

مدل سازی امواج در خلیج نایبند

سهراب جمارانی*^۱، ناصر حاجی زاده ذاکر^۲

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۲

*نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۲۴

© نشریه صنعت حمل و نقل دریایی ۱۳۹۵، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه صنعت حمل و نقل دریایی است.

چکیده

شناسایی پارامترهای مربوط به موج به عنوان اولین قدم در فرایند طراحی سازه‌های ساحلی و همچنین برنامه‌ریزی مناطق ساحلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش، وضعیت امواج به خصوص در ساحل جنوبی خلیج نایبند (بخشی از پارک ملی نایبند) بررسی شده است. این منطقه به لحاظ زیست‌محیطی به دلیل 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 به دلیل 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

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 حفاظت شده نایبند از سال ۱۳۵۷ در فهرست مناطق مورد حفاظت ملی نایبند قرار گرفت و به عنوان 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 خلیج فارس به دلیل 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 در خطر انقراض، اجتماعات وسیع مرجانی و بسترهای گسترده علف‌های دریایی، انواع صدف‌ها و دیگر نرم‌تنان، ستاره‌های دریایی، توتیا، شقایق‌های دریایی و اسفنج‌ها اشاره کرد. بیشترین تراکم مرجان‌های زنده در آب‌های ایرانی خلیج فارس مربوط به خلیج نایبند به صورت مرجان‌های توده‌ای و در نواحی کم‌عمق خط ساحلی است. وجود آب‌سنگ‌های مرجانی به خصوص در نواحی کم‌عمق نزدیک سواحل از اهمیت زیست‌محیطی و اقتصادی برخوردار است. مرجان‌ها به صورت 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 گونه گیاهی و جانوری است که اکثراً 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 خلیج فارس منجر به وارد شدن آسیب‌های شدیدی به آنها شده است. سواحل مرجانی خلیج فارس و دریای عمان تنها ۵۰ کیلومتر از طول بیش از ۲۰۰۰ کیلومتری سواحل جنوبی ایران را دربرمی‌گیرند که آن هم به شدت 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 به کار طرح‌های توسعه پارس جنوبی (فازهای ۵، ۶، ۱۲ و ۱۳)، با ساخت چندین اسکله و بندر با پیشروی در دریا و خشک کردن آب‌های ساحلی به وسیله 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 به طوری که محدوده زندگی آنها از عمق ۲ متری آب به عمق ۱۰ متری کاهش یافته است. اکوسیستم منطقه به سبب ساخت‌وسازهای بدون ارزیابی زیست‌محیطی مانند اسکله‌سازی و احداث پلنتفرم 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 آبریان به شدت 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 جریان‌ها 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 گرفته است.



شکل (۱): موقعیت خلیج نایبند

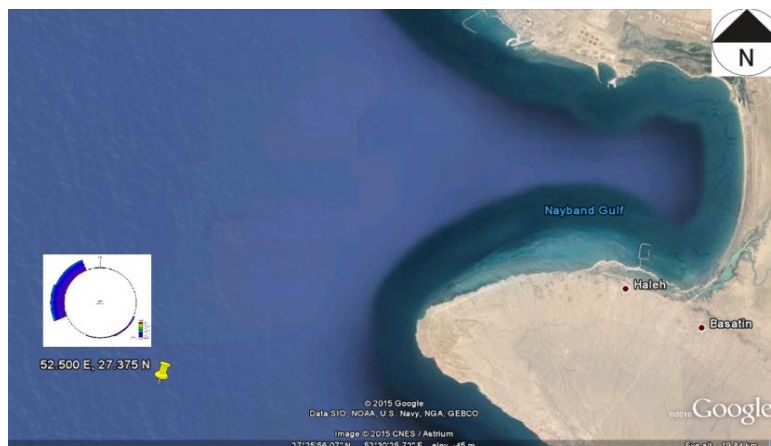
۲- تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این تحقیق، از داده‌های پروژه ISWM شامل اطلاعات مربوط به ارتفاع موج مشخصه، پرپود 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 در نظر گرفته است که در شکل (۲) نشان داده شده‌اند.



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

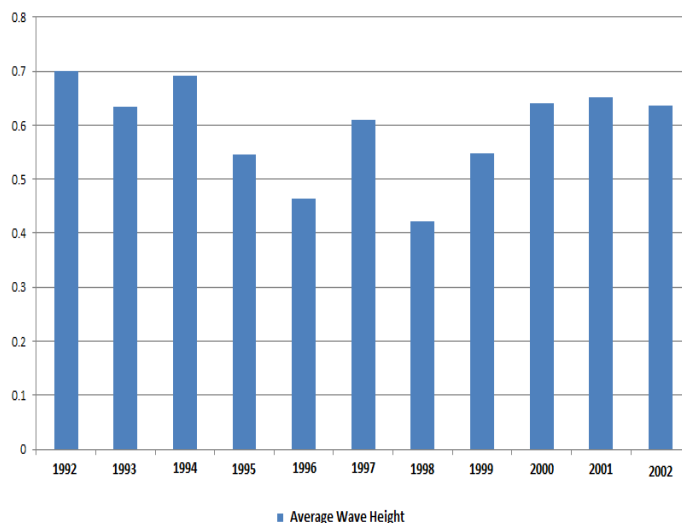
با توجه به نزدیکی بیشتر نقطه (۲) به سواحل جنوبی خلیج نایبند، از اطلاعات این نقطه در محاسبات مربوطه استفاده شد. در شکل (۳)، گل موج به‌کاررفته در مرز جنوبی و موقعیت آن نسبت به محل موج‌شکن نشان داده شده است.



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

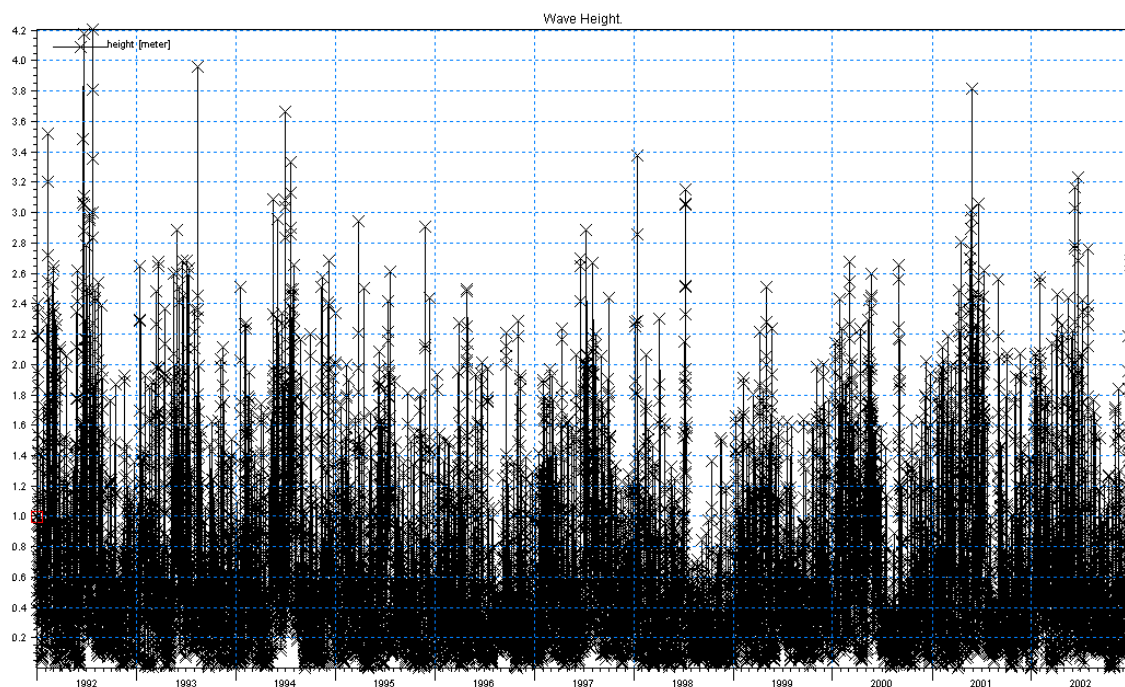
ملاحظه می‌شود که امواج غالباً از سمت غرب و شمال غربی به منطقه وارد می‌شود. همچنین بیش از نیمی از امواج در محدوده امواج آرام (کمتر از نیم متر) قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده آرام بودن امواج در محدوده مورد مطالعه است. سایر امواج عمدتاً از سمت غرب و شمال غرب وارد می‌شوند که بیشتر آنها (حدود ۱۵٪ کل امواج) 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، استفاده شد و کالیبراسیون آن به کمک اطلاعات بویه و ماهواره و ایستگاه‌های سینوپتیک انجام گرفته 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.



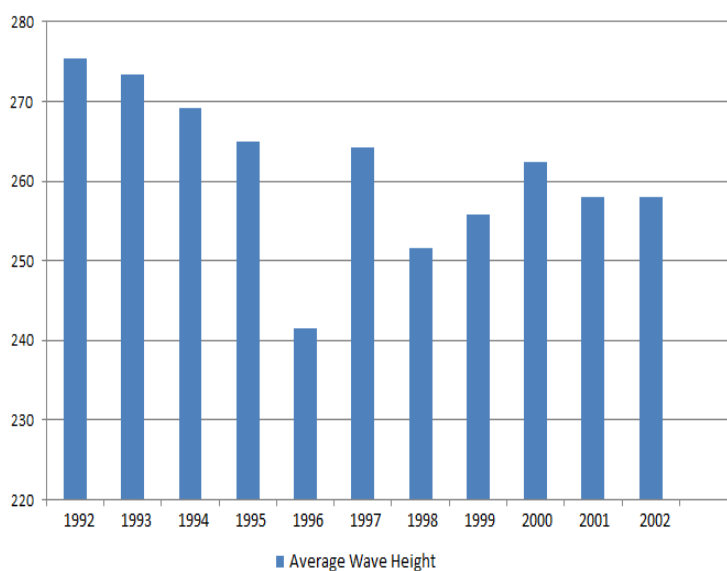
نمودار (۱): متوسط ارتفاع موج طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲

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



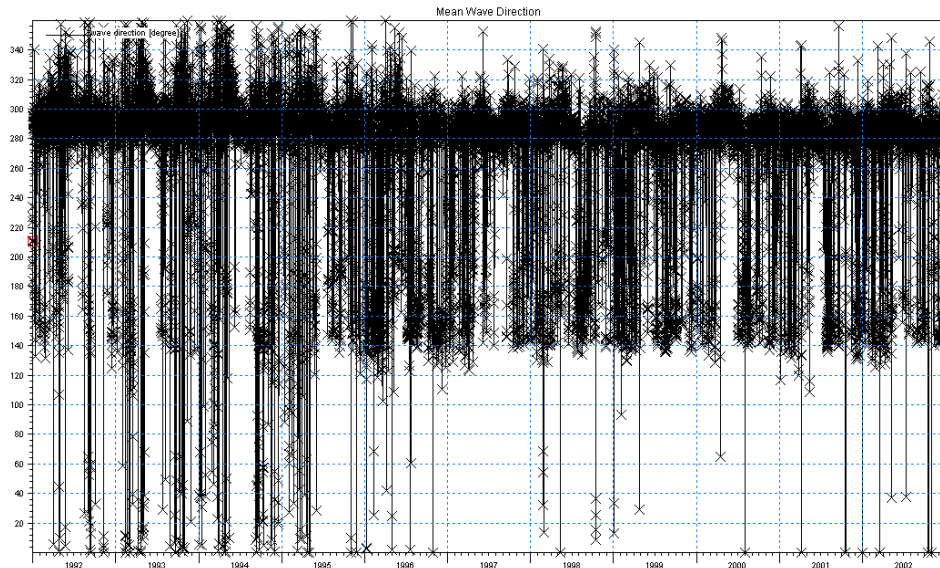
شکل (۴): سری زمانی ارتفاع موج مشخصه در طول سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲

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.



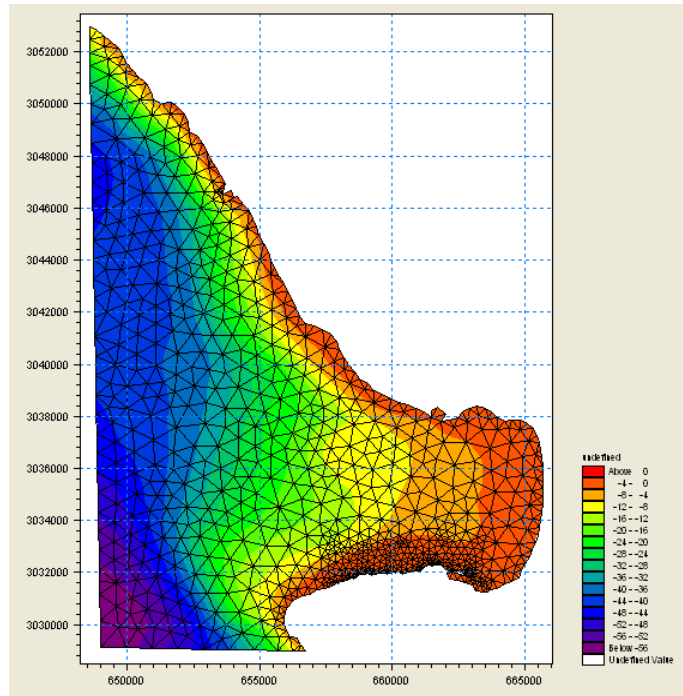
شکل (۵): سری زمانی جهت متوسط امواج در طول سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲

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

۱-۲ اجرای مدل موج مایک ۲۱

ماژول SW از مدل مایک ۲۱ به منظور محاسبه پارامترهای موج مورد استفاده قرار می‌گیرد. 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.

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 شبکه 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 (۶): محدوده مدل سازی و نحوه شبکه بندی

شکل (۶) داده های عمق سنجی^۴ مورد استفاده در مدل مایک SW را نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می شود، منطقه مورد نظر شامل کانتورهای تقریباً موازی ساحل است. مدل دارای ۲ مرز باز غربی و جنوبی است. از داده های ISWM در مجاورت مرز جنوبی استفاده شد و مرز غربی با توجه به جهت امواج به صورت جانبی در نظر گرفته شد. تعداد عوامل به کار رفته در مش بندی ۷۱۶۷ و تعداد گره ها ۴۷۱۷ است. سایر خصوصیات مربوطه در جدول (۱) ارائه شده است. شبکه بندی به صورت مثلثی نامنظم با حداکثر مساحت ۳۵۰ هزار مترمربع اجرا شد که به منظور افزایش دقت خروجی ها، ریزترین آنها در محدوده جنوب خلیج نایبند و در مجاورت موج شکن هاله مورد استفاده قرار گرفتند. محدوده (۱) مربوط به شبکه بندی کلی مدل و محدوده (۲) مربوط به شبکه بندی ریز مجاور ساحل جنوبی خلیج نایبند است.

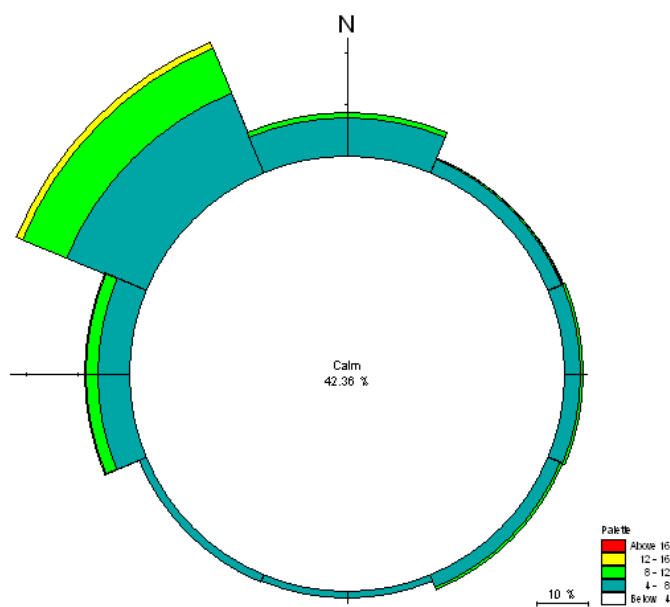
جدول (۱): مشخصات شبکه بندی مدل SW

محدوده	بیشترین فاصله گره ها (متر)	کمترین فاصله گره ها (متر)
۱	۱۰۰۰	۵۰
۲	۱۰۰	۲۰

در زمان شبکه بندی مدل، در نظر گرفتن فاصله کافی برای مرزها جهت جلوگیری از تأثیر مستقیم آنها روی وضعیت هیدرودینامیک محل مورد مطالعه، حائز اهمیت است. برای این منظور، مرز غربی در فاصله تقریبی ۱۳ کیلومتری و مرز جنوبی در ۷ کیلومتری محل مورد نظر انتخاب شده است. موقعیت نقطه مورد استفاده در مدل سازی در شکل (۷) و گلباد و گل موج مرز جنوبی نیز به ترتیب در شکل (۸) و شکل (۹) نشان داده شده اند.

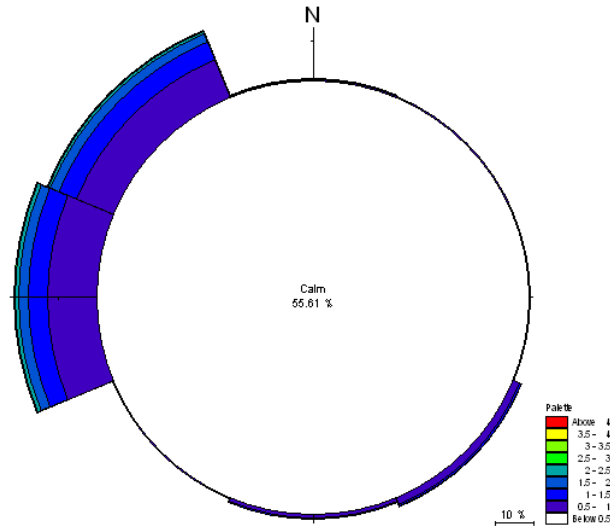


شکل (۷): موقعیت نقطه مورد استفاده برای مرز جنوبی



شکل (۸): گلباد مرز جنوبی

شکل (۸) گلباد رسم شده 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.



شکل (۹): گل موج مرز جنوبی

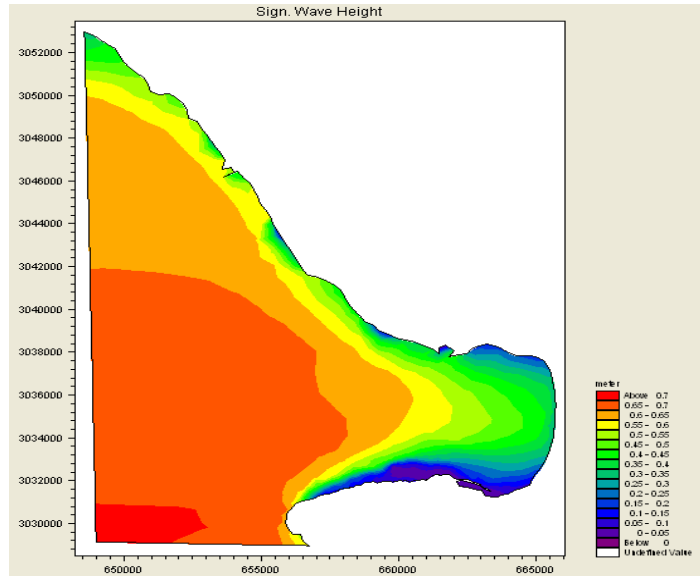
شکل (۹) گل موج خروجی مدل سازی امواج دریا‌های ایران (ISWM) را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که جهت امواج غالباً از سمت غرب و شمال غرب است و بیش از نیمی از امواج در محدوده امواج آرام قرار دارد. ارتفاع سایر امواج منطقه، غالباً بین ۰/۵ تا ۱/۵ متر است. بسیاری از پارامترهای موجود در برنامه باید پیش از اجرا، اصلاح شوند. ثابت شکست موج به صورت ثابت برای کل منطقه برابر $\gamma = 1$ و $\alpha = 0.8$ و ضریب زبری نیکورداس (Nikuradse) برابر ۰/۰۰۵ به عنوان متوسط زبری بستر در نظر شده است (مدل سازی امواج دریا‌های ایران، جلد دوم). مقادیر پارامترهای به کار رفته در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲): پارامترهای ورودی مدل MIKE21-SW

پارامترهای ورودی	موارد انتخاب شده
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

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 (T_p) و جهت موج (MWD) با گام زمانی ۶ ساعته، به کمک مازول موج مدل مایک ۲۱ (SW) محاسبه گردید. برای کنترل نتایج مدل سازی، مقادیر محاسبه شده با پارامترهای اندازه‌گیری شده موج در منطقه عملی در فوریه ۲۰۰۲ مقایسه شد. به منظور 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، به کمک مدل SW نشان داده شده است.

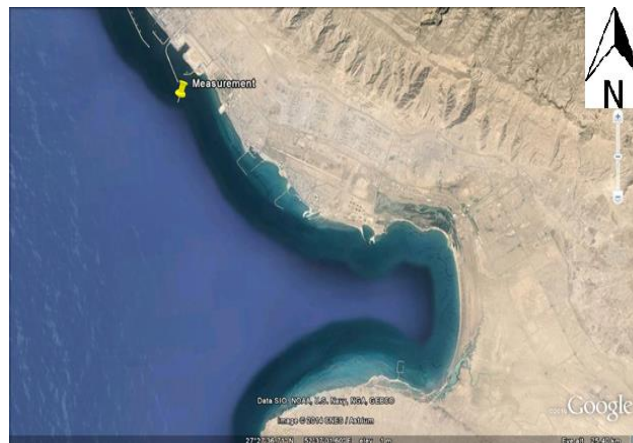


شکل (۱۰): ارتفاع موج مشخصه؛ خروجی مدل SW

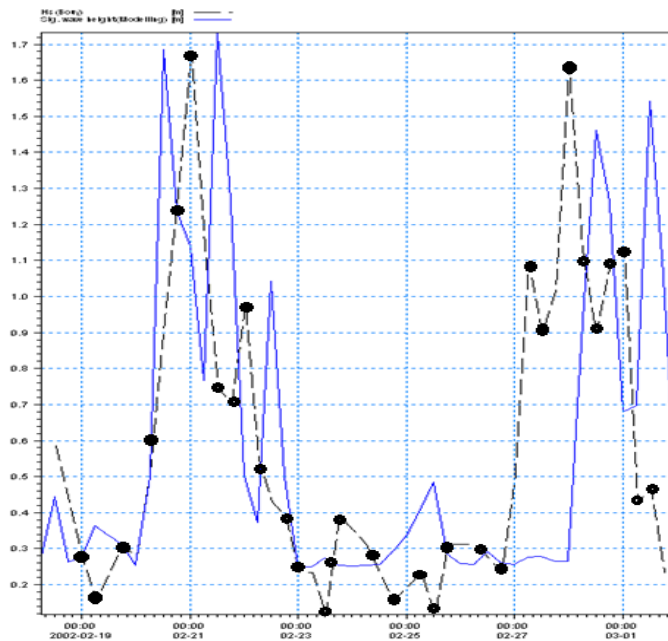
با توجه به نتایج به دست آمده می توان نتیجه گرفت که شدت امواج کم می باشد و غالب امواج در منطقه، کمتر از نیم متر ارتفاع دارند. این شرایط برای محدوده داخل خلیج و به خصوص در سواحل جنوبی به دلیل وجود دماغه ناپبند تشدید می شود؛ به طوری که در نزدیکی این مناطق، ارتفاع موج به حدود ۲۰ سانتی متر محدود می شود.

۲-۲- صحت سنجی مدل SW

همان طور که قبلاً اشاره شد، نتایج حاصل از مدل سازی امواج با مقادیر اندازه گیری شده در منطقه عسلویه مقایسه شد. شکل (۱۱) محل اندازه گیری میدانی را نشان می دهد.

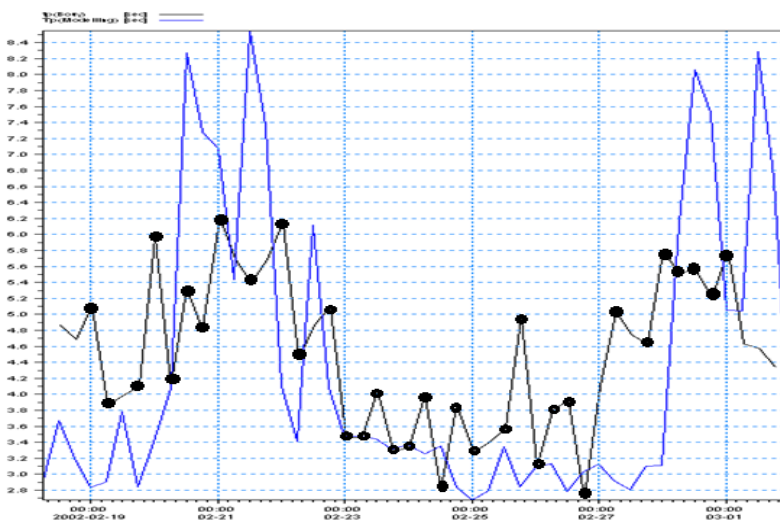


شکل (۱۱): موقعیت محل اندازه گیری در مجاورت خلیج ناپبند



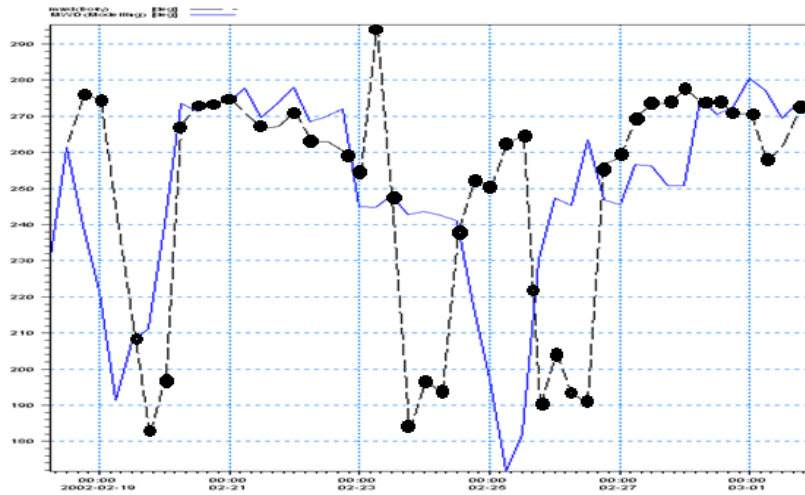
شکل (۱۲): مقایسه ارتفاع موج مشخصه مستخرج از مدل سازی با مقادیر اندازه گیری شده

در شکل (۱۲) خط پر، ارتفاع موج مشخصه حاصل از مدل سازی و خط چین، اندازه گیری میدانی مربوط به ارتفاع موج مشخصه را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، مدل عددی پیش بینی خوبی از وضعیت ارتفاع موج در منطقه ارائه داده است.



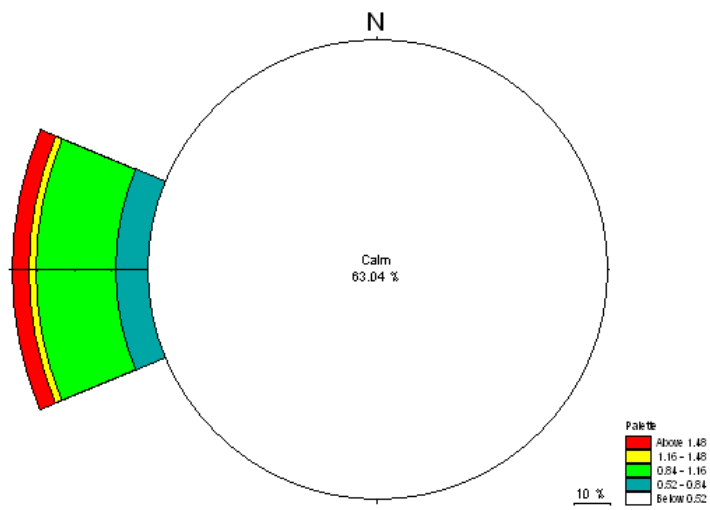
شکل (۱۳): مقایسه پررود موج مستخرج از مدل سازی با مقادیر اندازه گیری شده میدانی

در شکل (۱۳) خط پر، نتایج مدل سازی و خط چین، اندازه گیری میدانی را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، مدل عددی تطابق خوبی با اندازه گیری میدانی دارد.

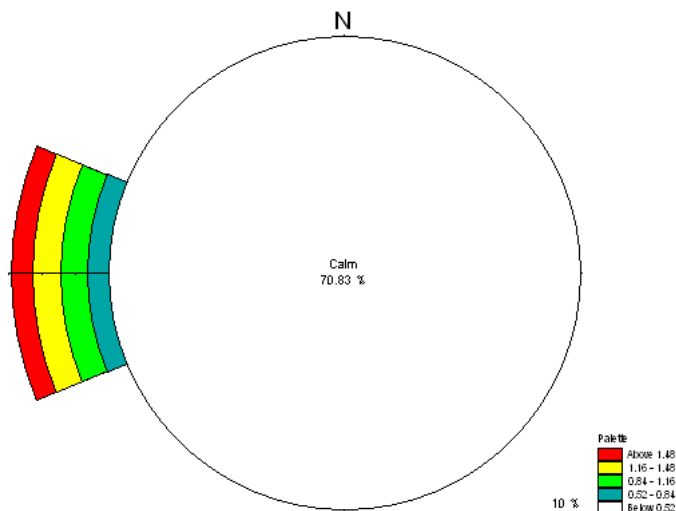


شکل (۱۴): مقایسه جهت متوسط موج مستخرج از مدل سازی با مقادیر اندازه گیری شده میدانی

در شکل (۱۴) خط آبی نتایج مدل سازی و خط چین مشکی اندازه گیری میدانی را نشان می دهد. مشاهده می شود، مدل عددی پیش بینی خوبی از جهت امواج در منطقه ارائه داده است.



شکل (۱۵): گل موج مشاهدات



شکل (۱۶): گل موج مدل

شکل (۱۵) و شکل (۱۶) به ترتیب 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. به‌طور کلی می‌توان گفت در سواحل باز عامل اصلی انتقال رسوب، جریانات ناشی از امواج مایل^۵ 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.

۳- 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 به دلیل 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.earthwatchers.org
۲. مدل‌سازی امواج دریاهای ایران، پیش‌یابی امواج سال‌های ۲۰۰۳-۱۹۹۲، جلد دوم: خلیج فارس 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.