بررسی اثر ضرایب شکست موج و زبری بستر روی الگوی انتشار امواج ناشی از باد در نواحی نزدیک ساحل(مطالعه موردی بندرلنگه)

رضا نائبی[۱]، مرتضی بختیاری[۲*]، مسعود صدری‌نسب[۳] و نیما شهنی‌کرم‌زاده[۴]

۱- کارشناس ارشد مهندسی سواحل.

۲ *- نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی رودخانه و سواحل دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر.

۳- دانشیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

۴- استادیار گروه مهندسی رودخانه و سواحل دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر.

تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۲۴

چکیده

امواج ازجمله پارامترهای مهم در طراحی سازه‌های ساحلی و دریایی محسوب می‌شوند. برای طراحی این قبیل سازه‌ها نیاز به شناخت و تعیین موج طرح سازه می‌باشد. یکی از پارامترهای مهم و اثرگذار بر الگوی انتشار امواج و همچنین موج طرح سازه، ضرایب واسنجی می‌باشد. تعیین مقادیر مناسب برای این ضرایب بسیار حیاتی و مهم می‌باشد. هدف از این تحقیق بررسی میزان زبری بستر و ضریب شکست موج بر روی الگوی انتشار امواج ناشی از باد و همچنین میزان موج طرح برای دوره بازگشت‌های مختلف می‌باشد. با توجه تجربیات حاصل از پروژه‌های مطالعاتی و تحقیقاتی انجام‌شده در زمینه مدل‌سازی و برآورد اقلیم موج در سواحل کشور، مدل ریاضی مورداستفاده در این تحقیقات برای مدل‌سازی مشخصه‌های امواج، مدل طیفی موج از بسته نرم‌افزاری مایک ۲۱ می‌باشد. اطلاعات موج ورودی شامل ارتفاع، زمان تناوب غالب و جهت متوسط به‌صورت سری زمانی در مرزهای باز استفاده شده است که اطلاعات موردنیاز از پروژه مدل سازی امواج آبهای ایران اخذ شده است. با توجه به اهمیت مدل‌سازی امواج و پیش‌بینی امواج طراحی در منطقه استراتژیک خلیج‌فارس و همچنین با درنظر داشتن اهمیت بندرهای جنوبی کشورمان، بندرلنگه و محدوده مجاور آن برای مدل‌سازی انتشار امواج در نظر گرفته‌شده تا نحوه انتشار امواج و همچنین اثر ضرایب شکست موج و زبری بستر بر امواج به دست آید. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تغییرات ضریب زبری بستر بر تفرق امواج و الگوی انتشار امواج، محسوس‌تر و چشمگیرتر از ضریب شکست موج می‌باشد. تغییرات این ضریب می‌تواند نظم الگوی انتشار امواج مدل‌های محلی را برهم بریزد. زبری بستر اثر قابل‌توجهی بر کاهش و یا افزایش امواج طراحی دارد. اما مقادیر کوچک‌تر ضرایب شکست موج (کمتر از ۰/۸) می‌توانند منتج به اختلاف معنادار در مقادیر امواج طراحی گردند. بنابراین حساسیت مدل انتشار موج به ضریب زبری بستر بیش از ضریب شکست موج بوده و برای ایجاد تغییرات در مدل امواج و دستیابی به نتایج نزدیک به نتایج اندازه‌گیری میدانی توصیه می‌شود که تغییرات ضریب زبری بستر بر مدل انتشار موج مطالعه گردد.

کلیدواژه‌ها: انتشار امواج، مدول طیفی موج، مایک ۲۱، ضرایب واسنجی

Evaluation of Effects of Wave Breaking and Bed Friction Factors On The Propagation Pattern of Wind Induced Waves In Near Shore Fields (Lengeh Port Case Study)

R. Nayebi[1], M. Bakhtiari[2*] ,M. SadriNasab[3] and N. Shahni Karam Zadeh[4]

1- Graduate Master of Science of Coastal Engineering

2*-Asistant professor of River and Coastal Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology

3-Associated Professor of Environmental Faculty, University of Tehran

4- Asistant professor of River and Coastal Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology

Received:31 May 2015 Accepted:15 November 2015

Abstract

Waves are one of the most important parameters for designing marine and coastal structures. It is required to analyze design waves for designing coastal structures. One of the most important parameters which affect wave propagation pattern and design wave is calibration coefficient. It is

vital to provide accurate and proper calibration factors. The main goal of present research is performing sensitivity analysis on wave breaking and bottom friction coefficients and evaluating their effects on wave propagation pattern and also design waves with different return periods. Considering previous experiences which have been gained from research and analytical projects that have been performed to model hydrodynamic phenomenon of coastal zones, Mike 21-SW module is chosen in this thesis to model and analyze wave characteristics. Time series of height, period and mean direction of incoming waves are considered as boundary conditions. These time series are extracted from ISWM wave data. Regarding modeling and forecasting of design waves in strategic region of Persian Gulf and importance of Iranian southern ports, coastal region of Lengeh port is selected for modeling wave propagation to analyze wave propagation pattern and effects of wave breaking and bottom factors on design waves. Results of present study showed that bottom friction factor has more considerable effects on wave propagation and wave diffraction pattern in comparison with wave breaking factor. Variations of bottom friction factor can change wave propagation pattern of local models. Additionally this factor has considerable effects on increasing or decreasing of design waves. In contrast to this factor, lower values of wave breaking factor (less than 0.8) can affect design wave height. Therefore sensitivity of wave propagation model to bottom friction factor is more considerable than wave breaking factor and then it is recommended that for calibrating wave propagation model and achieving results which are closed to field measurements, in the first step bottom friction factor would be studied.

Keywords: Wave propagation, Spectral wave module, MIKE 21 , Calibration coefficients.

مقدمه

ازجمله مهم‌ترین مسائل پیش‌روی کشورهای دارای سواحل، بهره‌برداری از منابع آن مطرح می‌باشد نظر به اهمیت صنایع دریایی مختلف وابسته به دریا، لزوم شناخت پارامترهای وابسته بسیار حائز اهمیت می‌باشد. یکی از این پارامترها امواج می‌باشند که در طراحی سازه‌های مختلف ساحلی و فراساحلی دارای اهمیت می‌باشند. شناخت امواج دارای زوایای مختلفی می‌باشد که الگوی انتشار آن از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد. در تحقیق حاضر اثر ضرایب شکست و زبری بستر به‌عنوان دو عامل مؤثر بر روی الگوی انتشار امواج ناشی از باد موردبررسی قرار گرفته است.

با توجه به اهمیت استراتژیک خلیج‌فارس و همچنین بندرهای جنوبی ایران که در مجاورت آن قرار دارند، در این تحقیق مدل‌سازی انتشار امواج در این مرز آبی مهم و یکی از مهم‌ترین بندرها واقع در سواحل آن، یعنی بندرلنگه، صورت خواهد پذیرفت. این بندر در مختصات جغرافیایی ۵۳ °۵۴ طول شرقی و ´۳۲ °۲۶ عرض شمالی و در حال حاضر دارای ۱/۵ کیلومتر موج‌شکن سنگی و در حدود پانصد متر اسکله تجاری می‌باشد. در شکل (۱) محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱- محل تقریبی محدوده موردمطالعه (بندرلنگه) در نوار ساحلی استان هرمزگان و خلیج‌فارس

مروری بر تحقیقات گذشته

مهم‌ترین تحقیقات مرتبط با تحقیق حاضر عبارتند از:

قربانی طالقانی و گلشنی (۱۳۸۹)، در مطالعه خود، مدل نسل سوم موج طیفی[1] از نرم‌افزار مایک ۲۱ و روش‌های نیمه تجربی در محدوده بندر امیرآباد در دریای خزر را اجرا کردند و پس از مقایسه نتایج خروجی‌های این مدل با داده‌های بویه، مدلی را معرفی کردند که بیشترین هم خوانی را با داده‌های اندازه‌گیری داشت. آن‌ها از روش‌های نیمه تجربی CEM، SPM و SMB برای تعیین ارتفاع و دوره تناوب موج و به‌طور کل پیش‌بینی مشخصات موج استفاده کردند. ایشان نتیجه‌گیری نمودند که در میان روش‌های نیمه تجربی، روش‌های SPM و CEM به ترتیب دارای کمترین و بیشترین انحراف در پیش‌بینی مشخصه‌های موج می‌باشد. همچنین از بین روش‌های مختلف نیمه تجربی و طیفی ذکرشده، مناسب‌ترین روش برای پیش‌بینی مشخصات امواج در این منطقه روش SPM بوده است. با مقایسه گل‌موج‌های حاصل از روش‌های عددی، نیمه تجربی و نیز بویه‌ها این نتیجه به دست آمد که روش عددی جهت غالب را دقیق‌تر پیش‌بینی می‌کند.

چگینی و همکاران (۱۳۸۹)، از مدل عددی SWAN برای شبیه‌سازی امواج در منطقه عسلویه استفاده کردند. داده‌های باد ثبت‌شده در ایستگاه همدیدی بندر دیر برای انرژی باد ورودی به مدل به کار گرفته شدند. تحلیل مقادیر حدی امواج با استفاده از مجموعه داده‌های شبیه‌سازی‌شده انجام گرفتند. نتایج نیز با نتایج تحلیل مقادیر حدی ثبت‌شده در آن نقطه مقایسه شدند. نتایج حاصل از مطالعات آن‌ها نشان داد که از داده‌های ایستگاه همدیدی و نیز مدل عددی SWANمی‌توان برای شبیه‌سازی امواج و تخمین ارتفاع موج حدی با دقت قابل‌قبول، در این منطقه استفاده نمود.

مرتضی پور و همکاران (۱۳۸۹)، با استفاده از مدل SWAN امواج آب‌های کم‌عمق نواحی ساحلی دریای عمان (خلیج چابهار) را مدل نمودند. آن‌ها با استفاده از شرایط مرزی فراهم‌شده از شبیه‌سازی یک مدل درشت توسط SWAN، وضعیت دریا را در نواحی آب کم‌عمق دریای عمان مدل نمودند و با اندازه‌گیری‌های میدان باد و داده‌های موج بویه سازمان بنادر و دریانوری (بویه چابهار) مقایسه نمودند. دوره زمانی مدل‌سازی آن‌ها یک بازه هفت روزه از ۹ تا ۱۵ فوریه ۲۰۰۷ بود. نتایج حاصل از مطالعه آنان نشان داد که به‌طورکلی توانایی مدل در تخمین ارتفاع و دوره تناوب امواج منطقه خوب بوده و تطابق کیفی مناسبی بین روند تغییرات مشخصه‌های امواج به‌دست‌آمده از مدل و مشخصه‌های اندازه‌گیری شده توسط بویه برقرار است.

صادقی‌فر و همکاران (۱۳۹۳)، در تحقیقی به پیش‌بینی ارتفاع موج ساحلی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بازگشتی در دریای خزر پرداختند. نتایج حاصل از تحقیق نشان‌دهنده مطابقت بالای مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی‌شده می‌باشد.

رنجی و سلطان‌پور (۱۳۹۳)، در تحقیقی با استفاده از مدل مایک ۲۱ اقدام به مدل‌سازی هیدرودینامیک حریان خلیج‌فارس نمودند. مدل‌سازی انجام‌شده از نوع دوبعدی میانگین در عمق صورت گرفته است و حاکی از دقت بالای این مدل در مدل‌سازی شرایط حریان بوده است.

بهلولی و همکاران(۱۳۹۳)، با استفاده مدل PMO Dynamic اقدام به شبیه‌سازی الگوی جریان‌های ناشی از باد در دریای خزر پرداختند. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت و واسنجی و همچنین مقایسه نتایج با اطلاعات میدانی نشان می‌دهد این مدل می‌تواند نتایج قابل‌قبول را نشان می‌دهد.

دوپویس و آنیس[2] (۲۰۱۲)، در تحقیقی اقدام به مقایسه نتایج حاصل از روابط تجربی و مدل ریاضی در محیط آب‌های کم عمق برای شناخت خصوصیات امواج ناشی از باد در خور گاستون تگزاس پرداختند. در تحقیق انجام‌شده، ارتباط میان نسبت بدون بعد عمق آب، انرژی امواج و دوره تناوب صورت گرفته است. نتایج حاصل از تحقیق حاکی از مطابقت بالای نتایج حاصل از مدل‌سازی و داده‌های میدانی بوده است. همچنین نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد میان حداکثر دوره تناوب داده‌های مشاهداتی و نتایج مدل‌سازی تطابق بالایی وجود دارد اگرچه نتایج مدل این مقدار را کمتر از داده‌های برداشت‌شده میدانی برآورد نموده است.

بوکوتی[3] (۲۰۱۳)، در تحقیقی با استفاده از تئوری شبه جبری اقدام به مطالعه امواج ناشی از باد در محدوده قبل از موج‌شکن قائم نموده است. در این تحقیق ابتدا پروفیل‌های سرعت میدانی برداشت و با نتایج حاصل از تئوری شبه جبری مقایسه گردید. نتایج حاصل از تحقیق حاکی از دقت بالای تئوری مورداستفاده و داده‌های میدانی دارد.

بوکوتی و همکاران[4] (۲۰۱۳)، در تحقیقی به مطالعه توزیع ارتفاع‌های موج در حوزه زمان پرداختند. ایشان با ثبت ۶۳۰۰۰۰۰ داده بار فشاری زیر سطح آب که توسط ۲۶ ردیف مبدل تبدیل فشار به ارتفاع ثبت‌شده بود اقدام به انجام این مطالعه نمودند.

مواد و روش‌ها

-معرفی و انتخاب منابع اطلاعات آمار باد و موج

- اطلاعات باد

اصلی‌ترین عامل تولید امواج در دریاها و اقیانوس‌ها باد می‌باشد. لذا در اختیار داشتن یک میدان باد مناسب می‌تواند تأثیر عمده‌ای در نتایج مطالعات داشته باشد. به‌منظور شناخت وضعیت و تعیین الگوی توزیع باد، مراجع و منابع آماری در دسترس که می‌تواند در این شناخت کمک نماید و به نحوی الگوی این پدیده‌ها را در محدوده طرح نشان دهد، موردبررسی قرار گرفته است. این منابع شامل آمار ایستگاه همدیدی بندرلنگه و نتایج مدل‌سازی امواج دریاهای ایران

1- Spectral Wave

2- Dupuis and Anis

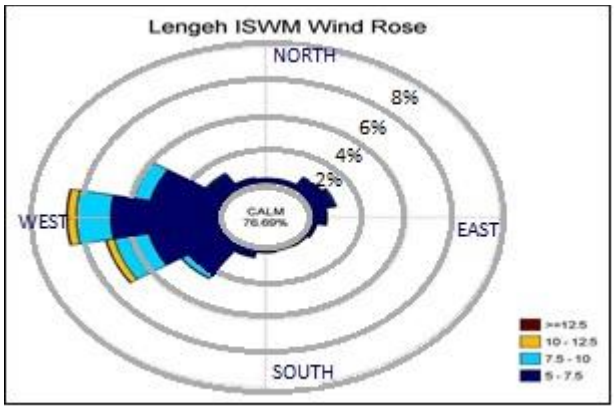
3- Boccoti

4- Boccoti *et al.*

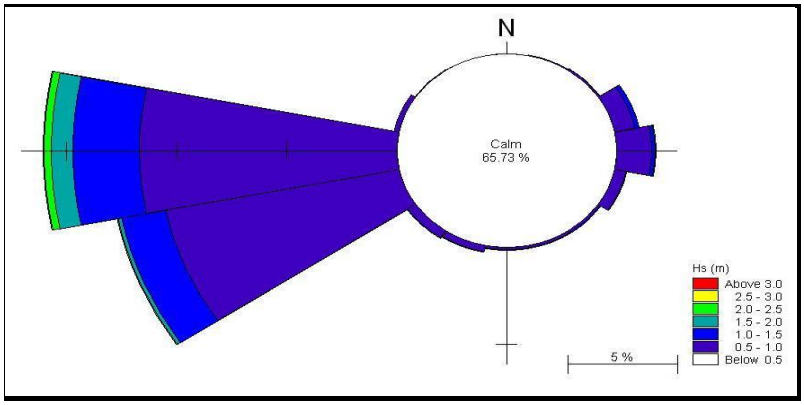
مدل‌سازی امواج آب‌های ایران می‌باشند. در پروژه مدل‌سازی امواج آب‌های ایران از آمار باد میدان مرکز اروپایی پیش‌بینی هواشناسی اصلاح‌شده به‌عنوان باد ورودی به مدل استفاده‌شده است. داده‌های محاسباتی نتایج یک مدل دوبعدی هواشناسی با گام زمانی شش ساعت با فواصل مکانی $0/5^{o}*0/5^{o}$ می‌باشند. این داده‌ها برای استفاده در پروژه مدل‌سازی امواج آب‌های ایران درون‌یابی شده و در شبکه‌ای با فواصل مکانی $0/125^{o}*0/125^{o}$ قرار گرفتند. مقایسه جهت باد غالب پروژه یاد شده در بازه زمانی بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲ با آمار باد ایستگاه همدیدی بندرلنگه، نشان می‌دهد که از لحاظ مقدار میانگین سرعت باد، نتایج این پروژه به مقدار میانگین سرعت باد ایستگاه همدیدی بندرلنگه نزدیک بوده و این امر نشان از قابل‌اطمینان‌بودنِ بزرگی آمار باد در پروژه مدل‌سازی امواج آب‌های ایران دارد که حاصل این مدل‌سازی برای باد منطقه موردمطالعه در شکل (۲) ارائه شده است (بی‌نام، ۱۳۸۷).

اطلاعات موج

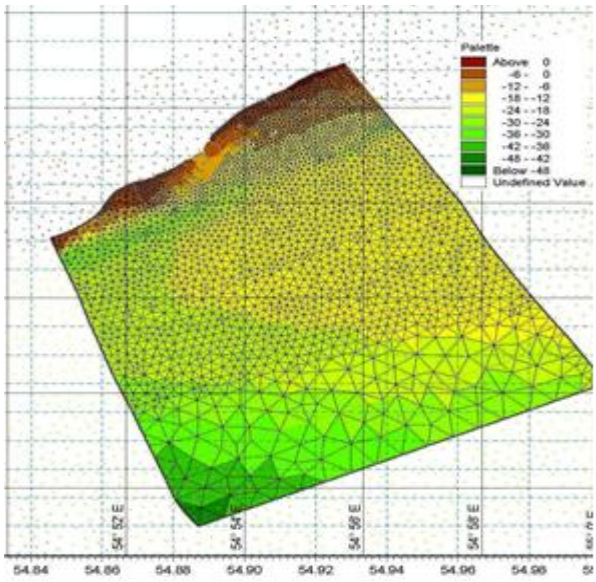
در طی سالیان گذشته، سازمان بنادر و دریانوردی، به‌عنوان اصلی‌ترین متولی بخش دریایی کشور پروژه‌های متعددی را در زمینه مهندسی سواحل و سازه‌های دریایی تعریف نموده است. یکی از این پروژه‌ها با عنوان پایش و مطالعات شبیه‌سازی به بررسی پدیده‌های هیدرودینامیک و رسوب در نوار ساحلی کشور ایران (در جنوب و شمال) اختصاص دارد. در اینجا برای اطلاعات موج آب عمیق از نتایج پروژه مدل‌سازی امواج آب‌های یران استفاده می‌شود.نتایج مدل‌سازی یاد شده می‌تواند به‌عنوان یکی از منابع اطلاعاتی اصلی که به نحو مناسبی شامل اطلاعات زمانی و مکانی از اقلیم موج می‌باشد، در تعیین مشخصات امواج در نواحی مختلف مورداستفاده قرار گیرد. برای انجام شبیه‌سازی‌های امواج مربوط به محدوده بندرلنگه در تحقیق حاضر، از اطلاعات موج مدل‌سازی امواج آب‌های ایران به‌عنوان شرایط مرزی استفاده شده است. گل‌موج‌های سالیانه محدوده موردمطالعه بر اساس کل داده‌های پروژه یاد شده که از نزدیک‌ترین نقاط موجود در این داده‌ها به بندر استخراج شده، و در شکل (۳) ارائه گردیده است. بر اساس نتایج این مدل‌سازی جهت موج غالب عمدتاً از سمت غرب و جنوب‌غرب (۲۷۰ و ۲۴۷/۵ درجه) می‌باشد. در ضمن حداکثر ارتفاع موج شبیه‌سازی‌شده در این مطالعات حدود۲/۳۳ متر می‌باشد (بی‌نام ،۱۳۸۷).



شکل ۲- گلباد حاصل از آمار باد پروژه مدل‌سازی امواج دریاهای ایران در بندرلنگه طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲



شکل ۳- گل‌موج آب‌های دوردست در محدوده بندرلنگه بر اساس نتایج پروژه مدل‌سازی امواج آب‌های ایران (۲۰۰۲-۱۹۹۲)



شکل ٤- شبکه‌بندی نامنظم و عمق‌سنجی محدوده بندرلنگه جهت انتقال امواج آب‌های دوردست به نزدیک ساحل

مدل مورداستفاده

مدل موج طیفی از بستهٔ نرم‌افزاری مایک ۲۱ یک مدل نسل سوم شبیه‌سازی فرآیندهای تولید و انتشار امواج ناشی از باد در یک پهنه آبی است.

حل معادله‌های انرژی امواج بر مبنای روش حجم کنترلی[1] و بر روی شبکه‌بندی مثلثی نامنظم صورت می‌گیرد که با ریزکردن ابعاد شبکه در محدوده موردنظر، می‌توان برآورد بهتری از مشخصات موج به دست آورد. این مدل دارای دو نوع فرمول‌بندی متفاوت است:

فرمول‌بندی پارامتری جهتی و فرمول‌بندی کاملاً طیفی

فرمول‌بندی پارامتری بر اساس پارامترسازی معادله پیوستگی موج می‌باشد. پارامترسازی در محدودهٔ فرکانسی و با این فرض صورت می‌پذیرد که ممان صفرم و اول طیف موج متغیرهای وابسته هستند. فرمول‌بندی کاملاً طیفی بر اساس معادله پیوستگی موج می‌باشد، که در این صورت طیف جهتی موج یک متغیر وابسته می‌باشد. نوع اول فرمول‌بندی سریع‌تر از نوع دوم آن بوده اما دارای محدودیت‌هایی است. در فرمول‌بندی نوع اول رشد و زوال موج در نظر گرفته نمی‌شود و تنها موج انتقال داده می‌شود. در فرمول‌بندی نوع دوم علاوه بر انتقال موج، رشد آن در اثر باد و زوال آن در اثر پدیده‌هایی همچون سفیدک موج نیز در نظر گرفته می‌شود. معادله‌های اساسی پیوستگی برای مدل‌های کوچک‌مقیاس در دستگاه مختصات کارتزین و برای مدل‌های بزرگ‌مقیاس در دستگاه مختصات کروی فرمول‌بندی می‌گردند. در این مدل، گسسته‌سازی معادلات حاکم در فضای طیفی و جغرافیایی با استفاده از روش احجام محدود مرکزی صورت می‌پذیرد. فضای مدل‌سازی این مدل به‌صورت مش‌بندی مثلثی نامنظم می‌باشد. مبنای مدل موج طیفی برای پیش‌بینی امواج، حل معادله انتقال انرژی به‌صورت طیفی می‌باشد. (بی‌نام، ۲۰۰۹). معادله‌های انتقال انرژی این مدل در حالت دوبعدی به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial E}{\partial t}+\frac{\cos\theta}{C}\frac{\partial(E.C.C_g)}{\partial x}+\frac{\sin\theta}{C}\frac{\partial(E.C.C_g)}{\partial y}+\frac{C_g}{C}(\sin\theta\frac{\partial C}{\partial x}-\cos\theta\frac{\partial C}{\partial y})\frac{\partial E}{\partial\theta}=S \quad (۱)$$

که در آن:

$E(t,x,y,f,\theta)$: طیف انرژی موج فرکانسی-جهتی، t: زمان

x,y: مختصات دکارتی در حالت دوبعدی، f: فرکانس

θ: جهت انتشار امواج، C_g: سرعت گروهی موج، C: سرعت انتشار موج، S: ترم مربوط به چاه-چشمه تولید و زوال انرژی موج

مراحل مدل‌سازی- تهیه فایل عمق‌نگاشت

داده‌های موردنیاز جهت تهیه فایل عمق‌نگاشت، موقعیت مرزهای خشکی و باز مدل و نیز هیدروگرافی محدوده مدل می‌باشد. اطلاعات فوق بر اساس داده‌های عمق‌سنجی استفاده‌شده در پروژه مدل‌سازی امواج آب‌های ایران و همچنین اطلاعات هیدروگرافی که از سایر نهاد و ارگان‌های مرتبط جمع‌آوری شده است، می‌باشد. فایل عمق‌نگاشت به صورت شبکه مثلثی نامنظم با ۲۹۸۵ گره و ۵۷۲۲ المان بوده و مرزهای آن در سمت آب‌های

1-Control Volume

دوردست محدوده بندرلنگه واقع شده و ابعاد المان‌ها در محدوده بندرلنگه با کاهش عمق و نزدیک شدن به محدودهٔ پروژه، کاهش می‌یابد. ازآنجایی‌که در این مدل از شبکه‌بندی نامنظم استفاده شده با ریز کردن ابعاد شبکه در محدوده محل پروژه، می‌توان برآورد بهتری از مشخصات امواج در نزدیکی بندر به دست آورد. ابعاد ضلع‌های هر المان از حدود ۸۵۰ متر در آب‌های عمیق تا حدود ۸۰ متر (و بعضاً کمتر) در آب‌های کم‌عمق متغیر است (بی‌نام، ۱۳۸۷). در شکل (۴)، شبکه بندی محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است.

شرایط مرزی و اطلاعات موج ورودی مدل

شرایط مرزی اصلی مدل انتشار موج طیفی شامل اطلاعات اصلی موج (ارتفاع، زمان تناوب غالب و جهت متوسط)بوده و در مرزهای باز مدل تعریف می‌گردد؛ به‌این‌ترتیب که مشخصات موج در فاصله بین نقاط، به روش درون‌یابی تعریف می‌گردد. مرزهای باز مدل در شرق، غرب و جنوب مدل انتشار تعریف گشته‌اند. این اطلاعات از پروژه مدل‌سازی امواج آب‌های ایران گرفته شده است. با توجه به این اطلاعات سه جهت ۹۰، ۲۴۷/۵ و ۲۷۰ درجه برای موج غالب در نظر گرفته می‌شود(بی‌نام، ۱۳۸۷).

تعیین گام زمانی حل معادله‌ها

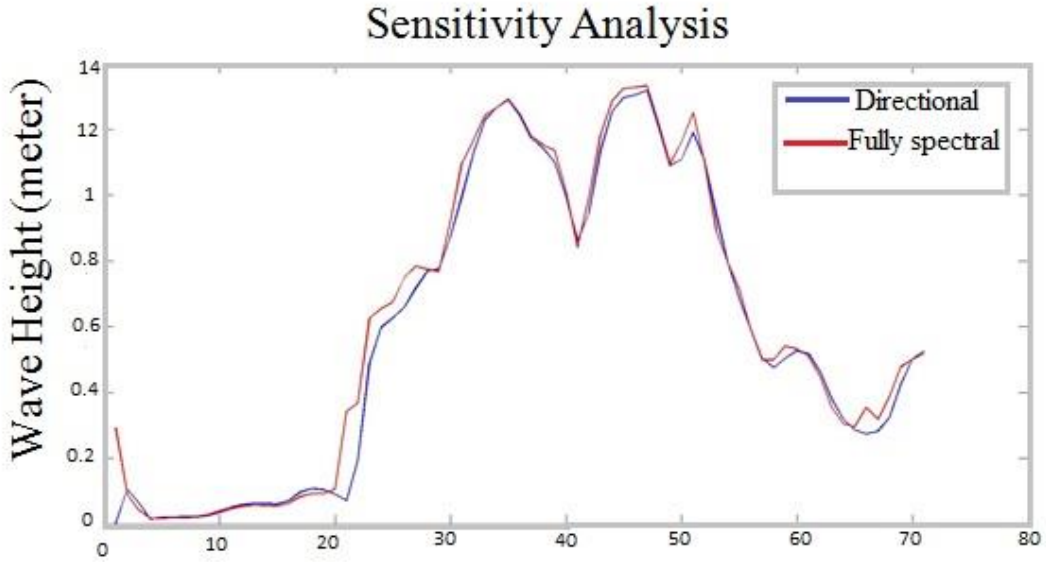
تعیین گام زمانی حل معادله‌ها یکی از مراحل مهم در برپایی مدل می‌باشد و مقدار آن بستگی به ابعاد شبکه‌بندی و سرعت گروهی امواج دارد. افزایش گام زمانی از سویی باعث کاهش مدت اجرای مدل و افزایش گام زمانی و از سوی دیگر سبب افزایش امکان ناپایداری مدل می‌گردد. در مورد شبکه موردا‌شاره، اجراهای اولیه نشان‌دهنده این بوده که در المان‌های ریز مجاور سواحل، بیشینه گام زمانی موردنیاز برای اجتناب از ناپایداری، در حدود ۳۰ ثانیه می‌باشد. لازم به ذکر است که عوامل زیادی بر ناپایداری مدل انتشار موج تأثیر دارند که تعدادی از مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از گام زمانی نامناسب، مش‌بندی درشت، تیز گوشه بودن شکل خط ساحل و شرایط مرزی نامناسب. همچنین یکی از پارامترهای اصلی تشخیص ناپایداری مدل عدد کورانت می‌باشد که می‌بایست کمتر از ۰/۵ باشد. در صورت بزرگ‌بودن این عدد می‌توان ابعاد مش‌بندی و یا گام زمانی حل معادلات را تغییر داد.

ضرایب واسنجی مدل انتشار موج

در مدول موج طیفی از بسته نرم‌افزاری مایک ۲۱، ضرایب متنوعی جهت واسنجی نمودن مدل استفاده شده است. در این مطالعه هدف اصلی، تحقیق بر روی تأثیر دو ضریب کالیبراسیون شامل ضرایب شکست موج و اصطکاک بستر بر روی الگوی انتشار امواج ناشی از باد می‌باشد.در پروژه‌های مهم داخلی و ملی در سطح کشور، برای واسنجی نمودن و صحت‌سنجی مدل‌های بزرگ‌مقیاس و محلی از این دو ضریب استفاده می‌شود که نتایج واسنجی ضرایب یادشده بر اساس نتایج حاصل از پروژه‌های ملی (پروژه‌های مدل‌سازی امواج آب‌های ایران و مطالعات پایش و شبیه‌سازی استان هرمزگان) و همچنین بر اساس مقادیر پیشنهادی و پیش‌فرض نرم‌افزار مایک ۲۱ تعیین شده و در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته شده است. بنابراین در این تحقیق تغییرات این ضرایب بر روی الگوی انتشار امواج مطالعه گردیده تا مقادیر مناسبی برای مدل‌های امواج پیشنهاد گردند. خروجی پروژه‌های یادشده مقادیر ضریب شکست موج و ضریب اصطکاک بستر مطابق با جدول (۱) تعریف می‌گردند. این مقادیر، خاطرنشان می‌سازد که مقدار پیش‌فرض نرم‌افزار مایک برای ضریب شکست موج ۰/۸ و برای ضریب زبری بستر ۰/۰۴ می‌باشد(بی‌نام، ۱۳۸۷).

جدول ۱- مقادیر در نظر گرفته‌شده برای ضریب واسنجی

ضریب واسنجی	مقدار
زبری بستر (Kn)	۰/۰۰۲
	۰/۰۴
	۰/۰۸
شکست موج (γ)	۰/۴
	۰/۸
	۱/۲



شکل۵- واسنجی مدل توسط ضریب زبری ۰/۰۰۲

جدول ۲- تغییرات امواج طراحی با دوره بازگشت‌های مختلف برای کلیه ضرایب زبری بستر(جهت ۹۰ درجه)

تغییرات امواج طراحی با دوره بازگشت‌های مختلف برای کلیه ضرایب زبری بستر (۹۰ جهت)

ضریب زبری بستر	عمق آب=۷/۵-		عمق آب=۱۰-	
مانینگ	ارتفاع شاخص موج (متر)	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)	دوره بازگشت (سال)
۰/۰۰۲	۲/۴۸	۲	۳/۱۹	۲
	۲/۵۵	۵	۳/۲۵	۵
	۲/۵۹	۱۰	۳/۳۰	۱۰
	۲/۶۴	۲۵	۳/۳۴	۲۵
	۲/۶۷	۵۰	۳/۳۸	۵۰
	۲/۷۰	۱۰۰	۳/۴۱	۱۰۰
۰/۰۴	۱/۸۰	۲	۲/۱۳	۲
	۱/۸۴	۵	۲/۲۸	۵
	۱/۸۷	۱۰	۲/۳۵	۱۰
	۱/۹۰	۲۵	۲/۴۲	۲۵
	۱/۹۲	۵۰	۲/۴۶	۵۰
	۱/۹۴	۱۰۰	۲/۴۹	۱۰۰
۰/۰۸	۱/۴۶	۲	۲/۰۴	۲
	۱/۵۰	۵	۲/۰۸	۵
	۱/۵۱	۱۰	۲/۱۰	۱۰
	۱/۵۴	۲۵	۲/۱۲	۲۵
	۱/۵۵	۵۰	۲/۱۴	۵۰
	۱/۵۷	۱۰۰	۲/۱۵	۱۰۰

نتایج و بحث

در این بخش نتایج حاصل از تحقیق ارائه می‌گردد. نتایج حاصل از تحقیق در دو بخش مدل‌سازی ارتفاع شاخص موج و الگوی انتشار امواج ارائه گردیده است. در این تحقیق ارتفاع شاخص امواج در اعماق ۷/۵ و ۱۰ متری از سطح مبناء (متوسط سطح دریاهای آزاد) موردبررسی قرار گرفته است لازم به ذکر است دلیل انتخاب این دو عمق استفاده از نتایج کالیبراسیون مدل‌سازی پروژه مدل-سازی امواج آب‌های ایران بوده است که در این پروژه دو عمق ۷/۵ و ۱۰ متر از سطح مبناء در نظر گرفته شده است.

جدول ۳- تغییرات امواج طراحی با دوره بازگشت‌های مختلف برای کلیه ضرایب شکست موج (جهت ۹۰ درجه)

ضریب شکست موج	۷/۵- = عمق آب		۱۰- =عمق آب	
	ارتفاع شاخص موج (متر)	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)	دوره بازگشت (سال)
۰/۴	۱/۷۰	۲	۲/۳۰	۲
	۱/۸۳	۵	۲/۴۵	۵
	۱/۹۰	۱۰	۲/۵۴	۱۰
	۱/۹۸	۲۵	۲/۶۴	۲۵
	۲/۰۴	۵۰	۲/۷۱	۵۰
	۲/۰۹	۱۰۰	۲/۷۷	۱۰۰
۰/۸	۲/۱۵	۲	۲/۹۱	۲
	۲/۳۱	۵	۳/۱۲	۵
	۲/۴۱	۱۰	۳/۲۳	۱۰
	۲/۵۱	۲۵	۳/۳۶	۲۵
	۲/۵۹	۵۰	۳/۴۵	۵۰
	۲/۶۵	۱۰۰	۳/۵۲	۱۰۰
۱/۲	۲/۱۵	۲	۲/۹۲	۲
	۲/۳۲	۵	۳/۱۲	۵
	۲/۴۱	۱۰	۳/۲۳	۱۰
	۲/۵۲	۲۵	۳/۳۶	۲۵
	۲/۵۹	۵۰	۳/۴۵	۵۰
	۲/۶۶	۱۰۰	۳/۵۳	۱۰۰

بررسی تأثیر ضرایب زبری بستر و شکست امواج بر ارتفاع شاخص امواج

ارتفاع امواج طراحی در اعماق ۷/۵ و ۱۰ متری و برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و۱۰۰ ساله و برای بادهای با سه جهت غالب ۹۰، ۲۴۷/۵ و ۲۷۰ درجه محاسبه شده‌اند. در جدول‌های (۲) تا (۵) نتایج حاصل از تأثیر ضرایب زبری بستر و شکست امواج بر ارتفاع شاخص امواج و در شکل‌های (۶) و (۷) تغییرات ارتفاع موج در نقطه شاخص یک برای کلیه توزیع‌های آماری ارائه شده است.

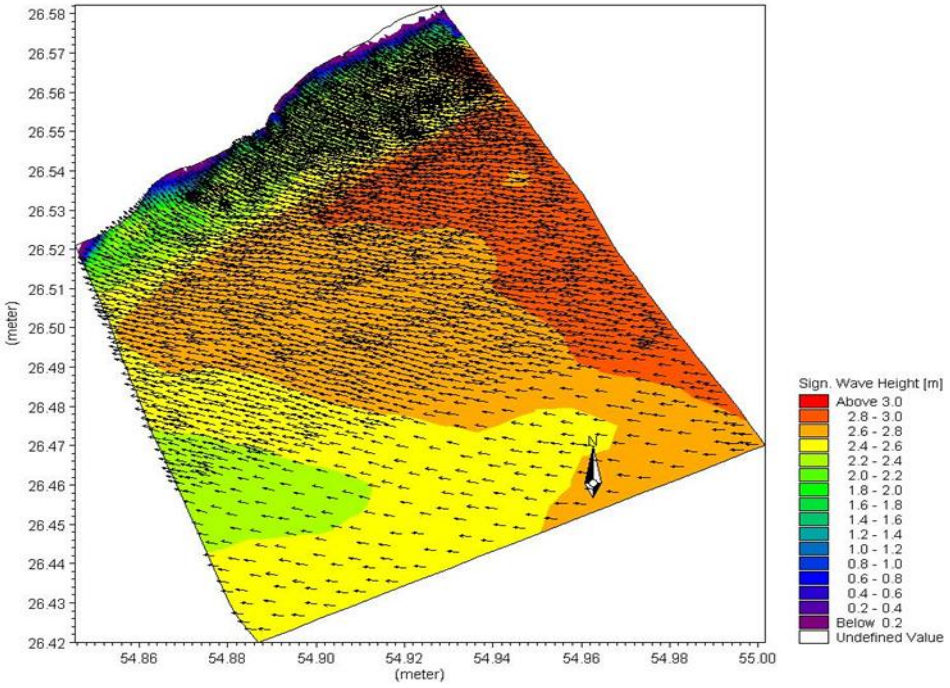
نتایج حاصل از جدول (۲) نشان می دهد برای عمق ۱۰ متری در ضریب زبری ۰/۰۰۲ ارتفاع شاخص موج برای دوره بازگشت‌های دو تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج حدود ۶/۸۹ درصد افزایش، در ضریب زبری ۰/۰۴ از دوره بازگشت دو تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج در حدود ۱۶/۹۰ درصد افزایش، و در ضریب زبری ۰/۰۸ از دوره بازگشت دو تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج در حدود ۵/۳۹ درصد افزایش داشته است. همچنین نتایج به دست آمده نشان می دهد برای عمق ۷/۵ متری در ضریب زبری ۰/۰۰۲ ارتفاع شاخص موج برای دوره بازگشت‌های دو تا ۱۰۰ ساله حدود ۸/۸۷ درصد افزایش، در ضریب زبری ۰/۰۴ از دوره بازگشت دو تا صد ساله ارتفاع شاخص موج در حدود ۷/۷۷ درصد افزایش، و در ضریب زبری ۰/۰۸ از دوره بازگشت دو تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج در حدود ۷/۵۳ درصد افزایش یافته است. بررسی نتایج به دست آمده نشان می دهد در دوره بازگشت های مختلف، با افزایش ضریب زبری ارتفاع شاخص موج کاهش یافته است.

جدول ٤- تغییرات امواج طراحی با دوره بازگشت‌های مختلف برای کلیه ضرایب زبری بستر (جهت ۲٤۷/۵)

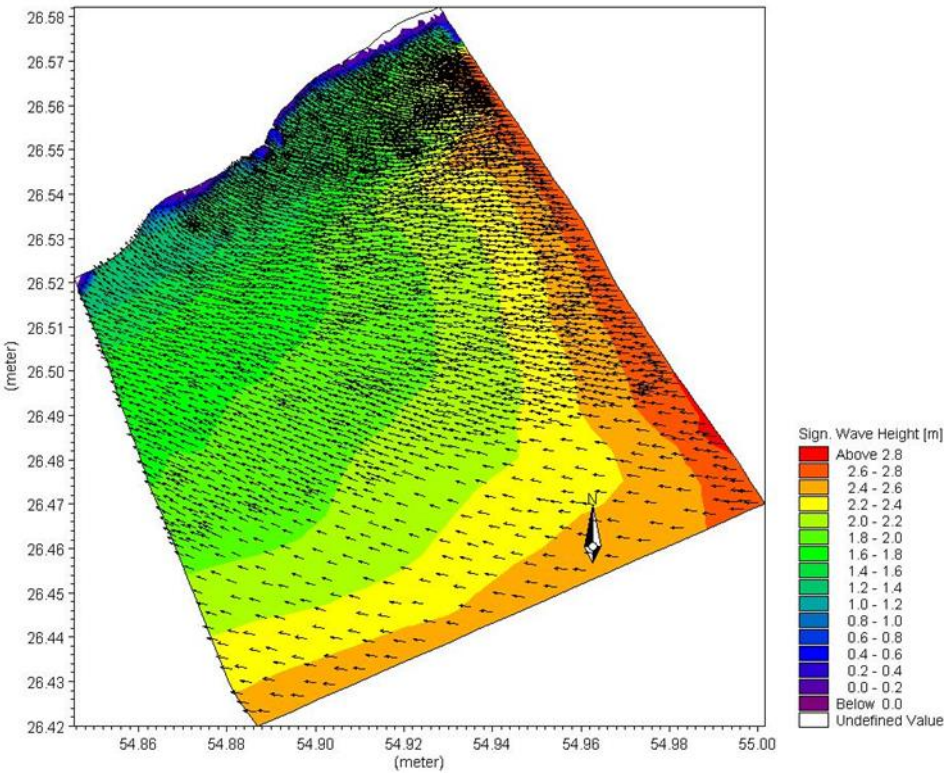
ضریب زبری بستر مانینگ	عمق آب=۷/۵-		عمق آب=۱۰-	
	ارتفاع شاخص موج (متر)	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)	دوره بازگشت (سال)
	۰/۵۵	۲	۲/۷۱	۲
	۰/۵۵	۵	۲/۷۶	۵
۰/۰۰۲	۰/۵۵	۱۰	۲/۷۹	۱۰
	۰/۵۵	۲۵	۲/۸۳	۲۵
	۰/۵۵	۵۰	۲/۸۶	۵۰
	۰/۵۵	۱۰۰	۲/۸۸	۱۰۰
	۰/۶۲	۲	۲/۲۱	۲
	۰/۶۶	۵	۲/۲۴	۵
۰/۰۴	۰/۶۸	۱۰	۲/۲۷	۱۰
	۰/۷۱	۲۵	۲/۲۹	۲۵
	۰/۷۳	۵۰	۲/۳۱	۵۰
	۰/۷۴	۱۰۰	۲/۳۲	۱۰۰
	۰/۵۵	۲	۱/۹۵	۲
	۰/۵۹	۵	۱/۹۹	۵
	۰/۶۱	۱۰	۲/۰۱	۱۰
۰/۰۸	۰/۶۳	۲۵	۲/۰۳	۲۵
	۰/۶۵	۵۰	۲/۰۵	۵۰
	۰/۶۶	۱۰۰	۲/۰۶	۱۰۰

جدول ۵- تغییرات امواج طراحی با دوره بازگشت‌های مختلف برای کلیه ضرایب شکست موج (جهت ۲٤۷/۵ درجه)

ضریب شکست موج	عمق آب=۷/۵-		عمق آب=۱۰-	
	ارتفاع شاخص موج (متر)	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)	دوره بازگشت (سال)
	۰/۵۷	۲	۲/۴۲	۲
	۰/۶۱	۵	۲/۵۹	۵
	۰/۶۳	۱۰	۲/۶۸	۱۰
	۰/۶۶	۲۵	۲/۷۸	۲۵
۰/۴	۰/۶۷	۵۰	۲/۸۵	۵۰
	۰/۶۹	۱۰۰	۲/۹۲	۱۰۰
	۰/۶۲	۲	۲/۷۰	۲
	۰/۶۶	۵	۲/۸۹	۵
	۰/۶۸	۱۰	۲/۹۹	۱۰
	۰/۷۱	۲۵	۳/۱۱	۲۵
۰/۸	۰/۷۳	۵۰	۳/۱۹	۵۰
	۰/۷۴	۱۰۰	۳/۲۶	۱۰۰
	۰/۶۲	۲	۲/۷۰	۲
	۰/۶۶	۵	۲/۸۹	۵
	۰/۶۸	۱۰	۲/۹۹	۱۰
	۰/۷۱	۲۵	۳/۱۱	۲۵
	۰/۷۳	۵۰	۳/۱۹	۵۰
۱/۲	۰/۷۵	۱۰۰	۳/۲۶	۱۰۰

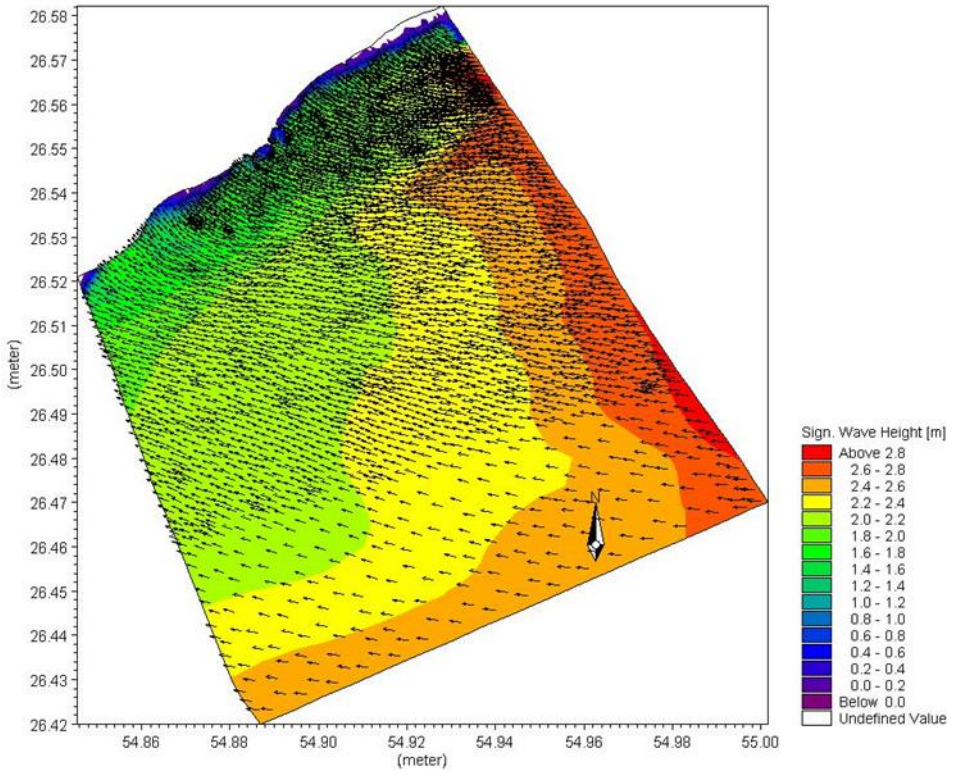


(الف)

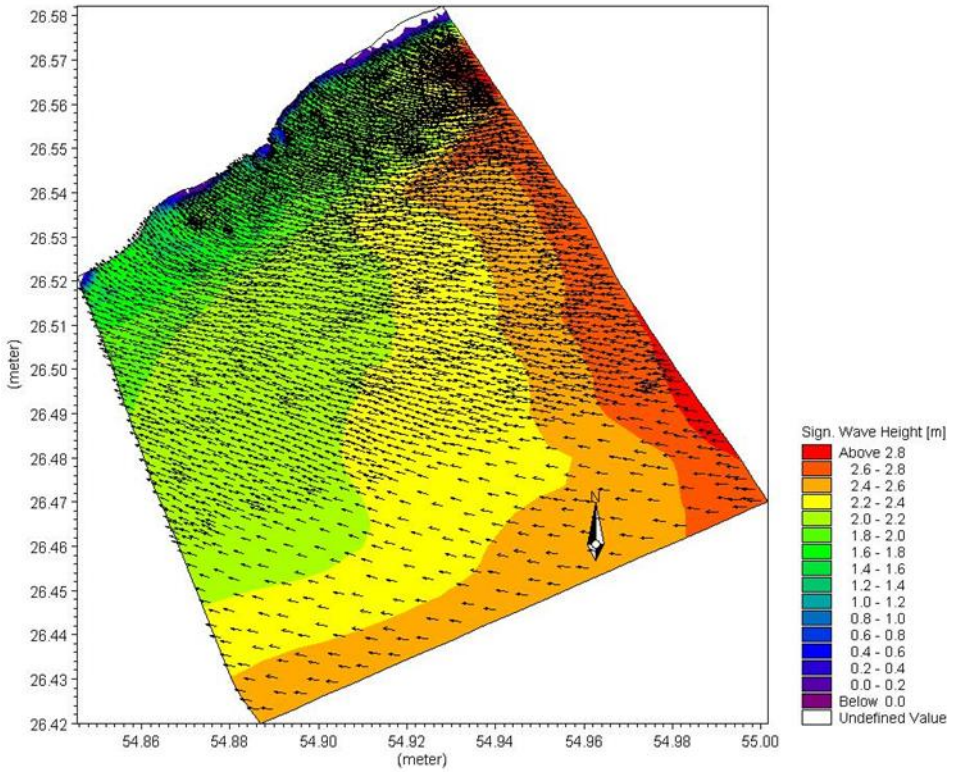


(ب)

شکل ٦- انتشار و انکسار امواج در محدوده بندر در حین طوفان شرقی شکل الف) kn=۰/۰۰۲
شکل ب)kn= ۰/۰۸



(الف)



(ب)

شکل ۷- انتشار و انکسار امواج در محدوده بندر در حین طوفان شرقی، شکل الف) $\gamma = 0.8$، شکل ب) $\gamma = 1.2$

بررسی تأثیر ضریب زبری بستر و ضریب شکست موج بر الگوی انتشار امواج ناشی از باد

در شکل(۶) نمونه‌ای از نتایج حاصل از تأثیر ضریب زبری بستر روی الگوی انتشار امواج ناشی از باد ارائه شده است.

نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان می‌دهد در طوفان‌های غربی (طوفان‌های جهت ۲۷۰ درجه) افزایش ضریب زبری بستر موجب کاهش ارتفاع شاخص موج در نقاط موردمطالعه گردیده است. همچنین همان‌طور که شکل‌های دوبعدی انتشار موج نشان می‌دهند افزایش ضریب بستر موجب گردید که خطوط تراز ارتفاع موج منظم‌تر گردند و امواج به‌صورت موازی با یکدیگر درآیند. به‌بیان‌دیگر افزایش اصطکاک بستر موجب کاهش انرژی امواج و همچنین افزایش نظم الگوی انتشار آن‌ها شده است. نکته مهم دیگر آن است که کاهش اصطکاک بستر اثری خطی بر کاهش ارتفاع امواج ندارد. بدین معنی که اختلاف ارتفاع موج در ضرایب ۰/۰۰۲ و ۰/۰۱ کمتر از ضرایب ۰/۰۴ و ۰/۰۸ بود؛ این مسئله نشان‌دهنده آن است که انتخاب ضرایب کمتر از ۰/۰۱ اثر قابل‌توجهی بر روند انتشار امواج ندارد.برخلاف طوفان‌های غرب و جنوب‌غرب، بردارهای انتشار امواج در طوفان‌های شرقی تمایل بیشتری برای گردش به سمت ناحیه ساحلی نشان می‌دهند. ضرایب زبری بستر در طوفان‌های این جهت اثر خود را بیشتر نشان دادند. در اینجا برخلاف دو طوفان قبلی خطوط تراز دوبعدی با افزایش ضریب زبری بستر به‌صورت موازی با یکدیگر (و عمود بر ساحل) درنیامده و تا حد زیادی ساختار نامنظم خود را حفظ نمودند، اما افزایش این ضریب بر کاهش نامنظم بودن الگوی انتشار امواج مؤثر بوده است. در طوفان‌های غربی (امواج جهت ۲۷۰ درجه) تغییرات ضریب شکست موج اثر قابل‌توجهی بر الگوی انتشار امواج نداشت. در اینجا ساختار شمارگرها و بردارهای انتشار موج تقریباً ثابت مانده است. نکته مهم دیگر آنکه با حرکت از عمق زیاد به کم میزان افت ارتفاع موج قابل‌توجه می‌باشد. این امر منطقی بوده، چراکه در اعماق کمتر فرآیند شکست امواج اثر خود را بیشتر بر کاهش انرژی و متعاقباً ارتفاع امواج نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحقیق به صورت زیر خلاصه می‌گردد.

- ✓ تغییرات ضریب زبری بستر بر تفرق امواج و الگوی انتشار امواج، محسوس‌تر و چشمگیرتر از ضریب شکست موج می‌باشد.
- ✓ زبری بستر اثرات قابل توجهی بر کاهش و یا افزایش امواج طراحی دارد. اما صرفاً مقادیر کوچکتر ضرائب شکست موج (ضرائب ۰/۴ و ۰/۸) می‌توانند منتج به اختلاف معنادار در امواج طراحی گردند.
- ✓ مشخص گردید که جهت موج اثرات قابل توجهی بر امواج طراحی دارد. با توجه به ثابت نگاه‌داشتن ارتفاع و پریود امواج طراحی در این تحقیق، مشاهده گردید که طوفان‌های شرقی تلاطم بسیار بالاتر و متعاقباً امواج طراحی بزرگتری نسبت به طوفان‌های غرب و جنوب‌غرب بوجود می‌آورند.
- ✓ با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته دوره بازگشت مناسب برای طراحی، دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله می‌باشد. در این دوره‌های بازگشت اختلاف امواج طراحی با دوره‌های قبل و بعدی محسوس‌تر بود. ضمن آنکه ضرائب واسنجی بیشتر در این دو دوره بازگشت اثر خود را نشان دادند.

قدردانی

بدینوسیله نویسندگان این مقاله از دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر به جهت ایجاد شرایط انجام تحقیق حاضر ، سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع

۱- بهلولی، ا.، منتظری، م. و ا. طاهری۱۳۹۳ . شبیه‌سازی الگوی جریان‌های ناشی از باد در دریای خزر با استفاده از مدل PMO Daynamic . یازدهمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی. صفحه ۱۸ تا ۳۱. تهران.

۲- بی‌نام. ۱۳۸۷. مدل‌سازی امواج دریاهای ایران، جلد دوم: خلیج‌فارس و دریای عمان، تهران.

۳- چگینی، و.، معینی، م.ه. و ا. اعتماد شهیدی. ۱۳۸۹. تخمین امواج حدی در منطقه عسلویه با استفاده از اطلاعات ایستگاه بندر دیر و مدل عددی SWAN هشتمین کنفرانس بین المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، تهران.

۴- رنجی، ز. و م. سلطانپور.۱۳۹۳ . تدقیق مدل هیدرودینامیک جریان خلیج‌فارس با استفاده از واسنجی خودکار یازدهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی. تهران.

۵- صادقی‌فر، ط.، ترابی آزاد، م. ، حسنی، م و ح. رسولی۱۳۹۳.. پیش بینی ارتفاع موج ساحلی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بازگشتی. یازدهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی. تهران.

۶- قربانی‌طالقانی، م. و ع.ا. گلشنی.۱۳۸۹ . مطالعه اقلیم موج در بندر امیرآباد با اجرای مدل محلی MIKE21-SW و روش‌های نیمه تجربی. هشتمین کنفرانس بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی.تهران.

۷- مرتضی پور، م.، چگینی، و.، آزرم آسا، ع.، و ب.لایقی. ۱۳۸۹. مدل‌سازی عددی موج آبهای کم عمق در نواحی ساحلی دریای عمان (خلیج چابهار). نهمین کنفرانس بین المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی. تهران.

8- Anonymous 2009. MIKE 21 Spectral Waves FM Module, User Guide. DHI, Denmark, 116 p.

9- Boccotti, P. 2013. Field verification of quasi-determinism theory for wind waves interacting with vertical breakwater. Journal of Waterway Port Coastal & Ocean Engineering, 139(5): 358–364.

10- Boccotti, P., Arena, F., and V.Fiamma 2013. Distributions of Wave Heights in Time Domain in Stationary Sea States. Journal of Waterway Port Coastal & Ocean Engineering, 139(3): 147–156.

11- Dupuis, K. and A.Anis (2013). Observations and modeling of wind waves in a shallow estuary: Galveston bay, Texas. journal of waterway port coastal & ocean engineering, 139(4): 314–325.