خلیج و به عمق آب بستگی دارد.

<sup>1</sup> flushing

<sup>2</sup> Dead water

ب) فاکتور دوم، گشتاور ناشی از فشار آب می‌باشد، که در افزایش جزر و مد منجر به جایگزین کردن آب‌های داخل خلیج می‌شود. قدرت این فشار، به فلاشینگ که قرار است اتفاق بیفتد و قدرت جزر و مد موجود، بستگی دارد.

۲. تاثیر باد:

عملکرد باد روی سطح آب باعث ایجاد جریان سطحی می‌شود. این جریان سطحی در جهت باد شکل می‌گیرد. معمولا گردش یا فلاشینگ به وجود آمده ناشی از باد تاثیر کمتری نسبت به فلاشینگ به وجود آمده بر اثر عملکرد جزر و مد دارد. با این حال باید عملکرد باد نیز در نظر گرفته شود. چرا که در بعضی سواحل تاثیر باد، باعث فلاشینگ بیشتر خلیج می‌شود.

۳. اثر تخلیه رودخانه:

آب‌های تازه به صورت رواناب سطحی وارد آب خلیج می‌شوند. گاهی این آب‌های رودخانه، باعث افزایش آلودگی منطقه خلیج می‌شود، زیرا برخی از این رودخانه‌ها، آلودگی‌های کشاورزی، صنعتی و انسانی را با خود وارد منطقه خلیج می‌کنند [4].

#### ۱-۴- مکانیزم فلاشینگ

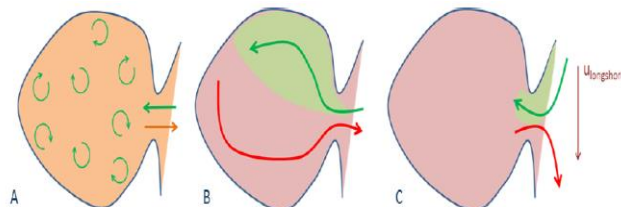
۳ مکانیزم زیر، که باهم در تعیین کارایی تبادل جریان می‌توانند موثر باشند:

الف) اختلاط<sup>۱</sup>: اختلاط آب ورودی دریا با آب خلیج.

ب) تبادل<sup>۲</sup>: حجم آبی که وارد منبع می‌شود، مسیر متفاوتی را نسبت به آبی که خارج می‌شود، طی کند.

ج) جلوگیری از جریان برگشتی<sup>۳</sup>: حجم آبی که در طول جزر از دهانه خارج می‌شود، از برگشت آن در طول چرخه مد بعدی، جلوگیری شود (کاهش جریان برگشتی).

مکانیزم اول و دوم، صرفا نتیجه‌ی جزر و مد می‌باشد. مکانیزم سوم، معمولا به شرایط جریان در سمت دریا بستگی دارد. نمایش شماتیکی مکانیزم فلاشینگ به در شکل ۱-۲ نشان داده شده است [5].



شکل ۱-۲- نمایش مکانیزم فلاشینگ. رنگ قرمز نشان دهنده‌ی آب آلوده و رنگ سبز بیانگر آب دریا می‌باشد [5].

<sup>1</sup> Mixing

<sup>2</sup> Exchange

<sup>3</sup> Prevention of return flow

## ۵-۱- تعاریف

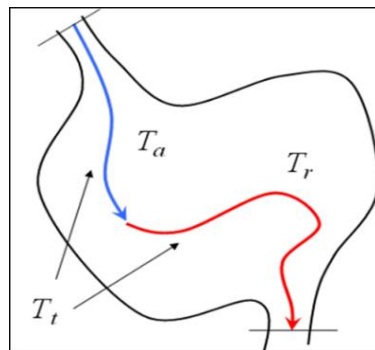
مانسن و همکاران در سال ۲۰۰۲ کاربرد مقیاس زمانی انتقال آب را در سیستم‌های ساحلی، خور، دریاچه‌ها و رودخانه‌ای تخمین زدند. سه مقیاس زمانی باید به صورت زمان فلاشینگ<sup>۱</sup>، سن<sup>۲</sup> و زمان ماند<sup>۳</sup> تعریف گردد [6].

### ۱-۵-۱- زمان فلاشینگ

به عنوان زمان بازیابی<sup>۴</sup> نیز نامیده می‌شود و میزان زمانی است که مقدار مشخصی از آب و مواد موجود در آن جایگزین می‌شود و به صورت اسکالرهایی چون جرم و حجم سیستم‌های ساحلی تعریف می‌شود. برای سیستم‌های به خوبی مخلوط شده و در حالت تعادل، توصیف کمی آن توسط گیر در سال ۲۰۰۰ به صورت نسبت جرم اسکالر در منبع به مقدار تازه‌سازی شده اسکالر بیان می‌شود [6]. زمان فلاشینگ، مدت زمان لازم برای خروج ۶۳٫۲ درصد آلودگی از خلیج و باقی ماندن ۳۶٫۸ درصد ( $\frac{1}{e}$ ) آلودگی در خلیج می‌باشد [4].

### ۱-۵-۲- سن

زمانی که طول می‌کشد تا آب یا بخشی از آب به درون منبع وارد شود را به عنوان سن حجم آب در نظر می‌گیرند (شکل ۱-۳). مطابق شکل نشان داده شده در شکل ۱-۴، اگر دو حجم آبی در زمان یکسان و با سرعت برابر به مکان A وارد شوند و مسیر P1 و P2 را دنبال کنند، این دو حجم آبی، سن‌های مختلفی را در مکان A دارند.



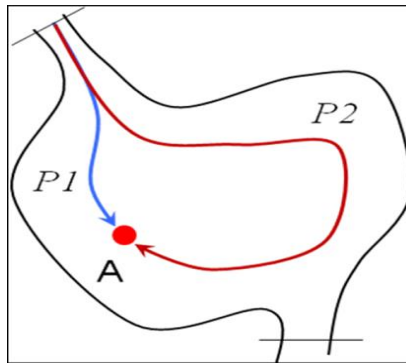
شکل ۱-۳- سن  $T_a$ ، زمان ماند  $T_r$ ، زمان گذر  $T_t$  [6].

<sup>1</sup> Flushing time

<sup>2</sup> age

<sup>3</sup> residence time

<sup>4</sup> Turnover time



شکل ۱-۴- سن‌های متفاوت در رسیدن به موقعیت یکسان [6].

### ۱-۵-۳- زمان ماند و زمان گذر

زمان ماند،  $T_r$ ، به صورت مقدار زمان باقی مانده برای حجم آبی که وارد منبع شده تا در مکانی مشخص از خلیج خارج شود (شکل ۳). سن و زمان ماند هر دو بازه زمانی لازم برای عبور حجم آبی از ورودی تا خروجی یک خلیج را اندازه گیری می‌کند. بنابراین مقیاس زمانی گذر،  $T_t$ ، به عنوان زمان فلاشینگ توسط زیمرمان به صورت مجموع سن و زمان ماند تعریف شد.

### ۱-۶- تعریف مساله و بیان سوالات پژوهش

با توجه به روش‌های موجود برای تعیین زمان فلاشینگ در منابع مختلف و بررسی عملکرد فلاشینگ خلیج چابهار، که نیازمند داده‌ها و مطالعات زیادی در این زمینه می‌باشد، بنابراین قبل از مطالعه این منابع سوالاتی پیش می‌آید. سوالات اساسی این پژوهش شامل موارد زیر است:

۱. چه فرآیندها و پدیده‌هایی بر فلاشینگ تاثیر می‌گذارد؟
۲. کدام فرآیند، اثر غالب بر فرآیند دیگر، در فلاشینگ منطقه مورد نظر دارد؟
۳. چه روش‌هایی برای تعیین زمان فلاشینگ وجود دارد؟
۴. کدام روش و یا روش‌ها برای منطقه مورد نظر مناسبتر است؟
۵. در صورتی که فلاشینگ منطقه به صورت طبیعی عملکرد خوبی نداشت، چه راهکاری برای عملکرد مناسب آن می‌توان ارائه داد؟

### ۱-۷- منطقه مورد مطالعه

#### ۱-۷-۱- خلیج چابهار

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق خلیج چابهار است. خلیج چابهار از زیباترین خلیج‌های طبیعی کشور و ماحصل آمیزش دریا، زمین و آفتاب است که طی هزاران سال به صورت طبیعی در گوشه‌ای از دریای

عمان و در همسایگی شهر چابهار ایجاد شده است. اساساً منطقه چابهار دارای خلیج‌های طبیعی متعددی است که محوریت آن با خلیج چابهار است این خلیج طبیعی که چشم اندازی بسیار طبیعی دارد، خود میزبان ده‌ها لنج و قایق‌های صیادی است. منطقه آزاد چابهار در جوار شرقی این خلیج زیباست. خلیج چابهار بزرگترین خلیج ایران در حاشیه کرانه‌های دریای عمان (سواحل مکران) است. این خلیج به خاطر شکل ظاهری ( $\Omega$ ) خود در زمین‌شناسی از نوع خلیج‌های امگایی نامیده می‌شود. خلیج چابهار در موقعیت جغرافیایی بین طولهای  $60^\circ$  درجه و  $6^\circ$  دقیقه تا  $61^\circ$  درجه و  $5^\circ$  دقیقه شرقی و عرض‌های  $24^\circ$  درجه و  $38^\circ$  دقیقه تا  $25^\circ$  درجه و  $27^\circ$  دقیقه واقع است. عرض دهانه این خلیج در حدود  $13/5$  کیلومتر و ژرفای آب در دهانه خلیج در حدود  $14/5$  متر است که با نزدیک شدن به کرانه‌ها کاهش می‌یابد؛ به طوری که در  $3/5$  کیلومتری کرانه شمالی و کرانه غربی خلیج، عمق آب به  $4/5$  متر می‌رسد. طول این خلیج در راستای شمالی جنوبی  $17$  کیلومتر و عرض آن در راستای شرقی غربی در عریض‌ترین قسمت، حدود  $20$  کیلومتر است. هیچ رودخانه قابل ملاحظه‌ای وارد این خلیج نمی‌شود. بندر کنارک در غرب و بندر چابهار در شرق خلیج بزرگترین بنادر ایرانی دریای عمان می‌باشند [2]. همان‌طور که در شکل شماره ۱-۵ مشاهده می‌شود، این خلیج دارای یک دهانه ورودی آب می‌باشد.



شکل ۱-۵- موقعیت خلیج چابهار در دریای عمان [1].

### ۱-۷-۲- جایگاه اقتصادی چابهار و تاسیسات دریایی آن

بندر چابهار به علت قرار گرفتن در ابتدای راههای زمینی، دارا بودن ۳۰۰ کیلومتر مرز آبی با دریای عمان و با توجه به موقعیت منطقه، از دیرباز از نظر کشورهای منطقه از لحاظ سیاسی، اقتصادی و نظامی جایگاه ویژه‌ای داشته و بندری استراتژیک است [7].

از آنجایی که احداث بنادر و موج شکن‌های منطقه چابهار اساساً بر نحوه توزیع افقی پارامترهای آب مؤثر است، لذا آگاهی از جانمایی آنها می‌تواند در تحلیل‌ها مؤثر باشد. مهمترین اهداف احداث چنین سازه‌هایی، حفاظت از بنادر در برابر فرسایش ساحل، ایجاد اسکله‌های تجاری و صیادی و امکانات رفاهی در سواحل است [7]. تاسیسات دریایی خلیج چابهار در شکل ۱-۶ نشان داده شده است.

### ۱-۷-۳- موج شکنهای موجود در خلیج چابهار :

موج شکن بندر صیادی پزم: این بندر در شرق خلیج پزم (۴۵ کیلومتری غرب چابهار) و در پناه پوزه طبیعی آن قرار گرفته است و دارای موج شکنی به طول تقریبی ۴۲۰ متر می باشد.

موج شکن بندر صیادی کنارک: این بندر در ۴۰ کیلومتری غرب چابهار و در مقابل شهر کوچک کنارک واقع شده است.

موج شکن بندر صیادی تیس: این بندر در ۱۰ کیلومتری شمال چابهار قرار گرفته و دارای موج شکنی به طول تقریبی ۴۵۰ متر است.

راه سنگی دسترسی به اسکله های بندر شهید بهشتی: جهت دسترسی به اسکله های بندر بزرگ تجاری چابهار یک راه با بدنه خرده سنگی به طول ۳۰۰ متر وجود دارد.

موج شکن بندر شهید کلانتری: این بندر در بخش شرقی خلیج چابهار واقع شده و دارای موج شکنی به طول ۶۰۰ متر است.

موج شکن بندر رمین: این بندر در ۱۲ کیلومتری شرق چابهار قرار گرفته و دارای موج شکنی به طول تقریبی ۶۰۰ متر است. بخشی از موج شکن در تماس با منطقه جزر و مدی دریا قرار دارد.



موج شکن بندر بريس: بندر مزبور در ۷۰ کیلومتری شرق چابهار و در پناه پوزه طبیعی مارنی واقع است. موج شکن پسابندر (در دست ساخت): این بندر در فاصله ۱۲۰ کیلومتری شرق چابهار و در مجاورت خلیج گواتر قرار دارد.



شکل ۱-۶- موقعیت تاسیسات دریایی خلیج چابهار [1].

#### ۱-۷-۴- وضعیت باد در چابهار

باد نقش مهمی در جابجایی توده‌های هوای مرطوب دارد و یکی از عوامل مهم در ایجاد بارندگی و تبخیر است. باد یک کمیت برداری با دو مشخصه سمت و سرعت است. سمت و سرعت یا از طریق مشاهده تخمین زده شده و یا با استفاده از ابزارهای ویژه اندازه‌گیری می‌شود. بادهای غالب چابهار به دو نوع تقسیم می‌شوند

۱- بادهای محلی یا بادهای مونسون که بندر چابهار را در دو دوره آذر تا بهمن و اردیبهشت تا مهر تحت تاثیر قرار می‌دهند.

۲- توفانها و تندبادهای حاره‌ای نظیر وقوع توفان حاره‌ای گنو<sup>۱</sup> که در آخرین بار در نیمه خرداد ماه ۱۳۸۶ به وقوع پیوست.

<sup>1</sup> Gonou

مناطق ساحلی چابهار از یکسو تحت تأثیر بادهای موسمی اقیانوس هند و از طرف دیگر تحت تأثیر جبهه هوای سرد ناشی از کاهش درجه رطوبت مناطق کوهستانی و افزایش رطوبت مناطق پست است. به علاوه، این منطقه از خرداد تا اواسط شهریور تحت تأثیر توفانهای استوایی قرار دارد که از قسمت میانی اقیانوس هند سرچشمه می‌گیرند؛ در این فاصله زمانی دریای عمان متلاطم و موج است. بادهای موسمی در تغییر دمای منطقه اهمیت ویژه‌ای دارند [7].

### ۱-۷-۵- جریان‌های دریایی در چابهار

حرکت افقی و مداوم آب سطح اقیانوس در یک جهت معین، جریان اقیانوسی نام دارد. جریان‌های دریایی یا اقیانوسی نقش عمده‌ای در انتقال انرژی و در نتیجه توزیع دما دارند. لذا بر اقلیم مناطق اثرگذارند. جریان آب در خلیج چابهار تحت تأثیر سرعت و جهت باد، اختلاف دما، اختلاف چگالی، اختلاف شوری و آرایش ساختاری خلیج در طول سواحل و بستر آن قرار دارد. عامل ژئوفیزیکی که گردش آب در این ناحیه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بادهای موسمی است که از سواحل آفریقا تا نیمه دریای سرخ کشیده شده، در شرق به دریای عمان رسیده و این منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد [7].

### ۱-۷-۶- جزر و مد در چابهار

انرژی در حرکت آب می‌تواند مرتبط به سه نیرو باشد. نیروهای جزر و مدی، نیروی باد و نیروهای مربوط به اختلاف چگالی. انرژی جنبشی مربوط به سرعت آب را می‌توان میان این سه نیرو به طور تقریبی به ترتیب به نسبت ۱۰۰ و ۱۰ و ۱ تقسیم نمود. جزر و مد در اثر تغییر نیروهای گرانشی خورشید و ماه (عمدتاً ماه) نسبت به نقاط واقع بر سطح زمین در پهنه‌های آبی رخ می‌دهد و از نظر اینکه نیروهای مولد آن بیشتر ماه یا خورشید یا هر دو باشد، انواع مختلفی دارد که هر یک دارای دوره تناوب خاص خود است. البته توپوگرافی بستر دریاها و همچنین نیروهای کوریولیس در بسیاری از موارد باعث تشدید آن می‌شود [7].

هر جریانی یک مقیاس زمانی خاص خود را دارد بطوریکه جزر و مد به میزان چندین ساعت در دوره تناوب روزانه و نیم روزانه تغییر می‌کند. جزر و مد اصولاً به دو نوع روزانه و نیم روزانه تقسیم می‌شود. اگر قله‌های موج در فاصله زمانی حدود ۲۴ ساعت تشکیل شود، جزر و مد روزانه نامیده می‌شود.

جریانهای مربوط به رانش باد دارای مقیاس زمانی چندین روز و جریانهای ناشی از تغییر چگالی طی هفته ها تغییر می یابد.

معمولا جریانهای جزر و مدی هنگامی که به ساحل نزدیک می شوند، قویتر شده و نقش مهمی در گردشهای محلی دارند. علت آن این است که این امواج بلند به صورت امواج کلوین به دام افتاده و در امتداد ساحل حرکت می کنند. به عنوان مثال در مصب یک خور جریانهای جزر و مدی حداقل ده برابر قویتر از جریانهای غیر جزر و مدی است.

جریانهای سطحی جزر و مدی به صورت چرخان است بدین ترتیب که با در نظر گرفتن مسیر یک ذره آب، مشخص می شود که در یک دوره کامل جزر و مد، ذره آب مسیری به شکل یک بیضی ناهموار را طی می کند. معمولا محور بزرگ (اصلی) بیضی کمابیش به صورت موازی با خط ساحلی حرکت می کند. به همین دلیل است که جریانهای جزر و مد غالبا موازی با ساحل است و به صورت امواج بلند ظاهر می شوند. در کل می توان گفت جریانهای جزر و مدی مولفه بزرگی از کل انرژی جنبشی در مناطق نزدیک ساحل می باشند. بررسی و مطالعه جدول و نمودارهای ارائه شده توسط سازمان هواشناسی کشور نشان می دهد که در بندر چابهار بیشینه ارتفاع جزر و مد برابر ۳ متر و کمینه ارتفاع جزر و مد ایجاد شده برابر ۰/۳ متر است. در جدول ۱ مقادیر کمینه و بیشینه کشند خلیج چابهار آورده شده است. نوع کشند حاکم در منطقه چابهار نیم روزانه با دو دامنه متفاوت و نابرابر است [7].

جدول ۱-۱- میزان کمینه و بیشینه کشند در منطقه چابهار (بر حسب متر) [7].

HHW <sup>6</sup>	MHHW <sup>5</sup>	MSL <sup>4</sup>	MLHW <sup>3</sup>	MLLW <sup>2</sup>	LLW <sup>1</sup>
۳/۵۰	۲/۵۴	۱/۰۵	۱/۱۳	۰/۰۴	۰/۰۰

#### ۸-۱- ضرورت انجام تحقیق

از جمله موارد مهمی که خلیج چابهار را جزء مناطق حساس دریایی قرار می دهد، عبارتند از: وجود منابع غنی و متنوع طبیعی و اکوسیستم های خاص مانند جنگل های مانگرو، آبنگ های مرجانی و

<sup>1</sup> Lower Low Water

<sup>2</sup> Mean Lower Low Water

<sup>3</sup> Mean Lower High Water

<sup>4</sup> Mean Sea Level

<sup>5</sup> Mean Higher High Water

<sup>6</sup> Higher High Water

زیستگاه پرندگان مختلف دریازی و همچنین شکل‌های آب شناختی مختلف از قبیل کولاب‌های ساحلی، مصب‌ها، خورها، خلیج‌های کوچک و تالاب‌های ساحلی.

منابع ایجاد کننده آلودگی دریایی در سواحل خلیج چابهار را می‌توان به چند دسته تقسیم کرد:

◀ منطقه صنعتی چابهار

◀ اسکله‌ها

◀ مناطق تکثیر و پرورش آیزیان

◀ منطقه شهری

◀ محل دفن زباله شهری

◀ آب شیرین کن‌ها

مناطق صنعتی چابهار دارای کارخانه و کارگاه‌هایی است که بطور عمده با دریا و فرآورده‌های دریایی در ارتباط هستند. فعالیت‌های دریایی این کارخانه‌ها و پساب و زباله‌های آنها می‌تواند به دریا و سواحل خسارات زیادی وارد کند. منطقه چابهار دارای مناطق صنعتی از قبیل پسابندر، بریس، نگور، رمین، شهرک صنعتی چابهار، ناحیه کارگاهی و دهکده صنعتی منطقه آزاد است. به طور مثال، بندر پسابندر در شرق شهرستان چابهار واقع شده است که یکی از فعال‌ترین مناطق صنعتی چابهار است. با وجود واحد‌های صنعتی زیاد در این منطقه احتمال آن که ضایعات این کارخانه‌ها باعث آلودگی سواحل منطقه شوند، بالا است. حال اگر این ضایعات و پساب‌ها وارد دریا هم نشود و در یک مکان دفن گردد، باز هم احتمال آن هست که به علت نفوذ پذیر بودن خاک منطقه، به دریا راه یابند و منطقه را آلوده نماید [7].

آلودگی‌های نفتی موجود در خلیج چابهار بطور عمده به صورت نشت مواد سوختی هنگام سوخت‌گیری و یا نشت از مخازن است. آلودگی مهم دیگری که از جانب لنج‌ها به وجود می‌آید و متأسفانه کمتر مورد توجه قرار گرفته است، شستشوی محفظه حاوی موتور با آب دریا و ریخته شدن این آب‌های

آلوده به دریا است. به طور کلی می توان این گونه بیان کرد که آلودگی های نفتی که منشا آثار بسیار مخرب زیست محیطی به شمار می روند، متاسفانه در آب های خلیج چابهار به وفور یافت می شوند. در چابهار محل دفن زباله در دو کیلومتری مسیر چابهار - ایرانشهر قرار دارد که ۴ کیلومتر فاصله از دریا دارد و تقریباً در منطقه ای کوهستانی واقع شده است. این امر باعث می شود که منابع آلاینده کمتر از طریق تراوش آب های زیر زمینی به دریا انتقال یابند. با این حال احتمال انتقال آلودگی توسط شستشوی این مواد و راه یابی پساب حاصل از آنها به دریا وجود دارد [7].

باتوجه به آلودگی های موجود در نزدیکی خلیج چابهار، ضروری است که فلاشینگ و چرخه آب و همچنین زمان فلاشینگ این خلیج مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. موقعیت واحدهای صنایع شیلاتی در شکل ۷-۱ نشان داده شده است.



شکل ۷-۱- نقشه مربوط به واحدهای صنایع شیلاتی در پسابندر [7].

علاوه بر موارد ذکر شده در بالا، با توجه به طرح توسعه بنادر در خلیج چابهار و تغییرات ایجاد شده در این خلیج، ضروری است تا تاثیر این تغییرات در زمان فلاشینگ مورد بررسی قرار گیرد و در صورت عملکرد نامناسب، راهکار مناسبی ارائه داده شود.

#### ۹-۱- اهداف و روش های تحقیق

با توجه به موارد فوق تحقیق حاضر در پی بررسی گردش آب و فلاشینگ خلیج چابهار جهت تعیین زمان فلاشینگ منطقه مورد نظر، با استفاده از روش های تحلیلی و مدل سازی عددی برای منطقه مورد نظر است.

بنابراین در این پژوهش سه هدف اصلی زیر دنبال می‌شود:

۱. تعیین و ارزیابی زمان فلاشینگ با استفاده از مدل‌سازی عددی در منطقه مورد مطالعاتی
۲. تعیین و ارزیابی زمان فلاشینگ با استفاده از روش‌های تحلیلی در منطقه مورد مطالعاتی و مقایسه آن با مدل‌سازی عددی
۳. تاثیر طرح توسعه بنادر خلیج چابهار بر زمان فلاشینگ خلیج چابهار

#### ۱-۱۰- بخش‌های مختلف پایان‌نامه

در فصل دوم این تحقیق به مروری بر کارهای انجام‌شده در زمینه تعیین و ارزیابی زمان فلاشینگ به روش‌های تحلیلی و مدل‌سازی که در سطح ایران و گستره‌ی جهانی انجام‌شده است، پرداخته خواهد شد. موضوع فصل سوم بررسی مواد و روش‌های به‌کاررفته در تحقیق شامل روش‌های تحلیلی و روش مدل-سازی عددی که توسط نرم افزار مایک ۲۱ صورت گرفته در تحقیق شامل روش‌های تحلیلی و روش مدل-به‌دست‌آمده از روش‌های تحلیلی و روش عددی مایک ۲۱ و مقایسه و بررسی این دو روش در منطقه تحقیقاتی مورد مطالعه و بررسی تاثیر باد و تاثیر طرح توسعه بنادر در خلیج چابهار بر زمان فلاشینگ این خلیج است. پس از به دست آوردن بهترین نتایج، در فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات ارائه گردید.

## فصل ۲ مروری بر تحقیقات گذشته

## ۲-۱- مقدمه

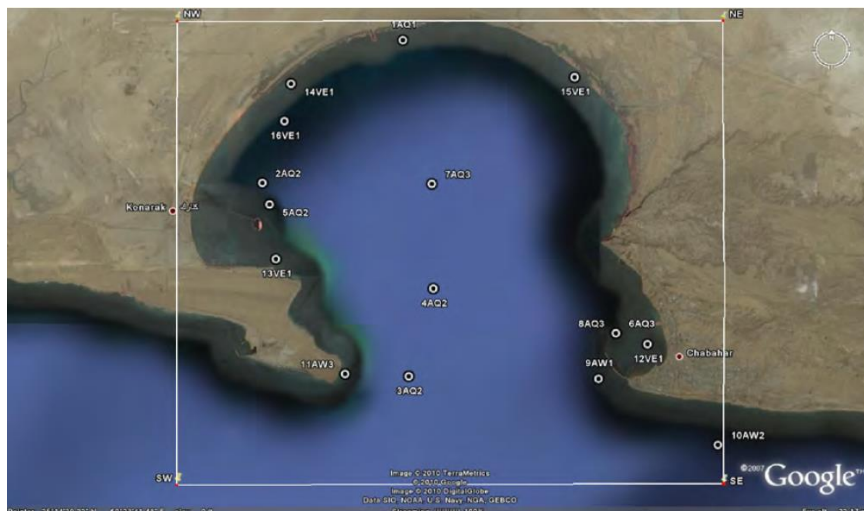
در این فصل تحقیقات انجام شده توسط افراد مختلف ایرانی و سایر کشورهای دیگر، با روش‌های تحلیلی و مدل‌سازی عددی، در خورها و خلیج‌های مختلف به صورت مختصر ارائه شده است. البته به علت حجم زیاد تحقیقات انجام شده با نرم‌افزارهای مختلف عددی، سعی بر آن است، روی کارهایی که در منطقه مورد مطالعاتی تحقیق حاضر، انجام شده است و یا مدل‌سازی عددی آن‌ها، با نرم افزار مایک ۲۱ صورت گرفته است و همچنین روش‌های تحلیلی انجام شده‌ای که، ارتباط بیشتری با روش‌های انجام شده در تحقیق حاضر دارند، بحث شود.

## ۲-۲- مروری بر تحقیقات گذشته

در منطقه چابهار تا سال ۲۰۰۷ هیچ پروژه مدل‌سازی هیدرودینامیکی صورت نگرفته بود. اما پس از انجام عملیات گسترده اندازه‌گیری میدانی در یک دوره یک ساله در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ توسط سازمان بنادر و دریانوردی در این منطقه این سازمان اقدام به مدل‌سازی سه‌بعدی هیدرودینامیکی خلیج چابهار نموده است. موقعیت ایستگاه‌ها را در شکل ۱-۲ و دوره‌های برداشت در هر ایستگاه را در جدول ۱-۲ ملاحظه می‌کنید [8].

محمد جواد کتابداری و همکاران در سال ۱۳۹۱، کاربرد روش عددی در برآورد زمانی تجدید پذیری آب را بر اساس ردیابی آلودگی فرضی در خلیج چابهار را نشان دادند. آن‌ها از مدل عددی هیدرودینامیکی تفاضل محدود open source چند منظوره به نام COHERENS که قابلیت مدل‌سازی محیط زیستی در محیط‌های آبی مانند فلات قاره‌ها و مصب رودها و انتقال آلودگی‌ها و رسوب را دارا می‌باشد، استفاده شده است. این مدل با در نظر گرفتن مولفه‌های جزر و مدی و سرعت جریان موازی ساحل در مرز آزاد دریا، تنش سطحی به صورت تابعی از سرعت باد، دمای هوا، رطوبت نسبی و انتقال حرارت در سطح آب مدل‌سازی شده است [8].





شکل ۱-۲- محدوده مورد مطالعه و موقعیت مکانی دستگاههای اندازهگیری برداشت میدانی پارامترهای دریایی در چابهار [8].

جدول ۱-۲- موقعیت مکانی و زمانی دستگاههای اندازهگیری در پروژه برداشت میدانی پارامترهای دریایی در چابهار [8].

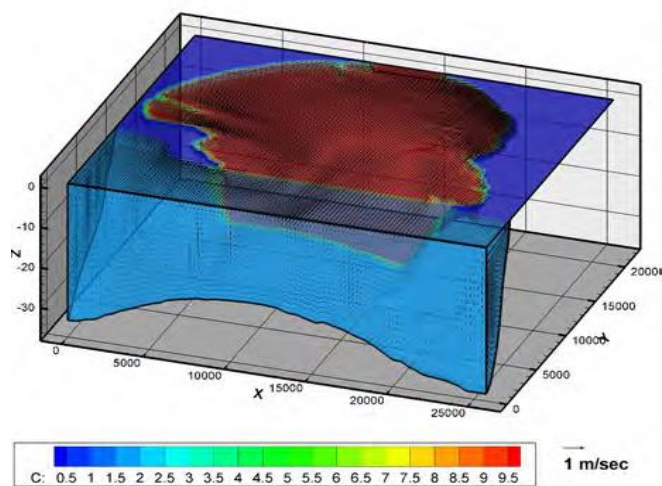
Instrument Name	Station Number	Measurement Period		Depth (m)	Position of Instruments	
		Start	End		Longitude	Latitude
AQ1	1	8/21/06 19:00	9/3/07 22:40	-3	60.5021	25.4345
AQ2	2	8/22/06 13:00	3/1/07 18:00	-3	60.4358	25.3733
	3	3/5/07 15:00	5/22/07 6:00	-13	60.5049	25.2906
	4	5/22/07 0:00	7/10/07 7:00	-11	60.5165	25.3281
	5	7/11/07 11:00	8/29/07 13:00	-5	60.4392	25.3641
AQ3	6	10/31/06 14:00	5/31/07 18:00	-10	60.6026	25.3090
	7	6/1/07 11:00	6/30/07 13:20	-10	60.5158	25.3729
	8	7/1/07 11:00	9/3/07 16:00	-10	60.6026	25.3090
AW1	9	8/25/06 11:00	9/2/07 11:00	-10	60.5944	25.2895
AW2	10	8/27/06 11:08	6/14/07 10:20	-30	60.6507	25.2612
AW3	11	8/30/06 11:08	9/2/07 11:40	-11	60.4749	25.2916
VE1	12	8/22/06 8:00	10/26/06 14:00	-3	60.6175	25.3043
	13	10/31/06 11:00	2/1/07 15:00	-3	60.4422	25.3407
	14	2/5/07 14:00	2/20/07 7:00	-2	60.4493	25.4158
	15	2/5/07 12:00	6/30/07 14:00	-2	60.5832	25.4186
	16	7/13/07 13:00	8/31/07 5:00	-3	60.4462	25.3998

در آن پروژه از اطلاعات عمق سنجی دقیقی با فواصل شبکه ۱۰ متر که بیش از ۳۲۰۰۰۰۰ نقطه برداشت را شامل می‌شود استفاده شده است. شبکه دارای تعداد تقسیمات ۱۰۳ در راستای شرق به غرب و ۸۶ در راستای شمال به جنوب بوده است. با توجه به ابعاد هر چشمه از شبکه مدل که ۲۵۰ در ۲۵۰ متر بود، میانگین عمق ۶۷۶ نقطه در هر چشمه شبکه گرفته و به این چشمه از شبکه اختصاص داده شد.

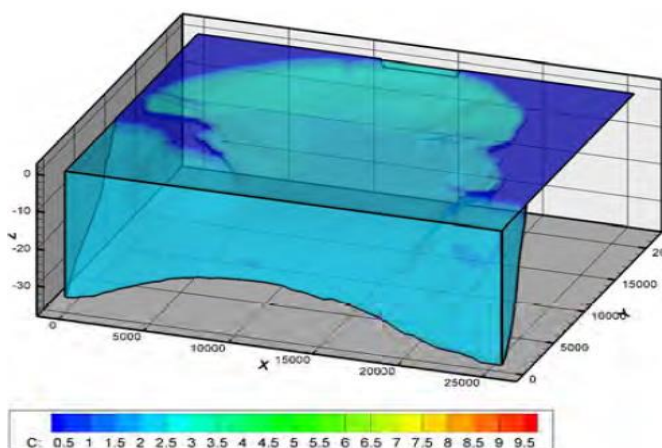
چهار مؤلفه جزر و مدی جدول ۲-۲ بر اساس جداول جزرومدی بنادر کشور، ارائه شده توسط سازمان نقشه برداری در سال ۲۰۰۶ برای اعمال در مرز آزاد جنوبی مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۲-۲- چهار مؤلفه جزر و مدی بندر چابهار، ارائه شده توسط سازمان نقشه برداری برای سال ۲۰۰۶ [8].

Tidal Constituent	Amplitude (m-ft)	Period (hr)	Phase (deg)
Principal lunar semidiurnal M2	0.62 - 2.034	12.42	267.3
Principal solar semidiurnal S2	0.24 - 0.787	12.00	299.6
Lunisolar diurnal K1	0.40 - 1.312	23.93	34.5
Principal lunar diurnal O1	0.20 - 0.656	25.82	35.8



شکل ۲-۱- غلظت آلودگی در ۱ سپتامبر (سه بعدی) [8].



شکل ۲-۲- غلظت آلودگی در ۳۰ سپتامبر (سه بعدی) [8].

آن‌ها پس از مدل‌سازی به این نتیجه رسیدند که آب قسمت‌های جنوب شرقی خلیج با سرعت بیشتری در حال جایگزین شدن هستند. این در حالی است که نواحی شمال شرقی خلیج یکی از کندترین مناطق در حال جایگزینی به حساب می‌آیند. جریان عموماً از دماغه غربی به سمت داخل خلیج است پس در صورت احداث تأسیسات صنعتی آلودگی‌زا یا وقوع سوانح دریایی در این ناحیه آلودگی به سمت داخل خلیج پیش خواهد رفت.

پس از گذشت دوره‌ای از زمان کماکان نفوذ آب تازه از سمت غرب بوده و پس از گذشت سی روز از شروع مدل‌سازی نیمه جنوبی خلیج بطور کامل و نیمه شمالی آن بیش از نود درصد جایگزین شده است. بطور کلی خلیج چابهار به سبب محدوده کوچک و دهانه نسبتاً بازی که دارد از چرخش آب خوبی برخوردار است. بر خلاف خلیج فارس که به سبب محدوده بسته خود و تردد نفتکش‌ها و کشتی‌های بزرگ، خشکسالی‌های پی‌پی، عمق کم و فرسودگی تأسیسات نفتی فراوان آن از آلوده‌ترین آب‌های جهان است [8].

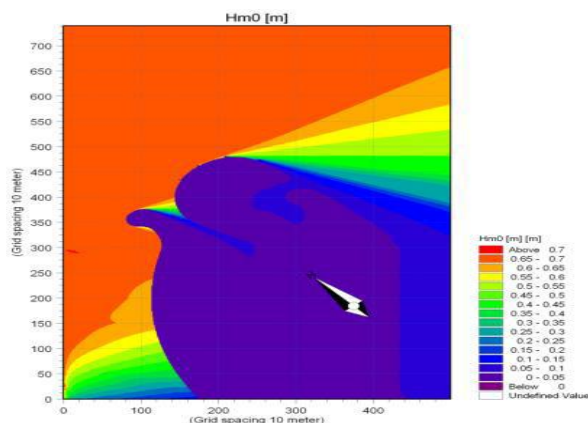
احمد لبلب<sup>۱</sup> و همکارانش در سال ۲۰۱۵ با استفاده از مدل دوبعدی نرم افزار مایک ۲۱، فلاشینگ جزیره مصنوعی در بندر سعید مصر که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است، مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در تحقیق خود از ماژول HD و AD جهت مدل‌سازی این جزیره استفاده کردند [9].



شکل ۲-۴- موقعیت بندر سعید مصر [9].

جهت شبیه‌سازی انتقال موج در اطراف جزیره از ماژول NSW نرم افزار مایک ۲۱ استفاده شد که نتایج این شبیه‌سازی در شکل ۲-۵ قابل مشاهده است.

<sup>1</sup> Ahmed A. Lebleb

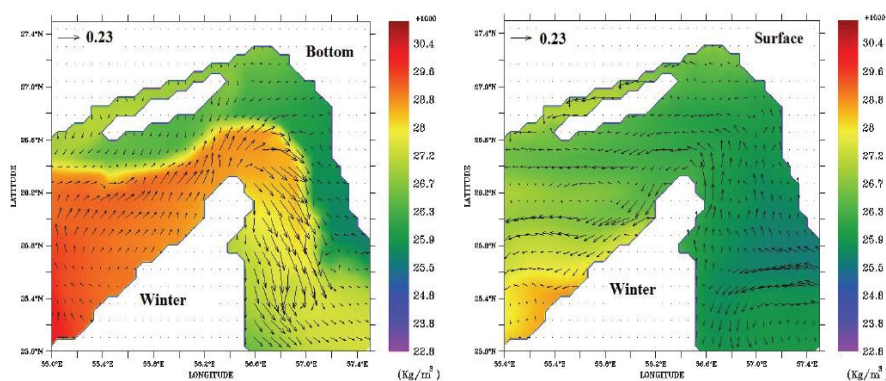


شکل ۲-۵- ارتفاع موج در جزیره مصنوعی بندر سعید [9].

جهت ارزیابی زمان فلاشینگ خلیج، ۲ سناریو مورد بررسی قرار گرفت. سناریو اول، از اثر باد در سراسر جزیره صرف نظر شد. در سناریو دوم که به واقعیت نزدیکتر بود، شدت ماده ردیاب به همراه باد مورد ارزیابی قرار گرفت.

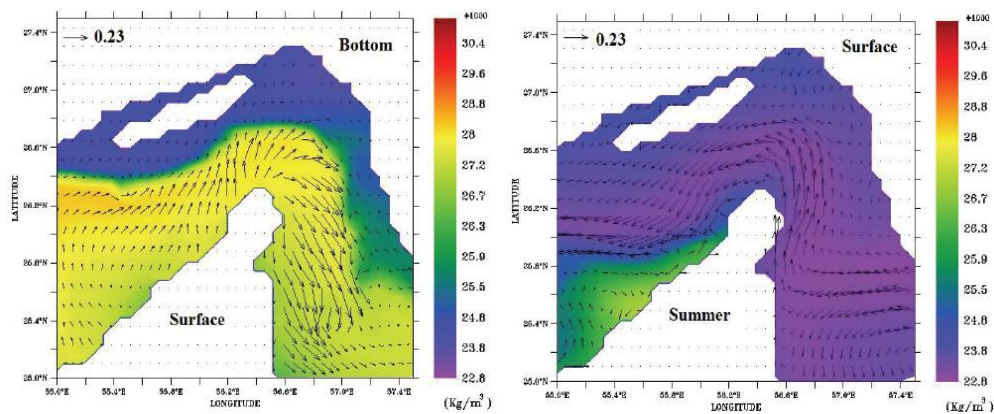
نتایج این تحقیق نشان داد که طرح اولیه این پروژه برای چرخه‌ی تجدیدپذیری آب جزیره خوب است. همچنین این پژوهش نشان داد که اثر باد، تاثیر قابل توجهی در تجدیدپذیری آب جزیره داشته است.

مسعود صدری نسب در سال ۱۳۸۹ با استفاده از مدل ۳ بعدی هیدرودینامیکی کوهیرنس، نحوه گردش آب در تنگه هرمز را مورد بررسی قرار داد. این بررسی در ۱۰ لایه از سطح تا بستر، انجام شد. در مدل‌سازی این تنگه داده‌های هواشناسی ۵۴ ساله به صورت میانگین روزانه به کار گرفته شد. همچنین ۴ مولفه اصلی جزر و مد یعنی  $M_2$  و  $S_2$  و  $K_1$  و  $O_1$  در مدل اعمال شدند. مدل مذکور به صورت روزانه، الگوی جریان از سطح تا بستر را براساس تغییرات چگالی و شوری و تبادل باروکلینیکی بین گرادیان فشار و گرادیان چگالی محاسبه و شبیه‌سازی نموده است.



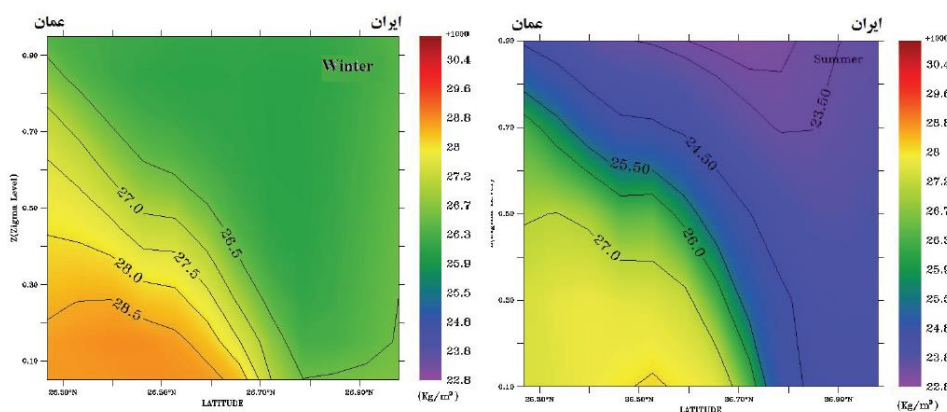
شکل ۲-۶- پیش بینی جریان و چگالی توسط مدل در لایه های سطحی و نزدیک بستر در تنگه هرمز در فصل زمستان [10]





شکل ۲-۷- پیش بینی جریان و چگالی توسط مدل در لایه های سطحی و نزدیک بستر در تنگه هرمز در فصل تابستان [10].

نتایج حاصل از این مدل سازی مطابق شکل ۲-۶، ۲-۷ و ۲-۸ نشان داد، در اثر تبخیر زیاد در خلیج فارس، آب از دریای همجوار یعنی دریای عمان برای جایگزینی آب های تبخیر شده خلیج فارس به سمت این خلیج حرکت می کنند و بر اثر نیروی کوریولیس به سمت سواحل ایران منحرف می شوند و حرکت آن ها از سمت سواحل ایران به سمت شمال غربی خلیج فارس ادامه پیدا می کند. تحلیل خروجی های مدل حاکی از وجود گردش آب در تنگه هرمز در طول سال است که بیشترین میزان ورود آب از خلیج عمان به خلیج فارس را اواخر بهار و اوایل تابستان پیش بینی می نماید [10].



شکل ۲-۸- پیش بینی نیمرخ عمودی چگالی در تنگه هرمز در فصول تابستان (راست) و زمستان (چپ) [10].

مجید نورانیان اصفهانی براساس نتایج اندازه گیری های میدانی که در دو جزرو مد حداقل و جزر و مد کامل و با دامنه زیاد به ترتیب در اسفند ۱۳۷۴ و اردیبهشت ۱۳۷۵ به مطالعه و بررسی گردش آب در خور موسی که موقعیت آن در شکل شماره ۲-۹ نشان داده شده است، پرداخت [11].



شکل ۲-۹- خور موسی و موقعیت ایستگاههای آن [11].

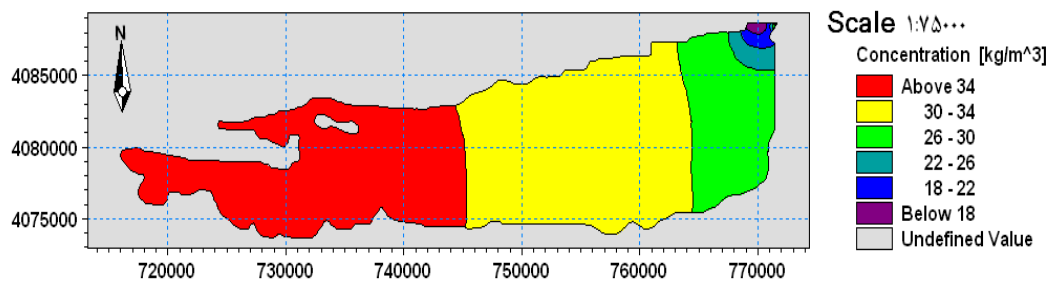
براساس تجزیه و تحلیل داده‌های سرعت، الگوی گردش آب، یک سیستم دولایه را نشان می‌دهد. در هنگام جزر و مد کامل، جریانات پسماند در قسمت میانی کانال به شدت تحت تاثیر توپوگرافی بستر خروجی آب خورهای متصله قرار دارد. الگوی جریانات پسماند، بر انتقال بار معلق رسوب به سمت بالا دلالت دارد. محاسبه انتقال پسماند نشان می‌دهد که دریافت استوکس و پمپاژ جزر و مدی از عوامل مهم و موثر در انتقال آب، رسوب معلق به داخل خور می‌باشد. با توجه به ورودی بسیار کم آب شیرین به درون خور و بارش بسیار کم، خور موسی یک خور منفی است. مقادیر خالص و به سمت بالارود جریان‌های اولری پسماند و دریافت استوکس، دلالت می‌کند که انتقال پسماند آب در هر دو دوره جزر و مد حداقل و جزر و مد کامل و در هر دو ایستگاه به سمت بالارود است. با توجه به نتایج حاصله، امکان انتقال سریع و خود به خودی رسوبات سوار بر سیستم جریانات به خارج از خور وجود نخواهد داشت یا بسیار ضعیف خواهد بود.

سعید شربتی در سال ۱۳۹۵ به مدل سازی خلیج گرگان، جهت بررسی زمان تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان به منظور توسعه آبی پروری پرداخت. هدف از آن تحقیق مدل سازی سه بعدی زمان تجدیدپذیری محلی آب در خلیج گرگان به منظور شناسایی بهترین مکانها برای توسعه آبی پروری در اعماق مختلف خلیج گرگان می باشد. بدین منظور نسبت به جفت نمودن به هنگام مدل هیدرودینامیکی و انتقال-پخش از بسته نرم‌افزاری مایک ۳ در یک دوره زمانی شاخص یک ساله و در سه لایه یک متری اقدام گردیده است. به دلیل کم عمق بودن حوضه خلیج (میانگین عمق ۱/۵ متر و حداکثر عمق ۳/۶ متر) و در نتیجه ناچیز بودن تغییرات عوامل شوری و دما در ایجاد ساختار سه‌بعدی پویایی آب خلیج گرگان از تاثیر دو عامل مذکور در ایجاد جریان صرف نظر شده است و با فرض باروتروپیک بودن چگالی آب، تنها نیروی اندرکنش باد با سطح دریا و اثر مرز باز دهانه آشورآده-بندرترکمن در بررسی ساختار سه بعدی جریان در خلیج گرگان مد نظر قرار گرفته است [12].

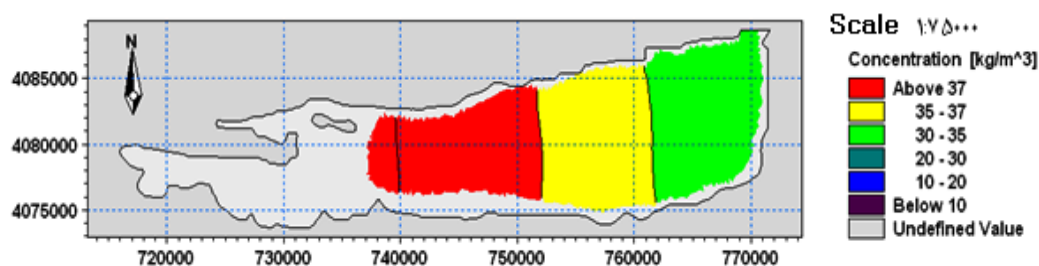
با توجه به تغییرپذیری مکان-زمانی خصوصیات محلی پویایی آب در احجام آبی در بیشتر موارد تخمین توزیع مکانی تجدیدپذیری محلی آب نیازمند استفاده از مدلسازیهای عددی می باشد. بدین منظور می

توان از سه شیوه مدل سازی عددی همچون ردیابی لاگرانژی ذرات<sup>۱</sup>، انتقال-پخش ذرات<sup>۲</sup> و یا ترکیبی از آن دو استفاده نمود.

بررسی نتایج خروجی حاصل از مدل سازی نشان داد که زمان تجدیدپذیری محلی آب در لایه سطحی خلیج گرگان به ضخامت ۱ متر با حرکت از سمت دهانه ورودی خلیج در موقعیت مرز باز آشورآده - بندرترکمن به سمت غرب افزایش می یابد (شکل ۲-۱۰). نتایج بررسی میزان تجدیدپذیری محلی در لایه دوم به فاصله یک متر از لایه سطحی (شکل ۲-۱۱) و لایه سوم به فاصله دو متر از لایه سطحی (شکل ۲-۱۲) نیز بیانگر آن می باشد که مقادیر این شاخص زمانی با حرکت از سمت شرق به غرب و با فاصله گرفتن از دهانه ورودی افزایش می یابد.

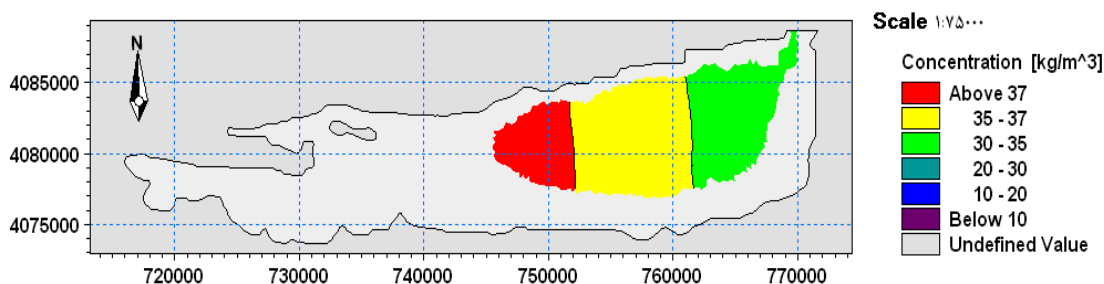


شکل ۲-۱۰- نمایش میزان تجدیدپذیری محلی در لایه سطحی خلیج گرگان پس از گذشت ۶۲ روز از اجرای مدل [12].



شکل ۲-۱۱- نمایش میزان تجدیدپذیری محلی در لایه دوم خلیج گرگان پس از گذشت ۶۲ روز از اجرای مدل [12].

<sup>1</sup> Lagrangian Particle Tracking  
<sup>2</sup> Tracer Advection Dispersion



شکل ۰۲-۱۲- نمایش میزان تجدیدپذیری محلی در لایه سوم خلیج گرگان پس از گذشت ۶۲ روز از اجرای مدل [12].

نتایج شبیه‌سازی زمان تجدیدپذیری نشان داد که طی ۵۰/۲۵ روز از طریق کل آب خلیج گرگان در دهانه آشوراده-بندرترکمن، بارش و ورودی رودخانه‌ها از نو تجدید می‌گردد. بررسی میزان تجدیدپذیری محلی در لایه‌های متناظر با هر سلول نشان داد که تغییرات غلظت ماده تحت بررسی در امتداد محور قائم یکنواخت می‌باشد و این موضوع بیانگر آن است که تجدیدپذیری آب در خلیج گرگان و در امتداد قائم به صورت یک پارچه انجام می‌گردد. نتیجه حاضر با توجه به یکنواختی توزیع شوری خلیج گرگان در امتداد قائم که پیشتر نیز مورد بررسی واقع گردیده است توجیه‌پذیر می‌باشد.

زمان تجدیدپذیری بالا در خلیج گرگان محیط را برای توسعه شکوفایی جلبکی در اثر تجمع مواد مغذی ناشی از فعالیتهای آبزیپروری بسیار مناسب می‌سازد. از طرفی افزایش زمان تجدیدپذیری آب در نواحی غربی خلیج سبب کاهش تجمع مواد جامد معلق در ستون آبی می‌گردد. لذا میتوان یکی از دلایل تشکیل رسوبات گلی ریزدانه در بستر خلیج گرگان به‌خصوص در نواحی غربی که پیش‌تر توسط لاهیجانی و همکاران گزارش گردیده است را به افزایش زمان تجدیدپذیری در این حوضه مرتبط دانست.

ویلیامز<sup>۱</sup> در سال ۱۹۸۶ به محاسبه زمان فلاشینگ در بندر Upper waitemata پرداخت. زمان فلاشینگ در این بندر با استفاده از ۳ روش مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا با استفاده از روش نسبت آب شیرین<sup>۲</sup> زمان فلاشینگ محاسبه شد. با اینکه آب تازه چندگانه وارد این بندر می‌شود، اما این روش اندکی زمان فلاشینگ را دست بالا تخمین زد. دلیل اصلی این اختلاف، در اصل به خاطر منابع آب تازه، در خارج از خلیج، به‌ویژه در سمت دریا است، که باعث تاثیرگذاری در رژیم شوری شده است [13].

پس از این روش از روش منشور جزر و مدی<sup>۳</sup> اصلاح شده، جهت تخمین زمان فلاشینگ، استفاده شد. اما روش منشور جزر و مدی اصلاحی، زمان فلاشینگ را دست پایین محاسبه کرد. علت این تفاوت زمان

<sup>1</sup> B.I.williams

<sup>2</sup> Fresh water fraction

<sup>3</sup> Tidal prism



به این خاطر است، که بخشی از جسم حل شده یا آلودگی به مفیدی و موثری که کچام<sup>۱</sup> به صورت تقریبی پیشنهاد کرده است، تبادل نشده است.

روش بعدی که در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت، روش مدل تبادل حجم است. این روش، زمان فلاشینگ دقیقی را تخمین زد. چراکه در این روش، آزمایش و کالیبراسیون وسیع و گسترده‌ای در نظر گرفته شد.

علاوه بر موارد ذکر شده، افراد زیادی با استفاده از روش‌های تحلیلی و مدل‌های هیدرودینامیکی پیچیده و مشکل به ارزیابی زمان فلاشینگ و کیفیت آب خلیج‌های مختلف پرداختند. به طور مثال کوا<sup>۲</sup> و نیلسون<sup>۳</sup> در سال ۱۹۸۸، برای ارزیابی فلاشینگ، از روش منشور جزر و مدی در خور Lynnhaven در ویرجینیا ایالت امریکا، که در شکل‌های شماره ۲-۱۳ مشاهده می‌شود، استفاده کردند [14].



شکل ۲-۱۳- شکل هندسی خور Lynnhaven [14].

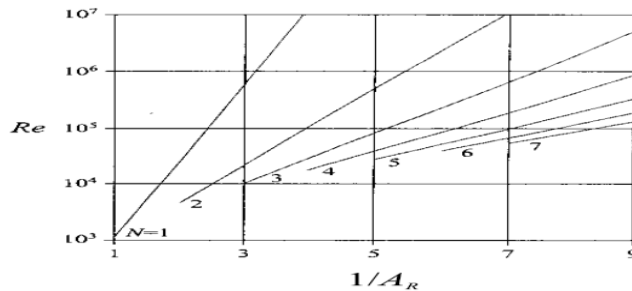
لی<sup>۴</sup> و فالکونر<sup>۵</sup> در سال ۱۹۹۵ از مدل عددی عمق یکپارچه استفاده کردند تا جریان جزر و مد، در بندر مستطیلی شکل را در مقیاس آزمایشگاهی، شبیه سازی کنند [15]. همچنین هارنتنت<sup>۶</sup>، در سال ۲۰۰۳، مدل منشور جزر و مد را با مدل عددی پیچیده، برای خور در ساحل غرب ایرلند، مقایسه کرد و سازگاری خوبی یافت [16].

گنچرو<sup>۷</sup> و پاولوف<sup>۸</sup> در سال‌های ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸ میلادی، عدد گردابه ( $N$ ) را ارزیابی کردند [17].

---

<sup>1</sup> Ketchum  
<sup>2</sup> Kuo  
<sup>3</sup> Neilson  
<sup>4</sup> Li  
<sup>5</sup> Falconer  
<sup>6</sup> Hartnett  
<sup>7</sup> Gancharov  
<sup>8</sup> Pavlov

در مطالعات جریان های shear-driven cavity به وسیله ی وایس<sup>۱</sup> و فلورسایم<sup>۲</sup> در سال ۱۹۶۵ میلادی [18] و هم‌چنین پن<sup>۳</sup> و آکریواس<sup>۴</sup> در سال ۱۹۶۷ میلادی، پی بردند که عدد گردابه، با کاهش نسبت تصویر ( $A_R$ )، افزایش پیدا می‌کند [19]. در واقع عدد گردابه با افزایش عدد رینولدز افزایش پیدا می‌کند در شکل شماره (۲-۸)، رابطه بین عدد رینولدز و عدد گردابه به خوبی مشخص شده است.



شکل ۲-۱۴- رابطه نسبت تصویر و عدد رینولدز با عدد گردابه [19].

حسینی و همکاران در سال ۱۳۹۵ به برآورد زمان تخلیه و پالایش خلیج چابهار براساس رویکرد ارزیابی سریع پرداختند. آنها در پژوهش خود با استفاده از ماژول SW و HD نرم افزار مایک، به بررسی تاثیر پدیده‌هایی چون موج، باد، جزر و مد بر تجدیدپذیری خلیج چابهار پرداختند.

نتایج حاصل از کار آنها نشان داد که پدیده جزر و مد در خلیج چابهار نسبت به سایر پدیده‌ها بر تجدیدپذیری آب در خلیج چابهار حاکم است. نتایج تجدیدپذیری حاصل از ارزیابی سریع و نرم افزار مایک نشان داد که با ضریب پراکندگی  $5 \frac{m^2}{s}$ ، زمان تجدیدپذیری حاصل از نرم افزار و رابطه ارزیابی سریع با هم برابر می‌شود. همچنین، تحت برآورد زمان تجدیدپذیری، کمترین زمان تجدید پذیری پس از گذشت ۶ روز و بیشترین زمان تجدیدپذیری پس از گذشت ۱۹ روز انجام شد. مدلسازی خلیج چابهار نشان داد که در قسمت شمال شرقی خلیج نسبت به سایر نقاط دیگر، غلظت آلودگی دیرتر به ۳۷ درصد غلظت اولیه خود می‌رسد [20].

<sup>1</sup> Weiss  
<sup>2</sup> Florsheim  
<sup>3</sup> Pan  
<sup>4</sup> Acrivos

## فصل ۳ مواد و روش‌ها

انسان‌ها برای قرن‌ها شهرهای خود را در کنار سواحل واقع در خلیج‌ها بنا نهاده‌اند. وجود لنگرگاه‌های محافظت شده، زمین‌های مناسب برای ماهیگیری و حمل و نقل ایمن در خلیج‌ها است. بهره‌برداری متنوع انسان‌ها از خلیج‌ها، بر کیفیت آب و سلامتی خلیج‌ها تاثیر بسیار زیادی دارد. با رشد جمعیت انسانی در قرن ۱۹ و ۲۰ و در نیمه قرن ۲۱، ساکن شدن انسان‌ها در طول خلیج‌ها افزایش بسیار زیادی پیدا کرده است. بنابراین مسائل زیست محیطی در این خلیج‌ها با وجودی که در گذشته مساله بسیار بی‌اهمیتی تلقی می‌شد، در حال حاضر تبدیل به تهدید بسیار بزرگی برای سیستم‌های خلیج گردیده است.

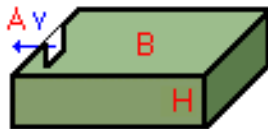
بنابراین مدیریت سلامتی اکوسیستم خلیج‌ها بسیار مهم می‌باشد. یکی از راه‌های مدیریت خلیج‌ها در زمان حاضر، مفهوم زمان فلاشینگ می‌باشد. این مفهوم معمولا برای اندازه‌گیری میزان مواد مضر که خلیج‌ها قبل از به خطر افتادن اکوسیستم آن می‌تواند تحمل کند، به کار می‌رود. با اینکه مفهوم زمان فلاشینگ یک ابزار علمی قانونی می‌باشد اما بیشتر به‌عنوان یک شاخص علمی در تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تصمیم‌گیری در مورد اینکه کدام ماده باید درون خلیج رها شود، زمان فلاشینگ نقش مهمی ایفا می‌نماید و به فاکتورهای مختلفی چون راه‌حل‌های آلترناتیو رهاسازی مواد در زمین، گزینه‌های بازیافت، اقتصاد راه‌حل‌های ممکن و سایر مواد بستگی دارد. پس از اینکه تصمیم‌گیری در مورد رهاسازی یک ماده در خلیج‌ها گرفته شد، زمان فلاشینگ برای تخمین مکان، چگونگی و مقدار ماده مشخص که باید در خلیج رها شود مورد استفاده قرار می‌گیرد.

انگیزه ایجاد زمان فلاشینگ ریشه در دو مشکل مدیریتی مدرن خلیج‌ها دارد. اثرات مضر مواد بالقوه معمولا تابع غلظت آن‌ها است و شناخت زمان فلاشینگ می‌تواند به تعیین بار رهاساده مجاز برای خلیج‌های مشخص، کمک کند. شناخت زمان فلاشینگ می‌تواند راهنمایی بسیار مهمی را برای چگونگی رهاسازی تصادفی مواد سمی و طراحی روش‌های اورژانسی برای موقعیت‌های فاجعه بار صنعتی فراهم

نماید. روش‌های متفاوتی جهت تعیین زمان فلاشینگ وجود دارد که در این فصل به ارائه آن پرداخته شده است.

### ۳-۲- روشهای تحلیلی

در شکل ساده، زمان فلاشینگ همانند شکل ۳-۱ به صورت زمان لازم برای خروج حجم  $V$  از طریق دهانه  $A$  با سرعت  $U$  تعریف می‌شود. که در این نمودار عمق خلیج با  $H$  و مساحت سطح خلیج با  $B$  مشخص شده است [21].



شکل ۳-۱- نمودار طرح اولیه جهت تعریف زمان فلاشینگ [21].

به صورت اختصاصی زمان فلاشینگ،  $T_f$ ، یک خلیج می‌تواند به صورت مدت زمان لازم برای جایگزینی حجم آب تازه ( $V_f$ ) در سرعت جریان کل خلیج، با نرخ تخلیه  $R$  به صورت معادله ۳-۱ تعریف می‌شود:

$$T_f = \frac{V_f}{R} \quad (\text{معادله ۳-۱})$$

کاربرد علمی این تعریف نیازمند اطلاعات تجربی دقیق است. برای اینکه بتوان این نیاز را برطرف کرد، در عمل روش‌های مختلفی می‌تواند به کار گرفته شود.

### ۳-۲-۱- روش نسبت آب شیرین

روش متداول، نسبت آب شیرین خلیج با اندازه‌گیری میزان شوری خلیج است. اگر مخلوط شدن در خلیج به صورت کاملاً توربولانت باشد (می‌تواند به صورت ریاضی با فرایند مخلوط شدن خطی تعریف شود). نسبت آب شیرین ( $f$ ) به صورت فرمول ۳-۲ مشخص می‌شود [21].

$$f = \frac{S_0 - S}{S_0} \quad (\text{معادله ۳-۲})$$

که  $S_0$  شوری اقیانوس خارج از دهانه خلیج است. حجم آب شیرین خلیج، یا هر بخش دیگر، مطابق معادله ۳-۳ انتگرال حجم بر  $f$  می‌باشد.

$$f^* = \int f \cdot dv \quad (\text{معادله ۳-۳})$$

که  $V$  حجم خلیج یا بخش مورد نظر و  $f^*$  میانگین حجم متوسط آب شیرین است که با انتگرال  $f$  بدست می‌آید. سپس با استفاده از معادله ۳-۴ زمان فلاشینگ محاسبه می‌شود.

$$T_f = \frac{f^* \cdot V}{R} \quad (\text{معادله ۴-۳})$$

محاسبه زمان فلاشینگ از این طریق نیازمند دانستن حجم خلیج، اندازه سرعت تخلیه، بررسی توزیع شوری در کل خلیج می‌باشد. زمان فلاشینگ  $T_f$  با تغییرات تخلیه رودخانه تغییر می‌کند اما نسبت مستقیمی با  $\frac{1}{R}$  ندارد. زیرا  $f^*$  با  $R$  تغییر می‌کند.

به عنوان مثال در New York Bight مشاهدات نشان داد که، اگر تخلیه رودخانه با مرتبه اول سرعت از ۱۳ تا  $10^6 \times 140$  مترمکعب در روز افزایش یابد،  $f^*$  از  $10/6$  تا ۶ روز، یعنی کمتر از ۵۰ درصد کاهش پیدا می‌کند [21].

### ۳-۲-۲- روش منشور جزر ومدی

یکی از ملزومات این محاسبه، دانستن توزیع شوری در خلیج است. روش منشور جزر و مد از مفهوم حجم آب دریا ( $V_T$ ) که با مد وارد خلیج می‌شود و حجم آب شیرین ( $V_R$ ) که در طی جزر و مد وارد خلیج می‌شود، شروع می‌شود. این روش فرض می‌کند که حجم آب شور با حجم آب شیرین در بالاترین مد ترکیب می‌شود و حجم ترکیب ( $V_T + V_R$ ) نشان می‌دهد که حجم مخلوط، در هنگام جزر از خلیج خارج می‌شود. شوری حجم آب شیرین  $V_R$  صفر است. اگر میزان شوری آب شور با مد آورده می‌شود،  $S_0$  باشد، میزان شوری  $S^*$  آب مخلوط در حجم  $V_R + V_T$  به راحتی از فرمول ۳-۶ محاسبه می‌شود [21].

$$(V_T + V_R).S^* = V_T.S_0 \quad (\text{معادله ۵-۳})$$

و می‌توان دریافت که

$$S^* = \frac{V_T.S_0}{(V_T + V_R)} \quad (\text{معادله ۶-۳})$$

که در روش نسبت آب شیرین به صورت فرمول ۷-۳ بود:

$$f^* = \frac{(S_0 - S^*)}{S_0} = 1 - \frac{S^*}{S_0} \quad (\text{معادله ۷-۳})$$

و

$$f^* = \frac{V_R}{(V_T + V_R)} \quad (\text{معادله ۸-۳})$$

زمان فلاشینگ قبلا به صورت معادله ۴-۳ تعریف شد:

$$T_f = \frac{f^*.V}{R} \quad (\text{معادله ۴-۳})$$

که R سرعت تخلیه رودخانه یا حجم آب تازه به ازای واحد زمان است. در روش منشور جزر و مد، واحد زمان، دوره جزر و مد (T) است و بنابراین مطابق فرمول ۹-۳ داریم:

$$R = \frac{V_R}{T} \quad (\text{معادله ۹-۳})$$

با استفاده از نتایج نسبت آب شیرین، تحت فرضیات روش منشور جزر و مد، زمان فلاشینگ از فرمول

۱۰-۳ محاسبه می‌شود.

$$T_f = \frac{T.V}{(V_T + V_R)} \quad (\text{معادله ۱۰-۳})$$

حجم ترکیبی  $V_T + V_R$  تفاوت بین آب بالا و پایین را نشان می دهد که اغلب منشور جزر و مد نام دارد. این تنها کمیتی است که لازم است، تا زمان فلاشینگ در این روش محاسبه شود و می تواند به سادگی از رکورد های گیج<sup>۱</sup> محاسبه شود.

فرضیات روش منشور جزر و مد کاملا نمی تواند در خلیج واقعی تامین شود. مخلوط دو حجم  $V_R$  و  $V_T$  هرگز کامل نمی شود و برخی از آب های ترکیب شده خلیج که به کمک جزر از خلیج خارج می شوند، دوباره هنگام مد وارد خلیج می شوند. زمان فلاشینگی که از روش منشور جزر و مد حاصل می شود، نشان دهنده کوتاهترین زمان ممکن است که کل آب تازه خلیج می تواند حذف شود و به عبارت دیگر حد پایین برای محاسبه زمان فلاشینگ می باشد [21].

### ۳-۳-۳ تخمین فرمول نودسن

روش دیگر تخمین زمان فلاشینگ از معادله تعادلات نمکی (فرمول نودسن) می باشد. اگر  $R$ ، تخلیه رودخانه باشد و  $Q_{top}$  و  $Q_{bottom}$  انتقالات حجم آبی که با توجه به نمکی بودن آن ها در دهانه که به ترتیب  $S_{top}$  و  $S_{bottom}$  است، به خلیج وارد و از دهانه آن خارج می شود [21]. با توجه به قانون پیوستگی حجم و پیوستگی جرم داریم:

$$Q_{top} - Q_{bottom} = R \quad (\text{معادله ۳-۱۱})$$

$$Q_{top} \cdot S_{top} = Q_{bottom} \cdot S_{bottom} \quad (\text{معادله ۳-۱۲})$$

با حل  $Q_{top}$  و دانستن اینکه زمان فلاشینگ با تقسیم حجم خلیج  $V$ ، بر  $Q_{top}$  به دست می آید، داریم:

$$T_f = \frac{V \cdot (S_{bottom} - S_{top})}{S_{bottom}} \cdot R \quad (\text{معادله ۳-۱۳})$$

$$T_f = \frac{V}{R(1 - \frac{S_{top}}{S_{bottom}})} \quad (\text{معادله ۳-۱۴})$$

<sup>۱</sup> Gauge



این روش تعیین زمان فلاشینگ نیاز به دانستن حجم خلیج و تخلیه رودخانه از قبل و اندازه گیری  $S_{top}$  و  $S_{bottom}$  است، که می تواند از یک ایستگاه در دهانه خلیج محاسبه شود. فرض اصلی فرمول نودسن این است که همه آب دریا که به خلیج وارد می شود، آن را در لایه بالایی پس از مخلوط شدن کامل، ترکیب می کند. اگر این مورد نباشد در مرز بین دولایه نفوذ اتفاق می افتد.

میزان شوری لایه بالایی صفر است و با آب شور لایه پایین ترکیب می شود. شوری مخلوط حاصل بالاتر از  $S_{top}$  است. بنابراین فرمول نودسن، زمان فلاشینگ را مشابه روش منشور جزر و مد، کم در نظر می گیرد. فرض بر این است که آب شیرین و آب اقیانوس به صورت کامل مخلوط در نظر گرفته شود. در عمل فرمول نودسن به نظر برای خلیج های با رسوب زیاد و نمکی بسیار مناسب است در حالیکه روش منشور جزر و مد مناسب خلیج های عمودی و با رسوب کمتر می باشد.

بدون توجه به روش بدست آوردن زمان فلاشینگ برای خلیج های واقعی، بدون شک زمان فلاشینگ حاصل تنها توصیف پایه ای از فرایند فلاشینگ است. روش های ذکر شده، ممکن است مدت زمانی که برای فلاشینگ هر ماده معرفی شده از خلیج را تخمین زده و جواب منطقی دهند، اما نمی توانند به طور قطع و یقین نماینده زمان خروج کامل ماده مورد نظر باشد. بسیاری از خلیج ها توپوگرافی پیچیده ای دارند که تبادل آب در آن ها کم می باشد. در حالیکه بسیاری از آلاینده های بالقوه می توانند از خلیج در زمان تخمین زده شده، از هر سه روش خارج شوند، اما غلظت بسیار زیادی از آلاینده های موجود در بخش های ساکن و مرداب خلیج برای مدت طولانی تری در آن باقی می ماند. مدیریت مناسب خلیج ها نیازمند تعیین زمان فلاشینگ برای همه بخش های خلیج است [21].

هر سه روش می تواند به بخش های مجزایی از خلیج ها اعمال شود. به طور مثال، فرمول نودسن می تواند برای بررسی شوری هر ایستگاه به کار رود و می تواند تخمین مناسبی از زمان فلاشینگ بخشی از خلیج بین ایستگاه و رودخانه فراهم نماید. که در این صورت داده های لازم برای محاسبه زمان فلاشینگ را افزایش می دهد [21].

انتخاب هر روش برای اجرا، معمولاً بستگی به نیاز برای دقت در گردش و تجربه شخص رسیدگی کننده، همراه با نرم افزار مدل سازی عددی پیچیده دارد. خصوصیات فیزیکی جرم آب (مانند عمق، حجم، مساحت سطح و میانگین جریان به داخل روزانه) می تواند انتخاب درست روش را حکم کند. مطابق مطالب ذکر شده در بالا روش منشور جزر ومدی بر پایه فلاشینگ با مد جریان ورودی (یعنی فلاشینگ جزر ومدی) و نادیده گرفتن ریزش آب دریا به داخل به علت گردش گرانشی است. مفهوم فلاشینگ جزر ومدی، برای برآورد فرایند حمل جرم فیزیکی در خور سواحل کوچک به کاربرده شده است. روش نسبت آب شیرین مناسب برای خورهای با جریان ورودی آب تازه و شیرین نسبتاً بالا می باشد و روشهای منشور جزر ومدی در وضعیت هایی، مانند تالاب های به خوبی مخلوط شده و یکنواخت، که جریان ورودی آب تازه و شیرین پایین و گردش گرانشی هم ضعیف است، قابل اجرا هستند.

باتوجه به موارد ذکرشده، روش نسبت آب شیرین و روش نودسن برای خورها و خلیجهایی که داراری رودخانه هستند و مقدار قابل توجهی آب شیرین وارد آن می شود مناسب هستند. روش منشور جزر و مدی در خلیج هایی که عملکرد آن بر پایه جزر و مد می باشد، مناسب است. بنابراین با توجه به جزر و مدی بودن خلیج چابهار و عدم ورود رودخانه به آن مناسبترین روش جهت تعیین زمان فلاشینگ، روش منشور جزر و مدی است. جهت استفاده از روش منشور جزر ومدی به دادههای توپوگرافی (حجم خلیج) و دادههای جزر و مدی نیاز است.

### ۳-۴- مدل سازی عددی

نرم افزار مایک ۲۱ که توسط موسسه هیدرلیکی دانمارک (DHI) که یکی از مهمترین و مطرح ترین موسسات تحقیقاتی دنیا در زمینه کارهای هیدرودینامیکی است توسعه داده شده است. این نرم افزار قابلیت مدلسازی هیدرودینامیکی خلیج چابهار را داراست.

نرم‌افزار مایک ۲۱ برای شبیه‌سازی جریان‌ها، انتقال رسوب و کیفیت آب در رودخانه‌ها، خورها و سیستم‌های آبیاری و شبکه‌های مشابه آن که دارای ماهیت دو بعدی جریان می‌باشند، تهیه شده است. این نرم افزار ابزاری است که به منظور طراحی، مدیریت و بهره‌برداری از خورها و خلیج‌ها مورد استفاده واقع می‌شود و تاکنون در بسیاری از پروژه‌های مختلف در دنیا کاربرد مناسبی داشته است. این نسخه از نرم افزار مایک هم اکنون در محاسبات هیدرولیک و رسوب پهنه‌های آبی، یکی از معتبرترین منابع موجود می‌باشد که نتایج آن از دقت بالایی برخوردار بوده و اطلاعات ناشی از خروجی آن مبنای طراحی‌های زیادی است. مدل مایک ۲۱ توسط زبان برنامه‌نویسی پاسکال نگارش شده است و قابل نصب و اجرا بر روی کامپیوترهای شخصی می‌باشد.

در این پژوهش برای شبیه‌سازی امواج منطقه مورد مطالعه از ماژول SW<sup>1</sup> مایک ۲۱ جهت مدل کردن امواج و امواج حاصل از باد و از ماژول Flow Model FM جهت مدلسازی امواج جزرومد و تعیین زمان فلاشینگ استفاده می‌شود. ماژول SW شامل نسل جدید طیف موج باد - بر اساس مدل مش‌های بدون ساختار است. شبیه‌سازی مدل شامل رشد، تجزیه و انتقال و تغییر شکل موجهای تولید شده در منطقه ساحل و فرا ساحل می‌باشد. ماژول امواج طیفی مایک ۲۱ با استفاده از ساختار نامنظم مش بندی و حل معادلات از روش صریح و تکنیک احجام محدود، امواج را مدلسازی می‌کند. نتایج حاصل از مدلسازی در ماژول SW به ماژول Flow Model FM وارد شده و داده‌های جزرومد را به عنوان شرایط مرزی جدید اعمال می‌گردد و به این ترتیب سرعت جریان قابل کنترل و بررسی خواهد بود. برای دریافت نتایج دقیق‌تر و سهولت در روند کار و بررسی بهتر در مورد فلاشینگ خلیج چابهار، از ماژول COPELED MODEL FM که در بردارنده هر دو ماژول SW و FLOW MODEL FM به طور هم زمان می‌باشد، استفاده شده است.

---

<sup>1</sup> Spectral wave

### ۳-۴-۱-ماژول SW

این مدل یکی از ماژول‌های نرم افزار مایک ۲۱ می‌باشد که در نسخه‌های اخیر این نرم‌افزار جایگزین ماژول OSW شده است. مدل SW یک مدل طیفی نسل سوم امواج ناشی از باد است که برای شبیه‌سازی تولید، رشد، اتلاف و انتقال امواج محلی و دوراً در آب‌های عمیق و نواحی ساحلی کاربرد دارد. در مدل SW بسیاری از پدیده‌های فیزیکی موجود در دریا و مناطق ساحلی که شامل رشد موج در اثر باد، اندرکنش غیرخطی موج-موج، استهلاک در اثر سفیدک راس موج<sup>۱</sup>، استهلاک در اثر اصطکاک بستر<sup>۲</sup>، استهلاک در اثر شکست امواج ناشی از تغییرات عمق<sup>۳</sup>، پیچش<sup>۴</sup> و ژرفاکاستگی<sup>۵</sup> در اثر تغییرات عمق، اندرکنش موج-جریان، اثر تغییرات زمانی عمق آب و خشک و تر شدن در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که مدل SW پدیده‌های بازتاب<sup>۶</sup> و پراش<sup>۷</sup> امواج را در نظر نمی‌گیرد [22].

### ۳-۴-۱-۱ فرمولاسیون مدل

همانطور که ذکر شد مدل طیفی SW قابلیت کاربرد در آب عمیق و مناطق آب کم عمق و مجاور ساحل را دارد. این مدل دارای دو نوع فرمولاسیون می‌باشد که کاربرد هر یک برای شرایط خاصی توصیه شده است. فرمول بندی های بکار رفته در مدل SW عبارتند از :

۱- پارامتری غیرکوپله جهتی (DDP)

۲- کاملاً طیفی (Fs)

فرمولاسیون DDP بر اساس پارامتربندی معادله بقای کنش موج می‌باشد. پارامتربندی در دامنه بسامد با تعریف لنگرهای صفرم و اول طیف کنش موج بعنوان متغیرهای وابسته انجام می‌شود. فرمولاسیون

---

1 Whitecapping dissipation  
2 Bottom friction  
3 Depth induced wave breaking  
4 Refraction  
5 Shoaling  
6 Reflection  
7 Diffraction

$F_s$  بر اساس معادله بقای کنش موج می باشد. که در آن طیف کنش موج جهتی بسامدی بعنوان متغیر وابسته در نظر گرفته می شود. فرمولاسیون DDP برای مواردی که فرآیند تولید امواج ناشی از باد اهمیت چندانی نداشته باشد قابلیت کاربرد دارد. زیرا در این فرمولاسیون فرآیند تولید امواج در اثر وجود میدان باد منظور نشده است. به عبارت دیگر می توان گفت که فرمولاسیون DDP برای کاربرد در مناطق ساحلی که پدیده انتقال امواج معین از آب عمیق به آب کم عمق اهمیت دارد، مناسب است. در این موارد معمولاً امواج آب عمیق توسط اندازه گیری یا مدلسازی مجزای امواج آب عمیق به عنوان ورودی به مدل داده می شود. در مواردی که پدیده تولید امواج در اثر میدان باد اهمیت دارد می بایست از فرمولاسیون  $F_s$  استفاده نمود. این فرمولاسیون معمولاً برای پیش بینی امواج در مقیاسهای محلی یا منطقه ای بکار می رود. در استفاده از این فرمولاسیون معمولاً در مناطق دور از ساحل و آب عمیق از شبکه بندی درشت و در آب کم عمق و مناطق مجاور ساحل از شبکه بندی ریز استفاده می شود. در مدل SW امکان فرمولاسیون معادلات بقا در دو دستگاه مختصات کارتزین برای کاربردهای محلی (کوچک مقیاس) و دستگاه مختصات کروی قطبی برای کاربردهای منطقه ای (بزرگ مقیاس) وجود دارد. مبنای این مدل برای پیش بینی موج، حل معادلات انتقال انرژی همراه با ترم های چشمه و چاه می باشد. شکل معادلات انتقال در حالت دو بعدی به صورت معادله ۳-۱۵ می باشد:

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\cos \theta}{c} \frac{\partial (E.C.C_g)}{\partial x} + \frac{\sin \theta}{c} \frac{\partial (E.C.C_g)}{\partial y} + \frac{C_g}{C} (\sin \theta \frac{\partial C}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial C}{\partial y}) \frac{\partial E}{\partial \theta} = S \quad \text{معادله ۳-۱۵}$$

که در آن:

E : طیف انرژی موج فرکانسی جهتی

t : زمان

f : فرکانس

$\theta$  : جهت انتشار امواج

$C_g$  : سرعت گروهی موج

C : سرعت انتشار موج

S : عبارت چشمه و چاه

معادله فوق خاطر نشان می کند که هر مولفه از یک طیف فرکانسی جهتی با سرعت گروهی موج حرکت می کند و در مسیر حرکت خود تحت اثر افزایش یا کاهش انرژی ناشی از توپوگرافی کف دریا، سرعت و جهت باد و نیز شکل طیف قرار می گیرد. آخرین عبارت در سمت چپ معادله مذکور اثر انکسار و پشته کردن موج را در نظر می گیرد. عبارت منبع در سمت راست معادله انتقال موج به صورت معادله ۳-۱۶ تعریف می شود:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{dis} + S_{bot} + S_{surf} \quad \text{معادله ۳-۱۶}$$

که در آن  $S_{in}$  معرف انتقال انرژی از باد به سطح آب،  $S_{nl}$  معرف انتقال انرژی از یک فرکانس به فرکانس دیگر توسط اندرکنش غیر خطی امواج،  $S_{dis}$  معرف استهلاک انرژی موج در اثر پدیده سفیدک راس موج،  $S_{surf}$  معرف استهلاک انرژی موج ناشی از شکست موج در ناحیه کم عمق می باشد.

### ۳-۴-۱-۲- داده های ورودی

داده های ورودی در مدل SW شامل موارد زیر می باشد :

- داده های ژرفاسنجی<sup>۱</sup> که خصوصاً در نواحی کم عمق از اهمیت بیشتری برخوردار است.
- داده های مربوط به هندسه مرزهای مدل
- داده های مربوط به اندازه گام زمانی، تعداد گام زمانی و زمان شروع و خاتمه شبیه سازی عددی
- نحوه فرمولاسیون طیفی (پارامتری غیر کویله جهتی، کاملاً طیفی) و نحوه فرمولاسیون زمانی (شبه پایدار، غیر پایدار)
- نحوه گسسته سازی طیفی (گسسته سازی بسامدی و جهتی)
- داده های مربوط به روش حل (تعداد ترازهای محاسباتی در نظر گرفته شده برای محاسبات انتقال، تعداد گامها در محاسبات چشمه)
- داده های تراز سطح آب (ثابت یا متغیر)
- داده های مربوط به شرایط جریان (ثابت یا متغیر)

<sup>1</sup> Bathymetry

- داده های باد

- داده های مربوط به پوشش یخ

- وجود یا عدم وجود انتقال انرژی

- داده های مربوط به شرایط اولیه (شرط سکون، شرط استفاده از طیفهای تجربی و غیره)

- داده های مربوط به شرایط مرزی در مرزهای مدل

دقت مدل SW، رابطه نزدیکی با دقت داده های باد دارد. به صورت تقریبی می توان گفت که حدود

۱۰٪ خطا در سرعت باد منجر به ایجاد خطای ۲۰٪ در ارتفاع موج شبیه سازی شده می شود.

داده های باد را می توان به صورت های زیر به مدل معرفی کرد :

۱- ثابت در زمان و مکان: باد با یک مقدار و جهت ثابت در کلیه نقاط دامنه در تمام دوره شبیه سازی

می وزد.

۲- ثابت در زمان و متغیر در مکان: اندازه و جهت باد در گره های مختلف متغیر است ولی در تمام

دوره شبیه سازی مقدار ثابتی دارد.

۳- متغیر در زمان و ثابت در مکان: سرعت و جهت باد در کلیه نقاط یکسان است ولی نسبت به زمان

متغیر بوده و می توان آن را به صورت یک سری زمانی به برنامه معرفی کرد.

۴- متغیر در زمان و مکان: اندازه و جهت باد در کلیه نقاط مدل و در طی دوره شبیه سازی متغیر است.

### ۳-۴-۱-۳ پارامترهای خروجی

ماژول SW برنامه مایک ۲۱ پارامترهای خروجی را در چهار دسته به شرح زیر ارائه کند :

### ◀ پارامترهای ورودی

پارامترهای ورودی به برنامه می توانند به عنوان خروجی مدل دریافت شوند که این قابلیت به منظور

کنترل پارامترهای ورودی بکار می رود. این پارامترها شامل تراز سطح آب (متر)، سرعت جریان (متربر

ثانیه)، سرعت و جهت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح دریا ( متربر ثانیه و درجه) و میزان یخ می باشند.

## ◀ پارامترهای مدل

این پارامترها شامل ضریب اصطکاک (پارامتر مربوط به اتلاف انرژی ناشی از بستر، متر مربع بر مجذور ثانیه) ، پارامتر شکست،  $\gamma$  (پارامتر مربوط به شکست ناشی از عمق)، عدد کورانت، گام زمانی، طول مشخصه (متر)، مساحت (متر مربع)، پریود آستانه (ثانیه) و پارامترهای مربوط به اندرکنش هوا و دریا شامل سرعت اصطکاکی باد (متر بر ثانیه)، طول زبری، ضریب پسا و ضریب چارنوک می‌باشند.

## ◀ پارامترهای طیفی موج

پارامترهای موج طیفی عبارتند از :

- انرژی موج (متر مربع در ثانیه بر رادیان)

- کنش موج ( مترمربع در مجذور ثانیه بر رادیان)

برای اجرای مدل‌های محلی می‌توان از پارامتر کنش موج به عنوان شرایط مرزی استفاده نمود. در حالت عدم وجود جریان، رابطه بین انرژی موج و کنش موج بصورت  $E = N \sigma$  است که در آن  $N$  کنش موج و  $\sigma$  بسامد زاویه ای می‌باشد.

## ◀ پارامترهای موج

پارامترهای موج می‌توانند برای کل طیف موج، بخشی از موج که مربوط به امواج ناشی از باد می‌باشد و یا بخشی از طیف موج که مربوط به امواج دوراً می‌باشد، محاسبه شوند.

## ۳-۴-۲ - ماژول Flow Model FM

Flow Model FM یک سیستم مدل‌سازی جامع برای مدل‌سازی‌های دوبعدی و سه‌بعدی توسعه یافته است. این سیستم مدل‌سازی برای عملکردهای مختلط در اقیانوسها، مناطق ساحلی و مناطق با اهمیت محیط زیستی همچون خلیج‌ها توسعه یافته است و از زیر برنامه‌های زیر تشکیل شده است.



۱. زیربرنامه هیدرودینامیک
۲. زیربرنامه نقل و انتقالات دریایی
۳. زیربرنامه مدل سازی آزمایشگاهی
۴. زیربرنامه انتقال گل ولای
۵. زیربرنامه انتقال ماسه

### ۳-۴-۲-۱ مدل هیدرودینامیکی Flow Model FM

زیربرنامه هیدرودینامیکی مدل FM، تغییرات سطح آب و جریان در واکنش به نیروهای مختلف در محیط های دریایی را نشان می دهد. معادلات این ماژول به صورت متداول در حالت سه بعدی بیان می شود ولی معادلات برای جریان دو بعدی، با انتگرالگیری معادلات بر روی اعماق بدست می آید. معادلات مدل هیدرودینامیکی به صورت معادلات ۳-۱۷ تا ۳-۱۹ می باشد [23].

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial y} = 0$$

معادله ۳-۱۷

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2h^2} - \gamma \left[ \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right] - \omega q - fvv_x + h \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{p_a}{p_w} \right]$$

معادله ۳-۱۸

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2h^2} - \left[ \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right] - \omega q - fvv_y + h \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{p_a}{p_w} \right]$$

معادله ۳-۱۹

در معادلات فوق پارامترها به صورت زیر معرفی می گردد:

h : عمق آب

t : زمان

x,y : مختصات دکارتی در حالت دو بعدی

f : ضریب اصطکاک باد

C : ضریب شزی

Pa : فشار هوا

Pw : جرم حجمی آب

v,u : سرعت متوسط عمقی در جهت های مختلف

P,q : دانسیته شار در جهت های مختلف

$\xi$  : تغییرات تراز سطح آب

### ✓ داده‌های ورودی

#### ◀ داده‌های جزر و مد

در این قسمت هم می‌توان از داده‌های جزر و مدی که خود نرم‌افزار به صورت جهانی برای سال‌های مختلف در خود دارد، استفاده کرد و هم می‌توان از داده‌های جزر و مدی استخراج شده توسط سازمان بنادر را به کار برد.

#### ◀ داده‌های باد

داده‌های باد به دلیل وسعت منطقه، علاوه بر ایجاد موج در خلیج که در ماژول SW اثر آن لحاظ گردید، باعث تشدید اثر جریان‌ات در خلیج می‌شوند پس در ماژول Flow Model FM به عنوان داده‌های ورودی به مدل اعمال می‌شود.

#### ◀ داده‌های ژرفاسنجی

داده‌های ژرفاسنجی مورد استفاده در این ماژول دقیقاً همان داده‌های ژرفاسنجی مورد استفاده در ماژول SW است. مشابه بودن فایل‌های ژرفاسنجی برای هر دو ماژول این امکان را فراهم می‌کند که به علت مشابهت مش بندی فایل ژرفاسنجی، بتوان بررسی دقیق‌تری روی خروجی‌ها صورت گیرد.

## ◀ داده های مربوط به شرایط مرزی

داده های مورد استفاده برای شرایط مرزی، با توجه به منطقه مورد نظر، شامل داده های جزر و مد، سرعت جریان، دبی و ... است.

## ◀ تنش تشعشی<sup>۱</sup>

تنشهای تشعشی که به عنوان خروجی از ماژول SW بدست آمده است، در ماژول FM به عنوان داده ورودی به کار می رود تا سرعت های خروجی از نرم افزار حاصل عمکرد همزمان باد، موج و جزرومد در منطقه باشد.

## ✓ خروجی های هیدرودینامیکی Flow Model FM

خروجی های ماژول FM نیز همچون ماژول SW شامل خروجی محدوده ای، خروجی خطی و خروجی نقطه ای می باشد با این تفاوت که پارامترهای منتهی در هر خروجی به صورت زیر خواهد بود:

۱. سرعت جریان

۲. جهت جریان

۳. ارتفاع سطح آب

۴. سرعت جریان در جهت محور X

۵. سرعت جریان در جهت محور Y

## ۳-۴-۲-۲- مدل انتقال Flow Model FM

در این ماژول مدل سازی با استفاده از معادلات انتقال و پخش انجام می شود، که معادله انتقال و پخش همان معادله موازنه جرم، بر حسب غلظت است. در مایک ۲۱ معادله انتقال و پخش دو بعدی به صورت معادله ۳-۲۰ می باشد [23].

---

<sup>1</sup> Radiation Stresses

$$\frac{\partial}{\partial t}(hc) + \frac{\partial}{\partial x}(uvc) + \frac{\partial}{\partial y}(vvc) - \frac{\partial}{\partial x}(g.Dx \frac{\partial c}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y}(h.Dy \frac{\partial c}{\partial y}) - qs(cs - c) - s_c = 0$$

معادله ۳-۲۰

که در آن:

$Dx$ : ضریب پخش در جهت  $x$

$Dy$ : ضریب پخش در جهت  $y$

$u, v$ : سرعت در جهت  $x$  و  $y$

$Sc$ : منبع آلودگی

$C$ : غلظت

$D$ : ضریب پخش

### ◀ داده های ورودی

جهت بررسی درصد آلودگی باقی مانده و خارج شده در خلیج چابهار و همچنین تعیین زمان تجدید پذیری این آلودگی، می توان از مدل انتقال استفاده کرد. داده های ورودی این مدل به شرح زیر است:

۱. پراکندگی

۲. شرایط اولیه

۳. شرایط مرزی

ضریب پراکندگی خود یکی از پارامترهای واسنجی مدل است.

شرایط اولیه به گونه ای انتخاب می شود که، کل خلیج با یک آلودگی فرضی به صورت ۱۰۰ درصد آلوده می باشد.

### ◀ داده های خروجی

خروجی مدل انتقال درصد آلودگی باقی مانده و زمان تجدیدپذیری خلیج را می دهد.

### ۳-۴-۳ مدل Coupled Model FM

ماژول Coupled Model FM یکی از ماژول‌های نرم‌افزاری مایک می‌باشد، که یک سیستم مدلینگ دینامیکی برای کاربردهای ساحلی و مصب‌های رودخانه‌ای است. از زیرمجموعه‌های اصلی ماژول Coupled Model FM، می‌توان مدل هیدرودینامیکی، انتقال آلودگی و SW را نام برد. مدل هیدرودینامیک، جزر و مد، باد، جریان‌های ناشی از امواج، برکشند طوفان و جریانات جزر و مدی را شامل می‌شود. با بکارگیری این مدل می‌توان، تغییرات سطح آب و جریانات را در هر مکان از منطقه مورد مطالعه، بررسی نمود. لازم به ذکر است که این مدل، جریانات را در یک سیل تک لایه (به‌طور عمودی همگن) شبیه‌سازی می‌کند. جریان‌ها شامل جریان کشندی، جریان ناشی از موج یا ترکیبی از این دو می‌باشند. در واقع این نرم‌افزار روشی برای تحلیل برهم‌کنش متقابل بین امواج و جریان‌ها با استفاده از یک رابطه دینامیکی بین مدل‌های هیدرودینامیکی و SW ارائه می‌دهد. همچنین از طریق ایجاد یک رابطه بین سه مدل هیدرودینامیکی، انتقال و SW قادر به مدل‌سازی نحوه بازخورد کامل بین تغییرات تراز بستر در اثر گردش‌های ناشی از موج و جریان به‌صورت توأم ارائه می‌دهد. در این مدل تنش‌های تشعشعی از مدل SW به مدل هیدرودینامیکی داده می‌شود و به‌صورت هم‌زمان اثر جریان بر روی اندازه امواج از ماژول هیدرودینامیکی به ماژول SW داده می‌شود که دقت بالاتر را در مدل‌سازی حاصل می‌کند. روش حل عددی این پژوهش با استفاده از این ماژول صورت پذیرفته است [24].



## فصل ۴ مدل سازی و تحلیل نتایج

#### ۴-۱- مقدمه

در این قسمت نحوه مدل‌سازی امواج ناشی از باد مورد بررسی قرار می‌گیرد. با بکارگیری مدل SW در این فصل می‌توان مراحل رشد، اتلاف و انتقال از ناحیه آب عمیق به عمق امواج را مدل‌سازی نمود. سپس با استفاده مدل هیدرودینامیکی Flow model Fm، جهت جریان و سرعت جریان مشخص می‌شود. پس از آن مدل انتقال Flow model Fm، نحوه پخش آلودگی فرضی در خلیج و زمان انتقال و خروج این آلودگی را تعیین می‌کند.

مراحل کار به ۶ دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از :

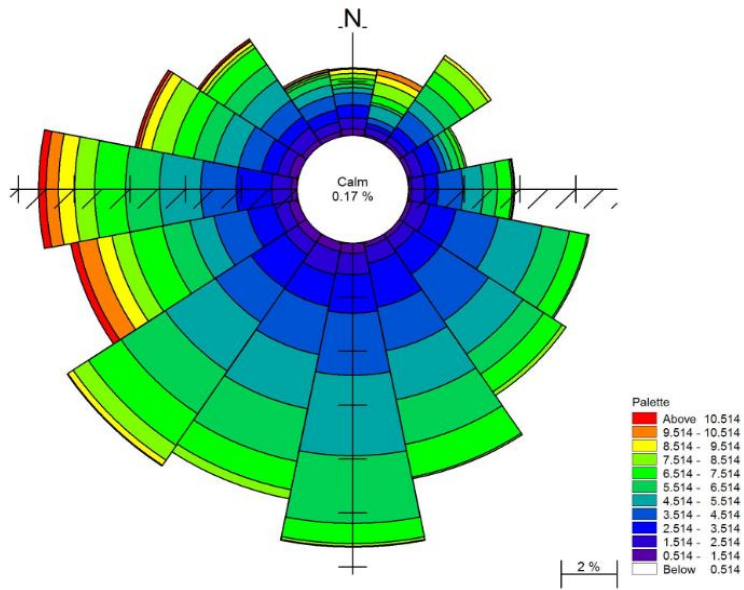


#### ۴-۲- گل باد خلیج چابهار

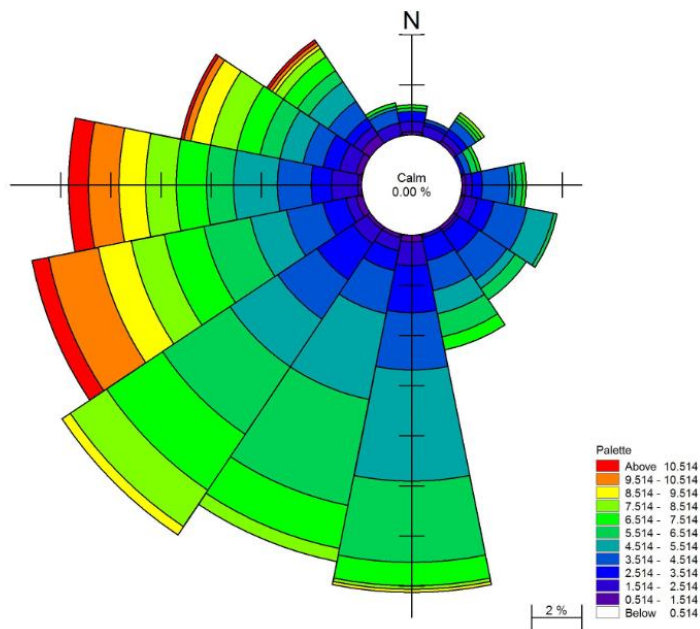
هیدرودینامیک خلیج چابهار در کل پیچیده است و تحت تأثیر جریانات ناشی از باد و جزر و مد می‌باشد. در این تحقیق جهت اجرای مدل‌سازی، از داده‌های باد، موج، جریان و جزر و مد سال ۲۰۰۲ بویه چابهار استفاده شده است. برای مشاهده جهت باد غالب و جهت موج غالب از مایک صفر<sup>۱</sup> استفاده شده است. بدین منظور ابتدا سری زمانی‌های فصل‌های مختلف سال را ساخته و با استفاده از ماژول plot composer، گل باد و گل موج چهار فصل خلیج چابهار را رسم کرده که مطابق شکل ۴-۱ تا ۴-۵ است.

<sup>1</sup> Mike Ziro

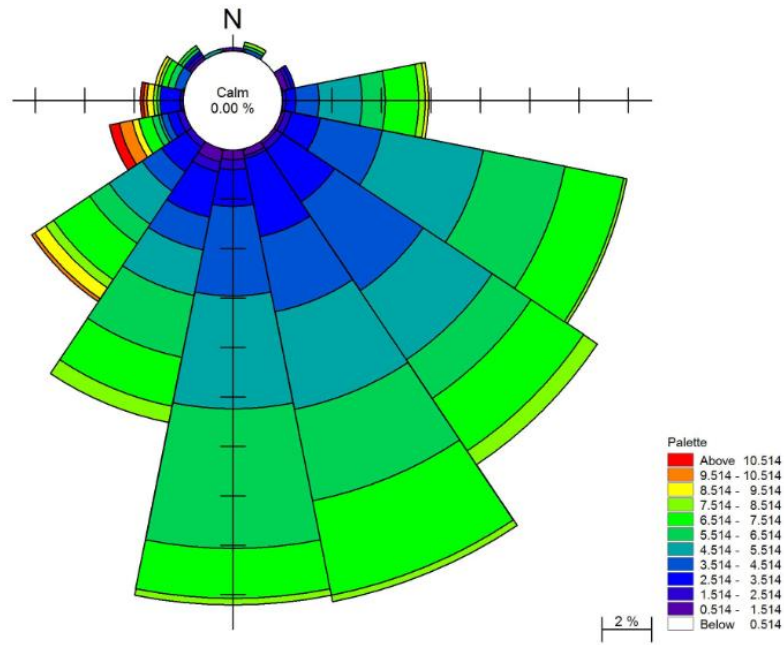




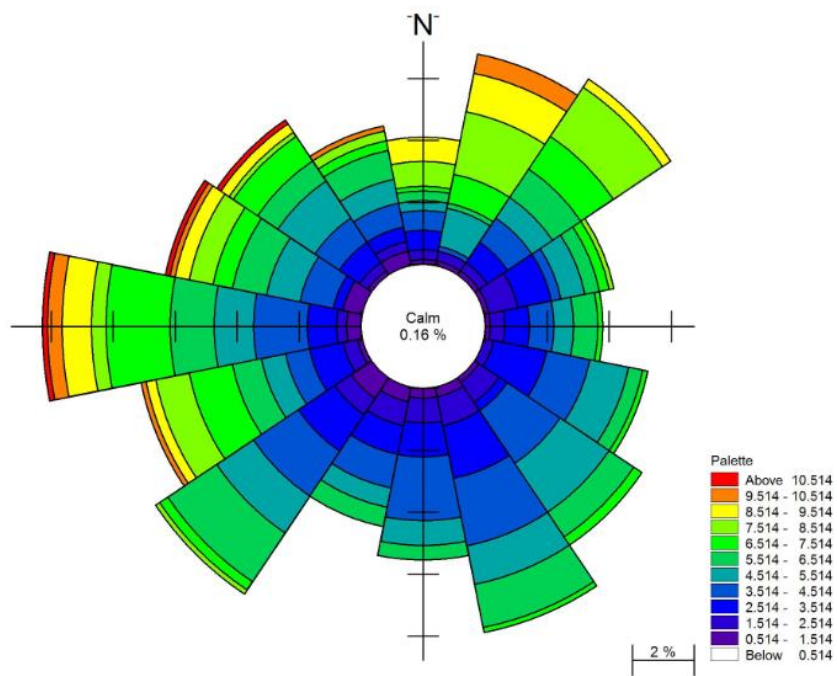
شکل ۱-۰۴- گل باد فصل پاییز ۲۰۰۲ خلیج چابهار



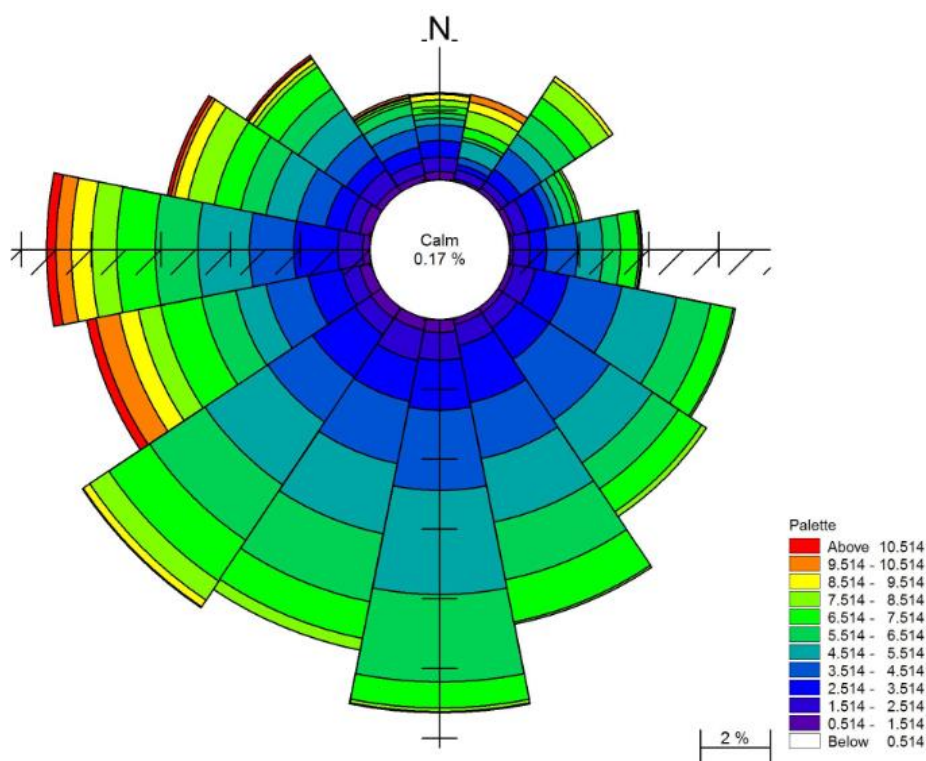
شکل ۲-۰- گل باد بهار ۲۰۰۲ خلیج چابهار



شکل ۳-۴- گل باد تابستان ۲۰۰۲ خلیج چابهار



شکل ۴-۴- گل باد زمستان ۲۰۰۲ خلیج چابهار

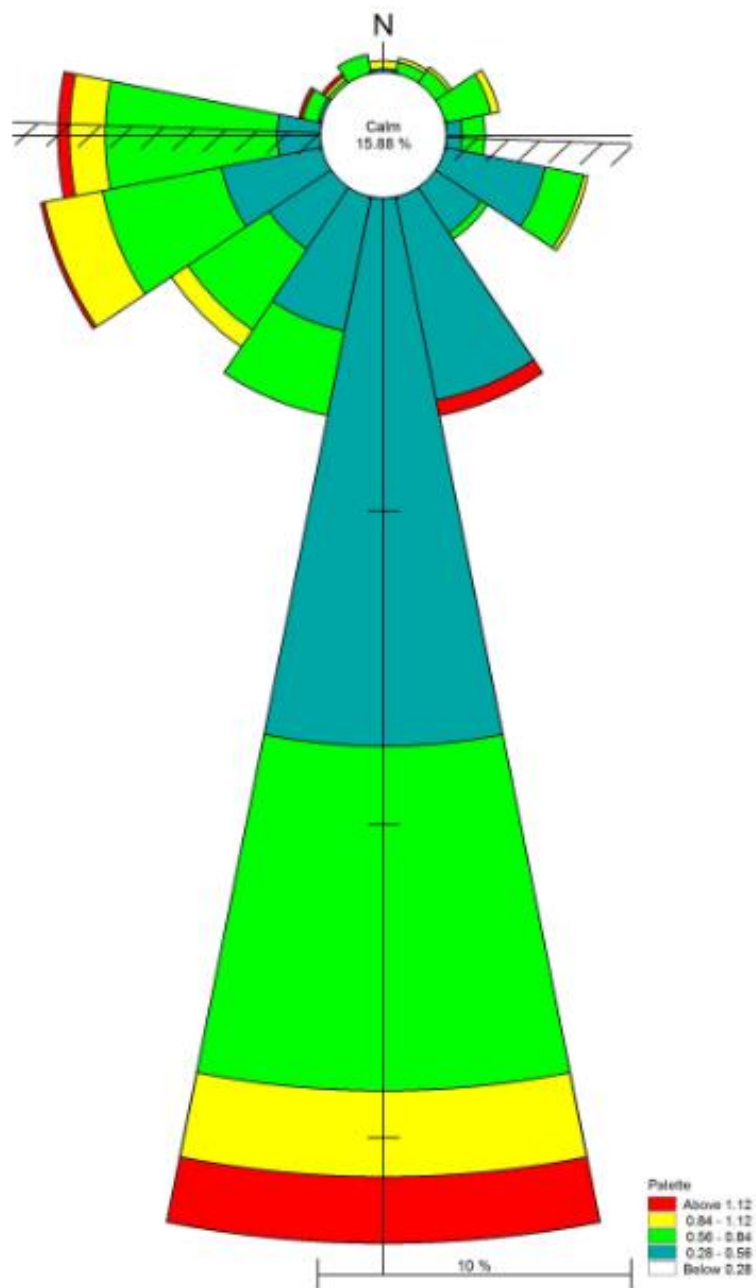


شکل ۴-۵- گل باد سالانه ۲۰۰۲ خلیج چابهار

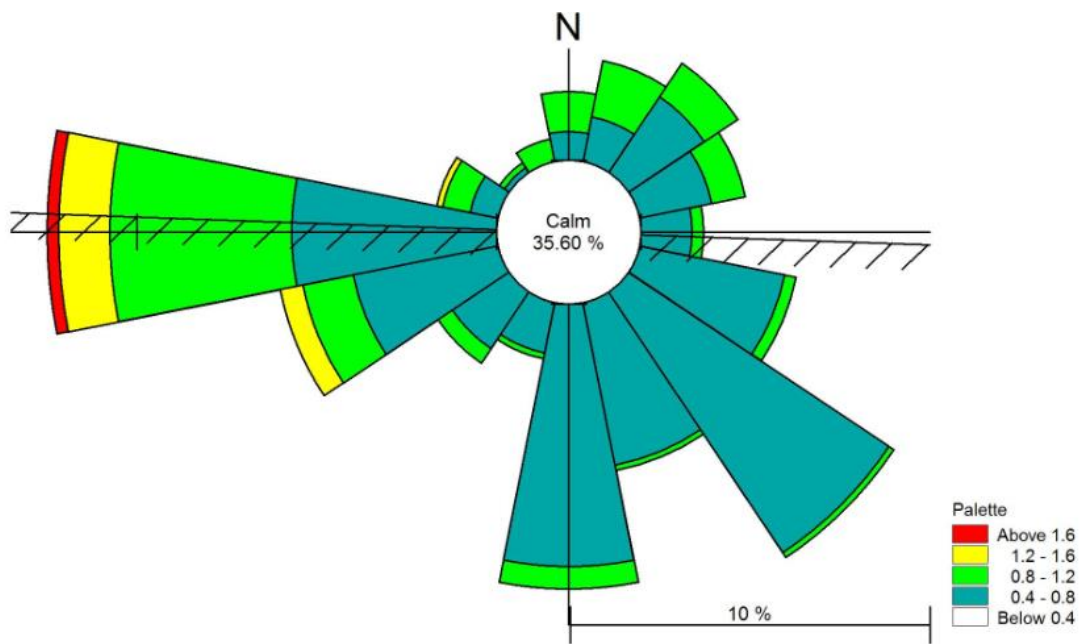
در گل بادهای رسم شده، از تعریف باد آرام جهت قرار دادن عدد این باد استفاده شده است. طبق تعریف، باد آرام بادی است که با سرعت  $0/514$  متر بر ثانیه در منطقه بوزد. با توجه به نتایج گل بادهای خلیج چابهار، جهت باد غالب خلیج در فصل پاییز از سمت جنوب است در صورتی که در فصل بهار جهت باد غالب از سمت جنوب غربی و در فصل تابستان باد غالب از سمت جنوب شرقی متمایل به جنوب و در فصل زمستان جهت باد غالب از غرب می باشد. با توجه به شکل ۴-۵ بادهای غالب سالانه خلیج چابهار از سمت جنوب می وزند.

#### ۴-۳- گل موج خلیج چابهار

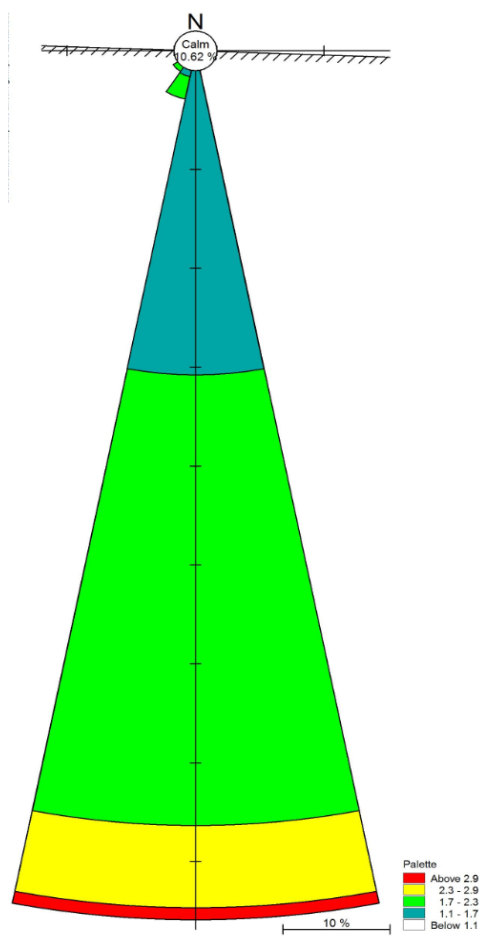
با استفاده از داده های موج خلیج چابهار و نرم افزار مایک، نتایج گل موج خلیج چابهار مطابق شکل های ۴-۶ تا ۴-۱۱ است.



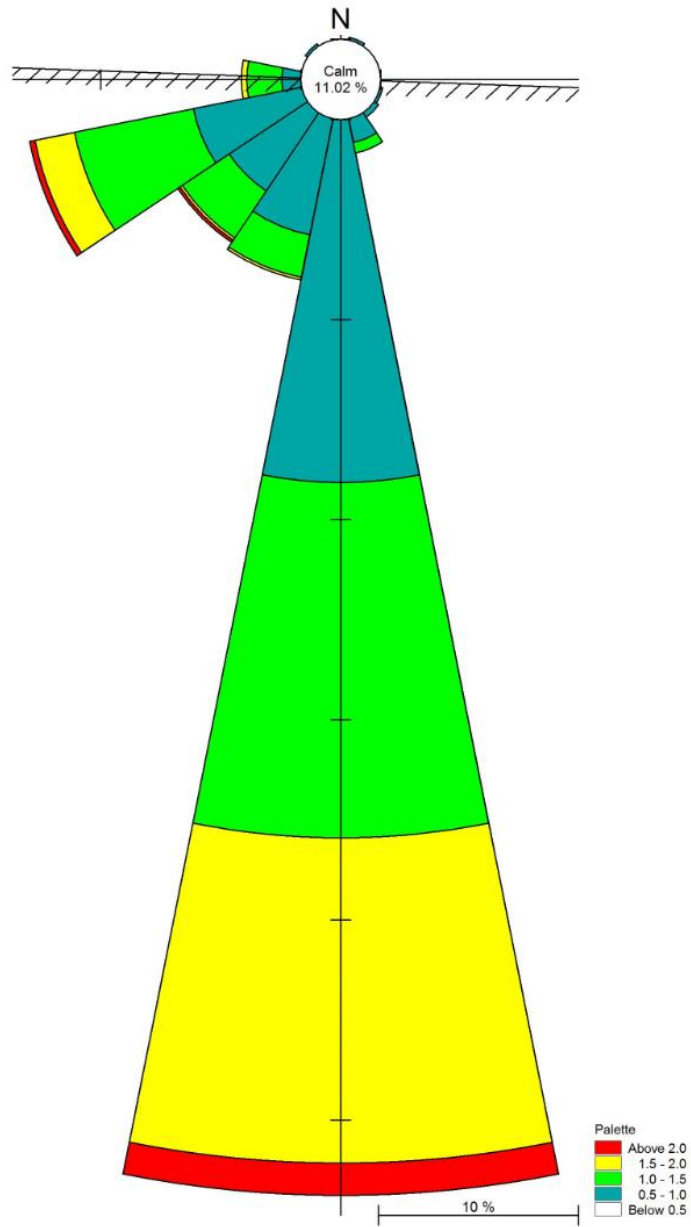
شکل ۶-۰۴- گل موج پاییز ۲۰۰۲ خلیج چابهار



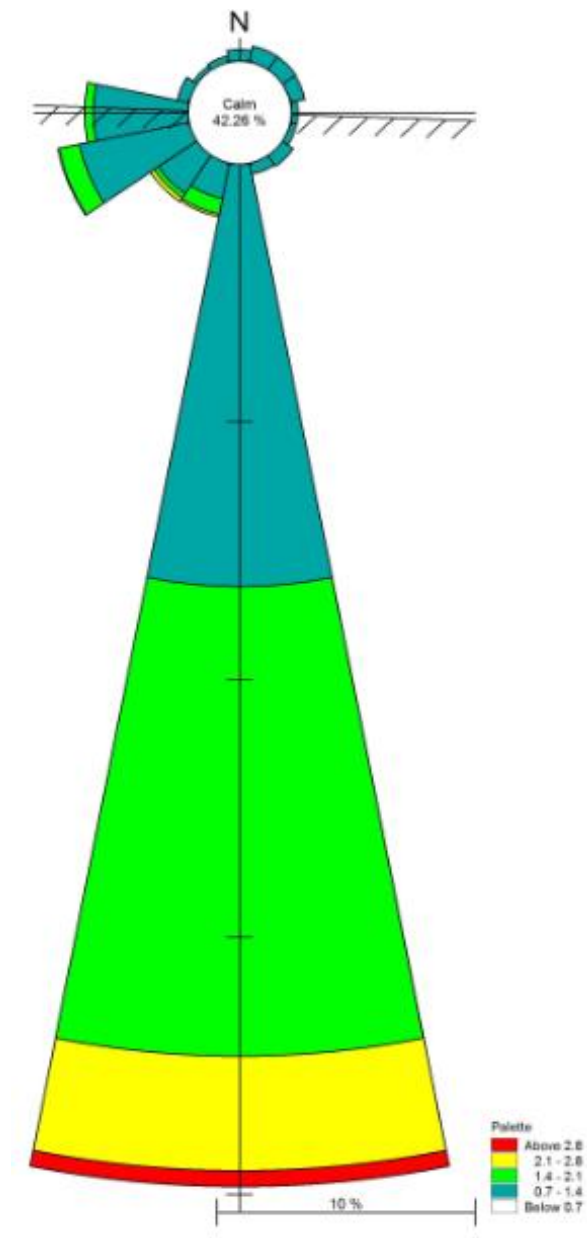
شکل ۷-۰۴- گل موج زمستان ۲۰۰۲ خلیج چابهار



شکل ۸-۰۴- گل موج تابستان ۲۰۰۲ خلیج چابهار



شکل ۹-۴- گل موج بهار ۲۰۰۲ خلیج چابهار



شکل ۱۰-۴- گل موج سالانه ۲۰۰۲ خلیج چابهار

باتوجه به نتایج بدست آمده از گل موج های خلیج چابهار، جهت موج غالب در ۳ فصل سال ۲۰۰۲ یعنی پاییز، بهار و تابستان از سمت جنوب بوده و در فصل زمستان موج غالب از سمت غرب می آید. با توجه به شکل ۴-۱۰ که بیانگر گل موج سالانه، سال ۲۰۰۲ خلیج چابهار است، موج غالب خلیج چابهار در این سال از سمت جنوب می آید.

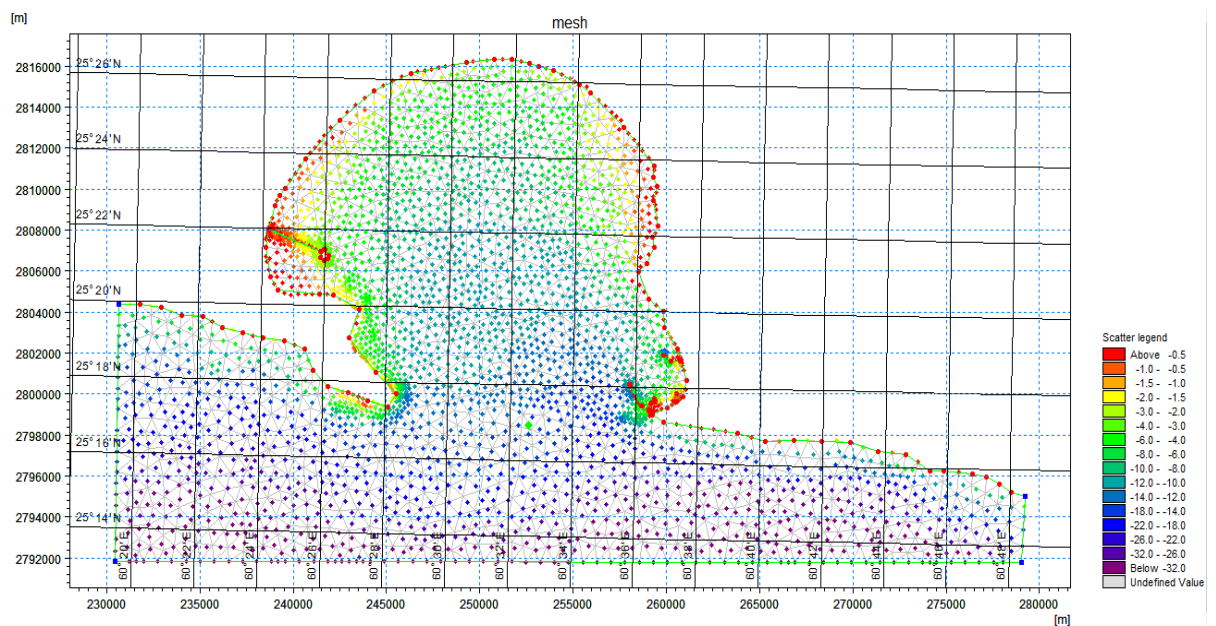


#### ۴-۴-۴ مدل SW

#### ۴-۴-۱- تهیه فایل شبکه بندی<sup>۱</sup> و ساخت مدل

ابتدا جهت وارد کردن شکل هندسی خلیج چابهار، از گوگل ارث<sup>۲</sup> شکل ظاهری و هندسی خلیج چابهار را جدا کرده و توسط نرم افزار گلوبال مپر<sup>۳</sup> آن را به فایلی که نرم افزار اتوکد قابلیت خواندن این فایل را دارد تبدیل کرده و سپس با استفاده از نرم افزار DXF فایل کد را ، به فایلی با پسوند XYZ تبدیل کرده تا وارد نرم افزار مایک شود.

پس از آنکه شکل هندسی و مرزهای خلیج چابهار در نرم افزار مایک وارد شد، داده های ژرفاسنجی خلیج را که توسط سازمان بنادر ایران برداشت شده است، به مدل تعریف کرده و با توجه به روش حل عددی مورد استفاده در مدل SW ، شبکه مورد نیاز جهت معرفی هندسه و هیدروگرافی مدل، غیر منظم و شامل المانهای مثلثی می باشد. در این حالت بسته به دقت مورد نیاز و اهمیت پدیده های مختلف در بخش های مختلف مدل از المان های ریز یا درشت استفاده می شود. فایل شبکه بندی ساخته شده در این تحقیق در شکل ۴-۱۱ قابل مشاهده است.

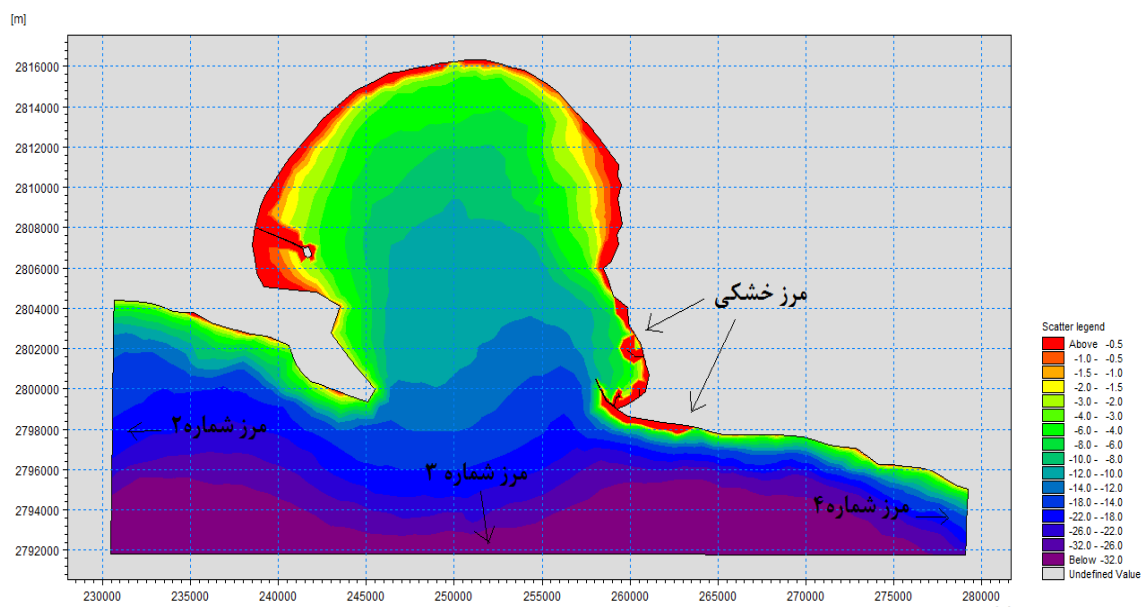


شکل ۴-۱۱- شبکه بندی خلیج چابهار به همراه داده های ژرفاسنجی

<sup>1</sup> Mesh  
<sup>2</sup> Google earth  
<sup>3</sup> Global Mapper



فایل شبکه بندی ساخته شده را جهت معرفی به مدل مایک، خروجی گرفته تا به فایلی مانند شکل ۱۲-۴ جهت ورودی به مدل تبدیل شود.



شکل ۱۲-۴- فایل شبکه بندی و معرفی مرزها

با توجه به استفاده از مدل Coupled model Fm، نرم افزار، شرایط سطح آب در مدل SW را از مدل هیدرودینامیکی Flow model FM دریافت می کند.

برای معرفی داده های باد مورد نیاز، با توجه به داده های سازمان بنادر، فایل های سری زمانی که شامل سرعت باد و جهت باد با گام های زمانی ۳ ساعته برای فصل های مختلف سال ۲۰۰۲ می باشد، ساخته می شود.

هر یک از شماره های نشان داده شده در شکل ۱۲-۴ بیان گر مرزهای خلیج چابهار می باشد که داده های آن مطابق جدول ۱-۴ وارد مدل می گردد.

جدول ۱-۴- معرفی ورودی های مرزهای خلیج چابهار

Lateral boundary	مرز شماره ۲
Wave parameters (version 1)	مرز شماره ۳
Lateral boundary	مرز شماره ۴

مرز شماره ۲ و شماره ۴: به دلیل وجود جریان های موازی ساحل در منطقه مورد مطالعه خلیج چابهار باید قسمتی از مرزها که در محدوده surf zone قرار می گیرد به صورت Lateral boundary تعریف شود تا اثر جریان های موازی ساحل در مدل سازی دیده شود.

مرز شماره ۳: این مرز، محل ورودی موج در منطقه مدل سازی است که بصورت سری زمانی متغیر در زمان و ثابت در مرز ورودی، به مدل اعمال گردیده است.

به دلیل عدم وقوع یخبندان در دریا های جنوب ایران از لحاظ پوشش یخ صرف نظر می شود. ۳ پارامتر دیگر، شامل شکست موج، سفیدک راس موج و استهلاک در اثر اصطکاک بستر به عنوان پارامترهای واسنجی مدل مورد استفاده می گیرد.

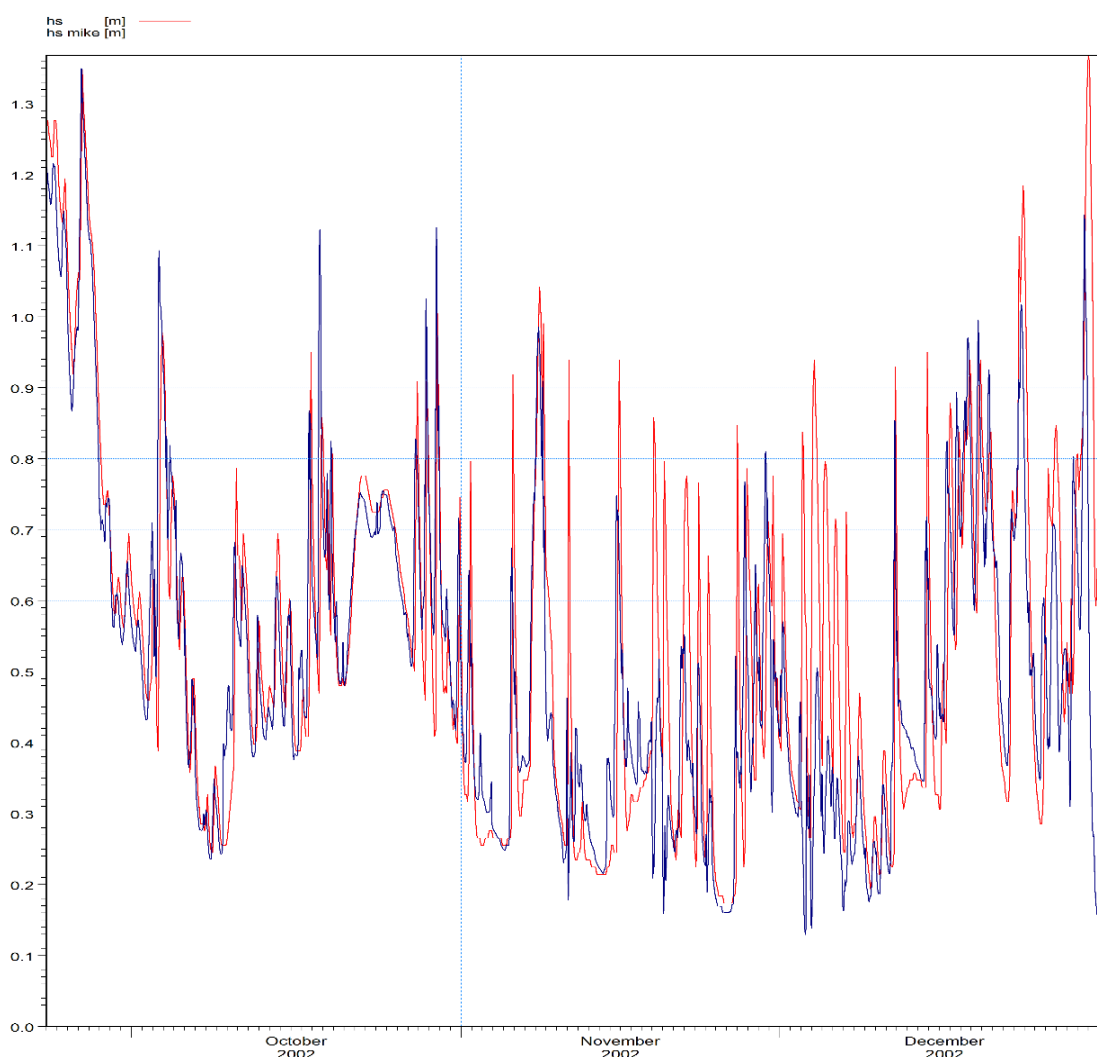
#### ۴-۴-۲ - ضرایب واسنجی مدل SW

هدف از واسنجی یک مدل ریاضی، تعیین شرایطی است که به کمک آنها مدل قادر به شبیه سازی بهتر یک پدیده فیزیکی باشد. بعد از انجام واسنجی مدل، صحت عملکرد آن همراه با شرایط تعیین شده با داده های موجود و یا نتایج حاصل از یک نرم افزار معتبر دیگر ارزیابی می گردد. در این تحقیق با چند بار خروجی گرفتن از مدل و مقایسه با داده های نقطه ای در خلیج چابهار، ضرایب واسنجی بدست آمد. ضرایب واسنجی مدل سازی بدست آمده مطابق جدول ۴-۲ است.

جدول ۴-۲- ضرایب واسنجی مدل

مقدار نهایی	مقدار پیش فرض مدل	ضریب واسنجی	
۰/۸	۰/۸	ضریب شکست ( گاما)	
۰/۱۵	۰/۰۴	ضریب استهلاک در اثر اصطکاک بستر	
۳	۴/۵	C dis	ضریب سفیدک موج
۰/۸	۰/۵	Deta dis	

پس از چند بار خروجی گرفتن از مدل و مقایسه با داده های یک نقطه برداشت شده توسط سازمان بنادر، نتیجه مقایسه ارتفاع موج بدست آمده از مدل با ارتفاع موج نقطه ای مورد نظر در خلیج چابهار در شکل ۴-۱۳ آمده است.



شکل ۴-۱۳- مقایسه ارتفاع موج مدل با ارتفاع موج نقطه مورد نظر

#### ۴-۵- مدل هیدرو دینامیکی Flow model Fm

##### ۴-۵-۱- داده‌های ورودی

داده‌های جزر و مدی که به عنوان ورودی به مدل هیدرو دینامیکی اعمال می‌شود، همان داده‌های جزر و مدی است که نرم افزار مایک به صورت جهانی در خود دارد. در واقع این داده‌ها به عنوان شرایط مرزی به مدل هیدرو دینامیکی اعمال می‌شود.

شرایط مرزی مورد استفاده در مدل هیدرو دینامیکی به صورت جدول ۴-۳ می‌باشد.

وقتی از مدل Copled model Fm برای مدل سازی هیدرو دینامیکی استفاده شود، تنش تشعشی که به عنوان ورودی مدل هیدرو دینامیکی مورد نیاز است را مدل از SW می‌گیرد. بنابراین دیگر نیازی به

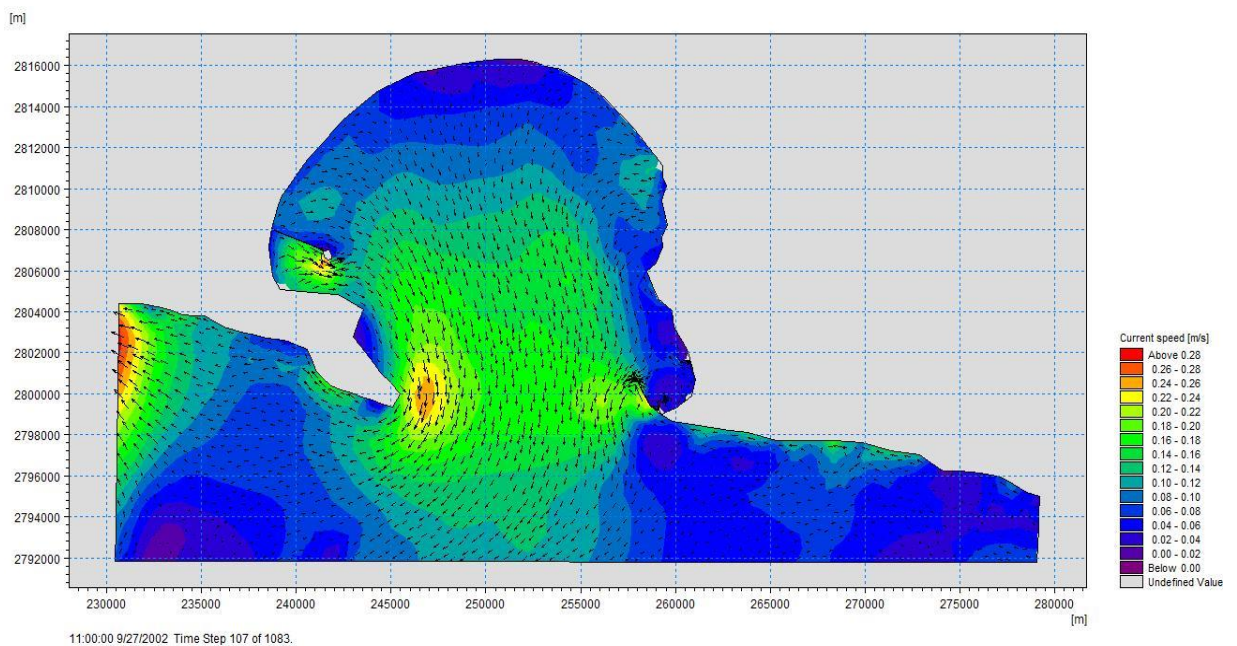
خروجی گرفتن از مدل SW و سپس ورود آن به مدل هیدرو دینامیکی نیست. بنابراین سرعت خروجی گرفتن و مدل بالا می‌رود.

۳-۴- شرایط مرزی مدل هیدرو دینامیکی خلیج چابهار

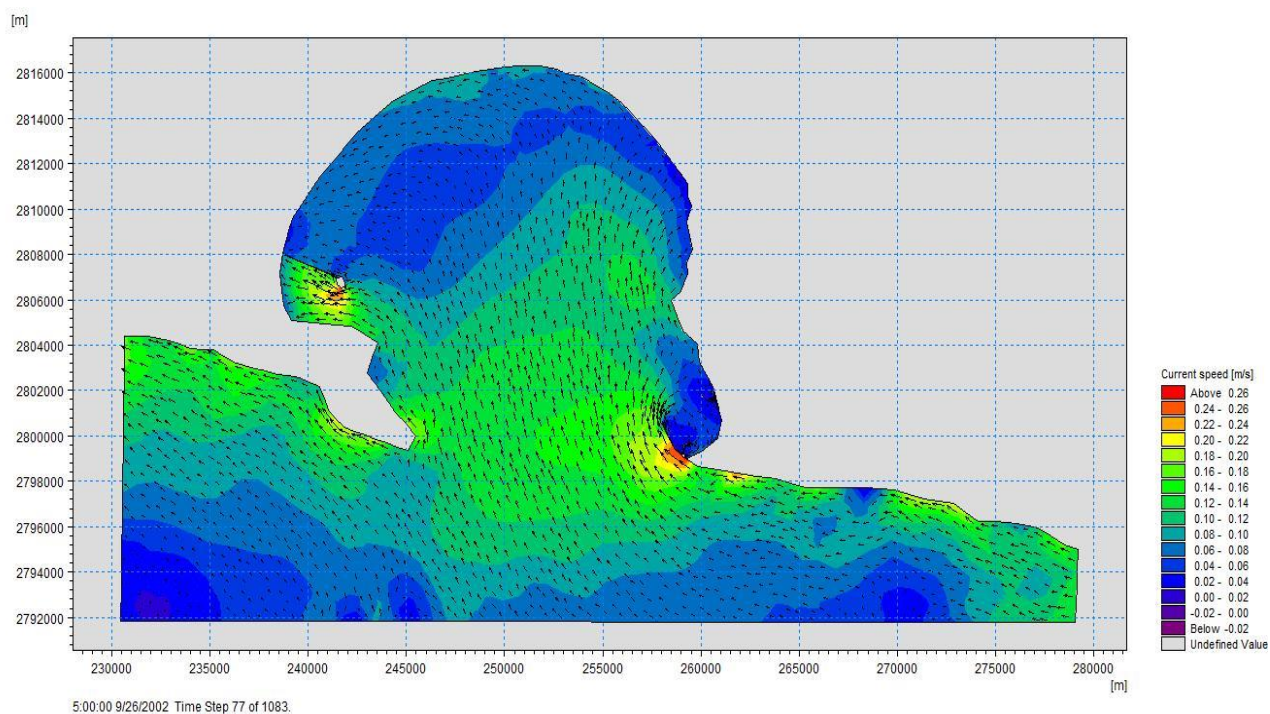
Specified level (varying in time and along boundry), tidal cod 2	مرز شماره ۲
Specified level (varying in time and along boundry),tidal cod3	مرز شماره ۳
Specified level (varying in time and along boundry), tidal cod4	مرز شماره ۴

داده‌های ژرفاسنجی و فایل شبکه‌بندی مورد استفاده در مدل هیدرو دینامیکی همان فایلی است که در مدل SW مورد استفاده قرار گرفت. از آنجا که یکی از عوامل مورد بررسی در این تحقیق، تاثیر جریان‌های ناشی از باد است، بنابراین یک بار مدل را با اثر باد در مدل هیدرو دینامیکی و یک بار بدون اثر باد مدل را شبیه سازی کرده، تا نتایج حاصل مورد بررسی قرار گیرد.

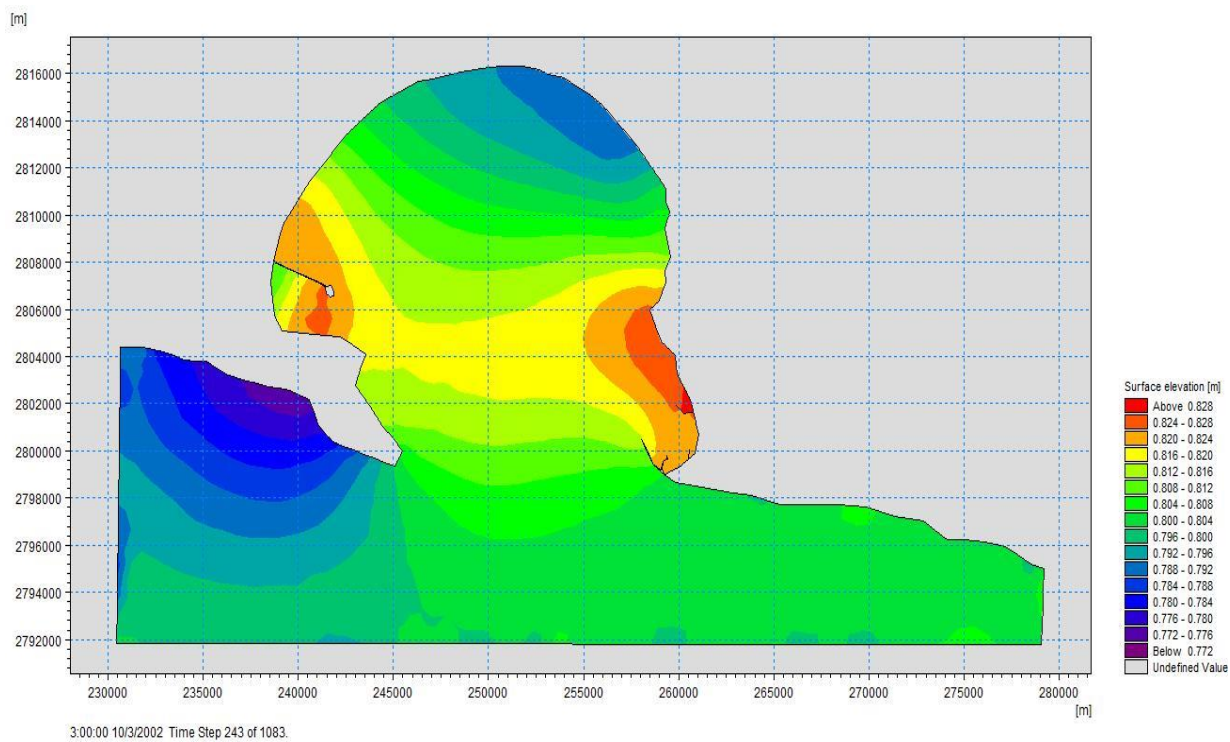
پس از مدل سازی هیدرو دینامیکی خلیج چابهار با استفاده از Flow Model Fm، نتایج خروجی آن مطابق شکل‌های ۴-۱۴ تا ۴-۱۸ می‌باشد.



شکل ۴-۱۴- سرعت و جهت جریان در حالت جزر و در یک گام زمانی خاص

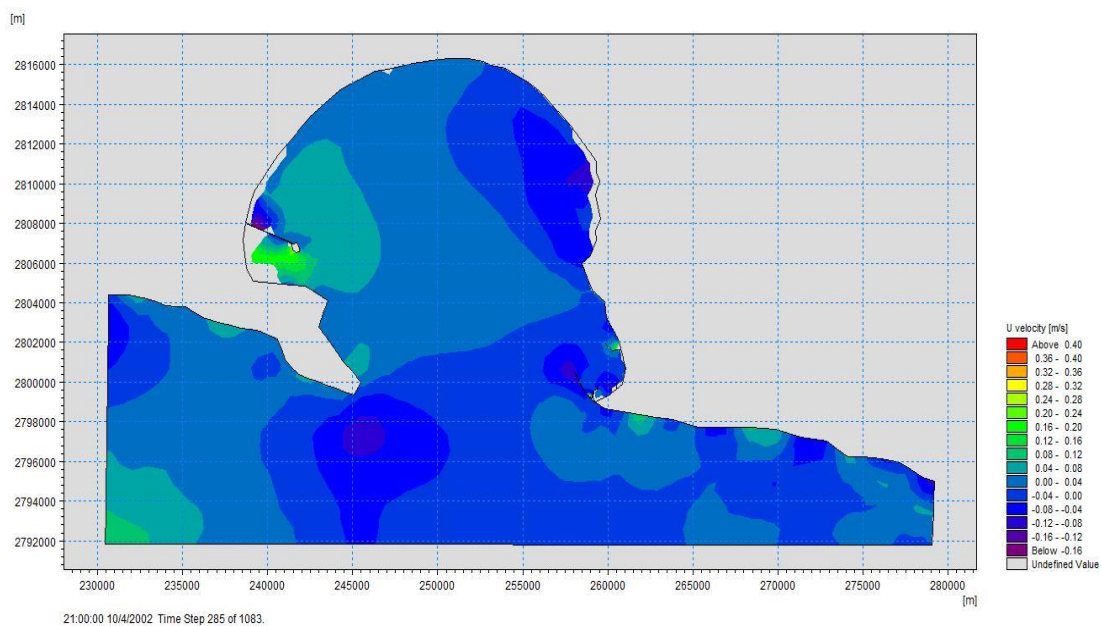


شکل ۱۵-۰۴- سرعت و جهت جریان در حالت مد در یک گام زمانی خاص

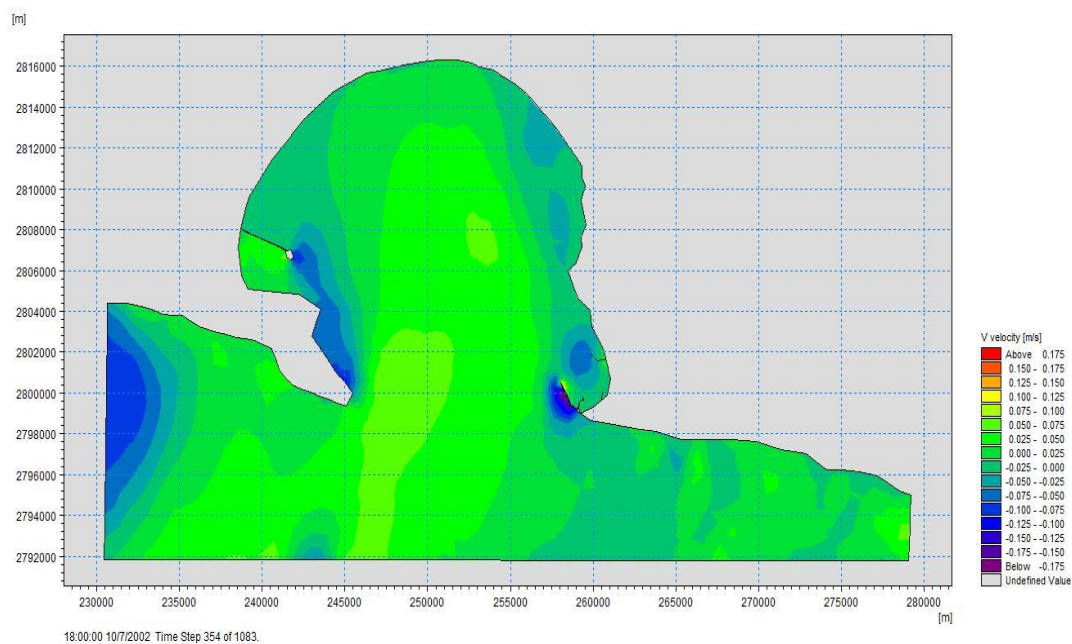


شکل ۱۶-۴- ارتفاع سطح آب در یک گام زمانی خاص





شکل ۴-۱۷- سرعت جریان در جهت X



شکل ۴-۱۸- سرعت جریان در جهت Y

#### ۴-۵-۲- نتایج مدل هیدرودینامیکی

با توجه به شکل ۴-۱۴ و ۴-۱۵، جهت جریان آب در خلیج چابهار از سمت شرق به سمت غرب می- باشد. با توجه به شکل ۴-۱۵، در هنگام مد، جریان‌های دریایی از سمت جنوب به سمت داخل خلیج چابهار وارد شده و پس از آن در هنگام جزر مطابق شکل ۴-۱۴، از خلیج خارج شده و به سمت غرب می‌روند.

#### ۴-۶- مدل انتقال FLOW Model FM

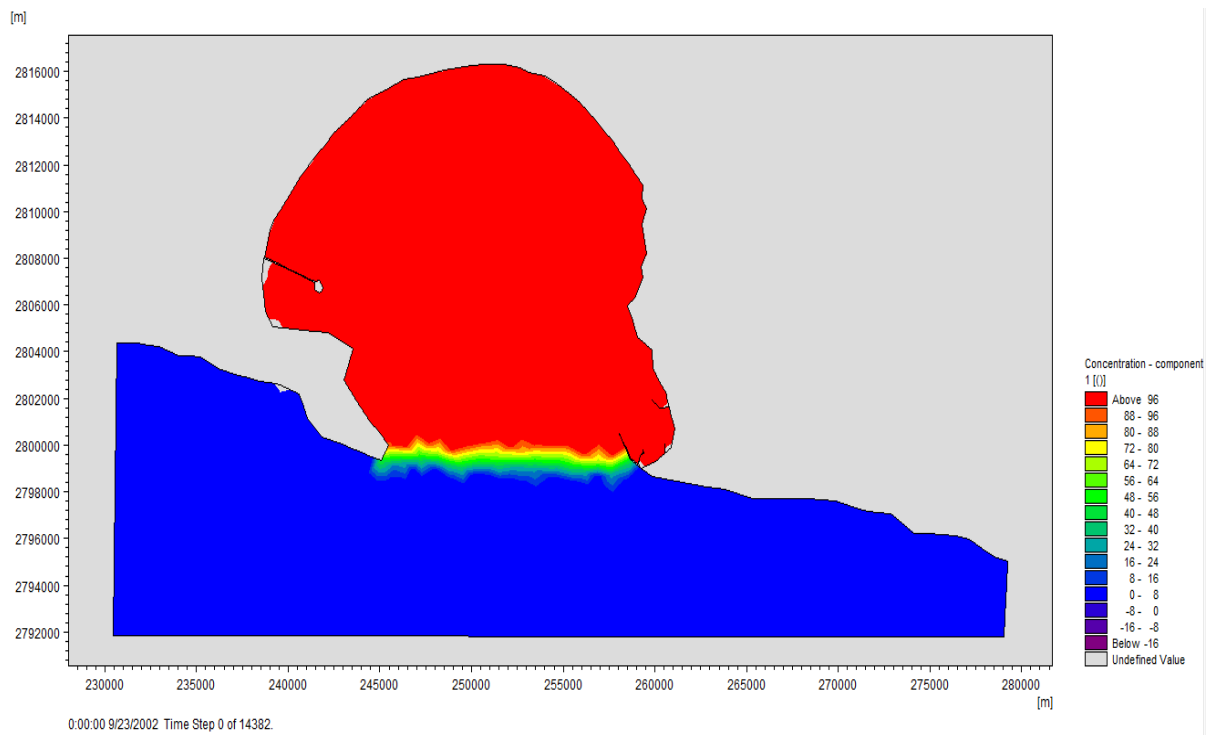
در مدل سازی انتقال، مطابق شکل ۴-۱۹ با این فرض که کل خلیج چابهار آلوده می باشد و غلظت آلودگی ۱۰۰ و آب دریا که با جزر و مد و یا جریان های ناشی از باد، وارد خلیج می شود به صورت آب تازه و با غلظت صفر در نظر گرفته می شود. در این تحقیق سناریوهای جدول ۴-۵ مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است:

جدول ۴-۵- سناریوهای مورد بررسی در مدل سازی

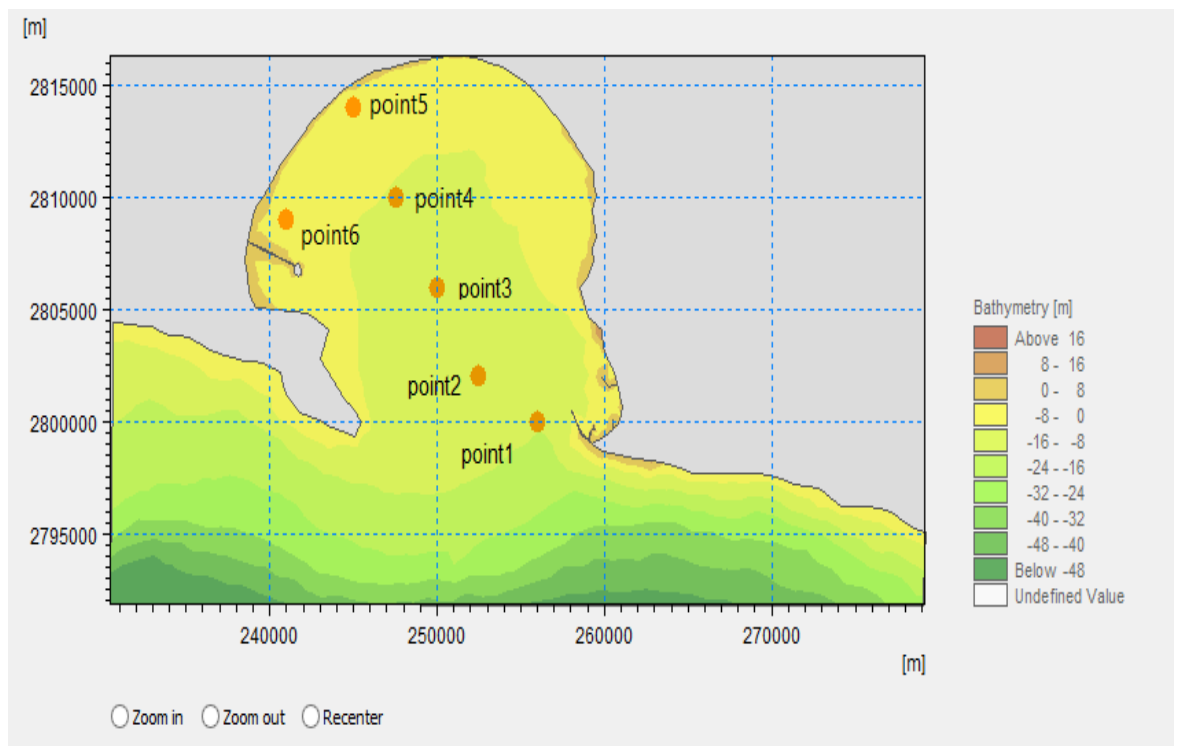
اثر جزر و مد	مدل سازی بدون جریان های ناشی از باد صورت گرفت و تنها جریان های ناشی از جزر و مد به مدل اعمال شد.
اثر باد+ اثر جزر و مد	جریان های ناشی از باد به همراه جریان های ناشی از جزر و مد باهم به مدل اعمال گردید و تاثیر باد در منطقه مورد بررسی قرار گرفت.
تاثیر فصل های سال	فصل های مختلف سال جهت تعیین فلاشینگ خلیج چابهار مورد بررسی قرار گرفت تا تاثیر آب و هوا و فصل ها بر فلاشینگ تعیین گردد.
اثر ضریب پراکندگی	در نظر گرفتن ضریب پراکندگی صفر برای آلودگی فرضی خلیج. با این عمل حالیت از آلودگی گرفته شده و تنها تاثیر جریانات همرفتی در خلیج چابهار مورد ارزیابی قرار می گیرد.
اثر طرح توسعه بنادر	با اعمال طرح توسعه بنادر در مدل، به بررسی تاثیر این طرح در فلاشینگ خلیج چابهار پرداخته شد.
روش تحلیلی منطقه مورد مطالعه	مقایسه مدل سازی خلیج چابهار با روش تحلیلی تعیین زمان فلاشینگ و انتخاب روش مناسب برای خلیج چابهار

#### ۴-۷- تعیین زمان فلاشینگ با مدل عددی مایک

پس از شبیه سازی سناریوهای جدول ۴-۵، نتایج زیر در تعیین زمان تجدیدپذیری آب خلیج چابهار بدست آمده است. با توجه به نتایج مدل هیدرودینامیکی و جهت جریان در خلیج چابهار، برای تعیین زمان فلاشینگ این خلیج، نقاط پیشنهادی مطابق شکل ۴-۲۰ ارائه شد.



شکل ۱۹-۰۴- آلودگی فرضی خلیج چابهار



شکل ۲۰-۴- نقاط پیشنهادی جهت تعیین زمان فلاشینگ خلیج چابهار



## ◀ فصل زمستان

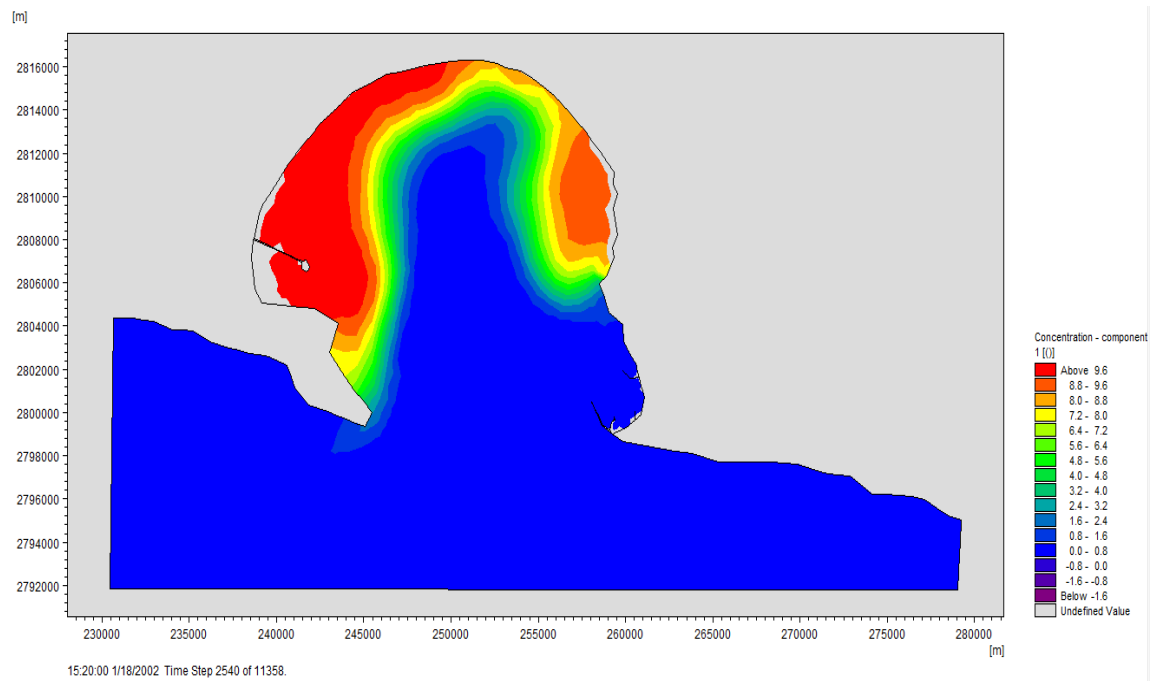
با اعمال باد و جزر ومد در مدل و بررسی نقاط مورد نظر، نتایج قابل توجهی در نقاط پیشنهادی بدست آمد. با بررسی نقطه ۱، پس از گذشت ۴,۶۶ ساعت آلودگی این نقطه به ۳۷ درصد رسید. اما بعد از گذشت ۲,۸۴ ساعت بعد از این زمان، دوباره آلودگی این نقطه از ۳۷ درصد گذشته و به مقادیر حتی ۹۰ درصد هم رسید. علت این مسئله، به خاطر جزر و مدی بودن خلیج چابهار است. آبی که در هنگام جزر در حال خروج است به هنگام مد بعدی مقداری از آلودگی که از خلیج خارج شده بود، دوباره به خلیج باز می‌گرداند. در مدلسازی حسینی این مسئله رعایت نشد و اولین زمانی که غلظت خلیج چابهار به ۳۷ درصد رسید را به عنوان زمان فلاشینگ انتخاب کردند. بنابراین سعی بر این است تا زمانی را به عنوان زمان فلاشینگ برای نقاط ۱ تا ۶ شکل ۴-۲۰، در نظر بگیریم که بعد از آن مقدار آلودگی خلیج، از مرز ۳۷ درصد نگذرد.

این زمان برای نقطه ۱ عدد ۲,۶۸ روز، برای نقطه ۲ عدد ۲,۶ روز، برای نقطه ۳ عدد ۹,۴۰ روز، برای نقطه ۴ عدد ۲۰,۳۸ روز، برای نقطه ۵ عدد ۳۴,۳۵ روز و برای نقطه ۶ عدد ۳۶,۴۷ روز بدست آمد. میانگین این نقاط زمان فلاشینگ کل خلیج چابهار را تعیین می‌کند. بنابر این مطابق شکل ۴-۲۱ مدت زمان لازم برای فلاشینگ خلیج چابهار در فصل زمستان به همراه باد برابر ۱۷,۶۴ روز می‌باشد.

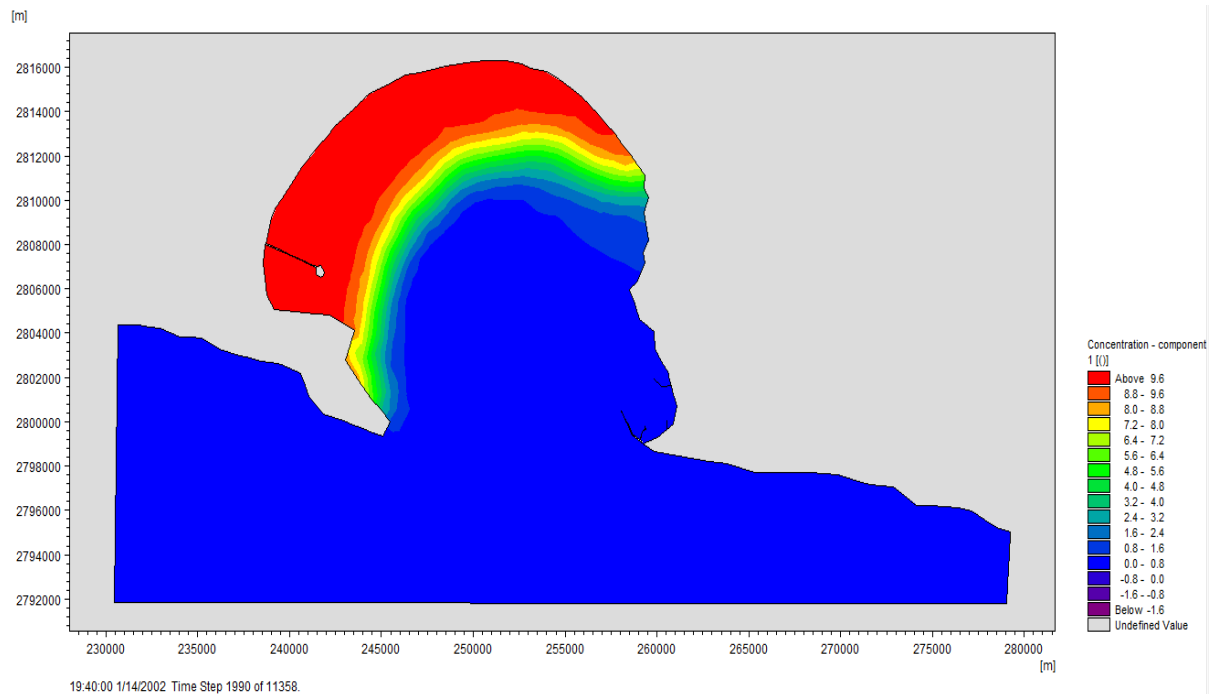
در صورتی که نقاط اولیه‌ای که به ۳۷ درصد رسیده را بدون در نظر گرفتن نقاط بعدی که به هنگام مد بعدی وارد می‌شوند در نظر گرفته می‌شد، مطابق شکل ۴-۲۲ مدت زمان تخلیه، ۱۳,۸۲ روز تخمین زده می‌شد.

با توجه به نتایج بدست آمده برای فلاشینگ نقاط شماره ۱ تا شماره ۶، مطابق شکل ۵-۲۳ بحرانی ترین نقطه برای فلاشینگ خلیج چابهار، نقطه شماره ۶ می‌باشد که در این منطقه خلیج چابهار بعد از گذشت ۳۶,۴۷ روز مقدار آلودگی آن به ۳۷ درصد می‌رسد.

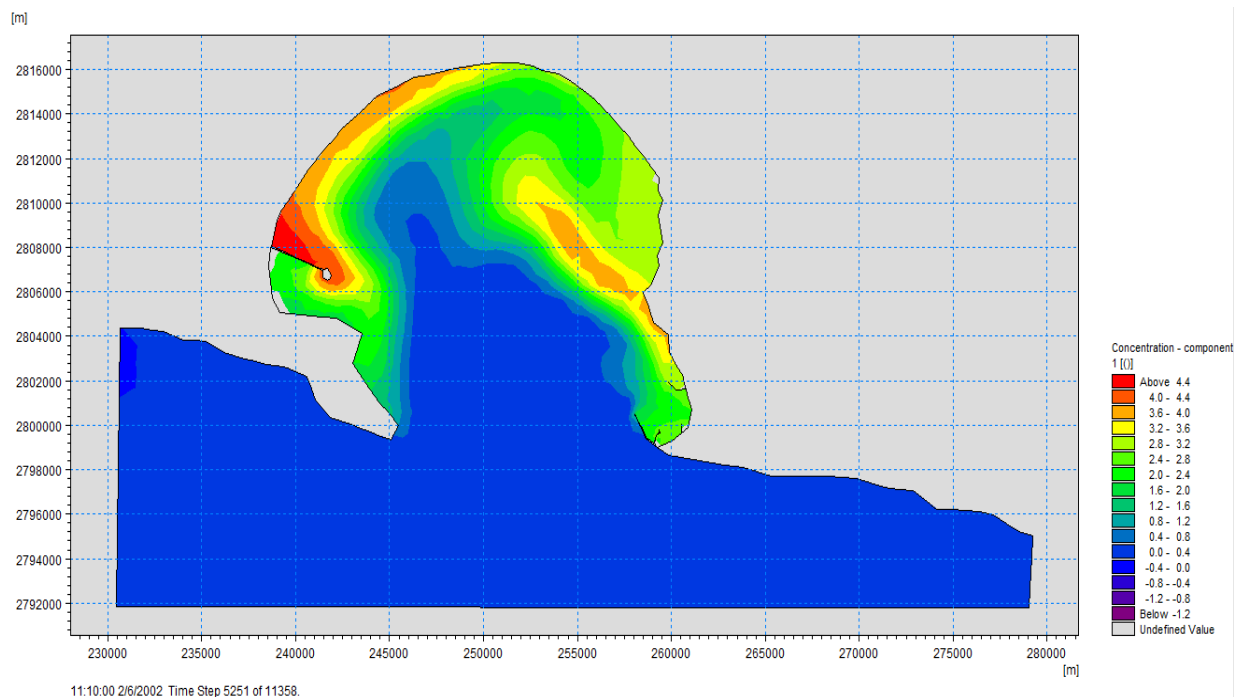
در شکل‌های ۵-۲۴ تا ۵-۲۹ می‌توان تغییرات زمانی غلظت مواد آلوده را مشاهده کرد.



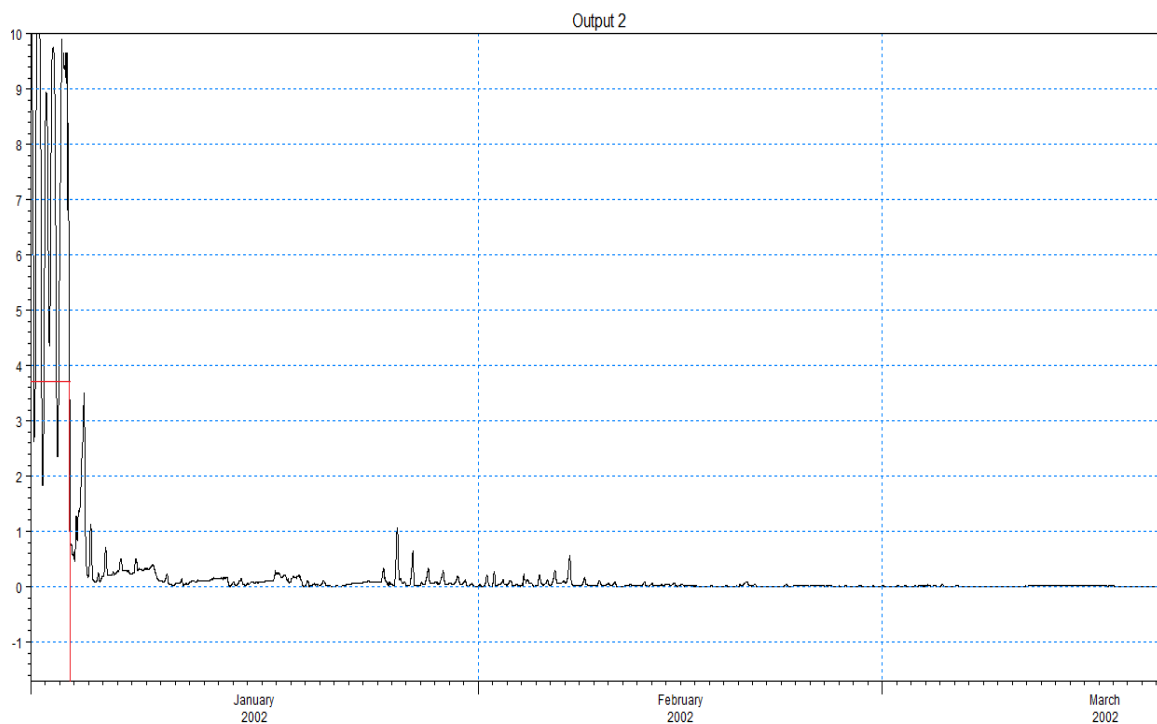
شکل ۴-۲۱- بعد از گذشت ۱۷,۶۴ روز



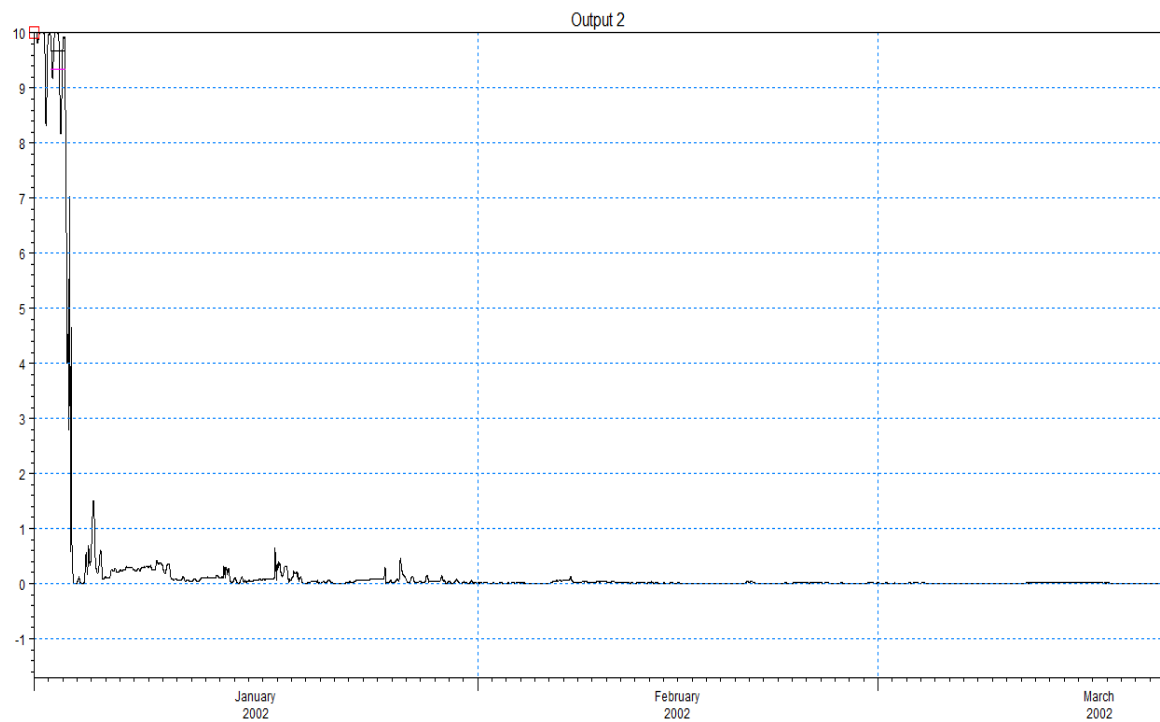
شکل ۴-۲۲- بعد از گذشت ۱۳,۸۴ روز



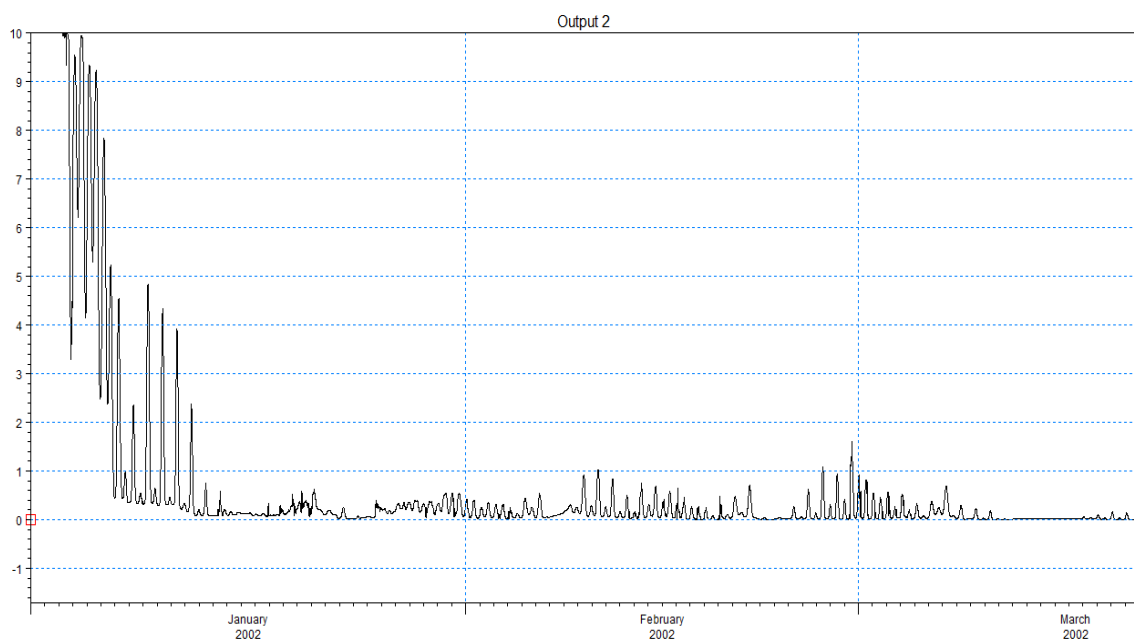
شکل ۲۳-۰۴- فلاشینگ خلیج بعد از گذشت ۳۶,۴۷ روز



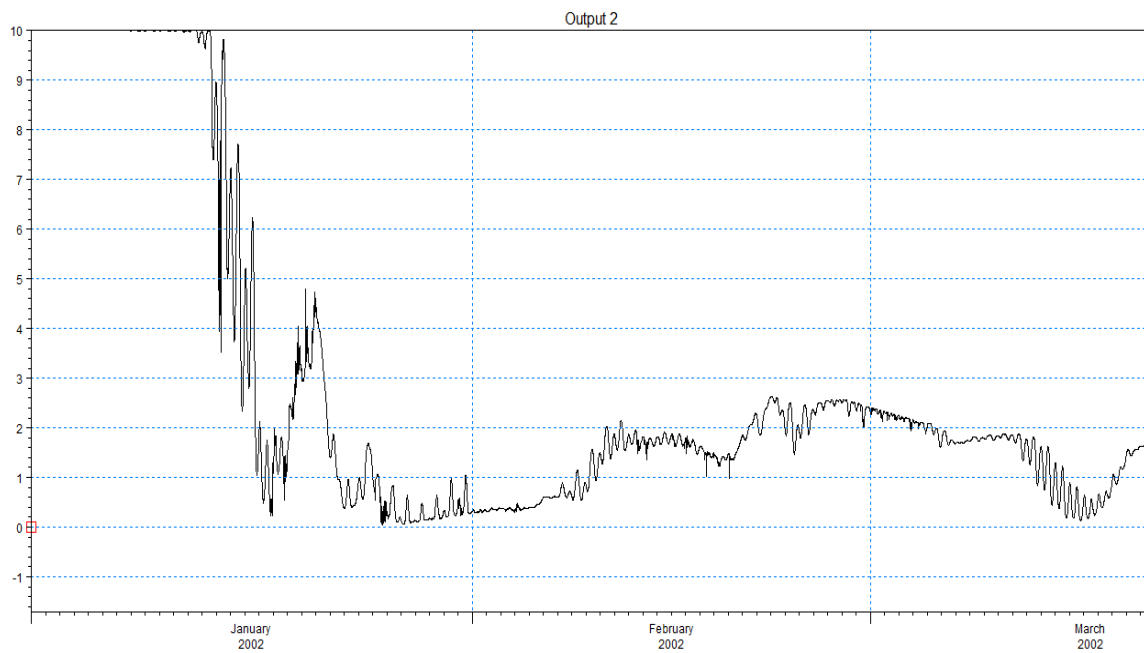
شکل ۲۴-۴- نمودار غلظت- زمان نقطه ۱ در زمستان



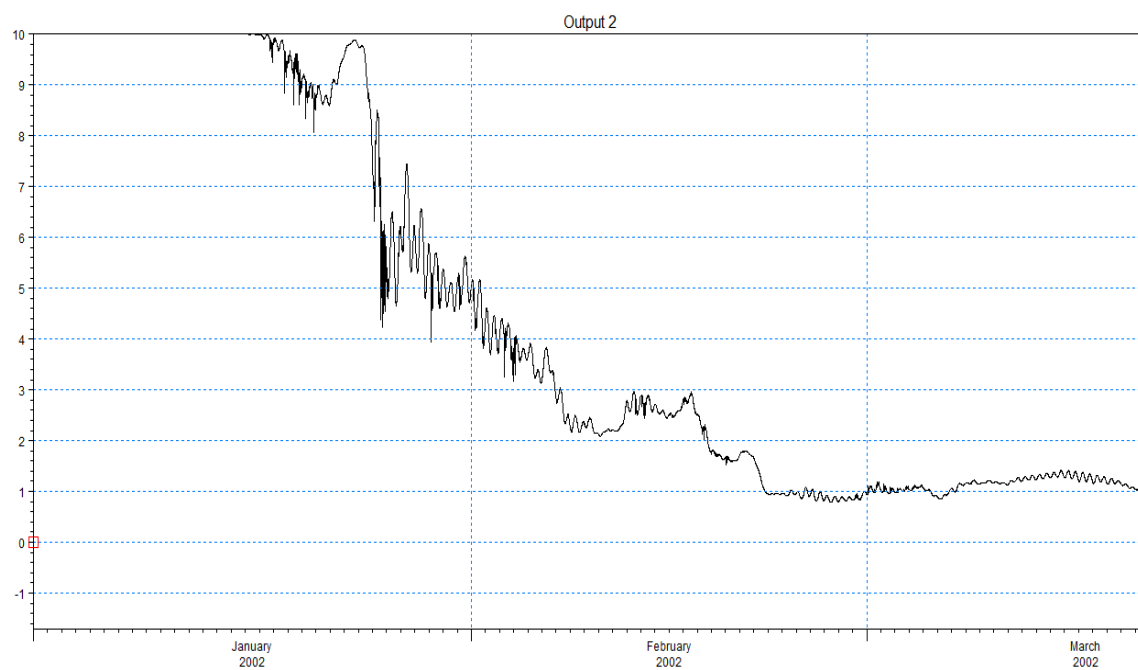
شکل ۴-۲۵- نمودار غلظت- زمان نقطه ۲ در زمستان



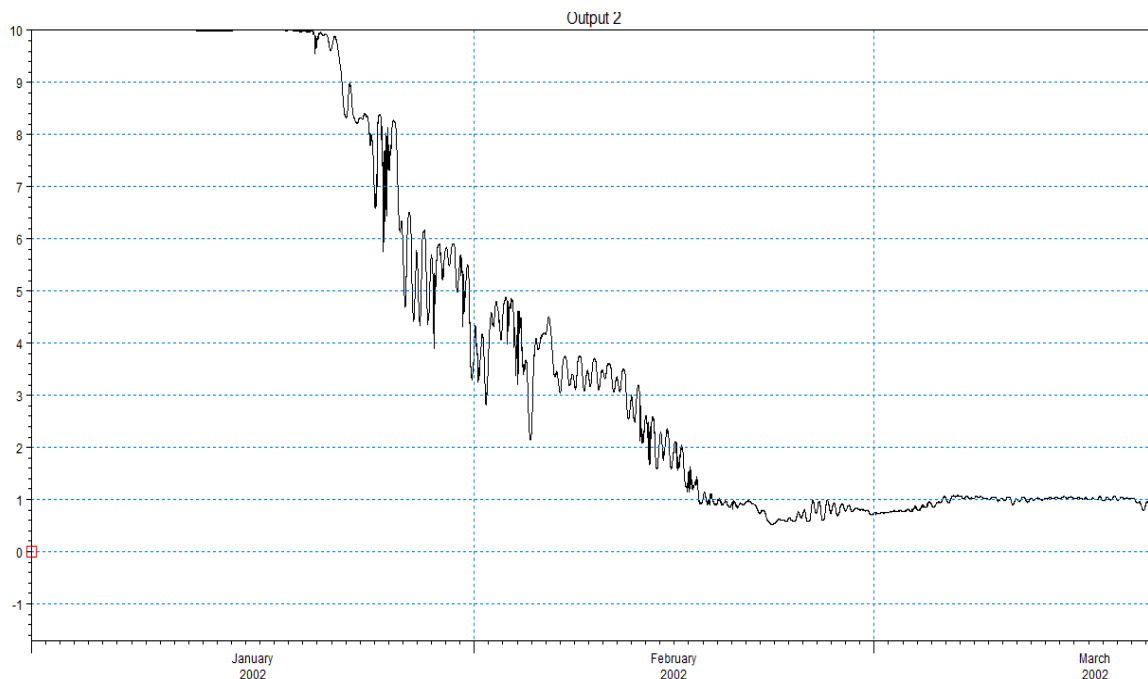
شکل ۴-۲۶- نمودار غلظت- زمان نقطه ۳ در زمستان



شکل ۴-۲۷- نمودار غلظت- زمان نقطه ۴ در زمستان



شکل ۴-۲۸- نمودار غلظت- زمان نقطه ۵ در زمستان

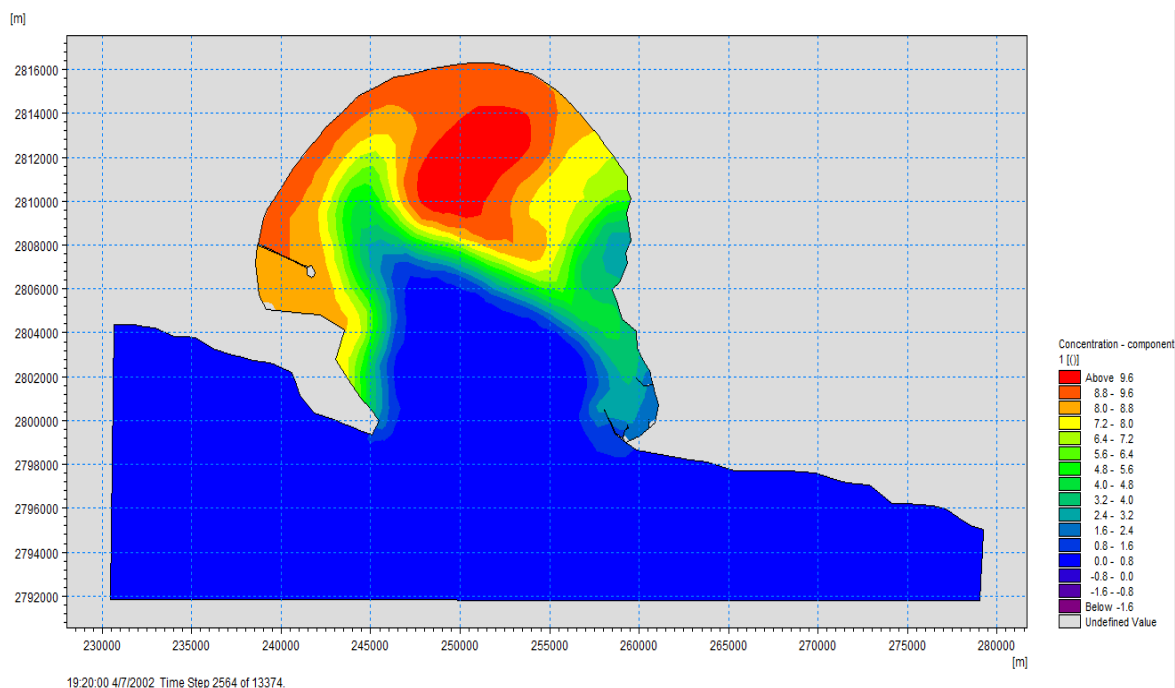


شکل ۴-۲۹- نمودار غلظت- زمان نقطه ۶ در زمستان

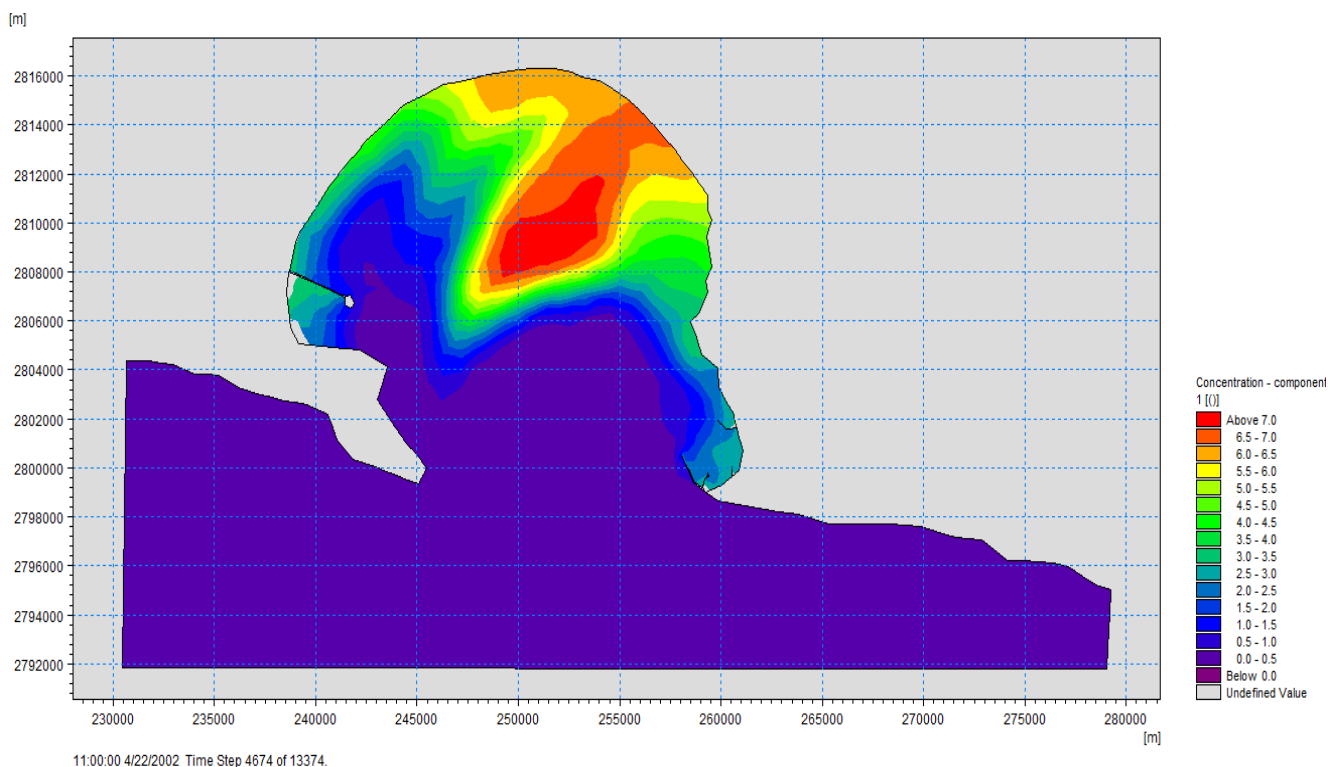
## ◀ فصل بهار

پس از اعمال باد و جزر و مد فصل بهار در مدل، مشخص شد که آب خلیج در نقطه شماره ۱ بعد از گذشت ۲,۴۱ روز، نقطه شماره ۲ بعد از گذشت ۲,۳۱ روز، نقطه شماره ۳ بعد از گذشت ۱۳,۲۵ روز، نقطه شماره ۴ بعد از گذشت ۲۵,۱۳، نقطه شماره ۵ بعد از گذشت ۳۲,۴۶ روز و نقطه شماره ۶ بعد از گذشت ۳۱,۳۲ روز تجدید می‌یابد و غلظت آلودگی آب خلیج به ۳۷ درصد می‌رسد. بنابراین مطابق شکل ۴-۳۰، در فصل بهار بعد از گذشت ۱۷,۸۱ روز، فلاشینگ خلیج چابهار صورت گرفته و ۶۳ درصد آلودگی خلیج، از دهانه آن خارج می‌شود.

براساس نتایج بدست آمده از مدل انتقال، در فصل بهار نقطه شماره ۵، به عنوان بحرانی ترین حالت جهت خروج آلودگی خلیج چابهار می‌باشد، که مطابق شکل ۴-۳۱ به مدت ۳۲,۴۶ روز طول می‌کشد تا ۶۳ درصد از آلودگی این منطقه از خلیج چابهار خارج گردد.



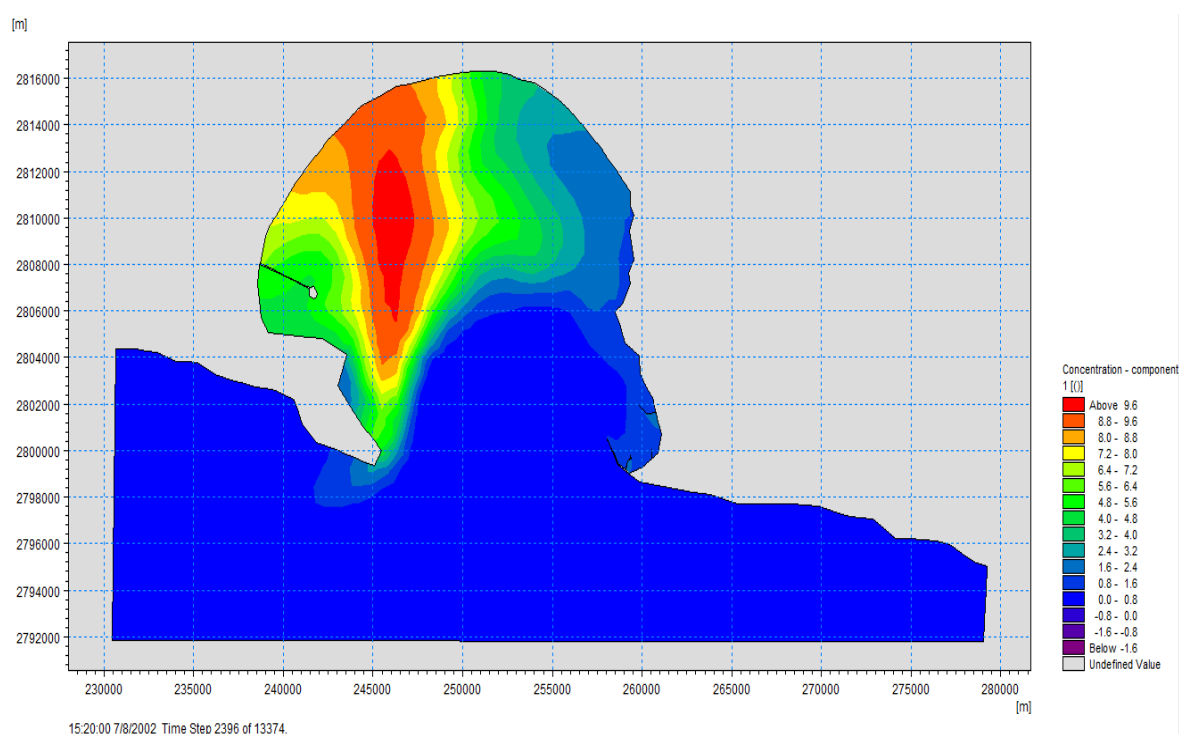
شکل ۴-۳۰- فلاشینگ خلیج چابهار بعد از گذشت ۱۷,۸۱ روز



شکل ۴-۳۱- فلاشینگ خلیج چابهار بعد از گذشت ۳۲,۴۶ روز

## فصل تابستان

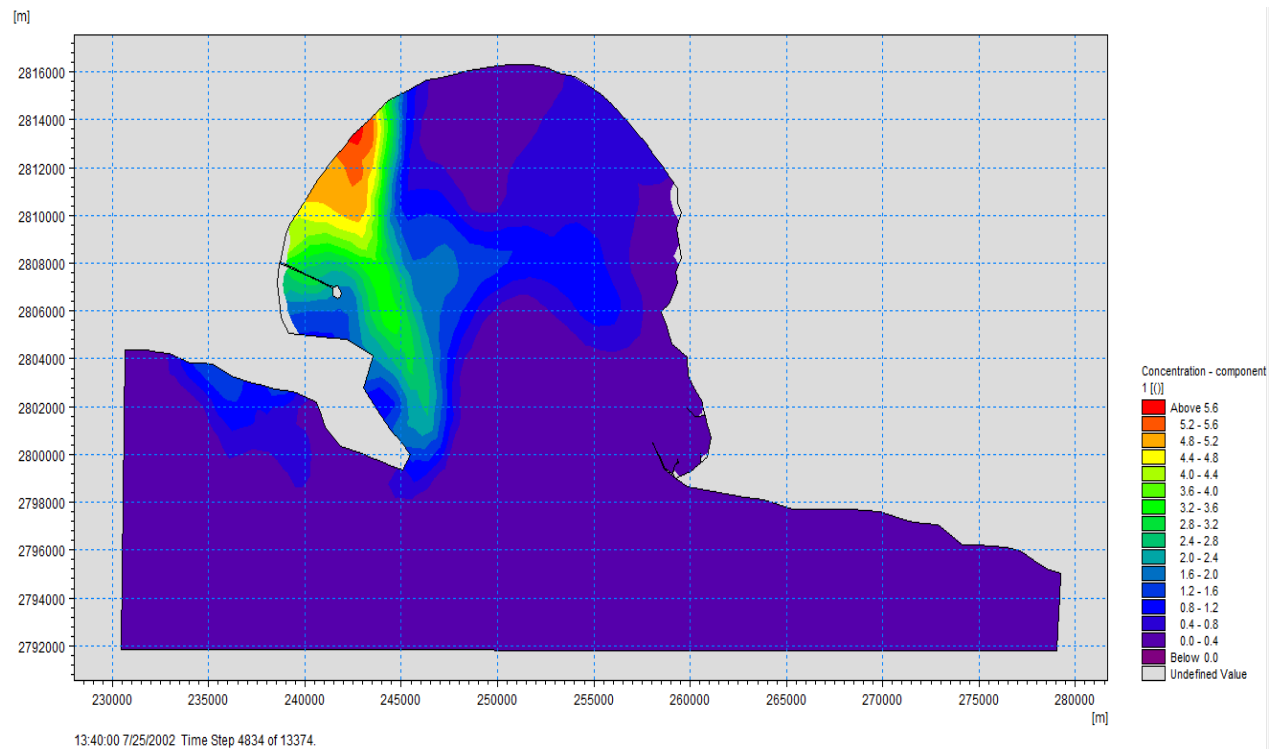
بعد از مدل سازی خلیج چابهار در فصل تابستان و اعمال باد و جزر ومد، منطقه شماره ۱، بعد از گذشت ۳،۱۵ روز، منطقه شماره ۲ بعد از گذشت ۲،۰۳ روز، منطقه شماره ۳ بعد از گذشت ۸،۲ روز، منطقه شماره ۴ بعد از گذشت ۲۵،۹ روز، منطقه شماره ۵ بعد از گذشت ۲۷ روز و منطقه شماره ۶ بعد از گذشت ۳۳،۵۷ روز غلظت آلودگی آن به ۳۷ درصد می رسد. بنابراین مطابق شکل ۴-۳۲ مدت زمانی که طول می کشد تا ۶۳ درصد آلودگی خلیج از دهانه آن خارج شود، برابر ۱۶،۶۴ روز است.



شکل ۴-۳۲- فلاشینگ خلیج چابهار بعد از گذشت ۱۶،۶۴ روز

نتایج مدل سازی انتقال خلیج چابهار در فصل تابستان، حاکی از آن است که منطقه شماره ۶ در این فصل به عنوان نقطه بحرانی جهت فلاشینگ خلیج چابهار است. مطابق شکل ۴-۳۳ براساس نتایج حاصل از مدل سازی، ۶۳ درصد آلودگی این منطقه به مدت ۳۳،۵۷ روز طول می کشد تا از دهانه خلیج خارج شود.



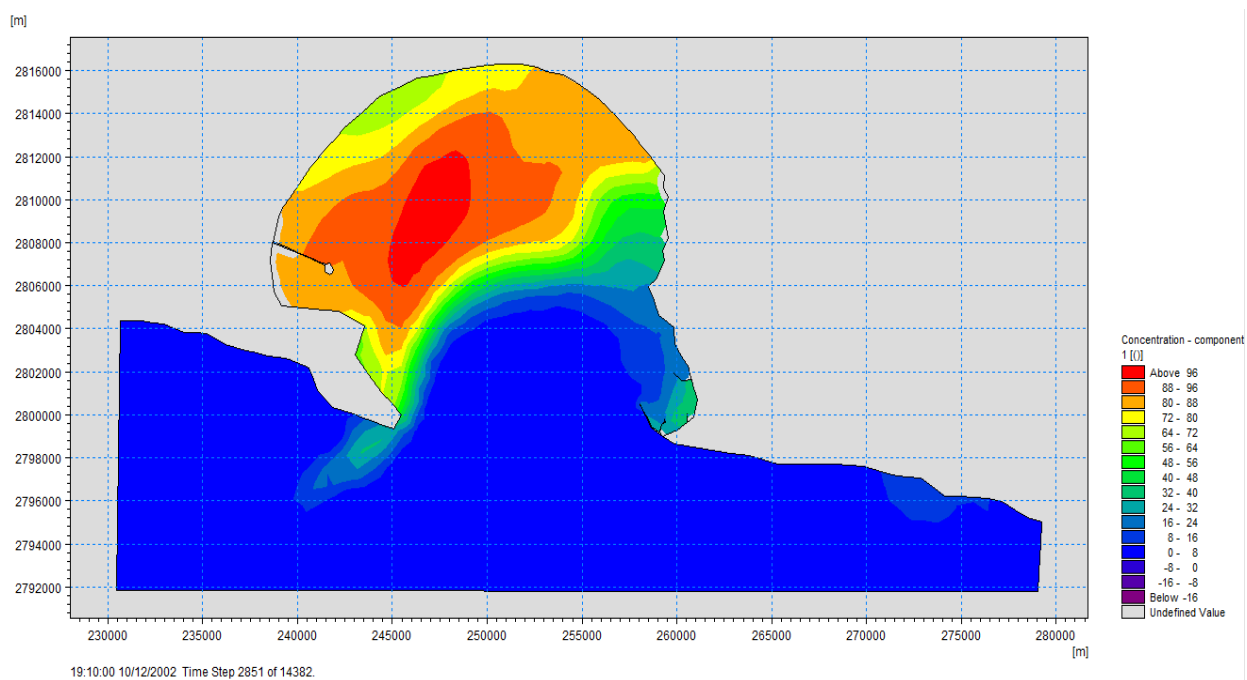


شکل ۴-۳۳- فلاشینگ خلیج چابهار بعد از گذشت ۳۳,۵۷ روز

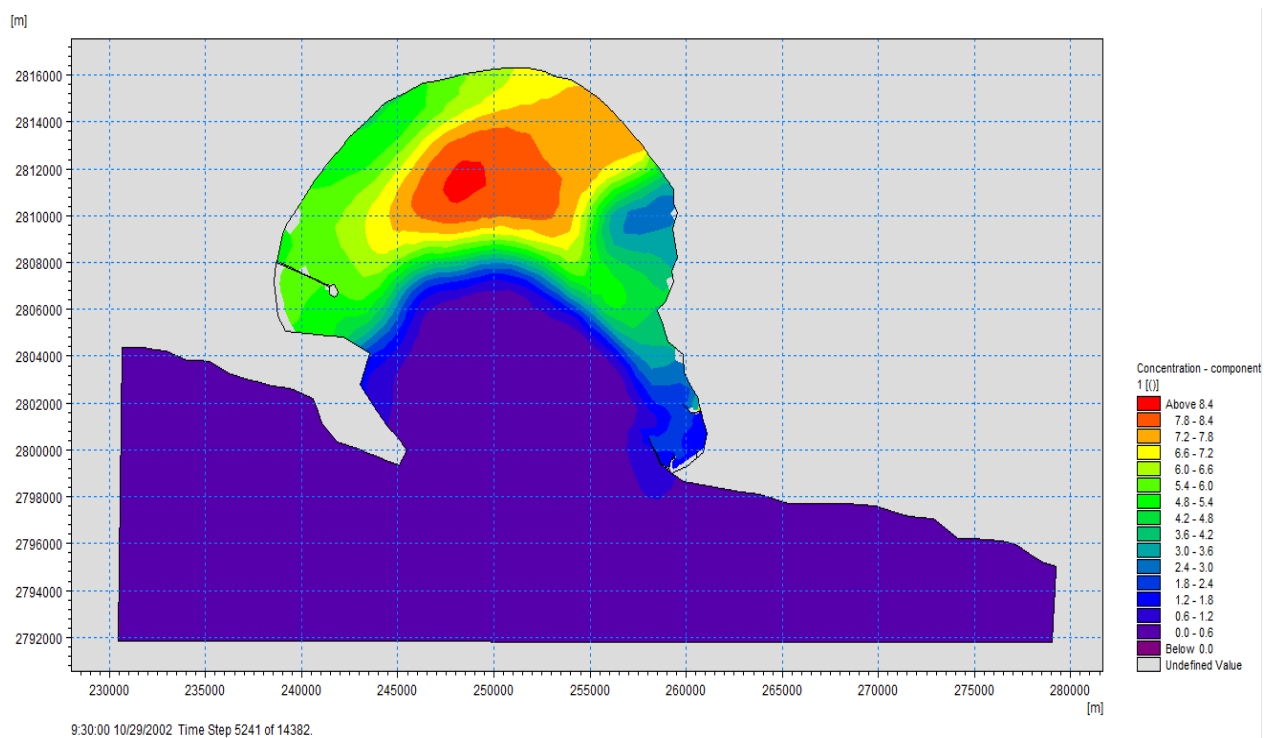
## ◀ فصل پاییز

پس از اعمال باد و جزر و مد فصل پاییز خلیج چابهار به مدل، نتایج بدست آمده از مدل مطابق شکل ۴-۳۴ نشان داد که منطقه شماره ۱ به مدت ۱۰,۹۷ روز، منطقه شماره ۲ بعد از گذشت ۱۰,۳۶ روز، منطقه شماره ۳ بعد از گذشت ۱۵,۶۵ روز، منطقه شماره ۴ بعد از گذشت ۳۹,۶ روز، منطقه شماره ۵ بعد از گذشت ۱۸,۲۸ روز و منطقه شماره ۶ بعد از گذشت ۲۰,۱ روز، غلظت آلودگی خلیج چابهار به ۳۷ درصد رسید. براساس نتایج بدست آمده از مدل، غلظت آلودگی کل خلیج چابهار بعد از ۱۹,۱۶ روز به ۳۷ درصد رسیده است.

پس از بررسی مدل، مشخص شد که منطقه شماره ۴ به عنوان نقطه بحرانی در فصل پاییز می باشد و فلاشینگ خلیج چابهار در این منطقه دیرتر از قسمت های دیگر خلیج اتفاق می افتد. مطابق شکل ۴-۳۵ مقدار زمان فلاشینگ برای منطقه ۶، برابر ۳۹,۶ روز است.



شکل ۴-۳۴- فلاشینگ خلیج چابهار در فصل پاییز بعد از گذشت ۱۹,۱۶ روز



شکل ۴-۳۵- فلاشینگ منطقه بحرانی خلیج چابهار در فصل پاییز بعد از گذشت ۳۹,۶ روز

## ◀ اثر طرح توسعه در زمان فلاشینگ خلیج چابهار

بندر چابهار در گذشته به بندر طیس مشهور بوده و یکی از بنادر مهم ایران و خاورمیانه در دریای مکران از زمان هخامنشیان محسوب می شده است. فازبندی طرح توسعه بندر چابهار در خلیج چابهار مطابق جدول ۴-۶ می باشد.

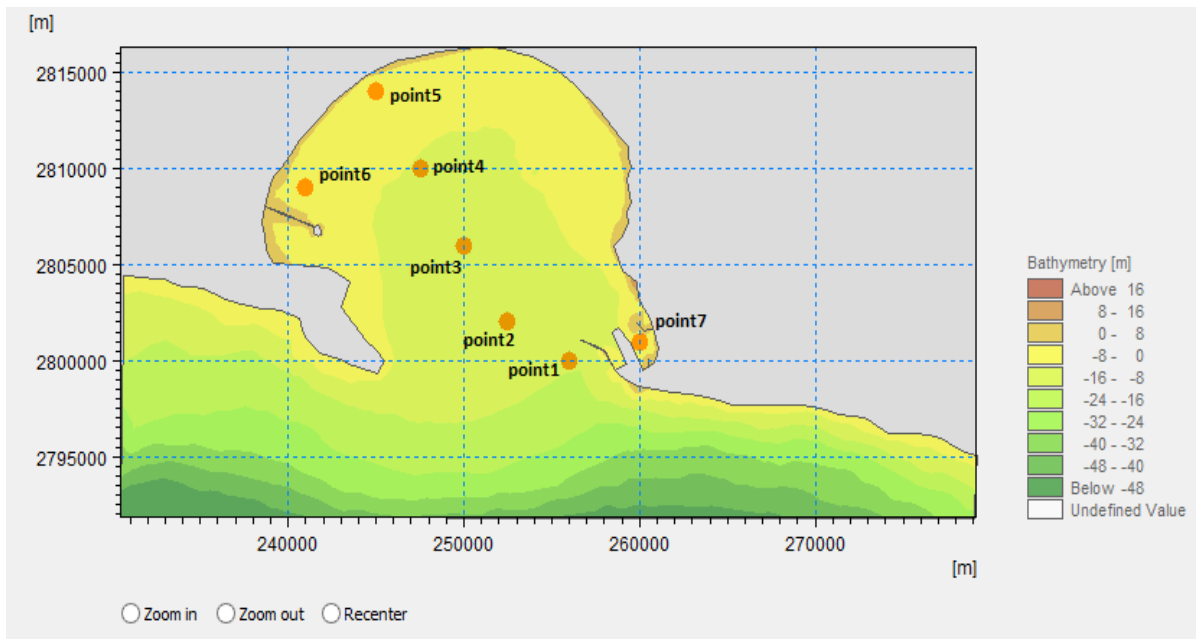
جدول ۴-۶- فازبندی طرح توسعه بندر چابهار

فاز	سال	شرح
۱	۲۰۱۳	✓ احداث قسمت انتهایی موج شکن به طول ۱۶۵۰ متر ✓ احداث یک ترمینال کانتینری شامل دو پست اسکله به طول ۶۴۰ متر ✓ احداث سه پست اسکله چند منظوره به طول ۵۸۰ متر ✓ لایروبی به میزان ۱۷ میلیون متر مکعب تا عمق ۱۶- ✓ احیاء اراضی به میزان ۲۲۰ هکتار
۲	۲۰۱۵	احداث یک پست اسکله کانتینری ۳۶۰ متری (ترمینال ۱)
۳	۲۰۱۶	احداث یک پست اسکله نفتی در بندر شهید بهشتی
۴	۲۰۱۶	احداث یک پست اسکله چند منظوره
۵	۲۰۲۱	احداث یک پست اسکله کانتینری ۳۶۰ متری (ترمینال ۱)

ابتدا طرح توسعه بندر را مطابق شکل ۴-۳۶ از گوگل ارث گرفته و به مدل اولیه اضافه کرده و مش بندی و داده های ژرفاسنجی، مطابق مراحل قبل به مدل اضافه می شود. پس از مش بندی و مدل سازی مطابق شکل ۴-۳۷ نقاط شماره ۱ تا شماره ۶ مورد بررسی قرار گرفت. در این مدل یک نقطه در منطقه حساس طرح توسعه که به شکل فرورفتگی در خلیج می باشد نیز به عنوان منطقه شماره ۷ مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۴-۳۶- موقعیت طرح توسعه بند در خلیج چابهار



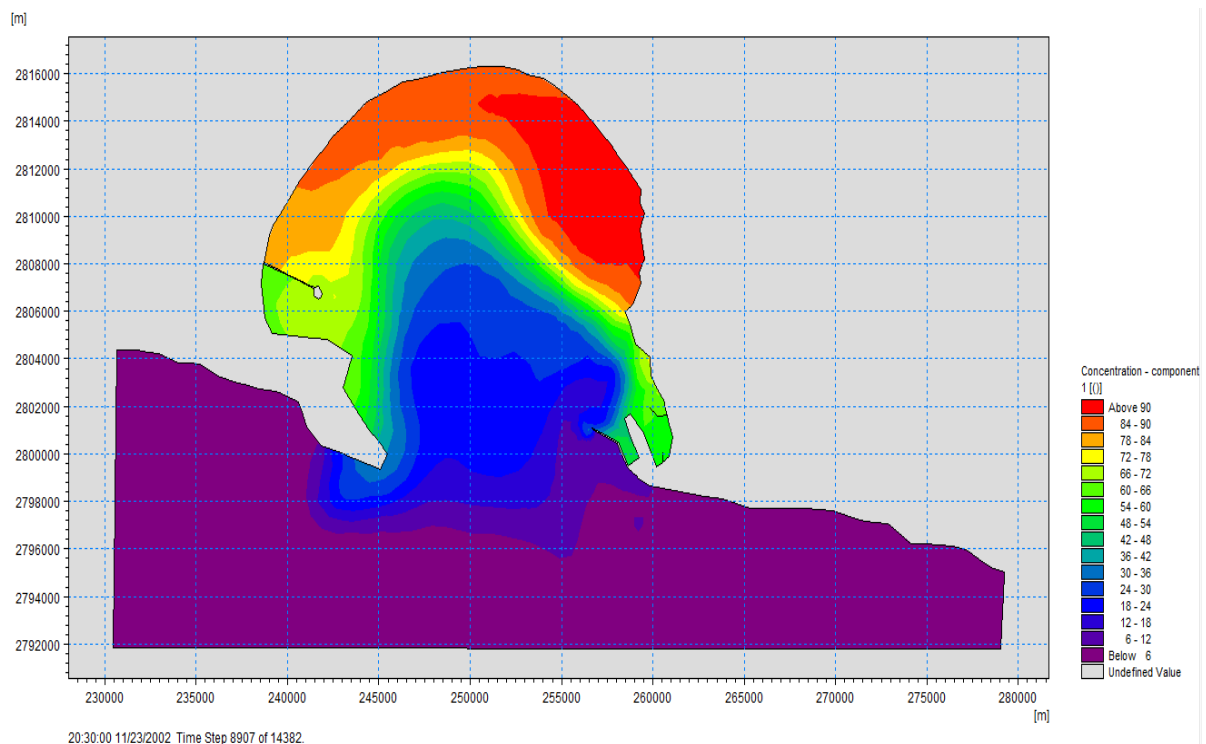
شکل ۴-۳۷- مناطق مورد بررسی در مدل سازی طرح توسعه خلیج چابهار

پس از مدل سازی انتقال، نتایج حاکی از آن است که، منطقه شماره ۱ پس از گذشت ۳,۳ روز، منطقه شماره ۲ بعد از گذشت ۳۱,۸۱ روز، منطقه شماره ۳ بعد از گذشت ۵۰,۹۸ روز، منطقه شماره ۴ بعد از گذشت ۶۵,۸۵ روز، منطقه شماره ۵ بعد از گذشت ۸۸,۶۱ روز و منطقه شماره ۶ بعد از گذشت ۹۲,۸۳

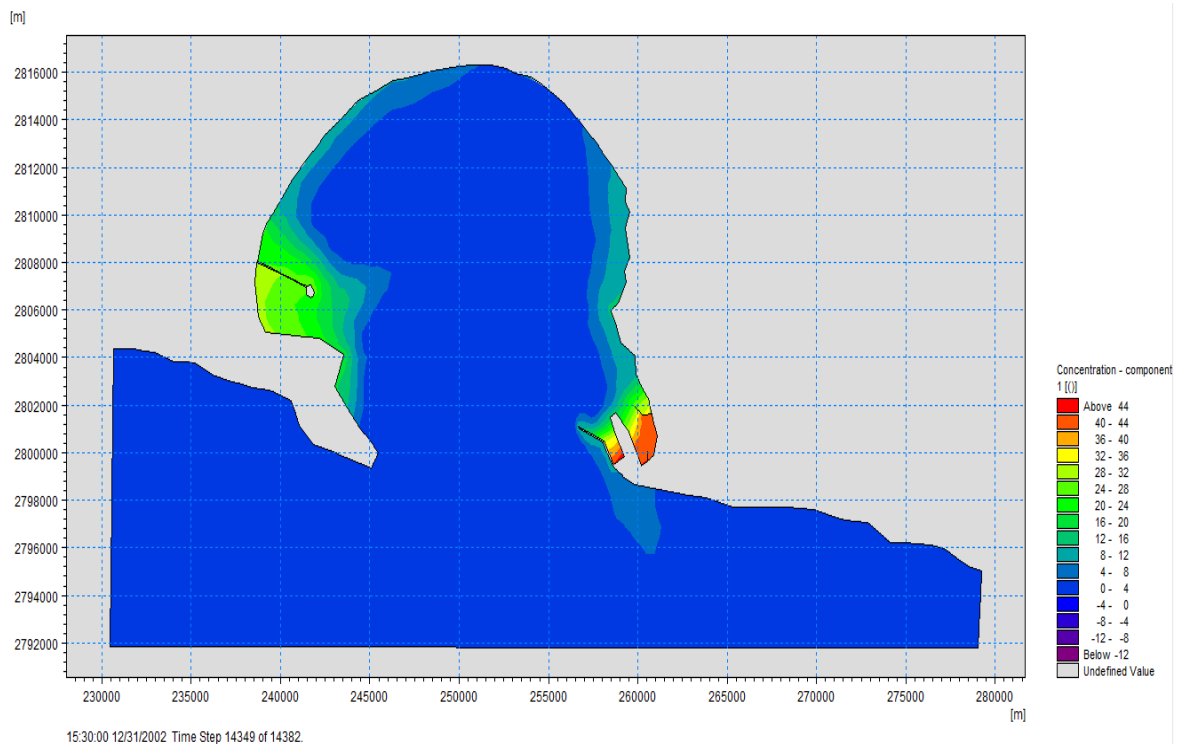
روز، ۶۳ درصد آلودگی آن از خلیج خارج می‌شود. بنابر این فلاشینگ خلیج چابهار در حالت طرح توسعه مطابق شکل ۴-۳۸ به مدت ۶۱,۸۶ روز طول می‌کشد.

مطابق شکل ۴-۳۹ منطقه شماره ۷ که جهت بررسی فلاشینگ فرورفتگی طرح توسعه در نظر گرفته شد، نیز به مدت ۹۹,۶۵ روز طول می‌کشد تا غلظت آلودگی آن به ۳۷ درصد برسد. بعد از گذشت این زمان، آلودگی قسمت‌های مختلف خلیج به جز منطقه شماره ۷ به ۳۷ درصد رسیده است اما در این قسمت فرورفتگی تقریباً تا آخرین روزهای فصل به کمتر از ۵۰ درصد هم نمی‌رسد.

با توجه به زمان فلاشینگ بدست آمده در خلیج چابهار در حالت معمولی و طبیعی، نسبت به زمان فلاشینگ بدست آمده در حالت توسعه یافته، نتایج حاکی از آن است که مقدار این زمان به اندازه ۷۱ درصد افزایش پیدا کرده است که این به معنی آن است که آلودگی خلیج در این حالت دیرتر از حالت بدون توسعه خارج می‌شود.



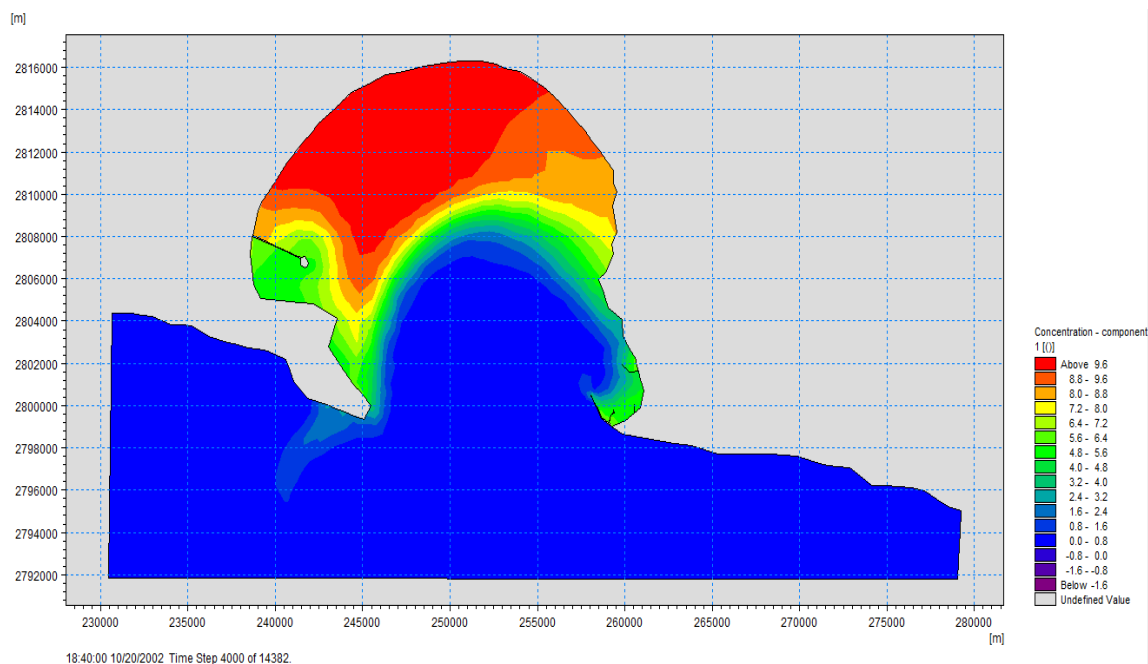
شکل ۴-۳۸- فلاشینگ خلیج چابهار در حالت توسعه یافته بعد از گذشت ۶۱ روز



شکل ۴-۳۹- منطقه بحرانی خلیج چابهار در حالت توسعه یافته بعد از گذشت ۹۹,۶۵ روز

### بررسی زمان فلاشینگ در حالت بدون ضریب پراکندگی

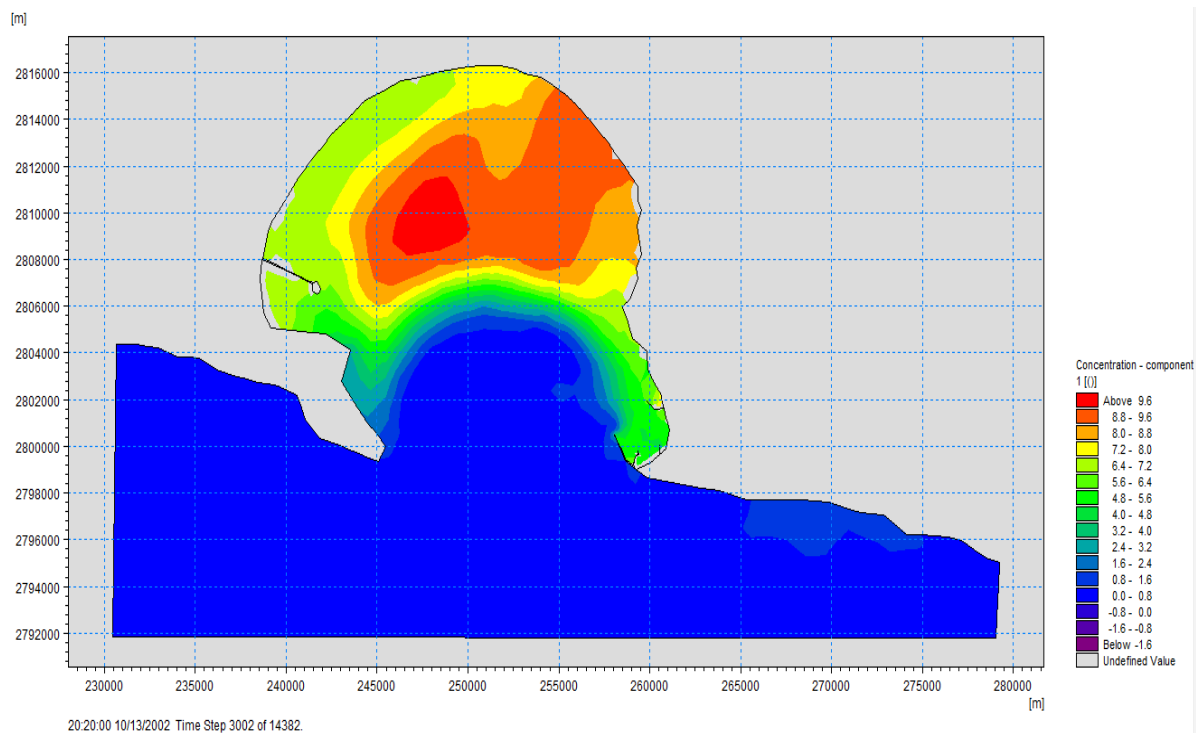
در این سناریو با در نظر گرفتن ضریب پخش صفر برای این آلودگی در حقیقت حالیت از این آلودگی گرفته شد و این کار سبب گشت که تنها تأثیر جریانات همرفتی در محدوده خلیج چابهار قابل مشاهده شود. پس از آنکه ضریب پخش آلودگی، صفر در نظر گرفته شد، مطابق شکل ۴-۴۰، مدت زمان فلاشینگ برای خلیج چابهار به ۲۲,۰۳۴ روز رسید. به عبارتی در این حالت نسبت به حالت با ضریب پخش، زمان فلاشینگ به اندازه ۱۵ درصد افزایش یافته است. یعنی تجدید پذیری آب خلیج چابهار در این حالت دیرتر اتفاق می‌افتد.



شکل ۴-۴۰- فلاشینگ خلیج چابهار در حالت ضریب پراکندگی صفر، بعد از گذشت ۲۲,۰۳۴ روز

### ◀ اثر باد در زمان فلاشینگ خلیج چابهار

در تمام حالت های گذشته اثر باد و جزر و مد باهم در مدل دیده شد و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت. در این سناریو اثر باد را غیر فعال کرده و تنها عامل جزر و مد مورد بررسی قرار می گیرد. مطابق شکل ۴-۴۱ پس از مدل سازی خلیج چابهار در این حالت، مشخص شد که مدت زمانی که لازم است تا ۶۳ درصد آلودگی از خلیج چابهار خارج شود برابر ۲۱,۸۱ است. بنابراین نقش باد در فلاشینگ خلیج چابهار به اندازه ی ۱۳,۸ درصد است. یعنی در صورت اعمال جریان های ناشی از باد، فلاشینگ خلیج چابهار به اندازه ۱۳,۸ درصد زودتر اتفاق می افتد.



شکل ۴-۴۱- فلاشینگ خلیج چابهار بدون باد فصل پاییز

#### ۴-۸- تعیین زمان فلاشینگ با استفاده از روش تحلیلی

با توجه به اینکه در خلیج چابهار مناسب ترین روش تحلیلی، روش منشور جزر و مدی است، می توان با استفاده از داده های توپوگرافی و داده های جزر و مدی موجود زمان فلاشینگ را به صورت زیر محاسبه کرد.



$$A = 187600 \text{ m}^2$$

مساحت خلیج چابهار

$$h = 9 \text{ m}$$

عمق متوسط خلیج چابهار

$$V = 187600 \times 9 = 1688400 \text{ m}^3$$

حجم خلیج

$$H = 3.5 \text{ m}$$

اختلاف ارتفاع آب بالا و پایین خلیج

$$V_T + V_T = 3.5 \times 187600 = 656600 \text{ m}^3$$

اختلاف حجم آب بالا و پایین خلیج

$$T = 12.42 \text{ hr}$$

طبق فرمول شماره ۳-۱۰ داریم :

$$T_f = \frac{T.V}{(V_T + V_T)}$$

$$T_f = \frac{12.42 \times 1688400}{656600} = 31.94 \text{ hr}$$

$$T_f = \frac{31.94}{24} = 1.33 \text{ day}$$

با توجه به عدد بدست آمده از روش منشور جزر و مد برای زمان فلاشینگ، می توان دریافت که روش منشور جزر ومدی، زمان فلاشینگ را دست پایین تخمین می زند. علت این امر آن است که، روش منشور جزر و مدی جریان بازگشتی در حالت مد به خلیج را در خود نمی بیند. این روش تنها خروج آب از خلیج چابهار را در نظر می گیرد و ورود آب مجدد به خلیج در حالت مد و اینکه در این حالت مقداری از آلودگی، مجدداً به خلیج باز می گردد را نادیده می گیرد.

مدل منشور جزر ومدی و معادله جریان برای محاسبه زمان فلاشینگ که به وسیله سنفورد با معرفی پرامتر تنظیم پذیر (b) توسعه داده شده است، مطابق فرمول ۱-۵ می باشد.

$$T_f = \frac{T.V}{(V_T + V_T) \times (1-b)} \quad \text{معادله ۱-۵}$$

که در آن، b، فاکتور جریان برگشتی نامیده می شود. نرخ تغییرات b، فاکتور جریان برگشتی از صفر تا یک است.

بنابراین فاکتور جریان برگشتی دارای اثر قابل توجهی در زمان فلاشینگ خلیجها است. با توجه به اینکه مدت زمان فلاشینگ بدست آمده در خلیج چابهار ۱۷,۴۲ روز بوده است، مطابق فرمول ۱-۵ داریم:

$$T_f = \frac{T.V}{(V_T + V_T) \times (1-b)}$$

$$17.82 = \frac{12.42 \times 1688400}{656600 \times (1-b)}$$

$$1 - b = 0.074$$

$$b = 0.92$$

## فصل ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مطالعه مدل سازی هیدرودینامیکی و انتقال آلودگی خلیج چابهار تحت سناریوهای مختلف به صورت دویبعدی با استفاده از نرم افزار مایک ۲۱ انجام شد و نتایج بدست آمده از این مدل با روش های تحلیلی مقایسه شد، که علاوه بر تعیین فاکتور جریان بازگشتی و تعیین زمان فلاشینگ، نتایج قابل توجهی نیز بدست آمد که در ادامه این فصل به آن پرداخته شده است.

## ۵-۲- نتیجه گیری کلی

در این مطالعه طی عملیات مدل سازی SW و Flow Model Fm بر روی خلیج چابهار و مقایسه آن با روش های تحلیلی تعیین زمان فلاشینگ نتایج زیر حاصل شد.

- ◀ در مدل سازی هیدرودینامیکی جهت و سرعت جریان در خلیج چابهار تعیین شد که طبق نتایج این مدل سازی، جهت جریان خلیج چابهار از سمت شرق به سمت غرب خلیج چابهار می باشد که شکل ظاهری خلیج و تشکیل زبانه در سمت شرق خلیج نیز، این جهت را تایید می کند.
- ◀ مطابق نتایج بدست آمده در زمان فلاشینگ خلیج چابهار، کمترین زمان تجدیدپذیری ۱۶,۶۴ روز بوده که مربوط به فصل تابستان و بیشترین زمان تجدیدپذیری خلیج ۱۹,۱۶ می باشد که مربوط به فصل پاییز است.
- ◀ با توجه به نتایج مدل سازی، بحرانی ترین نقاط در خلیج چابهار در فصل های تابستان و زمستان منطقه شماره ۶ بوده، و در فصل پاییز منطقه بحرانی، منطقه شماره ۴ و در فصل بهار، که بیشترین زمان فلاشینگ نیز در همین فصل است، نقطه بحرانی آن منطقه شماره ۵ می باشد.
- ◀ با توجه به نتایج بدست آمده در مدل سازی خلیج چابهار بدون اثر باد و مقایسه آن با اثر باد، نتایج حاکی از آن است که با اعمال اثر باد در مدل هیدرودینامیکی، زمان فلاشینگ ۱۳,۸ درصد کاهش پیدا می کند. در واقع نقش جریانات ناشی از باد در مقابل جریانات ناشی از جزر و مد در خلیج چابهار ناچیز است اما با این حال این جریانات باعث تخلیه زودتر آلودگی خلیج چابهار می شوند.
- ◀ در صورتی که با وارد کردن ضریب پخش صفر اثر حلالیت آلودگی از آن گرفته شود، مدت زمان فلاشینگ به اندازه ۱۵ درصد افزایش پیدا می کند. در واقع با اعمال ضریب پخش صفر، تنها عامل جابه جایی آلودگی جریانات همرفتی خلیج چابهار است.
- ◀ بررسی اثر طرح توسعه خلیج چابهار نشان داد که زمان فلاشینگ به طور قابل ملاحظه ای افزایش پیدا کرد به طوری در منطقه ی فرورفتگی ای طرح فلاشینگ صورت نمی گیرد که یکی

از راهکارهای مناسب جهت فلاشینگ این ناحیه، لایروبی ناحیه بحرانی و افزایش عمق آن قسمت می‌باشد.

➤ روش منشور جزر و مدی در منطقه خلیج چابهار، زمان فلاشینگ را دست پایین تخمین می‌زند. علت آن به خاطر جزر و مدی بودن خلیج چابهار و جریانات بازگشتی است که به هنگام مد مقداری از آلودگی که از خلیج خارج شده بود را دوباره به خلیج باز می‌گرداند. به همین دلیل روش منشور جزر و مدی اصلاح شده‌ی سنفورد مناسب‌ترین روش تحلیلی برای خلیج چابهار است.

➤ مقایسه نتایج حاصل از روش تحلیلی و مدل عددی مایک نشان داد که مقدار فاکتور جریان بازگشتی خلیج چابهار ۰,۹۲ است.

### ۵-۳- پیشنهادات برای ادامه کار

➤ با توجه به این که در این مطالعه از مدل‌سازی دوبعدی نرم افزار مایک استفاده شده است، می‌توان از مدل‌سازی سه بعدی نیز جهت تعیین زمان فلاشینگ خلیج چابهار پرداخت و با مدل دوبعدی مقایسه کرد.

➤ می‌توان از نرم افزارهای دیگری جهت مدل‌سازی انتقال آلودگی خلیج چابهار پرداخت و نتایج حاصل را با نتایج نرم افزار مایک مقایسه کرد.

➤ می‌توان به تاثیر عواملی چون عرض دهانه خلیج، عمق آب خلیج و سرعت جریانات بر فلاشینگ خلیج چابهار و با تغییر در این پارامتر زمان فلاشینگ را کاهش داد.

➤ با توجه به اهمیت فاکتور جریان برگشتی، تعیین این فاکتور با استفاده از مدل‌سازی و یا با استفاده از کارهای میدانی و آزمایشگاهی پیشنهاد می‌شود.

- [2] ا. کریمخانی "معرفی ویژگی های زمین شناسی دریایی منطقه چابهار", ششمین همایش علوم فنون و دریایی، ۱۳۸۴.
- [7] ب. وفایی، و. چگینی، ع. سقایی، م. عظام "دسته بندی توده های آب در خلیج چابهار با استفاده از روش خوشه بندی"، نشریه علمی پژوهشی/اقیانوس شناسی، ۱۳۹۲.
- [8] م. ج. کتابداری، ش. بابک، مسعود محمودف "ارزیابی زمانی تجدید پذیری آب، بر اساس پخش آلودگی فرضی در خلیج چابهار با استفاده از مدل سازی سه بعدی"، نهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، ۲۰۱۰.
- [10] م. صدرینسب "مدل سازی عددی سه بعدی گردش آب در تنگه هرمز"، نشریه علمی - پژوهشی/اقیانوس شناسی، بهار ۱۳۸۹.
- [11] م. نورانیاناصفهان "مطالعه و بررسی گردش آب در خور موسی"، هفتمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، ۱۳۸۵.
- [12] س. شربتی "مدل سازی سه بعدی زمان تجدید پذیری آب در خلیج گرگان به منظور توسعه آبی پروری"، نشریه توسعه آبی پروری، سال دهم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۵.
- [20] ن. حسینی، م. عجمی، ا. حامدی "برآورد زمان تخلیه و پالایش خلیج ها و خورهای ساحلی براساس رویکرد (ارزیابی سریع)؛ مطالعه موردی: خلیج چابهار"، پایان نامه ارشد دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۹۵.

- [1] google and erth, 2016.
- [3] T. Moore, "Lecture notes on estuaries," University of Michigan, USA..
- [4] CEM "Coastal Engineering Manual, Part II, Coastal Hydrodynamics, Aug, 2008.
- [5] M. V. D. VEN, "RAPID ASSESSMENT OF FLUSHING OF COASTAL EMBAYMENTS WITH APPLICATION TO DOHA BAY," Delft University of Technology, JULY 8, 2014.
- [6] N. E. J. E. Monsen, L. V. L. Cloern and S. G. Monismith, "A comment on the use of flushing time, residence time, and age as transport time scales," *Limnology and Oceanography* 47:1545–1553, 2002.
- [9] A. A. Lebleb, E. R. Tolba and E. M. Galal, "Flushing Study for Artificial Island," INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER RESOURCES, COASTAL AND OCEAN ENGINEERING, 2015.
- [13] B. L. Williams, "Flushing time calculations for the Upper Waitemata Harbour, New Zealand," *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 1986.
- [14] A. Kuo and B. Neilson, "A modified tidal prism model for water quality in small coastal embayments," *Water Science Technology*, 1988.
- [15] C. Li and R. Falconer, "Depth integrated modelling of tide induced circulation in a square harbour," *Journal of Hydraulic Research*, 1995.
- [16] M. Hartnett, F. Gleeson, R. Falconer and M. Finegan, "Flushing study assessment of a tidally active coastal embayment," *Advances in Environmental Research* 7, 2003.
- [17] Goncharov and a. Pavlov, "Two-dimensional vortex motions of fluid in harbour-like basins at large Reynolds numbers," *Physics of Fluids*, 1998.
- [18] R. Weiss and B. Florsheim, "Flow in a cavity at low Reynolds number," *Physics of Fluids*, 1965.
- [19] F. Pan and A. Acrivos, "Steady flows in rectangular cavities," *Journal of Fluid Mechanics*, 1967.
- [21] M. Tomczak, "The flushing time," *ShelfCoast*, 2000. [Online]. Available: <http://www.mt-oceanography.info/ShelfCoast/notes/chapter15.html>.

- [22] "manual of mike 21; spectral wave; coastal hydroulic and oceanography hydrodynamic module," danish hydroulic institute (DHI software), 2012.
- [23] "manual of mike 21; Flow Model FM; coastal hydroulic and oceanography hydrodynamic module," danish hydroulic institute (DHI), 2012.
- [24] "manual of mike 21; Coupled Model FM; coastal hydroulic and oceanography hydrodynamic module," danish hydroulic institute (DHI), 2012.





## **Abstract**

This study aimed to determine the flushing time, by using numerical model Mike 21, and comparison with the analysis method and selection the appropriate analytical method has been discussed in Chabahar Bay. In order to ensure the model, the results, calibrated with the data in Chabahar Bay, Then, for model verification, the model results have been compared with the results of the coherence software. In this study, factors such as the effect of wind, changing seasons, the effect of dispersion coefficient, the effect of Chabahar Bay ports Development Project and the effect of return flow factor were investigated and significant results were obtained. By using hydrodynamic model MIKE 21, the direction and speed of Chabahar Bay were determined. According to the hydrodynamic model outputs, the current in Chabahar Bay is from the East to the West. The results of the impact of mentioned factors indicate that the effects of wind-induced in Chabahar Bay is 13.8 percent, that compared with tidemark is insignificant value. summer is the best season for Chabahar Bay Flushing that Bay pollution removed from the bay after 16.64 day. The fall season for 19.16 day, in winter 17.64 day, in spring 17.81 day it takes until the pollution is removed. Critical areas for flushing in Chabahar Bay, was determined at all this season. If the solubility of pollution be taken from it with zero dispersion coefficient, 15% will be added to the flushing time. Development Project of Chabahar Bay ports increased the Flushing time, so that the pollution remains in the development of port troughs. The analytical method used in this study is tidal Prism method, that because of ignoring return flow to the bay during the flood, the Flushing time is underestimates. The exact method for determining the flushing time is tidal prism modified by Sanford and then compared this method with the numerical method of Mike. return flow factor Number was obtained 0.92.

**Key word:** Flushing time, Chabahar Bay, Mike 21, hydrodynamic model, pollution transport model, spectral wave model, tidal prism method, return flow factor





**Faculty of Civil Engineering  
M.Sc. Thesis in Coastal Engineering, Ports and Marine Structures**

**Numerical Modeling and Analytical Investigation of Water Circulation  
and Flushing in Coastal Bays; Case study: Chabahar bay.**

**By: Ali Noori Shoorkaei**

**Supervisor:**

**D. M. Adjami**

**Advisor:**

**D. E. Jafari**

**February 2017**