Archive of SID

Archive of SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز نمایه‌سازی و اطلاعات رایانه‌ای

www.SID.ir

www.SID.ir

Archive of SID



# مدل‌سازی امواج در خلیج نایبند

سهراب جمارانی*[۱]، ناصر حاجی‌زاده ذاکر[۲]

تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۲۴ *نویسنده مسئول تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۲

© نشریه صنعت حمل‌ونقل دریایی ۱۳۹۵، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه صنعت حمل‌ونقل دریایی است.

## چکیده

شناسایی پارامترهای مربوط به موج به‌عنوان اولین قدم در فرایند طراحی سازه‌های ساحلی و همچنین برنامه‌ریزی مناطق ساحلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش، وضعیت امواج به‌خصوص در ساحل جنوبی خلیج نایبند (بخشی از پارک ملی نایبند) بررسی شده است. این منطقه به لحاظ زیست‌محیطی به‌دلیل وجود آب‌سنگ‌های مرجانی، جنگل‌های حرا، لاک‌پشت‌های دریایی و بسیاری از گونه‌های جانوری و گیاهی دیگر از اهمیت خاصی برخوردار است. بررسی وضعیت امواج کمک مؤثری به مطالعه و بررسی تغییرات خط ساحلی می‌کند. اثر امواج بر روی خط ساحلی به‌دلیل تأثیر بر روی زیستگاه پولیپ‌های مرجانی و آب‌سنگ‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین دلیل در این مقاله با استفاده از مدل‌سازی عددی مدل مایک ۲۱ ماژول SW، پدیده‌هایی نظیر شکست و انکسار در مجاورت بندر عسلویه مقایسه و صحت‌سنجی شده است.

**واژه‌های کلیدی:** موج، مدل‌سازی، مایک ۲۱، خلیج نایبند، عسلویه



۱. کارشناس ارشد مهندسی محیطزیست، دانشگاه تهران، sohrabjamarani@ut.ac.ir

۲. دانشیار دانشکده محیطزیست، دانشگاه تهران

www.SID.ir

Archive of SID



## ۱- مقدمه

### ۱-۱- بیان مسئله و ضرورت انجام پژوهش

خلیج نایبند (شکل (۱)) همراه با بخشی از دماغه نایبند با مساحت ۱۹۵۰۰ هکتار به عنوان منطقه حفاظت‌شده نایبند از سال ۱۳۵۷ در فهرست مناطق مورد حفاظت ملی نایبند قرار گرفت و به‌عنوان نخستین پارک ملی دریایی ایران شناخته شد. پارک ملی دریایی نایبند با مساحت ۴۹۸۱۵ هکتار، در دو استان بوشهر (بخش عسلویه شهرستان کنگان) و هرمزگان (شهرستان پارسیان بخش کوشکنار) قرار دارد و از غنای زیستی بسیار بالایی برخوردار است. خلیج نایبند در شمال خلیج‌فارس به‌دلیل وجود جامعه حرا (جنگل‌های حرا) و جامعه مرجانی است (فاطمی، ۱۳۸۴) مهمترین زیستگاه ایران محسوب می‌شود. از گونه‌های دریایی این منطقه می‌توان به انواع ماهیان زینتی و تجاری، نهنگ‌ها، دلفین‌ها، لاک‌پشت‌های دریایی درخطر انقراض، اجتماعات وسیع مرجانی و بسترهای گسترده علف های دریایی، انواع صدف‌ها و دیگر نرم‌تنان، ستاره‌های دریایی، توتیا، شقایق‌های دریایی و اسفنج‌ها اشاره کرد. بیشترین تراکم مرجان‌های زنده در آب‌های ایرانی خلیج‌فارس مربوط به خلیج نایبند به‌صورت مرجان‌های توده‌ای و در نواحی کم‌عمق خط ساحلی است. وجود آب‌سنگ‌های مرجانی به‌خصوص در نواحی کم‌عمق نزدیک سواحل از اهمیت زیست‌محیطی و اقتصادی برخوردار است. مرجان‌ها به‌صورت موج‌شکن طبیعی، از خط ساحلی و ماهیان جنگل‌های حرا و تالاب‌ها و بنادر و لنگرگاه‌ها در برابر امواج محافظت می‌کنند. تنوع زیستی بی‌نظیر درون این صخره‌ها شامل بیش از یک میلیون گونهٔ گیاهی و جانوری است که اکثرا خواص درمانی گوناگونی نیز دارند.

از جمله مهم‌ترین تهدیداتی که مرجان‌های صخره‌ای با آن مواجه‌اند، آسیب‌های مستقیم ناشی از رفتار انسان‌ها با محیط از طریق توسعه غیراصولی و رسوب‌گذاری است. رسوب‌گذاری روی مرجان‌های خلیج‌فارس منجر به واردشدن آسیب‌های شدیدی به آنها شده است. سواحل مرجانی خلیج‌فارس و دریای عمان تنها ۵۰ کیلومتر از طول بیش از ۲۰۰۰ کیلومتری سواحل جنوبی ایران را دربرمی‌گیرند که آن هم به‌شدت تحت فشار قرار دارد. با توجه به تحقیقات صورت‌گرفته، رسوب‌گذاری ناشی از پیشروی در دریا و لایروبی از مهم‌ترین عوامل تهدید مرجان‌های صخره‌ای ایران محسوب می‌شود. توسعه ناپایدار در دریا موجب شده بسیاری از مرجان‌های جنوب کشور نابود شوند. پروژه‌هایی در کشور انجام می‌شود که تخریب شدید صخره‌های مرجانی را در پی دارد و منجر به مرگ بی‌صدای مرجان‌ها می‌گردد. با آغاز به‌کار طرح‌های توسعه پارس جنوبی (فازهای ۵، ۶، ۱۲ و ۱۳)، با ساخت چندین اسکله و بندر با پیشروی در دریا و خشک‌کردن آب‌های ساحلی به‌وسیله صدها تن سنگ و خاک صدمات اساسی بر اکوسیستم منطقه از جمله مرجان‌ها وارد شده است. همچنین فعالیت‌های تأسیسات نفت و گاز منطقه نیز باعث مرگ بسیاری از مرجان‌ها شده به‌طوری که محدوده زندگی آنها از عمق ۲ متری آب به عمق ۱۰ متری کاهش یافته است. اکوسیستم منطقه به‌سبب ساخت‌وسازهای بدون ارزیابی زیست‌محیطی مانند اسکله‌سازی و احداث پلتفرم مورد تهدید قرار گرفته است. این ساخت‌وسازها در اطراف خلیج نایبند موجب افزایش کدورت آب و نابودی بسیاری از مرجان‌های منطقه شده‌است، به شکلی که مرجان زنده در این مناطق بسیار کم دیده می‌شود. رسوب‌گذاری در مجاورت بنادر امری اجتناب‌ناپذیر است که می‌تواند هزینه‌های سنگینی را به محیط‌زیست ساحلی وارد آورد. اگر روند فعلی ادامه پیدا کند، حیات آبزیان به‌شدت تهدید شده و تأثیرات جبران‌ناپذیری بر ذخایر شیلاتی و همچنین اقتصاد محلی خواهد گذاشت (فاطمی، ۲۰۰۱). بنابراین، شناخت دقیق ویژگی‌های زیست‌محیطی هر منطقه و نیز مطالعات مربوط به رژیم جریانات و شرایط رسوب‌گذاری جهت کاهش این‌گونه خسارات اهمیت ویژه‌ای دارد. از جمله عملیات عمرانی در خلیج نایبند، ساخت موج‌شکن هاله است. در این تحقیق، تأثیرات احداث این موج‌شکن بر روی تغییر الگوی رسوب‌گذاری در منطقه و اثر آن بر روی مرجان‌های صخره‌ای با استفاده از مدل‌سازی عددی و مطالعات میدانی مورد بررسی قرار رگرفته است.

**شکل (۱): موقعیت خلیج نایبند**

## ۲- تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این تحقیق، از داده‌های پروژه ISWM شامل اطلاعات مربوط به ارتفاع موج مشخصه، پریود و میانگین جهت انتشار امواج، برای ایجاد شرایط مرزی موج و انتقال آن از آب عمیق به نقاط کم‌عمق ساحلی و تعیین اقلیم موج ۱۰ ساله استفاده شده است. پروژه‌ی ISWM دو نقطه برای مدل‌سازی امواج در مجاورت خلیج نایبند درنظرگرفته است که در شکل (۲) نشان داده شده‌اند.

**شکل (۲): موقعیت داده‌های ISWM در مجاورت خلیج نایبند**

با توجه به نزدیکی بیشتر نقطه (۲) به سواحل جنوبی خلیج نایبند، از اطلاعات این نقطه در محاسبات مربوطه استفاده شد. در شکل (۳)، گل موج به‌کاررفته در مرز جنوبی و موقعیت آن نسبت به محل موج‌شکن نشان داده شده است.

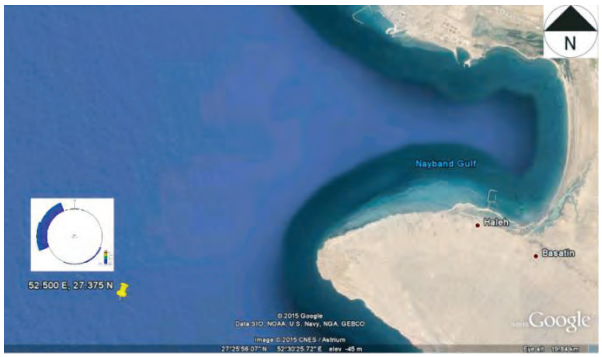
ملاحظه می‌شود که امواج غالبا از سمت غرب و شمال غربی به منطقه وارد می‌شود. همچنین بیش از نیمی از امواج در محدوده امواج آرام (کمتر



www.SID.ir

Archive of SID

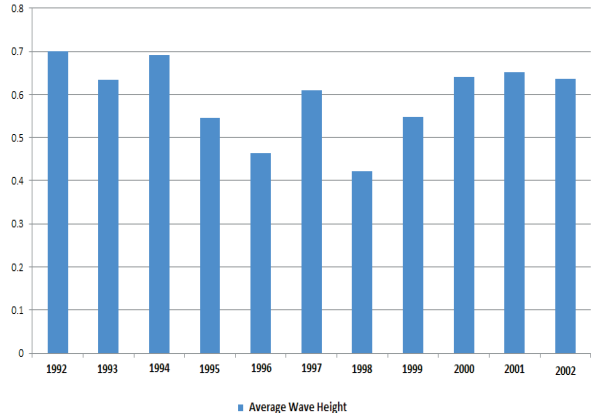





**شکل (۳): موقعیت و شکل گل موج مرز جنوبی**

از نیم متر) قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده آرام بودن امواج در محدوده مورد مطالعه است. سایر امواج عمدتاً از سمت غرب و شمال غرب وارد می‌شوند که بیشتر آنها (حدود ۱۵٪ کل امواج) بین ۰/۵ تا حداکثر ۱/۵ متر ارتفاع دارند. این نقطه مربوط به آب عمیق بوده و حدود ۳۰ متر عمق دارد. همچنین از داده‌های باد ECMWF (مرکز اروپایی پیش‌گویی بازه متوسط شرایط جوی) به‌عنوان ورودی مدل، استفاده‌شد و کالیبراسیون آن به‌کمک اطلاعات بویه و ماهواره و ایستگاه‌های سینوپتیک انجام‌گرفته است.

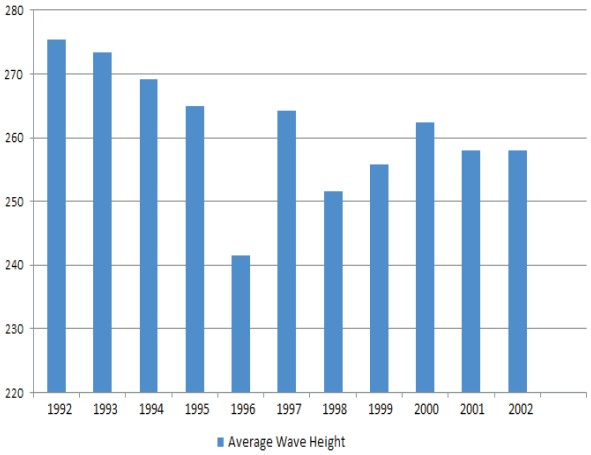
*ارتفاع موج:* متوسط ارتفاع موج در طول ۱۱ سال، در نمودار (۱) نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که بیشترین مقدار مربوط به سال ۱۹۹۲ و برابر ۰/۷ متر است.




**نمودار (۱): متوسط ارتفاع موج طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲**

بیشترین مقدار ارتفاع موج در طول ۱۰ سال برابر ۴/۲ متر در سال ۱۹۹۲ است که در شکل (۴) نشان داده شده است.

*جهت موج:* جهت موج در عمق تقریبی $\lambda / 2$، به عمق بستر وابسته می‌شود. نمودار (۲) نشان می‌دهد که جهت موج از حدود ۲۴۰ درجه تا حدود ۲۷۵ درجه تغییر می‌کند. بیشترین مقدار آن، در سال ۱۹۹۲ و کمترین آن مربوط به سال ۱۹۹۶ است.



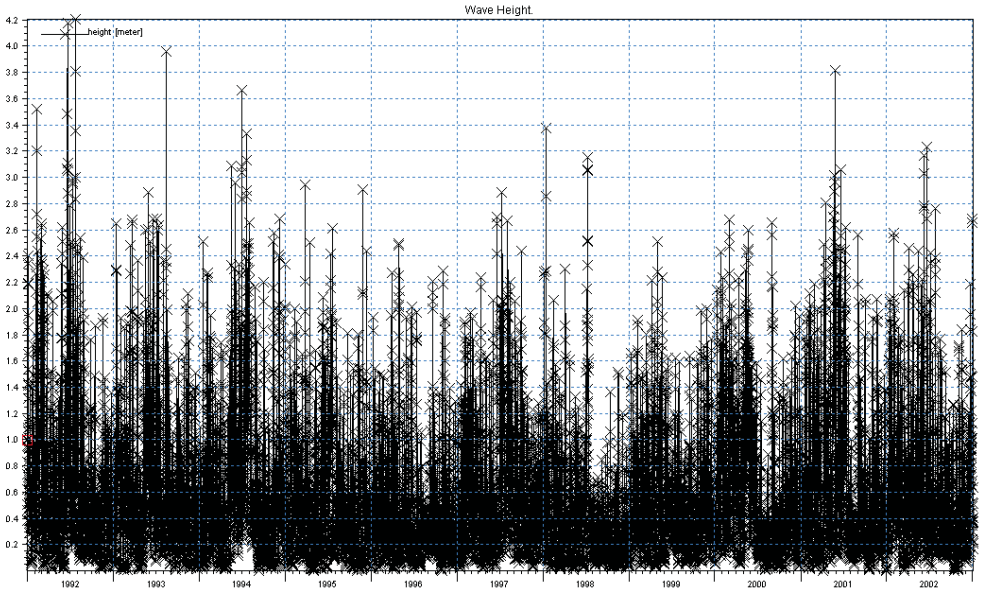

**نمودار (۲): میانگین جهت متوسط امواج در سری‌های زمانی طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲**

همان‌طور که شکل (۵) نشان می‌دهد، جهت غالب امواج در طول سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲ بین ۲۸۰ تا ۳۰۰ درجه است.

## ۲-۱ اجرای مدل موج مایک ۲۱

ماژول SW از مدل مایک ۲۱ به‌منظور محاسبه پارامترهای موج مورد استفاده قرارمی‌گیرد. با استفاده از این مدل می‌توان رشد و توسعه موج از آب عمیق، انکسار موج، پشته‌کردن و شکست موج در آب کم‌عمق، اثر امواج دوراً و امواج محلی، سفیدک تاج موج و اندرکنش غیرخطی امواج با یکدیگر را مد نظر قرار داد و بررسی کرد.

نرم‌افزار مایک می‌تواند محاسبات مربوط به پیش‌یابی موج و انتقال رسوب را انجام دهد. تحقیقات سورنسن و همکاران[۳] (۲۰۰۴) نشان داد که



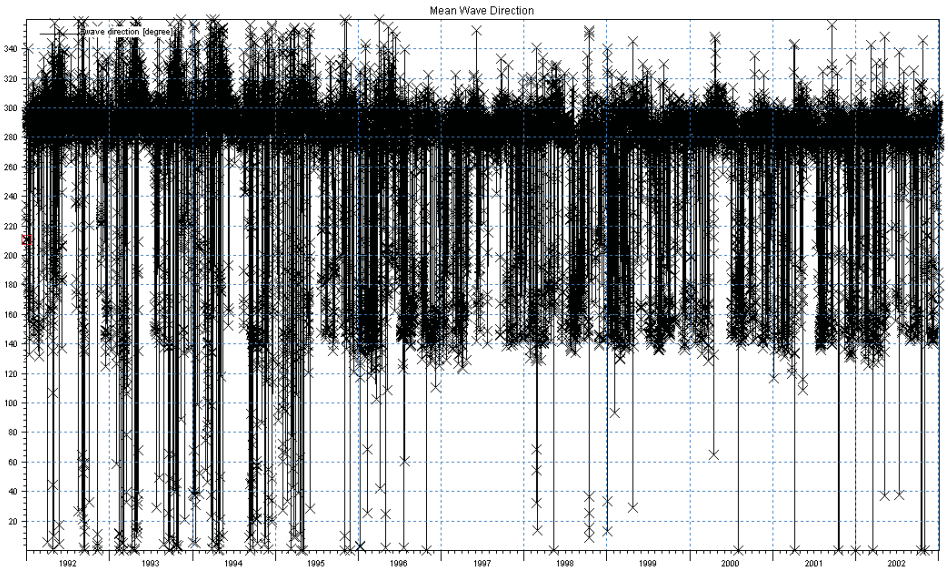

**شکل (٤): سری زمانی ارتفاع موج مشخصه در طول سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲**



www.SID.ir

Archive of SID

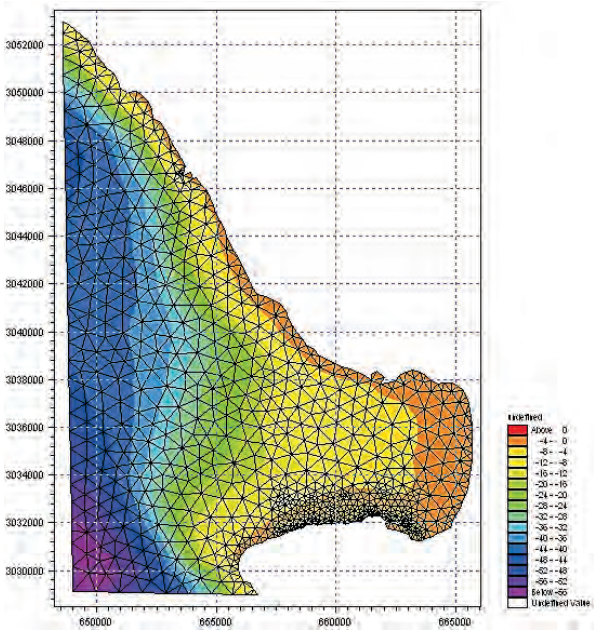





**شکل (۵): سری زمانی جهت متوسط امواج در طول سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲**

مدل SW از این بسته نرم‌افزاری، دقت خوبی در مدل‌سازی امواج تحت شرایط مختلف دارد. در این تحقیق از مدل‌های مایک ۲۱ ماژول (SW) و (LITPACK) استفاده شده است.

اندازه‌گیری‌های عمق دریا از جهت آنکه امواج ناحیه انتقالی به آن وابسته‌اند، حائز اهمیت است و مقادیر دقیق‌تر آن منجر به نتایج بهتری در محاسبه امواج انتقالی خواهد شد. شبکه‌بندی و عمق‌سنجی شامل تعیین موقعیت مرزهای مدل و هیدروگرافی محدوده می‌شود. شبکه‌بندی مثلثی در مدل با توجه به عمق تعیین گردید. برای اعماق زیاد از شبکه بزرگ‌تر و برای نواحی کم‌عمق نزدیک خط ساحلی از شبکهٔ ریزتری استفاده شد. ابعاد شبکه‌بندی مثلثی با توجه به تأثیر آن در مدت زمان مدل‌سازی و پایداری مدل اهمیت خاصی دارد. برای عمق‌سنجی محل، نقشه lin3025 سازمان بنادر و دریانوردی مورد استفاده قرار گرفت.




**شکل (٦): محدوده مدل‌سازی و نحوهٔ شبکه‌بندی**

شکل (۶) داده‌های عمق‌سنجی[۴] مورداستفاده در مدل مایک SW را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، منطقه موردنظر شامل کانتورهای تقریباً موازی ساحل است. مدل دارای ۲ مرز باز غربی و جنوبی است. از داده‌های ISWM در مجاورت مرز جنوبی استفاده شد و مرز غربی با توجه به جهت امواج به‌صورت جانبی در نظر گرفته شد. تعداد عوامل به‌کار رفته در مش‌بندی ۷۱۶۷ و تعداد گره‌ها ۴۷۱۷ است. سایر خصوصیات مربوطه در جدول (۱) ارائه شده است. شبکه‌بندی به‌صورت مثلثی نامنظم با حداکثر مساحت ۳۵۰ هزار مترمربع اجرا شد که به‌منظور افزایش دقت خروجی‌ها، ریزترین آنها در محدوده جنوب خلیج نایبند و در مجاورت موج‌شکن هاله مورد استفاده قرارگرفتند. محدوده (۱) مربوط به شبکه‌بندی کلی مدل و محدوده (۲) مربوط به شبکه‌بندی ریز مجاور ساحل جنوبی خلیج نایبند است.

**جدول (۱): مشخصات شبکه‌بندی مدل SW**

| محدوده | بیشترین فاصله گره‌ها (متر) | کمترین فاصله گره‌ها (متر) |
|---|---|---|
| ۱ | ۱۰۰۰ | ۵۰ |
| ۲ | ۱۰۰ | ۲۰ |

در زمان شبکه‌بندی مدل، درنظرگرفتن فاصله کافی برای مرزها جهت جلوگیری از تأثیر مستقیم آنها روی وضعیت هیدرودینامیک محل موردمطالعه، حائز اهمیت است. برای این منظور، مرز غربی در فاصله تقریبی ۱۳ کیلومتری و مرز جنوبی در ۷ کیلومتری محل موردنظر انتخاب شده است. موقعیت نقطه مورداستفاده در مدل‌سازی در شکل (۷) و گلباد و گل موج مرز جنوبی نیز به ترتیب در شکل (۸) و شکل (۹) نشان داده شده‌اند.

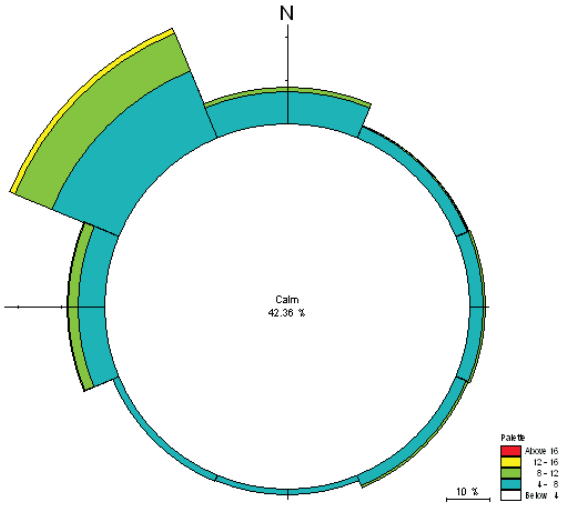
شکل (۸) گلباد رسم‌شده بر اساس داده‌های باد مرکز اروپایی و پیش‌گویی بازه متوسط شرایط جوی (ECMWF) ترسیم شده است. ملاحظه می‌شود که بیش از ۴۰٪ باد منطقه در محدوده آرام قرار دارد و بقیه عمدتاً از سمت غرب، به‌ویژه از شمال غرب می‌وزند. بیشترین سرعت باد مربوط به شمال غرب منطقه است. با این وجود، سقف سرعت باد از ۱۶ متر بر ثانیه تجاوز نمی‌کند.



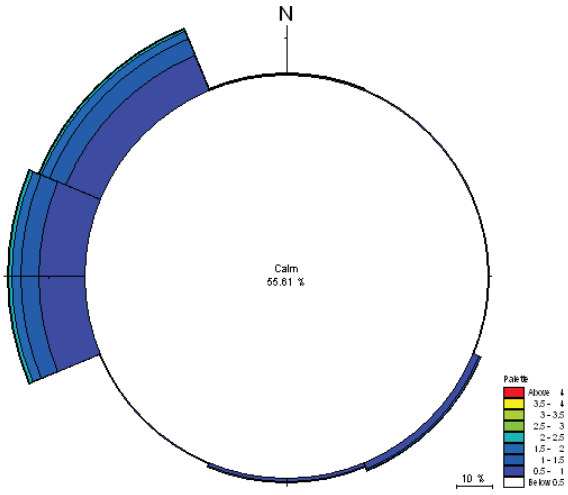
www.SID.ir

Archive of SID

شکل (۷): موقعیت نقطه مورداستفاده برای مرز جنوبی




شکل (۸): گلباد مرز جنوبی



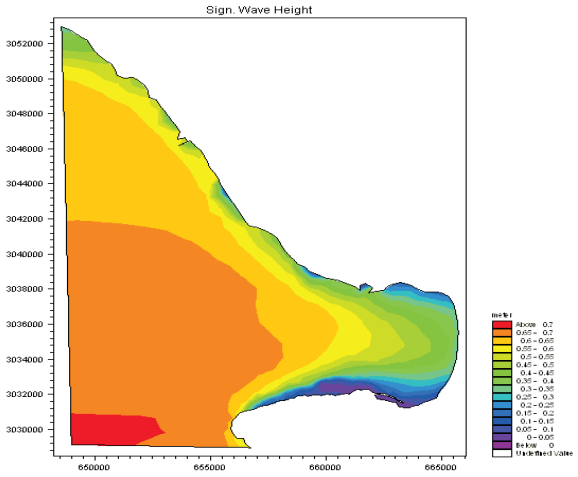

شکل (۹): گل موج مرز جنوبی

شکل (۹) گل موج خروجی مدل‌سازی امواج دریاهای ایران (ISWM) را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که جهت امواج غالباً از سمت غرب و شمال غرب است و بیش از نیمی از امواج در محدوده امواج آرام قرار دارد. ارتفاع سایر امواج منطقه، غالباً بین ۰/۵ تا ۱/۵ متر است.

بسیاری از پارامترهای موجود در برنامه باید پیش از اجرا، اصلاح شوند. ثابت شکست موج به‌صورت ثابت برای کل منطقه برابر $\gamma = 1$ و $\alpha = 0.8$ و ضریب زبری نیکورداس (Nikuradse) برابر ۰/۰۰۵ به‌عنوان متوسط زبری بستر در نظر شده است (مدل‌سازی امواج دریاهای ایران، جلد دوم). مقادیر پارامترهای به‌کار رفته در جدول (۲) نشان داده شده است.

گسسته‌سازی طیفی شامل گسسته‌سازی فرکانسی مدل لگاریتمی با کمترین فرکانس (۰/۰۵۵ هرتز) و ضریب ۱/۱ و همچنین گسسته‌سازی جهتی در ۱۶ جهت (فواصل ۲۲/۵ درجه) است.

پارامترهای موج شامل ارتفاع شاخص ($H_s$)، پریود پیک (Tp) و جهت موج (MWD) با گام زمانی ۶ ساعته، به‌کمک ماژول موج مدل مایک ۲۱ (SW) محاسبه گردید. برای کنترل نتایج مدل‌سازی، مقادیر محاسبه‌شده با پارامترهای اندازه‌گیری‌شده موج در منطقه عسلویه در فوریه ۲۰۰۲ مقایسه شد. به‌منظور تعیین وضعیت امواج در مجاورت ساحل، از مدل SW استفاده شد. در شکل (۱۰) ارتفاع موج مشخصه در محدوده خلیج نایبند و آب‌های مجاور آن، به‌کمک مدل SW نشان داده شده است.




شکل (۱۰): ارتفاع موج مشخصه؛ خروجی مدل SW

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که شدت امواج کم می‌باشد و غالب امواج در منطقه، کمتر از نیم متر ارتفاع دارند. این شرایط برای محدوده داخل خلیج و به‌خصوص در سواحل جنوبی به‌دلیل وجود دماغه نایبند تشدید می‌شود؛ به‌طوری‌که در نزدیکی این مناطق، ارتفاع موج به حدود ۲۰ سانتی‌متر محدود می‌شود.

جدول (۲): پارامترهای ورودی مدل MIKE21-SW

| پارامترهای ورودی | موارد انتخاب‌شده |
|---|---|
| Basic Equations | Directionally decoupled parametric formulation / Quasi stationary formulation |
| Time parameters | Start from 1/1/1992 |
| Spectral Discretization | Directional discretization: default values |
| Solution Technique | Newton-Raphson iteration:default values |
| Water Level Conditions | No water level variation |
| Current Conditions | No current variation |
| Wind Forcing | From ISWM data |
| Ice Coverage | No ice coverage |
| Wave Breaking | Wave breaking specified Gamma constant and Alpha at 0.8 |
| Bottom Friction | Nikuradse roughness, kn constant at 0.005 |
| Initial Conditions | Spectra from empirical formulas JONSWAP fetch growth and default values |



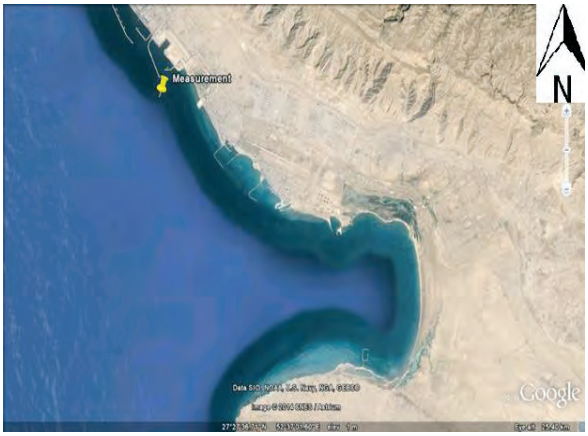
www.SID.ir

Archive of SID

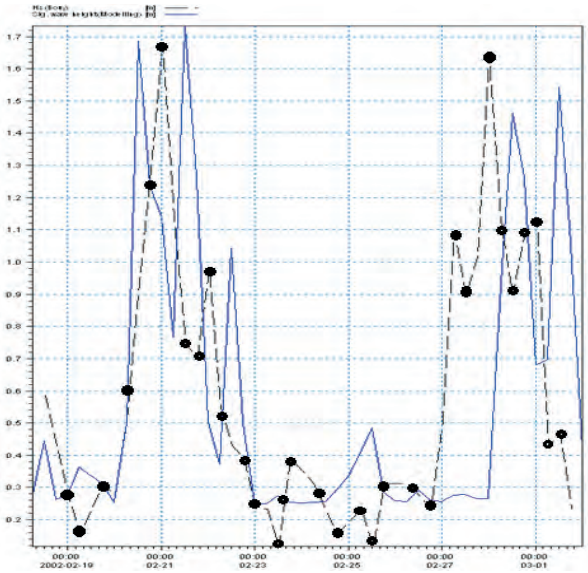


## ۲-۲- صحت سنجی مدل SW

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، نتایج حاصل از مدل‌سازی امواج با مقادیر اندازه‌گیری‌شده در منطقه عسلویه مقایسه شد. شکل (۱۱) محل اندازه‌گیری میدانی را نشان می‌دهد.




**شکل (۱۱): موقعیت محل اندازه‌گیری در مجاورت خلیج نایبند**

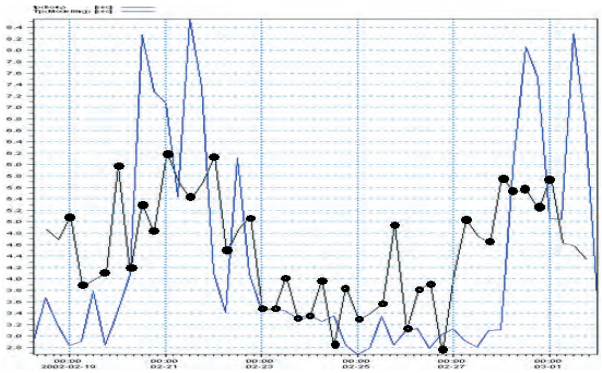


**شکل (۱۲): مقایسه ارتفاع موج مشخصه مستخرج از مدل‌سازی با مقادیر اندازه‌گیری شده**

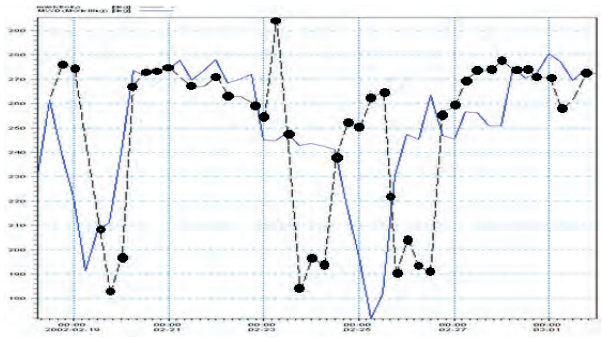
در شکل (۱۲) خط پر، ارتفاع موج مشخصه حاصل از مدل‌سازی و خط‌چین، اندازه‌گیری میدانی مربوط به ارتفاع موج مشخصه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مدل عددی پیش‌بینی خوبی از وضعیت ارتفاع موج در منطقه ارائه داده است.

در شکل (۱۳) خط پر، نتایج مدل‌سازی و خط‌چین، اندازه‌گیری میدانی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مدل عددی تطابق خوبی با اندازه‌گیری میدانی دارد.

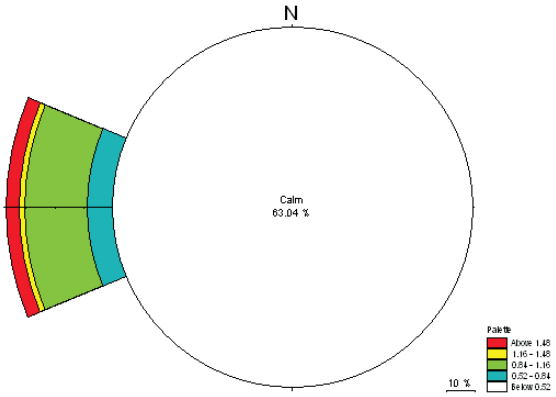
در شکل (۱۴) خط آبی نتایج مدل‌سازی و خط‌چین مشکی اندازه‌گیری میدانی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود، مدل عددی پیش‌بینی خوبی از جهت امواج در منطقه ارائه داده است.



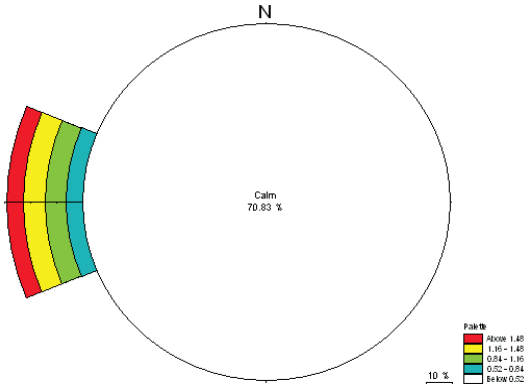
**شکل (۱۳): مقایسه پریود موج مستخرج از مدل‌سازی با مقادیر اندازه‌گیری شده میدانی**



**شکل (۱۴): مقایسه جهت متوسط موج مستخرج از مدل‌سازی با مقادیر اندازه‌گیری‌شده میدانی**




**شکل (۱۵): گل موج مشاهدات**




**شکل (۱۶): گل موج مدل**



www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۱۵) و شکل (۱۶) به‌ترتیب گل موج حاصل از اندازه‌گیری میدانی و مدل‌سازی عددی در فوریه ۲۰۰۲ را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشتر امواج در محدوده آرام قرار دارند و بقیه از سمت غرب وارد می‌شوند. به‌طورکلی می‌توان گفت در سواحل باز عامل اصلی انتقال رسوب، جریانات ناشی از امواج مایل[5] است. هرچند بادهای قوی محلی نیز می‌توانند منجر به ایجاد جریانات قوی در ناحیه شکست شوند. از طرف دیگر در خلیج‌های کوچک و خورها، جریانات جزرومدی نیز در انتقال رسوب تأثیرگذار می‌باشند.

## نتیجه‌گیری

به‌منظور جلوگیری از تأثیر طوفان‌ها و شرایط جوی کوتاه‌مدت، امواج در جنوب خلیج نایبند برای یک دوره ده‌ساله مدل‌سازی شد. نتایج مدل موج، از آرام بودن امواج در جنوب خلیج به‌دلیل قرار گرفتن این منطقه در پشت دماغه نایبند حکایت می‌کنند. امواج قبل از رسیدن به سواحل جنوبی خلیج، مقدار زیادی از انرژی خود را از دست می‌دهند.

## مراجع


۱. کانون دیده‌بانان زمین: www.erthwatchers.org

۲. مدل‌سازی امواج دریاهای ایران، پیش‌یابی امواج سال‌های ۲۰۰۳-۱۹۹۲، جلد دوم: خلیج‌فارس و دریای عمان، سازمان بنادر و دریانوردی.

3. Fatemi S. M. R., Shokri M. R., (2001). Iranian coral reefs status with particular reference to Kish Island, Persian Gulf. International Coral Reef Initiative Indian Ocean Regional Workshop, Muzambique.




www.SID.ir