

بررسی تغییرات ارتفاع امواج ناشی از باد به کمک نرم افزار MIKE 21

رضا نائبی^۱، مرتضی بختیاری^{۲*}، مسعود صدری نسب^۳ و نیما شهینی کرمزاده^۴

(۱) کارشناس ارشد مهندسی سواحل.

(۲) استادیار، گروه مهندسی رودخانه و سواحل دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران.

(۳) دانشیار، گروه محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

(۴) استادیار، گروه مهندسی رودخانه و سواحل دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران.

* نویسنده مسئول: mortezabakhtiari@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۷/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۲/۲۹

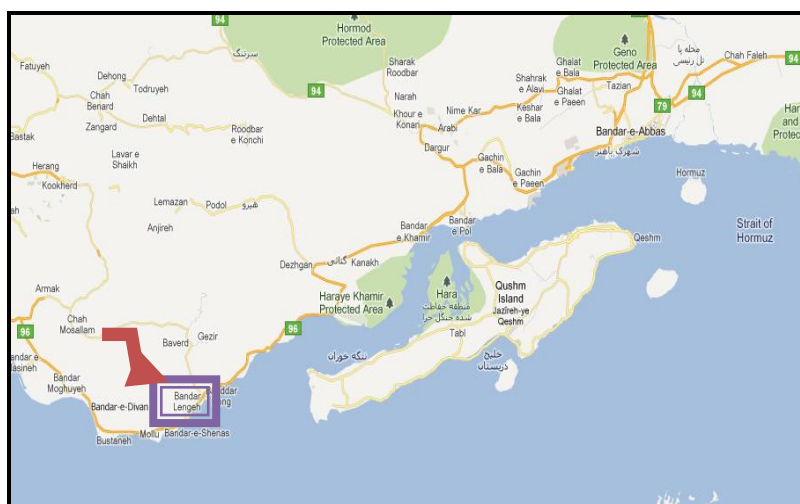
چکیده

امواج دریا از جمله مشخصه‌های اصلی پهنه‌های آبی در دنیا می‌باشند که این امواج عمدتاً توسط باد تولید می‌شوند. اهمیت بررسی امواج و شناخت اقلیم موج در مدیریت منطقه ساحلی از آنجا ناشی می‌شود که امواج عمده ترین تأثیر را بر طراحی و اجرای تمام پروژه‌های ساحلی دارند. امواج شرط مرزی اصلی در بارگذاری دینامیکی و محاسبات سازه‌ای و هیدرولیکی سازه‌های ساحلی به شمار می‌روند. از جمله مهم‌ترین پارامترهای امواج می‌توان به ارتفاع موج اشاره نمود که تحت تأثیر عوامل مختلف تغییر می‌کند. در تحقیق حاضر تغییرات این پارامتر در دوره بازگشت‌های مختلف ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله و بر اساس توزیع‌های آماری و ضرائب زبری مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور انجام تحقیق حاضر از نرم افزار MIKE21 استفاده شده است. نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد زبری بستر اثرات قابل توجهی بر کاهش و یا افزایش امواج طراحی دارد. همچنین 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 محسوس تر بوده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد در هر یک ضرائب بستر تغییرات موج طرح ۲ ساله تا ۲۰۰ ساله در حدود ۷ تا ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع امواج، دوره بازگشت و نرم افزار MIKE 21.

مقدمه

امواج از جمله 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، ضرائب کالیبراسیون می‌باشد. تعیین مقادیر مناسب برای این ضرائب 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 به اهمیت مدل‌سازی امواج و پیش‌بینی 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. به منظور مقاصد طراحی تأسیسات و اجزاء دریایی، لازم است که مشخصات امواج با استفاده از روش‌های آماری برای دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شود. در اینجا ارتفاع امواج طراحی با بکارگیری مدول یک‌بعدی EVA از نرم‌افزار MIKE ZERO براساس توزیع‌های آماری مختلف برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله محاسبه 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 مهم‌ترین بنادر استان هرمزگان می‌باشد که دارای فعالیت توأم تجاری و مسافری می‌باشد. این بندر در مختصات جغرافیایی ۵۳° ۵۴' طول شرقی و ۲۶° ۳۲' عرض شمالی و در حال حاضر دارای ۱/۵ کیلومتر موج‌شکن سنگی و در حدود پانصد متر اسکله تجاری می‌باشد. این بندر در سواحل استان هرمزگان و در حدود ۱۶۰ کیلومتری جنوب غربی بندرعباس واقع شده است.



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

قربانی طالقانی و گلشنی در سال ۱۳۸۹ در مطالعه خود، مدل نسل سوم موج SW از نرم افزار مایک ۲۱ و روش‌های نیمه تجربی در محدوده بندر امیرآباد در 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 داده‌های اندازه گیری داشت. آن‌ها از روشهای نیمه تجربی CEM، SPM و SMB برای تعیین ارتفاع و پرید موج و به طور 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 مشخصه های موج می‌باشد. همچنین از بین روش‌های مختلف نیمه تجربی و طیفی ذکر شده، مناسبترین روش جهت پیش‌بینی مشخصات امواج در این منطقه روش SPM بوده است. با مقایسه گل‌موج‌های حاصل از روش‌های عددی، نیمه تجربی و نیز بویه‌ها این نتیجه بدست آمد که روش عددی جهت غالب را دقیق تر پیش‌بینی می‌کند. صادقی فر 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 نشان دهنده مطابقت بالای مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده می‌باشد. رنجی و سلطانیپور (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. بهلولی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از 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. Dupuis and Anis (۲۰۱۳)، 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. 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. Boccotti و همکاران (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. نظر به اینکه داشتن اطلاع از خصوصیات امواج جهت مدیریت دریا و بهره‌برداری‌های لازم از آن بسیار حائز اهمیت می‌باشد لذا اقدام به تحقیق حاضر صورت پذیرفت.

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. به منظور شناخت وضعیت و تعیین الگوی توزیع باد، مراجع و منابع آماری در دسترس که می‌تواند در این شناخت کمک نماید و به‌نحو الگوی این پدیده‌ها را در محدوده طرح نشان دهد، مورد بررسی قرار گرفته است. این منابع شامل موارد: آمار ایستگاه سینوپتیک بندر لنگه و نتایج مدل‌سازی امواج دریاهای ایران ISWM می‌باشد.

مدل المان محدود

مدول SW از بسته نرم‌افزاری MIKE21 یک مدل نسل سوم شبیه‌سازی فرآیندهای تولید و انتشار امواج ناشی از باد در یک پهنه آبی است. این مدل، پدیده‌های مربوط به تولید امواج ناشی از باد در آب عمیق نظیر شکست آب عمیق، اندرکنش چهارتایی، جفت‌شدگی میدان باد و موج را از یک سو و فرآیندهای مرتبط با انتشار امواج، نظیر انکسار، پشته‌شدن و تفرق ناشی از تغییرات عمق بستر را از سوی دیگر ملحوظ می‌نماید. فرآیندهای انتشار موج در آب کم‌عمق نظیر استهلاک انرژی در ناحیه شکست و شکست موج نیز توسط این مدل محاسبه می‌شوند.

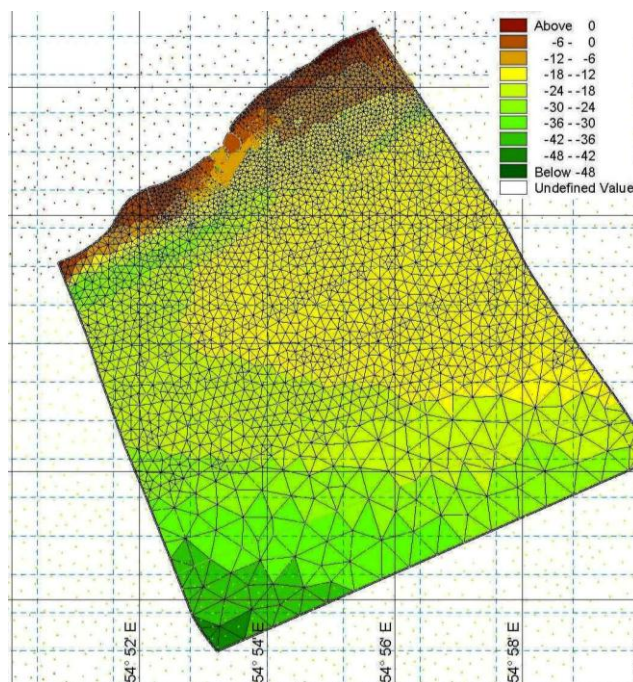
حل معادلات انرژی امواج بر مبنای روش حجم کنترلی^۱ و بر روی شبکه‌بندی مثلثی نامنظم صورت می‌گیرد که با ریزکردن ابعاد شبکه در محدوده مورد نظر، می‌توان برآورد بهتری از مشخصات موج بدست آورد. این مدل دارای دو نوع فرمول‌بندی متفاوت است: فرمول‌بندی پارامتری جهتی و فرمول‌بندی کاملاً طیفی. فرمول‌بندی پارامتری براساس پارامترسازی معادله پیوستگی موج می‌باشد. پارامترسازی در محدوده فرکانسی و با این فرض صورت می‌پذیرد که ممان صفر 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

^۱Control Volume

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 (DHI, 2009).

روند مدل‌سازی و مشخصات مدل

فرآیند مدل‌سازی انتشار موج در تحقیق حاضر شامل گام‌های اصلی به این شرح می‌باشد. مشخص‌بندی و تعریف دامنه مدل‌سازی: 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 ارگان‌های مرتبط جمع‌آوری شده است، می‌باشد. شکل ۲ داده‌های هیدروگرافی محدوده بندر را به همراه ابعاد شبکه نشان می‌دهد. 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 (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۸۷). تعریف روش حل معادلات: جهت مدل نمودن امواج ناشی از باد و همچنین افزایش دقت مدل‌سازی از روش طیفی کامل استفاده می‌شود.



شکل ۲: شبکه‌بندی نامنظم و عمق‌سنجی محدوده بندر لنگه جهت انتقال امواج آب‌های دور دست به نزدیک ساحل

تعریف گام زمانی: حداقل گام زمانی ۱۰ و حداکثر گام زمانی ۳۰ ثانیه تعریف می‌شود.

مشخصات مرزی مدل

برای مدل انتشار موج در اینجا سه مرز باز در جنوب، شرق و غرب محدوده بندر لنگه تعریف می‌شود. در هر یک از این مرزها، مشخصات امواج براساس مقادیر استخراج شده از پروژه ISWM تعریف می‌شود. این مرزها در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. برای امواج مرزی، سه جهت غالب ۹۰، ۲۴۷/۵ و ۲۷۰ درجه در نظر گرفته شده است. تعریف ضرائب کالیبراسیون: مقادیر ضرائب شکست موج و اصطکاک بستر مطابق با جدول ادامه تعریف می‌گردند. این مقادیر براساس نتایج حاصل از پروژه‌های ملی تعیین گشته‌اند.

جدول ۱: مقادیر در نظر گرفته شده برای ضریب کالیبراسیون

مقدار	ضریب کالیبراسیون
۰/۰۰۲	
۰/۰۴	زبری بستر (Kn)
۰/۰۸	

خروجی‌های مدل (جهت مقایسه نتایج): ذخیره اطلاعات خروجی به فرمت فایل مناسب (شبکه نامنظم) و با گام زمانی ۳۰ ثانیه در نظر گرفته شده تا حتی‌الامکان مشخصات امواج انتقال یافته در تمام محدوده زمانی شبیه‌سازی ذخیره شود. علاوه بر این اطلاعات مربوط به موج طرح و ارتفاع شاخص موج در دو نقطه ۱۰- و ۷/۵- متر نسبت به CD، که به ترتیب نقاط ۱ و ۲ نامگذاری می‌گردند، استخراج شده‌اند تا اثر کاهش عمق بر ضرایب کالیبراسیون و موج طرح مطالعه شود.

تعیین موج طرح

موج طرح برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله با استفاده از ماژول EVA Editor از بسته نرم‌افزاری محاسبه می‌شود.

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 می‌شود؛ به این ترتیب که مشخصات موج در فاصله بین نقاط، به روش درونیایی تعریف می‌شود. مرزهای باز مدل در شرق، غرب و جنوب مدل انتشار تعریف گشته‌اند. این اطلاعات از پروژه ISWM گرفته شده است. با توجه به این اطلاعات سه جهت ۹۰، ۲۴۷/۵ و ۲۷۰ درجه برای موج غالب در نظر گرفته می‌شود.

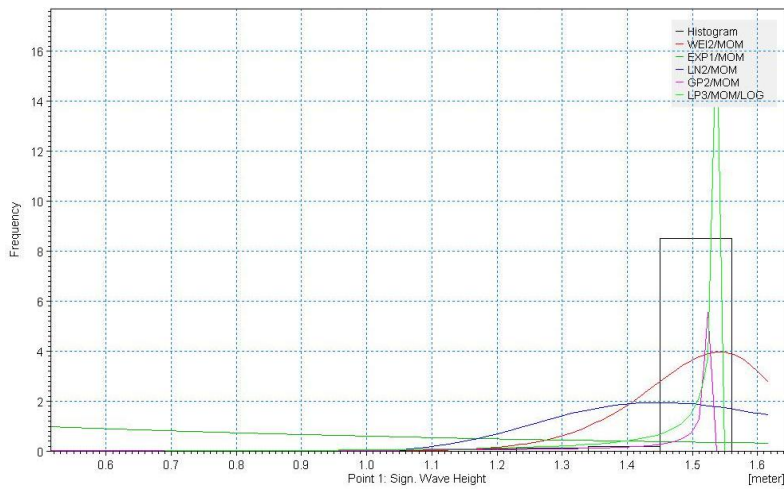
نتایج و بحث

در این بخش نتایج حاصل از تحقیق بیان می‌شود. مشخصات امواج طراحی با استفاده از روش‌های آماری برای دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه می‌گردند. بدین ترتیب ارتفاع امواج طراحی در اعماق ۷/۵ و ۱۰ متری در محدوده بندر لنگه، با بکارگیری مدول یک‌بعدی EVA از نرم‌افزار MIKE ZERO براساس توزیع برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله محاسبه شده‌اند. نتایج حاصل در جداول (۲) تا (۴) ارائه شده است. با استفاده از این نمودار توزیعی که دارای بیشترین انطباق (از میان توزیع‌های Weibull، Exponential و Gamma) با داده‌های مدل‌سازی است، انتخاب شده و مقادیر حدی ارتفاع امواج از آن استخراج شده است. توزیع مناسب در تمامی نقاط در این مطالعات، توزیع Weibull بود. نتایج حاصل شده در شکل‌های (۳) تا (۱۱) ارائه شده است.

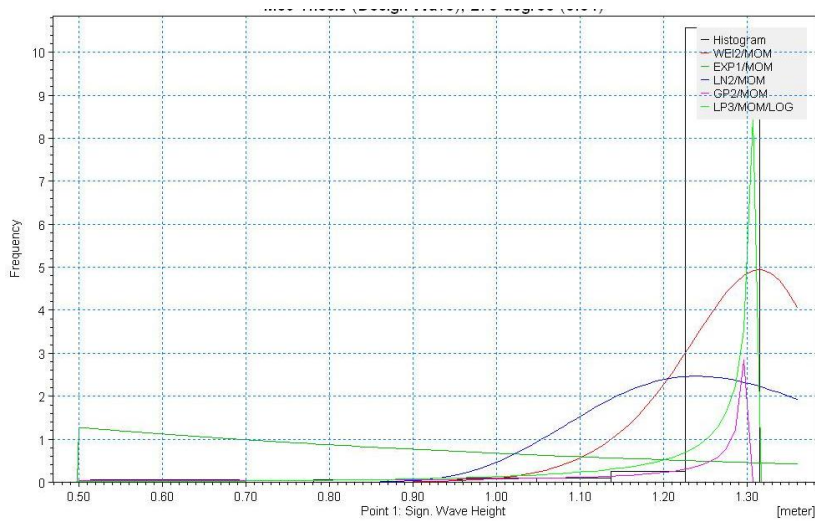
جدول ۲: ارتفاع امواج طراحی در اعماق ۷/۵ و ۱۰ متری در محدوده بندر لنگه، با بکارگیری مدول یک‌بعدی EVA از

نرم‌افزار MIKE ZERO براساس توزیع برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله

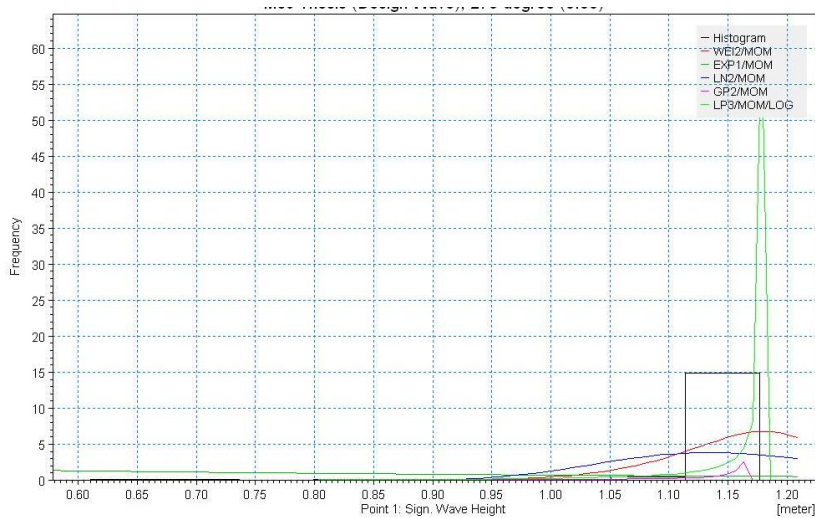
ضریب زبری بستر	عمق آب=۱۰-		عمق آب=۷/۵-	
	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)
۰/۰۰۲	۲	۱/۶۸	۲	۰/۳۵
	۵	۱/۷۰	۵	۰/۳۷
	۱۰	۱/۷۲	۱۰	۰/۳۸
	۲۵	۱/۷۳	۲۵	۰/۴۰
	۵۰	۱/۷۵	۵۰	۰/۴۱
	۱۰۰	۱/۷۶	۱۰۰	۰/۴۲
۰/۰۴	۲	۱/۴۳	۲	۰/۳۱
	۵	۱/۴۴	۵	۰/۳۳
	۱۰	۱/۴۶	۱۰	۰/۳۴
	۲۵	۱/۴۷	۲۵	۰/۳۵
	۵۰	۱/۴۸	۵۰	۰/۳۶
	۱۰۰	۱/۴۹	۱۰۰	۰/۳۷
۰/۰۸	۲	۱/۲۶	۲	۰/۲۸
	۵	۱/۲۷	۵	۰/۳۰
	۱۰	۱/۲۸	۱۰	۰/۳۱
	۲۵	۱/۲۹	۲۵	۰/۳۲
	۵۰	۱/۳۰	۵۰	۰/۳۲
	۱۰۰	۱/۳۱	۱۰۰	۰/۳۳



شکل ۳: تغییرات ارتفاع موج در نقطه شاخص ۱ برای کلیه توزیع‌های آماری (جهت ۲۷۰ درجه و $Kn=0.02$)



شکل ۴: تغییرات ارتفاع موج در نقطه شاخص ۱ برای کلیه توزیع‌های آماری (جهت ۲۷۰ درجه و $Kn=0.04$)

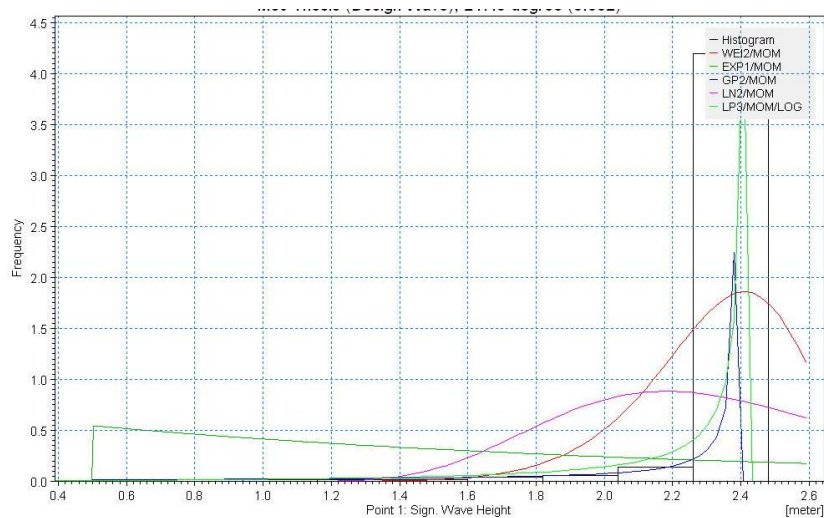


شکل ۵: تغییرات ارتفاع موج در نقطه شاخص ۱ برای کلیه توزیع‌های آماری (جهت ۲۷۰ درجه و $Kn=0.08$)

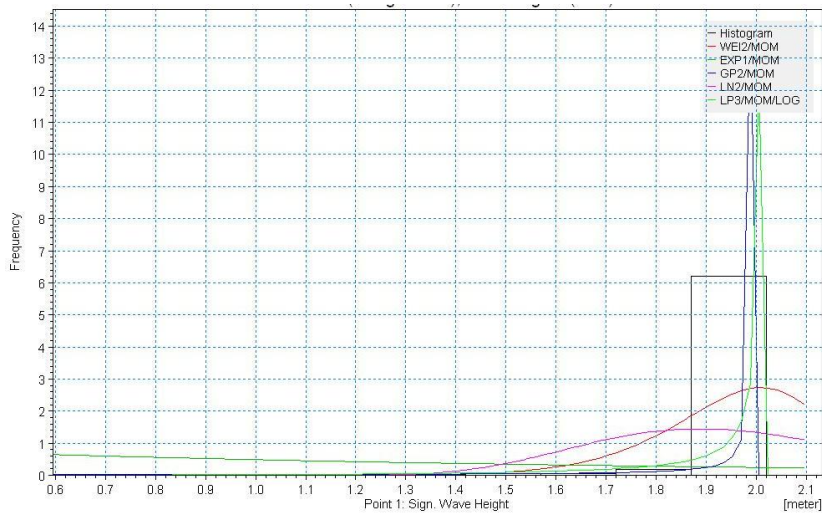
جدول ۳: ارتفاع امواج طراحی در اعماق ۷/۵ و ۱۰ متری در محدوده بندر لنگه، با بکارگیری مدول یک بعدی EVA از

نرم افزار MIKE ZERO براساس توزیع برای دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله

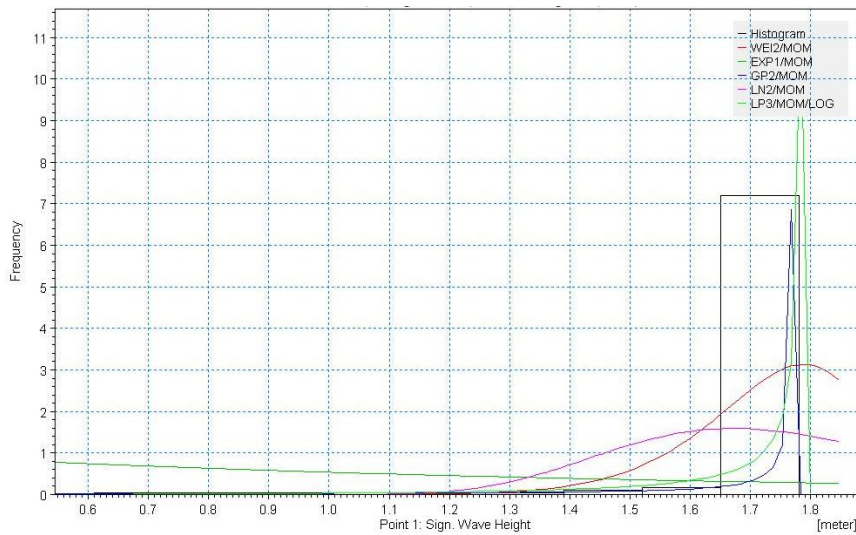
ضریب زبری بستر	عمق آب=۱۰-		عمق آب=۷/۵-	
	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)
۰/۰۰۲	۲	۲/۷۱	۲	۰/۵۵
	۵	۲/۷۶	۵	۰/۵۵
	۱۰	۲/۷۹	۱۰	۰/۵۵
	۲۵	۲/۸۳	۲۵	۰/۵۵
	۵۰	۲/۸۶	۵۰	۰/۵۵
	۱۰۰	۲/۸۸	۱۰۰	۰/۵۵
۰/۰۴	۲	۲/۲۱	۲	۰/۶۲
	۵	۲/۲۴	۵	۰/۶۶
	۱۰	۲/۲۷	۱۰	۰/۶۸
	۲۵	۲/۲۹	۲۵	۰/۷۱
	۵۰	۲/۳۱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



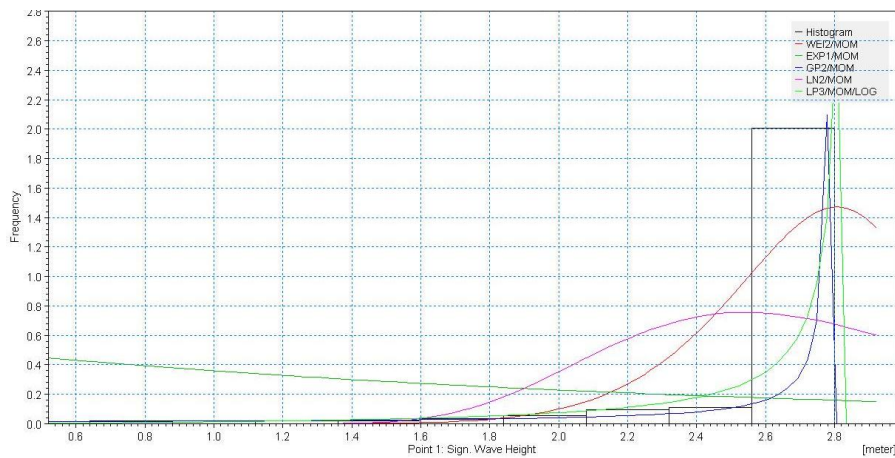
شکل ۶: تغییرات ارتفاع موج در نقطه شاخص ۱ برای کلیه توزیع های آماری (جهت ۲۴۷/۵ درجه و Kn=0.02)



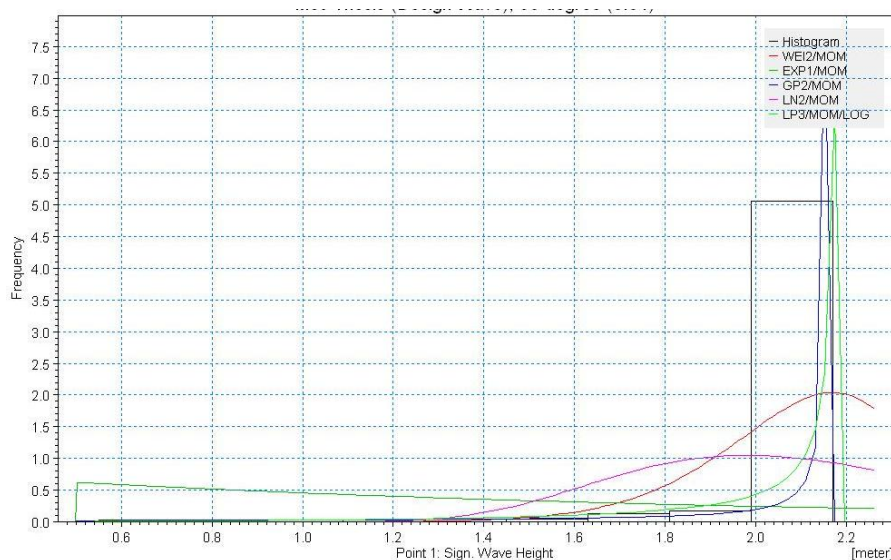
شکل ۷: تغییرات ارتفاع موج در نقطه شاخص ۱ برای کلیه توزیع‌های آماری (جهت ۲۴۷/۵ درجه و $Kn=0.04$)



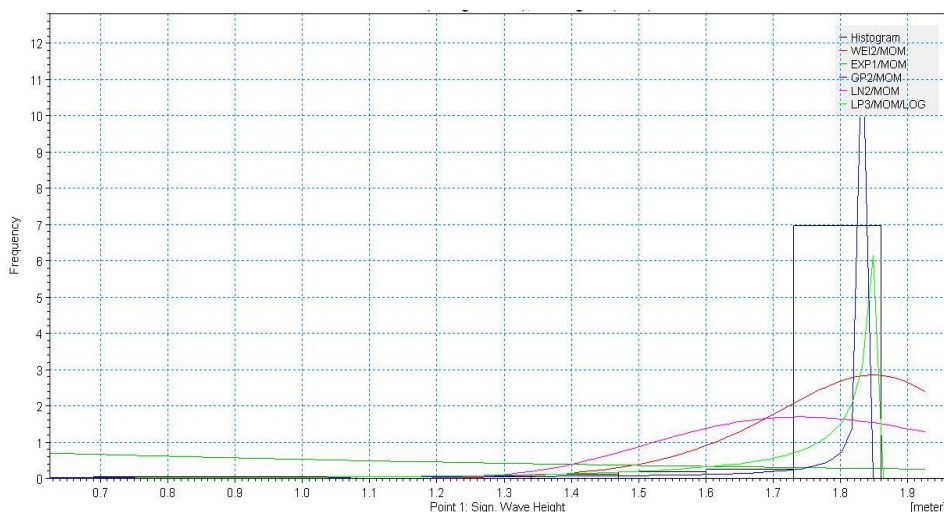
شکل ۸: تغییرات ارتفاع موج در نقطه شاخص ۱ برای کلیه توزیع‌های آماری (جهت ۲۴۷/۵ درجه و $Kn=0.08$)



شکل ۹: تغییرات ارتفاع موج در نقطه شاخص ۱ برای کلیه توزیع‌های آماری (جهت ۹۰ درجه و $Kn=0.02$)



شکل ۱۰: تغییرات ارتفاع موج در نقطه شاخص ۱ برای کلیه توزیع‌های آماری (جهت ۹۰ درجه و $Kn=0.04$)



شکل ۱۱: تغییرات ارتفاع موج در نقطه شاخص ۱ برای کلیه توزیع‌های آماری (جهت ۹۰ درجه و $Kn=0.08$)

نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد در طوفان‌های غربی و برای ضرائب زبری $0/01$ و $0/08$ روند تغییرات توزیع ویبول و انطباق آن با داده‌های خروجی نسبتاً مناسب‌تر از دو ضریب دیگر می‌باشد. در مورد طوفان‌های جنوب‌غرب نیز توزیع ویبول در ضرائب زبری بستر $0/01$ و $0/04$ انطباق مناسب‌تری با خروجی‌های مدل‌سازی از خود نشان داده است. توزیع ویبول برای ضرائب زبری $0/02$ و $0/08$ در طوفان‌های شرقی انطباق مناسب‌تری با داده‌های خروجی (نسبت به دو ضریب دیگر) داشت. لازم به تاکید است که سایر توزیع‌ها مقادیر بسیار بالاتر و یا پایین‌تری ارائه می‌دادند و همچنین روند تغییرات آنها دارای الگویی منطقی نبود. در طوفان‌های غربی مطابق انتظار با افزایش دوره بازگشت و همچنین افزایش عمق بستر دریا، ارتفاع شاخص موج افزایش می‌یابد. اما در مقابل افزایش ضریب زبری بستر، ارتفاع شاخص موج کاهش می‌یابد.

نکته مهم آنست که در عمق ۱۰ متری بزرگترین ارتفاع موج طرح برای دوره بازگشت ۲۰۰ ساله در ضریب زبری ۰/۰۸ از کوچکترین ارتفاع موج (دوره بازگشت ۲ ساله) ضریب زبری ۰/۰۴ کمتر می‌باشد. این مسئله نشان‌دهنده تاثیر قابل توجه ضریب زبری بستر و حساسیت موج طرح نسبت به این پارامتر می‌باشد. در مقابل در نقطه شاخص دوم (عمق ۷/۵- متر نسبت به CD) تغییرات ضریب بستر زبری بر موج طرح بسیار اندک بوده و محسوس نمی‌باشد. مقادیر امواج طراحی برای ضرائب زبری بستر ۰/۰۲ و ۰/۰۱ و امواج طراحی ضرائب ۰/۰۴ و ۰/۰۸ (برای کلیه دوره بازگشت‌ها) بسیار به یکدیگر نزدیک بوده و نشان‌دهنده اینست که ضرائب زبری در اعماق کمتر اثر محسوسی ندارد. در هریک ضرائب بستر تغییرات موج طرح ۲ ساله تا ۲۰۰ ساله در حدود ۷ تا ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد.

جدول ۳: ارتفاع امواج طراحی در اعماق ۷/۵ و ۱۰ متری در محدوده بندر لنگه، با بکارگیری مدول یک‌بعدی EVA از

نرم‌افزار MIKE ZERO براساس توزیع برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله

ضریب زبری بستر	عمق آب=۱۰-		عمق آب=۷/۵-	
	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)	دوره بازگشت (سال)	ارتفاع شاخص موج (متر)
۰/۰۰۲	۲	۳/۱۹	۲	۲/۴۸
	۵	۳/۲۵	۵	۲/۵۵
	۱۰	۳/۳۰	۱۰	۲/۵۹
	۲۵	۳/۳۴	۲۵	۲/۶۴
	۵۰	۳/۳۸	۵۰	۲/۶۷
۰/۰۰۴	۱۰۰	۳/۴۱	۱۰۰	۲/۷۰
	۲	۲/۱۳	۲	۱/۸۰
	۵	۲/۲۸	۵	۱/۸۴
	۱۰	۲/۳۵	۱۰	۱/۸۷
	۲۵	۲/۴۲	۲۵	۱/۹۰
۰/۰۰۸	۵۰	۲/۴۶	۵۰	۱/۹۲
	۱۰۰	۲/۴۹	۱۰۰	۱/۹۴
	۲	۲/۰۴	۲	۱/۴۶
	۵	۲/۰۸	۵	۱/۵۰
	۱۰	۲/۱۰	۱۰	۱/۵۱
۰/۰۰۸	۲۵	۲/۱۲	۲۵	۱/۵۴
	۵۰	۲/۱۴	۵۰	۱/۵۵
	۱۰۰	۲/۱۵	۱۰۰	۱/۵۷

نتیجه‌گیری

امواج طراحی طوفان‌های جنوب‌غربی (برای کلیه دوره بازگشت‌های طراحی) مقادیر بسیار بالاتری نسبت به طوفان‌های غربی دارند. اختلاف امواج طراحی این طوفان‌ها در دوره بازگشت‌های بالاتر افزایش می‌یابد. این روند در هر دو نقطه شاخص اول و دوم وجود دارد. تفاوت مهمی که در اینجا وجود دارد، مربوط به ضریب زبری ۰/۰۰۲ در نقطه شاخص دوم می‌باشد. در اینجا تغییرات موج طرح دوره بازگشت‌های مختلف تقریباً ثابت مانده بود که نشان از عدم تاثیر ضریب زبری کوچک‌تر بر امواج طراحی ناشی از طوفان‌های جنوب غربی می‌باشد. امواج طراحی طوفان‌های شرقی، تفاوت چشمگیری با

طوفان‌های غرب و جنوب‌غرب دارند. این تفاوت‌ها در نقطه شاخص دوم (که عمق کمتری دارد) بیشتر به چشم می‌آید. این روند در گراف‌های دوبعدی انتشار امواج مشاهده شده بود. در ضرائب زبری بستر $0/02$ و $0/04$ تغییرات بین امواج طراحی ۲ تا ۲۰۰ ساله محسوس‌تر از ضرائب زبری $0/01$ و $0/08$ می‌باشند. ضمن آنکه در ضریب زبری $0/04$ (که در اکثر پروژه‌های داخلی اعمال می‌شود) اثر دوره بازگشت بر تغییر موج طرح بیش از سایر ضرائب زبری بستر می‌باشد. علاوه بر این اختلاف بین امواج طراحی ضرائب زبری $0/02$ و $0/01$ با دو ضریب دیگر (برای طوفان‌های شرقی) قابل توجه می‌باشد.

منابع

- بهلولی، ا.، منتظری، م. و 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.
- سازمان بنادر و دریانوردی. (۱۳۸۷). مدل‌سازی امواج دریا‌های ایران، جلد دوم: خلیج فارس و دریای عمان، ۳۳۱ صفحه.
- صادقی‌فر، ط.، ترابی آزاد، م.، حسنی، م. و سولی، 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.
- رنجی، ز. و سلطانی‌پور، 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.
- قربانی‌طالقانی، 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.
- Boccotti, P. (2013).** Field Verification of Quasi-Determinism Theory for Wind Waves Interacting with Vertical Breakwater. *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*, 139, 5, pp: 358–364.
- 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, pp: 147–156.
- DHI. (2009).** MIKE 21 Spectral Waves FM Module, User Guide. DHI, Denmark, 116 p.
- 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, pp: 314–325.