

بررسی اثر ضرائب شکست موج و زبری بستر بر روی الگوی انتشار امواج ناشی از باد در نواحی نزدیک ساحل (مطالعه موردی بندر لنگه)

رضا فرشاد^۱، مرتضی بختیاری^۲

۱- کارشناس ارشد سازه های آبی، مهندسین مشاور پورآب

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۲۵

چکیده

امواج از جمله پارامترهای مهم در طراحی سازه های ساحلی و دریایی محسوب می شوند. برای طراحی این قبیل سازه ها نیاز به شناخت و تعیین موج طرح سازه می باشد. یکی از پارامترهای مهم و اثرگذار بر الگوی انتشار امواج و همچنین موج طرح سازه، ضرائب کالیبراسیون می باشد. تعیین مقادیر مناسب برای این ضرائب بسیار حیاتی و مهم می باشد. 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 بازگشت های مختلف می باشد. با توجه تجربیات حاصل از پروژه های مطالعاتی و تحقیقاتی انجام شده در زمینه مدل سازی و برآورد اقلیم موج در سواحل کشور، مدل ریاضی مورد استفاده در این تحقیقات جهت مدلسازی مشخصه های امواج، مدل طیفی موج SW از بسته نرم افزاری مایک ۲۱ می باشد. اطلاعات موج ورودی شامل ارتفاع، زمان تناوب غالب و جهت متوسط به صورت سری زمانی در مرزهای باز استفاده شده است که اطلاعات مورد نیاز از پروژه ISWM اخذ شده است. با توجه به اهمیت مدلسازی امواج و پیش بینی امواج طراحی در منطقه استراتژیک خلیج فارس و همچنین با در نظر داشتن اهمیت بنادر جنوبی کشورمان، بندر لنگه و محدوده مجاور آن برای مدلسازی انتشار امواج در نظر گرفته شده تا نحوه انتشار امواج و همچنین اثر ضرائب شکست موج و زبری بستر بر امواج بدست آید. نتایج تحقیق حاضر نشان می دهد که تغییرات ضریب زبری بستر بر تفرق امواج و الگوی انتشار امواج، محسوس تر و چشمگیرتر از ضریب شکست موج می باشد. تغییرات این ضریب می تواند نظم الگوی انتشار امواج مدل های محلی را برهم بریزد. زبری بستر اثرات قابل توجهی بر کاهش و یا افزایش امواج طراحی دارد. اما مقادیر کوچکتر ضرائب شکست موج (کمتر از ۰/۸) می توانند 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 اندازه گیری میدانی توصیه می شود که تغییرات ضریب زبری بستر بر مدل انتشار موج مطالعه گردد.

واژه های کلیدی: انتشار امواج، مدل SW، مایک ۲۱، ضرائب کالیبراسیون

مقدمه

می باشند. شناخت امواج دارای زوایای مختلفی می باشد که الگوی انتشار آن از مهم ترین آنها می باشد. در تحقیق حاضر اثر ضرائب شکست و زبری بستر به عنوان دو عامل موثر بر روی الگوی انتشار امواج ناشی از باد مورد بررسی قرار گرفته است. مدل ریاضی مورد استفاده در این تحقیق جهت مدلسازی مشخصه های امواج، مدل طیفی موج SW از بسته نرم افزاری مایک ۲۱ می باشد.

جمله مهم ترین مسائل پیش روی کشورهای دارای سواحل دریایی بهره برداری از منابع آن مطرح می باشد نظر به اهمیت صنایع مختلف وابسته به دریا، لزوم شناخت پارامترهای وابسته بسیار حائز اهمیت می باشد. یکی از این پارامترها امواج می باشند که در طراحی سازه های مختلف ساحلی و فراساحلی دارای اهمیت

مختصات جغرافیایی ۵۳° ۵۴' طول شرقی و ۳۳° ۲۶' عرض شمالی و در حال حاضر دارای ۱/۵ کیلومتر موج شکن سنگی و در حدود پانصد متر اسکله تجاری می باشد. این بندر در سواحل استان هرمزگان و در حدود ۱۶۰ کیلومتری جنوب غربی بندرعباس واقع شده است. در شکل (۱) محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است.

با توجه به اهمیت استراتژیک خلیج فارس و همچنین بنادر جنوبی ایران که در مجاورت آن قرار دارند، در این تحقیق مدلسازی انتشار امواج در این مرز آبی مهم و یکی از مهمترین بنادر واقع در سواحل آن، یعنی بندر لنگه، صورت خواهد پذیرفت. بندر لنگه از مهم ترین بنادر استان هرمزگان می باشد که دارای فعالیت توأم تجاری و مسافری می باشد. این بندر در



شکل ۱- محل تقریبی محدوده مورد مطالعه (بندر لنگه) در نوار ساحلی استان هرمزگان و خلیج فارس

دریای خزر را اجرا کردند و پس از مقایسه نتایج خروجی های این مدل با داده های بویه، مدلی را معرفی کردند که بیشترین همخوانی را با داده های اندازه گیری داشت. آنها از روشهای نیمه تجربی CEM، SPM و SMB برای تعیین ارتفاع و پریرود موج و به طور کل پیش بینی مشخصات موج استفاده کردند [۷].

ایشان نتیجه گیری نمودند که در میان روش های نیمه تجربی، روشهای SPM و CEM به ترتیب دارای کمترین و بیشترین انحراف در پیش بینی مشخصه های موج می باشد. همچنین از بین روشهای مختلف نیمه تجربی و طیفی ذکر شده، مناسب ترین روش جهت پیش بینی مشخصات امواج در این منطقه روش SPM بوده است. با مقایسه گلموج های حاصل از روش های عددی، نیمه تجربی و نیز بویه ها این نتیجه بدست آمد که روش عددی جهت غالب را دقیق تر پیش بینی می کند [۷].

چگینی و همکاران در سال ۱۳۸۹ از مدل عددی SWAN برای شبیه سازی امواج در منطقه

مروری بر تحقیقات گذشته

اخیراً تلاش های زیادی انجام شده است تا محدودیت عمق را در مدل ها کاهش دهند در آب کم عمق اندرکنش غیرخطی سه تایی امواج اهمیت می یابد و بنابراین لازم است این فرآیند نیز در این مدل ها فرمول بندی شود. مدل طیفی جهت دار که ابرئو در سال ۱۹۹۲ به صورت آماری ارائه نمود، اولین قدم در این زمینه بود. در این مدل فقط امواج هم راستا می توانستند در اندرکنش سه تایی شرکت کنند و پراکنش امواج نیز در نظر گرفته نشده بود. این محدودیت اخیر عیب بزرگی بود زیرا موجب می شد که انرژی به صورت یک سوپه به سمت هم آهنگ ها منتقل شود در حالی که در واقع این انتقال انرژی یک سوپه نیست و در نتیجه رفتار بخش فرکانس های بالای طیف غیرواقعی مدل می شد. [۹].

طالقانی و گلشنی در سال ۱۳۸۹ در مطالعه خود، مدل نسل سوم موج SW از نرم افزار مایک ۲۱ و روش های نیمه تجربی در محدوده بندر امیرآباد در

بهلولی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده مدل PMO Dynamic اقدام به شبیه‌سازی الگوی جریان‌های ناشی از باد در دریای خزر پرداختند. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت و واسنجی و همچنین مقایسه نتایج با اطلاعات میدانی نشان می‌دهد این مدل می‌تواند نتایج قابل قبول را نشان می‌دهد [۱].

Dupuis and Anis (۲۰۱۲)، در تحقیقی اقدام به مقایسه نتایج حاصل از روابط تجربی و مدل ریاضی در محیط آب‌های کم عمق جهت شناخت خصوصیات امواج ناشی از باد در خور گاستون تگزاس پرداختند. در تحقیق انجام شده، 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 اگر چه نتایج مدل این مقدار را کمتر از داده‌های برداشت شده میدانی برآورد نموده است [۱۲].

Boccotti (۲۰۱۳)، در تحقیقی با استفاده از تئوری شبه جبری (QD) 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 مورد استفاده و داده‌های میدانی دارد [۱۰].

Boccotti and et al (۲۰۱۳) در تحقیقی به مطالعه توزیع ارتفاع‌های موج در حوزه زمان پرداختند ایشان با ثبت ۶۳۰۰۰۰۰ داده هد فشاری زیر سطح آب که توسط ۲۶ ردیف مبدل تبدیل فشار به ارتفاع ثبت شده بود اقدام به انجام این مطالعه نمودند [۱۰].

نگاهی اجمالی به تحقیقات گذشته نشان می‌دهد تا کنون در خصوص ضرائب تأثیرگذار بر الگوی انتشار جریان تحقیق جامعی صورت نگرفته است. لذا این

عسلویه استفاده کردند. داده‌های باد ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک بندر دیر برای انرژی باد ورودی به مدل به کار گرفته شدند. تحلیل مقادیر حدی امواج با استفاده از مجموعه داده‌های شبیه‌سازی شده انجام گرفتند. نتایج نیز با نتایج تحلیل مقادیر حدی ثبت شده در آن نقطه مقایسه شدند. نتایج حاصل از مطالعات آنها نشان داد که از داده‌های ایستگاه سینوپتیک و نیز مدل عددی SWAN می‌توان جهت شبیه‌سازی امواج و تخمین ارتفاع موج حدی با دقت قابل قبول، در این منطقه استفاده نمود [۳].

مرتضی پور و همکاران در سال ۱۳۸۹ با استفاده از مدل SWAN، امواج آب‌های کم عمق نواحی ساحلی دریای عمان (خلیج چابهار) را مدل نمودند. آنها با استفاده از شرایط مرزی فراهم شده از شبیه‌سازی یک مدل درشت توسط SWAN، وضعیت دریا را در نواحی آب کم‌عمق دریای عمان مدل نمودند و با اندازه‌گیری - های میدان باد و داده‌های موج بویه سازمان بنادر و دریانوری (بویه چابهار) مقایسه نمودند. دوره زمانی مدلسازی آنها یک بازه ۷ روزه از ۹ تا ۱۵ فوریه ۲۰۰۷ بود. نتایج حاصل از مطالعه آنان نشان داد که به طور کلی توانایی مدل در تخمین ارتفاع و پریود امواج منطقه خوب بوده و تطابق کیفی مناسبی بین روند تغییرات مشخصه‌های امواج بدست آمده از مدل و مشخصه‌های اندازه‌گیری شده توسط بویه برقرار است [۵].

صادقی‌فر و همکاران (۱۳۹۳)، در تحقیقی به پیش - بینی ارتفاع موج ساحلی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بازگشتی در دریای خزر پرداختند. نتایج حاصل از تحقیق نشان دهنده مطابقت بالای مقادیر اندازه - گیری شده و پیش‌بینی شده می‌باشد [۵].

رنجی و همکاران (۱۳۹۳)، در تحقیقی با استفاده از مدل Mike 21 اقدام به مدلسازی هیدرودینامیک جریان خلیج فارس نمودند. مدلسازی انجام شده از نوع دو بعدی میانگین در عمق صورت گرفته است و حاکی از دقت بالای این مدل در مدلسازی شرایط جریان بوده است [۲].

پراکندگی زیادی بوده و اغلب ساعات روزانه و غیرتعطیل را پوشش نمی‌دهد و به دلیل همین عدم پیوستگی، نمی‌تواند در مدلسازی‌ها مورد استفاده قرار گیرد. در پروژه مدل‌سازی امواج آب‌های ایران از آمار باد میدان^۱ ECMWF اصلاح شده به عنوان باد ورودی به مدل استفاده شده است. داده‌های محاسباتی ECMWF نتایج یک مدل دوبردی هواشناسی با گام زمانی شش ساعت با فواصل مکانی $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ می‌باشند. این داده‌ها جهت استفاده در پروژه ISWM درون‌یابی شده و در شبکه‌ای با فواصل مکانی $0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$ قرار گرفتند. مقایسه جهت باد غالب پروژه ISWM در بازه زمانی بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲ با آمار باد ایستگاه سینوپتیک بندر لنگه، نشان می‌دهد که از لحاظ مقدار میانگین سرعت باد، نتایج این پروژه به مقدار میانگین سرعت باد ایستگاه سینوپتیک بندر لنگه نزدیک بوده و این امر نشان از قابل اطمینان بودن بزرگی آمار باد ISWM دارد که حاصل این مدلسازی برای باد منطقه مورد مطالعه در شکل (۲) ارائه شده است. [۴].

تحقیق می‌تواند جبران کننده این کاستی تحقیقات گذشته باشد [۸].

مواد و روش‌ها

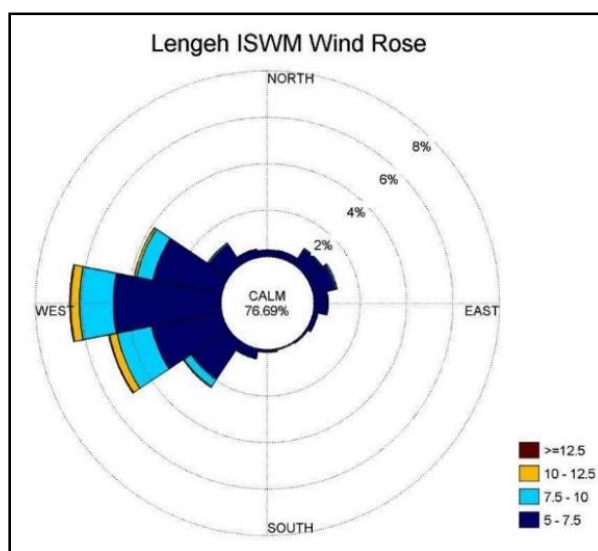
معرفی و انتخاب منابع اطلاعات آمار باد و اطلاعات باد

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. به منظور 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، مورد بررسی قرار گرفته است. این منابع شامل موارد زیر می‌باشند:

- آمار ایستگاه سینوپتیک بندر لنگه
- نتایج مدل‌سازی امواج دریاهای ایران

ISWM

آمار ایستگاه سینوپتیک بندر لنگه بازه زمانی به مراتب طولانی‌تری را شامل می‌شود اما این آمار دارای

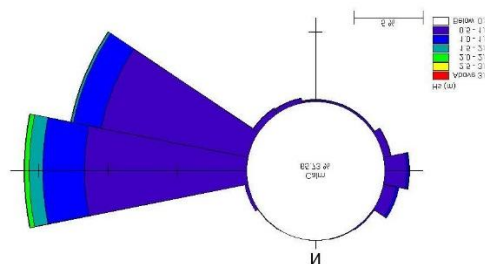


شکل ۲- گلباد حاصل از آمار باد پروژه مدل‌سازی امواج دریاهای ایران در بندر لنگه طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲ (مدلسازی امواج آب‌های ایران، ۱۳۸۷)

اطلاعات موج

در طی سالیان گذشته سازمان بنادر و دریانوردی، به عنوان اصلی ترین متولی بخش دریایی کشور پروژه های متعددی را در زمینه مهندسی سواحل و سازه های دریایی تعریف نموده است. یکی از این پروژه ها با عنوان پایش و مطالعات شبیه سازی به بررسی پدیده های هیدرو دینامیک و رسوب در نوار ساحلی کشور ایران (در جنوب و شمال) اختصاص دارد. نتایج حاصل از این قبیل مطالعات برای امور تحقیقاتی و اجرایی بسیار مفید و راهبردی می باشند. تا زمان انجام مطالعه حاضر، صرفاً نتایج پروژه مدلسازی امواج دریا های ایران در دسترس محققین قرار دارد و طبیعتاً در صورت دسترسی به اطلاعات سایر پروژه ها می توان از آنها استفاده نمود. در اینجا برای اطلاعات موج آب عمیق از نتایج پروژه ISWM استفاده می شود.

نتایج مدلسازی ISWM می تواند به عنوان یکی از منابع اطلاعاتی اصلی که به نحو مناسبی شامل اطلاعات زمانی و مکانی از اقلیم موج می باشد، در تعیین مشخصات امواج در نواحی مختلف مورد استفاده قرار گیرد. برای انجام شبیه سازی های امواج مربوط به محدوده بندر لنگه در تحقیق حاضر، از اطلاعات موج ISWM به عنوان شرایط مرزی استفاده شده است. گلموج های سالیانه محدوده مورد مطالعه براساس کل داده های ISWM که از نزدیک ترین نقاط موجود در این داده ها به بندر استخراج شده، و در شکل (۳) ارائه گردیده است. براساس نتایج این مدلسازی جهت موج غالب عمدتاً از سمت غرب و جنوب غرب (۲۷۰ و ۲۴۷/۵ درجه) می باشد. در ضمن حداکثر ارتفاع موج شبیه سازی شده در این مطالعات حدود ۲/۳۳ متر می باشد [۴].



شکل ۳- گلموج آب های دوردست در محدوده بندر لنگه براساس نتایج ISWM (۱۹۹۲-۲۰۰۲) [۱]

مدل مورد استفاده

مدول SW از بسته نرم افزاری MIKE21 یک مدل نسل سوم شبیه سازی فرآیندهای تولید و انتشار امواج ناشی از باد در یک پهنه آبی است. این مدل، پدیده های مربوط به تولید امواج ناشی از باد در آب عمیق نظیر شکست آب عمیق، اندرکنش چهارتایی، جفت شدگی میدان باد و موج را از یک سو و فرآیندهای مرتبط با انتشار امواج، نظیر انکسار، پشته شدن و تفرق ناشی از تغییرات عمق بستر را از سوی دیگر ملحوظ می نماید. فرآیندهای انتشار موج در آب کم عمق نظیر استهلاک

انرژی در ناحیه شکست و شکست موج نیز توسط این مدل محاسبه می گردند.

حل معادلات انرژی امواج بر مبنای روش حجم کنترلی^۱ و بر روی شبکه بندی مثلثی نامنظم صورت می گیرد که با ریز کردن ابعاد شبکه در محدوده مورد نظر، می توان برآورد بهتری از مشخصات موج بدست آورد. این مدل دارای دو نوع فرمول بندی متفاوت است:

- فرمول بندی پارامتری جهتی
- فرمول بندی کاملاً طیفی

پدیده‌هایی همچون سفیدک موج نیز در نظر گرفته می‌شود [۱۱].

معادلات اساسی پیوستگی برای مدل‌های کوچک مقیاس در دستگاه مختصات کارترین و برای مدل‌های بزرگ مقیاس 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 به صورت مش‌بندی مثلثی نامنظم می‌باشد. مبنای مدل SW برای پیش‌بینی امواج، حل معادله انتقال انرژی به صورت طیفی می‌باشد. معادلات انتقال انرژی این مدل در حالت دو بعدی به صورت زیر می‌باشد.

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\cos \theta}{C} \frac{\partial (E.C.C_g)}{\partial x} + \frac{\sin \theta}{C} \frac{\partial (E.C.C_g)}{\partial y} + \frac{C_g}{C} \left(\sin \theta \frac{\partial C}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial C}{\partial y} \right) \frac{\partial E}{\partial \theta} = S \quad (1)$$

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 دور دست محدوده بندر لنگه واقع شده و ابعاد المانها در محدوده بندر لنگه با کاهش عمق و نزدیک شدن به محدوده پروژه، کاهش می‌یابد. از آنجایی که 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 بدست آورد. ابعاد ضلع‌های هر المان از حدود ۸۵۰ متر در آب‌های عمیق تا حدود ۸۰ متر (و بعضاً کمتر) در آب‌های کم‌عمق متغیر است. [۴]

فرمول‌بندی پارامتری براساس پارامترسازی معادله پیوستگی موج می‌باشد. پارامترسازی در محدوده فرکانسی و با این فرض صورت می‌پذیرد که ممان صفرم و اول طیف موج متغیرهای وابسته هستند. براساس فرضیه کوسن و همکاران (۱۹۹۴) و یانگ، فرمول‌بندی کاملاً طیفی براساس 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

که در آن:

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

جهتی

t : زمان

x, y : مختصات دکارتی در حالت دو بعدی

f : فرکانس

θ : جهت انتشار امواج

C_g : سرعت گروهی موج

C : سرعت انتشار موج

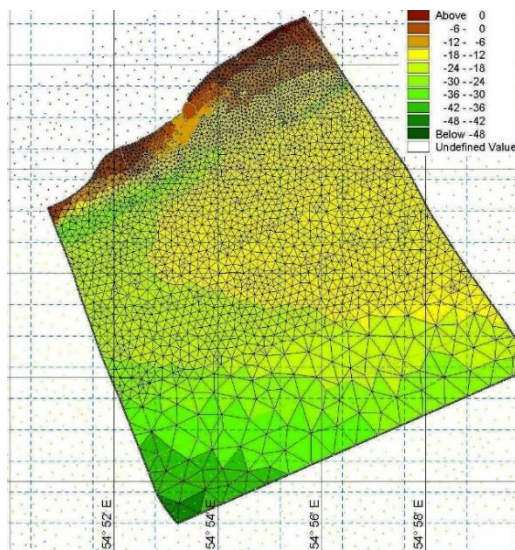
S : ترم مربوط به چاه-چشمه تولید و زوال انرژی

موج

مراحل مدلسازی

تهیه فایل عمق‌نگاشت

داده‌های مورد نیاز جهت تهیه فایل عمق‌نگاشت، موقعیت مرزهای خشکی و باز مدل و نیز هیدروگرافی محدوده مدل می‌باشد. اطلاعات فوق بر اساس داده‌های عمق‌سنجی استفاده شده در پروژه ISWM و همچنین اطلاعات هیدروگرافی که از سایر نهاد و



شکل ۴- شبکه بندی نامنظم و عمق سنجی محدوده بندر لنگه جهت انتقال امواج آب های دوردست به نزدیک ساحل

ذکر است که عوامل زیادی بر ناپایداری مدل انتشار موج تأثیر دارند که تعدادی از مهمترین آنها عبارتند از گام زمانی نامناسب، مش بندی درشت، تیز گوشه بودن شکل خط ساحل و شرایط مرزی نامناسب. همچنین یکی از پارامترهای اصلی تشخیص ناپایداری مدل عدد کورانت می باشد که می بایست کمتر از 0.5 باشد. در صورت بزرگ بودن این عدد می توان ابعاد مش بندی و یا گام زمانی حل معادلات را تغییر داد.

ضرایب کالیبراسیون مدل انتشار موج

در مدل SW از بسته نرم افزاری مایک ۲۱، ضرائب متنوعی جهت کالیبره 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 می باشد. در پروژه های مهم داخلی و ملی در سطح کشور، برای کالیبره نمودن و صحت سنجی مدل های بزرگ مقیاس و محلی از این دو ضریب استفاده می شود که نتایج کالیبراسیون ضرائب یاد شده براساس نتایج حاصل از پروژه های ملی (پروژه های ISWM و مطالعات پایش و شبیه سازی استان هرمزگان) و

شرایط مرزی و اطلاعات موج ورودی مدل

شرایط مرزی اصلی مدل انتشار موج SW شامل اطلاعات اصلی موج (ارتفاع، زمان تناوب غالب و جهت متوسط) بوده و در مرزهای باز مدل تعریف می گردد؛ به این ترتیب که مشخصات موج در فاصله بین نقاط، به روش درونیابی تعریف می گردد. مرزهای باز مدل در شرق، غرب و جنوب مدل انتشار تعریف گشته اند. این اطلاعات از پروژه ISWM گرفته شده است. با توجه به این اطلاعات سه جهت 90° ، $247/5^\circ$ و 270° درجه برای موج غالب در نظر گرفته می شود. [۴]

تعیین گام زمانی حل معادلات

تعیین گام زمانی حل معادلات یکی از مراحل مهم در برپایی مدل می باشد و مقدار آن بستگی به ابعاد شبکه بندی 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 می گردد. در مورد شبکه مورد اشاره، اجراهای اولیه نشان دهنده این بوده که در المان های ریز مجاور سواحل، بیشینه گام زمانی مورد نیاز جهت اجتناب از ناپایداری، در حدود 30 ثانیه می باشد. لازم به

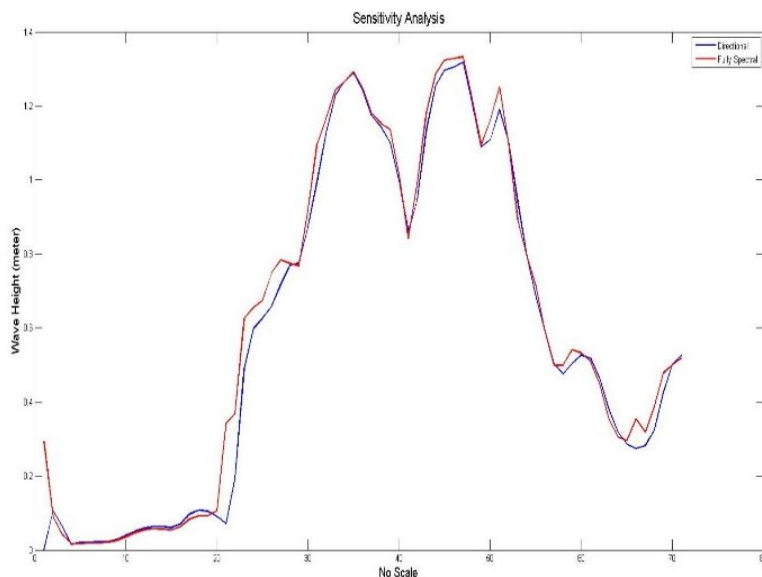
شکست موج و ضریب اصطکاک بستر مطابق با جدول (۱) تعریف می‌گردند. این مقادیر، خاطر نشان می‌سازد که مقدار پیش‌فرض نرم‌افزار مایک برای ضریب شکست موج ۰/۸ و برای ضریب زبری بستر ۰/۰۴ می‌باشد [۴].

همچنین براساس 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 یاد شده مقادیر ضریب

جدول ۱- مقادیر در نظر گرفته شده برای ضریب کالیبراسیون

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

در شکل (۵) نمونه‌ای از کالیبراسیون ضریب‌های یاد شده نشان داده شده است.



شکل ۵- کالیبراسیون مدل توسط ضریب زبری ۰,۰۰۲

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 میناء (متوسط سطح دریا‌های آزاد) مورد بررسی قرار گرفته است لازم به ذکر است دلیل انتخاب این دو عمق استفاده از نتایج کالیبراسیون مدل‌سازی پروژه ISWM بوده است که در این پروژه دو عمق ۷/۵ و ۱۰ متر از سطح میناء در نظر گرفته شده است.

بررسی تأثیر ضرائب 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 و ۱۰۰ ساله و برای بادهای با سه جهت غالب ۹۰، ۲۴۷/۵ و ۲۷۰ درجه محاسبه شده‌اند. در جداول (۲) تا (۴) نتایج حاصل از تأثیر ضرایب زبری بستر و شکست امواج بر ارتفاع شاخص امواج و در شکل‌های (۵) تا (۷) تغییرات ارتفاع موج در نقطه شاخص ۱ برای کلیه توزیع‌های آماری ارائه شده است.

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

ضریب زبری بستر	-10 عمق آب		-7.5 عمق آب	
	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)
0.002	2	3.19	2	2.48
	5	3.25	5	2.55
	10	3.30	10	2.59
	25	3.34	25	2.64
	50	3.38	50	2.67
	100	3.41	100	2.70
0.04	2	2.13	2	1.80
	5	2.28	5	1.84
	10	2.35	10	1.87
	25	2.42	25	1.90
	50	2.46	50	1.92
	100	2.49	100	1.94
0.08	2	2.04	2	1.46
	5	2.08	5	1.50
	10	2.10	10	1.51
	25	2.12	25	1.54
	50	2.14	50	1.55
	100	2.15	100	1.57

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

ضریب شکست موج	-10 عمق آب		-7.5 عمق آب	
	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)
0.4	2	2.30	2	1.70
	5	2.45	5	1.83
	10	2.54	10	1.90
	25	2.64	25	1.98
	50	2.71	50	2.04
	100	2.77	100	2.09
0.8	2	2.91	2	2.15
	5	3.12	5	2.31
	10	3.23	10	2.41
	25	3.36	25	2.51
	50	3.45	50	2.59
	100	3.52	100	2.65
1.2	2	2.92	2	2.15
	5	3.12	5	2.32
	10	3.23	10	2.41
	25	3.36	25	2.52
	50	3.45	50	2.59
	100	3.53	100	2.66

شاخص موج برای دوره بازگشت‌های ۲ ساله تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج حدود ۸/۸۷ درصد افزایش، در ضریب زبری ۰,۰۴ از دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج در حدود ۷/۷۷ درصد افزایش، و در ضریب زبری ۰,۰۸ از دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج در حدود ۷/۵۳ درصد افزایش داشته است. بررسی نتایج بدست آمده نشان می‌دهد در دوره بازگشت‌های مختلف، با افزایش ضریب زبری ارتفاع شاخص موج کاهش یافته است.

نتایج حاصل از جدول (۲) نشان می‌دهد برای عمق ۱۰ متری در ضریب زبری ۰,۰۰۲ ارتفاع شاخص موج برای دوره بازگشت‌های ۲ ساله تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج حدود ۶/۸۹ درصد افزایش، در ضریب زبری ۰,۰۴ از دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج در حدود ۱۶/۹۰ درصد افزایش، و در ضریب زبری ۰,۰۸ از دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج در حدود ۵/۳۹ درصد، افزایش داشته است. همچنین نتایج بدست آمده نشان می‌دهد برای عمق ۷,۵ متری در ضریب زبری ۰,۰۰۲ ارتفاع

جدول ۴- تغییرات امواج طراحی با دوره بازگشت‌های مختلف برای کلیه ضرائب زبری بستر (جهت ۲۴۷/۵ درجه)

ضریب زبری بستر	-10 عمق آب		-7.5 عمق آب	
	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)
0.002	2	2.71	2	0.55
	5	2.76	5	0.55
	10	2.79	10	0.55
	25	2.83	25	0.55
	50	2.86	50	0.55
	100	2.88	100	0.55
0.04	2	2.21	2	0.62
	5	2.24	5	0.66
	10	2.27	10	0.68
	25	2.29	25	0.71
	50	2.31	50	0.73
	100	2.32	100	0.74
0.08	2	1.95	2	0.55
	5	1.99	5	0.59
	10	2.01	10	0.61
	25	2.03	25	0.63
	50	2.05	50	0.65
	100	2.06	100	0.66

جدول ۵- تغییرات امواج طراحی با دوره بازگشت‌های مختلف برای کلیه ضرائب شکست موج (جهت ۲۴۷/۵ درجه)

ضریب شکست موج	-10 عمق آب		-7.5 عمق آب	
	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)
0.4	2	2.42	2	0.57
	5	2.59	5	0.61
	10	2.68	10	0.63
	25	2.78	25	0.66
	50	2.85	50	0.67
	100	2.92	100	0.69
0.8	2	2.70	2	0.62
	5	2.89	5	0.66
	10	2.99	10	0.68
	25	3.11	25	0.71
	50	3.19	50	0.73
	100	3.26	100	0.74
1.2	2	2.70	2	0.62
	5	2.89	5	0.66
	10	2.99	10	0.68
	25	3.11	25	0.71
	50	3.19	50	0.73
	100	3.26	100	0.75

برای دوره بازگشت‌های ۲ ساله تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج بدون تغییر، در ضریب زبری ۰,۰۴ از دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج در حدود ۱۲/۱۲ درصد و در ضریب زبری ۰,۰۸ از دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج در حدود ۱۹/۹۹ درصد افزایش داشته است. بررسی نتایج بدست آمده نشان می‌دهد در دوره بازگشت‌های مختلف، با افزایش ضریب زبری ارتفاع شاخص موج کاهش یافته است.

نتایج حاصل از جدول (۳) نشان می‌دهد برای عمق ۱۰ متری در ضریب زبری ۰,۰۰۲ ارتفاع شاخص موج برای دوره بازگشت‌های ۲ ساله تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج حدود ۱۶/۹۹ درصد افزایش، در ضریب زبری ۰,۰۴ از دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج در حدود ۴/۹۷ درصد افزایش و در ضریب زبری ۰,۰۸ از دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج در حدود ۵/۶۴ درصد افزایش داشته است. همچنین نتایج بدست آمده نشان می‌دهد برای عمق ۷,۵ متری در ضریب زبری ۰,۰۰۲ ارتفاع شاخص موج

جدول ۶- تغییرات امواج طراحی با دوره بازگشت‌های مختلف برای کلیه ضرایب زبری بستر (جهت ۲۷۰ درجه)

ضریب زبری بستر	-10 عمق آب		-7.5 عمق آب	
	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)
0.002	2	1.68	2	0.35
	5	1.70	5	0.37
	10	1.72	10	0.38
	25	1.73	25	0.40
	50	1.75	50	0.41
	100	1.76	100	0.42
0.04	2	1.43	2	0.31
	5	1.44	5	0.33
	10	1.46	10	0.34
	25	1.47	25	0.35
	50	1.48	50	0.36
	100	1.49	100	0.37
0.08	2	1.26	2	0.28
	5	1.27	5	0.30
	10	1.28	10	0.31
	25	1.29	25	0.32
	50	1.30	50	0.32
	100	1.31	100	0.33

جدول ۷- تغییرات امواج طراحی با دوره بازگشت‌های مختلف برای کلیه ضرائب شکست موج (جهت ۲۷۰ درجه)

ضریب شکست موج	10- عمق آب		7.5- عمق آب	
	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)
0.4	2	1.68	2	0.29
	5	1.79	5	0.31
	10	1.86	10	0.32
	25	1.93	25	0.34
	50	1.98	50	0.34
	100	2.02	100	0.35
0.8	2	1.76	2	0.30
	5	1.88	5	0.32
	10	1.95	10	0.34
	25	2.02	25	0.35
	50	2.07	50	0.36
	100	2.12	100	0.36
1.2	2	1.76	2	0.30
	5	1.88	5	0.32
	10	1.95	10	0.34
	25	2.03	25	0.35
	50	2.08	50	0.36
	100	2.12	100	0.36

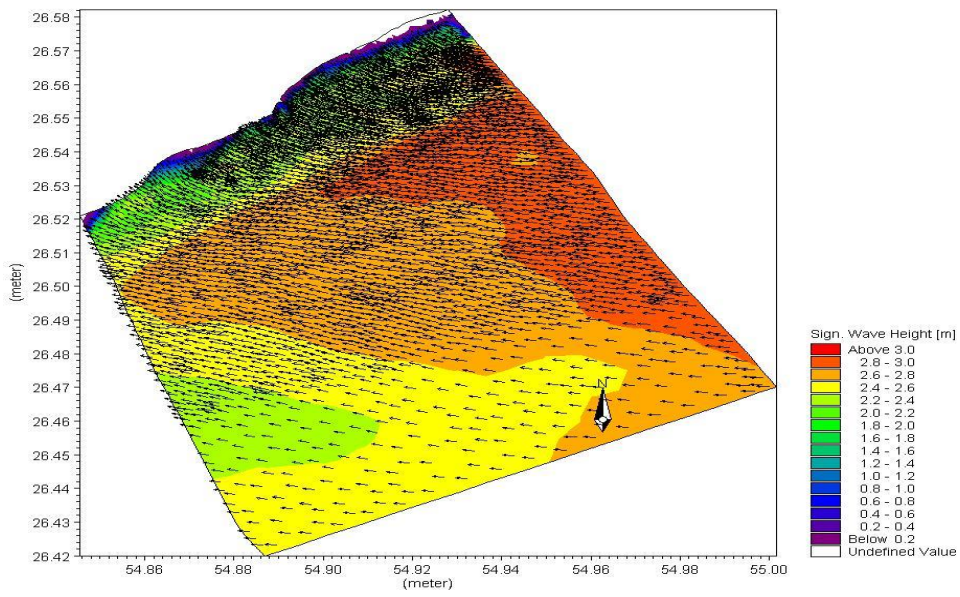
موج در حدود ۱۹/۳۵ درصد و در ضریب زبری ۰,۰۸ از دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج در حدود ۱۷/۸۵ درصد افزایش داشته است. بررسی نتایج بدست آمده نشان می‌دهد در دوره بازگشت‌های مختلف، با افزایش ضریب زبری ارتفاع شاخص موج کاهش یافته است.

بررسی تأثیر ضریب زبری بستر و ضریب شکست

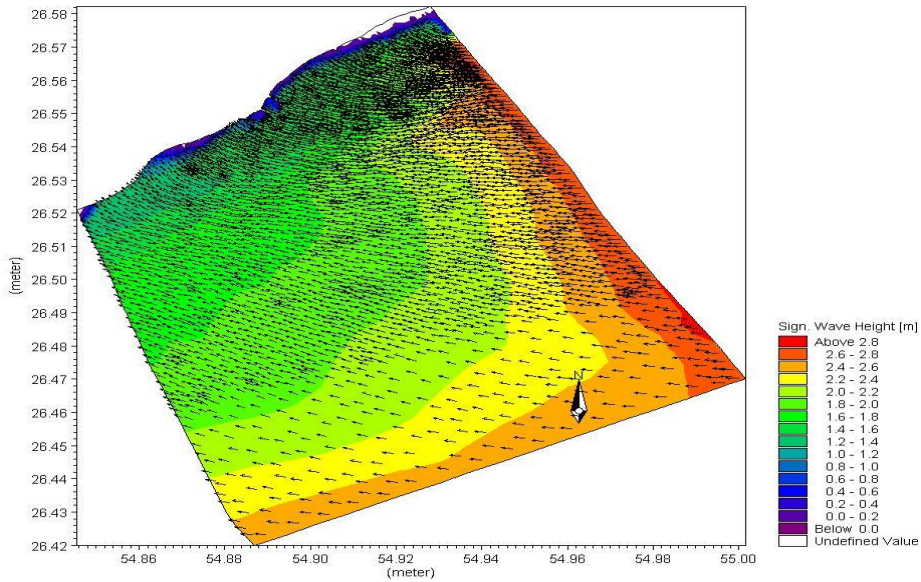
موج بر الگوی انتشار امواج ناشی از باد

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

نتایج حاصل از جدول (۴) نشان می‌دهد برای عمق ۱۰ متری در ضریب زبری ۰,۰۰۲ ارتفاع شاخص موج برای دوره بازگشت‌های ۲ ساله تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج حدود ۴/۷۶ درصد، در ضریب زبری ۰,۰۴ از دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج در حدود ۴/۱۹ درصد و در ضریب زبری ۰,۰۸ از دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج در حدود ۳/۹۶ درصد افزایش داشته است. همچنین نتایج بدست آمده نشان می‌دهد برای عمق ۷,۵ متری در ضریب زبری ۰,۰۰۲ ارتفاع شاخص موج برای دوره بازگشت‌های ۲ ساله تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص موج حدود ۲۰ درصد افزایش، در ضریب زبری ۰,۰۴ از دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله ارتفاع شاخص

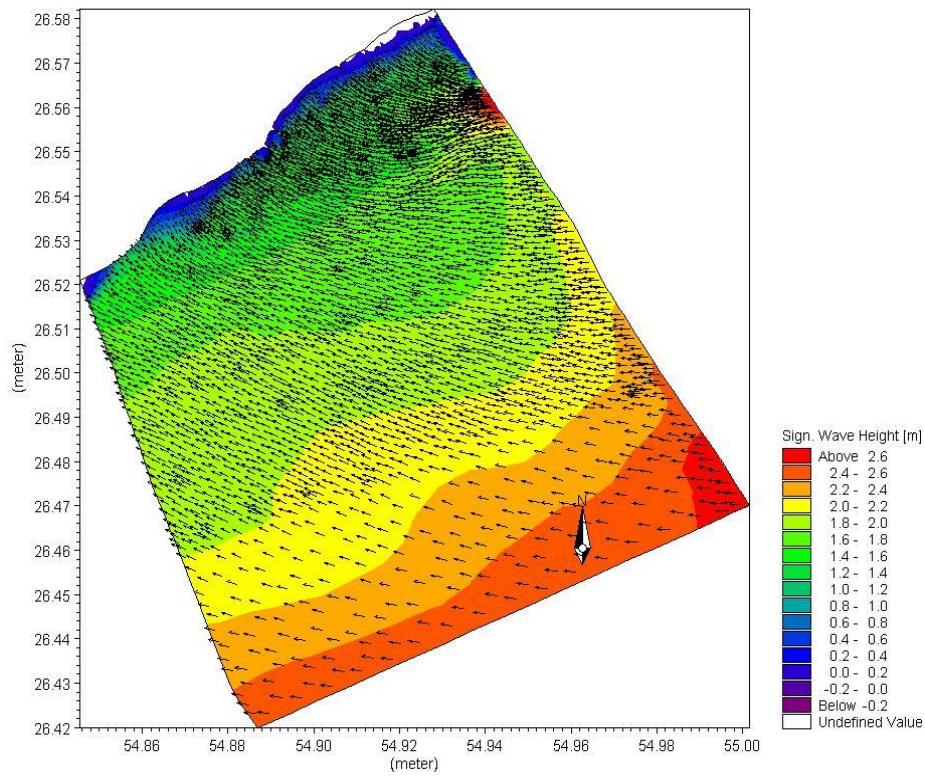


(الف)

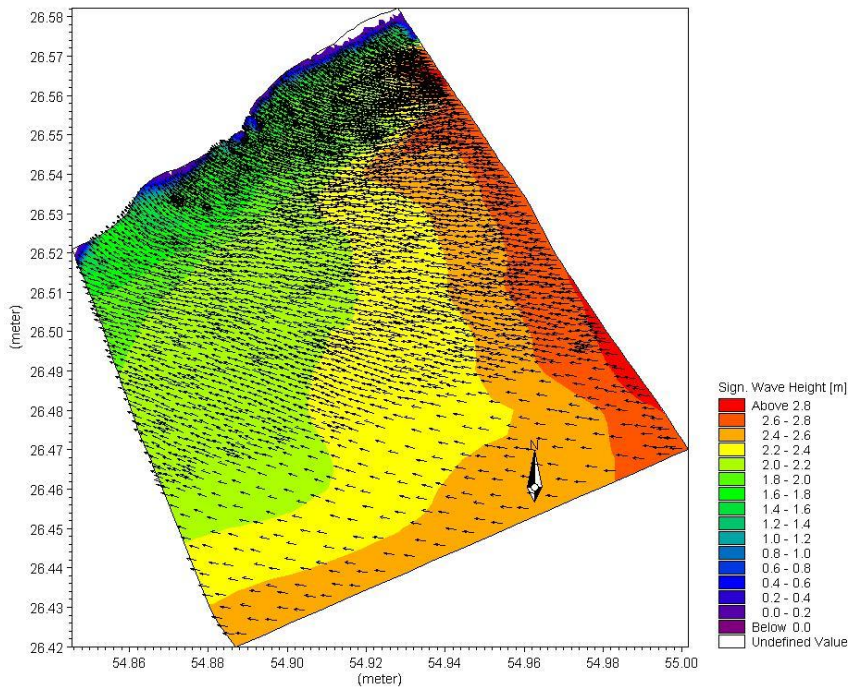


(ب)

شکل ۶- انتشار و انکسار امواج در محدوده بندر در حین طوفان شرقی، گراف الف: ($Kn=0.002$)،
گراف ب: ($Kn=0.08$)



(الف)



(ب)

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

زبری بستر در طوفان‌های این جهت اثر خود را بیشتر نشان دادند. در اینجا برخلاف دو طوفان قبلی کانتورهای دوبعدی با افزایش ضریب زبری بستر به صورت موازی با یکدیگر (و عمود بر ساحل) در نیامده و تا حد زیادی ساختار نامنظم خود را حفظ نمودند، اما افزایش این ضریب بر کاهش نامنظم بودن الگوی انتشار امواج موثر بوده است.

در طوفان‌های غربی (امواج جهت ۲۷۰ درجه) تغییرات ضریب شکست موج اثر قابل توجهی بر الگوی انتشار امواج نداشت. در اینجا ساختار کانتورها و بردارهای انتشار موج تقریباً ثابت مانده است. نکته مهم دیگر آنکه با حرکت از عمق زیاد به کم میزان افت ارتفاع موج قابل توجه می‌باشد. این امر منطقی بوده، چرا که در اعماق کمتر فرآیند شکست امواج اثر خود را بیشتر بر کاهش انرژی و متعاقباً ارتفاع امواج نشان می‌دهد.

قدردانی

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

در شکل (۶) الگوی انتشار امواج به کمک گراف‌های دو بعدی و همچنین گراف‌های تغییرات ارتفاع موج در نقاط شاخص مورد بررسی قرار گرفته 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 مورد مطالعه گردیده است. همچنین همانطور که گراف‌های دو بعدی انتشار موج نشان می‌دهند افزایش ضریب بستر موجب گردید که کانتورهای ارتفاع موج منظم‌تر گردند و امواج به صورت موازی با یکدیگر در آیند. به بیان دیگر افزایش اصطکاک بستر موجب کاهش انرژی امواج و همچنین افزایش نظم الگوی انتشار آنها شده است. نکته مهم دیگر آنست که کاهش اصطکاک بستر اثری خطی بر کاهش ارتفاع امواج ندارد. بدین معنی که اختلاف ارتفاع موج در ضرائب ۰/۰۲ و ۰/۰۱ کمتر از ضرائب ۰/۰۴ و ۰/۰۸ بود؛ این مسئله نشان‌دهنده آنست که انتخاب ضرائب کمتر از ۰/۰۱ اثر قابل توجهی 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. ضرائب

مراجع

- ۱- بهلولی، ا.؛ منتظری، م.؛ طاهری، ا.؛ ۱۳۹۳. شبیه سازی الگوی جریان‌های ناشی از باد در دریای خزر با استفاده از مدل PMO Daynamic. یازدهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی. صفحه ۱۸ تا ۳۱.
- ۲- رنجی، ز.؛ سلطانپور، م.؛ ۱۳۹۳. تدقیق مدل هیدرودینامیک جریان خلیج فارس با استفاده از واسنجی خودکار یازدهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی. صفحه ۸ تا ۱۲.
- ۳- چگینی، و.؛ معینی، م.؛ و اعتماد شهیدی، ا.؛ 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، ۴ تا ۶ آذر، تهران.
- ۴- سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۸۷. مدلسازی امواج دریا‌های ایران، جلد دوم: خلیج فارس و دریای عمان، [تهران]، ۳۳۱ صفحه.
- ۵- صادقی فر، ط.؛ ترابی آزاد، م.؛ حسنی، م.؛ رسولی، ح.؛ ۱۳۹۳. پیش بینی ارتفاع موج ساحلی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بازگشتی. یازدهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی. صفحه ۵ تا ۷.

- ۶- قربانی طالقانی، م. و گلشنی، ع.، ا. ۱۳۸۹. مطالعه اقلیم موج در بندر امیرآباد با اجرای مدل محلی MIKE21-SW و روش‌های نیمه تجربی. هشتمین کنفرانس بین المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، ۴ تا ۶ آذر، تهران.
- ۷- گلشنی، ع.ا. و تائبی، س. ۱۳۸۹. مدلسازی عددی طوفان حاره ای گنو و امواج ناشی از آن در دریای عمان. هشتمین کنفرانس بین المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، ۴ تا ۶ آذر، تهران.
- ۸- مرتضی پور، م.، چگینی، و.، آزر م آسا، ع.، و لایقی، ب. ۱۳۸۹. مدلسازی عددی موج آبهای کم عمق در نواحی ساحلی دریای عمان (خلیج چابهار). نهمین کنفرانس بین المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، ۴ تا ۶ آذر، تهران.
- 9- Abreu M., Larraza A., Thornton E. B., 1992. Nonlinear transformation of directional wave spectra in shallow water. *Journal of geographic research*, 97.
- 10- Boccotti, P., Arena, F., and Fiamma, V. (2013). "Distributions of Wave Heights in Time Domain in Stationary Sea States." *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*, 139(3), 147–156.
- 11- DHI, 2009. MIKE 21 Spectral Waves FM Module, User Guide. DHI, Denmark, 116 p.
- 12- Boccotti, P. (2013). "Field Verification of Quasi-Determinism Theory for Wind Waves Interacting with Vertical Breakwater." *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*, 139(5), 358–364.
- 13- Dupuis, K. and Anis, A. (2013). "Observations and Modeling of Wind Waves in a Shallow Estuary: Galveston Bay, Texas." *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*, 139(4), 314–325.