



مرکز بررسی‌ها و مطالعات دریایی

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی



خسرو برگی
دانشگاه تهران

حمیدرضا میرزائی
دانشگاه تهران

kbargi@ut.ac.ir

hr_mirzaei@yahoo.com

چکیده- یکی از سازه‌های مورد توجه محققان و مهندسان سواحل برای حفاظت سواحل در برابر فرسایش، موج‌شکن مستغرق می باشد. استفاده از این سازه به دلیل مزیت‌هایی که نسبت به سازه‌های دیگر دارد، روز به روز بیشتر می‌شود. در این مقاله تغییرات مورفولوژی ساحل، در نزدیکی و اطراف موج شکن مستغرق مورد توجه قرار گرفته است و به بررسی آبشستگی و فرسایش اطراف آن که معمولاً در اطراف نوک و فاصله بین آنها مشاهده شده، پرداخته شده است. برای این کار ابتدا نتایج تحقیقات میدانی و مدل آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت و در ادامه با مدلسازی عددی به بررسی فرایندهای موثر در به وجود آمدن آبشستگی اطراف موج شکن مستغرق پرداخته شد. در پایان نیز به کمک مدل عددی، اثر استفاده از لایه محافظ ماسه‌ای به عنوان یکی از راه حل های مقابله با این پدیده مورد آزمایش، بحث و بررسی قرار گرفت. از نتایج این تحقیق می توان جهت بهینه سازی طراحی موج شکن های مستغرق و مقابله با آبشستگی اطراف آن استفاده نمود.

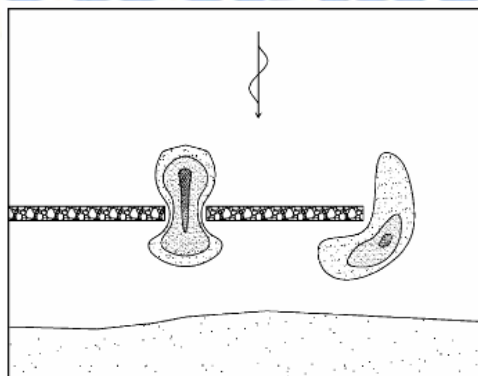
کلمات کلیدی: موج شکن مستغرق، مورفولوژی، آبشستگی، موج، جریان.

مقدمه

فرسایش ساحل یکی از مسائل مهم روبروی بشر از گذشته تا به حال بوده است. این مساله از نظر عواملی همچون توسعه اقتصادی، مسائل زیست محیطی، ایمنی و ... حائز اهمیت می‌باشد. در نتیجه روز به روز شاهد افزایش راه حل برای مقابله با این پدیده هستیم. سازه‌های ساحلی همچون آبشکن^۱، موج شکن فراساحل^۲ و ... از جمله راه حل‌های ارائه شده برای مساله هستند. اما این راه‌حل‌های پیشنهادی همیشه آنطور که انتظار می‌رود عمل نمی‌کنند و ممکن است اثرات دیداری و زیست محیطی قابل توجهی بوجود بیاورند. به عنوان مثال آبشکن به دلیل جابجا کردن فرسایش به پایین دست و همچنین محدودیت تأثیر آن در برابر رژیم‌های مختلف انتقال رسوب دارای مشکلاتی است. موج شکن مستغرق^۳ یکی از راه‌حل‌های نوین در برابر فرسایش ساحل است که به صورت سازه‌ای توده سنگی و همانند موج شکن فراساحل ساخته می‌شود و تنها تفاوت آن مغروق بودن تاج آن در زیر سطح آب می‌باشد. عملکرد این سازه در سه بخش خلاصه می‌شود:

- باعث کاهش انرژی موج در منطقه ساحلی می‌شود.
- رژیم انتقال رسوب را تغییر می‌دهد و باعث می‌شود شکل ساحل دلخواه تشکیل شود.
- به عنوان حفاظت پاشنه برای شیب ساحل عمل می‌کند و ساحل امن ایجاد می‌کند.

پایداری موج شکن مستغرق یکی از مسائل در دست پژوهش می‌باشد. یکی از مسائل موثر در پایداری این سازه، آبشستگی اطراف موج شکن و پایداری پی آن است. در شکل ۱ نمای کلی از شکل فرسایش و آبشستگی اطراف موج شکن مستغرق ارائه شده است. در این پژوهش، عوامل موثر در شکل گیری این فرسایش و آبشستگی مورد بررسی قرار گرفته و در ادامه نتایج آن ارائه شده است.



شکل ۱- شکل شماتیک آبشستگی اطراف موج شکن مستغرق

¹ Groin

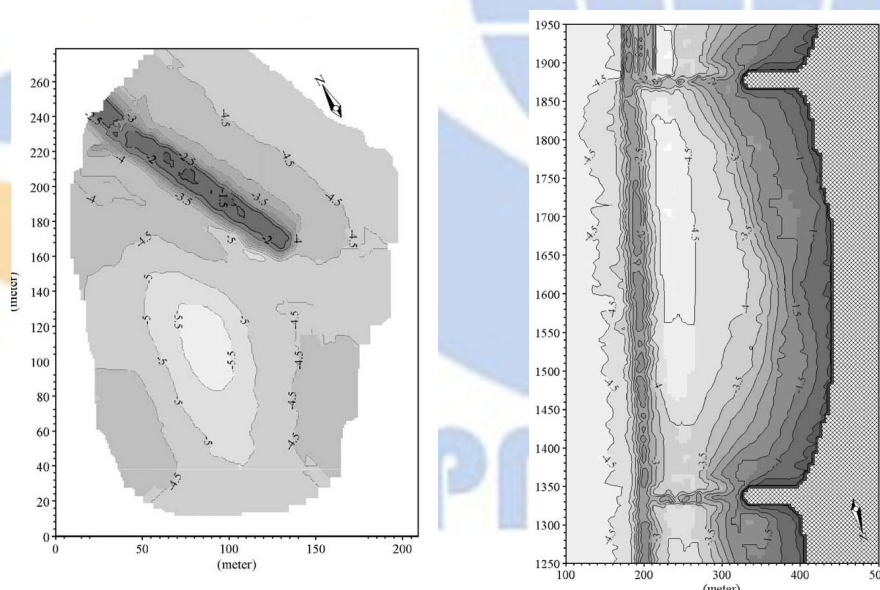
² Detached Breakwater

³ Low Crested Breakwater, Submerged Breakwater

در سال های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه اثرات موج شکن مستغرق بر روی ساحل انجام شده است. به عنوان مثال واتانابه و همکاران (۱۹۸۶) [۱]، اوکانر و نیکولسن (۱۹۹۵) [۲] و دیگران در این زمینه تحقیقاتی انجام دادند. در سال ۱۹۹۰، هانسن و کراوس [۳] پاسخ ساحل را توسط مدل تک خطی^۱ Genesis با در نظر گرفتن اثر عبور موج از روی سازه مورد بررسی قرار دادند. در سال ۱۹۹۲، ساواراگی [۴] تغییرات بستر دریا را قبل و بعد از ساخت موج شکن مستغرق در سواحل نیاگاتا ژاپن اندازه گیری و ارائه نمود. اخیراً زایسرمن و همکاران (۱۹۹۹) [۵] اثرات کوتاه مدت مورفودینامیک موج شکن فراساحل را مورد بررسی قرار دادند. از سوی دیگر خیمنز و سانچز-آرچیللا [۶] در سال ۲۰۰۲ اثرات مورفودینامیک بلند مدت موج شکن فراساحل را تحلیل نمودند. جزئیات آنالیز مکانیزم آبشستگی و پاسخ خط ساحل در مقالات جداگانه ای توسط سامر و همکاران (۲۰۰۵) [۷] و خیمنز و همکاران [۸] ارائه شد. در سال ۲۰۰۵، جانسن و همکاران [۹] ضمن ساخت مدل آزمایشگاهی وضعیت موج و جریان را اطراف موج شکن مستغرق، توسط سه مدل عددی (MIKE 21, Lim, Boussinesq) بررسی و نتایج مدل ها را با یکدیگر مقایسه نمودند.

فرسایش و آبشستگی مشاهده شده اطراف موج شکن مستغرق (مطالعه موردی)

نتایج اندازه گیری شده که در این بخش ارائه شده، مربوط به دو منطقه از سواحل دریای آدریاتیک است. منطقه اول ساحل پلسترینا^۲ و منطقه دوم لیدو دی دانته^۳ است. جزئیات شرایط منطقه و اقلیم موج در مقاله های زانوتیق و همکاران [۱۰] و لامبرتی و همکاران [۱۱] ارائه شده است. در هر دو منطقه از ترکیب سازه های موازی جدا از ساحل و عمود بر ساحل جهت حفاظت منطقه در برابر فرسایش استفاده شده است. در قالب پروژه دلوس^۴ دو مرحله نقشه برداری با جزئیات از منطقه پلسترینا در اکتبر ۲۰۰۲ انجام شد. در شکل ۲ (چپ) بتی متری^۵ نقشه برداری شده اطراف نوک موج شکن واقع در جنوب منطقه نشان داده شده است. یک فرسایش شدید و عمیق با عمق یک متر نسبت به اطراف و با ابعاد ۶۰ متر در ۹۰ متر در این محدوده مشاهده می شود. در سمت راست شکل ۲ (بتی متری ثبت شده در پشت موج شکن) نیز گودالی به طول ۳۵۰ متر، عرض ۵ متر و با عمق متوسط ۰/۸ متر مشاهده می شود.



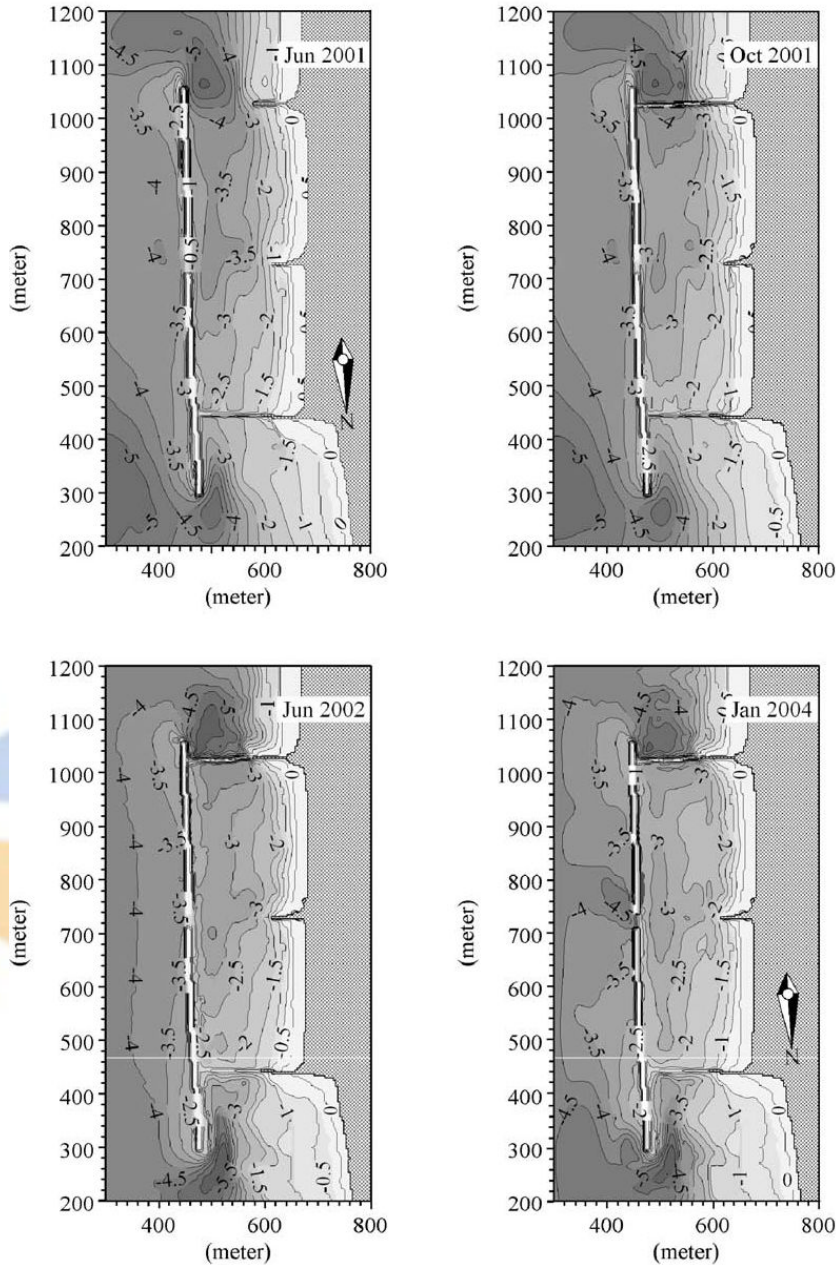
شکل ۲- فرسایش اندازه گیری شده در ساحل پلسترینا (ایتالیا) در اکتبر ۲۰۰۲

در ساحل لیدو دی دانته قبل و بعد از ساخت سازه، بتی متری بستر دریا اندازه گیری شد تا اثر این سازه بر روی تغییرات مورفولوژی ساحل بررسی گردد. شکل ۳ چهار نقشه برداری انجام شده در طی سال های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ را نشان می دهد. بتی متری ژوئن ۲۰۰۱ (یک ماه قبل از

¹ One-line
² Pellestrina
³ Lido Di Dante
⁴ Delos
⁵ Bathymetry

ساخت سازه متصل کننده مستغرق، در جنوب منطقه) فرسایش در نزدیکی نوک و پشت سازه را نشان می دهد. بتی متری اکتبر ۲۰۰۱ نشان می دهد فرسایش پشت سازه بعد از ساخت سازه جدید کاهش یافته است.

بتی متری ژوئن ۲۰۰۲ فرسایش شدیدی را در منطقه ای با حدود ۷۰ متر فاصله از نوک های سازه نشان می دهد. آبستتگی هلالی شکل حدود ۱۷۰ متر طول، ۵۰ متر عرض و ۱/۵ متر عمق دارد. نقشه برداری ژانویه ۲۰۰۴ (بعد از تعمیرات آرمور موج شکن مستغرق موازی ساحل) کاهش فرسایش در منطقه شمال و جنوب سازه را نشان می دهد در حالی که فرسایش در دهانه^۱ میانی سازه در سمت دریا افزایش یافته است.



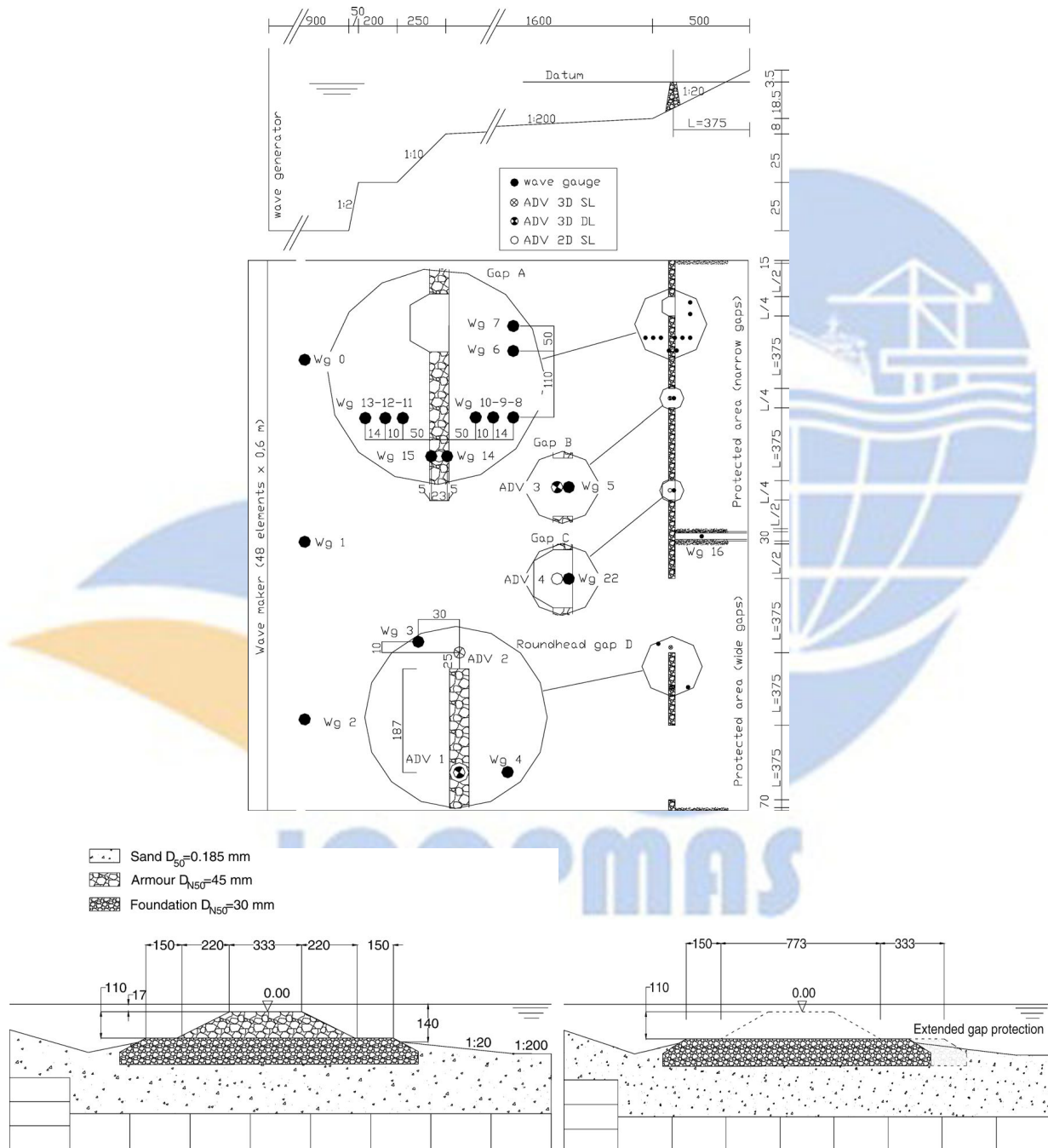
شکل ۳- بتی متری منطقه لیدو دی دانتِه (ایتالیا): فرسایش و آبستتگی در اطراف نوک و فاصله بین موج شکن ها قابل مشاهده است.

مدلسازی

در این تحقیق از یک مدل عددی (MIKE 21) که توسط شرکت Danish Hydraulic Institute (DHI) تهیه شده است، استفاده می شود. در پژوهش حاضر جهت کنترل و مقایسه نتایج شبیه سازی فیزیکی و عددی، از مدلسازی آزمایشگاهی که توسط مارتینلی و همکاران [۱۲] در آزمایشگاه "Laboratorio di Idraulica Costiera" دانشگاه پلی تکنیک باری در ایتالیا در سال ۲۰۰۵ انجام شد استفاده گردید. مشخصات مدل و نتایج مدلسازی فیزیکی و عددی در ادامه آورده شده است. جزئیات مدلسازی و ابزار اندازه گیری در مقاله مارتینلی و همکاران ارائه شده است و در ادامه به طور مختصر به بعضی از آنها اشاره می شود.

¹ Gap

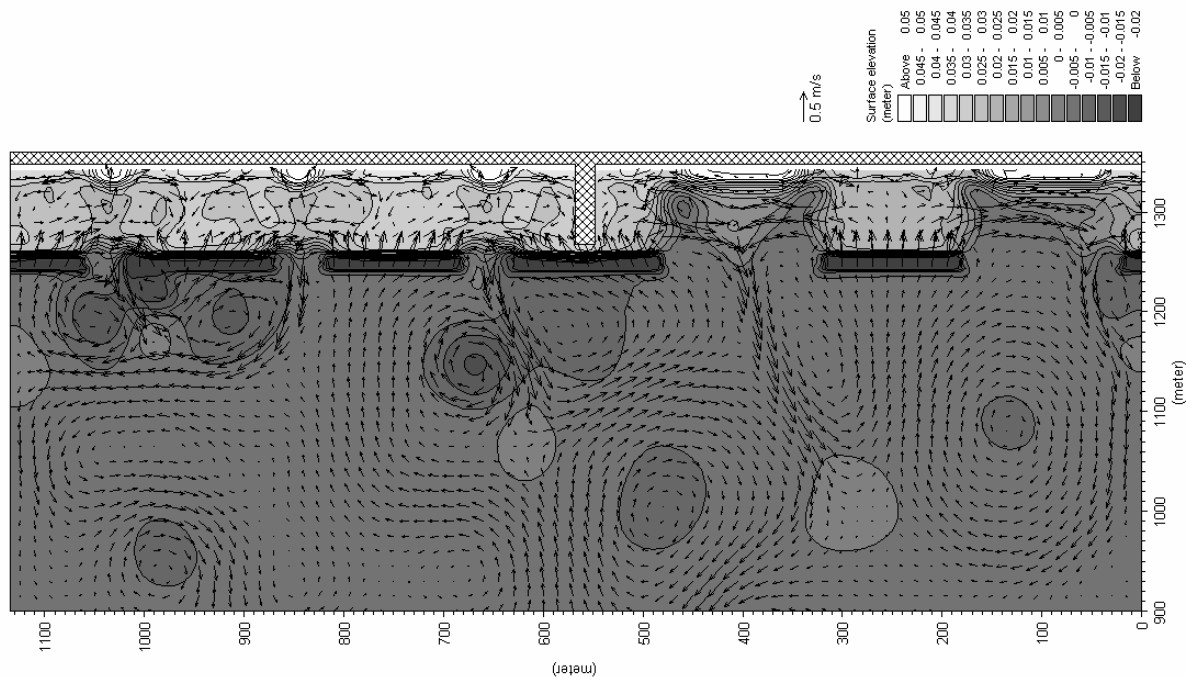
حوضچه موج مورد استفاده دارای ۹۰ متر طول، ۵۰ متر عرض و عمق ۱/۲ متر می‌باشد. برای ایجاد موج از یک مولد موج پیستونی که از ۴۸ قسمت ۰/۶ متری تشکیل شده است استفاده گردید که دارای قابلیت تولید امواج تا ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر است. به دلیل شرایط خاص آزمایشگاه مولد موج به میزان ۱۰ درجه نسبت به حوضچه موج چرخانده شد. در داخل حوضچه موج مساحت مستطیل شکل به ابعاد ۲۸/۸ متر در ۳۵/۰ متر جهت مدلسازی در نظر گرفته شد. این محدوده دارای چهار مرز مولد موج، دیواره آجری مرز ساحل و دو دیواره نفوذ ناپذیر در دو سمت مدل می‌باشد. در شکل ۴ پلان و مقطع شماتیک مدل مورد بررسی نشان داده شده است. دانه‌بندی بستر از نوع ماسه با قطر متوسط D_{50} برابر ۰/۱۸۵ میلی‌متر و با سرعت سقوط ذره w برابر ۲/۵۵ سانتی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. موج‌شکن‌ها از دو لایه افقی شامل لایه پی ($D_{n50}=3/0$ cm) و لایه آرمور ($D_{n50}=4/5$ cm) تشکیل شده است (شکل ۴).



شکل ۴- پلان و مقطع مدل آزمایشگاهی، محل سرعت‌سنج، ADV، موج‌سنج، Wg (اندازه‌ها به میلی‌متر)

اگر چه در مدل مارتینلی و همکاران موج شکن‌ها در سه عمق آب متفاوت ساخته شد تا عمق‌های مغروق متفاوت ($R_c = -1/7, 0, 1/7$ cm) مورد مطالعه قرار گیرد، اما به دلیل اینکه در این مقاله موج‌شکن مستغرق بررسی می‌شود تنها حالت مستغرق (عمق مغروق برابر $-1,7$ cm) در نظر گرفته شده است. در دهانه‌های A و C بستر با لایه محافظ ($D_{n50}=3.0$ cm) پوشانده شده است (شکل ۴).

در پژوهش حاضر برای اجتناب از ایجاد خطاهای ناشی از مدلسازی عددی در ابعاد کوچک، ابعاد پارامترهای نمونه آزمایشگاهی به نسبت ۱ به ۴۰ بزرگتر در نظر گرفته شد. علت انجام این کار این است که طبق گفته توسعه دهندگان مدل، مدل عددی MIKE 21 برای ابعاد واقعی، واسنجی و اشکال زدایی شده است بنابراین در صورت مدلسازی در ابعاد کوچک امکان بروز خطا وجود دارد. بزرگنمایی نسبت ۱ به ۴۰، با توجه به نسبت تشابه فرود و عدد دین ثابت انجام شد. برای مدلسازی موج از طیف موج JONSWAP در مرز فراساحل استفاده گردید و مرزهای جانبی از نوع بازتابنده قرار داده شد. در مدل هیدرودینامیک تمام مرزها از نوع با شار صفر در نظر گرفته شد. با فرض عدد دین ثابت $H_b/(wT)$ که در آن H_b ارتفاع موج در حال شکست و T پریود موج است (دین ۲۰۰۱) [۱۳] دانه بندی بستر D_{50} برابر ۱/۵ میلی متر بدست می آید. در مدل موج زبری بستر (زبری نیکورادزه) برای قسمت سازه برابر ۱/۸ متر و برای قسمت بستر ماسه‌ای ۰/۰۵ متر در نظر گرفته شد. لزجت گردابه‌ای^۱ از رابطه بر پایه سرعت^۲ فرمول اسمانگورینسکی با ضریب ۰/۵ محاسبه شده است. مدل موج، برای شبیه سازی بهتر پیشروی موج به سمت ساحل و اثر حضور سازه کالیبره گردید که در نتیجه بهترین جواب برای مقادیر ضرایب γ_1 برابر ۱، γ_2 برابر ۰/۸ برای بستر ماسه‌ای و ۱/۲ برای سازه و ضریب α برابر ۱/۴ بدست آمد (γ_1 ، γ_2 و α ضرایب شکست موج در مدل بتجس و جنس^۳ هستند). مقدار γ_2 به این دلیل بزرگتر از ۱ در نظر گرفته شد که توپوگرافی بستر در اثر وجود سازه دارای تغییرات ناگهانی و سریع می‌باشد. در شکل ۵ نتایج مدلسازی عددی موج و جریان مربوط به یکی از آزمایشات نشان داده شده است. جزئیات نتایج مدلسازی هیدرودینامیک در مقاله دیگری از مولفان آورده شده است. با مقایسه نتایج مدل عددی و آزمایشگاهی تطابق خوبی بدست آمد و بیشترین اختلاف مربوط به شدت جریان در فاصله بین موج شکن ها حدود ۱۰ درصد بود. علت این اختلاف نیز به دلیل محدودیت مدل در توانایی در نظر گرفتن نفوذپذیری، تراوش و جریان عبوری از موج شکن توده سنگی است.



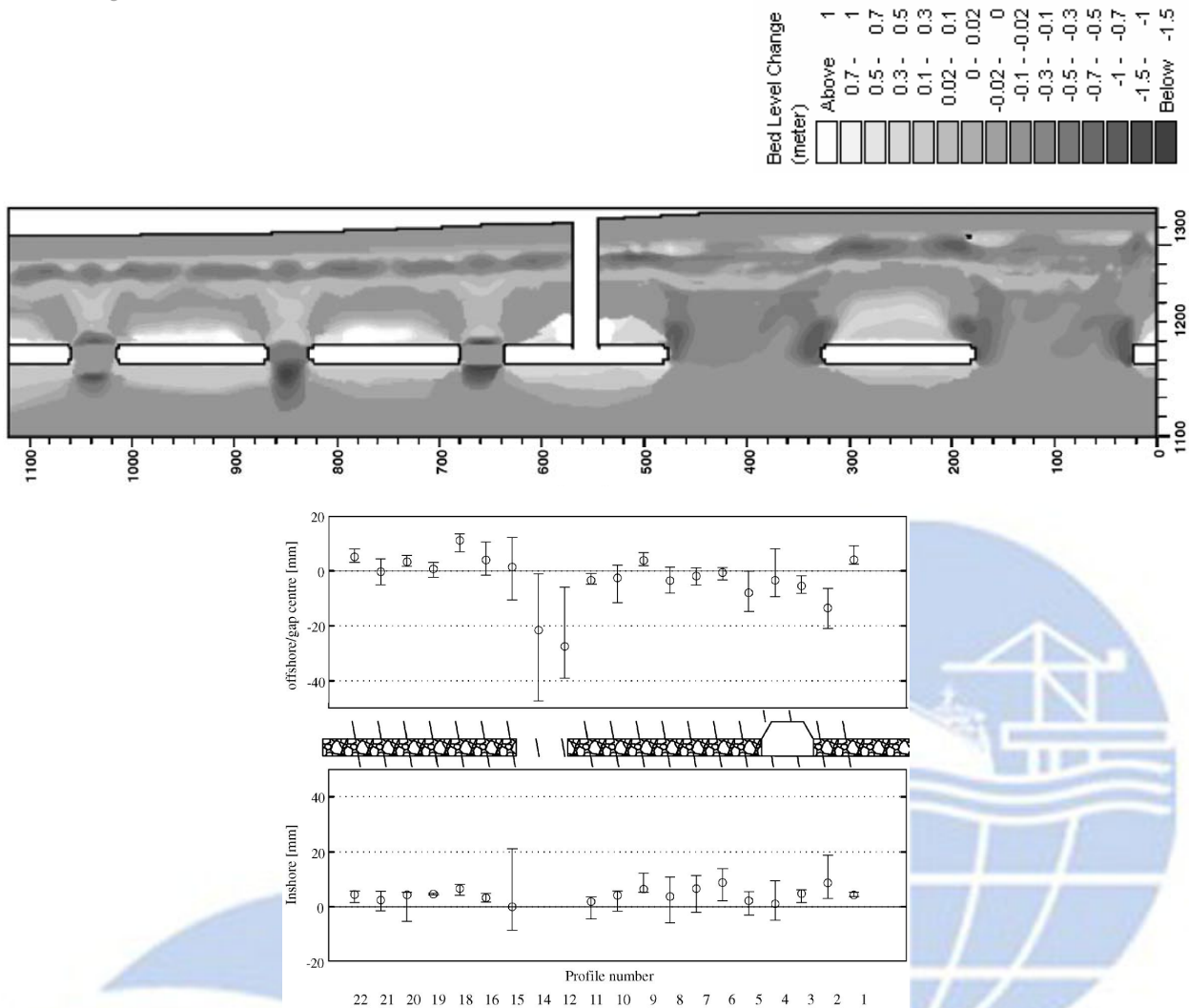
شکل ۵- نتایج شبیه سازی عددی هیدرودینامیک: رژیم جریان (اندازه و جهت جریان با بردار و سطح آب با مقیاس رنگ خاکستری).

در ادامه این تحقیق به کمک مدل عددی MIKE21 CAMS به شبیه‌سازی تغییرات مورفولوژی بر اساس مشخصات مدل آزمایشگاهی پرداخته شد. در شکل ۶ میزان تغییرات بستر نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، بیشترین فرسایش در اطراف نوک موج شکن‌های مستغرق و همچنین در فاصله بین آنها شکل گرفته است که تطابق خوبی با نتایج بدست آمده از مدل آزمایشگاهی دارد. فرسایش در دهانه‌های کوچکتر به دلیل عبور کمتر موج و سرعت بیشتر جریان، بیشتر است که این مورد در شکل ۶ نشان داده شده است. طبق نتایج مدل عددی، بیشترین فرسایش در دهانه حفاظت نشده رخ داده است که برابر ۱/۱۸- متر است. در دهانه‌های بزرگ، بیشترین فرسایش در اطراف نوک مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار آن برابر ۰/۸۹- متر است. علاوه بر این همانطور که در شکل ۶ قابل مشاهده است در دهانه های حفاظت شده فرسایش رخ نمی‌دهد.

¹ Eddy Viscosity

² Velocity Based

³ Battjes and Janssen



شکل ۶- بالا: تغییرات تراز بستر (واحد ها به متر) با مقیاس رنگ خاکستری بدست آمده از شبیه سازی توسط CAMS؛ پایین: نتایج آزمایشگاهی تغییرات تراز بستر (واحد ها به میلی متر) که فرسایش با اعداد منفی و رسوب گذاری با اعداد مثبت نشان داده شده است.

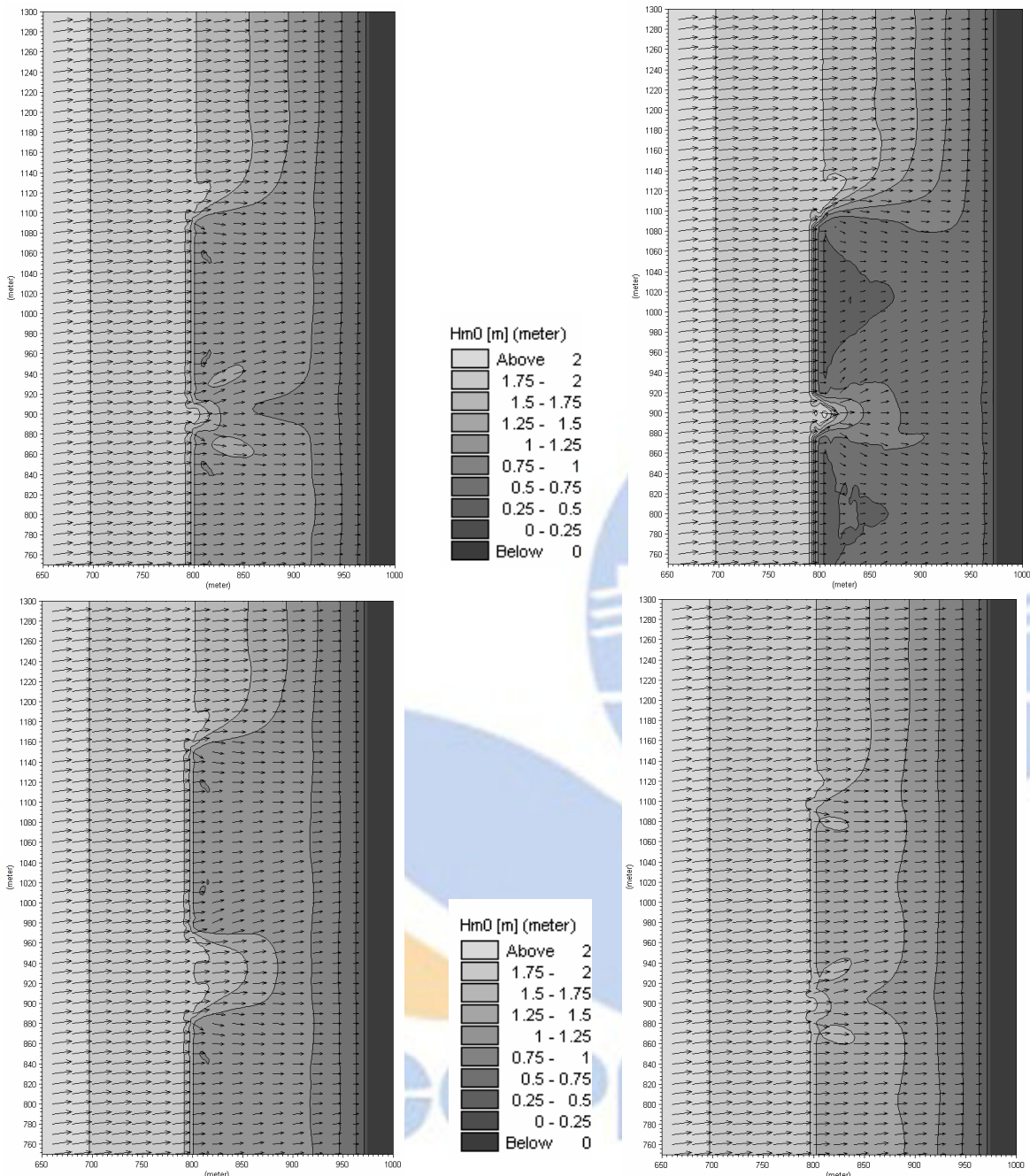
تحلیل مکانیزم فرسایش

در این پژوهش برای درک بهتر مکانیزم فرسایش از شبیه سازی توسط نرم افزار Mike21 استفاده شده و در آن آرایش های مختلف موج شکن مستغرق مورد بررسی قرار گرفته است.

مدل مورد بررسی محدوده‌ای به طول ۲۰۰۰ متر و عرض ۱۰۲۵ متر را تحت پوشش قرار می‌دهد و از سه موج شکن مستغرق با طول ۱۷۰ متر که با جانمایی‌های مختلف در فاصله‌های متفاوت تا خط ساحل قرار داده شده‌اند، تشکیل شده است. موج شکن‌ها با عمق مغروق و دهانه‌های متفاوت مدل شده‌اند تا تاثیر شرایط مختلف بررسی شود. بستر دریا در شرایط اولیه مطابق با پروفیل تعادلی دین تا عمق ۱۰ متر مدل شده است. دانه بندی بستر از نوع ماسه با قطر متوسط d_{50} برابر ۰/۲ میلی‌متر و درجه‌بندی $\sigma_g (d_{84}/d_{16})^{0.5}$ برابر ۱/۴ می‌باشد. شرایط مرزی در سمت دریا، موج با ارتفاع ۲ متر و پریود ۸ ثانیه در نظر گرفته شد. موج ورودی دارای زاویه ۱۰ درجه نسبت به خط عمود به مرز فراساحل می‌باشد. برای شکست موج از تئوری اصلاح شده بتجس و جنسن با ضرایب α و γ_1 برابر ۱ و γ_2 برابر ۰/۸ بر روی بستر ماسه‌ای و ۱/۴ بر روی سازه استفاده شد. در مدل هیدرودینامیک مرزهای جانبی از نوع تراز و شار انتخاب شد و مقادیر تراز و شار از مقادیر جریان‌های ناشی از موج که توسط WAVCUR Toolbox محاسبه می‌شود قرار داده شد. تنش‌های تشعشی محاسبه شده از MIKE 21 PMS برای محاسبه جریان در ماژول MIKE 21 HD استفاده شده است. در MIKE 21 CAMS حداکثر فاصله زمانی محاسباتی مورفولوژی ۱ ساعت قرار داده شد و محاسبات مورفولوژیک برای دوره ۲۸ روزه انجام گردید.

همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، موج در لبه‌های خارجی و فاصله بین موج‌شکن‌ها بیشترین ارتفاع را داراست. این موضوع به دلیل ترکیب موج با موج تفرق یافته در لبه‌های سازه است. با بررسی شکل ۷ آشکار می‌شود در سازه با عمق مغروق کمتر، انرژی موج بیشتر کاسته شده است و ارتفاع موج عبوری نسبت به سازه با عمق مغروق بیشتر، کوچکتر است. به همین ترتیب می‌توان دریافت به دلیل فاصله بیشتر بین

موج‌شکن‌ها و عبور بیشتر موج از این نقطه، ارتفاع امواج در این حالت در پشت سازه بزرگتر است در نتیجه نرخ انتقال رسوب در این حالت بیشتر و رسوب کمتری در ساحل انباشته خواهد شد.



شکل ۷- انتشار موج به سمت ساحل (تغییرات ارتفاع موج با مقیاس رنگ خاکستری و جهت انتشار با فلش)؛ بالا راست: طول موج‌شکن ۱۷+ متر، دهانه ۴+ متر، عمق مغروق ۱ متر؛ بالا چپ: طول موج‌شکن ۱۷+ متر، دهانه ۴+ متر، عمق مغروق ۰/۵ متر؛ پایین راست: طول موج‌شکن ۱۷+ متر، دهانه ۴+ متر، عمق مغروق ۱/۵ متر.

در اغلب موارد موج بر روی تاج سازه دچار پدیده شکست می‌شود. شکست موج باعث کاهش سریع مولفه عمود بر ساحل تنش‌های تشعشعی می‌شود که این عامل با جریان به سوی ساحل بر روی تاج و پدیده بالا رفتن سطح آب (خیزاب) در پشت موج‌شکن به تعادل می‌رسد. در شکل‌های ۸ تا ۱۰ الگوهای مختلف جریان ناشی از موج، قابل مشاهده است.

در مناطق ساحلی انتقال رسوب و در نتیجه فرسایش یا انباشت رسوب به دلیل وجود جریان‌های ساحلی به وجود می‌آید. وجود موج نیز انتقال رسوب را افزایش می‌دهد. به دلیل کاهش اثر موج در پشت موج‌شکن‌ها، شدت و دبی جریان ناشی از موج موازی ساحل در پشت سازه کاهش می‌یابد. کاهش جریان موازی ساحل به همراه کاهش ارتفاع موج در این منطقه باعث کم شدن انتقال رسوب و در نتیجه انباشت رسوب در این

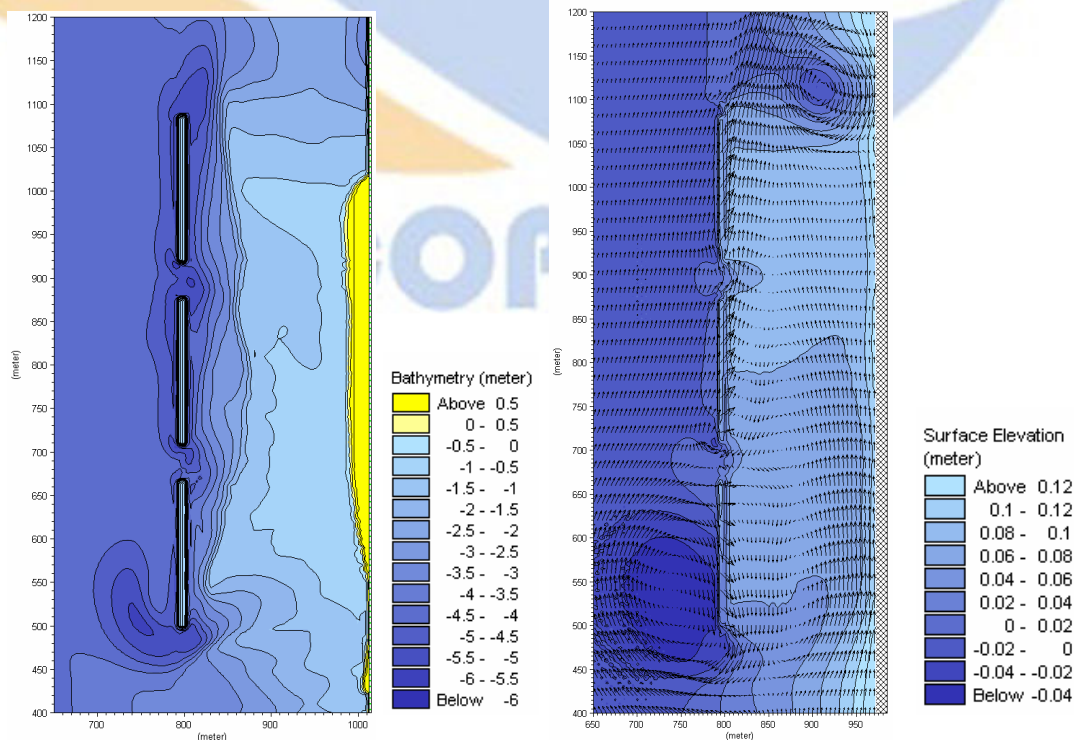
ناحیه می‌شود. این انباشت رسوب می‌تواند منجر به تشکیل پیش آمدگی ساحل شود اما به دلیل آنکه سازه مستغرق است تومولو تشکیل نخواهد شد.

به دلیل وجود جریان به سوی ساحل از روی سازه و جمع شدن آب در پشت آن و همچنین گرادیان سطح آب بین پشت و جلوی موج‌شکن، جریان‌ها برگشتی به سمت دریا شکل می‌گیرد که معمولاً به شکل جریان سوزنی شکل می‌باشد (شکل ۱۰). این جریان در ترکیب با موج با ارتفاع افزایش یافته در فاصله بین موج‌شکن‌ها باعث انتقال ماسه و در نتیجه فرسایش شدید در این قسمت‌ها می‌شود. شدت این جریان در فاصله بین موج‌شکن‌ها بیشتر است (شکل ۱۰). این جریان در ادامه به دلیل اندرکنش با موج پیش رونده به سمت ساحل دچار چرخش شده و باعث می‌شود فرسایش در مناطق مذکور به شکل زبانه آتش باشد (شکل ۱۱ و ۱۲).

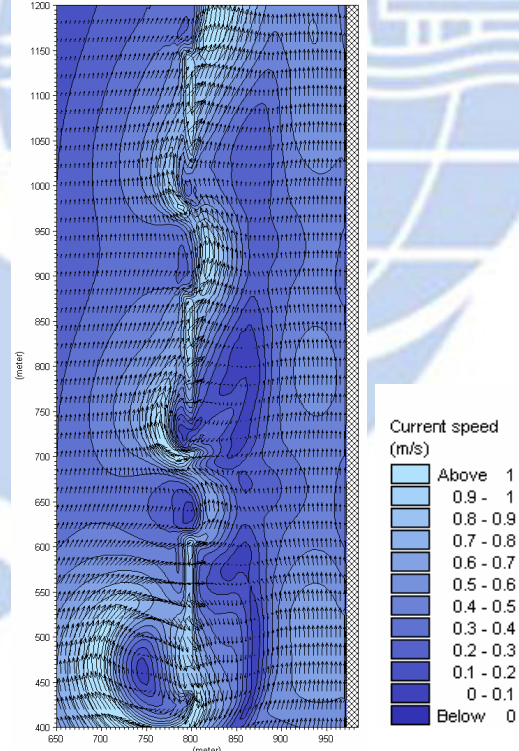
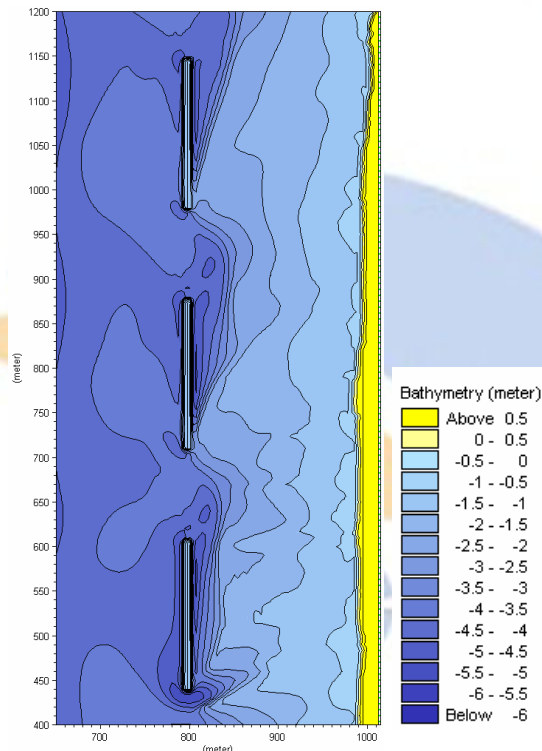
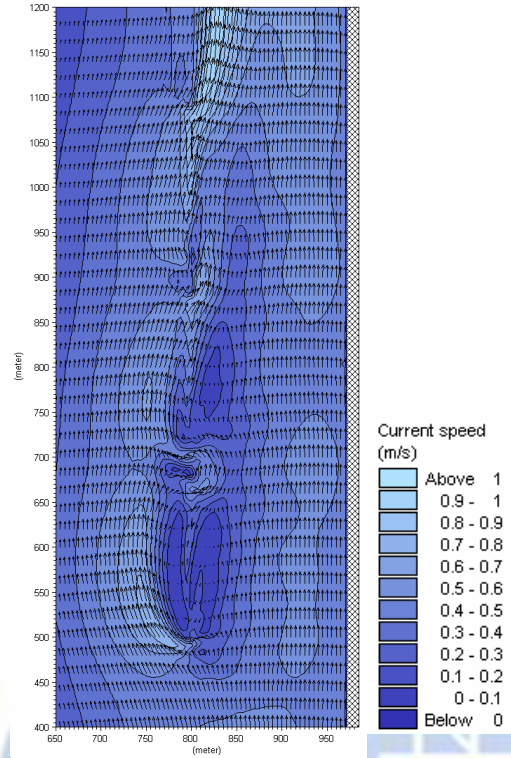
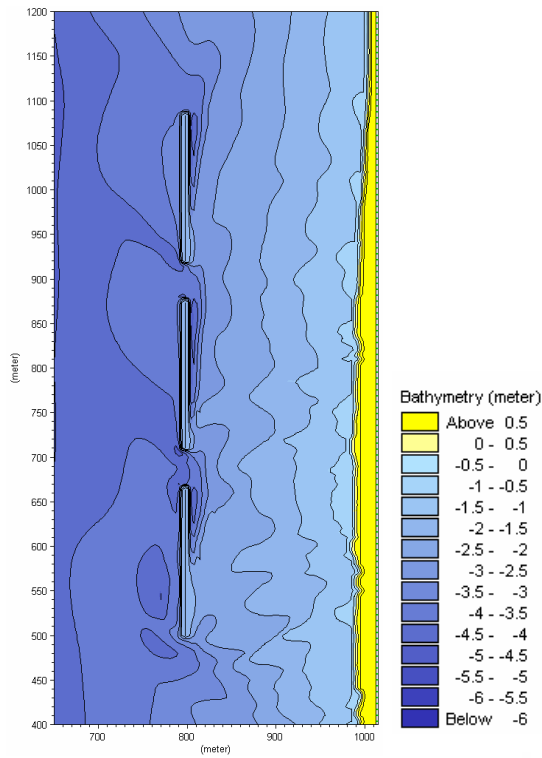
در سازه‌های با عمق مغروق بزرگتر، به دلیل عبور کمتر آب از روی سازه و در نتیجه خیزاب کمتر و آب جمع شده کمتر در پشت سازه، شدت جریان عبوری از بین موج‌شکن‌ها ضعیف‌تر است و فرسایش کمتری اتفاق می‌افتد. همچنین همانطور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، در سازه‌هایی که فاصله بین موج‌شکن‌ها بیشتر است، شدت جریان عبوری از بین موج‌شکن‌ها کمتر است، چرا که دبی جریان بازگشتی ثابت است و در حالتی که فاصله موج‌شکن‌ها بیشتر باشد سرعت جریان کاهش می‌یابد. به همین دلیل در این دو حالت فرسایش کمتری در فاصله بین موج‌شکن‌ها مشاهده می‌شود.

گرادیان محلی برای سطح آب در قسمت پایین دست موج‌شکن (بالای شکل ۱۰) بین پشت موج‌شکن و بیرون آن باعث می‌شود جریان موازی ساحل شتاب بگیرد و حتی به سرعتی بالاتر از حالت بدون حضور سازه برسد که در نتیجه باعث افزایش فرسایش در این منطقه می‌شود. این گرادیان در بالا دست موج‌شکن (پایین شکل ۱۰) باعث می‌شود جریانی مخالف جریان موازی ساحل شکل بگیرد که به دلیل اندرکنش با آن، به سمت دریا برگشت داده می‌شود. این جریان بازگشتی نیز در ترکیب موج با ارتفاع بلند در این ناحیه، باعث افزایش میزان انتقال رسوب و در نتیجه افزایش فرسایش در این ناحیه می‌شود. شدت این جریان بازگشتی به شدت جریان به سمت ساحل عبوری از روی سازه وابسته است. به همین دلیل در حالت با عمق مغروق کمتر، به علت جریان بیشتر عبوری از روی سازه، شدت جریان بازگشتی (و در نتیجه فرسایش) بزرگتر است. به دلیل هلالی شکل بودن جهت این جریان در قسمت نوک موج‌شکن، شکل فرسایش ایجاد شده در این نقطه نیز به شکل هلال خواهد بود (شکل ۱۱ و ۱۲).

همانطور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود در سازه با عمق مغروق کمتر، فرسایش و آبستگنی اطراف سازه به اطراف نوک و فاصله بین موج‌شکن‌ها محدود می‌شود در حالیکه در سازه با عمق مغروق بیشتر، علاوه بر نوک و فاصله بین موج‌شکن‌ها در راستای موج‌شکن در سمت ساحل فرسایش مشاهده می‌شود. این عامل به دلیل بزرگتر بودن ارتفاع موج عبوری از روی سازه در حالت با عمق مغروق بیشتر است، چرا که اثر توام موج با ارتفاع بزرگتر و جریان موازی ساحل شدیدتر باعث فرسایش در این منطقه می‌شود.

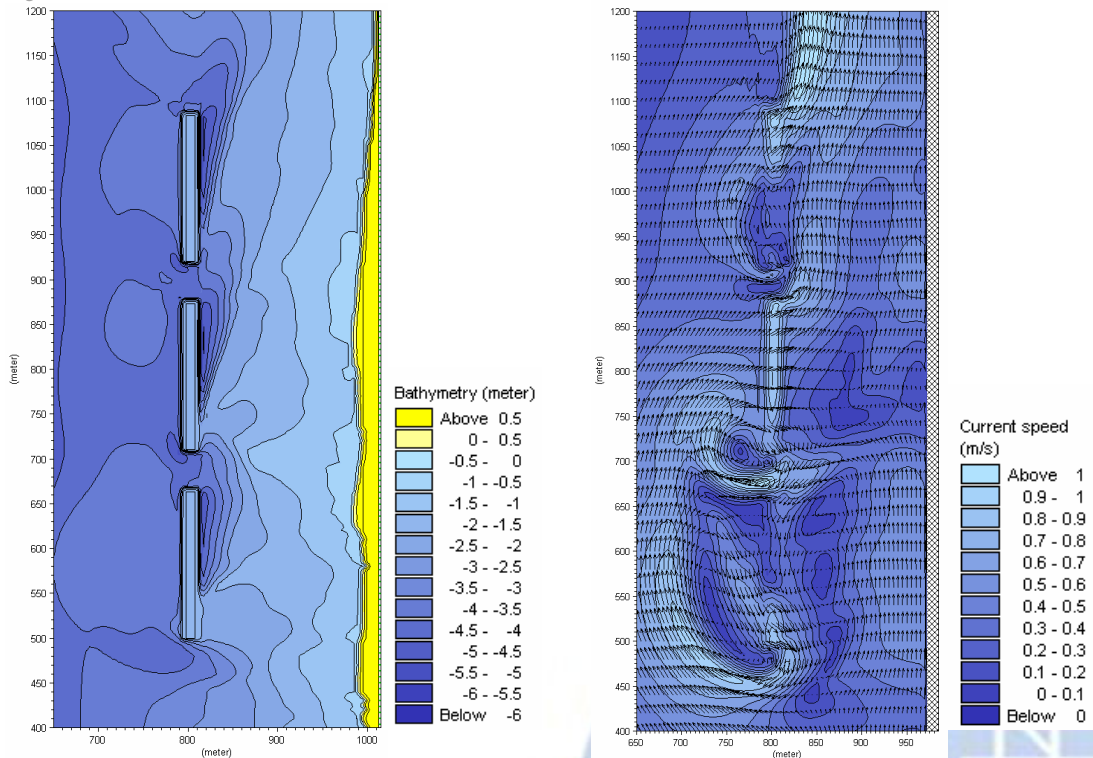


شکل ۱۰- الگوی جریان و تراز سطح آب (سمت راست) و تغییرات مورفولوژی اطراف موج‌شکن مستغرق (سمت چپ)، طول موج‌شکن ۱۷۰ متر، دهانه ۴۰ متر، عمق مغروق ۰/۵ متر، عرض موج‌شکن ۱۰ متر.



شکل ۱۱- الگوی جریان و تغییرات مورفولوژی اطراف موج شکن مستغرق؛
 شکل بالا: طول موج شکن ۱۷۰ متر، دهانه ۴۰ متر، عمق مغروق ۱/۵ متر، عرض موج شکن ۱۰ متر؛
 شکل پایین: طول موج شکن ۱۷۰ متر، دهانه ۱۰۰ متر، عمق مغروق ۱ متر، عرض موج شکن ۱۰ متر.

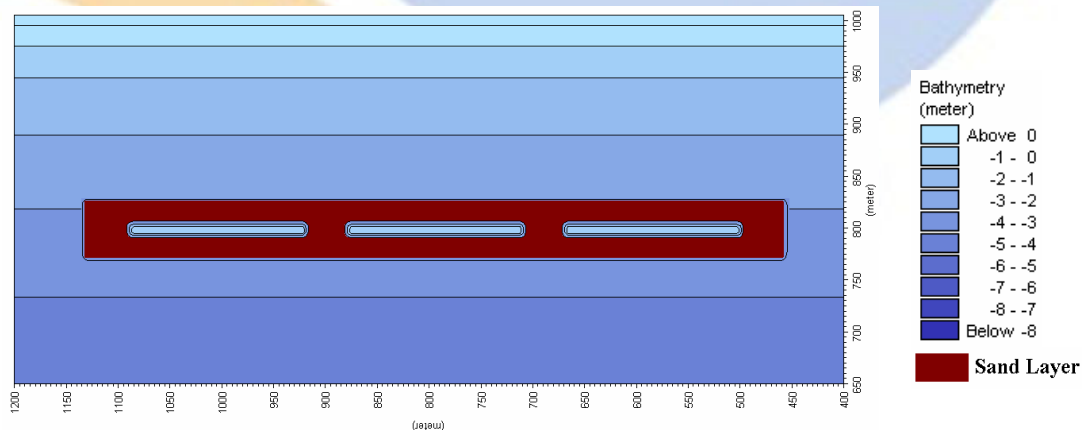
همانطور که در شکل ۱۲ مشاهده می شود در سازه با عرض تاج بزرگتر، به دلیل اتلاف بیشتر انرژی موج جریان های بزرگتری شکل می گیرد اما به دلیل حضور موج کوچکتر، فرسایش کمتری در اطراف نوک و فاصله بین موج شکن ها مشاهده می شود.



شکل ۱۲- الگوی جریان و تغییرات مورفولوژی اطراف موج شکن مستغرق: طول موج شکن ۱۷۰ متر، دهانه ۴۰ متر، عمق مغروق ۱/۵ متر، عرض موج شکن ۲۰ متر.

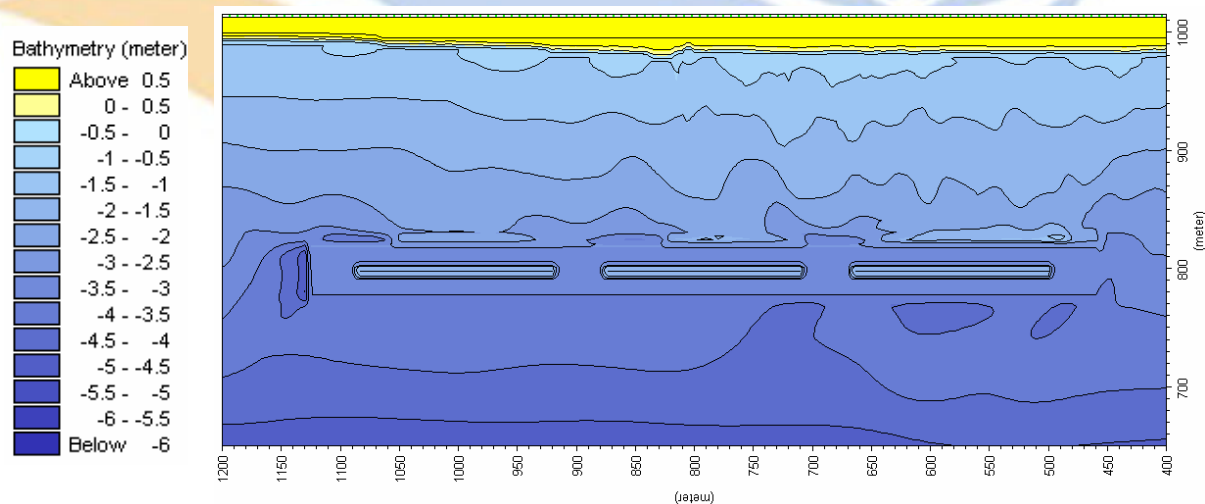
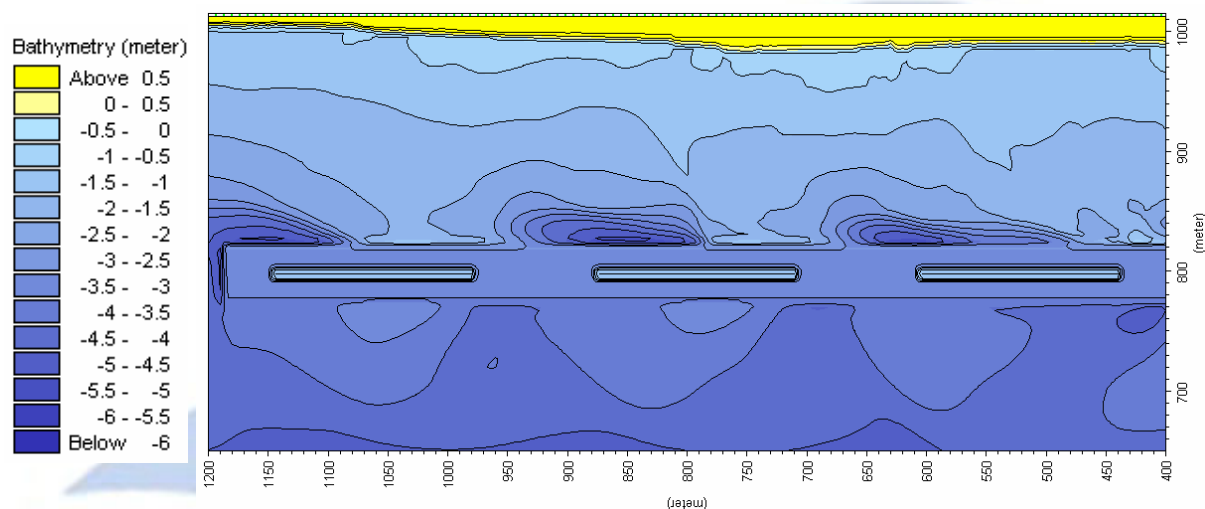
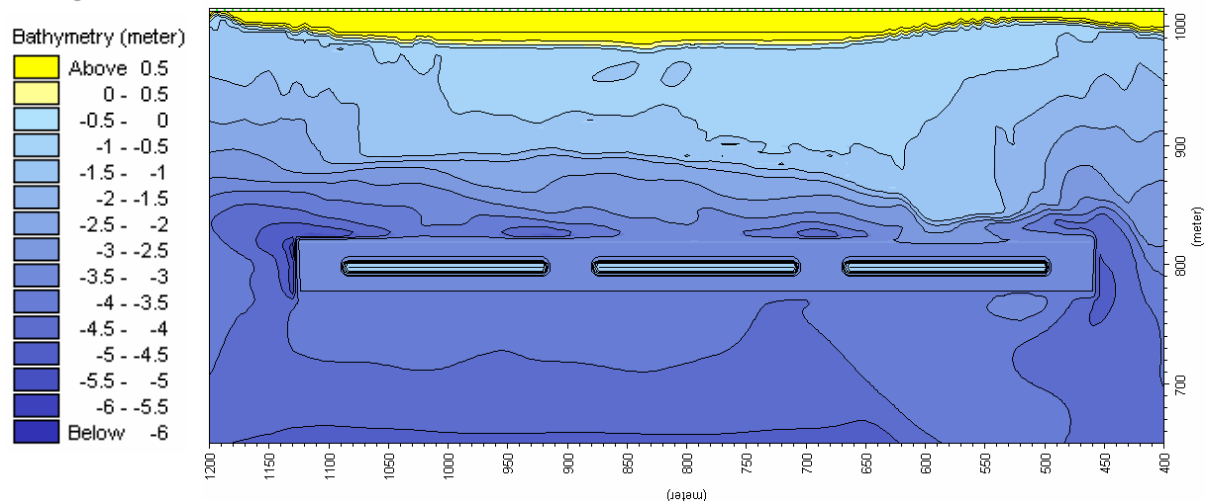
استفاده از لایه محافظ ماسه‌ای

در پژوهش حاضر برای بررسی اثر استفاده از لایه محافظ ماسه‌ای از مدلسازی عددی استفاده شده است. با توجه به این که آبشستگی و فرسایش در اطراف و نوک موج شکن ها اتفاق می افتد، در این مرحله اطراف و فاصله بین موج شکن ها با لایه محافظ ماسه ای پوشانده شد تا اثر استفاده از لایه محافظ بررسی شود. در شکل ۱۳ پلان یکی از جانمایی های موج شکن ها به همراه منطقه حفاظت شده با لایه محافظ ماسه‌ای نشان داده شده است.



شکل ۱۳- بتری و پلان لایه محافظ ماسه ای.

در شکل ۱۴ نتیجه استفاده از لایه محافظ ماسه ای در جانمایی های مختلف موج شکن مستغرق نشان داده شده است. همانطور که در این شکل ها مشاهده می شود استفاده از لایه محافظ اثر مطلوبی در جلوگیری از آبشستگی و فرسایش نقاط حساس اطراف موج شکن داشته است. این نتایج در مدل آزمایشگاهی (شکل ۶) نیز به وضوح قابل مشاهده است.



شکل ۱۴- تغییرات مورفولوژی اطراف موج شکن مستغرق در حضور لایه محافظ ماسه ای:
 شکل بالا: طول موج شکن ۱۷۰ متر، دهانه ۴۰ متر، عمق مغروق ۰/۵ متر، عرض موج شکن ۱۰ متر؛
 شکل وسط: طول موج شکن ۱۷۰ متر، دهانه ۱۰۰ متر، عمق مغروق ۱ متر، عرض موج شکن ۱۰ متر؛
 شکل پایین: طول موج شکن ۱۷۰ متر، دهانه ۴۰ متر، عمق مغروق ۱/۵ متر، عرض موج شکن ۱۰ متر.

در این مقاله نتایج مدل‌سازی آزمایشگاهی [۱۲] و عددی (نتایج حاصل در این پژوهش) فرسایش و آبشستگی اطراف موج شکن مستغرق با جانمایی و ابعاد مختلف ارائه شد و فرایندهای موثر در فرسایش اطراف موج شکن مستغرق مورد بررسی قرار گرفت. همچنین بین نتایج مدل‌سازی با نتایج اندازه گیری های میدانی مقایسه صورت گرفت که تطابق خوبی بین آنها مشاهده شد.

فرسایش اطراف موج شکن مستغرق عمدتاً به میزان آب عبوری از روی سازه که از فاصله بین موج شکن‌ها به شکل جریان سوزنی شکل به سمت دریا باز می‌گردد، بستگی دارد. این جریان همچنین تحت اثر جریان موازی ساحل و جریانات بازگشتی در نوک موج شکن، میزان فرسایش را افزایش می‌دهد. این فرسایش در فاصله بین موج شکن‌ها معمولاً به شکل زبانه آتش و در نوک موج شکن هلالی شکل می‌باشد. فرسایش اطراف و نوک موج شکن در پایداری موج شکن بسیار موثر است. چرا که با فرسایش این نقاط زیر مصالح موج شکن خالی شده در نتیجه لایه آرمور موج شکن مستغرق ناپایدار می‌شود و همچنین باعث نشست سازه در این نقاط می‌شود.

در ادامه برای جلوگیری از فرسایش و آبشستگی اطراف موج شکن از لایه محافظ ماسه به عنوان یکی از راه حل های مقابله با این پدیده استفاده شد و تاثیر مثبت آن به کمک مدل‌سازی عددی و همچنین نتایج مدل آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج این پژوهش و مقایسه آن با مدل آزمایشگاهی و اندازه‌گیری‌های میدانی نشان می‌دهد که مدل‌های عددی به عنوان یک ابزار مناسب این قابلیت را دارند که فرایندهای ساحلی را شبیه سازی کنند و با دقت خوبی مسائلی را که نمی‌توان توسط مدل فیزیکی و اندازه‌گیری میدانی بررسی کرد، مورد مطالعه قرار داد.

مراجع:

- [1] Watanabe A., Maruyama K., Shimizu T. and Sakakiyama T. (1986); Numerical prediction model of three-dimensional beach deformation around a structure, Coastal Eng. Japan, pages 179-194.
- [2] O'Connor B., Nicholson J. (1995), Applications of a Coastal Area Morphodynamic Model, Abstract to MAST. Final Report, pages 7-57-7-60.
- [3] Hanson H., N. C. Kraus (1990), Shoreline response to a single transmissive detached breakwater, Proc. Coastal Engineering Conference, pp. 2034-2046.
- [4] Sawaragi T (1992), Detached breakwaters, Proceedings of the Short Course on Design and Reliability of Coastal Structures, attached to the 23rd ICCE, pages 351-372.
- [5] Zyserman J.A., Jorgensen K, Christensen E.D (1999), Sediment transport and morphology in the vicinity of shore parallel breakwaters, Coastal Structures "99", Balkema, pages 857-863.
- [6] Jiménez J. A., Sánchez-Arcilla, (2002), Preliminary analysis of shoreline evolution in the leeward of low-crested breakwaters using one-line models, DELOS Research Report.
- [7] Sumer M., Fredsøe J., Lamberti A., Zanuttigh B., Dixen M., Gislason K., Di Penta A. (2005), Local scour at roundhead and along the trunk of low crested structures, Coastal Engineering, Vol.52, pages 995-1025.
- [8] Jiménez J., Briganti R., Martínez A. Contini P., Simulation of shoreline evolution in the leeward of low-crested breakwaters using one-line models, Coastal Engineering.
- [9] Johnson H. K., Karambas T. V., Avgeris I., Zanuttigh B., Gonzalez-Marco D., Caceres I. (2005), Modelling of waves and currents around submerged breakwaters, Coastal Engineering, Vol.52, pages 949-969.
- [10] Zanuttigh, B., Martinelli, L., Lamberti, A., Moschella, P., Marzetti, S., Ceccherelli, V.U. (2005), Environmental design of coastal defense in Lido di Dante, Italy. Coastal Engineering, Vol.52, DELOS Special Issue.
- [11] Lamberti, A., Archetti, R., Kramer, M., Paphitis, D., Mosso, C., Di Risio, M., (2005), European experience of low crested structures for coastal management, Coastal Engineering, Vol.52, pages 841-866.
- [12] Martinelli L., Zanuttigh B., Lamberti A. (2006), Hydrodynamic and morphodynamic response of isolated and multiple low crested structures: Experiments and simulations, Coastal Engineering, Vol.53, pages 363-379.
- [13] Dean R.G. (2001), Coastal Processes, New York, Cambridge University Press, 488 pages.

Effect of Utilization of Sand Protective Layer to Prevent Scour Surrounding Rock – Mass Submerged Breakwaters

H. Mirzaee

Kh. Bargi

Abstract

One of the structures of interest to researchers and engineers for protection of coasts against erosion is submerged breakwater. The usage of this structure is constantly increasing because of its advantages in comparison with other structures. This article deals with the morphology of coastal zone near the submerged breakwater in order to evaluate scour and erosion around it. For this purpose, the results of field studies and experimental model are considered and then a numerical modeling is made for investigating which process is effective in occurrence of scouring near submerged breakwater. Finally, the effect of sand protective layer as a solution for preventing such scouring is introduced and discussed using a numerical model. A notable outcome of this article is its advantage to optimization of submerged breakwaters designs and prevention of scouring near these structures.

Keywords: *submerged breakwater, scouring, protection, sand protective layer, solution*