

اصلاح طرح جانمایی بندر کوه مبارک هرمزگان با استفاده از معیار نفوذ موج و مدل ریاضی Mike21-BW

عبدالرحیم شولکی^{۱*}

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۱۵

*نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۰۸

© نشریه صنعت حمل و نقل دریایی ۱۳۹۷، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه صنعت حمل و نقل دریایی است.

چکیده:

آرامش یک بندر و لنگرگاه آن در برابر امواج می‌تواند با طراحی جانمایی مناسب موج‌شکن‌ها، کار اصلاحی روی سواحل و احداث هرگونه مستهلک‌کننده موج در مناطق موردنظر تأمین شود. اغتشاشات موج درون حوضچه بندرگاه یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر انتخاب محل ساخت و تعیین جانمایی بهینه بندرگاه می‌باشد. بنابراین شناخت کامل فرآیند تفرق و نفوذ موج به درون بندر، ضروری می‌باشد. بندر کوه مبارک یکی از بنادر صیادی استان هرمزگان است که در مجاورت دریای عمان واقع شده است. براساس مطالعات صورت گرفته، مشخص شده است که جانمایی موج‌شکن‌های بندر کوه مبارک نامناسب می‌باشد و این مسئله، عملکرد اسکله‌های خدماتی و نوبری شناورها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تحقیق حاضر به دنبال آن است تا با مطالعه موردی اغتشاشات و تلاطم حوضچه بندر کوه مبارک به کمک مدل MIKE 21-BW راهکاری کارا جهت طراحی مناسب جانمایی موج‌شکن‌های این بندر و بندری که در آینده در کشورمان ساخته خواهند شد، ارائه کند.

یافته‌های پژوهش نشان داد آرامش این بندر در محل پهلویی‌ها و حوضچه بندرگاه، براساس معیار آئین‌نامه ژاپن، در حد قابل‌قبولی قرار ندارد. حداکثر درصد ناآرامی سالیانه این بندر حدود ۵/۶٪ به دست آمد. با توجه به اینکه آرامش سالیانه آن در محدوده مجاز آئین‌نامه‌ای قرار نداشت، برای رفع مشکل ناآرامی در بندر کوه مبارک لازم است موج‌شکنی ابرویی در مقابل دهانه ورودی احداث شود. تحقیق حاضر نشان داد این موج‌شکن به خوبی امواج جهات جنوب و جنوب‌غرب را منحرف می‌کند و در نتیجه آرامش حوضچه را به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تفرق امواج، مدل بوسینسک، آرامش سالیانه، کوه مبارک، مدل نفوذ موج، MIKE 21.

۱- مقدمه

جمهوری اسلامی ایران دارای حدود ۳۰۰۰ کیلومتر خط ساحلی در شمال و جنوب کشور می‌باشد و بیش از ۱۰ میلیون نفر از جمعیت کشور، در استان‌های ساحلی سکونت دارند. بدون شک اجرای هر یک از طرح‌های عمرانی مستلزم کسب اطلاعات دقیق از شرایط محیطی و وضعیت هیدرولیکی منطقه موردنظر است. با عنایت به روند روبه‌رشد بهسازی، احداث و توسعه سازه‌های دریایی، گسترش حمل و نقل دریایی و تلاش برای بهره‌برداری بهینه از منابع دریایی کشور در خلیج فارس، دریای عمان و دریای خزر، تحلیل و پیش‌بینی مشخصات امواج و پدیده‌های ناشی از آنها، امری ضروری است. آرامش یک بندر و لنگرگاه آن در برابر امواج می‌تواند با طراحی جانمایی مناسب موج‌شکن‌ها، کار اصلاحی روی سواحل و احداث هر گونه مستهلک‌کننده موج برای مناطق موردنظر تأمین شود. امواج، جریان‌های دریایی و باد از جمله عوامل مهمی هستند که بر روی آرامش لنگرگاه تأثیر می‌گذارند. حوضچه بندر باید در شرایط معمول دریا و نیز شرایط طوفانی از آرامش مناسبی برخوردار باشد. برای اطمینان از برقراری آرامش سالیانه قابل قبول در بندر، یک پلان مناسب که دارای موج‌شکن‌هایی با طول، مقطع و جانمایی‌هایی متفاوت است باید به‌گونه‌ای باشد که اثر پدیده‌های دریایی نظیر تفرق، بالاروی امواج و انعکاس آنها را به حداقل برساند. علاوه بر حوضچه‌های بندر، تلاطم دهانه ورودی بندر نیز باید حتی‌الامکان کاهش یابد. با کاهش تلاطم دهانه ورودی ناپوری شناورها به میزان زیادی تسهیل می‌یابد.

۱-۱- بیان مسئله

اغتشاشات موج درون حوضچه بندرگاه یکی از مهم‌ترین عواملی است که در انتخاب محل ساخت و تعیین جانمایی بهینه بندرگاه تأثیر دارد. توزیع ارتفاع موج در یک بندرگاه یا خلیج توسط مشخصات تفرق موج چه در اثر ساختارهای طبیعی و چه در اثر ساخت سازه‌های ساحلی که برای حفاظت از هجوم امواج تهیه می‌شوند، مشخص می‌شود. بنابراین شناخت کامل فرآیند تفرق و نفوذ موج به‌درون این سازه‌های ساحلی ضروری می‌باشد. با توجه به تحقیقات صورت‌گرفته و پروژه‌هایی که طی سالیان گذشته در کشورمان صورت پذیرفته است، مشخص شد بندر کوه‌مبارک یکی از بنادری است که جانمایی موج‌شکن‌های آن نامناسب می‌باشد. این جانمایی نامناسب موجب شده است تا عملکرد اسکله‌های خدماتی و ناپوری شناورها تحت تأثیر قرار گیرند. تحقیق حاضر به دنبال آن است تا با مطالعه موردی اغتشاشات و تلاطم حوضچه بندر کوه‌مبارک راهکاری کلی جهت طراحی مناسب جانمایی موج‌شکن‌های بندرگاهی که در آینده در کشورمان ساخته خواهند شد، ارائه نماید. با توجه به تجربیات حاصل از انجام پروژه‌های مشابهی که در طی سالیان گذشته در کشورمان صورت پذیرفته‌اند، پدیده تفرق و نفوذ موج و آرامش بنادر به کمک مدل عددی MIKE 21-BW بررسی شده است.

۱-۲- ضرورت انجام پژوهش

طی سالیان گذشته پروژه‌های اندازه‌گیری و مدل‌سازی مختلفی توسط سازمان بنادر و دریانوردی تعریف شده است. در این پروژه‌ها، مدل‌سازی‌های ریاضی به موازات اندازه‌گیری‌های میدانی به‌کار گرفته شده و در نتیجه مدل‌های ریاضی به‌روز و دقیقی تولید گردیده است. یکی از بخش‌های مهم این نوع پروژه‌ها مدل‌سازی تفرق و نفوذ امواج در حوضچه بندر اصلی می‌باشد. این نوع مدل‌سازی‌ها به طور مستقیم مهندسی و طراحی بندر را تحت تأثیر قرار خواهند داد. به علاوه، با رشد و توسعه پروژه‌های دریایی و احداث بنادر در حاشیه آب‌های جنوبی و شمالی ایران، ارائه روشی مناسب برای طرح بهینه بندر بسیار ضروری به‌نظر می‌رسد. به بیان دیگر راهکار ارائه‌شده برای محاسبه آرامش سالیانه بندر موجب می‌شود تا طراحان بندر روش و دستورالعملی کاربردی جهت طراحی بندر، کانال دسترسی و جانمایی موج‌شکن‌ها در اختیار داشته باشند.

با توجه به اینکه در ارتباط با بندر کوه‌مبارک تاکنون فعالیت تحقیقاتی خاصی صورت نگرفته است، مطالعه موردی این بندر به بهره‌برداران و متولیان آن کمک خواهند کرد تا با استفاده از نتایج خروجی این تحقیق و راهکارهای توصیه‌شده در آن، طرحی بهینه و کارا برای ناپوری شناورهای بندر کوه‌مبارک و اسکله‌های خدماتی آن در اختیار داشته باشند.

۱-۳- اهداف تحقیق

تحقیق حاضر صرفاً به دنبال مطالعه موردی بندر کوه مبارک نیست بلکه سعی دارد تا روشی برای تحلیل آرامش بنادر و پدیده نفوذ و تفرق امواج به دست دهد. بنابراین تحقیق حاضر در صدد دستیابی به این اهداف می‌باشد: (۱) ارائه یک مدل مناسب برای بررسی الگوی نفوذ امواج، (۲) شبیه‌سازی تفرق امواج در حوضچه بندر کوه مبارک، (۳) بررسی تأثیر جهت و ارتفاع موج بر تلاطم پهلوگیرهای بندر کوه مبارک و دهانه ورودی آن، (۴) محاسبه درصد آرامش سالیانه و همچنین ایام ناآرام حوضچه و پهلوگیرهای بندر و (۵) ارائه راهکار برای کاهش ناآرامی بندر کوه مبارک.

۱-۴- قلمرو تحقیق

با توجه به اهمیت مدل‌سازی امواج و پیش‌بینی امواج طراحی در منطقه استراتژیک خلیج فارس و دریای عمان و همچنین با در نظر داشتن اهمیت بنادر جنوبی کشور، و تلاطم قابل توجه در بندر کوه مبارک، این بندر برای تحلیل انتخاب شد. بندر کوه مبارک یکی از بنادر صیادی استان هرمزگان است که در مجاورت دریای عمان واقع شده است. این بندر دارای دو موج‌شکن می‌باشد که بازوی اصلی در شمال و بازوی فرعی آن در جنوب بندر واقع شده است. مشاهدات و تحقیقات صورت گرفته نشان داده است که بندر کوه مبارک از جمله بنادری است که به دلیل جانمایی موج‌شکن‌های آن، عملکرد اسکله‌های خدماتی و ناوبری شناورها بیش از اندازه مجاز تحت تأثیر امواج قرار گرفته است و درصد سالیانه آرامش بندر در محدوده قابل قبولی قرار ندارد. شکل (۱) محل تقریبی این بندر در نوار ساحلی استان هرمزگان را نشان می‌دهد.



شکل (۱): محل تقریبی بندر کوه مبارک در استان هرمزگان و جانمایی آن

۱-۵- پیشینه پژوهش

نصرالهی و نبی‌اله دادی (۱۳۸۷) در تحقیق خود الگوی نفوذ موج بندر شهید بهشتی را با استفاده از مدل مدل بوسینسک نرم‌افزار مایک ۲۱ مطالعه کردند. در تحقیق آنها پدیده تفرق موج در پشت موج‌شکن تحت شرایط مختلف طول و پرپود موج، بررسی و تحلیل شد. برای شرایط مرزی از دو نوع موج تک‌جهته و جهتی استفاده شد. نتایجی که از این تحقیق به دست آمد نشان‌دهنده تأثیر زیاد جهتی بودن موج بر روی نتایج خروجی مدل بود. در این مطالعه مقدار بهینه ضریب n و حداکثر انحراف از جهت اصلی در رابطه توزیع جهتی برای این منطقه به دست آمد (نصرالهی و نبی‌اله دادی، ۱۳۸۷).

کبریایی (۱۳۹۲) الگوی نفوذ موج به داخل بندر لنگه را مطالعه کرده است که با توجه به جهت امواج غالب در محدوده طرح و جهت دهانه ورودی بندر، آرامش سالیانه حوضچه آن بندر مناسب نیست. در تحقیق کبریایی ضمن بررسی آرامش سالیانه حوضچه‌های بندر، طرح‌های جایگزین برای این بندر بررسی شد و در نهایت طرح‌هایی پیشنهادی برای افزایش آرامش سالیانه ارائه گردید (کبریایی، ۱۳۹۲).

در مطالعات خارجی کارهای تحقیقاتی به مراتب بیشتری در ارتباط با مدل بوسینسک و نفوذ موج صورت گرفته است. از مطالعات معتبر موجود می‌توان به مطالعات سورنسن و همکاران (۲۰۰۴) اشاره کرد. در مدل آنها، از معادلات دوبعدی بوسینسک و مش‌بندی نامنظم برای تفکیک دامنه مدل و روش استاندارد گالرکین همراه با درون‌یابی مختلط استفاده شده است. آنها از نتایج چهار آزمایش میدانی جهت صحت‌سنجی مدل و مقایسه نتایج خروجی مدل‌سازی‌ها استفاده کردند (Sørensen et al., 2004).

سورنسون و همکاران (۱۹۹۸) مطالعات دامنه‌داری را در زمینه دینامیک امواج در مناطق کم‌عمق ساحلی و با مدل مرتبه سوم بوسینسک انجام دادند. نتایج خروجی حاصل از مطالعات آنها در سه مقاله جداگانه ارائه شد. در این مطالعات معادلات بوسینسک وابسته به زمان و مکان به کار گرفته شد. در تحقیق اول مدل عددی پایه مدل‌سازی‌ها تشریح شد و از مطالعه حرکت امواج منظم در مناطق کم‌عمق ساحلی با در نظر گرفتن اثر پدیده‌هایی همچون خزش، شکست موج و بالاروی امواج استفاده گردید (Sørensen et al., 1998). در ادامه، دینامیک مناطق کم‌عمق ساحلی با استفاده از مدل بوسینسک شبیه‌سازی شد و حرکت گروه امواج منظم، اثر شکست موج و امواج ناشی از جریانات ساحلی و اندرکنش بین امواج بلند و کوتاه بررسی شد. نتایج حاصل از مدل‌سازی‌ها، حاکی از تطابق مناسب با نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی و آزمایشگاهی بود (Sørensen et al., 1998).

در تحقیقات شافر و همکاران (۱۹۹۳)، مدسن و همکاران (۱۹۹۷) و سورنسن و همکاران (۱۹۹۸)، اثرات ساده شده‌ای از شکست امواج در مدل بوسینسک دیده شد. برای در نظر گرفتن شکست موج در مدل آنها، ضرائب پیشنهادی سورنسون برای شکست موج به کار گرفته شد. علاوه بر این اثرات چرخک‌های سطحی نیز در مدل آنها در نظر گرفته شد. شی و همکاران (۲۰۰۱) و لی و ژان (۲۰۰۱) با استفاده از مش‌بندی خطی و منحنی شکل، معادلات بوسینسک را براساس نتایج آزمایشگاهی سورنسون تحلیل کردند. در مطالعات آنها اثر شکست موج در نظر گرفته نشده بود (Madsen et al., 1997). علاوه بر مطالعه روی معادلات اساسی بوسینسک، مطالعات معدودی نیز در زمینه ضریب بازتاب سازه‌ها صورت گرفته است. همان‌گونه که پیش از این گفته شد، یکی از ورودی‌های اساسی مدل MIKE 21-BW، تخلخل سازه‌های دریایی همچون موج‌شکن می‌باشد. مدسن (۱۹۸۳) در تحقیق خود ضریب بازتاب یک جاذب موج قائم را مطالعه کرد. در مطالعه وی با فرض پیوستگی جرم و فشار، بازتاب امواج خطی از جاذب موج قائم (با کف تخت) تحلیل شد. در نهایت ضریب بازتاب سازه به صورت تابعی از مشخصه امواج تابیده‌شده بر سازه و خواص سازه جاذب امواج بیان شد (Madsen, 1983).

۲- روش تحقیق

۲-۱- فرضیه‌های تحقیق

برای انجام مدل‌سازی‌ها و شبیه‌سازی‌های ریاضی نیاز به اعمال فرضیات مختلفی می‌باشد. این فرضیات کمک می‌کنند تا مدل‌های برپاشده، برحسب زمان و دقت بهینه به جواب مطلوب دست یابند. بنابراین در اعمال فرضیات این تحقیق سعی شده است دقت نتایج در حد مطلوب و قابل قبولی حفظ شود.

یکی از ورودی‌های مهم مدل نفوذ موج، امواج مرزی ورودی به مدل می‌باشند. در مدل نفوذ موج، تفرق و الگوی امواج در اثر این موج‌های ورودی مطالعه می‌شود. بنابراین مشخصات این نوع امواج بر کیفیت نتایج تأثیرگذار خواهد بود. در مدل نفوذ موج، امواج را می‌توان در مرزهای مدل به سه شکل تعریف کرد. برای ساختار انتشار امواج در مدل تحقیق حاضر، امواج در مرزهای مدل به صورت جهتی تعریف خواهند شد. در این نوع امواج، جهت موج برخلاف سایر شرایط مرزی، به صورت منفرد تعریف نمی‌شود بلکه به صورت طیفی تعریف می‌گردد. علاوه بر این نوع شرط مرزی، شرایط مرزی تک‌جهته نیز مطالعه، و نتایج خروجی این دو نوع موج مرزی با یکدیگر مقایسه می‌شود تا میزان تأثیر هر یک از آنها بر تلاطم حوضچه مشخص گردد. علاوه بر شرایط مرزی، با توجه به گستره مطالعاتی تحقیق حاضر و اهداف آن، صرفاً در مورد مدل‌سازی نفوذ موج به داخل حوضچه بندر کوه‌مبارک و همچنین تفرق امواج بحث می‌شود و سایر مباحث هیدرودینامیک نظیر مطالعات رسوب مطالعه نمی‌گردد. مطالعات رسوب نیازمند مطالعات دامنه‌دار دیگری می‌باشد که می‌توان تحت عنوان جداگانه‌ای به آن پرداخت.

۲-۲ مدل تحقیق

با توجه به تجربیات و مطالعات صورت‌گرفته در ارتباط با نفوذ امواج، در این مطالعه، پدیده تفرق و نفوذ موج و بررسی آرامش بنادر به کمک مدل عددی MIKE 21-BW انجام خواهد شد. مدل MIKE 21 بسته نرم‌افزاری پیشرفته‌ای است که توسط مؤسسه هیدرولیک دانمارک (DHI)، برای مطالعه جنبه‌های مختلف هیدرودینامیک و محیط‌زیست دریایی تهیه شده است. بر اساس مدل BW حل عددی شکل جدید معادلات بوسینسک دوبعدی می‌باشد. معادلات بوسینسک علاوه بر پخش فرکانس، اثرات غیرخطی را نیز در نظر می‌گیرند. در اصل، پخش فرکانس با اعمال اثر شتاب افقی در توزیع فشار در

معادلات جریان در نظر گرفته می‌شود. با این معادلات جدید، مدل BW برای شبیه‌سازی گروه موجی که از آب عمیق به آب کم‌عمق نزدیک می‌شوند، مناسب می‌باشد.

این مدل قادر است تا اثرات ناشی از اکثر پدیده‌های موج را که در مهندسی بنادر و مهندسی سواحل حائز اهمیت می‌باشند به صورت همزمان در نظر گیرد. انتقال امواج از آب عمیق به محوطه بندری که توسط موج‌شکن‌ها حفاظت می‌شود، فرآیندی است که شامل پدیده‌های کم‌عمقی، تفرق، انکسار و بازتاب امواج می‌باشد. مدل BW قادر است که این پدیده‌ها را برای بتی‌متری‌های پیچیده مدل‌سازی کند (DHI User Guide, 2009).

همچنین، مدل BW امکان اعمال تخلخل برای مدل‌سازی انعکاس و انتقال امواج از سازه‌های ساحلی و موج‌شکن را دارا می‌باشد. در این مدل نیز همچون سایر مدل‌های پیشرفته، برای جذب کامل امواج در محل‌هایی که نیاز است (نظیر مرزهای باز دریا) از لایه اسفنجی استفاده می‌شود. مدل MIKE 21-BW همچنین قابلیت در نظر گرفتن امواج جهتی و یا تک جهتی را دارا می‌باشد. خاطر نشان می‌سازد که مدل BW برای محیط‌های یک و دو بعدی ارائه شده است، که در اینجا از قابلیت‌های دوبعدی این مدل استفاده می‌شود. (DHI User Guide, 2009).

تلاطم داخل بندر یکی از مهم‌ترین عواملی است که مهندسان برای انتخاب ساخت‌گاه و تعیین پلان بهینه بندر در نظر می‌گیرند. مدل بوسینسک می‌تواند برای مطالعه دینامیک امواج در بنادر و نواحی ساحلی کوچک و مطالعه تلاطم داخل بندر به کار رود. مطالعه تلاطم ناشی از امواج در حوضچه بندر و پهلوگیرهای آن برای پهلوگیری کشتی‌ها، تخلیه و بارگیری شناورها و کاهش ریسک این عملیات حائز اهمیت می‌باشد.

اطلاعات اساسی ورودی مورد نیاز برای مدل MIKE 21-BW شامل (۱) داده‌های آبنگاری محدوده طرح، (۲) انعکاس نسبی از سازه‌ها (لایه تخلخل)، (۳) جذب امواج (لایه اسفنجی) و (۴) شرایط مرزی می‌باشد.

۲-۳- روش محاسبه آرامش

برای محاسبه آرامش حوضچه و همچنین درصد ناآرامی سالیانه از روش‌هایی که در آئین‌نامه‌های معتبری همچون OCIDI، PIANC و BS 6349 ارائه شده است، استفاده می‌گردد. در آئین‌نامه‌ها براساس شناور، طرح مقادیر مجاز تلاطم پای سازه و همچنین حوضچه آرامش بیان شده است. براساس نتایج خروجی مدل BW میزان ناآرامی سالیانه هر بندری محاسبه می‌گردد.

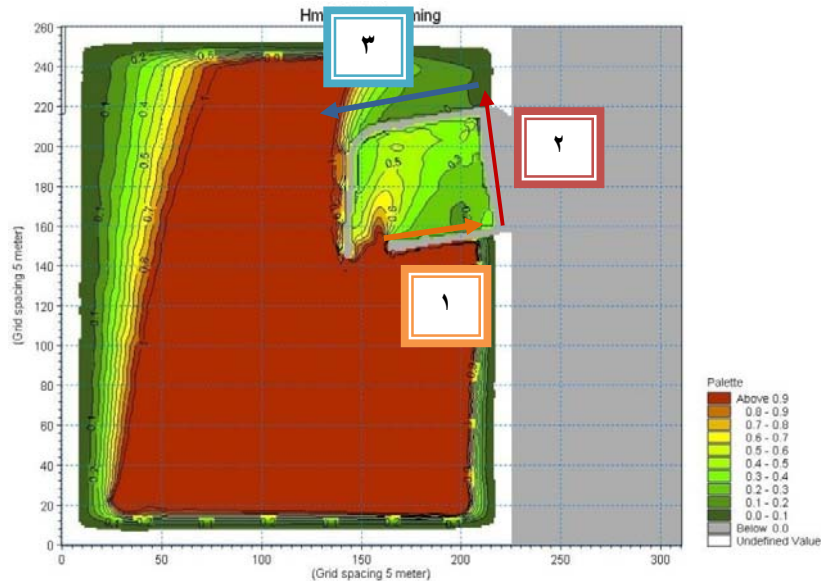
برای مدل‌سازی نفوذ امواج در مدل بوسینسک نیاز به طی یک الگوریتم گام به گام جهت حصول به نتایج مطلوب است. بنابراین جهت تعیین روند انجام مدل‌سازی در این تحقیق، الگوریتم مدل‌سازی نفوذ امواج ارائه شده است. همان‌گونه که در نمودار زیر مشخص است، پس از ایجاد فایل بتی‌متری، سایر ورودی‌های مدل نفوذ امواج ساخته شده و سپس خروجی‌های این مدل که اصلی‌ترین آن‌ها نمودار تفرق امواج می‌باشد، حاصل می‌شود.



۳- تجزیه و تحلیل داده‌ها

۳-۱- بررسی شاخص و درصد ناآرامی

پس از آماده‌سازی اطلاعات ورودی، اطلاعات ورودی فایل عمق‌سنجی محدوده بندر به مدل معرفی و شرایط مرزی موردنظر تحلیل شد و عوامل آشفتگی امواج که اصلی‌ترین خروجی مدل نفوذ امواج می‌باشد، با توجه به درصد وقوع امواج در محل‌های شاخص سه‌گانه‌ای از بندر که برای بهره‌برداری حائز اهمیت است، محاسبه گردید. شکل (۲) ضریب تفریق امواج برای یکی از حالات مختلف جریان در سه مکان ذکرشده را نشان می‌دهد.



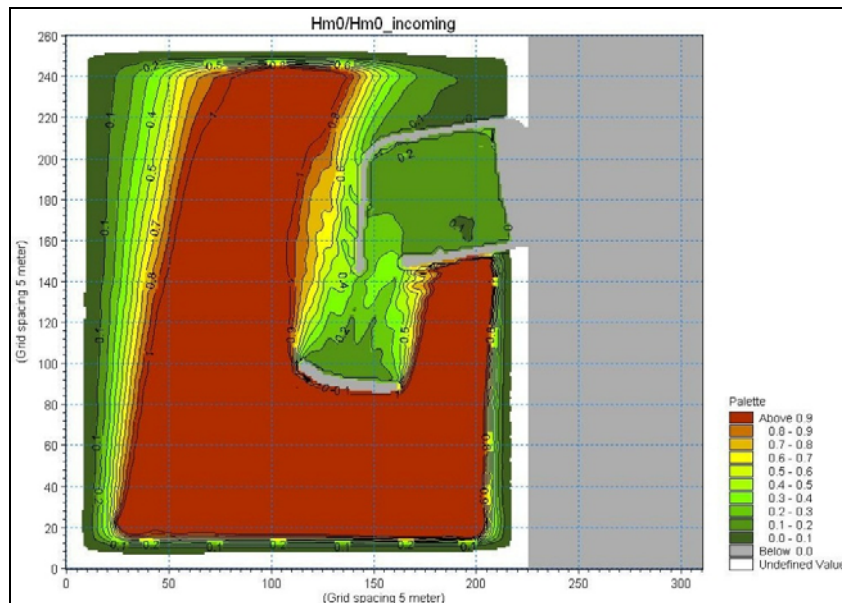
شکل (۲): ضریب تفریق امواج برای جهت ۱۸ درجه و $T_p=10$ sec

جهت سنجش آرامش سالیانه بندر و کمی کردن آن پارامتری تحت عنوان درصد آرامش سالیانه بندر در آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های طراحی، تعریف می‌شود. این پارامتر بر اساس ارتفاع موج شاخص در پای سازه‌های پهلوگیری هر بندر به دست می‌آید. به این صورت که یک مقدار بحرانی شاخص برای ارتفاع امواج تعیین می‌شود و سپس ارتفاع امواج پای‌سازه‌ها براساس اطلاعات موج در محدوده بندر و همچنین به کمک مدل‌های نفوذ موج محاسبه می‌گردد. سپس درصد ایامی که ارتفاع موج از مقدار بحرانی تعیین شده بیشتر است، محاسبه می‌شود و دست‌آخر، درصد ناآرامی سالیانه بندر به دست می‌آید. ارتفاع امواج برای اسکله‌های خدماتی و تجاری و حوضچه جلوی پهلوگیرها باید براساس نوع شناورهای طرح، ابعاد آنها و نحوه عملیات بندری تعیین شود. جهت تعیین مقدار ارتفاع موج بحرانی از بین مراجع و آیین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی عموماً از سه منبع (۱) آیین‌نامه طراحی سازه‌های دریایی ژاپن، (۲) دستورالعمل پیمانک و (۳) آیین‌نامه انگلستان بخش ۶۳۴۹ (BS 6349-PART1) استفاده می‌شود. در بین معیارهای ارائه شده، آیین‌نامه OCDI تحلیل دقیق‌تری برای بررسی وضعیت آرامش در بنادر ارائه می‌دهد. معیارهای سایر آیین‌نامه‌ها نیز مناسب است، اما ضریب اطمینان این آیین‌نامه بالاتر می‌باشد. باتوجه به تحلیل‌های انجام‌شده، درصد ناآرامی، برای خطوط شاخص بندر کوه‌مبارک در جهات مختلف موج ورودی طبق جدول (۱) محاسبه شد. با توجه به کاربری بندر کوه‌مبارک معیار آرامش ۳۰ سانتی‌متر برای آن انتخاب گردید.

جدول (۱): درصد ناآرامی بخش‌های مختلف بندر کوه‌مبارک برای جهات مختلف

مجموع	۲۷۰	۲۴۷/۵	۲۲۵	۲۰۲/۵	۱۸۰	
خط شاخص اول	۰/۱۱	۰/۰۰۷	۰/۰۴۰	۰/۰۱۵	۰/۰۵۱	-
خط شاخص دوم	۱/۶۵	۰/۱۶	۰/۰۴۰	۰/۰۱۵	۰/۰۵۱	۱/۳۸
خط شاخص سوم	۵/۶	۰/۳۱	۰/۱۱	۰/۰۳۰	۱/۰۱۵	۴/۱۳

براساس مقادیر محاسبه‌شده برای درصد ناآرامی سالیانه، خط شاخص سوم با ۶/۵٪ ناآرامی دارای بحرانی‌ترین وضعیت از منظر ناآرامی نسبت به سایر خطوط می‌باشد. دلیل این امر آن است که این پهلوگیر دقیقاً روبروی دهانه ورودی واقع شده است و بنابراین نسبت به سایر خطوط که بخشی از آنها در سایه موج‌شکن واقع می‌شود، دارای تلاطم و در نتیجه ناآرامی بیشتری است. مطابق با مقادیر به‌دست‌آمده در جدول (۱) آرامش سالیانه بندرگاه مناسب و قابل قبول نمی‌باشد، بنابراین باید اقدام اصلاحی در بندر صورت پذیرد. برای افزایش آرامش سالیانه، راهکارهای مختلفی وجود دارد. در این پژوهش برای افزایش موفقیت بندر در استهلاک انرژی امواج، از یک موج‌شکن ابرویی یا منفصل در مقابل دهانه ورودی استفاده شد و نحوه عملکرد آن نسبت به فاصله از خط ساحل، فاصله از دهانه ورودی بندر و طول و راستای موج‌شکن تحلیل گردید. نحوه قرارگیری موج‌شکن ابرویی و تأثیر آن بر تفرق امواج در یکی از حالات مورد مطالعه در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳): ضریب تفرق امواج برای جهت ۱۸۰ درجه و $T_p=10$ sec (پلان اصلاحی کوه‌مبارک)

به منظور مطالعه میزان اثرگذاری پلان اصلاحی برای افزایش درصد آرامش سالیانه بندر، تلاطم پای سازه‌های پهلوگیری محاسبه، و برای گزینه برتر در جدول (۲) ارائه شده است. بهترین پاسخ توسط موج‌شکنی با فاصله ۲۵۰ متر از دهانه ورودی و به طول تقریبی ۳۰۰ متر دریافت شد، به طوری که به خوبی امواج جهات جنوب و جنوب غرب را منحرف کرد و متعاقباً آرامش حوضچه را به میزان قابل توجهی افزایش داد.

جدول (۲): درصد ناآرامی بخش‌های مختلف بندر کوه‌مبارک برای جهات مختلف

مجموع	۲۷۰	۲۴۷/۵	۲۲۵	۲۰۲/۵	۱۸۰
خط شاخص اول	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	-	-	-
خط شاخص دوم	۰/۲	۰/۱۶	۰/۰۴	-	-
خط شاخص سوم	۰/۵	۰/۳۱	۰/۰۹	-	۰/۰۰۴

براساس مقادیر محاسبه‌شده برای درصد ناآرامی سالیانه، با اجرای پلان اصلاحی (موج‌شکن ابرویی در مقابل بندر) آرامش سالیانه بندر در محدوده مجاز آئین‌نامه‌ای قرار گرفت.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج مهمی که از تحقیق حاضر به دست آمد به این شرح می‌باشد: (۱) امواج جهات جنوب (S) و جنوب غرب (SSW) بیشترین تلاطم و آشفستگی را در حوضچه بندرگاه و پهلوگیرهای آن ایجاد می‌کنند. مطابق انتظار، پهلوگیر مقابل دهانه ورودی در اثر این امواج دارای متلاطم‌ترین وضعیت می‌باشد. پهلوگیرهای جنوبی بندر که در سایه موج‌شکن فرعی قرار دارند، دارای آرام‌ترین وضعیت می‌باشند، (۲) با توجه به جمیع مطالب بیان شده و نتایج خروجی حاصل از مدل بوسینسک، بندر کوه مبارک طبق معیار آئین‌نامه دریایی ژاپن دارای آرامش سالیانه قابل‌قبولی نمی‌باشد. علاوه بر معیار آئین‌نامه ژاپن، معیار پیشنهادی آئین‌نامه انگلستان نیز برای این بندر کنترل شد که طبق معیارهای پیشنهادی این آئین‌نامه، درصد ناآرامی سالیانه بندر کوه‌مبارک بسیار بالا بود. بنابراین، با در نظر داشتن معیارهای آئین‌نامه مذکور نیز پهلوگیری قایق‌های صیادی کوچک به هیچ عنوان توصیه نمی‌شود، (۳) امواج تک‌جهته تلاطم بیشتری را در حوضچه بندر و پهلوگیرهای آن پدید می‌آورند، اما امواج جهتی موجب ایجاد تلاطم‌هایی با تواتر بیشتر و دامنه کوچک‌تری می‌شوند. برای مطالعه آرامش بندرگاه هر دوی شرایط مرزی مناسب می‌باشند اما برای در نظر گرفتن نامناسب‌ترین سناریوها بهتر است از شرط مرزی تک‌جهته استفاده شود. برای مطالعه الگوی تفرق امواج در محدوده موج‌شکن‌ها نیز امواج جهتی خروجی‌های نسبتاً بهتر و همگون‌تری به دست می‌دهند، (۴) دهانه ورودی بندر دارای تلاطم نامناسبی می‌باشد و می‌تواند موجب کاهش ضریب اطمینان ناوربری شناورها شود، بهتر است این دهانه بازنگری و اصلاح شود، (۵) امواجی با پریودهای بالاتر به طور کل تلاطم‌های بیشتری در حوضچه به وجود می‌آورند. امواجی با پریود کوچک‌تر نیز موجب ایجاد نوساناتی با دامنه بزرگ می‌شوند. در این خصوص نمی‌توان به یک قاعده کلی دست یافت. به این معنی که با توجه به طبیعت تصادفی و اتفاقی امواج لزوماً امواجی با پریود بزرگ‌تر موجب تلاطم بیشتر نمی‌شود و بنابراین هنگام تحلیل ناآرامی حوضچه‌های بنادر باید همه پریودها در نظر گرفته شوند و (۶) برای رفع مشکل ناآرامی در بندر کوه‌مبارک می‌توان موج‌شکنی ابرویی در مقابل دهانه ورودی احداث نمود. این موج‌شکن به خوبی امواج جهات جنوب و جنوب‌غرب را منحرف می‌کند و در نتیجه آرامش حوضچه را به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌دهد. بنابراین، برای رفع مشکل تلاطم بندر و دهانه ورودی آن می‌توان موج‌شکنی ناپیوسته در جلوی دهانه ورودی مطابق با مشخصات پیشنهادی این پژوهش ایجاد کرد.

برای انجام مطالعات بیشتر، با توجه به تنوع ورودی‌های مدل بوسینسک، پیشنهاد می‌شود مقادیر متنوعی برای ورودی‌های این مدل به خصوص لایه‌های تخلخل و اسفنجی در نظر گرفته شود. می‌توان مقادیر متفاوتی به لایه تخلخل اختصاص داد و اثر آنها بر تفرق امواج را مطالعه کرد. نقشه‌های اصلاحی دیگری برای بندر کوه‌مبارک می‌تواند مدنظر قرار گیرد و اثرات آنها بر کاهش آرامش بندر کوه‌مبارک مطالعه شود و با نتایج تحقیق حاضر مقایسه گردد.

مراجع

۱. سازمان بنادر و دریانوردی، (۱۳۸۷). مدل‌سازی امواج آب‌های ایران، جلد دوم: خلیج فارس و دریای عمان، تهران.
۲. سازمان بنادر و دریانوردی، (۱۳۸۹). پایش و مطالعات شبیه‌سازی بخش‌هایی از سواحل استان‌های سیستان و بلوچستان و بوشهر، تهران.
۳. سازمان بنادر و دریانوردی، (۱۳۹۲). پایش و مطالعات شبیه‌سازی سواحل استان هرمزگان، تهران.
۴. نصرالهی، ع؛ اله‌دادی، م. (۱۳۸۷). مدل‌سازی ریاضی نفوذ موج به درون بندر شهید بهشتی. مجموعه مقالات هشتمین کنفرانس بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، ۴ تا ۶ آذر، تهران.

۵. کبریایی، م. (۱۳۹۲). بررسی نفوذ امواج در بندر لنگه و ارائه راهکار مناسب جهت کاهش ناآرامی سالیانه. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد رشته سازه‌های دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات.
۶. نقشه‌های جانمایی موج‌شکن‌های بندر کوه‌مبارک و داده‌های هیدروگرافی، (۱۳۸۷). مهندسين مشاور دریا نقشه.
7. DHI. (2009). MIKE 21 Boussinesq Waves Module. User Guide. DHI, Denmark.
8. DHI. (2009). MIKE 21 Boussinesq Waves Module, Scientific Documentation. DHI, Denmark.
9. Technical and Commentaries for Port and Harbour Facilities In Japan. (2002). Part Two and Part Eight, Mooring Facilities.
10. A Guide for Design. (1997). PIANC Approach Channels.
11. BRITISH STANDARD. (2002). BS 6349, PART 1.
12. Madsen, P. A. (1983). Wave reflection from a vertical permeable wave absorber. *Coastal Engineering*, 7: 381-396.
13. Madsen, P A., Sørensen, O R. and Schäffer, H A. (1997). Surf zone dynamics simulated by a Boussinesq type model. Part I: Model description and cross-shore motion of regular waves. *Coastal Engineering*, 32: 255-288.
14. Madsen, P A, Sørensen, O R and Schäffer, H A. (1997). Surf zone dynamics simulated by a Boussinesq type model. Part II: Surf beat and swash zone oscillations for wave groups and irregular waves. *Coastal Engineering*, 32: 289-320.
15. Sørensen, O R, Schäffer, H A and Madsen, P A. (1998). Surf zone dynamics simulated by a Boussinesq type model III. Wave-induced horizontal nearshore circulations. *Coastal Engineering*, 33: 155-176.
16. Sørensen, O. R., Hemming A. Sørensen, L. S. (2004). Boussinesq-type modelling using an unstructured finite element technique. *Coastal Engineering*, 50: 181-198.
17. Yu, Y. X., Liu, S. X., Li, Y. S., Wai, O. W. H. (2000). Refraction and diffraction of random waves through breakwater, *Ocean Engineering*, 27: 489-509.