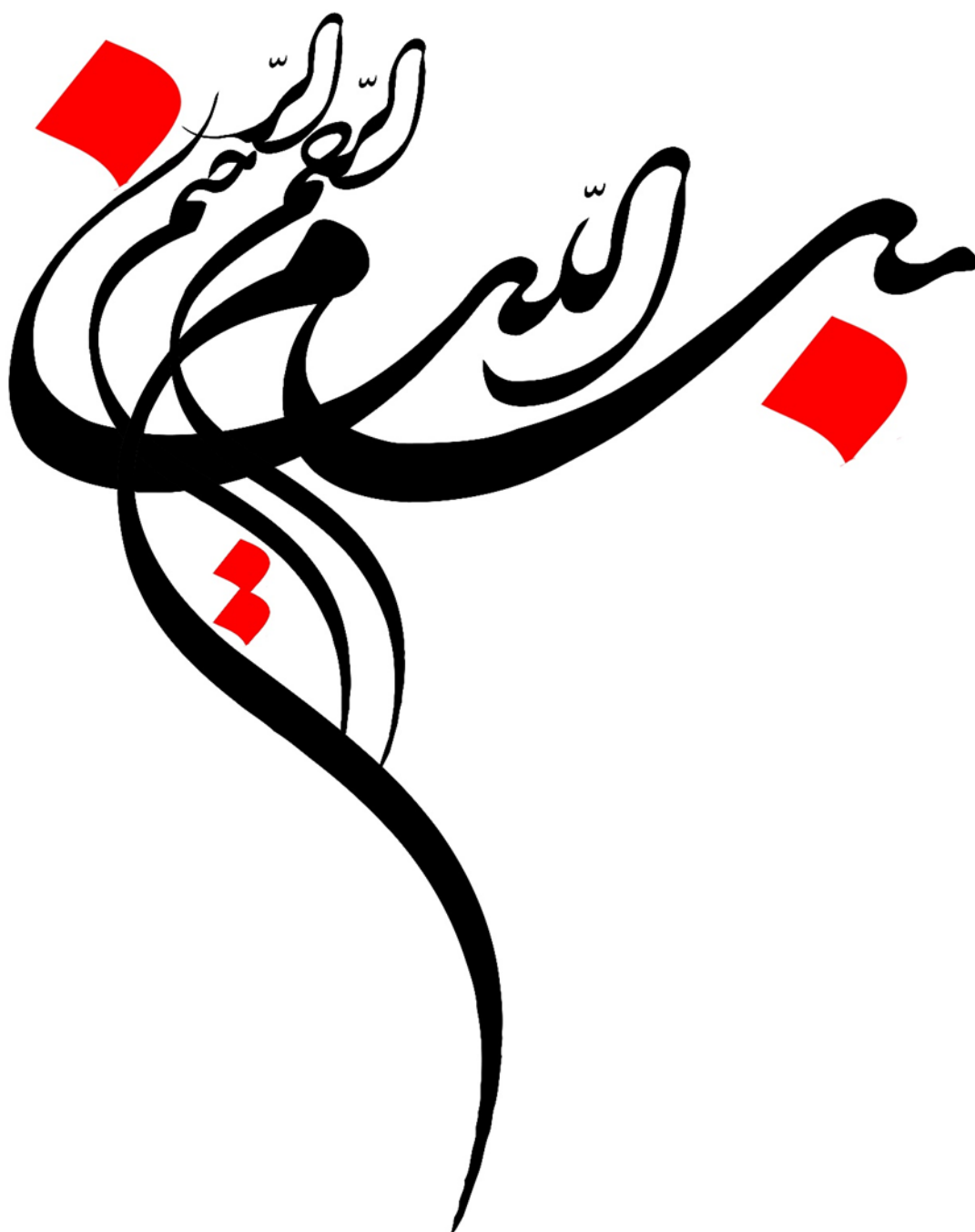






دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سواحل، بنادر و سازه های دریایی

بررسی کارایی موج شکن سکویی مرکب (سازه مفهومی جدید) در برابر امواج

نگارنده

سیدمرتضی مرعشیان

استاد راهنما

دکتر مهدی عجمی

دکتر فرشید جندقی علائی

مشاور

مهندس تقی علی اکبری

شهریور ۱۳۹۷

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی عمران
گروه مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای سیدمرتضی مرعشیان به شماره دانشجویی: ۹۵۱۳۸۱۴

تحت عنوان: بررسی کارایی موج شکن سکویی مرکب (سازه مفهومی جدید) در برابر امواج

در تاریخ ۱۳۹۷/۶/۱۹ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه خیلی خوب مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	مهندس تقی علی اکبری		دکتر مهدی عجمی
			دکتر فرشید جندقی علایی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	دکتر مهدی گلی		دکتر ساقی سعیدطهرانی
			دکتر امیرعباس عابدینی

تقدیم نامہ

سپاس بی کران پروردگار یکتا را کہ ہستی مان بخشید و بہ طریق علم و دانش
رہنمونمان شد و بہ ہمنشینۂ رہروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشہ چینی
از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

تقدیرنامه

از استاد گرامی، جناب آقای دکتر عجمی و تمامی عزیزانی که مرا در کسب علم و دانش راهنمایی و کمک کردند، تشکر و قدردانی می کنم.
امیدوارم در تمامی عرصه های زندگی موفق و سربلند باشند.

تعهد نامه

اینجانب سیدمرتضی مرعشیان دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه بررسی کارایی موج شکن سکویی مرکب (سازه مفهومی جدید) در برابر امواج

تحت راهنمایی دکتر مهدی عجمی و دکتر فرشید جندقی علانی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ ۱۳۹۷ / ۶ / ۱۹

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

چکیده

در این مطالعه به معرفی و بررسی موج شکن سکویی مرکب به عنوان مدل مفهومی نوین پرداخته شده است. درک درست از عملکرد موج شکن سکویی مرکب با مطالعه فعالیت های انجام شده در زمینه موج شکن های سکویی بدست می آید. در ابتدا به تعریف، اهمیت و ضرورت بررسی موضوع پرداخته شده است. پس از مرور ادبی مطالعات انجام شده در رابطه با موج شکن های سکویی، کیسونی و نوین، نحوه بررسی آزمایشگاهی و مدلسازی عددی موج شکن سکویی مرکب بیان می شود. با معرفی روابط طراحی موج شکن سکویی مرکب این مدل در سه حالت مدلسازی شده است. مدل سازی عددی موج شکن سکویی مرکب به وسیله مدل عددی Flow3D انجام شده است. برای اطمینان از نتایج صحیح و قابل قبول مدل عددی، می توان به وسیله مدل آزمایشگاهی، مدل عددی را صحت سنجی و واسنجی کرد. نتایج صحت سنجی مدل عددی Flow3D نشان دهنده نتایجی قابل قبول می باشد. برای بدست آوردن نیروهای وارد بر آرمور در موج شکن سکویی مرکب در سه قسمت سکو شامل انتهای سکو، ابتدای سکو و روی شیب؛ پایداری آرمور ها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده حاکی از توانایی مدل عددی Flow3D در محاسبه ی نیروهای وارد بر آرمور است. با مدلسازی عددی موج شکن سکویی مرکب می توان فشار وارد بر کیسون و روگذری امواج را بدست آورد. سپس نتایج بدست آمده را با موج شکن کیسونی افقی، توده سنگی و کیسونی مقایسه و بررسی می شود. موج شکن سکویی مرکب عملکرد مطلوبی در رابطه با کاهش فشار وارد بر کیسون و کاهش میزان روگذری دارد. همچنین در ارزیابی های صورت گرفته در زمینه بررسی نیروهای وارد بر آرمور، فشار وارد بر کیسون و روگذری امواج در موج شکن سکویی مرکب؛ حالت سوم موج شکن سکویی مرکب (ایسلندی) توصیه می شود.

کلمات کلیدی: موج شکن سکویی مرکب، موج شکن سکویی، کیسون، مدل عددی، Flow3D، نیروی

وارد بر آرمور، پایداری آرمور، فشار، روگذری

فهرست مطالب

فصل ۱ : کلیات ۱

- ۱-۱- تعریف مسأله..... ۲
- ۱-۲- ضرورت انجام تحقیق ۸
- ۱-۳- فرضیات تحقیق ۱۱
- ۱-۴- سوالات تحقیق ۱۲
- ۱-۵- روش تحقیق ۱۳

فصل ۲ : مرور ادبی..... ۱۵

- ۲-۱- مقدمه ۱۶
- ۲-۲- مطالعات انجام شده بر موج شکن سکویی ۱۷
- ۲-۲-۱- روش های موجود برای ارزیابی پایداری و تخمین عرض فرسایش یافته سکو ۲۰
- ۲-۲-۱-۱- هال و کاو (۱۹۹۱) ۲۱
- ۲-۲-۱-۲- تروم و همکاران (۱۹۹۸) ۲۱
- ۲-۲-۱-۳- تروم و همکاران (۲۰۰۳) ۲۲
- ۲-۲-۱-۴- راو و همکاران (۲۰۰۴) ۲۲
- ۲-۲-۱-۵- اندرسن (۲۰۰۶) ۲۲
- ۲-۲-۱-۶- مقیم و همکاران (۱۳۸۷) ۲۳
- ۲-۲-۱-۷- شکاری و همکاران (۱۳۹۱) ۲۴
- ۲-۲-۲- مروری بر موج شکن های سکویی ساخته شده در ایران ۲۴
- ۲-۲-۳- مروری بر موج شکن های سکویی چندلایه ۲۶
- ۲-۲-۳-۱- مزیت های موج شکن سکویی چندلایه ۲۹
- ۲-۳- مطالعات انجام شده بر موج شکن های کیسونی ۳۱
- ۲-۴- موج شکن های نوین ۳۴
- ۲-۴-۱- نمونه های ساخته شده در دنیا ۳۵
- ۲-۵- جمع بندی مطالعات انجام شده ۳۶

فصل ۳ : مواد و روش ها ۳۹

۳-۱-۳-۱	مدل سازی آزمایشگاهی موج شکن سکویی مرکب	۴۰
۳-۱-۳-۱	مشخصات آزمایشگاه و برپایی مدل آزمایشگاهی	۴۱
۳-۱-۳-۲	تجهیزات اندازه گیری روگذری	۵۷
۳-۱-۳-۳	تجهیزات نیم رخ برداری	۵۹
۳-۲-۳-۱	مدلسازی عددی موج شکن سکویی مرکب	۵۹
۳-۲-۳-۱	کلیات	۶۱
۳-۲-۳-۲	معادلات حاکم	۶۲
۳-۲-۳-۳	معادله پیوستگی	۶۲
۳-۲-۳-۴	معادلات اندازه حرکت	۶۲
۳-۳-۳-۱	مبانی طراحی سکوی موج شکن سکویی مرکب	۶۴
۳-۳-۳-۱	بررسی پارامترهای اثرگذار در طراحی انواع موج شکن های سکویی مرکب	۶۴
۳-۳-۳-۲	شیب پایین سکو :	۶۶
۳-۳-۳-۳	تراز سکو نسبت به سطح ایستابی:	۶۶
۳-۳-۳-۴	تراز تاج و عرض تاج :	۶۷
۳-۳-۳-۵	قطر اسمی سنگ لایه آرمور (DN50) و وزن سنگ لایه آرمور (W50) :	۶۷
۳-۳-۳-۶	عرض سکو	۶۹
۳-۳-۳-۷	پارامترهای محیطی	۷۰
۳-۴	بیان پارامترهای هندسی و محیطی موج شکن سکویی مرکب	۷۱

فصل ۴ : مدلسازی و بیان نتایج..... ۷۵

۴-۱	مقدمه	۷۶
۴-۲	مراحل شبیه سازی	۸۱
۴-۲-۱	راه اندازی مدل عددی	۸۱
۴-۲-۲	کلیات مدلسازی عددی	۸۲
۴-۲-۳	معرفی فیزیکی پدیده ها و مشخصات آن ها	۸۲
۴-۲-۴	معرفی سیال در مدل عددی	۸۶
۴-۲-۵	معرفی هندسه مدل	۸۶
۴-۲-۶	شرایط مرزی	۸۶
۴-۲-۷	شرایط اولیه	۸۸
۴-۲-۸	فایل خروجی و تنظیمات عددی	۸۸
۴-۲-۹	تحلیل و نمایش نتایج	۸۸
۴-۳	معرفی مدل آزمایشگاهی جهت صحت سنجی FLOW3D	۸۹

۹۰	۴-۳-۱- حساسیت سنجی
۹۲	۴-۳-۲- شبکه محاسباتی
۹۵	۴-۳-۴- صحت سنجی
۱۰۴	۴-۴- محاسبه نیروهای وارد بر قطعات آرمور:
۱۰۵	۴-۴-۱- حالت های جابجایی سنگ های آرمور
۱۰۶	۴-۴-۲- مدلسازی نیروهای موثر بر تغییر مکان سنگ های آرمور
۱۰۷	۴-۴-۳- صحت سنجی
۱۱۱	۴-۴-۴- ارزیابی پایداری آرمور در موج شکن سکویی مرکب
۱۱۷	۴-۴-۵- تحلیل نتایج ارزیابی پایداری آرمور در موج شکن سکویی مرکب
۱۳۱	۴-۵- جمع بندی و نتیجه گیری

فصل ۵: تحلیل نتایج..... ۱۳۳

۱۳۴	۵-۱- مقدمه
۱۳۷	۵-۲- ارزیابی و تحلیل نتایج مدل عددی موج شکن سکویی مرکب
۱۳۷	۵-۲-۱- ارزیابی و تحلیل نتایج فشار در موج شکن سکویی مرکب
۱۴۸	۵-۲-۲- ارزیابی و تحلیل نتایج روگذری امواج در موج شکن سکویی مرکب
۱۵۴	۵-۳- جمع بندی و نتیجه گیری
۱۵۵	۵-۴- پیشنهاد برای تحقیقات آینده
۱۵۷	منابع

فهرست اشکال

فصل ۱: کلیات..... ۱

- شکل (۱-۱): نمای هوایی از خطوط ساحلی خلیج فارس ۳
- شکل (۲-۱): مراحل رسیدن از موج شکن توده سنگی به موج شکن سکویی مرکب (از چپ به راست به ترتیب موج شکن توده سنگی، موج شکن سکویی، موج شکن کیسونی و موج شکن سکویی مرکب)..... ۴
- شکل (۳-۱): نمایی از (الف) موج شکن توده سنگی سکویی و (ب) موج شکن توده سنگی ۶
- شکل (۴-۱): تخریب موج شکن کیسونی بعد از وقوع سونامی ۸
- شکل (۵-۱): نمایی از مقطع موج شکن سکویی مرکب همراه با اجزای تشکیل دهنده آن (آرمور، فیلتر و کیسون) ۱۰

فصل ۲: مرور ادبی..... ۱۵

- شکل (۱-۲): شمای کلی از نیم رخ موج شکن شکل پذیر قبل و بعد از تغییر شکل ۱۷
- شکل (۲-۲): نمایی از برخی پارامترهای سازه ای موج شکن سکویی ۲۰
- شکل (۳-۲): نمایی از موج شکن سکویی چندلایه (موج شکن سکویی ایسلندی) ۲۷
- شکل (۴-۲): نمایی از سنگ های کلاس I موج شکن سکویی چندلایه (ایسلندی) ۲۸
- شکل (۵-۲): شمای کلی از نیمرخ موج شکن سکویی چندلایه ایسلندی با استفاده از ۶ کلاس سنگی ۲۸
- شکل (۶-۲): مقایسه بزرگ ترین کلاس سنگ لایه آرمور در موج شکن ایسلندی و لایه آرمور موج شکن سنتی ۳۰
- شکل (۷-۲): نمای شماتیک مبدل انرژی امواج در موج شکن های نوین ۳۵
- شکل (۸-۲): پایلوت آزمایشی موج شکن های در جزیره کویتسفی در کشور نروژ ۳۵

فصل ۳: مواد و روش ها ۳۹

- شکل (۱-۳): موقعیت بندر خدماتی تمبک در خلیج فارس ۴۰
- شکل (۲-۳): محل قرار گیری مدل فیزیکی در فلوم و ابعاد مدل آزمایشگاهی به سانتی متر ۴۱
- شکل (۳-۳): نمایی از فلوم اصلی، فلوم ثانویه و موقعیت ساخت مدل آزمایشگاهی در فلوم ثانویه ۴۲
- شکل (۴-۳): نمایی کلی زیرسازه و نحوه قرارگیری موج شکن بر روی آن ۴۳
- شکل (۵-۳): محل قرارگیری پیچ و مهره ها بر روی ستون برای مهار طبقه متحرک زیر سازه ۴۳
- شکل (۶-۳): نسخه ابتدایی فلوم ثانویه و ارزیابی عملکرد آن ۴۴
- شکل (۷-۳): طرح نهایی فلوم ثانویه ۴۵
- شکل (۸-۳): نمایی از ساخت و چینش فلوم ثانویه در کارگاه جوشکاری آزمایشگاه ۴۶
- شکل (۹-۳): نحوه اتصال کابل به انتهای فلوم ثانویه ۴۷
- شکل (۱۰-۳): جوشکاری تیرهای پل (فلوم ثانویه) ۴۷

- شکل (۱۱-۳) : رنگ آمیزی پل های فلوم ثانویه ۴۸
- شکل (۱۲-۳) : انتقال و جانمایی پل های فلوم ثانویه ۴۹
- شکل (۱۳-۳) : نحوه انتقال یک بخش از فلوم ثانویه به محل پل ها بوسیله لیفتینگ بگ ۵۰
- شکل (۱۴-۳) : نمایی از مراحل ساخت زیر سازه ۵۰
- شکل (۱۵-۳) : انتقال زیرسازه توسط جرثقیل به داخل فلوم اصلی ۵۱
- شکل (۱۶-۳) : نمایی از نحوه انتقال طبقه متحرک زیرسازه به وسیله پانتون و نصب آن بر روی زیرسازه ۵۱
- شکل (۱۷-۳) : نمایی از مراحل ساخت و جوشکاری قاب فولادی برای دیواره شفاف بر روی زیرسازه ۵۲
- شکل (۱۸-۳) : نمونه از سنگ های مورد نیاز الک شده ۵۳
- شکل (۱۹-۳) : نمایی از سنگدانه های رنگ شده فیلتر و آرمور به ترتیب آبی و قرمز ۵۴
- شکل (۲۰-۳) : شستشوی مصالح الک شده ۵۴
- شکل (۲۱-۳) : نمایی از پلکسی گلاس شفاف مدرج با دقت سانتی متر و محل اجرای مدل آزمایشگاهی موج شکن ۵۵
- شکل (۲۲-۳) : نمایی از اجرای مصالح مغزه در مدلسازی آزمایشگاهی ۵۵
- شکل (۲۳-۳) : جایگذاری کیسون بر روی زیر سازه سنگی و ریختن مصالح فیلتر ۵۶
- شکل (۲۴-۳) : پر کردن فضای خالی کیسون بوسیله چسب فوم و نحوه قرارگیری بلوک های تاج بر روی آن ۵۷
- شکل (۲۵-۳) : تجهیزات اندازه گیری روگذری و بلوک های تاج ۵۸
- شکل (۲۶-۳) : تجهیزات اندازه گیری و برداشت نیم رخ مدل آزمایشگاهی ۵۹
- شکل (۲۷-۳) : نمایی از حالت اول موج شکن سکویی مرکب با لایه آرمور سبز رنگ و لایه فیلتر قرمز ۷۱
- شکل (۲۸-۳) : نمایی از حالت دوم موج شکن سکویی مرکب با لایه آرمور سبز رنگ و لایه فیلتر قرمز ۷۲
- شکل (۲۹-۳) : نمایی از حالت سوم موج شکن سکویی مرکب (ایسلندی)، رنگ سبز سنگ های کلاس I و رنگ آبی سنگ های کلاس II و رنگ قرمز سنگ های کلاس III ۷۲

فصل ۴ : مدلسازی و بیان نتایج ۷۵

- شکل (۱-۴) : نمایی از سنگ آرمور طراحی شده برای مدلسازی عددی موج شکن سکویی مرکب ۷۶
- شکل (۲-۴) : نمایی از چینش سنگ های آرمور و فیلتر در مدلسازی عددی ۷۷
- شکل (۳-۴) : نمایی از شناوری شی در برخورد امواج منظم در مدل شی متحرک ۸۰
- شکل (۴-۴) : نمایی از تحرک سنگ های موج شکن در اثر برخورد امواج منظم به وسیله مدل شی متحرک ۸۰
- شکل (۵-۴) : نمایی از ابعاد مدل آزمایشگاهی موج شکن کیسونی لارا ۹۰
- شکل (۶-۴) : نمایی از ابعاد مدل آزمایشگاهی موج شکن توده سنگی لارا ۹۰
- شکل (۷-۴) : نمایی از محل قرار گیری فشار سنج ها و موج نگار های مدل آزمایشگاهی موج شکن کیسونی لارا ۹۱
- شکل (۸-۴) : نمایی از محل قرار گیری فشار سنج ها و موج نگار ها در مدل آزمایشگاهی موج شکن توده سنگی لارا ... ۹۲
- شکل (۹-۴) : نمایی از محل قرار گیری سنگ آرمور های A، B و C در موج شکن سکویی مرکب ۱۰۴
- شکل (۱۰-۴) : حالت های جابجایی سنگ های آرمور ۱۰۵
- شکل (۱۱-۴) : دیاگرام آزاد نیروهای وارد بر سنگ آرمور (نیروهای محرک - نیروی مقاوم) ۱۰۷
- شکل (۱۲-۴) : نمایی از مقطع موج شکن سکویی ساخته شده در دانشگاه NTNU نروژ ۱۰۸

شکل (۴-۱۳) : نمایی از آرمور مصنوعی از جنس آلومینیوم و نحوه قرار گیری آرمور مصنوعی داخل موج شکن سکویی ۱۰۹

شکل (۴-۱۴) : موقعیت ارتفاع و محل قرار گیری آرمور مصنوعی در موج شکن سکویی ۱۰۹

شکل (۴-۱۵) : مقدار و بردار میدان سرعت جریان در لحظه ی جابجایی آرمور B قبل از نیروی ضربه ای موج(موج شکن سکویی مرکب حالت اول) ۱۱۸

شکل (۴-۱۶) : مقدار و بردار میدان سرعت جریان در لحظه ی جابجایی آرمور B بعد از نیروی ضربه ای موج (موج شکن سکویی مرکب حالت اول) ۱۱۹

شکل (۴-۱۷) : مقدار و بردار میدان سرعت جریان در لحظه ی جابجایی آرمور B قبل از نیروی ضربه ای موج (موج شکن سکویی مرکب حالت دوم) ۱۲۰

شکل (۴-۱۸) : مقدار و بردار میدان سرعت جریان در لحظه ی جابجایی آرمور B بعد از نیروی ضربه ای موج (موج شکن سکویی مرکب حالت دوم) ۱۲۱

شکل (۴-۱۹) : مقادیر و بردار های سرعت جریان در لحظه اعمال نیرو به آرمور C (بالاروی موج – نفوذ جریان – موج شکن سکویی حالت اول) ۱۲۳

شکل (۴-۲۰) : مقادیر و بردار های سرعت جریان در لحظه اعمال نیرو به آرمور C (پایین روی موج – موج شکن سکویی حالت اول) ۱۲۴

شکل (۴-۲۱) : مقادیر و بردار های سرعت جریان در لحظه اعمال نیرو به آرمور C (تراوش جریان-موج شکن سکویی حالت اول) ۱۲۵

شکل (۴-۲۲) : مقادیر و بردار های سرعت جریان در لحظه اعمال نیرو به آرمور C (بالاروی موج – نفوذ جریان – موج شکن سکویی حالت دوم) ۱۲۶

شکل (۴-۲۳) : مقادیر و بردار های سرعت جریان در لحظه اعمال نیرو به آرمور C (پایین روی موج – موج شکن سکویی حالت دوم) ۱۲۷

شکل (۴-۲۴) : مقادیر و بردار های سرعت جریان در لحظه اعمال نیرو به آرمور C (تراوش جریان-موج شکن سکویی حالت دوم) ۱۲۸

شکل (۴-۲۵) : تغییرات ناگهانی میدان سرعت جریان و افزایش نیروی عمود بر سطح آرمور C (موج شکن سکویی حالت سوم) ۱۲۹

شکل (۴-۲۶) : مقادیر و بردار های سرعت جریان در لحظه جابجایی آرمور C (بالاروی موج – موج شکن سکویی حالت سوم) ۱۳۰

فصل ۵ : تحلیل نتایج ۱۳۳

شکل (۵-۱) : نمایی از موج شکن کیسونی افقی (سمت راست) و موج شکن سکویی مرکب (سمت چپ) ۱۳۴

شکل (۵-۲) : نمایی از موج شکن کیسونی افقی با لایه آرمور سبز رنگ ، لایه فیلتر قرمز و مصالح زیرسازی کیسون زرد ۱۳۵

شکل (۵-۳) : فشار های وارد بر کیسون موج شکن کیسونی افقی ۱۳۷

شکل (۴-۵) : مقایسه نتایج فشار حالت اول موج شکن سکویی مرکب با موج شکن کیسونی افقی به همراه میدان سرعت
 جریان (P1 ، P2 ، P3 و PU) ۱۴۱
 شکل (۵-۵) : الف) مقایسه نتایج فشار حالت دوم موج شکن سکویی مرکب با موج شکن کیسونی افقی (P1 ، P2 ، P3 و
 PU) ۱۴۳
 شکل (۵-۵) : ب) مقادیر و بردارهای سرعت جریان در حالت دوم موج شکن سکویی (فشار ضربه ناشی از شکست
 موج) ۱۴۴
 شکل (۶-۵) : مقایسه نتایج فشار حالت سوم موج شکن سکویی مرکب با موج شکن کیسونی افقی به همراه میدان سرعت
 جریان (P1 ، P2 ، P3 و PU) ۱۴۶
 شکل (۷-۵) : مقادیر و بردارهای سرعت جریان در لحظه روگذری (موج شکن سکویی مرکب - حالت سوم) ۱۵۲

فهرست نمودار

فصل ۴: مدلسازی و بیان نتایج ۷۵

- نمودار (۱-۴): نتایج تحلیل حساسیت مدل عددی نسبت به تعداد سلول محاسباتی (موج نگار ۸) ۹۳
- نمودار (۲-۴): نتایج تحلیل حساسیت مدل عددی نسبت به تعداد سلول محاسباتی (فشار سنج ۳) ۹۳
- نمودار (۳-۴): نتایج تحلیل حساسیت مدل عددی نسبت به تعداد سلول محاسباتی (فشار سنج ۷) ۹۳
- نمودار (۴-۴): نتایج تحلیل حساسیت مدل عددی نسبت به تعداد سلول محاسباتی (روگذری) ۹۴
- نمودار (۵-۴): صحت سنجی طیف موج بدست آمده از تاریخچه زمانی نتایج تغییرات سطح آب موج شکن کیسونی (موج نگار ۸) ۹۶
- نمودار (۶-۴): صحت سنجی تاریخچه زمانی نتایج تغییرات فشار بر روی بدنه موج شکن کیسونی (فشارسنج ۵) ۹۷
- نمودار (۷-۴): صحت سنجی تاریخچه زمانی نتایج تغییرات فشار بر روی بدنه موج شکن کیسونی (فشارسنج ۳) ۹۷
- نمودار (۸-۴): صحت سنجی تاریخچه زمانی نتایج تغییرات فشار بر روی بدنه موج شکن کیسونی (فشارسنج ۲) ۹۸
- نمودار (۹-۴): صحت سنجی تاریخچه زمانی تغییرات روگذری موج شکن کیسونی (ارتفاع مشخصه موج ۱۸ سانتی متر و پرپود پیک ۵ ثانیه) ۹۹
- نمودار (۱۰-۴): صحت سنجی طیف موج بدست آمده از تاریخچه زمانی نتایج تغییرات سطح آب موج شکن توده سنگی (موج نگار ۸) ۹۹
- نمودار (۱۱-۴): صحت سنجی تاریخچه زمانی نتایج تغییرات فشار بر روی تاج موج شکن توده سنگی (فشارسنج ۱) ۱۰۰
- نمودار (۱۲-۴): صحت سنجی تاریخچه زمانی نتایج تغییرات فشار بر روی تاج موج شکن توده سنگی (فشارسنج ۲) ۱۰۰
- نمودار (۱۳-۴): صحت سنجی تاریخچه زمانی نتایج تغییرات فشار بر روی تاج موج شکن توده سنگی (فشارسنج ۳) ۱۰۱
- نمودار (۱۴-۴): صحت سنجی تاریخچه زمانی نتایج تغییرات فشار بر روی تاج موج شکن توده سنگی (فشارسنج ۷) ۱۰۱
- نمودار (۱۵-۴): صحت سنجی تاریخچه زمانی تغییرات روگذری موج شکن توده سنگی (ارتفاع مشخصه موج ۱۸ سانتی متر و پرپود پیک ۶ ثانیه) ۱۰۲
- نمودار (۱۶-۴): واسنجی نتایج تاریخچه زمانی تغییرات روگذری موج شکن توده سنگی (ارتفاع مشخصه موج ۱۸ سانتی متر و پرپود پیک ۵ ثانیه) ۱۰۳
- نمودار (۱۷-۴): صحت سنجی نتایج بدست آمده از مدلسازی نیرو در راستای موازی سطح آرمور (Fp) ۱۱۰
- نمودار (۱۸-۴): صحت سنجی نتایج بدست آمده از مدلسازی نیرو در راستای عمود بر سطح آرمور (FN) ۱۱۰
- نمودار (۱۹-۴): حداکثر نیروی موازی سطح و نیروی عمود بر سطح متناظر (موج شکن سکویی مرکب حالت اول) ۱۱۲
- نمودار (۲۰-۴): حداکثر نیروی عمود بر سطح و نیروی موازی سطح متناظر (موج شکن سکویی مرکب حالت اول) ۱۱۲

نمودار (۴-۲۱) : حداکثر نیروی موازی سطح و نیروی عمود بر سطح متناظر (موج شکن سکویی مرکب حالت دوم).....	۱۱۳
نمودار (۴-۲۲) : حداکثر نیروی عمود بر سطح و نیروی موازی سطح متناظر (موج شکن سکویی مرکب حالت دوم).....	۱۱۳
نمودار (۴-۲۳) : حداکثر نیروی موازی سطح و نیروی عمود بر سطح متناظر (موج شکن سکویی مرکب حالت سوم).....	۱۱۴
نمودار (۴-۲۴) : حداکثر نیروی عمود بر سطح و نیروی موازی سطح متناظر (موج شکن سکویی مرکب حالت سوم).....	۱۱۴
نمودار (۴-۲۵) : نتایج رابطه پایداری آرمور (آرمور A، B و C – موج شکن سکویی مرکب حالت اول، دوم و سوم).۱۱۶	

فصل ۵ : تحلیل نتایج..... ۱۳۳

نمودار (۵-۱) : مقایسه نتایج فشار در مدل عددی موج شکن سکویی مرکب	۱۴۸
نمودار (۵-۲) : مقایسه روگذری ناشی از امواج در طول مدلسازی (۱۶۰ ثانیه) برای سه حالت موج شکن سکویی با موج شکن کیسونی افقی، کیسونی و توده سنگی	۱۴۹
نمودار (۵-۳) : میزان نرخ روگذری در هر ثانیه برای سه حالت موج شکن سکویی نسبت به موج شکن کیسونی افقی، کیسونی و توده سنگی	۱۵۰
نمودار (۵-۴) : تغییرات سطح تراز آب موج شکن سکویی مرکب در زمان رخداد بیشترین روگذری	۱۵۱

فهرست جداول

فصل ۲: مرور ادبی ۱۵

- جدول (۱-۲): تقسیم بندی انواع موج شکن های سکویی برحسب عدد پایداری ۱۹
- جدول (۲-۲): برخی از موج شکن های سکویی ساخته شده در کشور ۲۵
- جدول (۳-۲): موج شکن های سکویی ایسلندی که اخیرا ساخته شده ۲۸
- جدول (۴-۲): مقایسه موج شکن های ایسلندی (استاتیکی) و شکل پذیر (دینامیکی) ۳۱

فصل ۳: مواد و روش ها ۳۹

- جدول (۱-۳): مقادیر عدد پایداری بر اساس اهمیت پروژه ۶۷
- جدول (۲-۳): تقسیم بندی انواع موج شکن های سکویی مطابق پارامترهای بی بعد پایداری سازه ۶۸
- جدول (۳-۳): مقادیر هندسی محاسبه شده برای موج شکن سکویی مرکب ۷۴

فصل ۴: مدلسازی و بیان نتایج ۷۵

- جدول (۱-۴): ضرایب تخلخل بکار رفته در مدلسازی آزمایشگاهی و عددی ۸۳
- جدول (۲-۴): نتایج محاسبه ضرایب درگ A و B برای مدلسازی عددی محیط متخلخل ۸۵
- جدول (۳-۴): درصد تغییرات نتایج حساسیت سنجی مدل عددی (تعداد سلول محاسباتی) ۹۵
- جدول (۴-۴): مقدار درصد خطای نسبی مدل عددی با توجه به نتایج صحت سنجی ۱۰۳
- جدول (۵-۴): مشخصات موج و پرپود تست آزمایشگاهی موج شکن سکویی (دانشگاه NTNU نروژ) ۱۰۸
- جدول (۶-۴): مشخصات مدل عددی موج شکن سکویی شکل پذیر برای صحت سنجی ۱۱۰
- جدول (۷-۴): نتایج رابطه پایداری آرمور (آرمور A، B و C - موج شکن سکویی مرکب حالت اول، دوم و سوم) ۱۱۵

فصل ۵: تحلیل نتایج ۱۳۳

- جدول (۱-۵): مقادیر پارامتر های هندسی و محیطی مورد استفاده در مدل سازی عددی موج شکن کیسونی افقی ۱۳۶
- جدول (۲-۵): مقادیر فشار بدست آمده از رابطه گودا (موج شکن کیسونی افقی) ۱۴۰
- جدول (۳-۵): میزان فشار (P1، P2، P3 و Pu) موج شکن سکویی حالت اول و درصد کاهش آن نسبت به موج شکن کیسونی افقی ۱۴۲
- جدول (۴-۵): میزان فشار (P1، P2، P3 و Pu) موج شکن سکویی حالت دوم و درصد کاهش آن نسبت به موج شکن کیسونی افقی ۱۴۵

جدول (۵-۵): میزان فشار (P1 ، P2 ، P3 و Pu) موج شکن سکویی حالت سوم و درصد کاهش آن نسبت به موج شکن کیسونی افقی ۱۴۷

جدول (۵-۶): درصد کاهش میزان نرخ روگذری امواج در هر ثانیه برای موج شکن سکویی مرکب نسبت به موج شکن کیسونی افقی ۱۵۳

فصل ۱

کلیات

۱-۱- تعریف مسأله

سازه‌های دریایی، همواره در معرض نیروهای محیطی از جمله بارهای ناشی از امواج، جریان‌ها و بادهای قرار می‌گیرند. پیچیدگی بارهای وارد بر سازه‌های دریایی از جمله اندرکنش سازه - سیال، موج - سازه و همچنین شرایط تصادفی دریا، موجب گردیده تا طراحی اینگونه سازه‌ها با مشکلات و فرضیات ساده کننده بسیاری مواجه گردد. برای دستیابی به طراحی مطلوب سازه‌های ساحلی و فراساحلی، نیاز به ارزیابی قابل اطمینان از بارگذاری‌های محیطی و رفتار سازه تحت این بارگذاری است.

حوادث ناگوار ناشی از شناخت ناکافی از پدیده‌های طبیعی، باعث شده است تا برای افزایش سطح اطمینان این سازه‌ها، هزینه‌های کلانی در ساخت و تهیه مواد اولیه صرف گردد. در دهه های اخیر با توجه به رشد صنعت حمل و نقل دریایی و همچنین نیاز بشر به استفاده بیشتر از منابع دریایی، تلاش گسترده ای جهت ساخت بنادر به منظور ایجاد یک منطقه امن و آرام برای پناه دادن به شناورها انجام شده است.

یک بندر معمولاً از چندین قسمت مجزا تشکیل می شود. یکی از قسمت های مهم بندر، موج شکن است. به طور کلی، موج شکن سازه ای است که در برابر امواج سهمگین دریا مقاومت می کند و محلی آرام برای پهلوگیری، باراندازی و بارگیری شناورها ایجاد می نماید. این امر موجب گردیده است تا مدل سازی عددی و در نهایت مطالعات آزمایشگاهی و شرایط پیش از ساخت، همواره مورد توجه محققین و طراحان قرار گیرد.

ساخت موج شکن ها جهت دستیابی به حوضچه های آرام در دریا و استفاده از آنها برای مقاصد گوناگون مانند واردات و صادرات کالاها و صیادی و همچنین مسائل نظامی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. شکل (۱-۱) نمایی از خطوط ساحلی ایران را در تصویر هوایی در محدوده خلیج فارس نشان می دهد.



شکل (۱-۱) : نمای هوایی از خطوط ساحلی خلیج فارس

موج شکن ها در طول تاریخچه ساخت خود دستخوش تغییراتی شده اند. این تغییرات بسته به شرایط محیطی ساختگاه، معادن قرضه مصالح و کاربری خود باعث بوجود آوردن انواع موج شکن شده اند. در این مطالعه به بررسی موج شکن سکویی مرکب^۱ پرداخته شده است.

موج شکن سکویی مرکب را می توان به صورت ترکیبی از موج شکن سکویی^۲ و موج شکن کیسونی^۳ در نظر گرفت. به این صورت که با حذف بخش انتهایی سکو و قرار دادن کیسون بتنی به جای قسمت تاج^۴، مغزه^۵ و وجه رو به بندر موج شکن سکویی، مدل موج شکن سکویی مرکب طراحی شده است. شکل (۱-۲) مراحل رسیدن به مدل موج شکن سکویی مرکب را نشان می دهد.

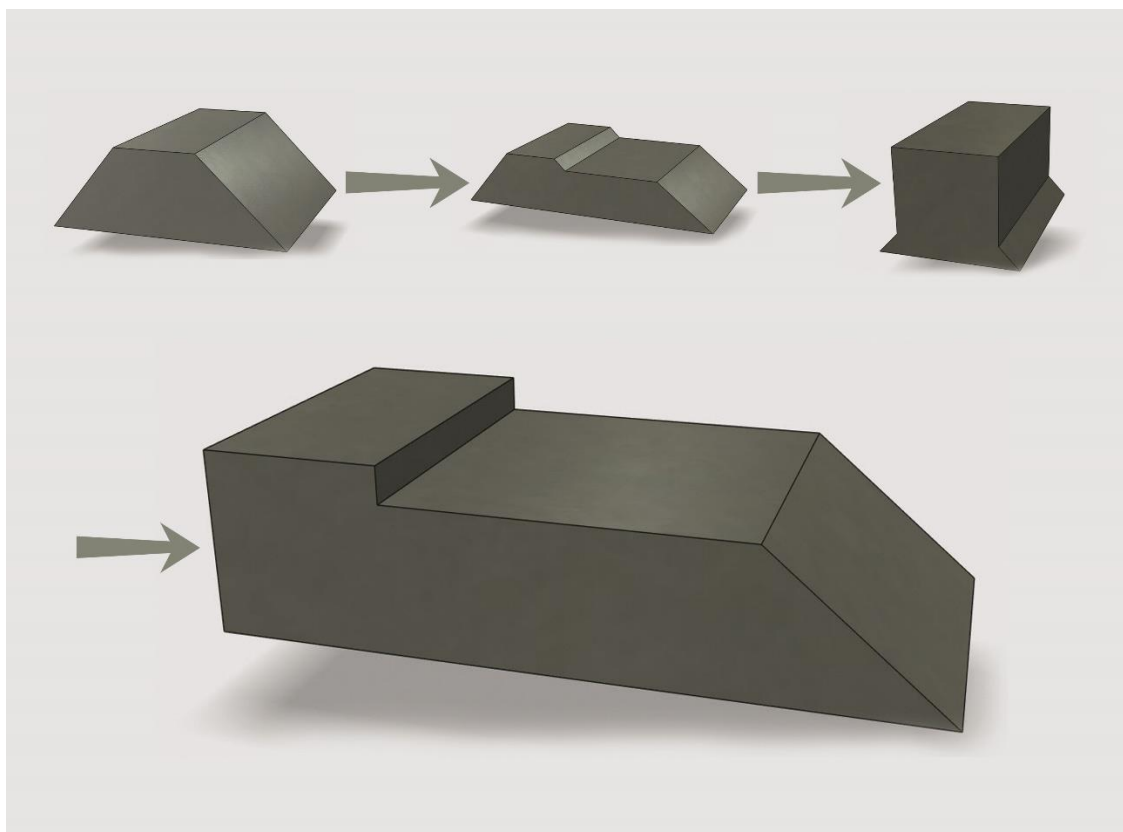
^۱ Composite berm breakwater

^۲ Berm breakwater

^۳ Caisson breakwater

^۴ Crest

^۵ Core



شکل (۲-۱) : مراحل رسیدن از موج شکن توده سنگی به موج شکن سکویی مرکب (از چپ به راست به ترتیب موج شکن توده سنگی، موج شکن سکویی، موج شکن کیسونی و موج شکن سکویی مرکب)

به کارگیری نام مرکب به دلیل وجود کیسون در موج شکن سکویی در نظر گرفته شده است. در ادامه به صورت خلاصه فرایند تحولات در طراحی موج شکن بیان می شود و با ذکر معایب و محاسن هر کدام از موج شکن های توده سنگی^۱، سکویی و کیسونی به معرفی موج شکن سکویی مرکب پرداخته می شود. موج شکن های توده سنگی به صورتی که امروزه وجود دارند، طی ۲۵۰ سال گذشته شکل گرفته اند. البته شواهدی دال بر ساخت این موج شکن ها برای حفاظت از سواحل مدیترانه در ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح وجود دارد. اما پیشرفت های اخیر در فناوری موج شکن ها از اوایل قرن نوزدهم میلادی آغاز شد. موج شکن های توده سنگی در اوایل قرن هجدهم میلادی به طور ساده با ریختن سنگ به

^۱ Rubble mound breakwater

داخل دریا ساخته می شدند، به طوری که سنگ ها در اثر برخورد امواج دوباره آرایش گرفته و نیم رخ^۱ اولیه به یک نیم رخ پایدار تبدیل شد. [۱] نخستین بار در اوایل سال ۱۸۹۱ میلادی زمانی که نیاز به احداث یک لایه محافظ شیب برای توسعه باند فرودگاه به سمت دریا در جزیره آلاسکا مطرح شد، ساخت موج شکنی بر اساس شکل گیری طبیعی لایه آرمور وجه جلویی موج شکن در طول برخورد امواج، مورد توجه بیشتری قرار گرفت. [۲]

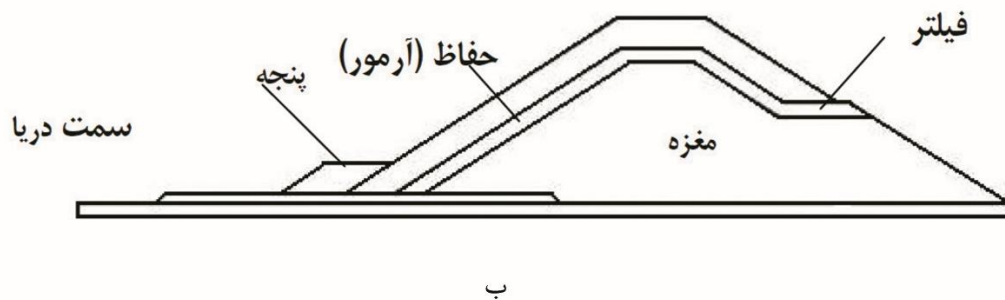
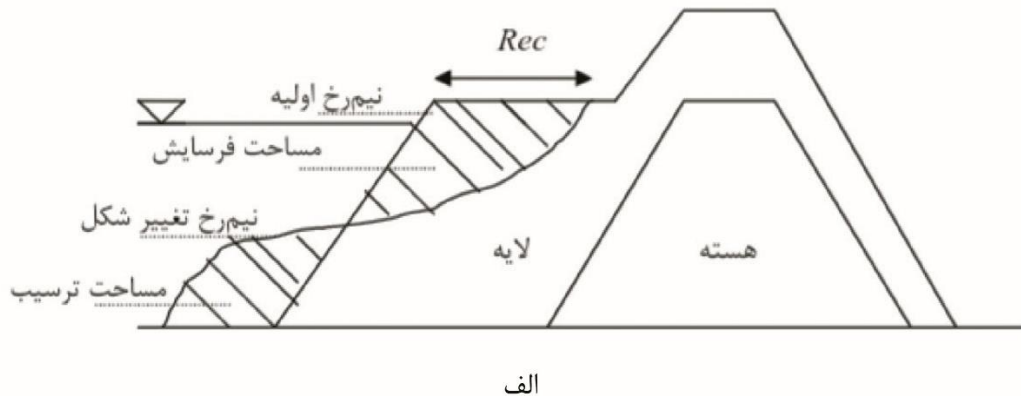
در واقع موج شکن سکویی، نوعی موج شکن توده سنگی است، که با ایجاد یک سکوی تقریباً بزرگ در تراز بالاتر یا هم تراز سطح ایستابی در سمت دریا ساخته می شود. از مزایای موج شکن های سکویی نسبت به نوع سنتی این است که با ایجاد یک سکوی حجیم و متخلخل نزدیک سطح آب قسمت اعظم انرژی امواج در هنگام برخورد به سازه مستهلک شده و به پایداری سازه کمک می کند. در موج شکن سکویی شکل پذیر به سازه اجازه داده می شود که تغییر شکل را تا رسیدن به یک نیم رخ تعادلی ادامه دهد.

این نیم رخ تعادلی به نیم رخ S شکل موسوم است. مهمترین مزیت نیم رخ S شکل در این است که می توان از مصالح محافظ سبک تر با دانه بندی گسترده تر نسبت به موج شکن های توده سنگی سنتی استفاده نمود. در نتیجه، اجرای آن ها منجر به صرف هزینه کمتری نسبت به موج شکن های توده سنگی سنتی می شود. در واقع هدف اصلی از طرح موج شکن سکویی، ساخت یک سکو با جذب انرژی بالا، کاهش انعکاس موج و کم کردن سرریزی در دوره عمر مفید سازه می باشد.

پس اجرای موج شکن های سکویی در اعماق زیاد آب دریا، گزینه ای مناسب نیست. می توان به حجم بالای مصالح مصرفی در اعماق دریا اشاره کرد. در صورتی که استفاده از کیسون به عنوان بخشی از موج شکن سکویی، می تواند باعث کاهش حجم مصالح مصرفی شود و استفاده از موج شکن سکویی را در اعماق دریا توجیه پذیر کند. از دیگر مسائل مورد بحث و بررسی در این مطالعه تاثیر کیسون در موج

^۱ Profile

شکن سکویی به عنوان عامل موثر در تعیین مشخصات فیزیکی سنگ دانه ها و نقش آن در تعیین عرض سکو می باشد. در شکل (۳-۱) نمایی از موج شکن سنتی و موج شکن سکویی را مشاهده می شود.



شکل (۳-۱) : نمایی از (الف) موج شکن توده سنگی سکویی و (ب) موج شکن توده سنگی

به کارگیری موج شکن ها در اعماق دریا و مواجهه با امواج سهمگین به پیدایش موج شکن های کیسونی کمک کرد است. موج شکن های کیسونی از زمان پیدایش تا به حال دستخوش تغییراتی شده اند. از جمله این تغییرات بهبود عملکرد آن ها است. پیشرفت های زیادی در زمینه ساخت موج شکن های کیسونی و مرکب کیسونی صورت گرفته است. این پیشرفت ها شامل موج شکن های مجوف ، کیسونی حفره دار^۱ و ... می شود. موج شکن های کیسونی به علت بازتاب امواج، دارای انعکاس^۲ بالایی هستند. این مساله در ورودی حوضچه آرامش، سبب اختلال در عملکرد شناورها می شود. وجود سکو در موج

¹ Caissons with Vertical Slit Front Face

² Reflection

شکن های سکویی، باعث کاهش چشمگیر انعکاس ناشی از امواج برخوردی می شود. استفاده از سکو در جلوی کیسون به کاهش انعکاس ناشی از برخورد امواج کمک خواهد کرد.

از دیگر مسائل پیرامون موج شکن های کیسونی، روگذری^۱ امواج است که برای کاهش روگذری امواج در موج شکن کیسونی از بلوک تاج استفاده می شود. با به کار گیری سکو در برابر کیسون انتظار می رود روگذری امواج کاهش یابد. در کشور هایی مثل ژاپن استفاده از موج شکن کیسونی رایج است و پدیده سونامی، تهدیدی برای این موج شکن ها به حساب می آید. استفاده و اجرای سکو می تواند راه حلی برای این تهدید، باشد.

از طرفی با کاهش نیروهای وارد بر کیسون می توان از کیسون هایی با ضخامت دیواره کمتر و ملاحظات طراحی اقتصادی بهره مند شد. استفاده از سکو در مقابل کیسون خود به کاهش فشار وارد به کیسون کمک می کند و امکان بهره برداری از تاج موج شکن برای تاسیسات مهم را فراهم کرد.

در مقاطع خاصی از بازوی موج شکن، با اجرای موج شکن سکویی مرکب ضمن کاهش چشمگیر روگذری و انعکاس حاصل از امواج برخوردی، از وجه دیگر آن (وجه رو به بندر) به دلیل وجود آبخور مناسب به عنوان اسکله پهلوگیری بهره برداری کرد.

با انعکاس^۲ بالای موج شکن های کیسونی، استفاده از موج شکن های کیسونی در ورودی بنادر، باعث اختلال در ورود شناور ها به داخل حوضچه آرامش می شود. قرار گرفتن سکو در جلوی کیسون موج شکن سکویی مرکب، انعکاس امواج برخوردی با موج شکن را کاهش می دهد و موجب بهبود شرایط ورود شناور ها به داخل حوضچه آرامش می شود. در شکل (۱-۴) تخریب موج شکن کیسونی بعد از سونامی را نشان می دهد.

^۱ Over topping

^۲ Reflection



شکل (۴-۱): تخریب موج شکن کیسونی بعد از وقوع سونامی

۲-۱- ضرورت انجام تحقیق

طراحی و اجرای موج شکن ها از زمان احداث اولین موج شکن تا به الان دست تغییرات بسیار زیادی قرار گرفته است و انواع مختلفی از آنها طراحی و اجرا شده است. انتظار می رود با همین روند رو به رشد در آینده شاهد نوآوری های گوناگونی در موج شکن ها باشیم. اصول طراحی موج شکن ها در گذشته بر اساس استفاده از یک سری روابط تجربی بوده است که با گذر زمان تبدیل به تلفیقی از روابط تجربی با نگرش به رفتار واقعی شده است و اصول طراحی در امروز و آنچه که در آینده برای آن پیش بینی می شود استوار بر رفتار واقعی موج شکن است. آنچه که باعث پیشرفت در این زمینه می شود، توسعه فناوری در نرم افزارها و سخت افزارها در شناخت عوامل موثر و اثرات متقابل آن ها و استفاده از مدل های فیزیکی موج شکن ها برای شناخت دقیق از تاثیر پارامترهای موجود و رفتارسنجی سازه می باشد.

عوامل موثر در طراحی بهینه و اجرای صحیح موج شکن ها عبارت است از:

- بارگذاری یا نیروهای وارد بر موج شکن با ماهیت تصادفی که امواج، جریان های دریایی و جزر و مدی، طوفان ها و برکشند آنها، زلزله و ... می باشند.

- رژیم های رسوب گذار و فرسایشی که شامل روند رسوب گذاری، غلظت، اندازه دانه های رسوب و مسیر حرکت آن ها و سایر موارد می باشد.

- ژئوتکنیک بستر دریا که شامل جنس و ساختار خاک بستر از نظر رفتار و ظرفیت باربری و بهسازی خاک بستر.

- مصالح مورد استفاده در اجرای موج شکن که شامل سنگ در نوع توده سنگی، بتن، بتن مسلح در موج شکن های شناور، مصالح سنگی در بستر دریا و شناخت خواص فیزیکی و شیمیایی آن ها.

- اجرا و ساخت که بر اساس تجهیزات و ماشین آلات موجود، روش های ساخت از دریا و خشکی و یا ترکیب این دو راهکار، مسائل اقتصادی در اجرا، حمل مصالح و... می باشد.

- هندسه و شکل موج شکن که شیب، عرض، طول، ارتفاع سازه، ابعاد مصالح، شکل پوزه و سنگ چین پای موج شکن های توده سنگی.

- تعمیر و نگهداری که تعویض قطعات و مصالح و ترمیم لایه ها و بازدیدهای ادواری و امکانات موجود و مناسب برای آن می باشد.

- عوامل اقتصادی که بر اساس هزینه های قسمت های مختلف اجرا، طراحی و نگهداری است.

- عوامل محیط زیستی که اثرات منفی ناشی از ساخت موج شکن ها را در محیط طبیعی بررسی می نماید.

- مدت زمان لازم برای اجرای موج شکن.

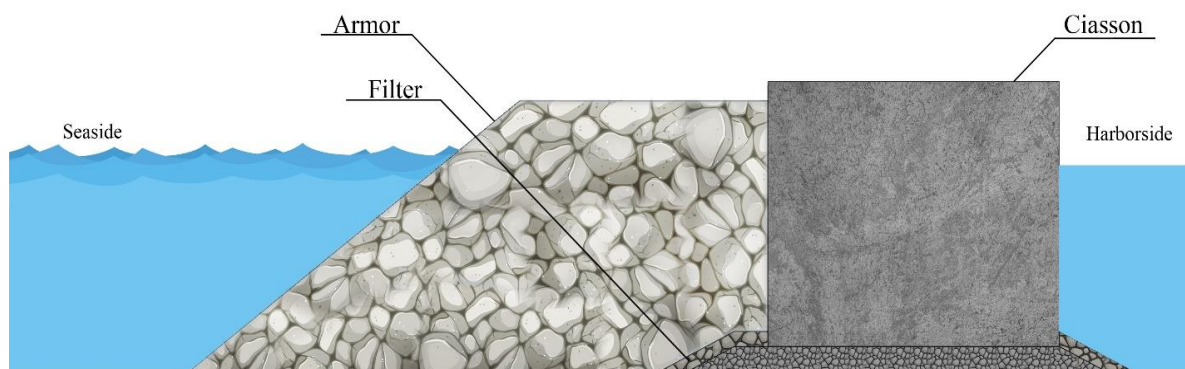
- هندسه بندر و شرایط بهره برداری و مدل های فیزیکی و ریاضی برای طراحی. [۳]

هرگونه تغییر در جهت بهینه سازی طراحی و بررسی عوامل ذکر شده در بالا می تواند مزایای قابل توجه و اثرات اقتصادی و اجرایی بسیاری داشته باشد. انتظار می رود در آینده اعمال تغییراتی در روند طرح و اجرای انواع موج شکن ها بوجود بیاید. از این دست تغییرات را می توان در سیر تحول موج شکن های توده سنگی سنتی به موج شکن های سکویی مشاهده کرد. این تغییرات در موج شکن های کیسونی نیز کم نبوده اند. به عنوان مثال می توان از استفاده شبکه بتنی در مقابل کیسون نام برد که با هدف

کاهش روگذری و انعکاس ناشی از امواج طراحی شده است. موارد بیان شده حاکی از آن است که توسعه و نوآوری، لازمه ی رسیدن به مدلی با عملکرد مناسب تر است و این امر زمانی میسر می شود که تحقیقات گسترده در این موضوع صورت گیرد. بنابراین در این پژوهش اقدام به طراحی و بررسی موج شکن سکویی مرکب به عنوان سازه ی مفهومی نوین شده است.

شکل (۵-۱) نمایی از موج شکن سکویی مرکب را نشان می دهد و در آن آرمور، فیلتر و کیسون مشخص شده اند.

Composite Berm Breakwater



شکل (۵-۱) : نمایی از مقطع موج شکن سکویی مرکب همراه با اجزای تشکیل دهنده آن (آرمور، فیلتر و کیسون)

۳-۱- فرضیات تحقیق

به منظور شبیه سازی امواج برخوردی با مدل موج شکن سکویی مرکب با استفاده از یک مدل دینامیک

سیالات محاسباتی (CFD)، باید فرضیات زیر در نظر گرفته شود:

- میدان محاسباتی امواج و جریان در مدل عددی Flow3D توسط مش بندی منظم مستطیلی است.
- آب، سیال مورد نظر؛ یک ماده لزج تراکم ناپذیر است که روابط حاکم بر سیالات در مورد آن صدق می کند.

- در مدل عددی Flow3D برای شبیه سازی جریان از مدل آشفتگی RNG استفاده شده است.

- در مدل سازی عددی از یک بلوک مش استفاده شده است.

- مدلسازی لایه های آرمور، فیلتر و هسته به صورت متخلخل است.

- کیسون در مدل موج شکن سکویی مرکب به صورت صلب در نظر گرفته شده است.

- از موج نامنظم برای مدلسازی موج در مدل عددی Flow3D استفاده شده است.

در بخش مدلسازی آزمایشگاهی مدل موج شکن سکویی مرکب فرضیات تحقیق به صورت زیر است و

از بررسی موارد بیان شده خودداری شده است:

- اثر جریان در مدل آزمایشگاهی

- اثر باد در مدل آزمایشگاهی

- اثر انتقال رسوب در مدل آزمایشگاهی

- اثر اندرکنش آب و سازه در مدل آزمایشگاهی

- اثر انکسار موج در مدل آزمایشگاهی

- بررسی مصالح مورد استفاده در مدل آزمایشگاهی

- بررسی های سازه ای در مدل آزمایشگاهی

- اثر تفرق موج در مدل آزمایشگاهی

لازم به ذکر است موج به صورت دوبعدی فرض می شود و موضوع تولید امواج بر اساس دستورالعمل انجمن حوضچه داران جهان^۱ خواهد بود.

۴-۱- سوالات تحقیق

۱- آیا موج شکن مرکب سکویی را می توان به عنوان جایگزینی مناسب برای موج شکن مرکب کیسونی دانست؟

۲- موج شکن مرکب سکویی تا چه اندازه به اقتصادی شدن پروژه کمک خواهد کرد؟

۳- این مدل مفهومی جدید در مقابله با امواج چه رفتاری را از خود نشان می دهد؟

۴- موج شکن مرکب سکویی تا چه اندازه در مستهلک کردن امواج نسبت به موج شکن مرکب کیسونی تواناست؟

۵- آیا مدل عددی Flow3D توانایی مدل سازی تخریب حاصل از برخورد امواج را دارد؟

۶- موج شکن مرکب سکویی در مقایسه با مدل مرکب کیسونی نسبت روگذری امواج چه رفتاری را بروز خواهد داد؟

۷- نتایج حاصل از مدل عددی Flow3D در مدلسازی مدل آزمایشگاهی تا چه میزان قابل اعتماد است؟

۸- آیا طراحی مدل موج شکن مرکب سکویی به عنوان مدل مفهومی نوین، به رسیدن مدلی مناسب تر و کارا تر در انواع موج شکن کمک خواهد کرد؟

۹- آیا مدل عددی Flow3D در مدل سازی موج شکن سکویی مرکب و اندرکنش موج موفق بوده است؟

۱۰- چه میزان مدل عددی Flow3D در بدست آوردن نتایج حاصل از مدل سازی کارا و قابل اطمینان است؟

۱۱- آیا مدل عددی Flow3D در مدل سازی نیروهای وارد بر آرمو به نتایج قابل قبولی خواهد رسید.

^۱ ITTC

۵-۱- روش تحقیق

در این پژوهش ابتدا با بررسی تحقیقات و مطالعات صورت گرفته اقدام به شناخت پیشنهادی مطالعات انجام شده در این موضوع می شود. همچنین با بیان معادلات و روش های حل عددی در Flow3D و بیان روش های طراحی موج شکن های سکویی، در سه حالت طراحی می شود. در راستای بدست آوردن نتایج قابل قبول از مدل عددی نیاز به صحت سنجی مدل عددی Flow3D می باشد. پس از صحت سنجی، مدل موج شکن سکویی مرکب با مدل موج شکن کیسونی، کیسون افقی و توده سنگی مقایسه و بررسی خواهد شد. این بررسی ها شامل فشار وارد بر کیسون و روگذری امواج می باشد. همچنین پایداری آرمورها در موج شکن سکویی مرکب با بررسی نیروی وارد بر این آرمورها انجام می شود. پس از بررسی نتایج مدل عددی به تست مدل فیزیکی موج شکن سکویی مرکب پرداخته خواهد شد.

هدف از انجام مطالعات مدلسازی فیزیکی موج شکن سکویی مرکب شامل موارد زیر است:

- بررسی پایداری کیسون از قبیل لغزش و واژگونی
- بررسی کفایت تراز تاج موج شکن از نظر روگذری امواج
- بررسی پایداری سکوی موج شکن
- بررسی تاثیرات قطر اسمی سنگدانه (D_{n50}) در میزان پس رفت سکو (Rec)
- بررسی تاثیر کیسون بر ایجاد نیم رخ تعادلی و میزان پس رفت سکو (Rec)
- برای رسیدن به اهداف مطرح شده، اندازه گیری پارامترهای زیر مورد نیاز است:
- فشار وارده بر کیسون در ترازهای مختلف در طول انجام آزمایش ها
- تغییر مکان، جابجایی و دوران کیسون در طول انجام آزمایش ها
- دبی روگذری پس از اتمام هر آزمایش

- میزان انعکاس امواج از موج شکن سکویی مرکب در طول انجام آزمایش ها

- نیم رخ برداری از پروفیل تعادلی پس از تغییر شکل موج شکن سکویی مرکب در سه خط (وسط و

طرفین) پس از اتمام هر آزمایش

فصل ۲

مرور ادبی

۱-۲- مقدمه

در دهه های اخیر با توجه به رشد صنعت حمل و نقل دریایی و همچنین نیاز بشر به استفاده بیشتر از منابع دریایی، تلاش گسترده ای جهت ساخت بنادر به منظور ایجاد یک منطقه امن و آرام برای پناه دادن به شناورها انجام شده است. یک بندر معمولاً از چندین قسمت مجزا تشکیل می شود که هر قسمت دارای وظیفه جداگانه ای است. یکی از قسمت های مهم بندر، موج شکن است. به طور کلی، موج شکن سازه ای است که در برابر امواج سهمگین دریا مقاومت می کند و محلی آرام برای پهلوگیری، باراندازی و بارگیری شناورها ایجاد می نماید. با توجه به پرهزینه بودن ساخت یک موج شکن برای احداث بندر، طراحی صحیح و بهینه این طرح ها هم از نظر پایداری، کارایی و اقتصادی کاملاً ضروری است. در این فصل به بیان مطالعات پیشین پرداخته می شود. موج شکن سکویی مرکب مدلی نوین می باشد و لازم است برای شناخت و مطالعه مدل موج شکن سکویی مرکب، موج شکن های کیسونی و موج شکن های سکویی اعم از شکل پذیر و شکل ناپذیر مورد بررسی قرار گیرند.

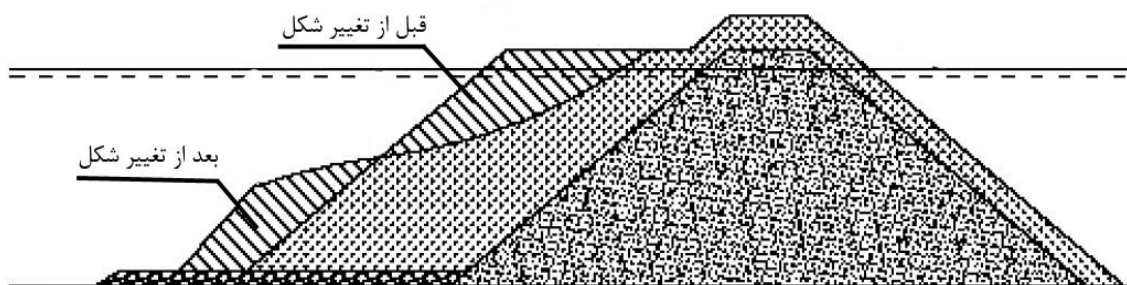
در زمینه مطالعه ی موج شکن های سکویی و کیسونی مطالعات قابل قبولی صورت گرفته است. مطالعات بیان شده در این فصل شامل سه بخش می باشد. بخش اول مطالعات و تحقیقات انجام شده بر موج شکن های سکویی می باشد. بررسی های صورت گرفته بر موج شکن های سکویی شامل دو قسمت شکل پذیر^۱ و ایسلندی^۲ می باشد. بخش دوم شامل مطالعات انجام شده بر روی موج شکن های کیسونی است و در قسمت سوم از آنجایی که مدل موج شکن سکویی مرکب مدلی نوین است، به بررسی موج شکن های نوین پرداخته خواهد شد.

^۱ Berm breakwater (fully reshaping)

^۲ Icelandic type berm breakwaters (hardly reshaping)

۲-۲- مطالعات انجام شده بر موج شکن سکویی

از سال ۱۹۸۰ تا به حال طراحی موج شکن ها بر اساس شکل گیری طبیعی لایه آرمور وجه جلویی موج شکن در اثر برخورد امواج، مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. [۴] موج شکن سکویی نوعی موج شکن توده سنگی است، که با ایجاد یک سکوی بزرگ در تراز بالاتر و یا همتراز سطح ایستایی در سمت دریا ساخته می شود. همانطور که در شکل (۱-۲) مشاهده می شود، به این نوع موج شکن ها، موج شکن های سکویی می گویند. تغییر شکل نیم رخ در برابر امواج، منجر به ایجاد یک نیم رخ پایدار می شود.



شکل (۱-۲) : شمای کلی از نیم رخ موج شکن شکل پذیر قبل و بعد از تغییر شکل

به دلیل تخلخل^۱ زیاد در سکوی موج شکن، سرعت پایین روی موج در این سازه بسیار کمتر از موج شکن های سنتی بوده است. از طرف دیگر به دلیل جذب بالای انرژی امواج در اثر وجود سکوی نفوذ پذیر و همچنین کاهش شیب نهایی نیم رخ سمت دریا در اثر تغییر شکل سازه، انرژی امواج به طور قابل توجهی مستهلک می گردد. وزن سنگ های مورد نیاز به طور قابل ملاحظه ای نسبت به حالت موج شکن سنتی کاهش پیدا کرده است. این موج شکن ها نه تنها به عنوان یک راه حل اقتصادی در جایی که سنگ های بزرگ در دسترس نیست، مطرح می شوند، بلکه ممکن است در زمان در دسترس بودن سنگ های بزرگ نیز، به عنوان طرح اقتصادی تر مطرح شوند. (تروم^۲ و همکاران، ۱۹۸۸) [۵]

^۱ Porosity

^۲ Torum et al (1988)

معمولاً در موج شکن های سکویی، از سنگ هایی با وزن یک دوم تا یک دهم سنگ های لایه اصلی موج شکن های سنتی استفاده می شود. هرگاه معدن سنگ در نزدیکی محل احداث موج شکن در دسترس نباشد و امکان فراهم نمودن مقدار کافی از سنگ های بزرگ برای موج شکن توده سنگی سنتی وجود نداشته باشد، آنگاه احداث موج شکن سکویی می تواند یک گزینه پیشنهادی باشد. (هال، ۱۹۹۲). [۶]

در PIANC (۲۰۰۳) موج شکن های سکویی بر اساس عدد پایداری $(N_s)^2$ و پارامتری بعد $H_o T_o$ به سه دسته ی موج شکن سکویی شکل ناپذیر (پایدار استاتیکی)^۳، موج شکن سکویی شکل پذیر (پایدار استاتیکی)^۴ و موج شکن سکویی شکل پذیر (پایدار دینامیکی)^۵ تقسیم بندی شده اند. [۷]

پراهمیت ترین پارامتری که ارتباط بین سازه و امواج را نشان می دهد عدد پایداری است که با N_s یا H_o نشان داده می شود. [۷]

$$H_o = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} \quad (۱-۲)$$

در رابطه فوق H_s ارتفاع موج شاخص است که به صورت میانگین، یک سوم مرتفع ترین امواج یا $4\sqrt{m_0}$ بیان می شود. Δ : چگالی شناوری نسبی قطعه آرمور بوده که طبق روابط زیر بدست می آید:

$$\Delta = \frac{p_a}{p_w} - 1 \quad (۲-۲)$$

در رابطه فوق p_a چگالی آرمور و p_w چگالی آب است. قطری که برای وزن متوسط سنگ به کار می رود قطر اسمی خوانده می شود.

¹ Hall et al (1992)

² Stability number

³ Little movement

⁴ Limited movement during reshaping, statically stable

⁵ Relevant movement, dynamically stable

$$D_{n50} = \left(\frac{W_{50}}{\rho_a g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3-2)$$

D_{n50} : قطر اسمی سنگی مربوط به جرم متوسط سنگ و W_{50} : وزن میانگین سنگ آرمور می باشد. این نسبت به عدد پایداری معروف است. بررسی آزمایشگاهی ون در میر^۱ (۱۹۹۸) و تروم نشان داد که پارامتر پریود موج، نقش مهمی در فرسایش شیب جلوی موج شکن سکویی شکل پذیر دارد. [۸] ون در میر پارامتر بی بعد شده $H_0 T_0$ که اثر پریود میانگین موج را در نظر می گیرد، به صورت زیر تعریف کرد:

$$H_0 T_0 = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} \times T_m \times \left(\frac{g}{D_{n50}} \right)^{1/2}$$

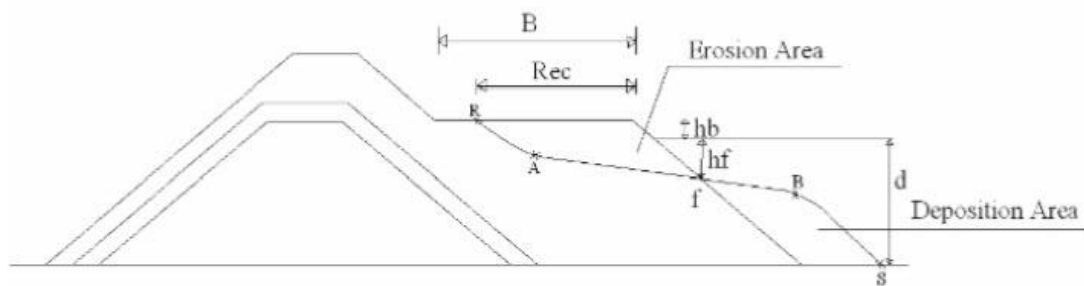
که در آن $T_0 = T_m \times \left(\frac{g}{D_{n50}} \right)^{1/2}$ (پارامتر بی بعد پریود موج)، T_m : پریود میانگین موج، g : شتاب ثقل، H_s : ارتفاع موج طراحی، D_{n50} : قطر اسمی سنگ و Δ : چگالی شناوری نسبی قطعه آرمور است. جدول (۱-۲) حدود و مقادیر دو شاخص فوق را برای سه دسته از موج شکن های سکویی نشان می دهد. [۷] با توجه به این جدول، عدد پایداری برای موج شکن های سکویی شکل پذیر در محدوده مقادیر $2/5 < H_0 < 4$ و $60 < H_0 T_0 < 100$ قرار دارد.

جدول (۱-۲): تقسیم بندی انواع موج شکن های سکویی برحسب عدد پایداری

$H_0 T_0$	$N_s = H_0$	نوع موج شکن سکویی
$40 - 20 <$	$2 - 1/5 <$	موج شکن سکویی شکل ناپذیر (پایدار استاتیکی)
$40 - 70$	$1/5 - 2/7$	موج شکن سکویی شکل پذیر (پایدار استاتیکی)
> 70	$> 2/7$	موج شکن سکویی شکل پذیر (پایدار دینامیکی)

^۱ Van der Meer (1998)

مهم ترین پارامترهای حاکم در طراحی و اندازه گیری تغییر شکل موج شکن سکویی ، مقدار فرسایش سکوی آن (Rec) است ، به طوری که اگر این مقدار بزرگتر از عرض سکوی موج شکن باشد، ناپایداری و خرابی موج شکن اتفاق می افتد. پارامتر مهم دیگر در توصیف نیم رخ تغییر شکل یافته در موج شکن سکویی عبارت است از فاصله نقطه تقاطع نیمرخ تغییر شکل یافته و نیمرخ اولیه نسبت به تراز سطح ایستایی (h_f)، عرض سکو قبل از تخریب (B)، عمق آب پای موج شکن (d) و تراز سکو نسبت به سطح ایستایی (h_b) است. نقاط A ، B ، f و S شکل پروفیل بعد از تغییر شکل را نشان می دهند. همچنین ناحیه تخریب و انباشت در سکو به همراه پروفیل تغییر شکل سکو نیز مشخص شده است. شکل (۲-۲)



شکل (۲-۲) : نمایی از برخی پارامترهای سازه ای موج شکن سکویی

۱-۲-۲- روش های موجود برای ارزیابی پایداری و تخمین عرض فرسایش یافته سکو

همانطور که در قسمت قبلی نیز توضیح داده شد، فرسایش عرض سکو به عنوان مهم ترین پارامتر برای توصیف تغییر شکل موج شکن های سکویی است. آسیب در وجه جلویی موج شکن زمانی اتفاق می افتد که سکوی موج شکن بیشتر از عرض اولیه آن فرسایش یابد ($Rec > B$). به دست آوردن روشی مناسب برای محاسبه فرسایش سکو بسیار مهم است. موج شکن های سکویی مرکب از آنجایی که در دو حالت شکل پذیر و شکل ناپذیر قابل طراحی هستند، بررسی مطالعات پیشین در رابطه با تخمین عرض سکو می تواند مفید

باشد. برای محاسبه فرسایش عرض سکو موج شکن های سکویی تحقیقات به شرح زیر انجام شده است.

۱-۲-۲-۱-۱-۱ هال و کاو^۱(۱۹۹۱)

هال و کاو (۱۹۹۱) در مورد تأثیر سنگ های گردگوشه و ضریب منحنی دانه بندی بر تغییر شکل سازه و مقدار عرض فرسایش یافته سکو تحقیقاتی انجام دادند. آن ها تاثیر درصد سنگ های گرد گوشه بر تغییر شکل سازه را برای سه مقدار صفر، ۱۵ و ۳۰ درصد بررسی کردند.

قسمت اصلی آزمایش های انجام شده برای حالت ۳۰ درصد سنگ های گردگوشه در نظر گرفته شد. شکست و فرسایش سنگ های آرمور در طول تغییر شکل موج شکن می تواند منجر به افزایش درصد سنگ های گردگوشه در لایه آرمور شود. [۹]

۲-۲-۱-۲-۲-۲ تروم و همکاران (۱۹۹۸)

تروم و همکاران (۱۹۹۸) پارامتر بی بعد عرض سکوی فرسایش یافته $\left(\frac{Rec}{D_{n50}}\right)$ را در برابر پارامتر پایداری $(H_o T_o)$ ، برای تعدادی آزمایش در مقیاس مدل در آزمایشگاه های مختلف روی موج شکن های سکویی با سکوی همگن را تحلیل نمود، که نتیجه آن پراکندگی قابل توجهی بین نتایج موجود در یک آزمایشگاه و نتایج موجود از آزمایشگاه های مختلف مشاهده شد. وی بیان نمود که وجود پراکندگی ممکن است به دلیل عدم سازگاری موجود در شیوه انجام آزمایش در آزمایشگاه های مختلف و یا پی نبردن به وجود برخی پارامترهای مؤثر باشد. [۱۰]

^۱ Hall & Kao (1991)

۳-۱-۲-۲- تروم و همکاران (۲۰۰۳)

تروم و همکاران (۲۰۰۳) اثر دانه بندی سنگ ها و عمق آب پای سازه را در پایداری و مقدار عرض فرسایش یافته سکو بررسی نمود. شکل گیری فرمول آرایه شده توسط وی برای در نظر گرفتن اثر عمق، بر پایه نتایج آزمایشگاهی بسیار محدود (فقط دو حالت مجزا) بوده است و از طرف دیگر در این فرمول سایر پارامترهایی که می توانند در مقدار عرض سکوی فرسایش یافته موثر باشند را در نظر نگرفته است. [۱۱]

۴-۱-۲-۲- راو و همکاران (۲۰۰۴)

راو و همکاران (۲۰۰۴) طی آزمایش هایی که بر روی موج شکن های شکل پذیر سکویی انجام دادند، دریافتند که با کوچک شدن ابعاد سنگ ها، میزان آسیب سازه افزایش می یابد که البته می توان این آسیب را با افزایش عرض سکو جبران نمود. آنها وزن آرمور را ۱۰ و ۳۰ درصد نسبت به حالت طراحی در موج شکن توده سنگی کاهش دادند و مشاهده نمودند که با افزایش معیار آسیب (S_d)، عدد پایداری به صورت نمایی افزایش می یابد. توجیه فیزیکی پارامتر آسیب S_d عبارت است از تعداد مربعات با وجه D_{n50} که فرسایش یافته اند. [۱۲]

۵-۱-۲-۲- اندرسن^۲ (۲۰۰۶)

اندرسن (۲۰۰۶) آزمایش هایی به منظور بدست آوردن یک رابطه نیمه تجربی برای عرض فرسایش یافته سکوی موج شکن توده سنگی سکویی همگن بدون لایه فیلتر انجام داد. رابطه پیشنهادی اثر پارامترهایی نظیر شرایط امواج شامل ارتفاع موج، پریود موج، جهت برخورد موج، مدت طوفان (تعداد امواج برخوردی)، اثر دانه بندی لایه آرمور و عمق آب در پای سازه را بر عرض فرسایش یافته سکو در نظر گرفت. روش استخراج رابطه ذکر شده

¹ Rao et al (2004)

² Lykke Andersen (2006)

توسط اندرسن، به دلیل آنکه از یک سری فرضیه های اولیه و ساده کننده استفاده کرده است، متمایز از روش های سایرین است. فرضیات انجام شده توسط وی به شرح زیر هستند:

- اگر موج شکن در شرایط آب خیلی کم عمق قرار گیرد، شیب نیم رخ تغییر شکل یافته در قسمت پایین سازه (قسمت پایین پله تشکیل شده)، به اندازه زاویه نشست طبیعی مصالح خواهد بود.

- اگر ارتفاع تراز سکو بالا باشد، در فاصله کوتاهی بالای تراز سطح ایستابی، زاویه شیب ایجاد شده به زاویه نشست طبیعی مصالح نزدیک می شود.

با توجه به فرضیات ذکر شده رابطه ای برای محاسبه عرض فرسایش یافته سکو (Rec) پیشنهاد کرد. نتایج بدست آمده توسط اندرسن دارای یک سری نقاط قوت و یکسری نقاط ضعف است. مهمترین نقطه قوت کار اندرسن سادگی کار و نیمه تجربی بودن رابطه بدست آمده توسط وی بوده و مهمترین نقطه ضعف کار وی در استفاده از یک سری فرضیه هایی بوده که خود می توانند خطاهایی را وارد کار نمایند. از طرف دیگر از آنجا که هدف اصلی وی در کارهای آزمایشگاهی میزان سرریزی امواج بود، سازه وی سرریز شونده در نظر گرفته شده است که در نتیجه مقداری از انرژی امواج توسط سرریزی اتلاف می گردد و همچنین او تاثیر عرض سکو و تراز سکوی سازه از سطح ایستابی را به صورت مستقل با عمق آب را در نظر نگرفت. [۱۳]

۶-۱-۲-۲- مقیم و همکاران (۱۳۸۷)

مقیم و همکاران (۱۳۸۷) در زمینه اثر عرض اولیه سکوی موج شکن سکویی که بر پایداری و میزان تغییر شکل موج شکن انجام دادند. بیان نمودند که عرض اولیه سکوی موج شکن سکویی تأثیری در چگونگی تغییر شکل سازه و در نتیجه میزان عرض سکوی فرسایش یافته ندارد. عرض بهینه برای موج شکن سکویی شکل پذیر، عرضی است که نیم رخ تغییر شکل یافته در شیب پایینی به شیب بالایی موج

شکن نرسد و حداقل سکوی موج شکن بعد از تغییر شکل به اندازه $2D_{n50}$ تا $4D_{n50}$ از لبه ی انتهایی سکو فاصله داشته باشد. مقیم و همکاران (۱۳۸۷) همچنین با انجام آزمایش های متعدد با در نظر گرفتن اثر پارامتر های مربوط به امواج، عمق آب و مشخصات هندسی سازه مورد نظر، روابطی را برای محاسبه مقدار عرض فرسایش یافته سکو پیشنهاد نمودند. [۱۴]

۷-۱-۲-۲- شکاری و همکاران (۱۳۹۱)

شکاری و همکاران (۱۳۹۱) تاثیر عرض اولیه سکو و قطر مشخصه سنگدانه های لایه آرمور در پایداری موج شکن های سکویی شکل پذیر را مورد بررسی آزمایشگاهی قرار دادند. مجموعاً ۱۵۶ آزمایش انجام شد. امواج تابشی به مدل مقطع موج شکن از نوع امواج نامنظم با طیف جانسواپ^۱ بوده است. جهت بررسی تاثیر عرض اولیه سکو و قطر مشخصه سنگدانه ها بر میزان فرسایش، شرایط مختلف امواج از قبیل ارتفاع موج، پریود موج، تعداد موج برخوردی (مدت طوفان) در نظر گرفته شد و رابطه ای برای محاسبه عرض فرسایش یافته با در نظر گرفتن پارامترهای موج و سازه ارائه گردیده است. [۱۵]

۲-۲-۲- مروری بر موج شکن های سکویی ساخته شده در ایران

تعداد قابل توجهی موج شکن سکویی شکل پذیر در ایران ساخته شده است و از این نظر یکی از کشورهای مطرح در زمینه طراحی و ساخت این نوع موج شکن ها محسوب می شود. از طرح موج شکن سکویی در ایران برای اولین بار در سال ۱۳۷۵ جهت حفاظت میانگذر شهید کلانتری دریاچه ارومیه استفاده شد.

تاکنون بیش از ۲۰ موج شکن سکویی ساخته شده است و یا در حال احداث می باشد. طول موج شکن های ساخته شده با این روش بیش از ۲۵ کیلومتر و حجم مصالح سنگی بکار رفته در آنها بیش از ۲۰ میلیون مترمکعب بوده است. [۱۶]

^۱ JONSWAP

مشخصات تعدادی از این موج شکن ها و نوع سنگ بکار رفته در آنها در جدول (۲-۲) درج گردیده است. هزینه کل ساخت یک موج شکن توده سنگی به حجم و فاصله انتقال مصالح سنگی بستگی دارد. با توجه به پتانسیل معادن سنگ در نواحی ساحلی کشور، معمولاً امکان تهیه سنگ مناسب با تناژ بالا وجود ندارد. از این رو موج شکن های سکویی با رعایت صحیح ضوابط طراحی و اجرایی بر اساس شرایط محیطی و سازه ای پروژه، یکی از بهترین گزینه ها می باشند.

جدول (۲-۲): برخی از موج شکن های سکویی ساخته شده در کشور [۱۶]

شماره	نام موج شکن	منطقه / دریا	عمق آب (متر)	ارتفاع موج طراحی Hs (m)	پریود موج طراحی Ts(s)	نوع سنگ بکار رفته
۱	میانگذر شهید کلانتری	ارومیه	۵ تا ۹	۲/۴	۶	آندزیت
۲	سازه آبگیر نیروگاه نکا	دریای خزر	۷	۴	۹	سنگ آهک
۳	بابلسر	دریای خزر	۶	۳/۸	۸	آندزیت
۴	دیلیم	خلیج فارس	۴	۲/۵	۶	ماسه سنگ
۵	گناوه	خلیج فارس	۳,۵	۲/۸	۶,۴	ماسه سنگ
۶	خارک	خلیج فارس	۷	۲/۳	۵	سنگ آهک
۷	سازه های حفاظت استحصال زمین در عسلویه	خلیج فارس	۱۴	۵/۲	۱۰	سنگ آهک
۸	گاوبندی	خلیج فارس	۵	۳	۷	سنگ آهک
۹	گرزه (بندر آفتاب)	خلیج فارس	۸	۸	۹	سنگ آهک
۱۰	کنگ	خلیج فارس	۳,۵	۲/۵	۶	آندزیت
۱۱	کیش	خلیج فارس	۱۸	۴/۵	۹	لوماشل
۱۲	کوهین	خلیج فارس	۴	۲/۵	۶	آندزیت
۱۳	لنگه	خلیج فارس	۱۰	۴/۵	۹	سنگ آهک
۱۴	ابوموسی	خلیج فارس	۱۲	۴/۸	۱۰	آندزیت

۱۵	باسعیدو	خلیج فارس	۷	۲/۳	۵,۹	ماسه سنگ
۱۶	سوزا	خلیج فارس	۵	۲/۲	۶	ماسه سنگ
۱۷	کنارک	دریای عمان	۶,۶	۳	۱۰	سنگ آهک
۱۸	چابهار	دریای عمان	۱۴	۷	۱۲	سنگ آهک
۱۹	رمین	دریای عمان	۶,۴	۲/۵	۸	سنگ آهک
۲۰	پسابندر	دریای عمان	۷	۴	۱۰	سنگ آهک

۳-۲-۲- مروری بر موج شکن های سکویی چند لایه

در سال های اخیر موج شکن های سکویی شکل ناپذیر مورد توجه قرار گرفته اند. در این موج شکن ها مشابه موج شکن های توده سنگی سنتی، فقط تعداد کمی از سنگ ها اجازه تغییر مکان و حرکت دارند. دلیل بوجود آمدن این موج شکن ها، شکست و فرسایش سنگ ها در طول انجام فرآیند تغییر شکل می باشد. [۷] همچنین از مزیت این موج شکن ها می توان به این نکته اشاره نمود که سرریزی امواج در موج شکن های شکل ناپذیر به مراتب کمتر از حالت شکل پذیر می باشد.

موج شکن های سکویی چند لایه، از انواع دیگر موج شکن های توده سنگی محسوب می شوند. شکل (۲-۳) در این موج شکن ها استفاده از سنگ های با ابعاد متفاوت، منجر به حداکثر شدن پایداری کل سازه و استفاده بهینه تر از مصالح معدن می شود. در کشور ایسلند این نوع سازه ها استفاده زیادی دارند و به همین دلیل به این نوع از موج شکن ها، عنوان موج شکن های سکویی ایسلندی اطلاق گردیده است. [۱۷]



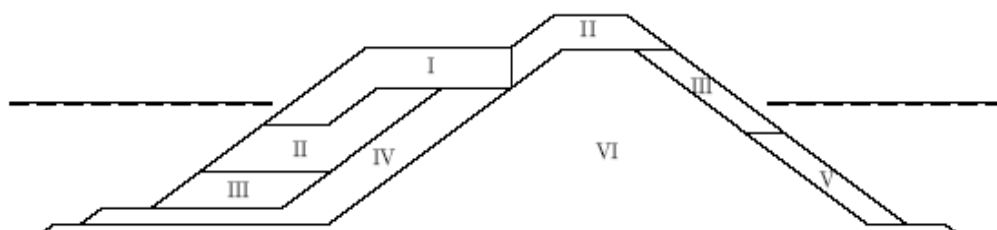
شکل (۳-۲) : نمایی از موج شکن سکویی چندلایه (موج شکن سکویی ایسلندی)

همانطور که بیان شد و در جدول (۳-۲) آمده استفاده از این موج شکن ها در ایسلند بسیار رایج است و تاکنون بیش از ۲۰ مورد از آن ها در کشور ایسلند ساخته شده است. موج شکن سکویی ایسلندی، موج شکنی پایدار استاتیکی و چند لایه است. [۱۸ و ۱۹] موج شکن سکویی چند لایه از چند نوع سنگ تشکیل شده است که به هر نوع سنگ با اندازه مشخص، عنوان کلاس سنگ اطلاق می شود. شکل (۴-۲) بزرگترین کلاس سنگ در قسمت بالای سکوی موج شکن و در برخی مواقع در شیب جلوی سکو قرار داده می شود که نقش مهمی در تقویت سازه دارد. سنگ های کوچکتر در لایه های درونی موج شکن قرار داده شده اند. [۱۷] در شکل (۵-۲) می توان نمایی از مقطع موج شکن سکویی چند لایه به همراه ۶ کلاس سنگی آن را مشاهده نمود. معمولا کلاس I ، بزرگترین سنگ را شامل می شود و به ترتیب کلاس ۶ کوچکترین کلاس سنگ را به خود اختصاص می دهد. مزیت موج شکن های سکویی چند لایه، روش ساخت ساده آن ها می باشد. از طرف دیگر همانطور که تجربه های عملی نشان داده اند، استفاده از چند کلاس سنگ و جایگذاری آن ها در مکان های مخصوص، هزینه ساخت را بطور قابل ملاحظه ای کاهش می دهد، در حالی که موجب استفاده بهینه از مصالح معدن می گردد.

[۲۰]



شکل (۴-۲): نمایی از سنگ های کلاس ۱ موج شکن سکویی چندلایه (ایسلندی)



شکل (۵-۲): شمای کلی از نیمرخ موج شکن سکویی چندلایه ایسلندی با استفاده از ۶ کلاس سنگی

جدول (۳-۲): موج شکن های سکویی ایسلندی که اخیرا ساخته شده [۲۰]

نام پروژه ایسلند	سال ساخت	ارتفاع موج مشخصه (متر)	سنگ کلاس I آرمور (تن)	پایین ترین تراز کلاس I (متر)	حجم کل مصالح (مترمکعب)	عمیق ترین قسمت مقطع (متر)
هوساویک ^۱	۲۰۰۱-۲۰۰۲	۶/۸	۱۶-۳۰	-۱	۲۷۰۰۰۰	-۱۲
گرینداویک ^۲	۲۰۰۱-۲۰۰۲	۵/۱	۱۵-۳۰	-۴/۵	۱۷۰۰۰۰	-۵

^۱ Husavik

^۲ Grindavik

وینافجورور ^۱	-۲۰۰۴ ۲۰۰۳	۵/۰	۸-۲۸	-۲	۱۴۰۰۰۰	-۹
تورلاکشوف ^۲	-۲۰۰۵ ۲۰۰۴	۵/۵	۸-۲۵	-۴/۵	۲۳۰۰۰۰	-۵
لندیجاف ^۳	-۲۰۱۰ ۲۰۰۸	۶/۱	۱۲-۳۰	-۲/۵	۶۰۰۰۰۰	-۹
هلوویک ^۴	-۲۰۱۰ ۲۰۰۸	۵/۰	۱۵-۲۵	-۲	۳۵۰۰۰۰	-۲۸

۱-۳-۲-۲- مزیت های موج شکن سکویی چندلایه

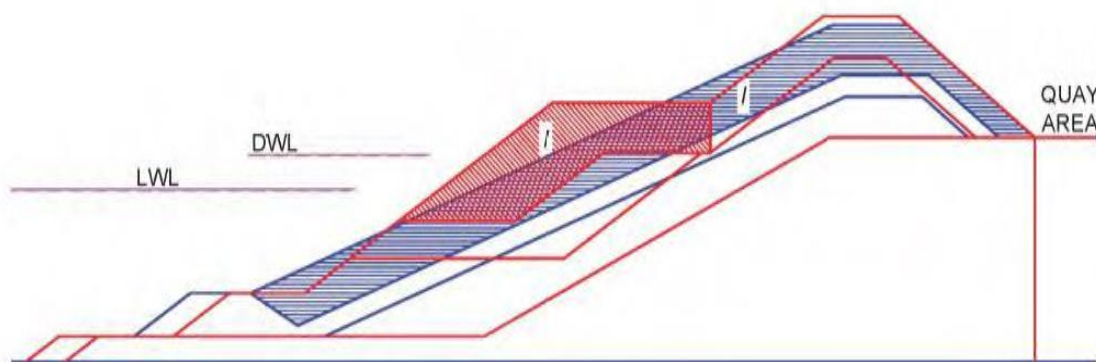
با توجه به عملکرد استاتیکی موج شکن سکویی ایسلندی، مقایسه ای بین این نوع موج شکن با موج شکن سنتی استاتیکی انجام می شود. شکل (۲-۶) مقایسه ای بین حجم بزرگترین سنگدانه بکار رفته در کلاس I موج شکن ایسلندی و سنگ بکار رفته در لایه آرمور موج شکن سنتی را نشان می دهد. اگر بجای استفاده از موج شکن سنتی که لایه آرمور آن با رنگ آبی مشخص شده است، از نوع ایسلندی با بزرگ ترین سنگدانه در کلاس I (با رنگ قرمز) استفاده شود (مخصوصاً در حالت وجود ارتفاع موج مشخصه زیاد و متوسط) در این حالت حجم استفاده از بزرگ ترین کلاس سنگ (کلاس I) بطور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. از آنجایی که استفاده از بزرگ ترین کلاس سنگ هزینه بالایی دارد، در کل طراحی موج شکن ایسلندی می تواند اقتصادی تر باشد. [۲۰]

¹ Vopnafjorour

² Thorlakshofn

³ Landeyjahofn

⁴ Helguvik



شکل (۲-۶): مقایسه بزرگ ترین کلاس سنگ لایه آرمور در موج شکن ایسلندی و لایه آرمور موج شکن سنتی

مقایسه موج شکن سکویی ایسلندی با موج شکن سکویی شکل پذیر نشان می دهد که موج شکن ایسلندی دارای کلاس های مختلف سنگی است. بطوری که دانه بندی هر کلاس سنگی بصورت جداگانه و کم عرض انتخاب می شود. در موج شکن سکویی شکل پذیر بدلیل استفاده از یک نوع کلاس سنگی در کل لایه آرمور با دانه بندی عریض، طیف وسیعی از اندازه سنگ ها در آن استفاده می شود. در این حالت سنگ های ریزتر در بین سنگ های بزرگتر قرار گرفته و خلل و فرج بین سنگ ها پر شده و نفوذپذیری سازه متخلخل کم می شود. بنابراین انتخاب دانه بندی کم عرض در کلاس های سنگی لایه آرمور موج شکن ایسلندی نفوذپذیری بیشتری را نسبت به کلاس های آرمور با دانه بندی عریض در موج شکن شکل پذیر بوجود می آورد. نفوذپذیری بیشتر موج شکن سکویی ایسلندی، سبب افزایش جذب انرژی موج برخوردی، افزایش پایداری سازه، کاهش سرریزی و کاهش انعکاس موج (به دلیل جذب انرژی بیشتر) می گردد. [۲۱] به منظور مقایسه مشخصات و عملکرد موج شکن سکویی شکل پذیر (پایدار دینامیکی) با موج شکن ایسلندی (پایدار استاتیکی) جدول (۲-۴) ارائه شده است. [۲۲]

جدول (۲-۴) : مقایسه موج شکن های ایسلندی (استاتیکی) و شکل پذیر (دینامیکی)

پایدار استاتیکی (ایسلندی)	پایدار دینامیکی (شکل پذیر)
استفاده از چندین کلاس سنگ در لایه بیرونی سازه	استفاده از یک کلاس سنگ در لایه بیرونی سازه
آرمور همراه لایه های با دانه بندی متفاوت	آرمور همگن
بکارگیری دانه بندی کم عرض در هر لایه آرمور	بکارگیری دانه بندی عریض در لایه آرمور
نفوذپذیری زیاد	نفوذپذیری کم
سازه شکل ناپذیر	سازه شکل پذیر
اجازه حرکت کمتر سنگدانه ها	حرکت مداوم سنگدانه ها
شکست حداقلی سنگدانه ها	شکست سنگدانه ها
حجم کل مصالح کمتر	حجم کل مصالح بیشتر
جایابی گزینشی سنگ های ریخته شده	جایابی تصادفی سنگ های ریخته شده

۳-۲- مطالعات انجام شده بر موج شکن های کیسونی

کیسون عبارت است از صندوقچه ای حجیم بتنی که در حوضچه های خشک، به صورت پیش ساخته تهیه شده است و در آب دریا غرق می شوند و در کنار یکدیگر قرار می گیرند. کاربرد کیسون در احداث موج شکن سکویی مرکب به ویژه حالت تلفیقی که نقش اسکله و موج شکن را همزمان دارا باشد، مدنظر است. چرا که از طرف سمت حوضچه آرامش به صورت اسکله جهت پهلوگیری و قسمت دیگر آن نقش موج شکن را ایفا می کند. در کشور

ما در سال های اخیر، کاربرد کیسون جای خود را پیدا کرده است و اسکله هایی تا کنون بدین صورت اجرا گردیده اند. اسکله کیش و اسکله چند منظوره چابهار را می توان نام برد. لازم به ذکر است به موج شکن های کیسونی، موج شکن قائم نیز گفته می شود. این موج شکن ها در آب های عمیق صرفه اقتصادی بیشتری دارند و در آب های کم عمق موج شکن های توده سنگی مقرون به صرفه تر هستند. ساده ترین روش برای رسیدن به این منظور، احداث یک دیوار صلب در مقابل امواج می باشد که به عنوان موج شکن های کیسونی شناخته می شوند. با توجه به استفاده از موج شکن های کیسونی در اعماق زیاد، تعیین ابعاد بهینه این سازه در شرایط هیدرولیکی و ژئوتکنیکی گوناگون، از اهمیت بسزایی برخوردار است. از این رو مطالعات فراوانی در خصوص واکنش های هیدرولیکی همچون فشار سیال بر بدنه سازه و روگذری امواج که متاثر از اندر کنش سازه و سیال است، انجام شده است.

تحقیقات آزمایشگاهی و عددی متعددی پیرامون بررسی اندر کنش موج و موج شکن کیسونی انجام شده است. تحقیق اکسی آی^۱ (۱۹۸۱)، از جمله نخستین مدل سازی های آزمایشگاهی جهت بررسی اندر کنش موج ایستاده و موج شکن قائم می باشد. در مطالعه ساکاکای یاما و لیو^۲ (۲۰۰۱)، تغییرات سطح آزاد و میدان سرعت در جلوی یک موج شکن کیسونی بصورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. [۲۳ و ۲۴] کودلا و همکاران^۳ (۲۰۰۹)، یک مدل آزمایشگاهی بزرگ مقیاس را مطالعه کردند و نتایج مطالعات آنها نشان می داد که فشار منفذی باقی مانده ناشی از نیروی موج شکسته می تواند باعث لغزش و شکست کیسون شود. [۲۵] راول و همکاران^۴ (۲۰۱۴)، در دانشگاه آلبروگ برای کیسون هایی با اوزان متفاوت و هندسه مشابه تحت برخورد موج های منظم و نامنظم مطالعات خود را

¹ Xie (1981)

² Sakakiyama, Liu (2001)

³ Kudella et al (2009)

⁴ Roul et al (2014)

انجام دادند. آن ها دریافتند که تحت اثر موج شکسته یک عدم دقت در پیش بینی نیروی موج و نیروی لغزش کیسون وجود دارد. [۲۶]

علاوه بر مطالعات آزمایشگاهی انجام گرفته، با پیشرفت های سخت افزاری و نرم افزاری در سال های اخیر مدل سازی عددی فرآیندهای دریایی مورد توجه قرار گرفته است. به عنوان مثال سو و همکاران^۱ (۱۹۹۵)، به توسعه یک مدل عددی برای محاسبه میزان برگشت موج منظم از یک موج شکن حفره دار پرداختند. با توجه به اینکه مدل عددی بر مبنای معادلات موج خطی توسعه یافته بود، عدم همخوانی نتایج مدلسازی با افزایش اثرات غیر خطی دیده می شود. سو و همکاران (۲۰۰۶)، با استفاده از نتایج مدلسازی عددی و آزمایشگاهی به محاسبه انعکاس موج منظم و نامنظم از یک موج شکن کیسونی پرداختند. [۲۷ و ۲۸] همچنین لارا و همکاران^۲ (۲۰۰۸)، با استفاده از کد COBRAS-UC که بر اساس معادلات VARANS توسعه یافته است، به مدل سازی دو بعدی اندر کنش موج و موج شکن کیسون مرکب پرداختند. نتایج مطالعات همخوانی مناسبی با نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد. [۲۹]

میسرا و همکاران^۳ (۲۰۱۱)، با استفاده از معادلات دوبعدی RANS-VOF به مطالعه پاسخ های هیدرودینامیکی موج شکن کیسونی پرداختند. صحت سنجی نتایج مدل آزمایشگاهی، موفقیت مدل عددی توسعه یافته در شبیه سازی رو گذری در برابر تغییرات سازه تاج موج شکن را نشان می دهد. [۳۰] همچنین در مطالعات هیگوار و همکاران^۴ (۲۰۱۵)، با استفاده از مدل عددی IHFOAM بازوی اصلی موج شکن بندر لاردو^۵ در کشور اسپانیا را با ابعاد و اندازه واقعی مدل سازی کرده است و با انجام این مدل سازی پایداری موج شکن در محل های متفاوت در اثر موج با زاویه برخورد های مختلف بررسی شده است. [۳۱] علاوه بر مطالعات آزمایشگاهی و مدلسازی های عددی، روابط نیمه تجربی که

¹ Suh et al (1995)

² Lara et al (2008)

³ Misra et al (2011)

⁴ Higuier et al (2015)

⁵ Laredo

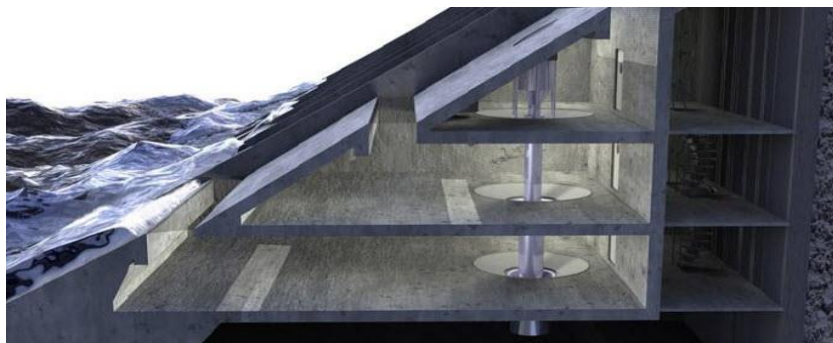
از تجزیه و تحلیل پاسخ های هیدرودینامیکی و هیدرولیکی موج شکن کیسونی در آزمایشگاه بدست آمده است، نیز وجود دارد که از آن ها برای طراحی این نوع سازه استفاده می شود. از جمله مهمترین این روابط عبارتند از : (۱۹۸۵) ، گودا^۱ و همکاران (۱۹۹۴) برای موج شکن قائم [۳۲]. دنتال و همکاران^۲ (۲۰۱۳)، با استفاده از نرم افزار Flow3D به بررسی روگذری، انعکاس و بالاروی موج در موج شکن توده سنگی در اثر برخورد امواج نامنظم پرداختند و نشان دادند که نتایج حاصل از صحت سنجی از دقت خوبی نسبت به نتایج آزمایشگاهی برخوردار است و مدل عددی Flow3D در شبیه سازی روگذری، انعکاس و بالاروی امواج موفق بوده است. [۳۳]

۴-۲- موج شکن های نوین

موج شکن مولد انرژی، نوعی مبدل انرژی امواج به انرژی الکتریکی می باشد. نحوه ی عملکرد این نوع از سازه به این صورت است که امواج ناشی از روگذری پس ورود به داخل مخازن موج شکن در داخل آن ها به دام می افتد و در هنگام تخلیه از کانال مشترکی، پره های توربین را در محل خروج به چرخش در می آورند. این پره ها باعث چرخش محوری قائم می شوند که متصل به یک ژنراتور است و از این طریق انرژی مکانیکی لازم جهت عملکرد ژنراتور را فراهم می کنند. میزان انرژی قابل استحصال از این نوع مبدل انرژی با عمق متوسط آب دریا رابطه ی مستقیم دارد. پیکر بندی کلی موج شکن در شکل (۷-۲) نشان داده شده است. [۳۴]

¹ Goda et al (1994)

² Dentale et al (2013)



شکل (۷-۲) : نمای شماتیک مبدل انرژی امواج در موج شکن های نوین

۱-۴-۲- نمونه های ساخته شده در دنیا

اختراع موج شکن مولد انرژی در شهر استاونگر، متعلق به کشور نروژ در سال ۲۰۰۳ صورت پذیرفت. مطالعات و اقدامات لازم برای ساخت نمونه ی آزمایشی این سازه در سال ۲۰۰۴ شروع شد که هزینه های آن توسط کمیسیون انرژی اتحادیه اروپا تامین شد. شکل (۸-۲) ساخت نمونه ی آزمایشی در جزیره ای به نام کویتسفی و در کشور نروژ انجام شد و در تابستان سال ۲۰۰۸ به اتمام رسید. فاز مطالعاتی و طراحی نمونه ی آزمایشی سه سال به طول انجامید. این نمونه ی آزمایشی دارای عرض ۱۰ متر در امتداد ساحل، طول ۱۶ متر و ارتفاع ۷ متر و همچنین دارای سه سطح می باشد. [۳۴]



شکل (۸-۲) : پایلوت آزمایشی موج شکن های در جزیره کویتسفی در کشور نروژ

۵-۲- جمع بندی مطالعات انجام شده

در بخش های گذشته، مطالبی پیرامون مطالعات صورت گرفته در رابطه به موج شکن های سکویی، موج شکن های کیسونی و موج شکن های نوین ارائه شد. به طور خلاصه هال و کالو (۱۹۹۱) با روش آزمایشگاهی تاثیر سنگ های گرد گوشه بر تغییر شکل سکو را مورد بررسی قرار دادند. نتایج، حاکی از افزایش تغییر شکل سازه در اثر افزایش درصد سنگ های گرد گوشه بوده است. همچنین در ادامه بررسی های گسترده ای در زمینه پایداری هیدرولیکی موج شکن های سکویی صورت گرفته است. بخصوص در زمینه بدست آوردن رابطه ای برای محاسبه عرض سکوی فرسایش یافته آزمایش ها و پژوهش های متعددی توسط محققان انجام شده است. بررسی موج شکن سکویی مرکب به دلیل وجود کیسون و مدلسازی عددی و آزمایشگاهی آن می تواند به دست یافتن روابط طراحی آن کمک کند. در این مطالعه وجود کیسون و تاثیر آن بر پارامتر های موثر در موج شکن سکویی مرکب حائز اهمیت است. از موارد قابل بررسی در موج شکن های سکویی می توان به تاثیر کیسون به عرض سکوی فرسایش یافته نسبت به موج شکن سکویی اشاره کرد. همچنین نقش کیسون در تغییر شکل نیم رخ موج شکن سکویی مرکب در حالت شکل پذیر و پایداری سکو در حالت شکل ناپذیر، حائز اهمیت است.

مطالعات و بررسی های انجام شده در رابطه با موج شکن های کیسونی شامل آزمایشگاهی و عددی، اهمیت درک درستی از اندرکنش موج - سازه را نشان می دهد. تغییرات سطح آزاد و میدان سرعت در جلوی موج شکن کیسونی از دیگر بررسی های آزمایشگاهی صورت گرفته در رابطه با این نوع موج شکن است.

این مطالعات صرفاً به بررسی آزمایشگاهی، محدود نشده است و مدلسازی عددی بسیاری از موج شکن های کیسونی صورت گرفته است. افرادی همچون لارا و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از کد COBRAS-US، هیگور و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از مدل عددی IHFOAM و دنتال و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از مدل Flow3D به بررسی و مدلسازی موج شکن توده سنگی و کیسونی اقدام کرده اند. دنتال

و همکاران (۲۰۱۳)، در موج شکن از آکروپاد^۱ به عنوان آرمور موج شکن توده سنگی و دولایه سنگ برای فیلتر استفاده کرده اند. نتایج بدست آمده از مدلسازی عددی حاکی از مدلسازی قابل قبول به وسیله مدل عددی Flow3D می باشد. قرار گرفتن سکو در برابر کیسون از نظر تاثیر آن بر اندرکنش موج - سازه، میدان سرعت در جلوی کیسون، فشار وارد بر کیسون و انعکاس امواج برخوردی، مورد توجه است. موارد بیان شده اهمیت هر چه بیشتر مدلسازی عددی و آزمایشگاهی موج شکن سکویی مرکب را مشخص می کند. مدلسازی های عددی صورت گرفته به وسیله مدل عددی Flow3D نشان از کارایی قابل قبول این مدل عددی دارد. مدل جسم متحرک Flow3D می تواند در مدلسازی موج شکن سکویی مرکب در حالت شکل پذیر مورد استفاده قرار گیرد. برای مدلسازی موج شکن سکویی مرکب ابتدا سعی به مدلسازی عددی آن توسط Flow3D شده و در نهایت به وسیله مدلسازی آزمایشگاهی، کارایی آن مورد بررسی قرار می گیرد. در ادامه به مواد و روش های لازم جهت مدلسازی عددی و آزمایشگاهی پرداخته می شود.

^۱ Accropodo

فصل ۳

مواد و روش ها

۳-۱- مدل سازی آزمایشگاهی موج شکن سکویی مرکب

از مدل فیزیکی موج شکن کیسونی و موج شکن سکویی مرکب مدلسازی آزمایشگاهی به عمل می آید. هدف از این کار امکان مقایسه و بررسی مدل فیزیکی موج شکن سکویی مرکب است. شرایط طراحی موج شکن کیسونی مطابق بندر خدماتی تمبک انتخاب شده است. بندر خدماتی و صادراتی تمبک در نزدیکی روستای تمبک در ساحل شمال غربی خلیج فارس و در حدود مختصات $52^{\circ}20'30''E$ و $27^{\circ}07'20''N$ واقع شده است. این بندر در فاصله حدود ۶۲ کیلومتری غرب فرودگاه بین المللی خلیج فارس (عسلویه) و در حدود ۲۵۰ کیلومتری جنوب شرقی بندر بوشهر احداث خواهد شد. در شکل (۱-۳) می توان موقعیت بندر تمبک را مشاهده کرد. با توجه به عمق ۳۵ متری آب دریا، گزینه موج شکن کیسونی به عنوان گزینه ای مناسب مطرح خواهد شد.

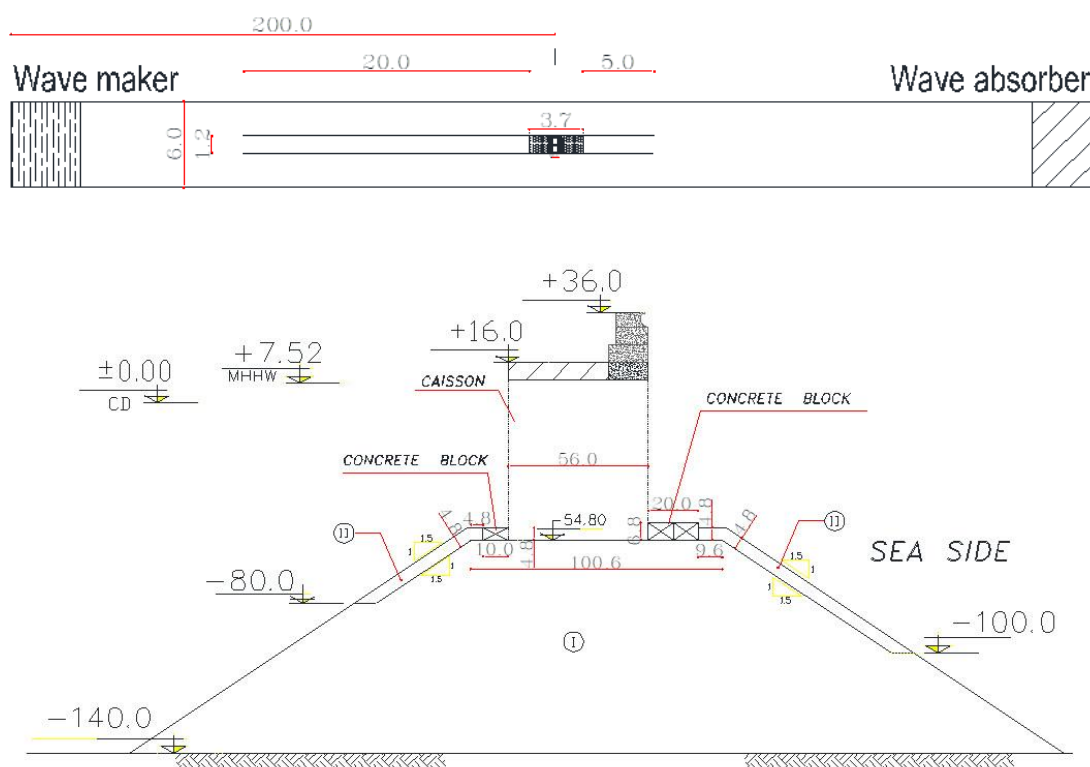


شکل (۱-۳): موقعیت بندر خدماتی تمبک در خلیج فارس

۱-۳-۱- مشخصات آزمایشگاه و برپایی مدل آزمایشگاهی

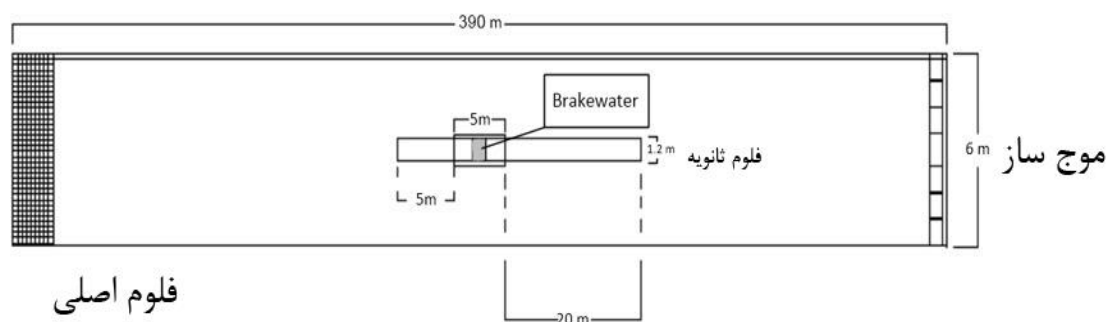
طول و عرض فلوم آزمایشگاه به ترتیب ۴۰۰ و ۶ متر است. این فلوم به موج ساز پیستونی با ارتفاع صفحه یک متر و عرض نیم متر مجهز است که ۹۰ سانتیمتر آن داخل آب قرار می گیرد. موج ساز تعبیه شده قابلیت ایجاد موج نامنظم با طیف ورودی دلخواه را دارد. با توجه به طول مناسب فلوم موج و تعبیه جاذب موج انتهایی، احتمال انعکاس موج از انتهای فلوم وجود ندارد و امواج بازگشتی مستهلک می شوند.

با توجه به شرایط مدل واقعی و شرایط آزمایشگاه، امکان انتخاب مقیاس آزمایشگاهی مناسبی معادل ۱:۲۵ فراهم شده است. موقعیت قرارگیری و محل ساخت مدل فیزیکی موج شکن کیسونی و نمایی از ابعاد و اندازه های اجزای مدل آزمایشگاهی در شکل (۲-۳) مشهود است.



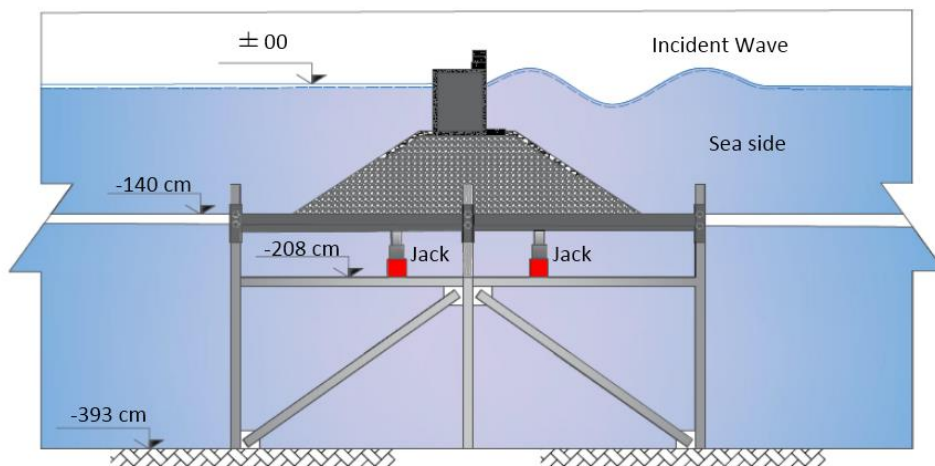
شکل (۲-۳): محل قرار گیری مدل فیزیکی در فلوم و ابعاد مدل آزمایشگاهی به سانتی متر

با توجه به ابعاد بزرگ فلوم آزمایشگاهی و مقیاس در نظر گرفته شده برای آزمایش، لازم است فلوم ثانویه ای ساخته شود و در فلوم اصلی مستقر گردد. در ادامه از فلوم ساخته شده و مورد استفاده برای آزمایش به عنوان فلوم ثانویه نام برده می شود. شکل (۳-۳) نشان دهنده ی فلوم ثانویه است. از دیگر دلایل ساخت فلوم ثانویه عدم امکان تغییر عمق آب در فلوم اصلی می باشد. در محل ساخت موج شکن سکویی مرکب وزن قابل توجهی به فلوم ثانویه وارد می گردد. وزن بالای مدل آزمایشگاهی موج شکن سکویی مرکب و لزوم عدم ارتعاش مدل آزمایشگاهی، باعث ساخت سازه ای مجزا از فلوم ثانویه با نام زیر سازه شده است. زیر سازه مدل آزمایشگاهی سازه ای فولادی و متحرک برای تغییر عمق پای سازه می باشد. شکل (۳-۴) نشان دهنده ابعاد و مشخصات زیر سازه است.



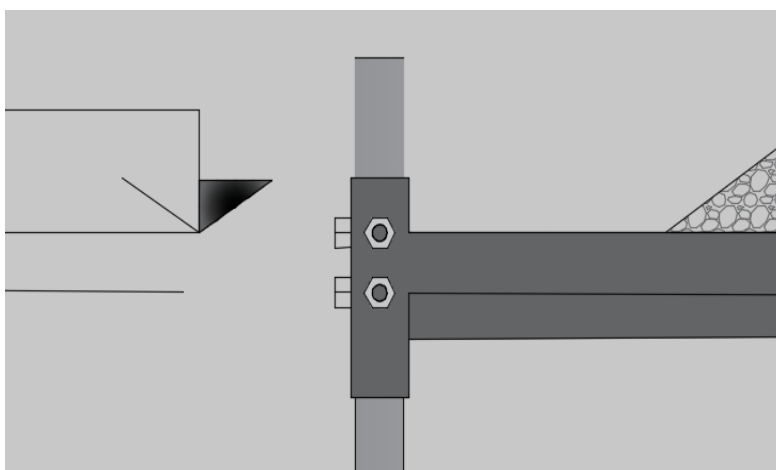
شکل (۳-۳) : نمایی از فلوم اصلی، فلوم ثانویه و موقعیت ساخت مدل آزمایشگاهی در فلوم ثانویه

زیر سازه به صورتی طراحی گردید که عمق پای موج شکن قابل تغییر باشد. این کار با قرار دادن جک در زیر صفحه ای که موج شکن بر روی آن قرار دارد، صورت می گیرد.



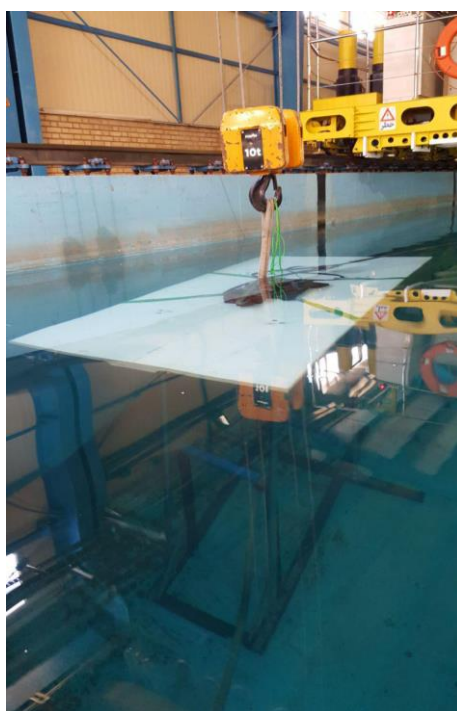
شکل (۳-۴) : نمای کلی زیرسازه و نحوه قرارگیری موج شکن بر روی آن

زیر سازه از دو طبقه تشکیل شده است، طبقه متحرک دوم باید در راستای عمودی حرکت کرده تا قابلیت تغییر عمق پای مدل موج شکن را در ترازهای مورد نظر داشته باشد و طبقه ثابت اول با هدف یکپارچه سازی، استحکام و استقرار جک بالابرنده در نظر گرفته شده است. بعد از جابجایی و قرارگیری طبقه دوم در نقطه مورد نظر برای تثبیت آن در حین انجام آزمایش، با بستن پیچ و مهره های تعبیه شده بر روی ستون ها از جابجایی طبقه دوم جلوگیری می گردد. در شکل (۳-۵) پیچ ها و محل قرارگیری آنها نشان داده شده است.



شکل (۳-۵) : محل قرارگیری پیچ و مهره ها بر روی ستون برای مهار طبقه متحرک زیرسازه

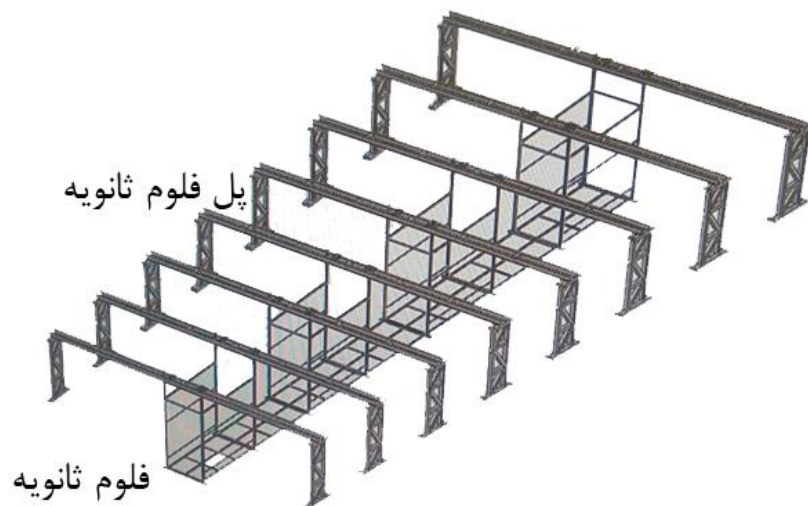
کف فلوم ثانویه نیز عرض ۲/۵ و در بخش های ۳ متری ساخته شده است که باید این بخش ها پس از ساخته شدن در کنار یکدیگر متصل شوند به طوری که طولی به اندازه ۲۰ متر در جلوی مدل آزمایشگاهی و ۵ متر در پشت مدل آزمایشگاهی را در بر گیرند. برای دستیابی به مناسب ترین ساختار فلوم ثانویه، این فلوم به چند روش ساخته شده و در نهایت روش پل به عنوان ساختار نهایی انتخاب شده است. یکی از ساختار های مورد ارزیابی برای فلوم ثانویه از فایبر و چارچوب فولادی تهیه گردید و پس از آزمایش عملکرد آن مشخص شد که استفاده از کف فایبر شناوری بالایی به همراه خواهد آورد. همچنین چارچوب فولادی آن دچار پیچش حول محور عمود بر کف فلوم می شود. شکل (۳-۶) نشان دهنده نسخه ابتدایی فلوم ثانویه است.



شکل (۳-۶) : نسخه ابتدایی فلوم ثانویه و ارزیابی عملکرد آن

نسخه نهایی فلوم ثانویه به صورت پل در نظر گرفته شد. به طوری که فلوم ثانویه در وسط پل قرار گرفته است. اتصال فلوم ثانویه با پل از بالا و از نوع پیچی می باشد. همچنین دو طرف پل در طرفین فلوم اصلی تثبیت شده است. پل و فلوم ثانویه از مصالح فولادی ساخته شده است. بکارگیری از پل با

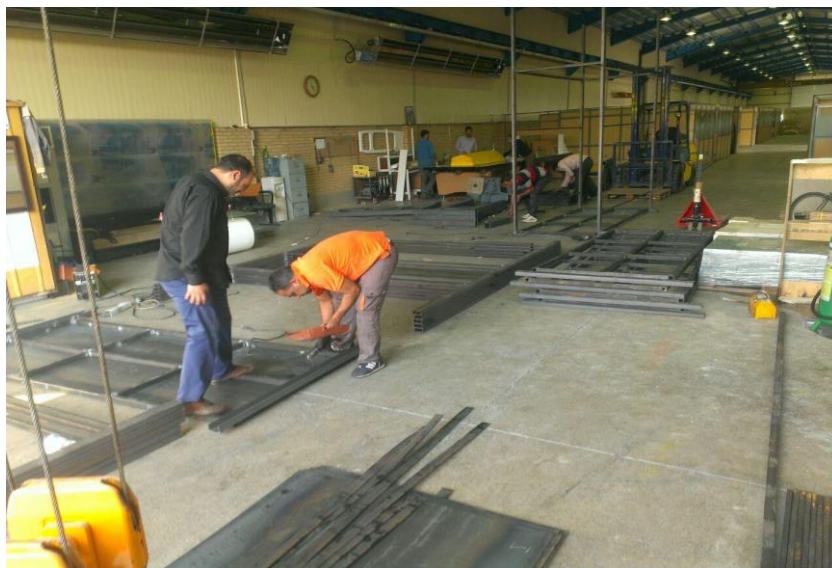
هدف حذف تماس فلوم ثانویه با دیواره و کف فلوم اصلی طراحی شده است. این ساختار از پل ۸ و پل ۷ بخش تشکیل شده است. شکل (۷-۳) نمایی از فلوم ثانویه و پل را نشان می دهد.



شکل (۷-۳) : طرح نهایی فلوم ثانویه

هر بخش از فلوم ثانویه در بخش های سه متری ساخته شده است. کفسازی فلوم ثانویه از جنس ورق فولادی و دیواره های آن جنس پی وی سی^۱ تهیه شده است. در شکل (۸-۳) مراحل ساخت فلوم ثانویه نشان داده شده است.

^۱ PVC

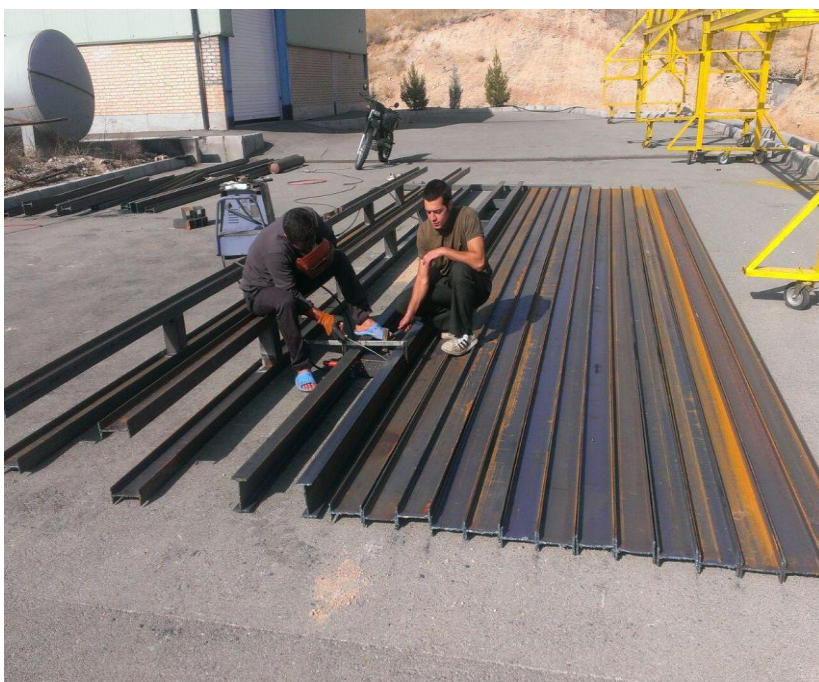


شکل (۳-۸) : نمایی از ساخت و چینش فلوم ثانویه در کارگاه جوشکاری آزمایشگاه

فلوم ثانویه علاوه بر اتصال به پل ها از بالا، از کف نیز بوسیله کابل به دیوارها متصل می شود. شکل (۳-۹) نحوه اتصال کابل به کف فلوم ثانویه را نشان می دهد. همچنین، شکل های (۳-۱۰) و (۳-۱۱) روند جوشکاری و ساخت پل ها را نشان می دهند.



شکل (۳-۹) : نحوه اتصال کابل به انتهای فلوم ثانویه

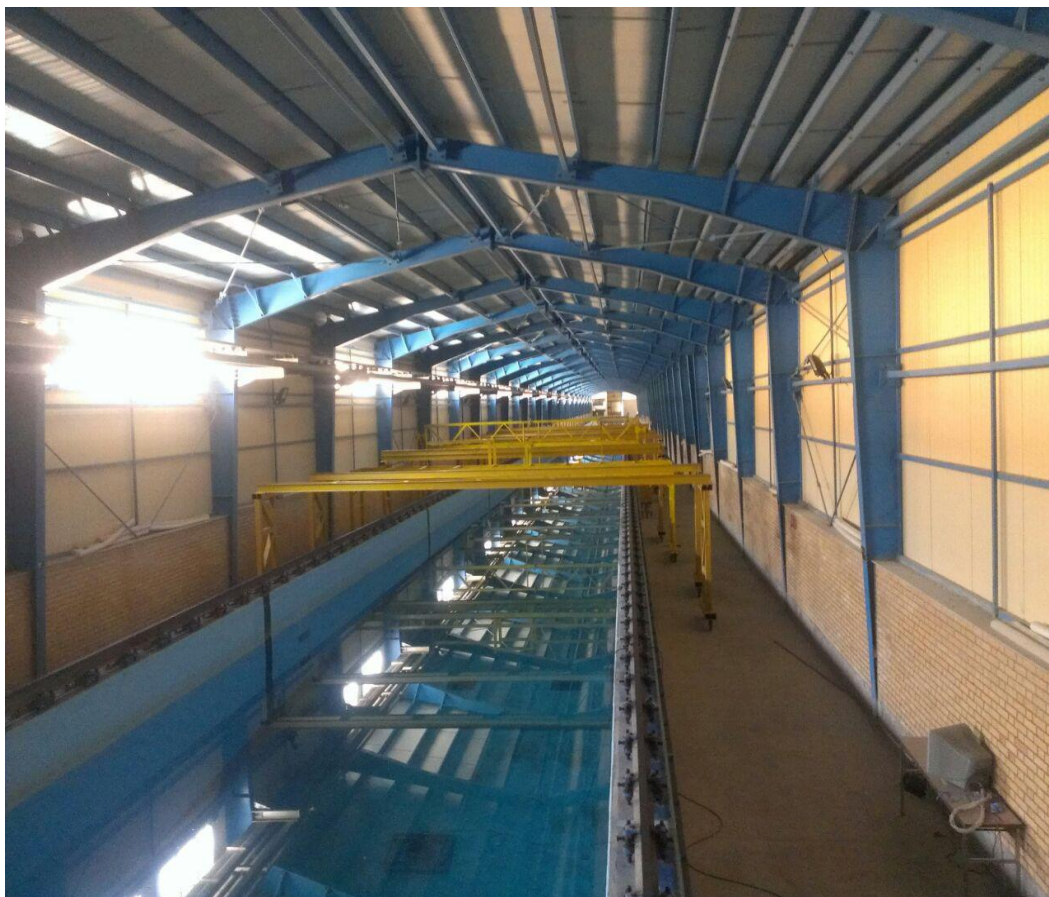


شکل (۳-۱۰) : جوشکاری تیرهای پل (فلوم ثانویه)



شکل (۱۱-۳) : رنگ آمیزی پل های فلوم ثانویه

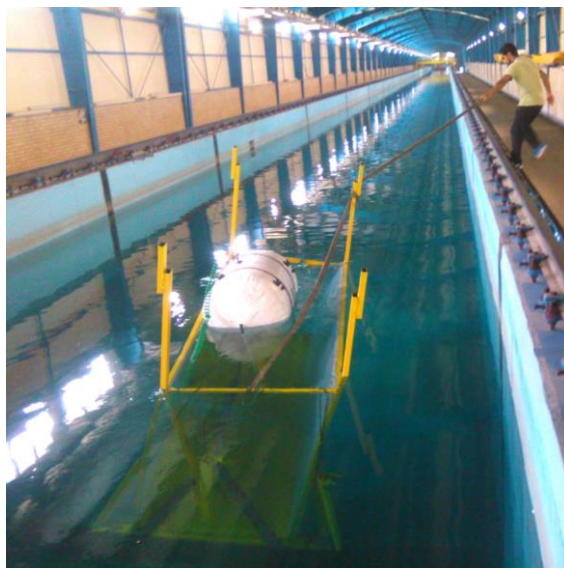
پس از ساخت و رنگ آمیزی پل ها بوسیله چرخ اقدام به انتقال آن ها به محل مورد نظر برای نصب فلوم ثانویه بر روی آن ها شد. شکل (۱۲-۳) نحوه قرارگیری پل ها بر روی فلوم اصلی را نشان می دهد.



شکل (۳-۱۲) : انتقال و جانمایی پل های فلوم ثانویه

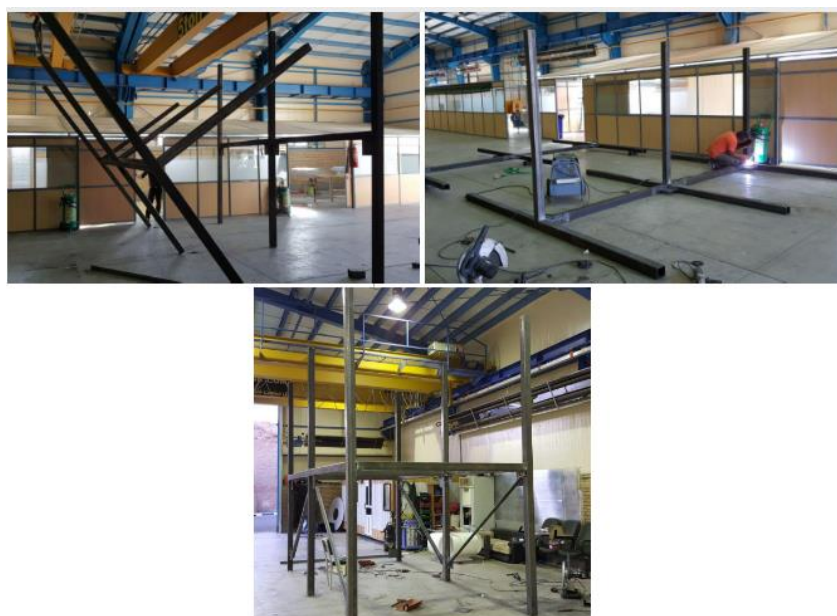
پس از نصب پل ها، اقدام به انتقال بخش های فلوم ثانویه شده است. برای انتقال هر بخش از فلوم ثانویه به محل مورد نظر از پانتون و لیفتینگ بگ^۱ استفاده شد. شکل (۳-۱۳) نحوه انتقال بخش های فلوم ثانویه را نشان می دهد.

¹ Lifting Bag



شکل (۳-۱۳): نحوه انتقال یک بخش از فلوم ثانویه به محل پل ها بوسیله لیفتینگ بگ

در شکل های (۳-۱۴)، (۳-۱۵)، (۳-۱۶) و (۳-۱۷) مراحل ساخت، انتقال و نصب قاب شفاف برای زیرسازه نشان داده شده است. پس از ساخت و رنگ آمیزی زیرسازه، بوسیله جرثقیل و پانتون به محل مورد نظر انتقال داده شده است.



شکل (۳-۱۴): نمایی از مراحل ساخت زیرسازه



شکل (۳-۱۵): انتقال زیرسازه توسط جرثقیل به داخل فلوم اصلی

طبقه دوم زیرسازه که قابلیت تغییر ارتفاع را دارد نیز پس از ساخت بوسیله پانتون به محل مورد نظر انتقال و بر روی زیرسازه نصب گردید.



شکل (۳-۱۶): نمایی از نحوه انتقال طبقه متحرک زیرسازه به وسیله پانتون و نصب آن بر روی زیرسازه

دیواره های فلوم ثانویه در محل ساخت مدل آزمایشگاهی (روی زیرسازه) از جنس شفاف (پلکسی گلاس) هستند. استفاده از دیواره شفاف امکان بررسی های آزمایشگاهی را فراهم می کند. برای نصب دیواره شفاف نیاز به تهیه قاب فولادی بر روی زیرسازه است. شکل (۳-۱۷) نمایی از جوشکاری و ساخت قاب فولادی دیواره شفاف را نشان می دهد.



شکل (۳-۱۷) : نمایی از مراحل ساخت و جوشکاری قاب فولادی برای دیواره شفاف بر روی زیرسازه

با تعیین الک های مورد نیاز برای استخراج مصالح سنگی، مصالح فیلتر، مغزه و آرمور تفکیک شده اند.

شکل (۳-۱۸) سنگدانه های الک شده را نشان می دهد.

برای دقت بالا در مدل سازی فیزیکی، سنگدانه ها از معادن قرصه محل ساخت موج شکن تهیه شده اند. نمایی از سنگ های الک شده در شکل (۳-۱۸) ارائه شده است.

¹ Plexiglass



شکل (۳-۱۸): نمونه از سنگدانه های مورد نیاز الک شده

در مدل سازی آزمایشگاهی موج شکن کیسونی و موج شکن سکویی مرکب از تکنیک پردازش تصویر در بررسی مدل فیزیکی موج شکن، شامل جابه جایی کیسون، بلوک های تاج، پاشنه، نشست کیسون در اثر حمله امواج و تخریب لایه آرمور (نیم رخ تعادلی) استفاده می شود. برای این منظور با رنگ آمیزی سنگ های لایه آرمور، فیلتر و ایجاد مارکر روی کیسون، بلوک های تاج و پاشنه شده است. برای رنگ آمیزی سنگدانه های لایه آرمور و فیلتر ابتدا با شستن سنگدانه ها به صورت دستی پس از الک کردن اقدام به رنگ آمیزی سنگدانه های فیلتر و آرمور شده است. سنگدانه های آرمور به رنگ قرمز و سنگدانه های آبی بیان گر لایه ی فیلتر می باشند. در شکل (۳-۱۹) سمت راست نمونه ای از سنگدانه فیلتر به رنگ آبی و سمت چپ نمونه ای از سنگ آرمور به رنگ قرمز مشهود است. همچنین شکل (۳-۲۰) نمایی از شستشوی مصالح را نشان می دهد.



شکل (۳-۱۹) : نمایی از سنگدانه های رنگ شده فیلتر و آرمور به ترتیب آبی و قرمز



شکل (۳-۲۰) : شستشوی مصالح الک شده

از دیگر ابزار پردازش تصویر می توان به صفحه مدرج ۶ در ۲ متر با دقت یک سانت اشاره کرد که توسط دستگاه CNC مدرج شده است. در شکل (۳-۲۱) نمایی از فریم مدرج شده و محل تعیین شده برای ساخت مدل آزمایشگاهی مشهود است.



شکل (۳-۲۱): نمایی از صفحه پلکسی گلس شفاف مدرج با دقت سانتی متر و محل اجرای مدل آزمایشگاهی موج شکن



شکل (۳-۲۲): نمایی از اجرای مصالح مغزه در مدل سازی آزمایشگاهی

در شکل (۲۲-۳) پس از اجرای مصالح مغزه داخل فلوم، آزمایشی به مدت ۱۰ دقیقه انجام می شود تا چنانچه موج شکن، بعد از نصب کیسون دچار نشست یا تخریب شود این تغییرات، قابل رویت باشد. لازم به یادآوری است که علاوه بر مورد بالا، تراز اجرای مغزه موج شکن ۲ سانتی متر بالاتر منظور شده است تا اثر نشست ناشی از وزن کیسون در تراز نهایی لحاظ شود. با نصب کیسون بر روی مصالح، لایه ی آرمور اجرا شده است. در شکل (۲۳-۳) نمایی از مدل فیزیکی پس از اجرای لایه آرمور و جانمایی بلوک های پنجه را نشان می دهد.



شکل (۲۳-۳): جای گذاری کیسون بر روی زیرسازه سنگی و ریختن مصالح فیلتر

با نصب سنسورهای فشارسنج، به منظور آب بند شدن داخل کیسون، فضای خالی آن بوسیله چسب فوم پر شده است. شکل (۳-۲۴) نحوه آب بندی داخل کیسون، سنسور فشار سنج و قرارگیری بلوک‌های تاج بر روی کیسون را نشان می‌دهد.

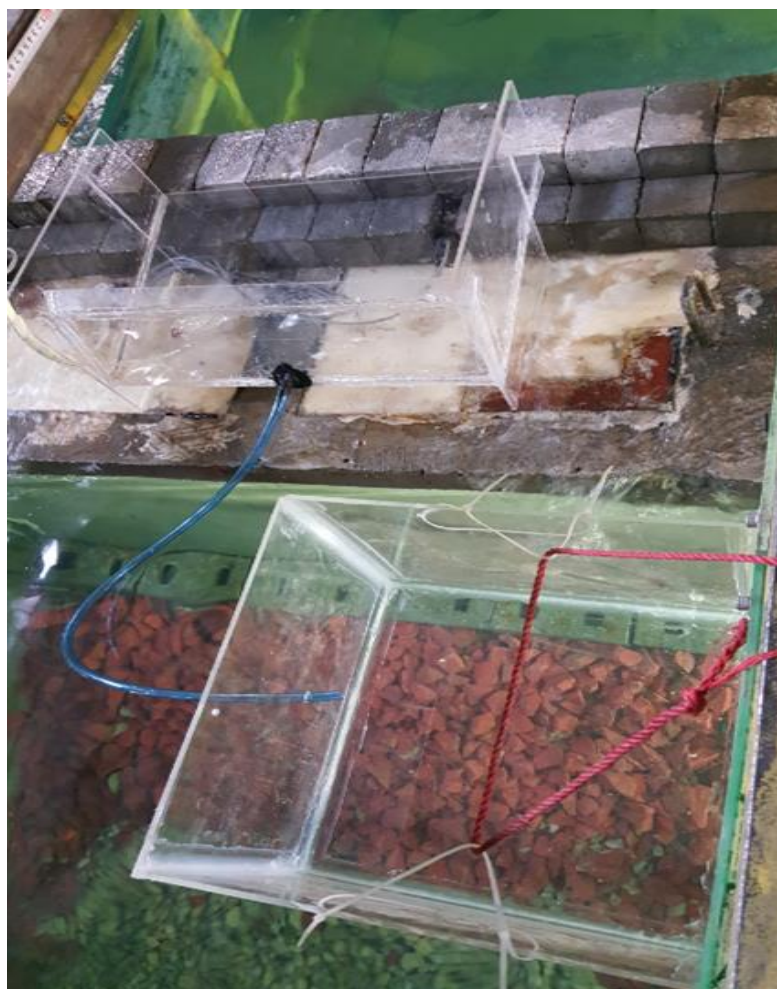


شکل (۳-۲۴) : پرکردن فضای خالی کیسون بوسیله چسب فوم و نحوه قرارگیری بلوک‌های تاج بر روی آن

۳-۱-۲- تجهیزات اندازه گیری روگذری

برای اندازه گیری روگذری ناشی از امواج حین آزمایش، از مخزنی از جنس پی وی سی استفاده شد. سپس بعد از اتمام آزمایش با اندازه گیری آب درون مخزن میزان روگذری حین آزمایش بدست آورده می شد. از مشکلات مخزن پی وی سی می توان به بزرگ بودن، سنگین بودن و برخورد به دیواره فلوم ثانویه اشاره کرد. این معایب سبب شد تا مخزنی از جنس پلکسی گلاس با وزن سبک به دیواره فلوم ثانویه مهار و تهیه شود.

تجهیزات اندازه گیری روگذری شامل دو بخش می شوند. بخش اول مخزنی با عمق ۴۰ سانتی متری و عرض یک متر در پشت بلوک تاج کیسون قرار گرفته است که در کف آن شلنگی قرار دارد. این شلنگ آب ناشی از عبور امواج از روی کیسون را به درون مخزن دوم در پشت کیسون انتقال می دهد. این مخزن ابعادی معادل $0.5 \times 0.5 \times 0.5$ متر دارد و هر دو مخزن از جنس پلکسی گلاس شفاف ساخته شده اند. نمایی از محل ذخیره آب ناشی از روگذری و بلوک های تاج در شکل (۳-۲۵) آورده شده.



شکل (۳-۲۵) : تجهیزات اندازه گیری روگذری و بلوک های تاج

۳-۱-۳- تجهیزات نیم رخ برداری

برای برداشت تغییرات نیم رخ مدل فیزیکی موج شکن کیسونی و سکویی مرکب، قبل و بعد از هر آزمایش نیاز به برداشت نیم رخ می‌باشد. برای این منظور از ابزار قابل مشاهده در شکل (۳-۲۶) که از دو قسمت افقی (۴متر) و عمودی (۲متر) مدرج، با دقت سانتی متر استفاده می‌شود. برداشت پروفیل در سه مقطع انجام شده است. این مقاطع، در دو قسمت طرفین مدل فیزیکی و وسط آن قرار دارند. با حرکت افقی عضو متحرک و با استفاده از شاخص مدرج در هر پنج سانتیمتر سطح نیم رخ برداشته می‌شود.



شکل (۳-۲۶) : تجهیزات اندازه گیری و برداشت نیم رخ مدل فیزیکی

۳-۲- مدلسازی عددی موج شکن سکویی مرکب

به دلیل برخی مشکلات پیش آمده، مدلسازی آزمایشگاهی موج شکن سکویی مرکب امکان پذیر نشد. برای تست آزمایشگاهی موج شکن سکویی مرکب، نیاز به ساخت زیرساخت های آزمایشگاهی مانند فلوم ثانویه بوده است. طراحی و ساخت این زیر ساخت ها حدود ۶ ماه زمان برده است. از دیگر مشکلات انتقال مصالح و برپایی مدل آزمایشگاهی در فلوم ثانویه بوده است. برپایی مدل آزمایشگاهی حدود یک ماه به طول انجامید. صرف زمان ۷ ماهه برای تهیه زیرساخت ها و برپایی مدل آزمایشگاهی سبب به

تعلیق درآمدن سایر برنامه های تحقیقاتی آزمایشگاه شد و این امر باعث اعمال فشار سایر گروه های تحقیقاتی برای انجام تست های آزمایشگاهی خود شده است. در نهایت این عوامل سبب شد تا آزمایشگاه از انجام تست های آزمایشگاهی موج شکن سکویی مرکب اجتناب کند. برای ادامه فرایند مدل سازی مدل موج شکن سکویی از مدل عددی Flow3D استفاده می شود. نرم افزار Flow3D یک بسته نرم افزاری جامع در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی می باشد. مش محاسباتی، فضای حل را تقسیم بندی می کند. ریزتر کردن مش ها برای فضای محاسباتی، باعث وجود المان ها و گره های بیشتر و در نتیجه افزایش اندازه و حجم محاسبات مدل عددی می شود. انتخاب اندازه مش صحیح مسئله ای حائز اهمیت است.

ایجاد شبکه های مش مستطیل شکل به علت ساختار منظم شان ساده است. سلول های محاسباتی به طور متوالی به وسیله سه اندیس نام گذاری می شوند. اندیس i در جهت x ، j در جهت y ، k در جهت z به کار می روند. در نتیجه مانند مختصات یک نقطه در فضا، هر سلول در مش های سه بعدی به وسیله یک آدرس واحد، (i,j,k) نام گذاری می شود.

الگوریتم های عددی گذشته بر مبنای تفاضل محدود^۱ و حجم محدود^۲ بسط داده شده اند. این الگوریتم ها، هسته اصلی حل های عددی در نرم افزار Flow3D را تشکیل می دهند. روش تفاضل محدود بر مبنای بسط تیلور می باشد. این قدیمی ترین روش مورد استفاده برای حل های عددی معادلات دیفرانسیلی می باشد و در سال ۱۷۶۸ توسط اولر^۳ گسترش یافته است. روش حجم محدود به طور مستقیم از انتگرال گیری قوانین بقای حرکت سیال بدست می آید.

¹ finite difference

² finite volume

³ Euler eq

۱-۲-۳- کلیات

نرم افزار Flow-3D می تواند مطابق با محدودیت های مختلف معادلات کلی سیال، به چندین روش عمل کند. به عنوان مثال، یک روش برای جریان تراکم پذیر مورد استفاده قرار می گیرد و روش دیگری برای شرایط جریان غیر قابل تراکم استفاده می شود. در مورد دوم، دانسیته و انرژی ثابت است و نیازی به محاسبه آنها نیست. به علاوه، روش هایی برای حل مسائل تک سیال و یا دو سیال وجود دارد. جریان با سطح آزاد می تواند به عنوان یک سیال غیر قابل تراکم در نظر گرفته شود. در این نرم افزار از (VOF) برای نشان دادن رفتار سیال در سطح آزاد و^۲ (FAVOR) برای شبیه سازی سطوح و احجام صلب، استفاده شده است.

سطح آزاد در بسیاری از شبیه سازی هایی که به وسیله Flow-3D انجام می شود، وجود دارد. مدل کردن سطح آزاد در فضای محاسباتی به عنوان یک چالش اساسی مطرح می باشد زیرا پارامترهای محیط جریان و مشخصات مواد مانند دانسیته، سرعت و فشار باعث یک ناپیوستگی در آن می شوند. در محیط Flow3D، حجم اشغال شده توسط گاز با فضای خالی جایگزین می شود. چنین دیدگاهی دارای مزیت های زیادی در کاهش حجم محاسبات می شود. در زمانی که جزئیات وجود گاز تاثیر بسیار کمی بر روی رفتار مایع دارد، در این صورت سطح آزاد، مرز خارجی سیال شناخته می شود. در نرم افزار Flow3D روش حجم سیال برای چنین منظوری به کار می رود.

¹ Volume of Fluid

² Fractional Area – Volume Obstacle Representation

۳-۲-۲- معادلات حاکم

معادلات حاکم بر سیالات از قوانین بقای جرم و مومنتوم بدست می آیند و به صورت معادلات دیفرانسیل جزئی می باشند. به طور کلی برای بدست آوردن معادلات جریان، سه گام را می توان در نظر گرفت. اول انتخاب قوانین پایه صحیح، دوم کاربرد قوانین توسط یک مدل مناسب جریان و میدان موج، سوم اقتباس معادلات ریاضی که مجسم کننده قوانین فیزیکی فوق می باشند. معادلات اصلی برای شبیه سازی جریان و میدان موج سه بعدی، سه معادله دیفرانسیل، شامل روابط پیوستگی و اندازه حرکت در جهات x, y, z هستند.

۳-۲-۳- معادله پیوستگی

معادله پیوستگی سیال از قانون بقای جرم و با نوشتن رابطه تعادل برای یک المان سیال به دست می آید. معادله عمومی پیوستگی به شکل زیر است:

$$V_f \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u A_x) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w A_z) = 0 \quad (1-3)$$

که در آن V_f کسر حجم باز به جریان، ρ چگالی سیال است. مولفه های سرعت (u, v, w) در جهات (x, y, z) می باشند. A_x کسر سطح باز در جهت x است، A_y و A_z به طور مشابه کسر سطح در جهات y و z می باشند. [۳۴]

۳-۲-۴- معادلات اندازه حرکت

معادلات حرکت سیال با مولفه های سرعت (u, v, w) در سه جهت مختصات، یعنی معادلات ناویر-استوکس به شکل زیر هستند:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \left(u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x \quad (2-3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \left(u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + G_y + f_y \quad (3-3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \left(u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z \quad (4-3)$$

در این معادلات (G_x, G_y, G_z) شتاب های جرم، (f_x, f_y, f_z) شتابهای لزجت است. برای متغیرها

لزجت دینامیکی μ ، شتاب های لزجی به شکل زیر هستند:

$$\rho V_f f_x = w s_x - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{xz}) \right\} \quad (5-3)$$

$$\rho V_f f_y = w s_y - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{yz}) \right\} \quad (6-3)$$

$$\rho V_f f_z = w s_z - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xz}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{zz}) \right\} \quad (7-3)$$

و در آن

$$\tau_{xx} = -2 \mu \left\{ \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\} \quad \tau_{xy} = -\mu \left\{ \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial x} \right\} \quad (8-3)$$

$$\tau_{xy} = -2 \mu \left\{ \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\} \quad \tau_{xz} = -\mu \left\{ \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right\} \quad (9-3)$$

$$\tau_{zz} = -2 \mu \left\{ \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\} \quad \tau_{yz} = -\mu \left\{ \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right\} \quad (10-3)$$

در معادلات فوق جملات $w s_x, w s_y$ و $w s_z$ بیانگر تنش های برشی دیواره ها هستند. اگر این جملات

حذف شوند، دیگر تنش برشی دیواره ای نخواهیم داشت زیرا جملات باقیمانده شامل کسر مساحت

های جریان (A_x, A_y, A_z) می شوند که در آن ها دیواره ها در نظر گرفته نشده اند. تنش های روی

دیواره ها به وسیله فرض سرعت مماسی صفر، در قسمتی از سطح محدود به جریان شبیه سازی می

شوند. [۳۵]

۳-۳- مبانی طراحی سکوی موج شکن سکویی مرکب

۳-۳-۱- بررسی پارامترهای اثرگذار در طراحی انواع موج شکن های سکویی

مرکب

پارامترهای بسیاری بر طراحی موج شکن سکویی مرکب تأثیرگذارند. این پارامترها شامل قطر اسمی سنگ های آرمور (D_{n50})، عرض سکو، تراز سکو نسبت به سطح ایستابی، شیب سکو، تراز کیسون نسبت به سطح ایستابی و... می باشند. موج شکن های سکویی مرکب از آنجایی که یک موج شکن مفهومی جدید به حساب می آیند، برای طراحی سکوی جلوی کیسون رابطه ای وجود ندارد و به ناچار از روابط طراحی موج شکن های متداول سکویی (آیین نامه طراحی موج شکن های سکویی، سازمان بنادر و دریانوردی) [۳۷] به عنوان نزدیک ترین معیار طراحی سکوی موج شکن سکویی مرکب استفاده می شود. موج شکن های سکویی مرکب طراحی شده در این مطالعه شامل سه حالت می باشند که در ادامه از این سه حالت با عنوان موج شکن سکویی مرکب حالت اول، موج شکن سکویی مرکب حالت دوم و موج شکن سکویی مرکب حالت سوم نام برده می شود. برای موج شکن سکویی مرکب در حالت اول و دوم، از مبانی طراحی موج شکن سکویی از نوع شکل ناپذیر (پایدار استاتیکی) استفاده شده است. در موج شکن سکویی مرکب حالت سوم از مبانی طراحی موج شکن سکویی چند لایه (ایسلندی) به عنوان معیار طراحی استفاده می شود.

در طراحی موج شکن سکویی مرکب نسبت به موج شکن سکویی به دلیل قرارگیری کیسون در قسمت پشت سکوی موج شکن، تفاوت وجود دارد. بخش هایی از موج شکن سکویی مرکب که با توجه به توصیه های آیین نامه طراحی موج شکن های سکویی طراحی می شوند، شامل موارد زیر می باشند:

- عرض سکو در موج شکن سکویی مرکب

- شیب پایین سکو در موج شکن سکویی مرکب

- تراز سکو نسبت به سطح ایستابی

- قطر اسمی سنگ لایه آرمور (D_{n50}) و وزن سنگ لایه آرمور (W_{50}) در موج شکن سکویی مرکب

- تراز تاج در موج شکن سکویی مرکب (تراز کیسون نسبت به سطح ایستابی)

- عرض تاج در موج شکن سکویی مرکب (عرض کیسون)

برای جلوگیری از تماس مستقیم کیسون با بستر دریا در موج شکن سکویی مرکب از مصالحی برای زیر سازی کیسون آن استفاده می شود. در این مطالعه به این مصالح، زیر سازی کیسون گفته می شود. با حذف مغزه موج شکن سکویی و وجه پشتی موج شکن سکویی (وجه رو به بندر) نیازی به طراحی بخش های زیر نمی باشد:

- شیب بالای سکو در موج شکن سکویی مرکب

- شیب مغزه در موج شکن سکویی مرکب

- تراز تاج مغزه در موج شکن سکویی مرکب

- عرض تاج مغزه در موج شکن سکویی مرکب

- وجه رو به بندر موج شکن سکویی مرکب (این بخش به دلیل بکارگیری کیسون در مدل موج شکن سکویی مرکب حذف شده است)

مشخصات هندسی و توصیه های طراحی موج شکن سکویی مرکب (بر اساس آیین نامه طراحی موج شکن های سکویی، سازمان بنادر و دریانوردی) [۳۷] شامل موارد زیر می باشد:

۲-۳-۳- شیب پایین سکو :

هرچه شیب سکوی موج شکن تندتر شود، مصالح کمتری استفاده می شود که این موضوع به اقتصادی تر شدن پروژه کمک می کند. البته افزایش شیب، تخریب بیشتر سکو را به همراه دارد. شیب پایین سکو در موج شکن های سکویی و بخصوص موج شکن های سکویی شکل پذیر به منظور کاهش حجم مصالح مصرفی و در نتیجه برای کاهش هزینه اجرای سازه می توان شیب تندی در نظر گرفت. بهتر است شیب طبیعی مصالح در زیر آب (شیب برابر ۱:۱/۲۵)، به عنوان شیب بخش پایینی سکو منظور گردد. [۳۷]

۳-۳-۳- تراز سکو نسبت به سطح ایستابی:

افزایش تراز سکو از سطح ایستابی از طرفی منجر به افزایش حجم مصالح مصرفی، در نتیجه موجب افزایش هزینه های اجرای موج شکن خواهد شد و از طرفی منجر به کاهش عرض سکوی فرسایش یافته می شود. در طراحی این قسمت از موج شکن باید مقدار متوسطی برای ارتفاع سکو پیدا کرد که ضمن برقراری پایداری موج شکن، حجم مصالح مورد نیاز برای ساخت کاهش پیدا کند.

انتخاب تراز مناسب برای سکو باعث بازدید آسان از سکو در زمان بهره برداری خواهد شد. تراز سکو برای پروژه های موج شکن های سکویی اجرا شده در ایران از حدود ۰/۵ متر تا ۲ متر بالای تراز آب طراحی در نظر گرفته می شود. با توجه به تجربیات موجود در ایران یکی از دو معیار زیر (روابط ۳-۱۱ و ۳-۱۲) می تواند جهت تعیین تراز سکو نسبت به تراز ایستابی در نظر گرفته شود: [۳۷]

$$h_B = 0.25H_{s\text{design}} \text{ to } 0.5H_{s\text{design}} \quad (۳-۱۱)$$

$$h_B = 1D_{n50} \text{ to } 1.5D_{n50} \quad (۳-۱۲)$$

در این رابطه: $h_B(m)$: تراز سکو، H_s : ارتفاع موج طراحی و D_{n50} : قطر اسمی سنگ است.

۴-۳-۳- تراز تاج و عرض تاج :

در انتخاب تراز تاج، میزان بالاروی موج حائز اهمیت است. تراز تاج پروژه های اجرا شده در ایران حدود ۳ تا ۵ متر بالاتر از تراز سکو در نظر گرفته می شود و همچنین تراز تاج نسبت سطح ایستایی به میزان $H_s(1 - 1/2)$ است. [۲۰] همچنین عرض تاج حداقل به میزان ۴ برابر قطر متوسط سنگ استفاده شده در تاج می باشد. [۳۷]

۵-۳-۳- قطر اسمی سنگ لایه آرمور (Dn50) و وزن سنگ لایه آرمور (W50) :

یکی دیگر از مهمترین پارامترها در بررسی پایداری موج شکن های سکویی، قطر اسمی سنگ های لایه آرمور (D_{n50}) است. وزن در میر در مورد تأثیر این پارامتر بر میزان تغییر شکل نیمرخ موج شکن شکل پذیر بیان داشت که با افزایش قطر اسمی دانه های سنگی، میزان طول نیم رخ تغییر شکل یافته، کاهش پیدا می کند. دلیل این موضوع را می توان به افزایش وزن سنگ ها در اثر بزرگتر شدن قطر آن ها و در نتیجه افزایش نیروی مقاوم در برابر حرکت سنگ ها در اثر برخورد امواج دانست. [۸]

پارامتر های بی بعد طراحی و تعیین وزن سنگ به کار برده شده در سکو، شامل عدد پایداری (N_s) یا (H_0) و $H_0 T_0$ و $H_0 \sqrt{T_0}$ می باشند. مقدار عدد پایداری با توجه به شرایط محیطی، اجرایی و اهمیت پروژه تعیین می شود. جدول (۱-۳) مقادیر عدد پایداری بر اساس اهمیت پروژه را نشان می دهد. [۳۷]

جدول (۱-۳) مقادیر عدد پایداری بر اساس اهمیت پروژه

اهمیت پروژه	مهم	معمولی	کم اهمیت	موقت
عدد پایداری (N_s)	$2/8 >$	$3 - 2/8$	$3 - 3/4$	$4 >$

با توجه به اهمیت پروژه، نوع موج شکن سکویی شامل شکل ناپذیر و شکل پذیر (استاتیکی و دینامیکی) انتخاب می گردد. جدول (۲-۳) تقسیم بندی انواع موج شکن های سکویی مطابق پارامترهای بی بعد پایداری سازه را بیان می کند.[۳۷]

جدول (۲-۳) : تقسیم بندی انواع موج شکن های سکویی مطابق پارامترهای بی بعد پایداری سازه

نوع موج شکن	$N_s=H_0$	H_0T_0	$H_0\sqrt{T_0}$
موج شکن سکویی شکل ناپذیر (استاتیکی)	$< 1/5 - 2$	$< 20 - 40$	$< 7 - 8$
موج شکن سکویی شکل پذیر (استاتیکی)	$1/5 - 2/7$	$40 - 70$	$8 - 13/5$
موج شکن سکویی شکل پذیر (دینامیکی)	$> 2/7$	> 70	$> 13/5$

با تعیین اهمیت پروژه و نوع موج شکن سکویی، عدد پایداری (N_s) تعیین می شود. می توان با استفاده از پارامتر بی بعد عدد پایداری (N_s)، مشخصات موج طرح و چگالی سنگ را در بدست آوردن قطر اسمی سنگ (D_{n50}) (رابطه ۳-۱۳) استفاده کرد و وزن متوسط سنگ (W_{50}) را از رابطه (۳-۱۴) بدست آورد.

$$H_0=N_s=H_s / \Delta D_{n50} \quad (۳-۱۳)$$

$$\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$$

$$W_{50} = \rho_s (D_{n50})^3 \quad (۳-۱۴)$$

در رابطه بالا D_{n50} قطر اسمی سنگ، N_s عدد پایداری، H_s ارتفاع مشخصه موج، ρ_s چگالی سنگدانه، ρ_w چگالی آب و W_{50} وزن متوسط سنگ است.[۳۷]

موج شکن سکویی چند لایه (موج شکن سکویی شکل ناپذیر) از چند نوع سنگ تشکیل شده است که به هر نوع سنگ با اندازه مشخص، عنوان کلاس سنگ اطلاق می شود. بزرگترین کلاس سنگ در

قسمت بالای سکوی موج شکن و در برخی مواقع در شیب جلوی سکو که نقش مهمی در تقویت سازه دارد، قرار داده می شود. سنگ های با قطر اسمی کمتر (کلاس II و III) در لایه های درونی موج شکن قرار داده می شوند. برای محاسبه سنگ کلاس I از روابط بیان شده برای محاسبه وزن متوسط لایه آرمور (بخش ۵-۳-۳) استفاده می شود.

در تعیین قطر اسمی لایه فیلتر، شرط پایداری داخلی مصالح حائز اهمیت است. همچنین در زیر کیسون موج شکن سکویی مرکب، از مصالحی برای زیر سازی کیسون استفاده شده است. شرط پایداری داخلی بیان می کند که نسبت قطر اسمی سنگدانه ی فیلتر به قطر اسمی مصالح زیر سازی کیسون، باید از ۱۰ کمتر باشد. ($D_{50\text{filter}} / D_{50\text{core}} < 10$)

در موج شکن سکویی ایسلندی قطر اسمی کلاس II، ۰/۸ برابر قطر اسمی متوسط کلاس I در نظر گرفته می شود. [۳۸] سنگ کلاس III، تقریباً ۰/۱۵ تا ۰/۴ برابر سنگ کلاس I می باشد. کلاس III به عنوان فیلتر در موج شکن سکویی استفاده می شود. در مورد طراحی موج شکن های سکویی چندلایه (ایسلندی) توجه به نکاتی که در ادامه مطرح می شوند، حائز اهمیت است. در طراحی سنگ بکار رفته در کلاس I علاوه بر حفظ پایداری در اثر برخورد امواج، باید پایداری سنگ های کلاس II و III را تامین شود. همچنین عمق اجرای سنگ کلاس I به اندازه بیشترین مقدار به دست آمده از ($1.45\Delta (D_{n50I})$ و $1.85\Delta (D_{n50II})$) در زیر سکو ادامه یابد. [۲۰]

۶-۳-۳- عرض سکو

عرض سکو باید به گونه ای انتخاب شود که تغییر شکل سکو جهت رسیدن به حالت پایدار، پایداری قسمت های دیگر را تحت تأثیر قرار ندهد و باعث تخریب سایر قسمت ها نگردد. عرض مناسب برای موج شکن سکویی عرضی است که سکوی موج شکن دارای کمترین حجم مصالح باشد. در صورت شکل پذیر بودن موج شکن سکویی، عرض سکو باید به گونه ای طراحی شود که پس از تغییر شکل سکو، سنگ آرمور حداقل از لبه سکو تا انتهای سکو به اندازه $2 D_{n50}$ تا $4 D_{n50}$ باقی بماند. برای

محاسبه عرض سکو بنا بر اطلاعات موجود طراحی، آیین نامه طراحی موج شکن های سکویی (سازمان بنادر و دریانوردی) چند رابطه را پیشنهاد می کند که این روابط بر مبنای شکل پذیری سازه توسعه یافته اند. به عنوان مثال در رابطه ارائه شده توسط هال و کاو (۱۹۹۱)، تاثیر D_{15} و D_{85} (به ترتیب قطری که ۱۵ و ۸۵ درصد سنگ ها) را مورد بررسی قرار داده است که در طراحی موج شکن سکویی مرکب تمامی سنگ های آرمور و فیلتر برابر D_{n50} در نظر گرفته می شوند. در رابطه مقیم و همکاران (۱۳۸۷) اثر تعداد امواج برخوردی در شکل گیری نیم رخ تعادلی در نظر گرفته شده است، در حالی که موج شکن سکویی مرکب به صورت شکل ناپذیر طراحی شده است. مقدار فرسایش سکو^۱ (Rec) به وسیله رابطه (۳-۱۵) تروم (۱۹۹۸)، توصیه شده توسط آیین نامه طراحی موج شکن های سکویی (سازمان بنادر و دریانوردی) محاسبه می شود. همچنین $2/5$ تا 3 برابر ارتفاع موج مشخصه را به عنوان عرض سکو می توان در نظر گرفت. [۳۷]

$$Rec/D_{n50} = 0.0000027(H_0T_0)^3 + 0.000009(H_0T_0)^2 + 0.11(H_0T_0) - 0.8 \quad (3-15)$$

محدوده اعتبار رابطه فوق برای $30-20 > H_0T_0$ است.

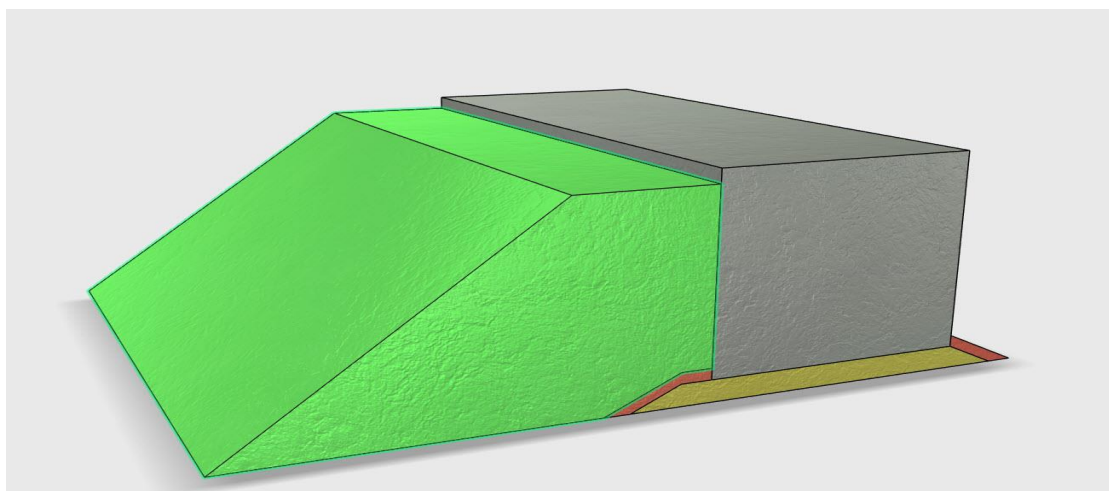
۷-۳-۳- پارامترهای محیطی

در زمینه بررسی تأثیر ارتفاع و پرید امواج، مطالعات زیادی انجام گرفته است. ارتفاع و پرید موج جزء عوامل محیطی می باشد. مطالعات انجام شده در ارتباط با موج شکن های توده سنگی، افزایش احتمال تخریب موج شکن توده سنگی و یا افزایش تغییر شکل موج شکن سکویی در اثر افزایش ارتفاع و پرید موج را نشان می دهد. انرژی موج، معرف قدرت و توانایی موج به منظور جابجایی سنگدانه ها است. از آنجایی که انرژی موج با توان دوم ارتفاع موج متناسب است که ارتفاع موج عامل بسیار مهمی در تعیین پایداری و تغییر شکل موج شکن می باشد. [۸]

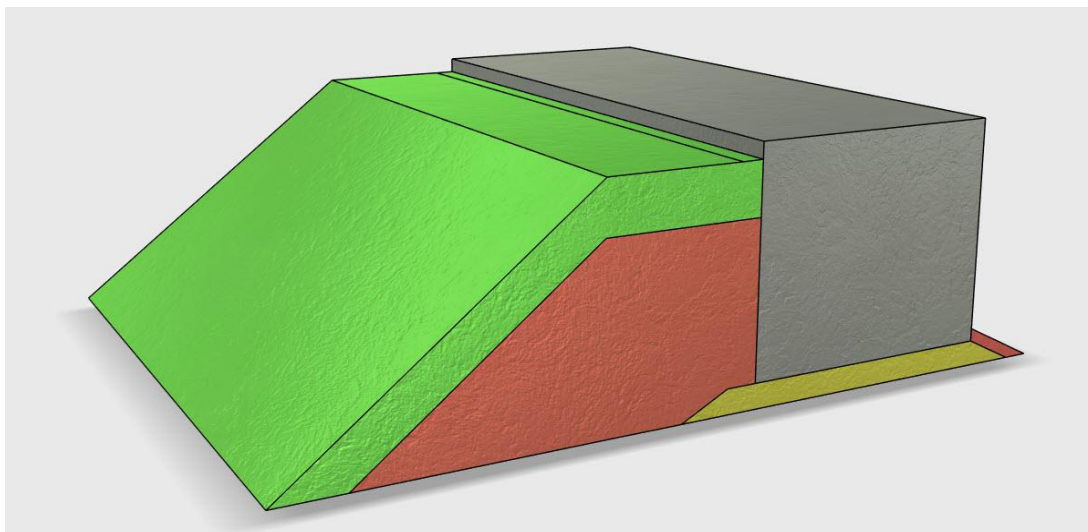
¹ Berm Recession

۳-۴- بیان پارامترهای هندسی و محیطی موج شکن سکویی مرکب

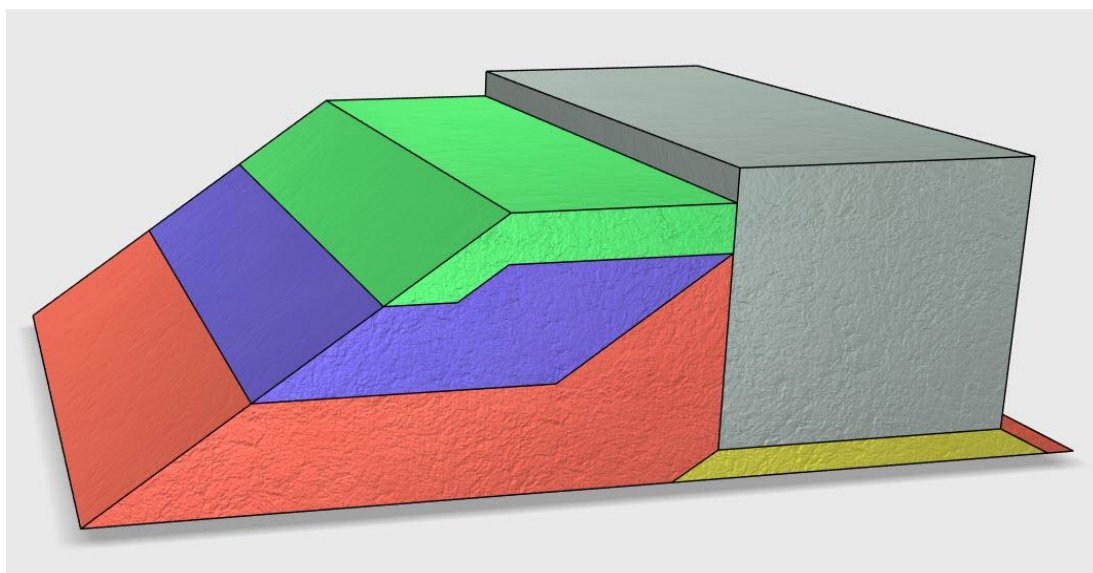
موج شکن سکویی مرکب طبق مبانی طراحی ارائه شده در بخش ۳-۳ طراحی شده است. این طراحی برای سه حالت موج شکن سکویی مرکب انجام شده است. در شکل های (۲۷-۳)، (۲۸-۳) و (۲۹-۳) سه حالت موج شکن سکویی مرکب نشان داده می شود. بخش خاکستری رنگ در پشت سکو، کیسون است. همچنین در حالت اول و دوم موج شکن سکویی مرکب، رنگ قرمز نشان دهنده ی سنگدانه لایه ی فیلتر و بخش سبز رنگ نشان دهنده ی سنگ های آرمور است. در حالت سوم موج شکن سکویی مرکب (ایسلندی)، رنگ سبز سنگ های کلاس I و رنگ آبی سنگ های کلاس II و همچنین رنگ قرمز سنگ های کلاس III را نشان می دهد. لازم به ذکر است رنگ زرد در شکل های (۲۷-۳)، (۲۸-۳) و (۲۹-۳) نشان دهنده ی مصالح زیر سازی کیسون است.



شکل (۲۷-۳): نمایی از حالت اول موج شکن سکویی مرکب با لایه آرمور سبز رنگ و لایه فیلتر قرمز



شکل (۳-۲۸): نمایی از حالت دوم موج شکن سکویی مرکب با لایه آرمور سبز رنگ و لایه فیلتر قرمز



شکل (۳-۲۹): نمایی از حالت سوم موج شکن سکویی مرکب (ایسلندی)، رنگ سبز سنگ های کلاس I و رنگ آبی سنگ های کلاس II و رنگ قرمز سنگ های کلاس III

در جدول (۳-۳) مقادیر بدست آمده از توصیه های بخش ۳-۳ آورده شده اند. این مقادیر برای سه حالت موج شکن سکویی مرکب محاسبه شده اند. موج شکن سکویی مرکب در حالت اول و دوم از نوع

شکل ناپذیر (استاتیکی) می باشد و موج شکن سکویی مرکب در حالت سوم از نوع چندلایه (ایسلندی) است.

طراحی بر مبنای پارامترهای محیطی شامل ارتفاع مشخصه موج (H_s)، 0.18 متر و پریود (T_p)، 5 ثانیه انجام شده است. اهمیت پروژه بر اساس جدول (۳-۱) مهم تلقی می گردد که عدد پایداری (N_s) (آن برابر ۱ (یک) است. چگالی سنگ و آب به ترتیب 2400 و 1000 کیلوگرم بر مترمکعب در نظر گرفته شده اند. تراز سکو موج شکن سکویی مرکب در سه حالت از رابطه (۳-۱۲) و عرض سکو در حالت اول و دوم موج شکن سکویی مرکب طبق رابطه (۳-۱۵) محاسبه می شود. همچنین عرض سکو در حالت سوم موج شکن سکویی مرکب (ایسلندی) طبق توصیه بیان شده در بخش ۳-۳-۶ در نظر گرفته شده است. شیب پایین سکو، تراز سکو، عرض تاج به ترتیب از بخش های ۳-۳-۲، ۳-۳-۳، ۳-۳-۳ و ۳-۳-۴ طراحی شده اند. در طراحی قطر اسمی سنگ ها در سه حالت موج شکن سکویی مرکب از بخش ۳-۳-۵ استفاده شده است. همچنین قطر اسمی سنگدانه مصالح زیر سازی کیسون، در سه حالت موج شکن سکویی مرکب برابر ۱ سانتی متر در نظر گرفته شده است.

جدول (۳-۳) : مقادیر هندسی محاسبه شده برای موج شکن سکویی مرکب

عرض سکو (متر)	قطر اسمی سنگدانه زیر سازی کیسون(متر)	قطر اسمی سنگدانه فیلتر و کلاس III (متر)	قطر اسمی سنگ دانه کلاس II (متر)	قطر اسمی سنگ آرمور و کلاس I (متر)	عرض تاج (متر)	تراز تاج (متر)	تراز سکو (متر)	شیب پایین سکو	موج شکن سکویی مرکب
۰/۵۵	۰/۰۱	۰/۰۳۵	*	۰/۱۳۵	۱/۰۴	۰/۲	۰/۱۳۵	۱:۱/۲۵	حالت اول
۰/۵۵	۰/۰۱	۰/۰۳۵	*	۰/۱۳۵	۱/۰۴	۰/۲	۰/۱۳۵	۱:۱/۲۵	حالت دوم
۰/۵۵	۰/۰۱	۰/۰۳۵	۰/۱۰	۰/۱۳۵	۱/۰۴	۰/۲	۰/۱۳۵	۱:۱/۲۵	حالت سوم

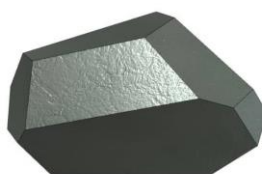
فصل ۴

مدلسازی و بیان نتایج

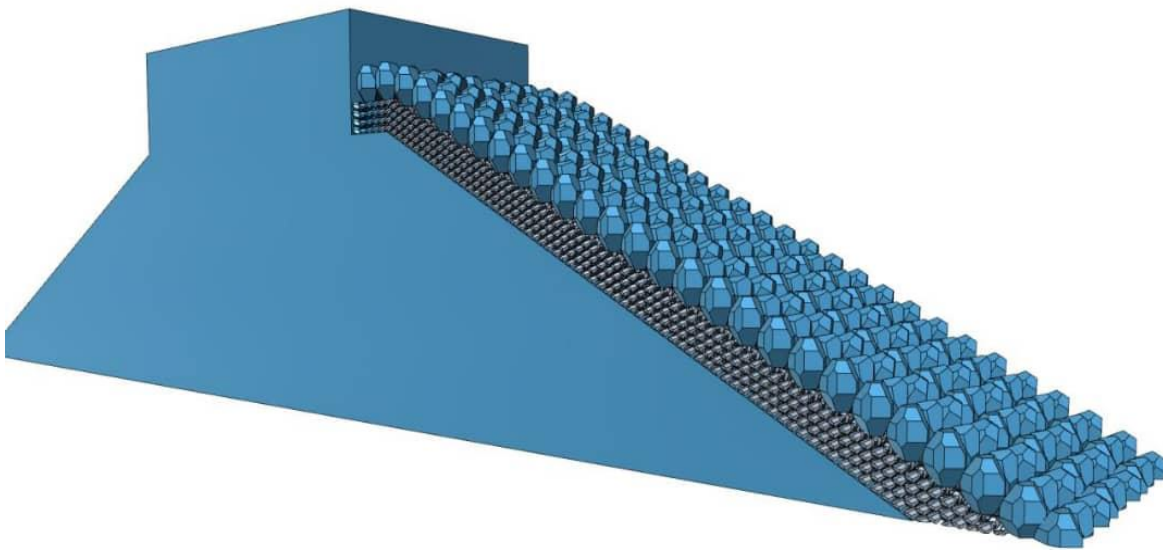
۱-۴- مقدمه

مدلسازی موج شکن سکویی مرکب شامل دو بخش مدلسازی آزمایشگاهی و عددی می باشد. مدلسازی آزمایشگاهی این موج شکن به دلیل بروز مشکلات آزمایشگاهی صورت نگرفت. مدل Flow3D برای مدل سازی عددی انتخاب شده است. در موج شکن سکویی مرکب از نوع شکل پذیر، نیاز به مدل سازی تخریب سکو در اثر امواج و رسیدن به پروفیل تعادلی بعد از تغییر شکل می باشد. طراحی موج شکن سکویی مرکب می تواند به گونه ای باشد که تغییر شکل و جابه جایی سنگ ها (موج شکن سکویی شکل پذیر) مجاز تلقی شود. استفاده از مدل شی متحرک Flow3D می تواند به شبیه سازی تخریب سکو و رسیدن به نیم رخ تعادلی منجر شود. ازین رو به بررسی کارایی مدل شی متحرک پرداخته می شود.

برای رسیدن به دقت بالا در مدلسازی عددی، سنگ های آرمور به صورت مجزا طراحی و در مقابل کیسون قرار داده شدند. با طراحی چند مدل سنگ آرمور و فیلتر و چیدن آن ها بر روی هم به صورت تصادفی، می توان تا حدود زیادی به چینش سنگ آرمور در محیط آزمایشگاهی نزدیک شد. مدلسازی مجزای سنگ های آرمور و فیلتر در موج شکن به علت همخوانی زیاد با شرایط آزمایشگاهی، باعث بهبود نتایج بدست آمده در فشار سنج ها، مقادیر سرعت جریان در محیط متخلخل و همچنین امکان بررسی تغییر شکل در موج شکن سکویی مرکب خواهد شد. شکل های (۱-۴) و (۲-۴) نمایی از سنگ آرمور طراحی شده و چینش سنگ دانه آرمور مقابل کیسون را نشان می دهد.



شکل (۱-۴) : نمایی از سنگ آرمور طراحی شده برای مدلسازی عددی موج شکن سکویی مرکب



شکل (۴-۲) : نمایی از چینش سنگ های آرمور و فیلتر در مدلسازی عددی

این شیوه از مدلسازی محیط متخلخل موج شکن سکویی مرکب، علاوه بر نیاز وجود امکانات سخت افزاری بسیار بالا برای مدلسازی و شبیه سازی مدل عددی؛ مشکلاتی را به همراه دارد. این مشکلات شامل افزایش بسیار بالای (گیگابایت) حجم فایل هندسه سه بعدی موج شکن سکویی، افزایش مقدار مش بندی به ۱۰۰ میلیون مش، افزایش بسیار زیاد حجم و زمان مدلسازی می باشد. در صورتی که محیط متخلخل موج شکن به این صورت مدلسازی شود، برای در نظر گیری خلل و فرج بین سنگ ها و به تبع آن در نظر گیری سنگ های آرمور و فیلتر نیاز به مش بندی با تعداد بسیار بالا است. این در صورتی است که اگر میزان مش پایین در نظر گرفته شود (تا ۱۰ میلیون) محیط بدون تخلخل در Flow3D در نظر گرفته می شود. به همین ترتیب با کوچک شدن ابعاد سنگدانه ها به خصوص در سنگدانه های لایه فیلتر نیاز به استفاده از مش بندی با میزان بالا، بیشتر خواهد شد.

از طرفی اگر موج شکن سکویی مرکب در بخش های متخلخل، مانند کیسون صلب در نظر گرفته شوند امکان بررسی میدان سرعت جریان، فشار وارد بر کیسون و برآورد درست از میزان روگذری میسر نخواهد شد. برای حل این موضوع همانطور که در بخش ۳-۲-۴ (تخلخل) به صورت مشروح بیان خواهد شد،

از مدل متخلخل موجود در مدل عددی Flow3D برای شبیه سازی تخلخل در مدلسازی عددی موج شکن سکویی مرکب استفاده خواهد شد. استفاده از محیط متخلخل موجود در نرم افزار Flow3D باعث کاهش چشمگیر زمان شبیه سازی و میزان مش مورد استفاده می شود. در این حالت، محیط متخلخل به صورت اسفنجی با خلل و فرج برابر و همسان در نظر گرفته می شود که دقت شبیه سازی محیط متخلخل به این شیوه در بخش ۳-۳-۴ (صحت سنجی) ارزیابی خواهد شد. این در صورتی است که با قبول مقدار درصد خطای نسبی مجاز در مدلسازی عددی (حداکثر ۱۵٪)، اگر محیط متخلخل به درستی شبیه سازی نشود، فشار حداکثری مثبت و مقادیر روگذری در طول مدلسازی با نتایج آزمایشگاهی همخوانی نخواهد داشت.

مدل عددی Flow3D با داشتن مدل شی متحرک، گزینه ای مناسب برای آزمودن این توانایی به شمار می رود. یکی از کاربردهای مدل شی متحرک، مدل کردن اشیاء متحرک برای شبیه سازی اشیاء صلب تحت تاثیر سیال، مورد استفاده قرار می گیرد. برای مدل سازی تخریب سکوی موج شکن، سنگ های آرمور به عنوان شی صلب و تحت تاثیر امواج قرار گرفته اند.

در این مدل امکان تعریف شناور و یا غیر شناور بودن شی وجود دارد. به گونه ای که اگر شی، قابلیت شناوری را بر روی آب دارد تا ۶ درجه آزادی، این امکان به شی داده می شود؛ در غیر این صورت شی متحرک که در آب فرو رفته، در نظر گرفته می شود.

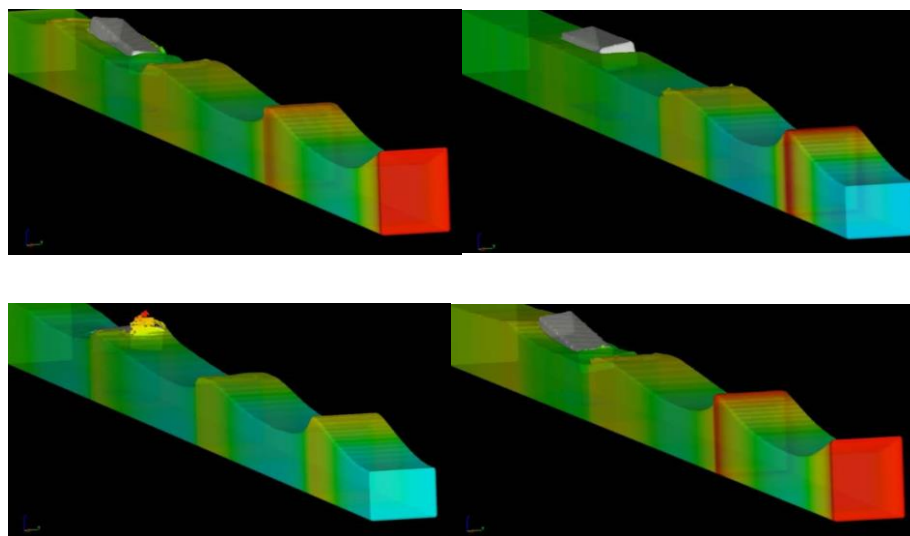
سنگ های تشکیل دهنده ی موج شکن علاوه بر پایداری ثقلی، بوسیله ی قفل و بست های بین سنگ ها در موقعیت خود قرار می گیرند. امکان جا به جایی و تغییر موقعیت قرارگیری سنگ ها (موج شکن های شکل پذیر) در اثر برخورد امواج وجود دارد. با برخورد امواج به موج شکن و جابه جایی سنگدانه ها، قفل و بست ها تغییر کرده و موقعیت جدیدی از قرار گیری سنگدانه ها ایجاد خواهد شد.

موج شکن سکویی مرکب به همراه سنگدانه ها و کیسون در فلوام موج با ابعاد ۲۱ متر طول ۲ ارتفاع و ۱ متر عرض در نظر گرفته شد. به گونه ای که سنگدانه ها به عنوان واحد های ساختاری مستقل با ۶

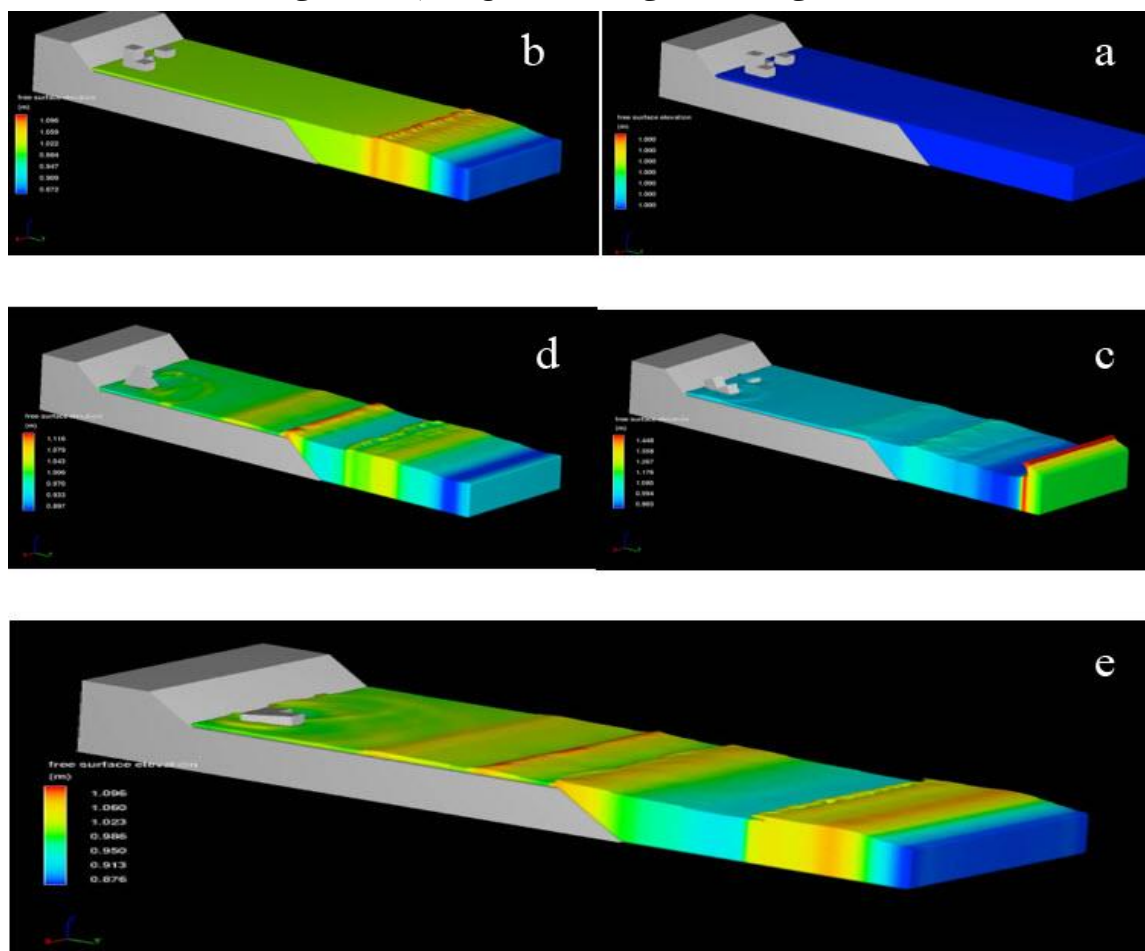
درجه آزادی با چگالی ۲۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و کیسون به صورت صلب تعیین شد. برای تحلیل ساده نتایج و حرکات سنگدانه ها از موج منظم به عنوان موج مورد استفاده در مدلسازی استفاده شده است.

از نکات حائز اهمیت در مدلسازی سنگدانه های موج شکن، مدل سازی قفل و بست بین سنگدانه ها می باشد. که تاثیر بسزایی در تشکیل مقطع تغییر شکل یافته در اثر امواج دارد. مدل شی متحرک قادر به مدلسازی قفل و بست بین سنگ ها نیست. این امر باعث شده که امکان مدلسازی تخریب و تغییر شکل در مدل عددی Flow3D فراهم نشود و مدلسازی موج شکن سکویی مرکب شکل پذیر امکان پذیر نباشد.

در شکل (۳-۴) تصاویری از مدلسازی تحرک شی شناور با شش درجه آزادی در اثر امواج آورده شده است. شکل (۴-۴) برخورد امواج منظم با ارتفاع ۰/۵ متر و پریود ۲/۱ ثانیه به سنگدانه ها را نشان می دهد. این سنگ ها در پای کیسون قرار گرفته اند که در اثر برخورد امواج جابه جا شده و دچار چرخش می شوند. مشاهدات حاکی از رفتار و حرکات غیرقابل توجیه، شامل تغییر محور چرخش و تغییر راستای تخریب، در سنگ ها است. عدم موفقیت در مدل سازی تخریب موج شکن سکویی مرکب از نوع شکل پذیر باعث شد است تا موج شکن سکویی مرکب در سه حالت از نوع شکل ناپذیر مدلسازی و مورد بررسی قرار بگیرد. همچنین با بدست آوردن نیروهای وارد بر آرمورها به ارزیابی تخریب و پایداری در موج شکن سکویی مرکب، اقدام شده است.



شکل (۳-۴): نمایی از شناوری شی در برخورد امواج منظم در مدل شی متحرک



شکل (۴-۴): نمایی از تحرک سنگ های موج شکن در اثر برخورد امواج منظم به وسیله مدل شی متحرک

برای استفاده از مدل عددی Flow3D لازم است از عملکرد این مدل اطمینان حاصل شود. برای کسب اطمینان از کارایی این مدل عددی، صحت سنجی و واسنجی انجام می شود.

مدل آزمایشگاهی موج شکن کیسونی و مدل آزمایشگاهی موج شکن توده سنگی مربوط به دانشگاه کانتابریا اسپانیا توسط لارا و همکاران (۲۰۰۸) می باشد. [۲۹ و ۳۹] با مدلسازی عددی این دو موج شکن طبق شرایط آزمایشگاهی، ابتدا اقدام به حساسیت سنجی شده است. پس از حساسیت سنجی با مقایسه نتایج بدست آمده از مدل عددی و آزمایشگاهی شامل تغییرات سطح تراز آب، فشار و روگذری امواج، به صحت سنجی مدل عددی پرداخته خواهد شد. پس از اطمینان از عملکرد مدل عددی به بیان و تفسیر نتایج مدل سازی موج شکن سکویی مرکب پرداخته می شود. این فصل ضمن معرفی اجمالی از مراحل مدلسازی در مدل عددی Flow3D، به بیان نتایج حاصل از مدل سازی موج شکن کیسونی افقی و محاسبه نیروها وارد بر آرمور مورد استفاده در موج شکن سکویی مرکب می پردازد.

۴-۲- مراحل شبیه سازی

برای این شبیه سازی در محیط عددی از Flow-3D ver.11.0.4 و پردازنده ای با مشخصات Intel® core™ i7-7700HQ @ 2.8GHz to 2.81GHz and 24GB RAM استفاده شده است این مدلسازی شامل چهار قسمت اصلی Simulate Manager , Model , Analyze , Display , setup می باشد در ادامه به توضیح مختصر این مراحل پرداخته می شود.

۴-۲-۱- راه اندازی مدل عددی^۱

در این بخش به معرفی بخش های مورد استفاده در شبیه سازی نرم افزار، به صورت خلاصه پرداخته می شود:

^۱ Model Setup

۲-۲-۴- کلیات مدل‌سازی عددی^۱

بخش‌های اصلی شامل قسمت‌های زیر است:

- زمان اتمام محاسبات^۲

- تعریف سیال به دو صورت تراکم پذیر و یا تراکم ناپذیر^۳

- تعداد سیال^۴

- واحد‌ها^۵

۳-۲-۴- معرفی فیزیکی پدیده‌ها و مشخصات آن‌ها^۶

شتاب ثقل^۷: این بخش در سه راستای x,y,z قابل تعریف است که در این مطالعه مقدار (۹/۸۱) در راستای z در نظر گرفته شده است.

تخلخل^۸: برای مدل‌سازی تخلخل در نرم افزار، از دو روش داری و فور شهایمر استفاده شده است. برای مدل‌سازی تخلخل در مدل عددی Flow3D لازم است که بخش متخلخل (لایه آرمور، فیلتر و زیر سازی کیسون) به صورت لایه‌های جدا از هم و بدون فاصله، بر روی یکدیگر مدل شوند. پس از مدل‌سازی لایه‌های متخلخل به هر بخش (لایه آرمور، فیلتر و زیر سازی کیسون) ضریب تخلخل متناسب با آن لایه داده می‌شود. برای صحت سنجی از مدل‌سازی عددی محیط متخلخل توسط مدل عددی Flow3D، ابتدا به مدل عددی ضریب تخلخل متناسب با ضریب تخلخل مدل آزمایشگاهی لارا و همکاران (۲۰۰۸) [۲۹ و ۳۹] داده می‌شود و پس از مدل‌سازی عددی موج شکن کیسونی و توده سنگی مدل آزمایشگاهی لارا و همکاران (۲۰۰۸)؛ با مقایسه نتایج فشار سنج‌های مدل آزمایشگاهی

¹ General

² Finish time

³ Flow mode

⁴ Number of fluids

⁵ Units

⁶ Physics

⁷ Gravity

⁸ Poros media

موجود در محیط متخلخل، به صحت سنجی فشار های بدست آمده از مدل عددی در محیط متخلخل پرداخته خواهد شد. جدول (۴-۱) ضرایب تخلخل مدل آزمایشگاهی لارا و همکاران (۲۰۰۸) [۲۹] و [۳۹] را به همراه ضرایب تخلخل مدل عددی موج شکن سکویی مرکب را بیان کرده است. لازم به ذکر است سنگ کلاس I، II و III برای حالت سوم مدل عددی موج شکن سکویی مرکب (ایسلندی) استفاده شده است.

جدول (۴-۱) : ضرایب تخلخل بکار رفته در مدلسازی آزمایشگاهی و عددی

ضریب تخلخل	آرمور - سنگ کلاس I	سنگ کلاس II	فیلتر - سنگ کلاس III	هسته
مدل آزمایشگاهی موجشکن کیسون	۰/۵	*	۰/۵	۰/۴۸
مدل آزمایشگاهی موجشکن توده سنگی	۰/۵	*	۰/۵	۰/۴۸
مدل عددی موج شکن سکویی مرکب حالت اول	۰/۵	*	۰/۵	زیرسازی کیسون
				۰/۴۸
مدل عددی موج شکن سکویی مرکب حالت دوم	۰/۵	*	۰/۵	۰/۴۸
مدل عددی موج شکن سکویی مرکب حالت سوم	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۴۸
مدل عددی موج شکن کیسونی افقی	۰/۵	*	۰/۵	۰/۴۸

برای مدلسازی تخلخل در نرم افزار، از روش فورشه‌ایمر^۱ استفاده شده است. با افزایش عدد رینولدز و کاهش فشار، رابطه داری از حالت خطی خارج می شود. به منظور اصلاح رابطه داری، فورشه‌ایمر با اضافه کردن ترم غیر خطی به رابطه داری، رابطه ی (۱-۴) را ارائه کرد که به رابطه فورشه‌ایمر معروف گردیده است. فور شه‌ایمر مشاهده کرد با افزایش سرعت، اثرات اینرسی بر جریان حاکم می شود.

$$-\nabla p = (a + b|u_D|)u_D \quad (1-4)$$

که در رابطه (۱-۴)، a و b با استفاده از اطلاعات تجربی بدست می آیند.

به منظور ترکیب روابط خطی و غیر خطی، همه ضرایب در ضریبی به اسم F_D که به ضریب درگ معروف است بصورت رابطه (۲-۴) ترکیب می شوند.

$$F_D U_{pore} = -\frac{1}{\rho} \nabla p = \frac{\mu}{\rho} \frac{1-n}{n} \left[A \frac{1-n}{n} + B \frac{Re_p}{d_{pore}} \right] u_{pore} \quad (2-4)$$

که پارامترهای رابطه (۲-۴) بصورت زیر تعریف می شوند:

F_D : ضریب درگ $(1/t)$ ، A : ضریب درگ خطی، B : ضریب درگ غیر خطی، n : ضریب تخلخل، p : چگالی سیال، d_{pore} قطر سنگ ریزه ها، Re_p عدد رینولدز جریان در خلل و فرج، u_{pore} : سرعت جریان در خلل و فرج.

و پارامتر عدد رینولدز در خلل و فرج بصورت رابطه (۳-۴) تعریف می شود.

$$Re_p = \frac{\rho |U_D| d_{pore}}{\mu} \approx \frac{\rho |U_D| d_{pore}}{n\mu} \quad (3-4)$$

با ترکیب روابط (۱-۴) و (۲-۴) رابطه فورشه‌ایمر به صورت رابطه (۴-۴) می شود.

¹ Forchheimer

$$-\left(\frac{\partial p}{\partial x}\right) = A. |u_D| \mu \frac{(1-n)^2}{n^3} + B. |u_d|^2 \rho \frac{(1-n)}{n^3} \quad (4-4)$$

برای مدلسازی تخلخل علاوه بر در نظرگیری تخلخل لایه ، لازم است که ضرایب درگ خطی و غیر خطی A و B از رابطه (4-5) و (4-6) محاسبه شود. β ضریب زبری سنگ ها در رابطه (4-6) می باشد که از 1/8 تا 4 بسته به نوع سنگ قابل تغییر است. [35] ضریب زبری برای هسته برابر 2 و برای آرمور- سنگ کلاس I، فیلتر - سنگ کلاس III و سنگ کلاس II برابر 3 در نظر گرفته شده است. نتایج محاسبه ضرایب درگ برای سه حالت موج شکن سکویی مرکب و موج شکن کیسونی افقی در جدل (4-2) آورده شده است. لازم به ذکر است ضرایب درگ سنگ کلاس I ، II و III برای حالت سوم مدل عددی موج شکن سکویی مرکب (ایسلندی) استفاده شده است.

$$A = \frac{180}{Dn50^2} \quad (4-5)$$

$$B = \frac{\beta}{Dn50} \quad (4-6)$$

جدول (4-2) : نتایج محاسبه ضرایب درگ A و B برای مدلسازی عددی محیط متخلخل

ضرایب درگ	آرمور- کلاس I (A)	آرمور - کلاس I (B)	سنگ کلاس II (A)	سنگ کلاس II (B)	فیلتر - کلاس III (A)	فیلتر - کلاس III (B)	زیرسازی کیسون (A)	زیرسازی کیسون (B)
موج شکن کیسونی افقی	9877	22/22	*	*	146939	86	180000	200
موج شکن سکویی مرکب حالت اول	9887	22/22	*	*	146939	86	180000	200
موج شکن سکویی مرکب حالت دوم	9887	22/22	*	*	146939	86	180000	200
موج شکن سکویی مرکب حالت سوم	9887	22/22	18000	30	146939	86	180000	200

مدل لزجت و آشفتگی^۱: لزجت شامل سیال غیر لزج و سیال لزج می باشد. سیال لزج خود می تواند از الگوی جریان آرام تبعیت کند یا از مدل های مختلف آشفتگی استفاده شود. در این مطالعه از مدل آشفتگی RNG استفاده شده است.

۴-۲-۴- معرفی سیال در مدل عددی^۲

در این بخش سیال مورد نظر خواهد شد. با انتخاب آب در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد، چگالی ۱۰۰۰ و ویسکوزیته ۰/۰۰۱ مدلسازی انجام شده است. از دیگر قابلیت ها این است که امکان وارد کردن سیال با مشخصات متفاوت وجود دارد که در مدلسازی موج شکن سکویی مرکب از یک سیال (آب) استفاده شده است.

۴-۲-۵- معرفی هندسه مدل^۳

هندسه های ساده بصورت مکعب، مخروط، کره و استوانه در فضای داخل Flow3D موجود است. برای استفاده از هندسه های پیچیده از نرم افزارهای شبیه ساز هندسی مانند سالیدورک^۴، اتوکد^۵ و کتیا^۶ استفاده می شود. این هندسه ها با فرمت فایل STL به محیط Flow3D فراخوانده می شوند. در مدلسازی عددی پیش رو از نرم افزار اتوکد ۲۰۱۶ برای ساخت هندسه موج شکن ها تحت فرمت STL بهره گرفته شده است.

۴-۲-۶- شرایط مرزی^۷

در مختصات کارتزین برای تعریف شرایط مرزی شش وجه مشخص وجود دارد که با توجه به جهت مثبت محورها شامل X Min, X Max, Y Min, Y Max, Z Min, Z Max می باشند. لازم به ذکر است که کلیه این مشخصات در یک بلوک مش تعریف خواهند شد.

در مدلسازی عددی از شرط مرزی موج^۸ برای ورود امواج (X Min) به داخل فلوم، شرط مرزی خروجی^۹ برای خروج سیال (X Max) از فلوم موج، شرط مرزی دیوار^{۱۰} برای در نظر

¹ Viscosity and turbulence

² Fluids

³ Geometry

⁴ SolidWorks

⁵ AutoCAD

⁶ CATIA

⁷ Boundary conditions

⁸ Wave

⁹ Out Flow

¹⁰ Wall

گیری دیواره های فلوم (Y Min – Y Max – Z Min) و شرط مرزی متقارن^۱ برای جریان دارای سطح آزاد در تماس مستقیم با هوا (Z Max) استفاده شده است.

از جمله امواج قابل تعریف در Flow3D می توان به استوکس مرتبه چهارم و پنجم و یکتا و... اشاره کرد. برای تولید امواج نامنظم لازم است طیف جانسوآپ با ارتفاع مشخصه (Hs) و پریود پیک (Tp) مشخص را به وسیله ی رابطه گودا (۱۹۸۸) ساخته شود. [۴۰]

$$S(f) = \beta_j H_{1/3}^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp \left[-1.25 (T_p^f)^{-4} \right] \gamma^{\exp \left[-(T_p^f - 1)^2 / 2\sigma^2 \right]} \quad (۷-۴)$$

که برای مقادیر β_j ، γ و σ روابط (۴-۴) (۴-۵) و (۴-۶) ارائه شده است.

$$\beta_j = \frac{0.06238}{0.23 + 0.336\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)} [1.094 - 0.01925 \ln \gamma] \quad (۸-۴)$$

$$\begin{cases} \gamma = 5 & \text{for } T_p / \sqrt{H_s} \leq 3.6 \\ \gamma = \exp(5.75 - 1.15 T_p / \sqrt{H_s}) & \text{for } 3.6 \leq T_p / \sqrt{H_s} < 5 \\ \gamma = 1 & \text{for } T_p / \sqrt{H_s} \geq 5 \end{cases} \quad (۹-۴)$$

$$\sigma = \begin{cases} 0.07 & f \leq f_p \\ 0.09 & f \geq f_p \end{cases} \quad (۱۰-۴)$$

در این روابط f_p فرکانس پیک موج می باشد. با استفاده از این روابط برای مقادیر مختلف f مقدار $S(f)$

که انرژی موج است بدست می آید. برای معرفی موج نامنظم به Flow3D بترتیب مقادیر $2\pi f$ و $S(f)$

در یک فایل اکسل با فرمت CSV در ورودی شرط مرزی موج داده می شود.

^۱ Symmetry

۷-۲-۴ - شرایط اولیه

از قسمت های مهم این بخش، حالت اولیه فشار می باشد که می توان فشار را به صورت هیدرواستاتیک در هر راستای مختصاتی x, y, z در نظر گرفت. در مدلسازی عددی پیش رو فشار هیدرواستاتیکی در راستای z در نظر گرفته شده است.

۸-۲-۴ - فایل خروجی و تنظیمات عددی^۳

در این قسمت امکان مشخص کردن مقدار زمان داده برداری وجود دارد. همچنین می توان در نظر گرفت که چه خروجی هایی اعم از خروجی های هیدرولیکی، فشار و ... را در نهایت پس از شبیه سازی نمایش داده شوند.

۹-۲-۴ - تحلیل و نمایش نتایج^۴

در این قسمت نتایج حاصل از پردازش نمایش داده می شود که از آن ها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) بخش **Prob**: جهت نمایش داده ها فراخوانده شده به صورت متن و گراف

ب) بخش **1-D**: نمایش نتایج به صورت یک بعدی

ج) بخش **2-D**: نمایش نتایج به صورت دو بعدی

د) بخش **3-D**: نمایش نتایج به صورت سه بعدی و انیمیشن

¹ Initial

² Initial Pressure State

³ Output and Numeics

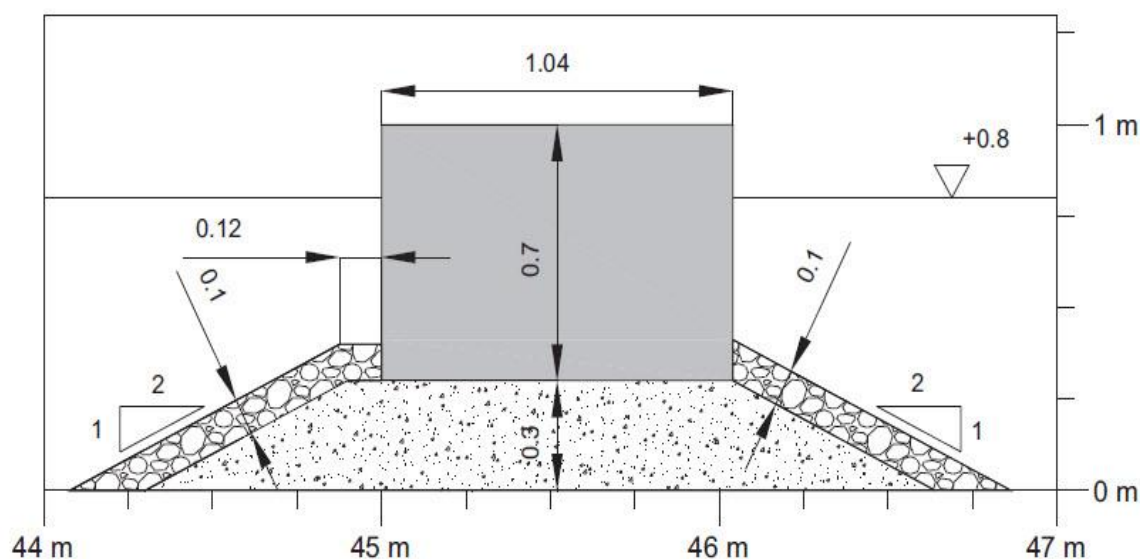
⁴ Analyse and Display

۴-۳- معرفی مدل آزمایشگاهی جهت صحت سنجی Flow3D

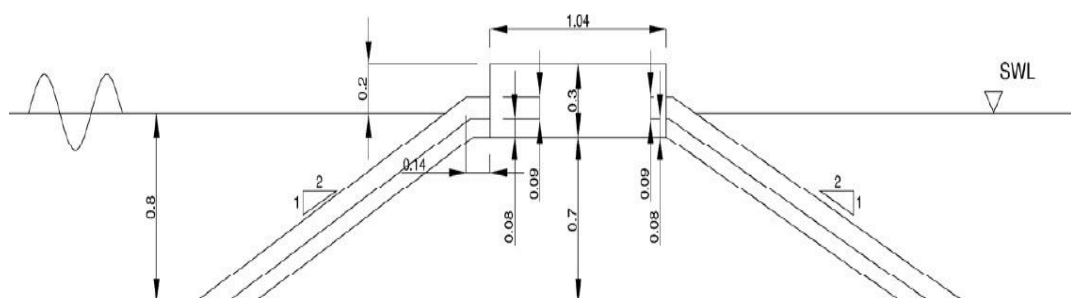
برای اطمینان از عملکرد مطلوب مدل عددی Flow3D نیاز به صحت سنجی نتایج شبیه سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی می باشد. صحت سنجی عنوان شده برای نتایج تغییرات سطح تراز آب، فشارسنج های نصب شده روی کیسون (در زیر و وجه رو به امواج) و روگذری ناشی از امواج می باشد. مدل آزمایشگاهی موج شکن کیسونی و مدل آزمایشگاهی موج شکن توده سنگی که در دانشگاه کانتابریا اسپانیا توسط لارا و همکاران (۲۰۰۸) [۲۹ و ۳۹] صورت گرفته است؛ برای صحت سنجی مدل عددی Flow3D انتخاب شده است. نتایج آزمایشگاهی بدست آمده توسط لارا و همکاران (۲۰۰۸) شامل تغییرات سطح تراز آب که توسط موج نگارها به ثبت رسیده و همچنین فشارسنج های نصب شده بر وجه جلویی کیسون و زیر کیسون در محیط متخلخل و روگذری امواج ثبت شده حین تست آزمایشگاهی می باشد. در شکل های (۴-۵) و (۴-۶) نمایی از مقطع موج شکن کیسونی و توده سنگی مدل آزمایشگاهی لارا و همکاران (۲۰۰۸) [۲۹ و ۳۹] آورده شده است.

لارا و همکاران (۲۰۰۸) از فلوم موج با مشخصات ۶۰ متر طول، ۲ متر عرض و ۲ متر ارتفاع برای تست آزمایشگاهی موج شکن کیسونی و توده سنگی استفاده کردند. عرض موج شکن کیسونی ۲ متر، قطر سنگدانه های هسته و فیلتر مورد استفاده به ترتیب ۰/۳۵ و ۳/۵ سانتی متر می باشد. همچنین این مدلسازی فیزیکی بوسیله موج نامنظم دارای ارتفاع مشخصه موج ۰/۱۸ متر و پریود پیک ۵ ثانیه، انجام شده است. [۲۹]

مدل آزمایشگاهی موج شکن توده سنگی لارا و همکاران (۲۰۰۸) با عرض ۲ متر می باشد. سنگدانه های هسته، فیلتر و آرمور به ترتیب ۱، ۳/۵ و ۱۳/۵ سانتی متر هستند. این مدلسازی فیزیکی بوسیله موج نامنظم دارای ارتفاع مشخصه موج ۰/۱۸ متر و پریود پیک ۵ و ۶ ثانیه، انجام شده است. [۳۹]



شکل (۴-۵) : نمایی از ابعاد مدل آزمایشگاهی موج شکن کیسونی لارا و همکاران (۲۰۰۸) [۲۹]

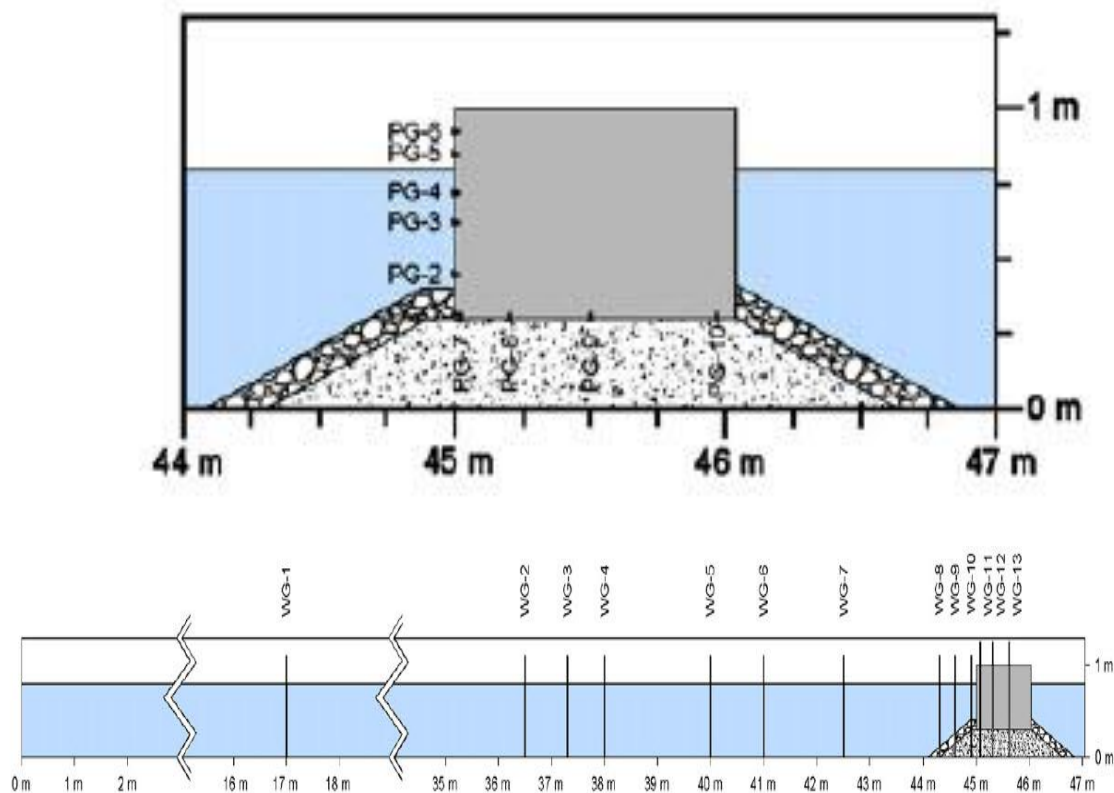


شکل (۴-۶) : نمایی از ابعاد مدل آزمایشگاهی موج شکن توده سنگی لارا و همکاران (۲۰۰۸) [۳۹]

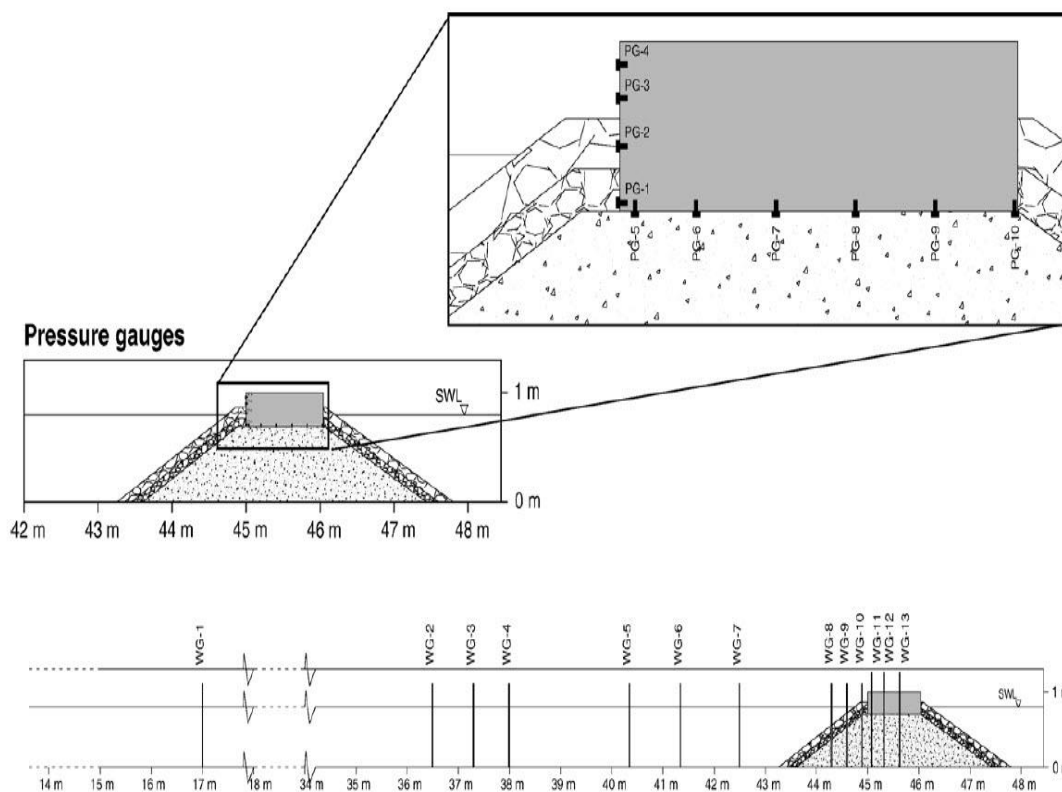
۱-۳-۴- حساسیت سنجی

پس از برپایی مدل عددی لازم است اطمینان حاصل شود که مدل عددی مشابه با آزمایشگاه، پارامترهای استفاده شده را مدل سازی کند. پس لازم است ابتدا صحت سنجی مدل عددی انجام شود و در ادامه بمنظور اطمینان از صحت عملکرد مدل عددی، واسنجی انجام می شود. پیش از شروع صحت سنجی ابتدا تحلیل حساسیت مدل عددی نسبت به تعداد سلول محاسباتی در محیط متخلخل پرداخته می شود. پس از تعیین شبکه محاسباتی مناسب به صحت سنجی و واسنجی مدل عددی پرداخته شده است.

در این بخش حساسیت نتایج مدلسازی به تغییرات ابعاد شبکه محاسباتی مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اینکه نتایج این بخش در مطالعات واسنجی مورد استفاده قرار می گیرد، تغییرات تراز سطح آب، فشار و روگذری برای موج نامنظم با ارتفاع موج مشخصه ۰/۱۸ متر و پریود پیک ۵ و ۶ ثانیه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج فشار در فشارسنج شماره ۴ مقایسه شده است. شکل (۷-۴) و (۸-۴) محل قرارگیری فشارسنج ها و موج نگارها را به ترتیب در مدل آزمایشگاهی موج شکن کیسونی و توده سنگی نشان می دهد.



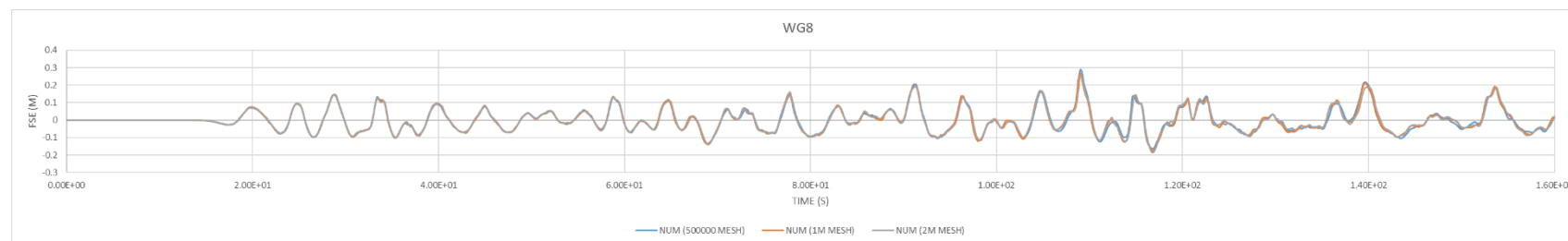
شکل (۷-۴) : نمایی از محل قرار گیری فشار سنج ها و موج نگار های مدل آزمایشگاهی موج شکن کیسونی لارا و همکاران (۲۰۰۸) [۲۹]



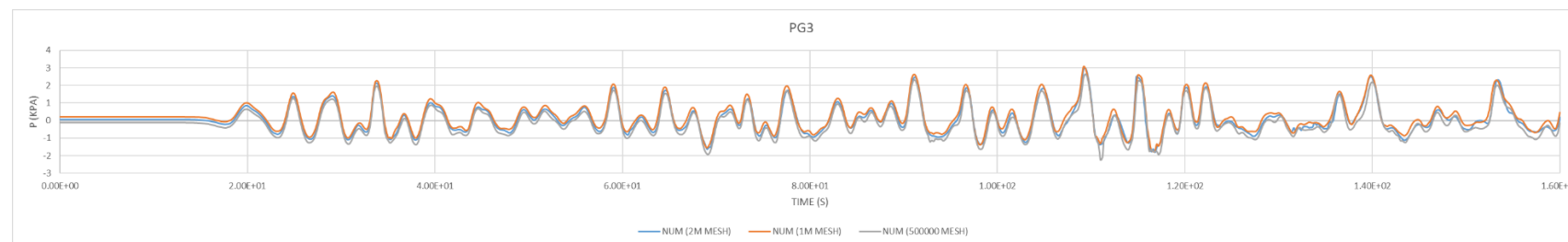
شکل (۴-۸): نمایی از محل قرار گیری فشار سنج ها و موج نگار ها در مدل آزمایشگاهی موج شکن توده سنگی لارا و همکاران (۲۰۰۸) [۳۹]

۲-۳-۴- شبکه محاسباتی

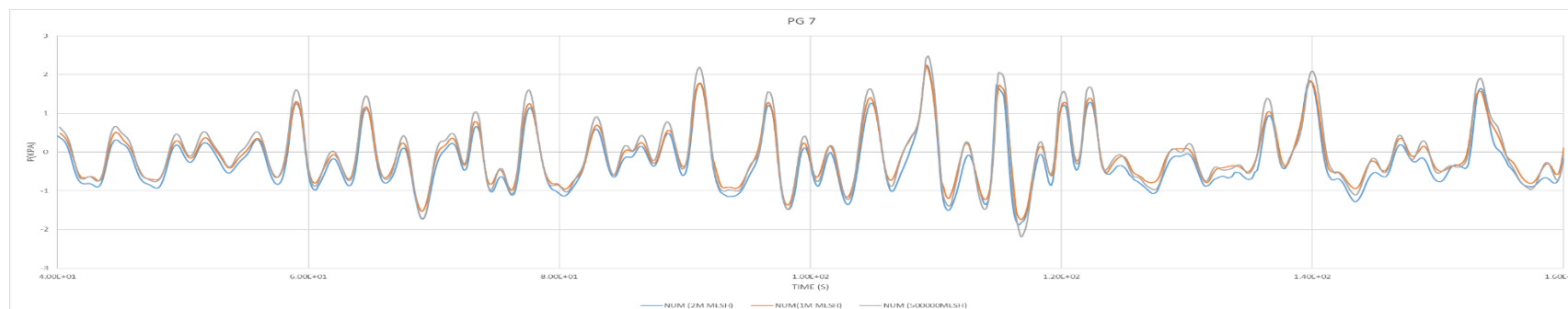
شبیه سازی مدل عددی موج شکن کیسونی در یک بلوک مش، با تعداد سه شبکه محاسباتی شامل؛ ۲ میلیون مش (ابعاد مش در هر سه جهت تقریباً ۴/۵ سانتی متر)، ۱ میلیون مش (ابعاد مش در هر سه جهت تقریباً ۵/۵ سانتی متر) و ۵۰۰ هزار مش (ابعاد مش در هر سه جهت تقریباً ۷ سانتی متر) انجام شده است. نتایج تحلیل حساسیت مدل عددی نسبت به تعداد سلول محاسباتی برای تغییرات سطح تراز آب در موج نگار شماره ۸، فشارسنج های ۴،۷ و ۹ نصب شده روی کیسون و روگذری ناشی از امواج به ترتیب در نمودارهای (۴-۱)، (۴-۲)، (۴-۳) و (۴-۴) آورده شده است.



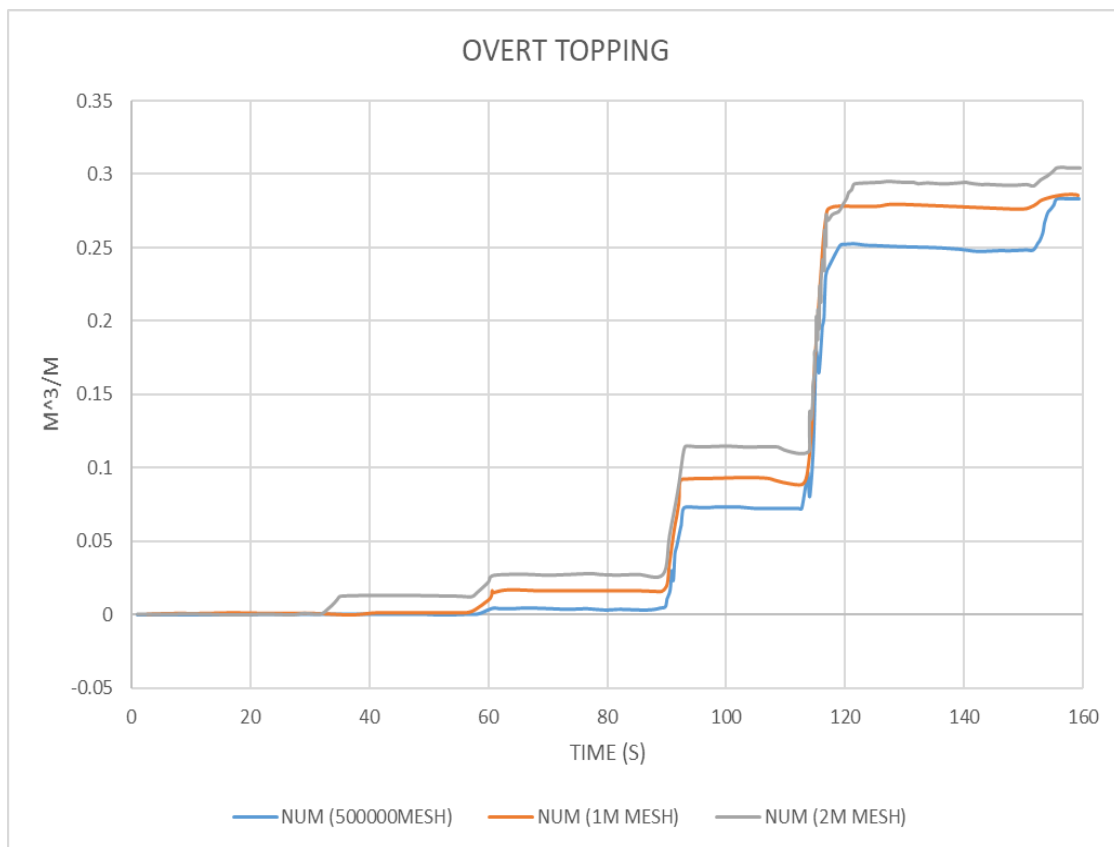
نمودار (۱-۴): نتایج تحلیل حساسیت مدل عددی نسبت به تعداد سلول محاسباتی (موج نگار ۸)



نمودار (۲-۴): نتایج تحلیل حساسیت مدل عددی نسبت به تعداد سلول محاسباتی (فشار سنج ۳)



نمودار (۳-۴): نتایج تحلیل حساسیت مدل عددی نسبت به تعداد سلول محاسباتی (فشار سنج ۷)



نمودار (۴-۴): نتایج تحلیل حساسیت مدل عددی نسبت به تعداد سلول محاسباتی (روگذری)

در مجموع رسیدن به تعداد مش مناسب و بهینه از ضروریات مدل عددی است. به این معنا که میزان مش بالا علاوه بر افزایش دقت اندک مدل سازی با افزایش بسیار زیاد زمان حل مسئله همراه است. از طرفی میزان مش پایین نیز باعث کاهش چشمگیر دقت شبیه سازی مدل عددی می شود. جدول (۴-۳) نتایج تحلیل حساسیت سلول های محاسباتی به صورت کمی بیان می کند و درصد تغییر نتایج بدست آمده در رابطه با حساسیت سنجی را آورده است. با توجه به نتایج ارائه شده در بخش حساسیت سنجی مدل عددی، یک میلیون مش در این مطالعه برای مدل سازی در نظر گرفته می شود. همچنین از مدل آشفستگی RNG برای مدل سازی عددی استفاده شده است.

جدول (۴-۳) : درصد تغییرات نتایج حساسیت سنجی مدل عددی (تعداد سلول محاسباتی)

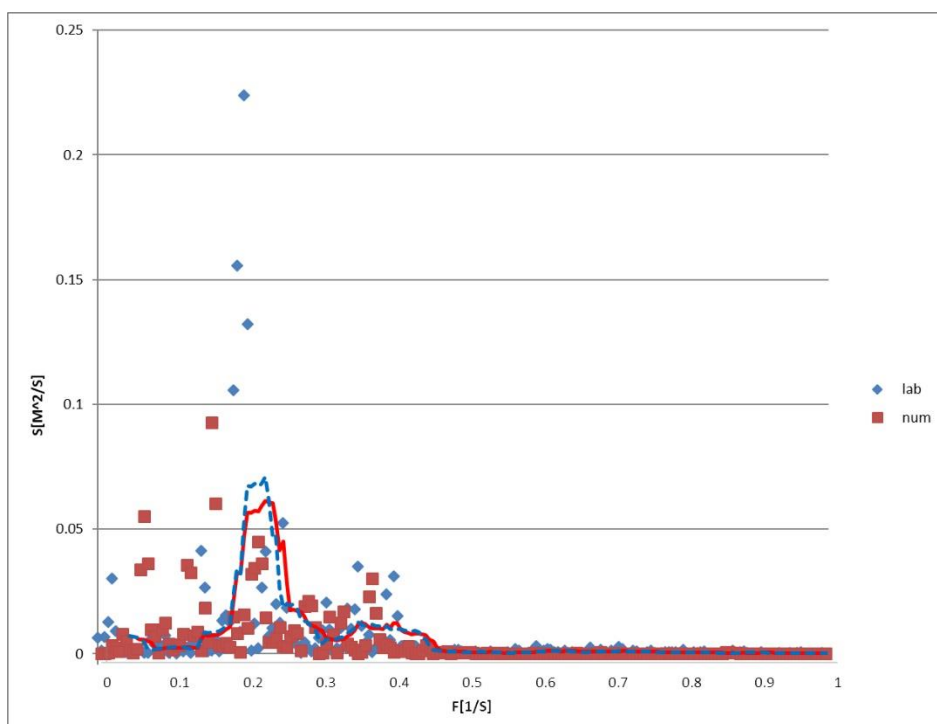
تعداد سلول محاسباتی				
تعداد مش	زمان مدل سازی عددی	تغییرات سطح تراز آب	فشار	روگذری
۵۰۰۰۰۰	۱۱/۳۰ ساعت	پانصد هزار به یک میلیون ٪۱۲	پانصد هزار به یک میلیون ٪۲۴	پانصد هزار به یک میلیون ٪۱۲
۱۰۰۰۰۰۰	۲۰/۱۲ ساعت	یک میلیون به دو میلیون ٪۸	یک میلیون به دو میلیون ٪۷	یک میلیون به دو میلیون ٪۶
۲۰۰۰۰۰۰	۷۵/۲۰ ساعت	یک میلیون به دو میلیون ٪۸	یک میلیون به دو میلیون ٪۷	یک میلیون به دو میلیون ٪۶
مدل آشفستگی	RNG			

۳-۳-۴- صحت سنجی

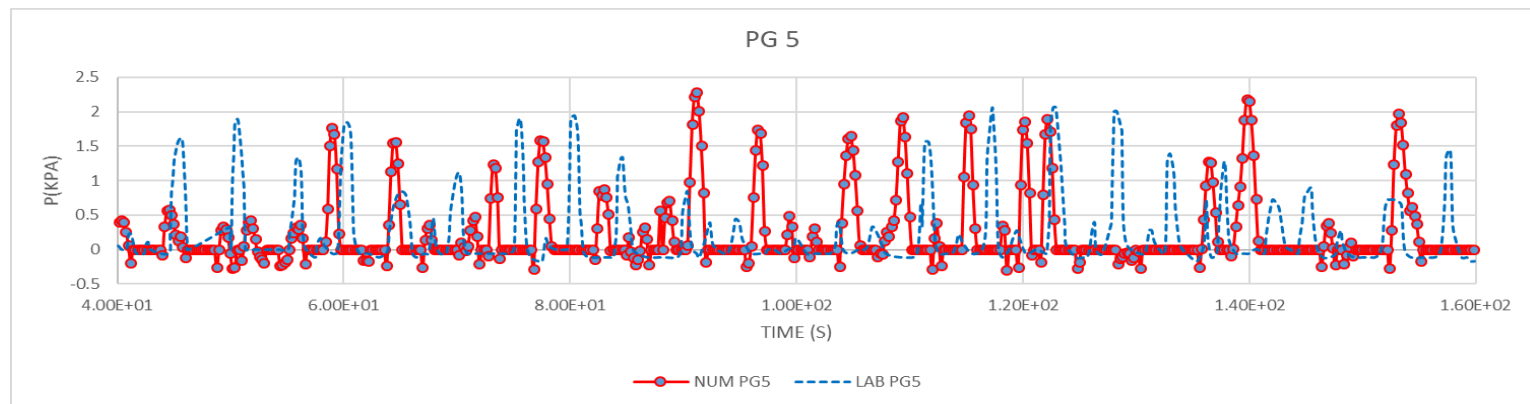
با توجه به در اختیار بودن تاریخچه زمانی تغییرات تراز سطح آب و فشار برای موج نامنظم (طیف جانسواپ) با ارتفاع موج مشخصه ۰/۱۸ متر و پریود پیک ۵ ثانیه برای مدل موج شکن کیسونی لارا و همکاران (۲۰۰۸) و مدل موج شکن توده سنگی لارا و همکاران (۲۰۰۸) با ارتفاع موج مشخصه ۰/۱۸ متر و پریود پیک ۶ ثانیه؛ جهت صحت سنجی مدل عددی انتخاب شده است. [۲۹ و ۳۹]

نتایج صحت سنجی مدل عددی موج شکن کیسونی برای تغییرات سطح آب، فشار روی سطح کیسون و روگذری به ترتیب در نمودار های (۵-۴)، (۶-۴)، (۷-۴)، (۸-۴) و (۹-۴) بیان شده است. همچنین نتایج صحت سنجی مدل عددی موج شکن توده سنگی برای تغییرات سطح آب، فشار روی سطح کیسون و روگذری به ترتیب در نمودار های (۱۰-۴)، (۱۱-۴)، (۱۲-۴)، (۱۳-۴)، (۱۴-۴) و (۱۵-۴) آورده شده است. مقدار درصد خطای نسبی نتایج صحت سنجی به صورت کمی در جدول (۴-۴) آمده است. نتایج نشان از همخوانی مناسب نتایج مدل عددی و آزمایشگاهی دارد. لازم به ذکر است برای صحت سنجی نتایج تغییرات سطح آب در مدل موج شکن کیسونی و توده سنگی لارا، از طیف موج بدست آمده در موج نگار ۸ استفاده شده است.

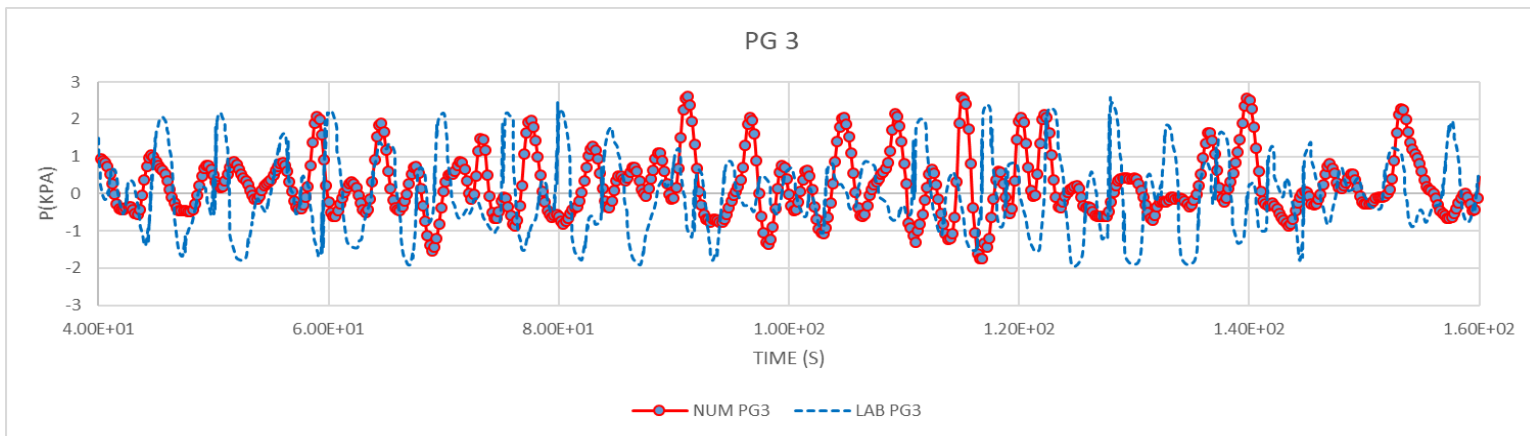
الف) مدل موج شکن کیسونی



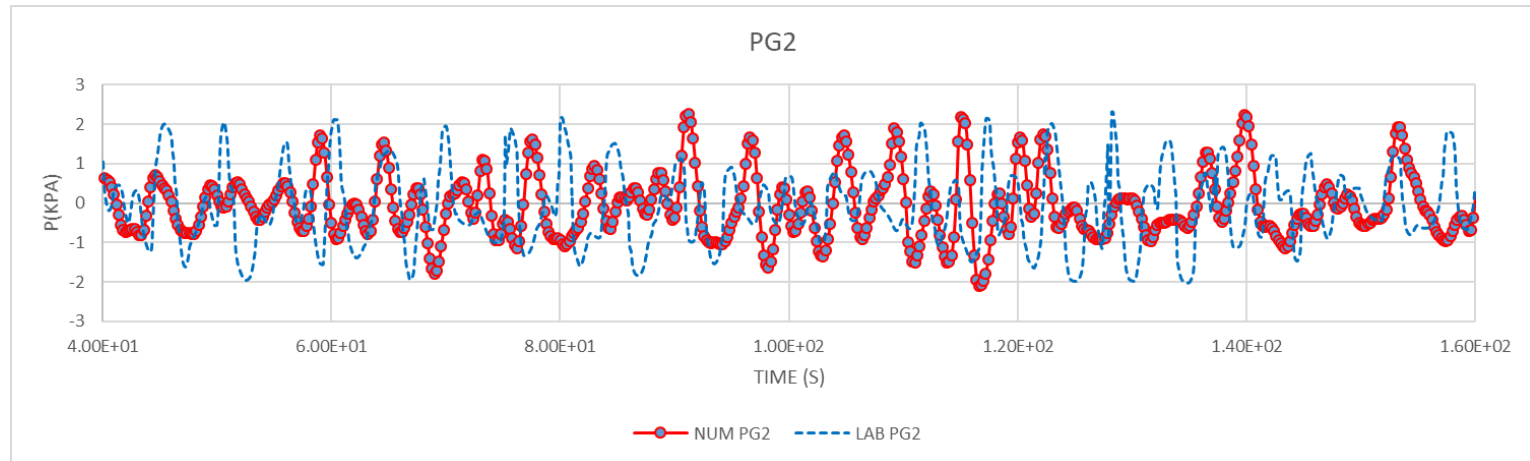
نمودار (۵-۴): صحت سنجی طیف موج بدست آمده از تاریخچه زمانی نتایج تغییرات سطح آب موج شکن کیسونی (موج نگار ۸)



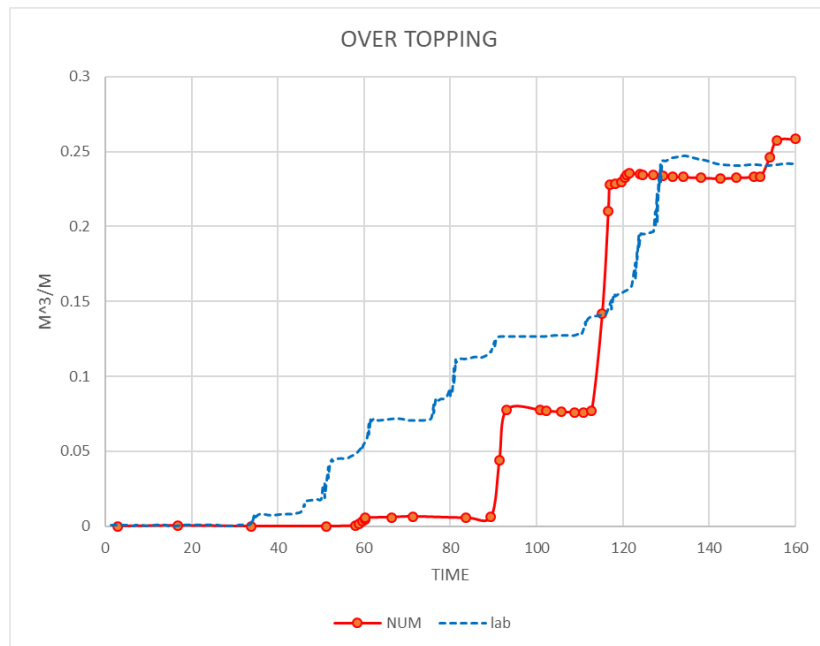
نمودار (۴-۶): صحت سنجی تاریخچه زمانی نتایج تغییرات فشار بر روی بدنه موج شکن کیسونی (فشارسنج ۵)



نمودار (۴-۷): صحت سنجی تاریخچه زمانی نتایج تغییرات فشار بر روی بدنه موج شکن کیسونی (فشارسنج ۳)

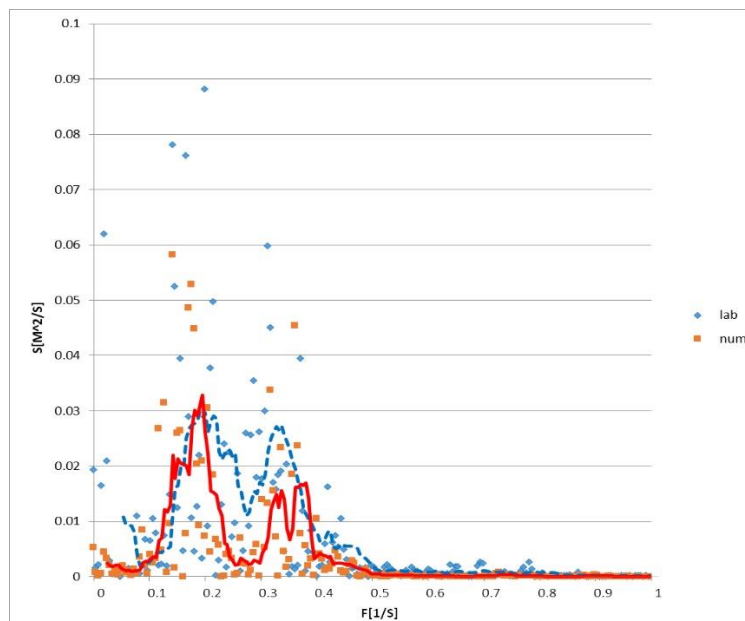


نمودار (۴-۸): صحت سنجی تاریخچه زمانی نتایج تغییرات فشار بر روی بدنه موج شکن کیسونی (فشارسنج ۲)

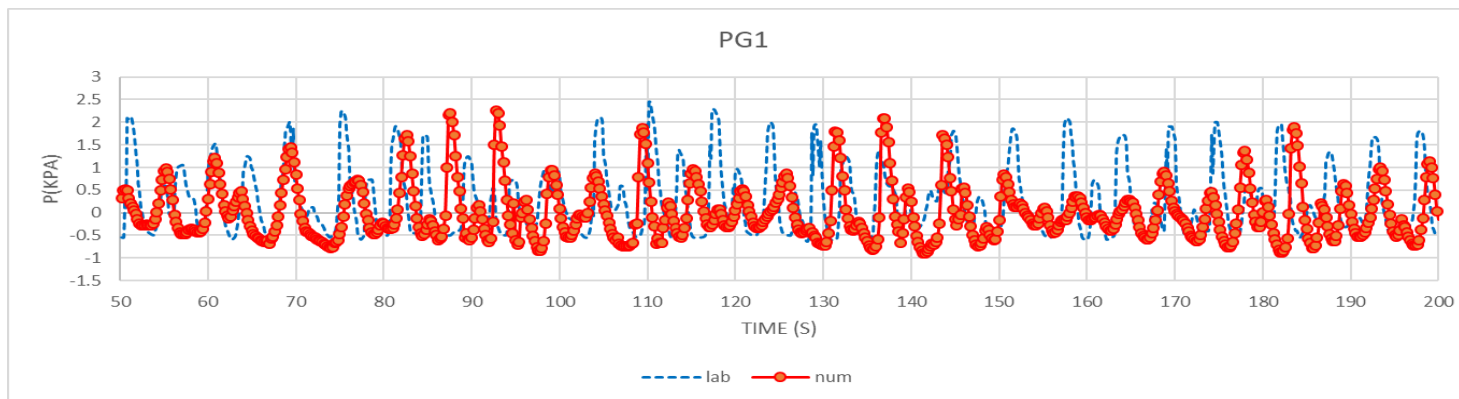


نمودار (۴-۹): صحت سنجی تاریخچه زمانی تغییرات روگذری موج شکن کیسونی (ارتفاع مشخصه موج ۱۸ سانتی متر و پریود پیک ۵ ثانیه)

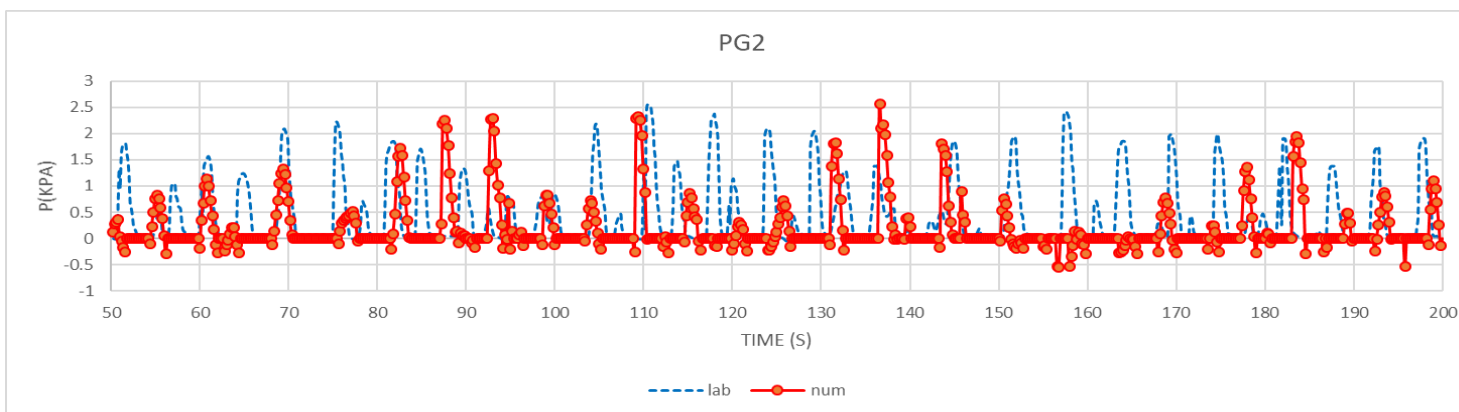
ب) مدل موج شکن توده سنگی



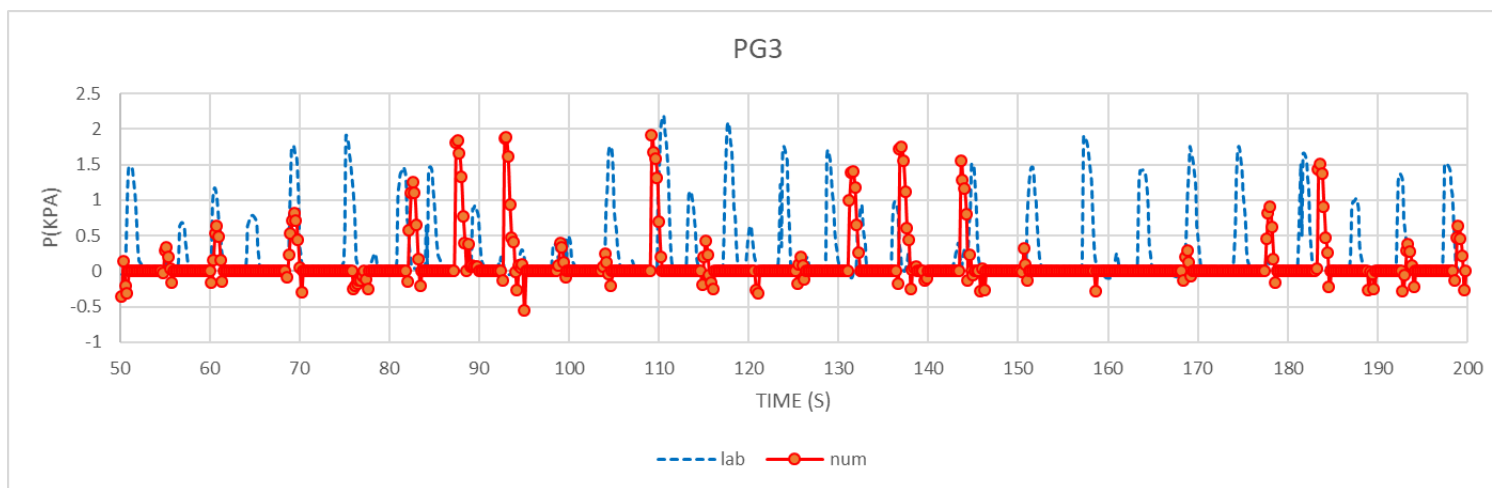
نمودار (۴-۱۰): صحت سنجی طیف موج بدست آمده از تاریخچه زمانی نتایج تغییرات سطح آب موج شکن توده سنگی (موج نگار ۸)



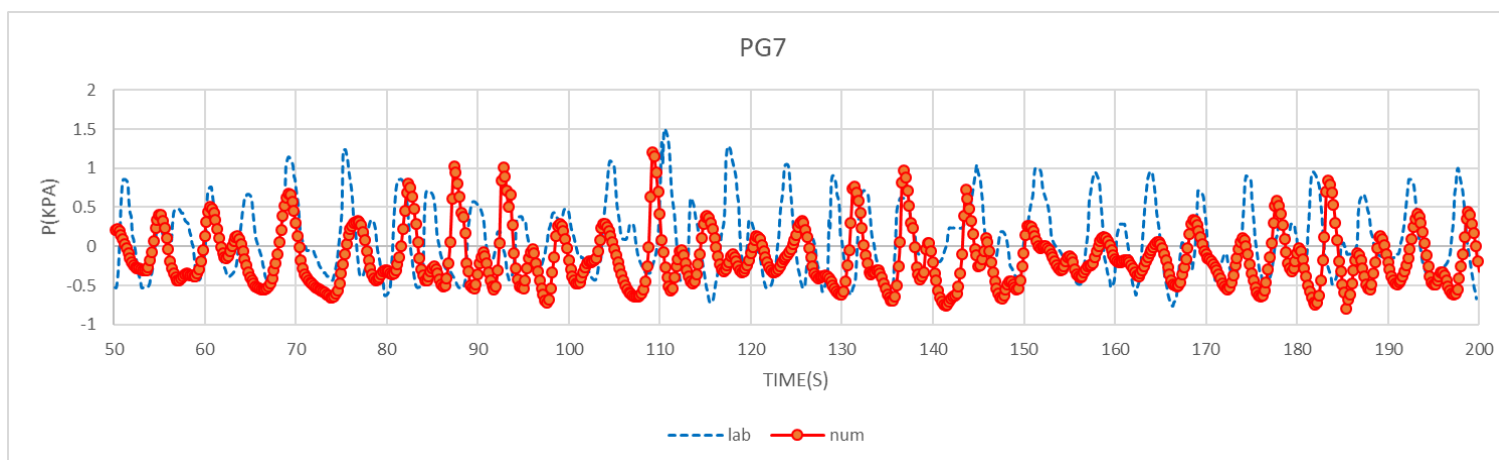
نمودار (۴-۱۱): صحت سنجی تاریخچه زمانی نتایج تغییرات فشار بر روی تاج موج شکن توده سنگی (فشارسنج ۱)



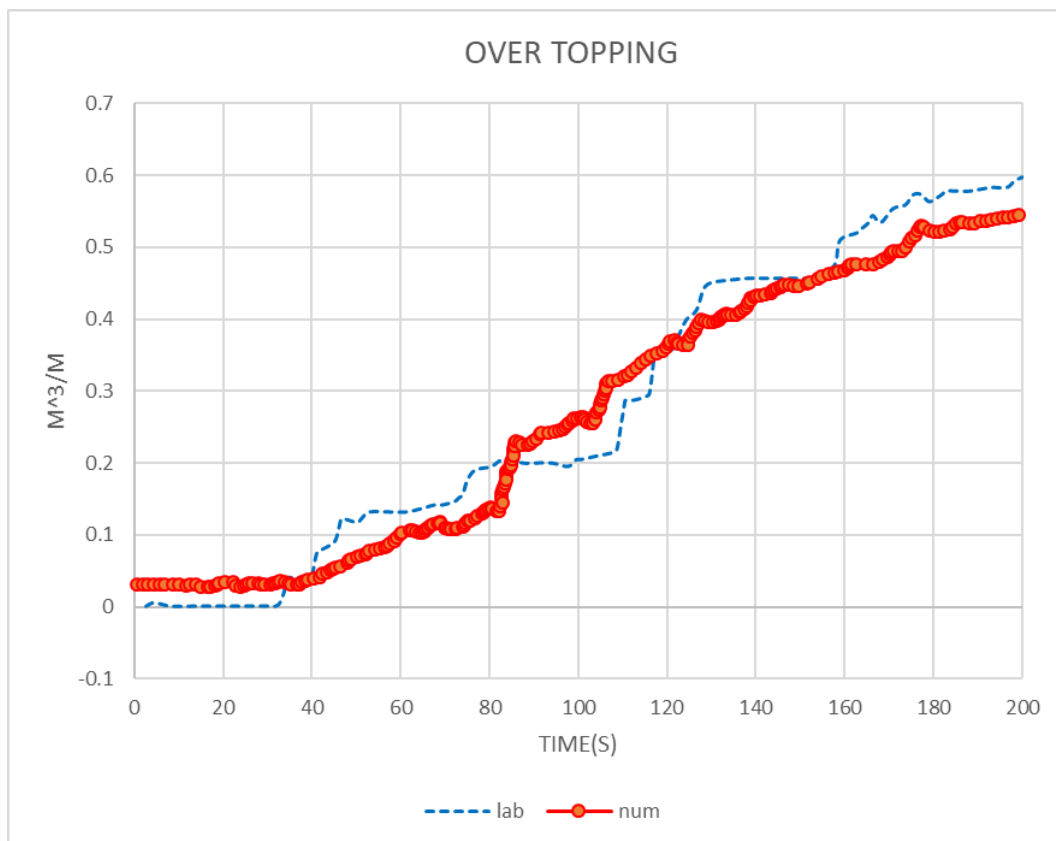
نمودار (۴-۱۲): صحت سنجی تاریخچه زمانی نتایج تغییرات فشار بر روی تاج موج شکن توده سنگی (فشارسنج ۲)



نمودار (۴-۱۳): صحت سنجی تاریخچه زمانی نتایج تغییرات فشار بر روی تاج موج شکن توده سنگی (فشارسنج ۳)

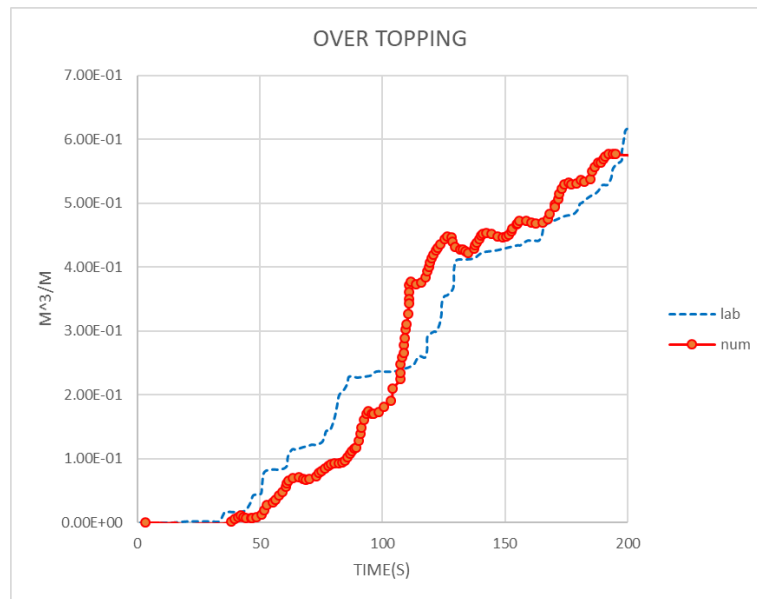


نمودار (۴-۱۴): صحت سنجی تاریخچه زمانی نتایج تغییرات فشار بر روی تاج موج شکن توده سنگی (فشارسنج ۷)



نمودار (۴-۱۵): صحت سنجی تاریخچه زمانی تغییرات روگذری موج شکن توده سنگی (ارتفاع مشخصه موج ۱۸ سانتی متر و پریود پیک ۶ ثانیه)

با این تفاسیر برای اطمینان از اینکه مدل عددی در شرایط متفاوت نیز به درستی رفتار می کند، با ثابت نگه داشتن همه پارامترها، واسنجی مدل عددی برای اطلاعات ارتفاع مشخصه موج ۱۸ سانتی متر (H_s) و پریود پیک (T_p) ۵ ثانیه برای مدل آزمایشگاهی موج شکن توده سنگی لارا و همکاران (۲۰۰۸) انجام شده است. واسنجی مدل عددی نوعی تایید توانایی مدل عددی در مدلسازی پدیده های مورد نظر می باشد. با توجه به در اختیار نبودن اطلاعات آزمایشگاهی سطح آزاد و فشار برای این شرایط موج، در این بخش از مطالعه، تنها به بررسی میزان روگذری برای شرایط موج با مشخصات ارتفاع مشخصه موج ۰/۱۸ متر و پریود پیک ۵ ثانیه پرداخته شده است. مقایسه واسنجی نتایج آزمایشگاهی و عددی برای شرایط موج در نظر گرفته شده در نمودار (۴-۱۶) ارائه شده است.



نمودار (۴-۱۶): واسنجی نتایج تاریخچه زمانی تغییرات روگذری موج شکن توده سنگی (ارتفاع مشخصه موج ۱۸ سانتی متر و پریود پیک ۵ ثانیه)

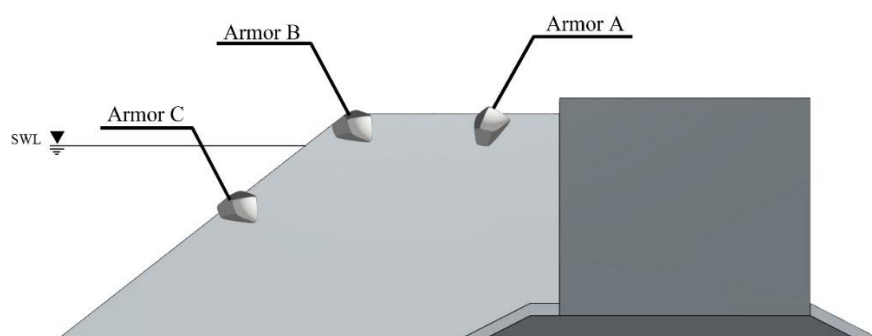
مقادیر درصد خطای نسبی برابر $(100 * \text{مقدار آزمایشگاهی} / \text{مقدار آزمایشگاهی} - \text{مقدار عددی})$ می باشد. برای محاسبه مقدار درصد خطای نسبی طیف موج، از ارتفاع موج مشخصه (H_s) که به صورت میانگین یک سوم مرتفع ترین امواج است استفاده می شود. در خصوص مقدار درصد خطای نسبی فشار، از بیشترین فشار مثبت ثبت شده استفاده می شود. همچنین برای مقدار درصد خطای نسبی روگذری، حداکثر میزان روگذری بدست آمده در نظر گرفته شده است. با بررسی نتایج صحت سنجی و واسنجی می توان از دقت قابل قبول مدل عددی Flow3D در مدلسازی پیش رو اطمینان کسب کرد. همچنین مقادیر درصد خطای نسبی مدل عددی به درصد در جدول (۴-۴) آورده شده است.

جدول (۴-۴) مقدار درصد خطای نسبی مدل عددی با توجه به نتایج صحت سنجی

درصد خطای نسبی	*
٪ ۹	طیف موج
٪ ۱۲/۱۴	فشار سنج
٪ ۵	روگذری
٪ ۸/۷۱	خطای مدلسازی عددی

۴-۴- محاسبه نیروهای وارد بر قطعات آرمور:

در این بخش به بررسی مکانیسم جابجایی سنگ های لایه آرمور، مدلسازی نیروهای مؤثر در جابجایی سنگدانه ها، تجزیه و تحلیل نیروهای اندازه گیری شده بر قطعات آرمور و همچنین به بحث در رابطه با پایداری قطعات آرمور در مدل عددی موج شکن سکویی مرکب پرداخته خواهد شد. در نتیجه ابتدا به بیان حالت های جابجایی سنگ های آرمور در اثر امواج و سپس به بیان نیروهای مؤثر در جابجایی سنگ های آرمور مورد بررسی قرار می گیرد. مدلسازی نیروهای اندازه گیری شده بر قطعات آرمور نیازمند صحت سنجی مدل عددی به وسیله مدل آزمایشگاهی می باشد. پس از صحت سنجی نتایج نیروهای وارد بر قطعات آرمور، به بررسی پایداری قطعات آرمور پرداخته می شود. محاسبه نیروهای وارد بر قطعات آرمور در سه نقطه از سکوی موج شکن سکویی مرکب انجام شده است. موقعیت این سه نقطه در سه حالت موج شکن سکویی مرکب ثابت در نظر گرفته شده است. آرمور A به اندازه D_{n50} ۲ (فصل ۳ قسمت ۶-۳) از کیسون موج شکن سکویی مرکب فاصله دارد و آرمور B در ابتدای شروع سکو قرار گرفته است. همچنین آرمور C به اندازه D_{n50} ۱ در زیر تراز ایستایی قرار دارد. لازم به ذکر است قطر اسمی سنگ های آرمور (D_{n50}) $13/5$ سانتی متر می باشد. در شکل (۴-۹) نمایی از محل قرار گیری سنگ های آرمور A، B و C نشان داده شده است.



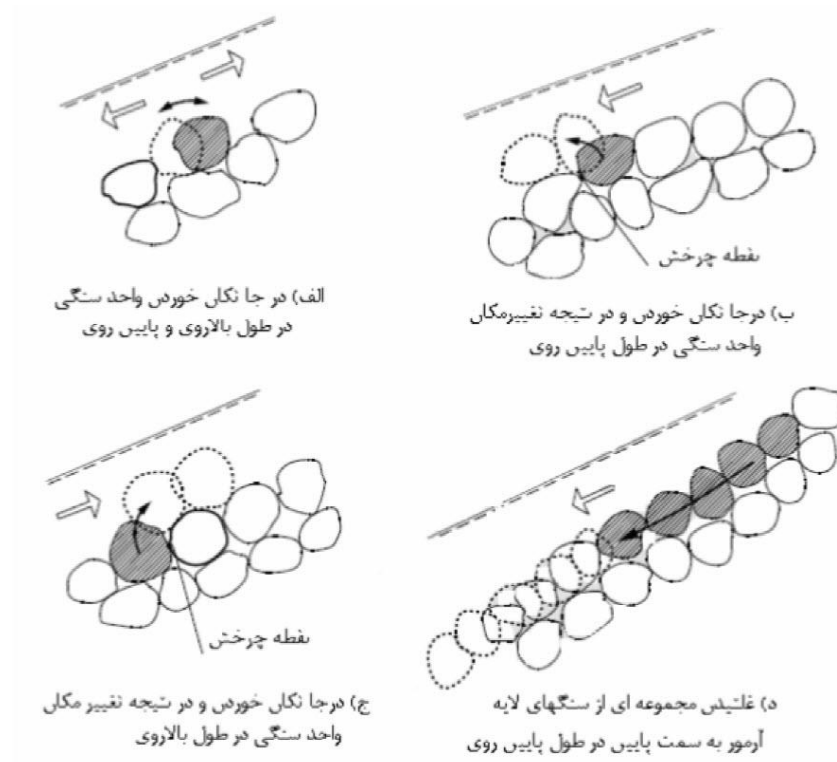
شکل (۴-۹): نمایی از محل قرار گیری سنگ آرمور های A، B و C در موج شکن سکویی مرکب

۱-۴-۴- حالت های جابجایی سنگ های آرمور

شکل (۱۰-۴) انواع حالت های جابجایی سنگ های لایه آرمور بر روی موج شکن در اثر برآیند نیروهای ایجاد شده را نشان می دهد. شکل ((۱۰-۴) الف) نشان دهنده حالتی از حرکت سنگ است که در اثر بالاروی و پایین روی جریان بر روی سازه، سنگ فقط در جای خود به سمت بالا و پایین تکان می خورد.

شکل ((۱۰-۴) ب) و ((۱۰-۴) ج) حالتی از حرکت سنگ را نشان می دهد که در حین پایین روی و بالا روی جریان بر روی شیب سازه، سنگ در جای خود تکان خورده و سپس حول نقطه تکیه گاهی با قطعه سنگ مجاور، به سمت بیرون سازه با حالت غلتشی جابجا می شود. شکل ((۱۰-۴) د) حالتی از حرکت سنگ را نشان می دهد که در آن گروهی از سنگ ها با هل دادن سنگ های زیرین حین پایین روی موج، به سمت پایین سازه حرکت می کنند

[۴۱]



شکل (۱۰-۴) : حالت های جابجایی سنگ های آرمور

۲-۴-۴- مدلسازی نیروهای موثر بر تغییر مکان سنگ های آرمور

این بخش به معرفی نیرو های وارد بر سنگ آرمور در موج شکن و نحوه ی صحت سنجی نیرو های بدست آمده از مدل عددی Flow3D پرداخته می شود. در ادامه با توجه به نیروهای بدست آمده از مدل عددی، پایداری آرموهای A، B و C در سه حالت موج شکن سکویی مرکب مورد بررسی قرار می گیرد. لازم به ذکر است که در مدلسازی عددی نیروهای وارد بر سنگ آرمور و بررسی پایداری این آرمورها از اثرات سنگ های مجاور (قفل و بست بین سنگ های آرمور) صرف نظر شده است.

رابطه ی هادسون^۱ (۱۹۵۸) از جمله روابط مهمی است که برای محاسبه پایداری استاتیکی سنگ آرمور بکار می رود. [۴۲] عدد پایداری از یک نسبت ساده بین نیروهای محرک (نیروی پسا^۲ و برآ^۳) و نیروهای مقاوم (ثقل) بدست می آید. نیرو های خارجی (نیروی موج) وارد بر سنگ آرمور شامل نیروی موازی سطح قرار گیری سنگ آرمور (F_p) و نیروی عمود بر آن سطح (F_n) می باشد. همچنین نیروی ثقل وارد بر ذره سنگی در جهت قائم به سمت پایین و نیروی شناوری در جهت قائم به سمت بالا عمل می کند. برآیند نیروی وزن و شناوری به صورت رابطه (۱۱-۴) بیان می شود. $\dot{W}$: وزن شناور سنگ، D_{n50} : قطر اسمی سنگ آرمور، g : شتاب گرانش (۹/۸۱)، ρ_s : چگالی سنگ آرمور برابر ۲۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ρ_w : چگالی آب برابر ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب.

$$\dot{W} = (\rho_s - \rho_w)gD_{n50}^3 \quad (۱۱-۴)$$

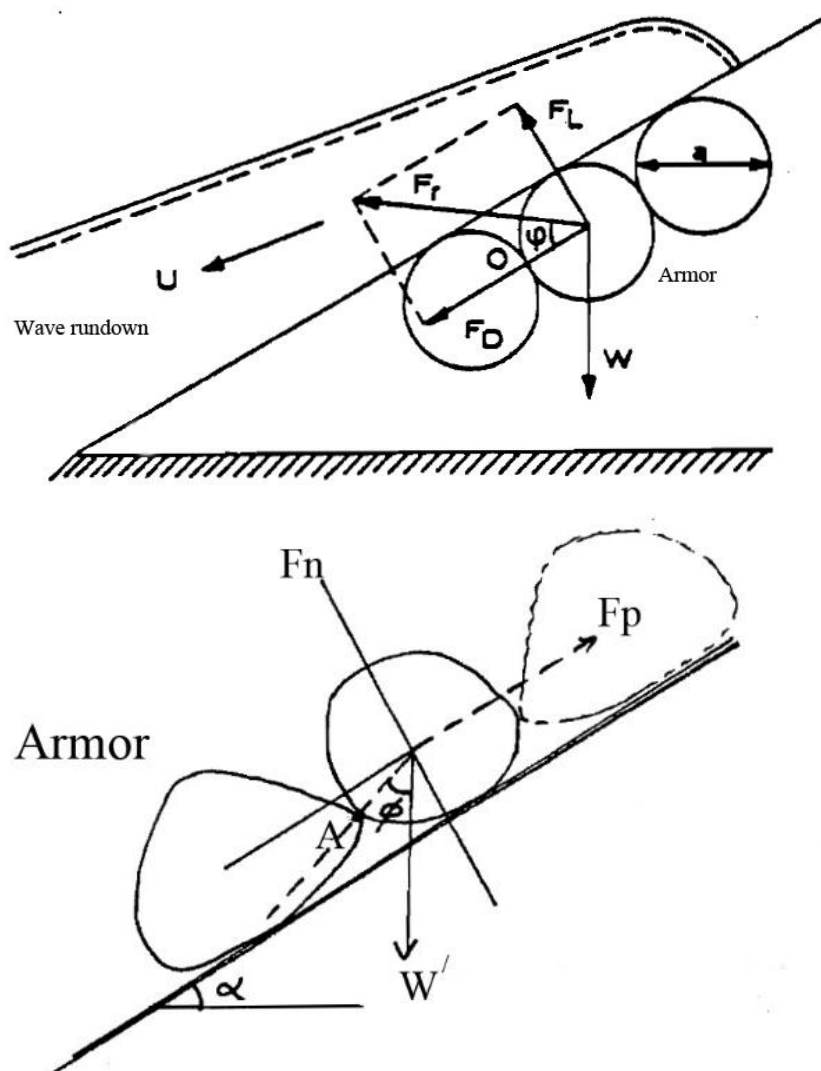
شکل (۱۱-۴) دیاگرام آزاد نیروهای وارد بر یک قطعه آرمور در موج شکن را نشان می دهد. رابطه (۴-۱۲) شرط تعادل و پایداری سنگ آرمور را نشان می دهد. اگر سمت چپ معادله از سمت راست معادله مقدار بیشتری شود، سنگ آرمور پایداری خود را از دست خواهد داد. در این معادله α : زاویه سطحی که آرمور بر روی آن قرار گرفته است و ϕ : زاویه قرارگیری سنگ آرمور است. همچنین D : قطر سنگ آرمور می باشد.

¹ Hudson

² Drag force

³ Lift force

$$F_N \sin \varphi D/2 + F_P \cos \varphi D/2 = W' \sin (\varphi - \alpha) D/2 \quad (12-4)$$



شکل (۱۱-۴) : دیاگرام آزاد نیروهای وارد بر سنگ آرمور (نیروهای محرک- نیروی مقاوم)

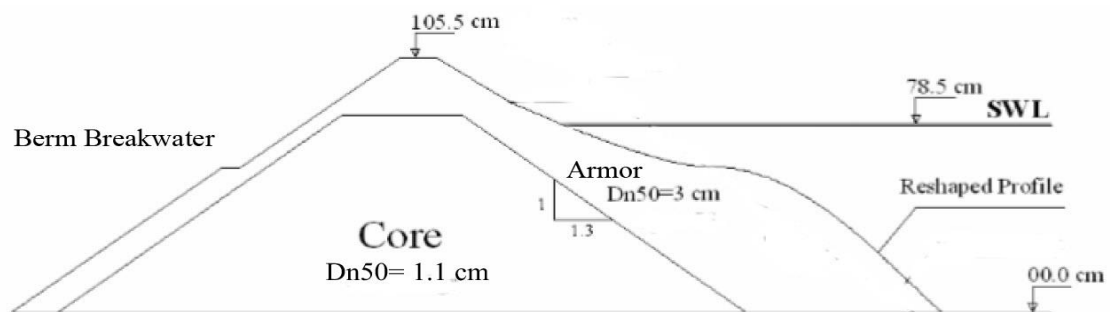
۳-۴-۴- صحت سنجی

برای اطمینان از نتایج مدل عددی Flow3D در زمینه محاسبه نیروهای وارد بر آرمور لازم به صحت سنجی از مدل عددی می باشد. تروم و همکاران (۲۰۱۲) در فلوم موج دانشگاه NTNU نروژ به مدلسازی آزمایشگاهی موج شکن سکویی (شکل پذیر) و بررسی نیروهای وارد بر یک قطعه آرمور اقدام کردند. [۴۳] فلوم موج به طول ۳۳ متر، عرض آن ۱ متر و ارتفاع آن ۱/۸ متر می باشد. کف بستر فلوم به صورت افقی

و در انتهای فلوم صفحه های جاذب موج قرار گرفته است. همچنین در شکل (۴-۱۲) نمایی از مقطع موج شکن سکویی آورده شده است. جدول (۴-۵) ارتفاع موج (متر) و پریود (ثانیه) موج منظم را هنگام آزمایش، بیان می کند.

جدول (۴-۵) : مشخصات موج و پریود تست آزمایشگاهی موج شکن سکویی (دانشگاه NTNU نروژ)

موج	ارتفاع موج (متر)	پریود موج (ثانیه)
منظم	۰/۱۸	۱/۲۱



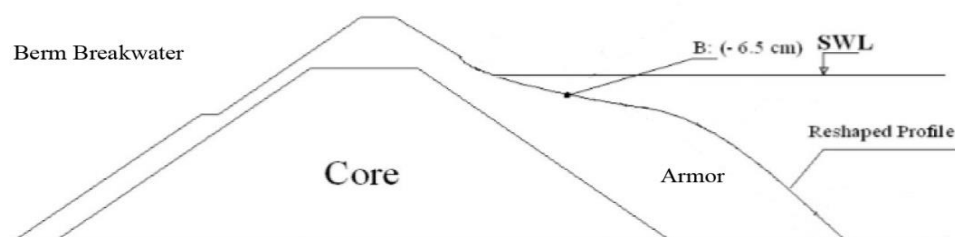
شکل (۴-۱۲) : نمایی از مقطع موج شکن سکویی ساخته شده در دانشگاه NTNU نروژ

تروم و همکاران (۲۰۱۲) به منظور اندازه گیری نیروی ناشی از جریان بر قطعات سنگی بکار رفته در لایه ی آرمور موج شکن سکویی شکل پذیر، به ساخت یک قطعه آرمور مصنوعی با ابعاد آرمور مورد استفاده در موج شکن سکویی شکل پذیر اقدام کردند. با تغییر شکل موج شکن سکویی و رسیدن به نیم رخ تعادلی، نیروی موازی سطح (F_p) و نیرو عمود بر سطح (F_N) به صورت سری زمانی ثبت شده است. آرمور مصنوعی به شکل مکعب و از جنس آلومینیوم ساخته شده است. اندازه گیری نیروی وارد بر قطعه آرمور مصنوعی با استفاده از دستگاه نیروسنج که در دانشگاه NTNU نروژ ساخته شده، صورت گرفته است. در نیرو های بدست آمده از اثرات سنگ های مجاور یکدیگر (قفل و بست بین سنگ های آرمور) صرف نظر شده است. آرمور مصنوعی در تراز ۶/۵- سانتی متر زیر تراز ایستابی نصب و نتایج را

ثبت کرده است. [۴۳] شکل (۴-۱۳) نمایی از آرمور مصنوعی و شکل (۴-۱۴) محل قرارگیری آرمور مصنوعی را در مدل آزمایشگاهی موج شکن سکویی شکل پذیر نشان می دهد.



شکل (۴-۱۳): نمایی از آرمور مصنوعی از جنس آلومینیوم و نحوه قرار گیری آرمور مصنوعی داخل موج شکن سکویی

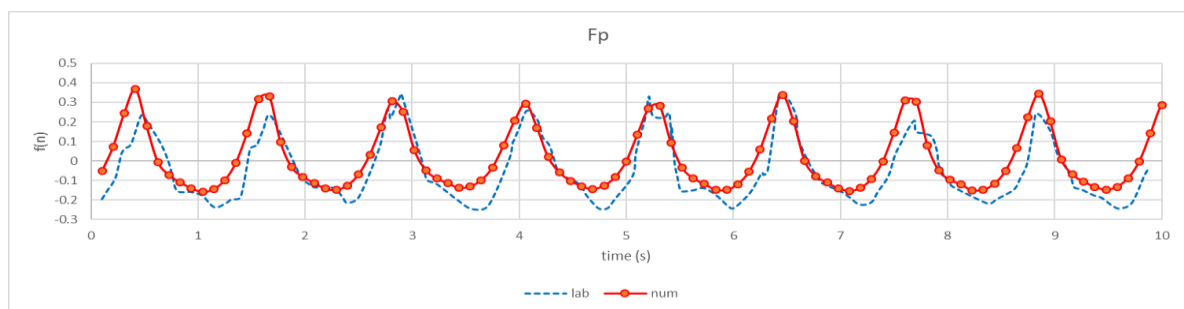


شکل (۴-۱۴): موقعیت ارتفاع و محل قرار گیری آرمور مصنوعی در موج شکن سکویی

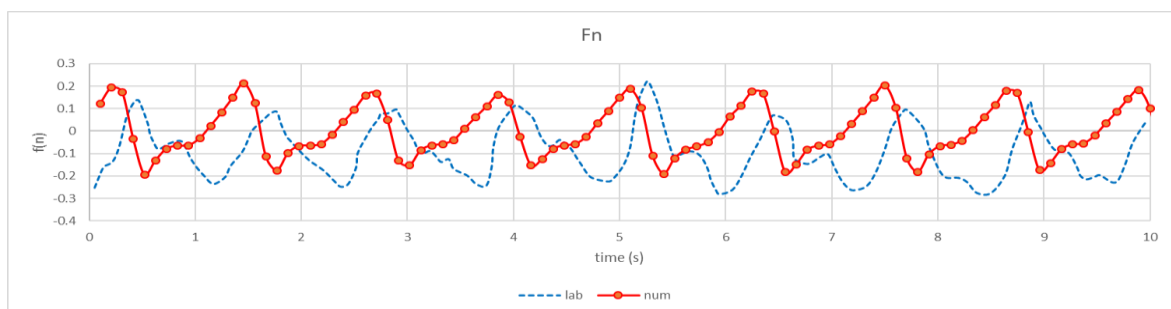
برای صحت سنجی، پس از مدلسازی عددی موج شکن سکویی ذکر شده به مقایسه نتایج حاصل از مدلسازی عددی با نتایج مدل آزمایشگاهی در نمودار (۴-۱۷) و (۴-۱۸) پرداخته شده است. مشخصات مدلسازی عددی در جدول (۴-۶) آورده شده است. بررسی نتایج صحت سنجی مدل عددی Flow3D ، نشان می دهد که نتایج مدل عددی در مدلسازی نیروهای وارد بر آرمور قابل قبول است.

جدول (۴-۶) مشخصات مدل عددی موج شکن سکویی شکل پذیر برای صحت سنجی

مشخصات مدل عددی موج شکن سکویی شکل پذیر	
RNG	مدل آشفتگی
۰/۵	ضریب تخلخل آرمور
۰/۴۸	ضریب تخلخل هسته
۶۰ ثانیه	مدت زمان شبیه سازی مدل عددی
منظم	موج
۰/۱۸ متر	ارتفاع موج
۱/۲۱ ثانیه	پریود موج
۰/۰۱ سانتی متر	اندازه سلول محاسباتی
۴۸ ساعت	مدت زمان مدلسازی
٪ ۱۳/۵	مقدار خطای نسبی مدلسازی (درصد)



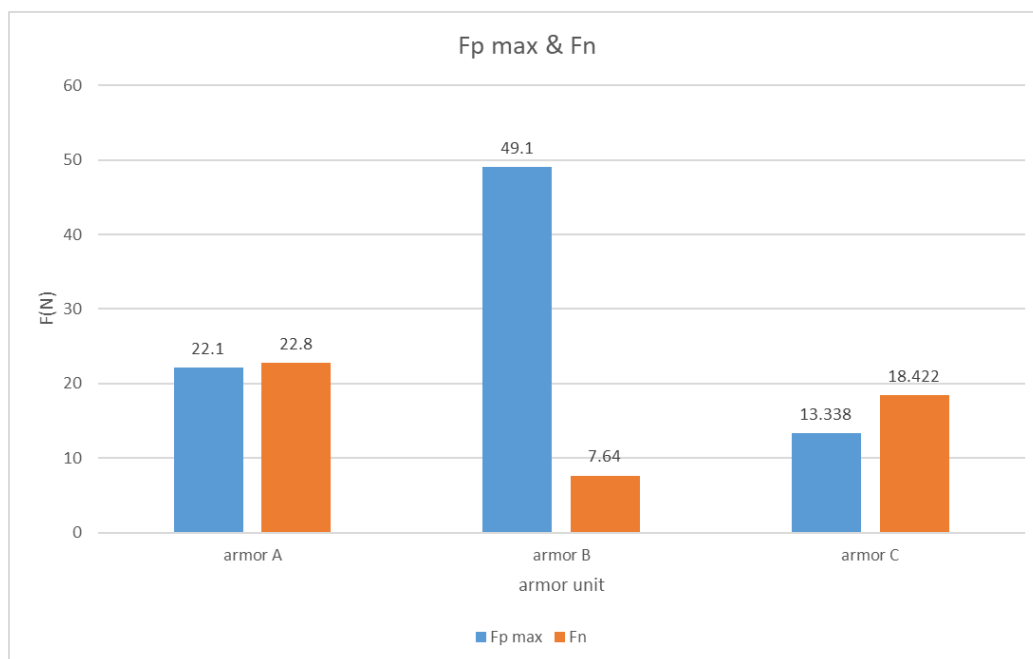
نمودار (۴-۱۷) : صحت سنجی نتایج بدست آمده از مدلسازی نیرو در راستای موازی سطح آرمور (F_p)



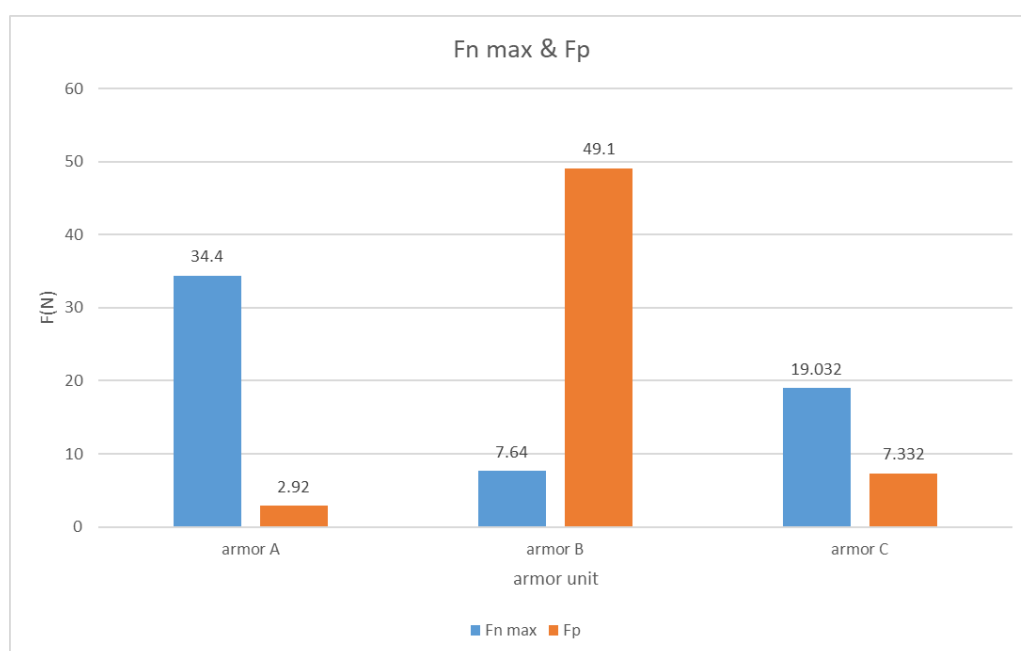
نمودار (۴-۱۸) : صحت سنجی نتایج بدست آمده از مدلسازی نیرو در راستای عمود بر سطح آرمور (F_N)

۴-۴-۴- ارزیابی پایداری آرمور در موج شکن سکویی مرکب

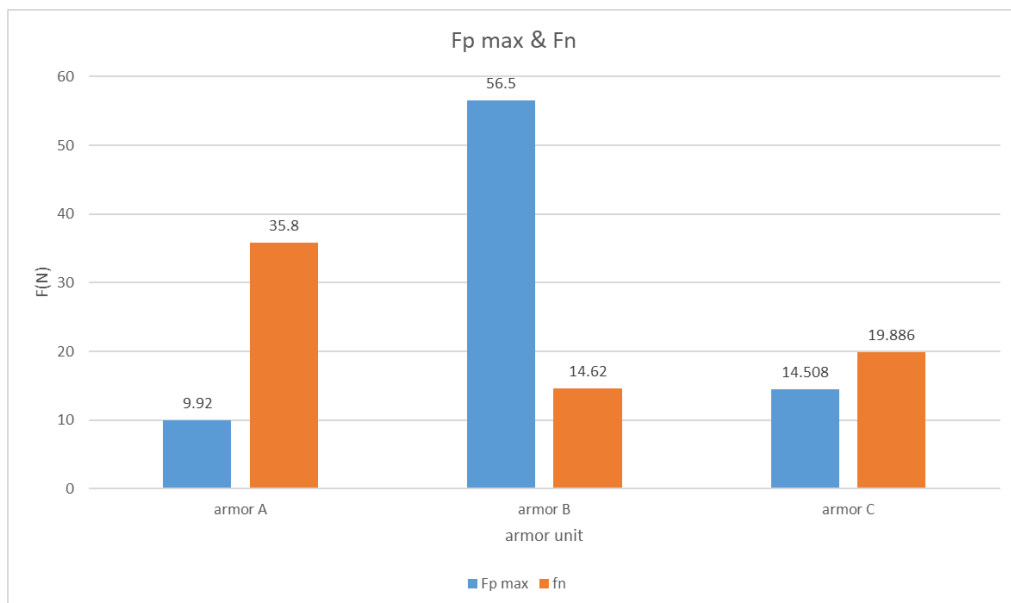
در این بخش به بیان نیروهای وارد شده به سه آرمور A، B و C پرداخته می شود و با توجه به رابطه ی (۴-۱۲) پایداری قطعات آرمور مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. این مدلسازی برای سه حالت موج شکن سکویی مرکب انجام شده است. با توجه به رابطه ی (۴-۱۱) وزن شناور سنگ (W') برابر $47/25$ نیوتون می باشد. همچنین حاصل طرف راست معادله پایداری، رابطه (۴-۱۲) برای تمامی آرمورهای مورد بررسی در سه حالت موج شکن سکویی مرکب، برابر $3/54$ نیوتون - متر می باشد. حال با محاسبه نیروی موازی سطح آرمور (F_p) و نیروی عمود بر سطح آرمور (F_N) به بررسی پایداری و عدم پایداری سنگ های آرمور در سه مقطع موج شکن سکویی مرکب پرداخته خواهد شد. نمودارهای (۴-۱۹) تا (۴-۲۴) بیانگر نیروهای موازی و عمود بر سطح آرمور A، B و C می باشند. راستای مثبت نیروی موازی سطح آرمور (F_p) در جهت حمله ی امواج و راستای مثبت نیروی عمود بر سطح آرمور (F_N) در جهت مثبت محور Z می باشد. برای بررسی پایداری سنگ های آرمور، حداکثر نیروی موازی با سطح را با نیروی عمود به سطح متناظر، بدست آورده می شود و با محاسبه ی لنگر ناشی از این دو نیرو، پایداری سنگ آرمور ارزیابی می شود. به همین ترتیب، زمانی که نیروی عمود بر سطح بیشینه است، مقدار نیروی موازی سطح متناظر، در بررسی پایداری بکار می رود. نمودار (۴-۱۹) بیانگر حداکثر نیروی موازی سطح آرمور و نیروی عمود بر سطح متناظر آرمور است. نمودار (۴-۲۰) بیانگر حداکثر نیروی عمود بر سطح آرمور و نیروی موازی بر سطح متناظر، برای سه آرمور A، B و C در حالت اول موج شکن سکویی مرکب می باشد. در نمودارهای (۴-۲۱)، (۴-۲۲)، (۴-۲۳) و (۴-۲۴) به همین ترتیب نیروهای وارد بر هر سه آرمور برای موج شکن سکویی مرکب حالت دوم و سوم آورده شده است.



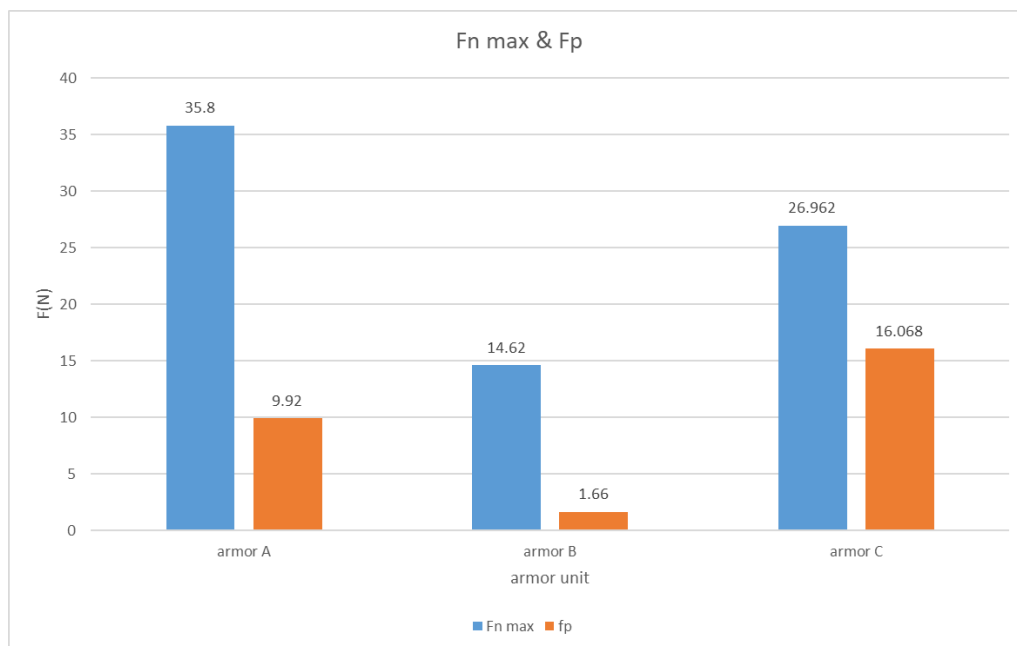
نمودار (۴-۱۹) : حداکثر نیروی موازی سطح و نیروی عمود بر سطح متناظر (موج شکن سکویی مرکب حالت اول)



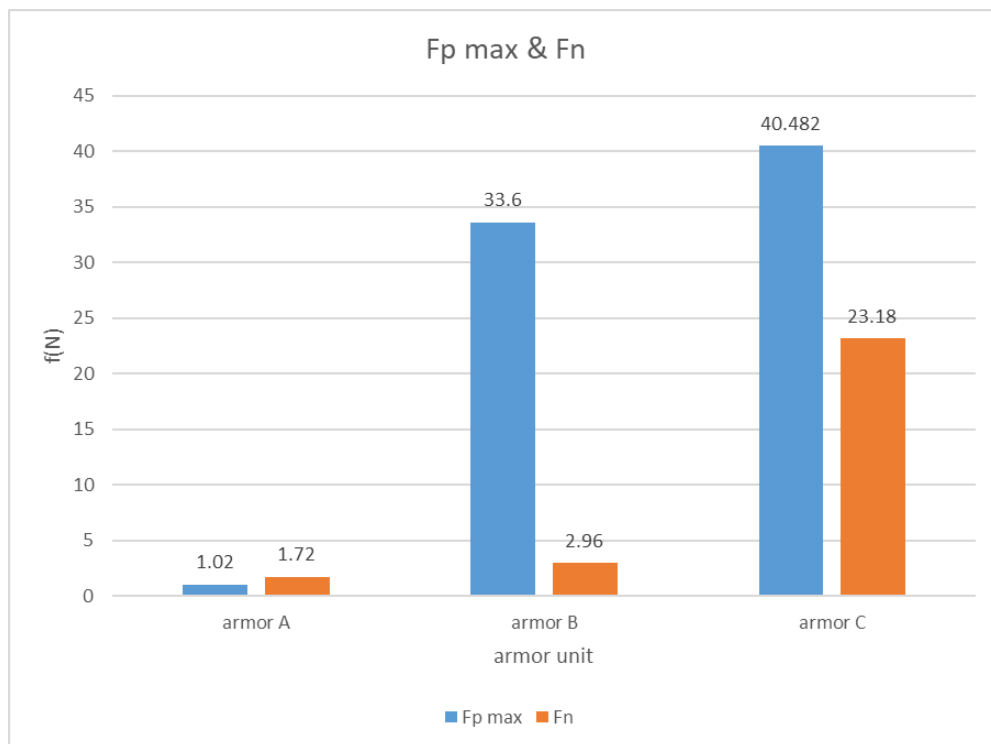
نمودار (۴-۲۰) : حداکثر نیروی عمود بر سطح و نیروی موازی سطح متناظر (موج شکن سکویی مرکب حالت اول)



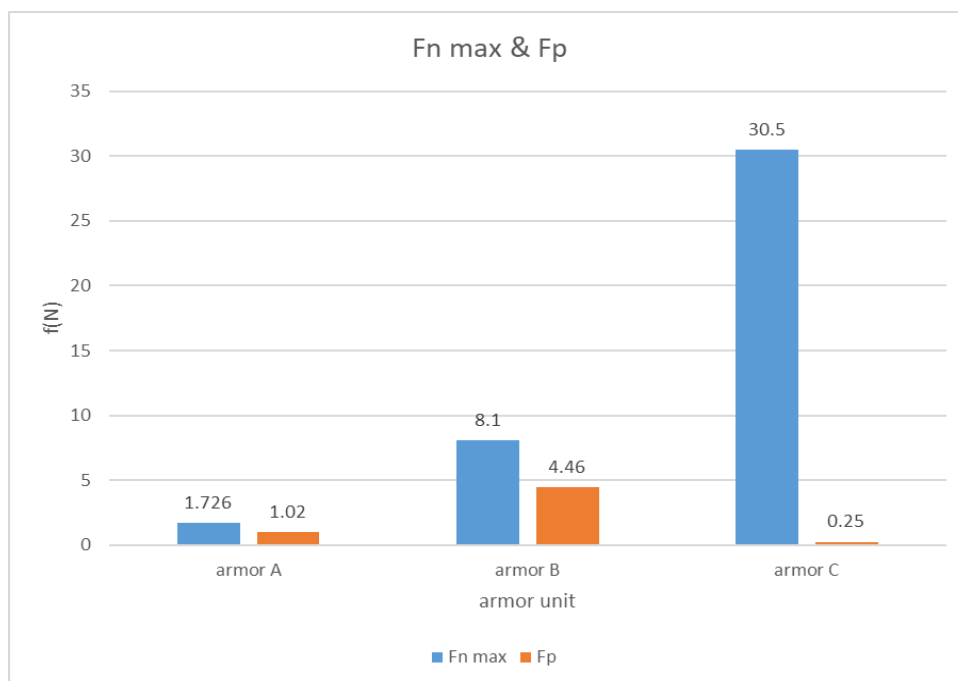
نمودار (۴-۲۱): حداکثر نیروی موازی سطح و نیروی عمود بر سطح متناظر (موج شکن سکویی مرکب حالت دوم)



نمودار (۴-۲۲): حداکثر نیروی عمود بر سطح و نیروی موازی سطح متناظر (موج شکن سکویی مرکب حالت دوم)



نمودار (۴-۲۳) : حداکثر نیروی موازی سطح و نیروی عمود بر سطح متناظر (موج شکن سکویی مرکب حالت سوم)



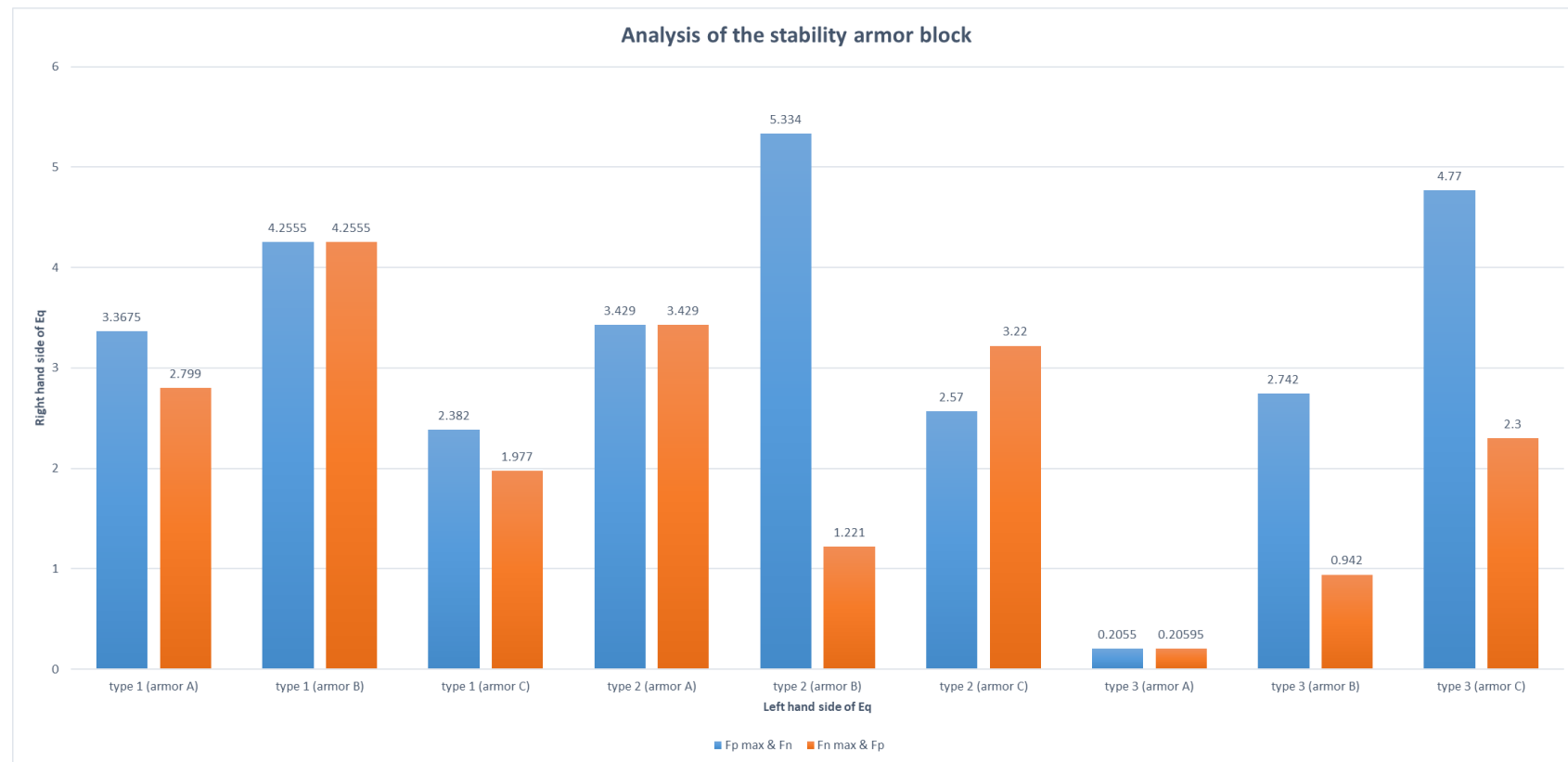
نمودار (۴-۲۴) : حداکثر نیروی عمود بر سطح و نیروی موازی سطح متناظر (موج شکن سکویی مرکب حالت سوم)

حاصل سمت راست معادله پایداری، رابطه ی (۴-۱۲) برای تمامی آرمورهای مورد بررسی در سه حالت موج شکن سکویی مرکب برابر $3/54$ نیوتون - متر می باشد. اگر سمت چپ این معادله کمتر از مقدار $3/54$ نیوتون - متر باشد، سنگ آرمور تحرکی نخواهد داشت و در صورتی که مقدار سمت چپ معادله بیشتر از مقدار سمت راست معادله پایداری شود، آرمور تعادل خود را از دست می دهد و جا بجا خواهد شد. نمودار (۴-۲۵) نشان دهنده نتایج رابطه پایداری آرمور می باشد. محور عمودی این نمودار، سمت راست رابطه پایداری و محور افقی آن بیانگر سمت چپ این رابطه است. در این نمودار موج شکن سکویی مرکب حالت اول به نام type1، موج شکن سکویی مرکب حالت دوم به نام type2 و موج شکن سکویی مرکب حالت سوم، type3 نام گذاری شده اند.

آرمور هایی که با توجه به رابطه پایداری در اثر حمله امواج در موج شکن سکویی مرکب حالت اول، دوم و سوم دچار جابه جایی می شوند در جدول (۴-۷) آورده شده اند.

جدول (۴-۷) : نتایج رابطه پایداری آرمور (آرمور A، B و C - موج شکن سکویی مرکب حالت اول، دوم و سوم)

آرمور C	آرمور B	آرمور A	*
-	$4/25 > 3/54$	-	موج شکن سکویی مرکب حالت اول
-	$5/33 > 3/54$	-	موج شکن سکویی مرکب حالت دوم
$4/77 > 3/54$	-	-	موج شکن سکویی مرکب حالت سوم



نمودار (۴-۲۵) : نتایج رابطه پایداری آرمور (آرمور A، B و C – موج شکن سکویی مرکب حالت اول، دوم و سوم)

۵-۴-۴- تحلیل نتایج ارزیابی پایداری آرمور در موج شکن سکویی مرکب

نتایج جدول (۷-۴) نشان می دهد که آرمور B (ابتدای سکو) در حالت اول و دوم موج شکن سکویی مرکب در معرض جابجایی است و همچنین آرمور C (بر روی شیب سکو) در حالت سوم موج شکن سکویی در اثر نیروی امواج جابه جا خواهند شد. در هیچ کدام از سه حالت موج شکن سکویی مرکب، آرمور A (انتهای سکو) دچار جابجایی نشده است.

با توجه به این که آرمور B (ابتدای سکو) و آرمور C (روی شیب سکو) در معرض جابجایی می باشند در ادامه به بررسی علت جابجایی آنها پرداخته می شود. برای درک بیشتر از این مساله تصاویری از میدان سرعت جریان در زمان رخداد بیشترین نیرو به آرمور B و C آورده شده است.

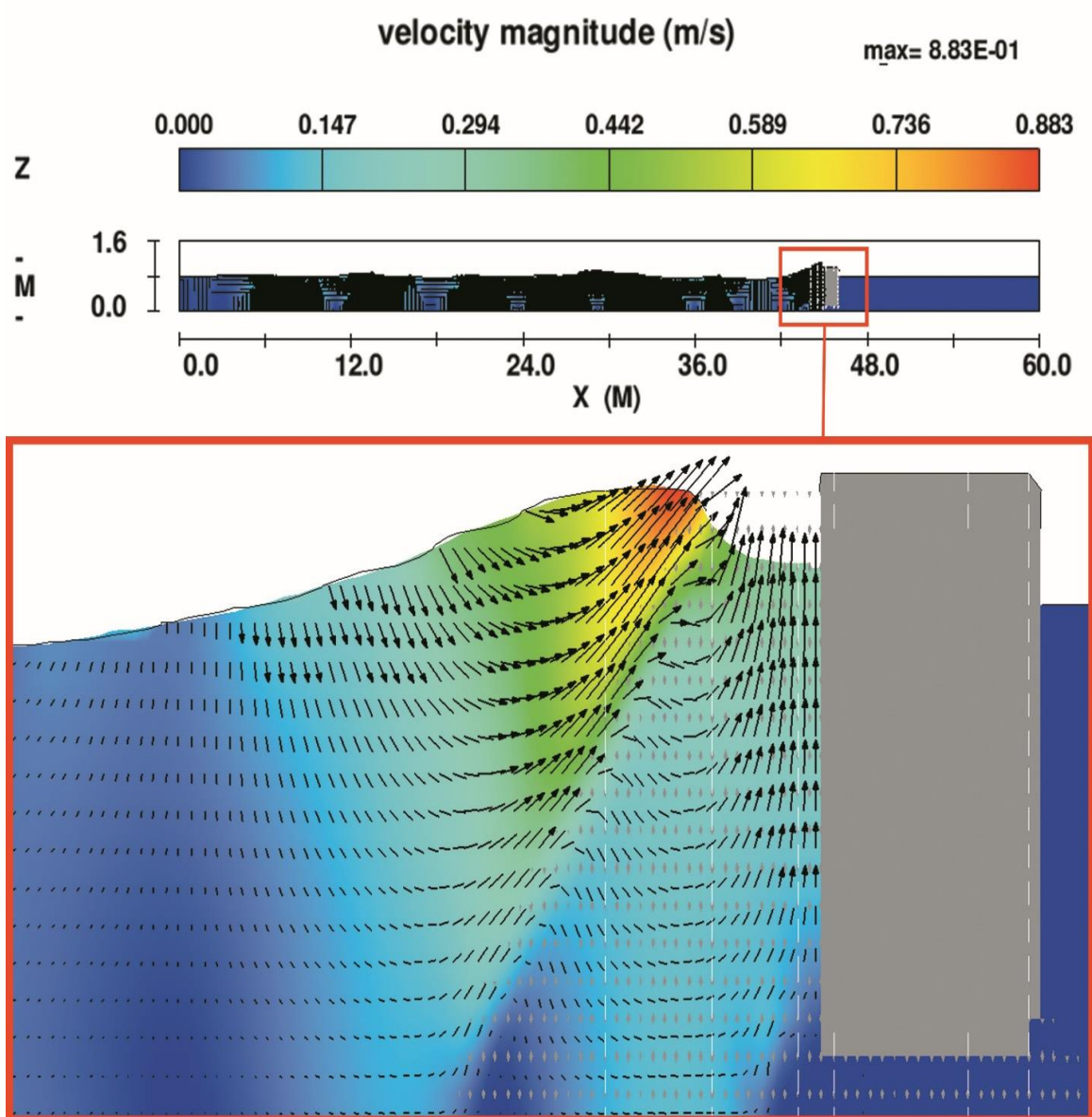
الف) سنگ آرمور B واقع در ابتدای سکوی موج شکن سکوی مرکب

سنگ آرمور B در بالای تراز آب و در ابتدای سکوی موج شکن سکویی مرکب قرار دارد. در این ناحیه موج در مدت زمان بسیار کم ($0/2$ ثانیه) نیروی ضربه ای^۱ بر آرمور وارد می شود و نیروی موازی سطح آرمور در راستای ضربه موج عمل خواهد کرد. پس از اعمال نیروی موازی با سطح از طرف موج و غرق شدن آرمور B به دلیل ایجاد نیروی شناوری و در نتیجه کاهش وزن سنگ آرمور، نیروی اصطکاک کمتر می شود. تکان خوردن سنگ های مجاور و جاباز کردن سنگ آرمور میان آن ها، باعث کم شدن اثر فقل شدگی^۲ بین سنگ های آرمور می شود و در نتیجه سنگ آرمور راحت تر می تواند از جای خود درآید. سکوی موج شکن در حالت اول موج شکن سکویی مرکب به دلیل همگن بود آن (تمام آرمور)، نسبت به حالت دوم و سوم موج شکن سکویی مرکب؛ تاثیر کم تری بر روی کاهش سرعت جریان دارد. در نتیجه نیروی عمود بر سطح، در حالت اول موج شکن سکویی مرکب باعث جابجایی سنگ آرمور B شده است. در ادامه با عبور موج از روی سنگ آرمور B، جریان به داخل محیط متخلخل نفوذ کرده و نیروی چندانی به سنگ آرمور وارد نمی کند. شکل (۱۵-۴)، (۱۶-۴)، (۱۷-۴) و (۱۸-۴) مقادیر و

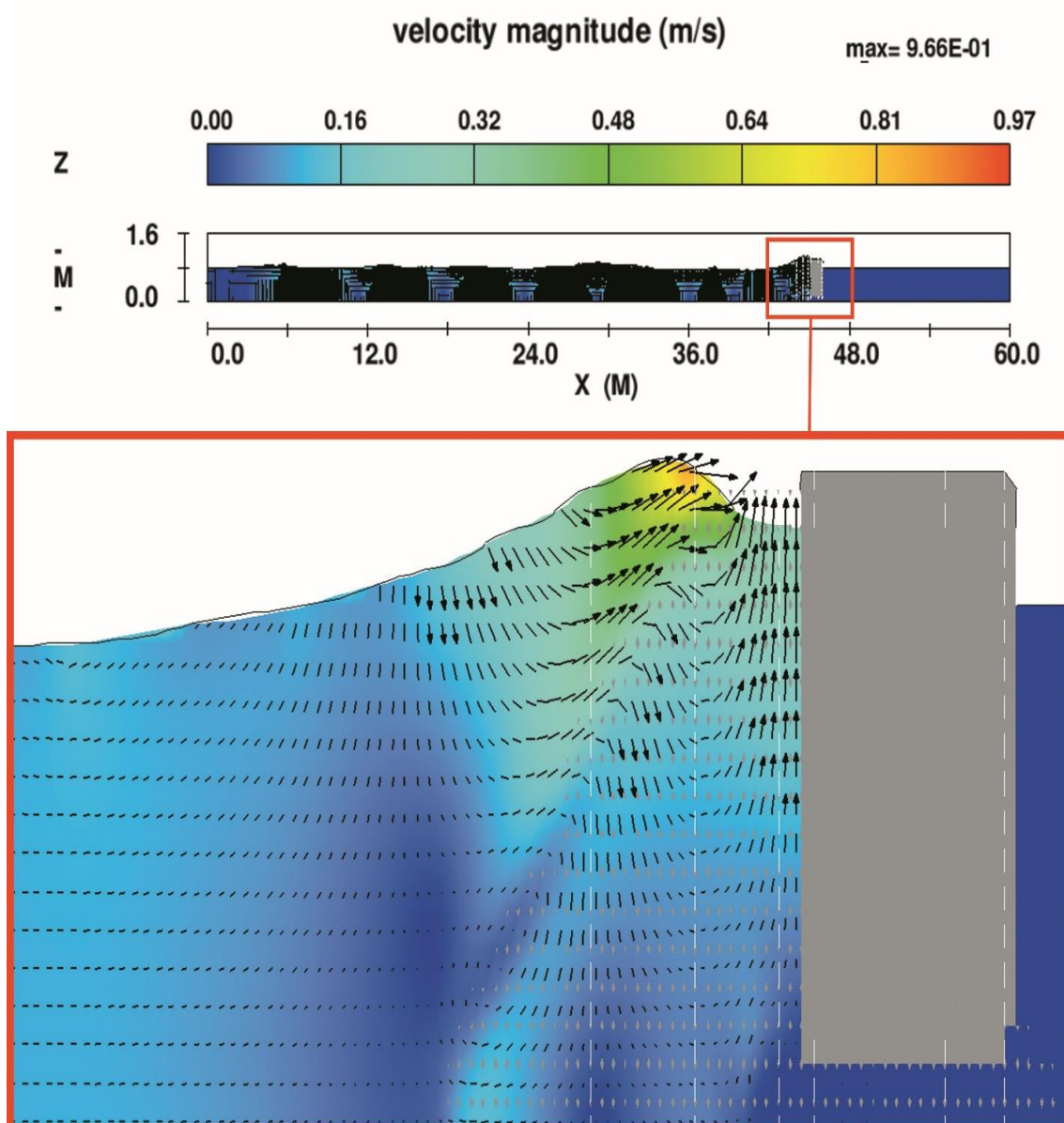
^۱ Slamming Force

^۲ Interlocking

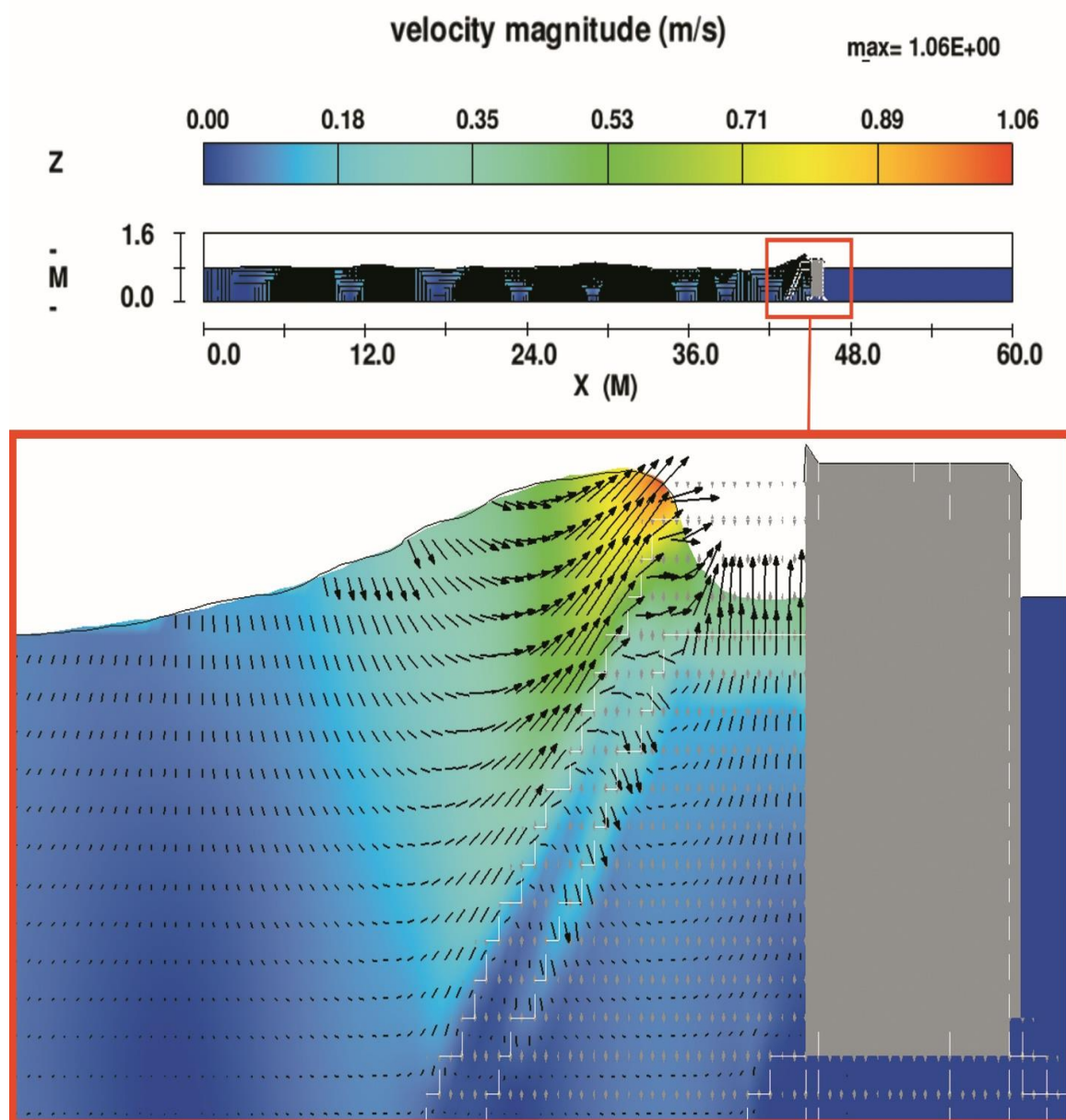
بردارهای سرعت جریان در لحظه ی اعمال بیشترین نیرو به آرمور B در موج شکن سکویی مرکب نشان می دهد.



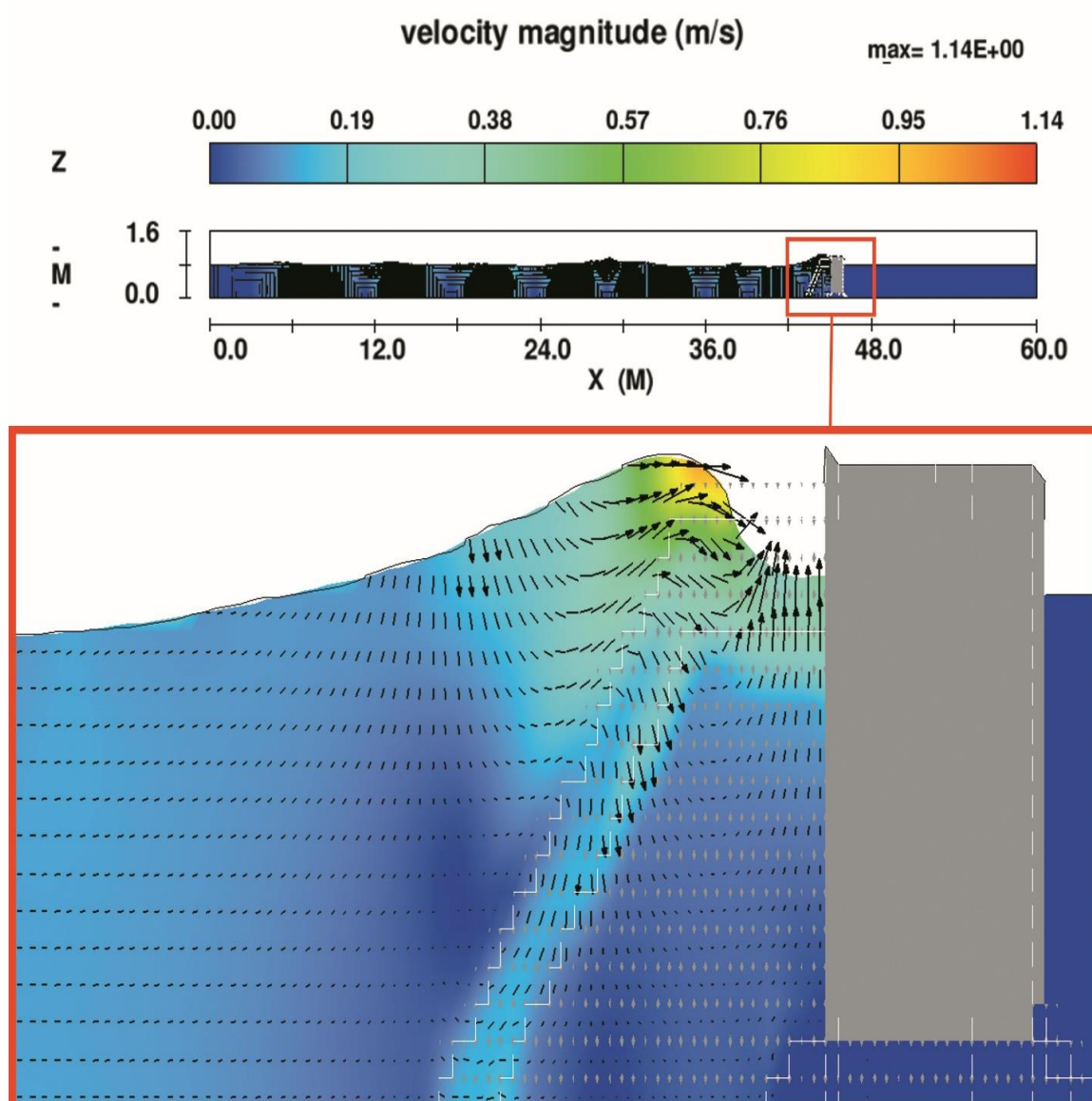
شکل (۴-۱۵) : مقدار و بردار میدان سرعت جریان در لحظه ی جابجایی آرمور B قبل از نیروی ضربه ای موج (موج شکن سکویی مرکب حالت اول)



شکل (۴-۱۶): مقدار و بردار میدان سرعت جریان در لحظه ی جابجایی آرمور B بعد از نیروی ضربه ای موج (موج شکن سکویی مرکب حالت اول)



شکل (۴-۱۷): مقدار و بردار میدان سرعت جریان در لحظه ی جابجایی آرمور B قبل از نیروی ضربه ای موج (موج شکن سکویی مرکب حالت دوم)



شکل (۴-۱۸): مقدار و بردار میدان سرعت جریان در لحظه ی جابجایی آرمور B بعد از نیروی ضربه ای موج (موج شکن سکویی مرکب حالت دوم)

ب) سنگ آرمور C روی شیب سکوی موج شکن سکوی مرکب

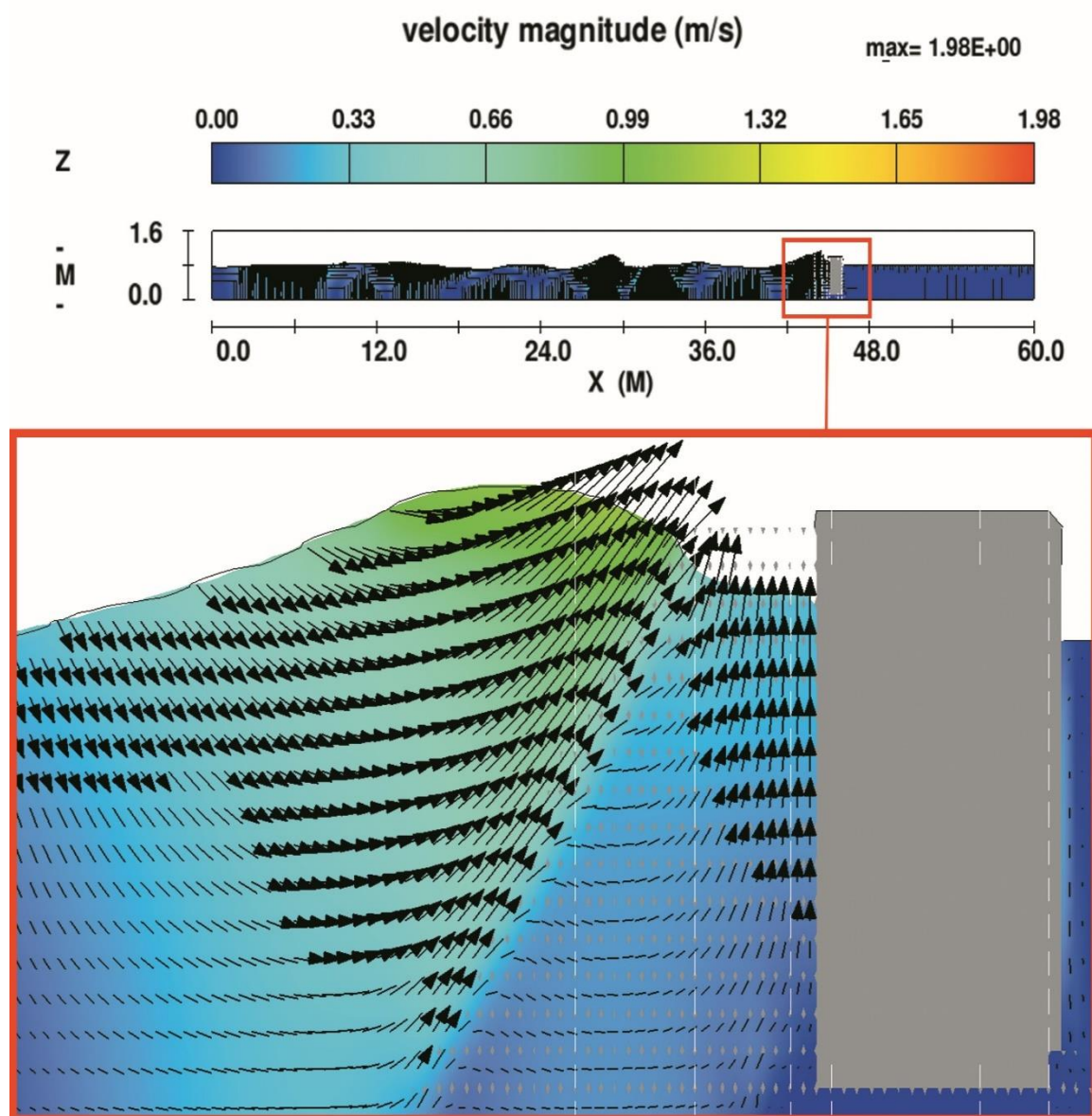
از جمله مواردی که می توان مورد بررسی قرار داد، جریان ایجاد شده در سکو و تاثیر آن بر جابه جایی آرمور C است. در طول بالاروی موج، نفوذ جریان به داخل محیط متخلخل سکو صورت می گیرد و هنگام پایین روی موج خروج جریان از محیط متخلخل سکو رخ می دهد. محیط متخلخل سکو باعث ایجاد اختلاف در نرخ نفوذ جریان و تراوش جریان می شود.

برای برابر شدن جریان تراوشی و جریان نفوذی با هر موج، باید سرعت جریان تراوشی بیشتر از سرعت جریان نفوذی باشد. جریان خروجی (تراوش) از سازه هنگام پایین روی، به افزایش نیروی عمود بر سطح کمک می کند. در حالت اول موج شکن سکویی مرکب به دلیل همگن بودن سکو (تمام آرمور) و کاهش اختلاف در نرخ نفوذ جریان و تراوش جریان، باعث پایداری آرمور C شده است.

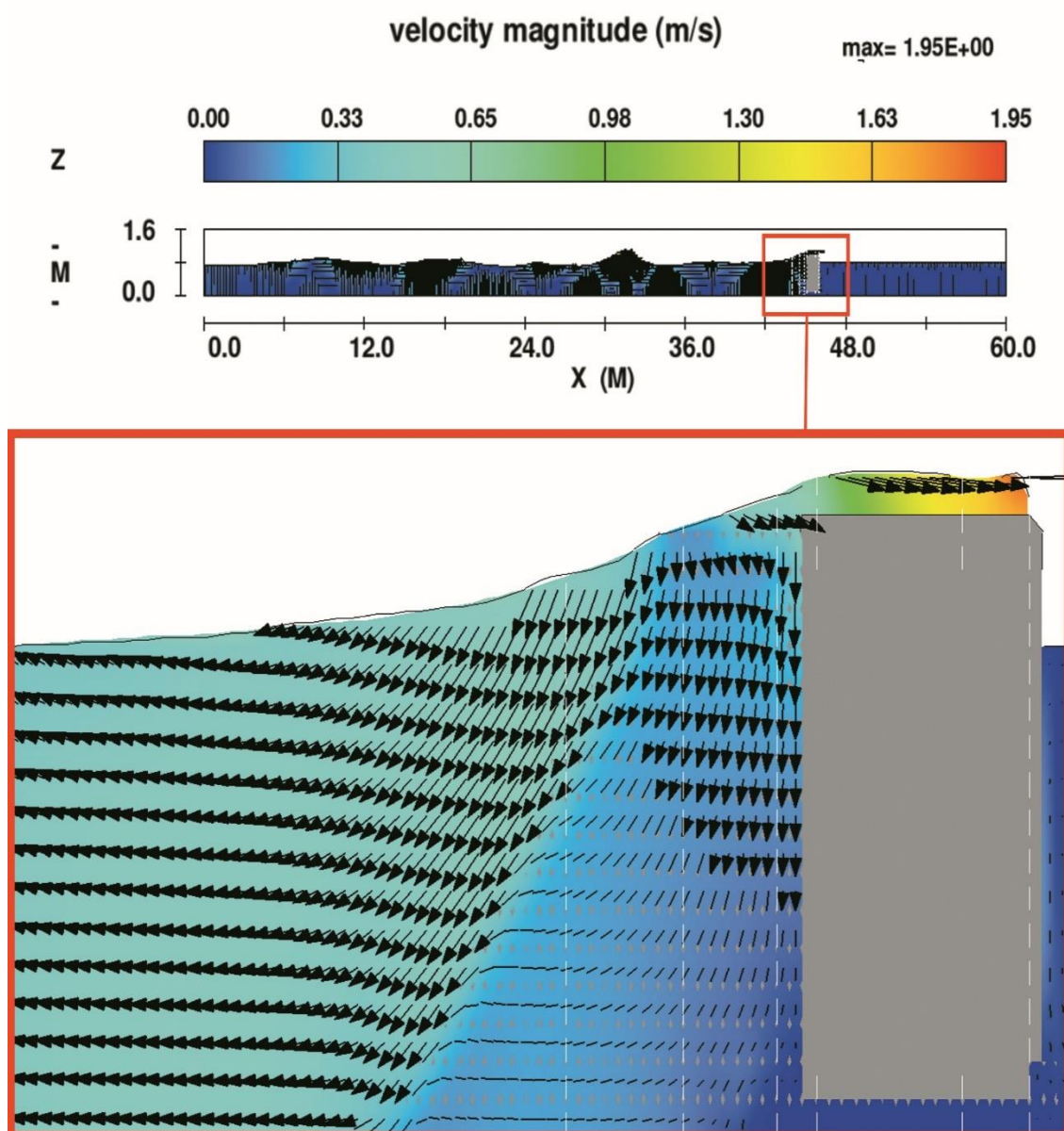
بیشترین نیروی عمود بر سطح سکو ناشی از تراوش جریان، مربوط به موج شکن سکویی مرکب حالت دوم است. افزایش نیرو به این دلیل است که بخش عمده سکو را مصالح فیلتر تشکیل داده است، در نتیجه باعث افزایش اختلاف در نرخ نفوذ جریان و تراوش جریان شده است. شکل (۴-۱۹)، (۴-۲۰)، (۴-۲۱)، (۴-۲۲)، (۴-۲۳) و (۴-۲۴) به ترتیب مقادیر و بردارهای سرعت جریان در لحظه بالاروی موج^۱ (نفوذ جریان)، پایین روی موج^۲ و تراوش جریان در حالت اول و دوم موج شکن سکویی مرکب را نشان می دهد.

¹ Wave runup

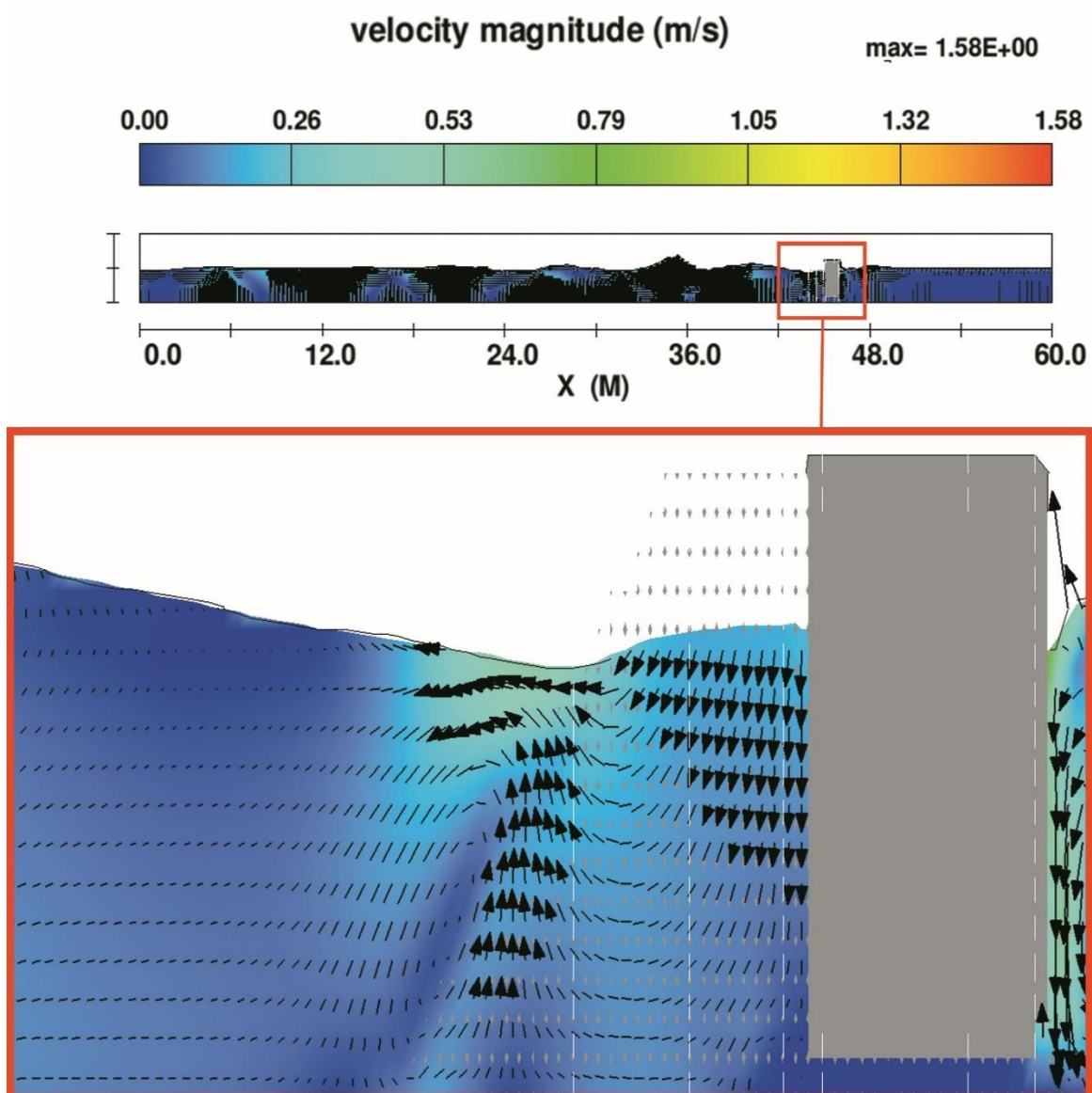
² Wave rundown



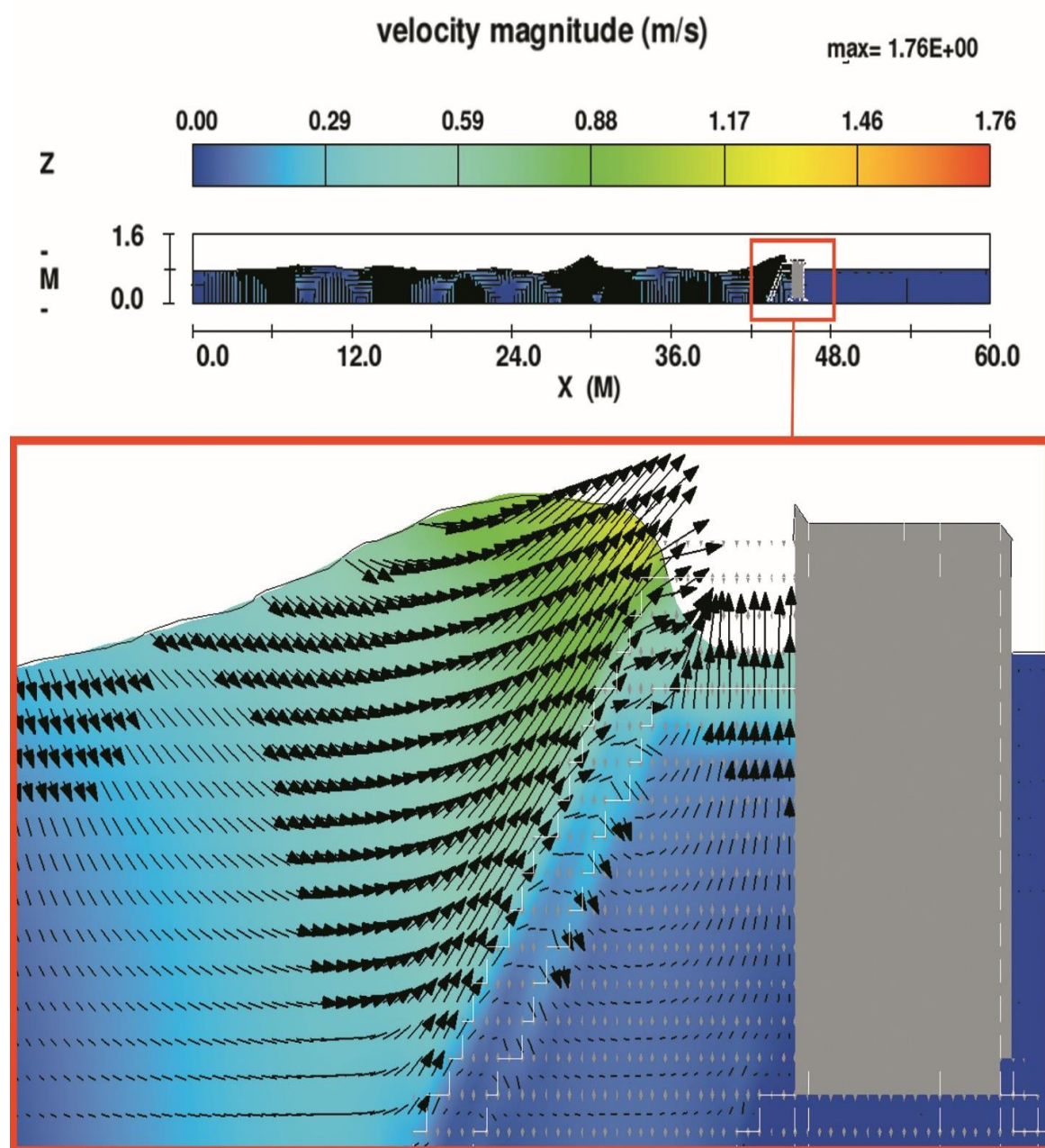
شکل (۴-۱۹): مقادیر و بردارهای سرعت جریان در لحظه اعمال نیرو به آرمور C (بالاروی موج - نفوذ جریان - موج شکن سکویی حالت اول)



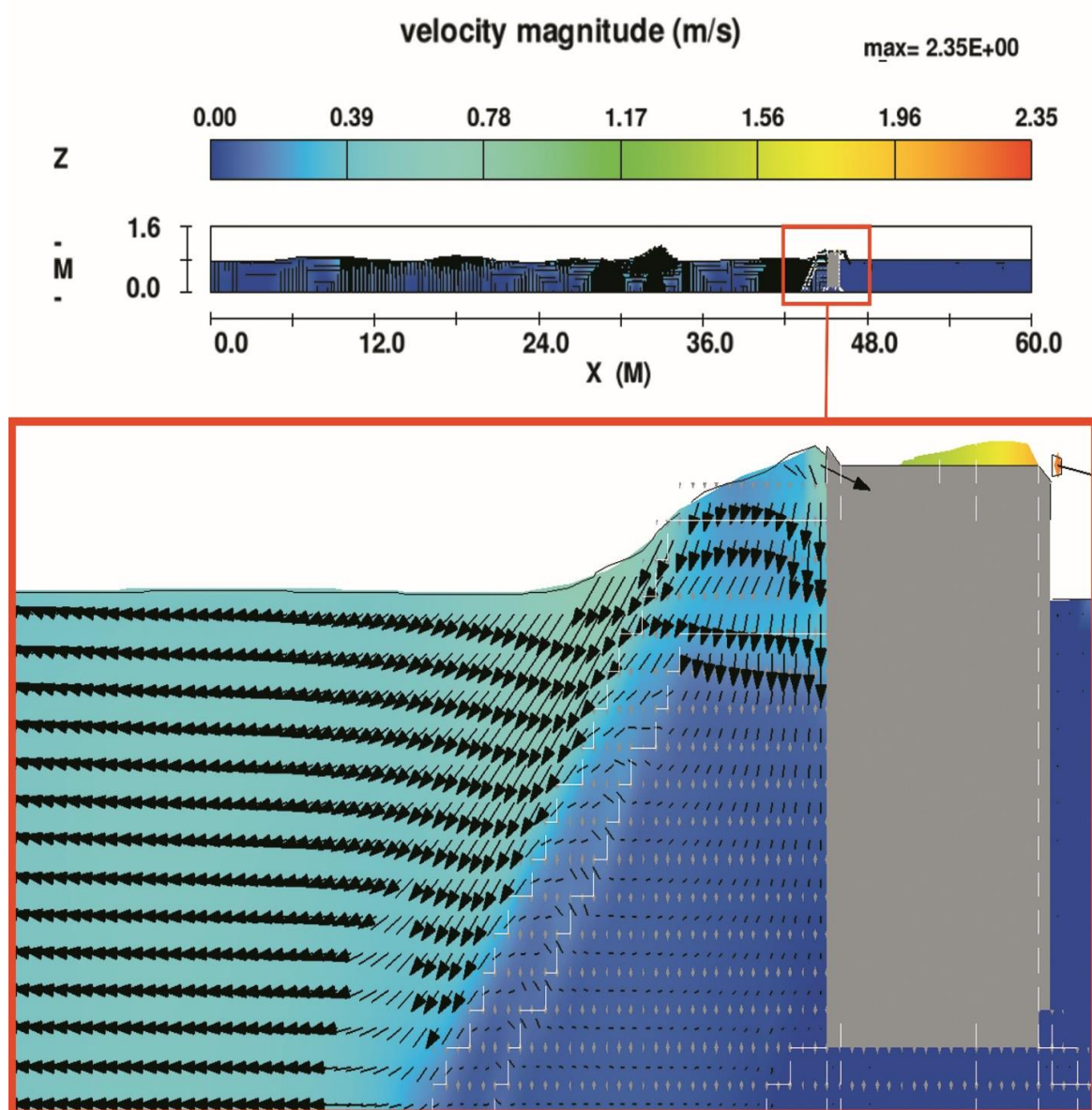
شکل (۴-۲۰) : مقادیر و بردار های سرعت جریان در لحظه اعمال نیرو به آرمور C (پایین روی موج - موج شکن سکویی حالت اول)



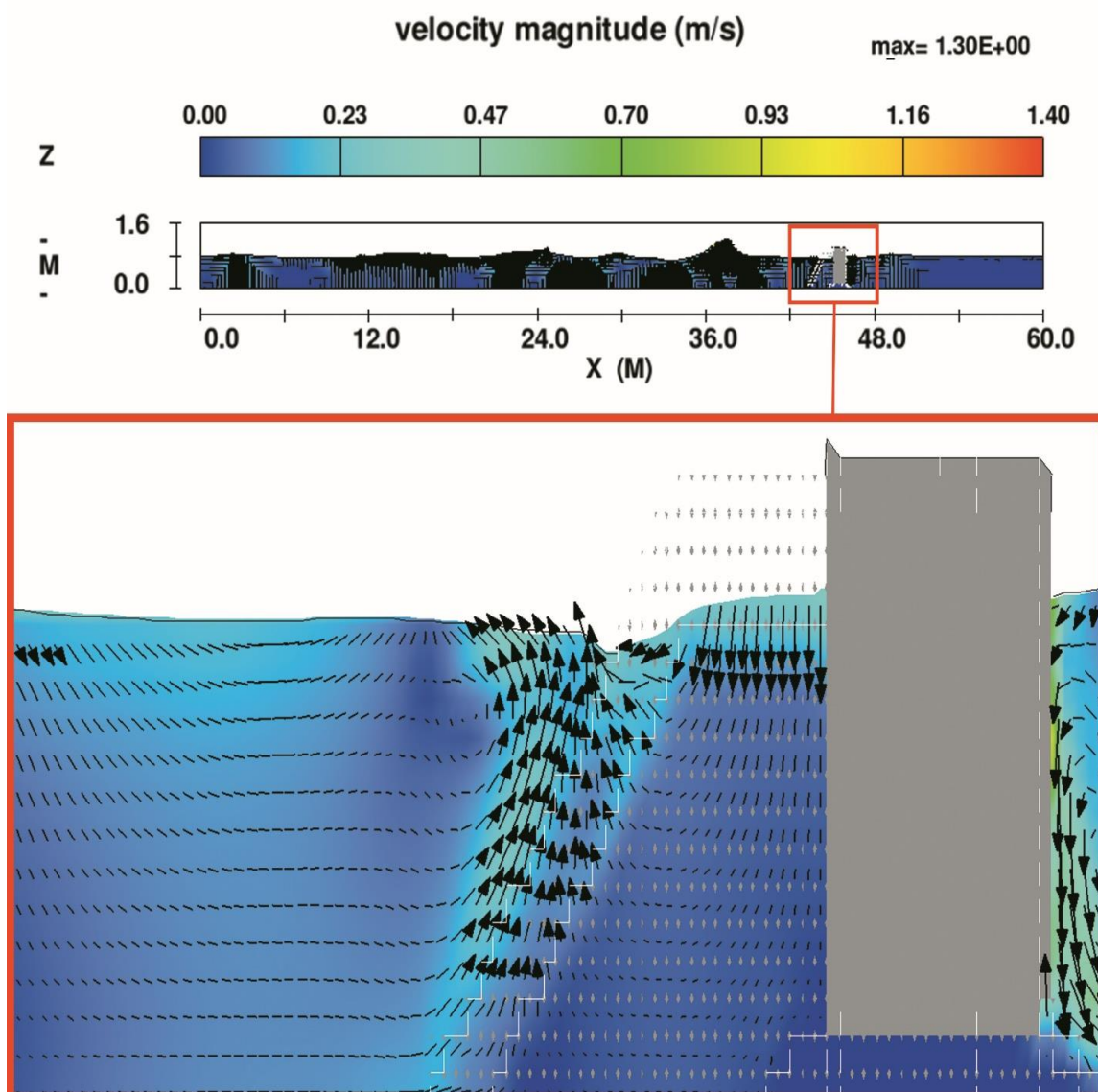
شکل (۴-۲۱): مقادیر و بردارهای سرعت جریان در لحظه اعمال نیرو به آرمور C (تراوش جریان - موج شکن سکویی حالت اول)



شکل (۴-۲۲): مقادیر و بردارهای سرعت جریان در لحظه اعمال نیرو به آرمور C (بالاروی موج - نفوذ جریان - موج شکن سکویی حالت دوم)



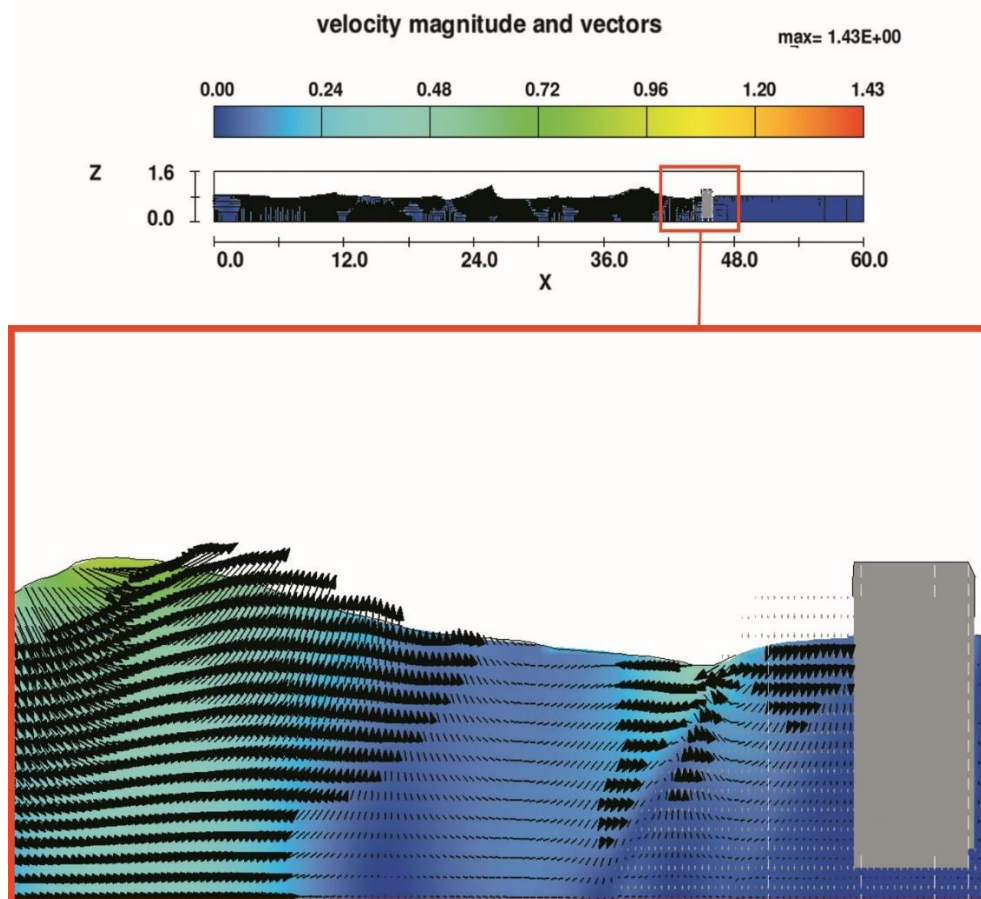
شکل (۴-۲۳): مقادیر و بردارهای سرعت جریان در لحظه اعمال نیرو به آرمور C (پایین روی موج - موج شکن سکویی حالت دوم)



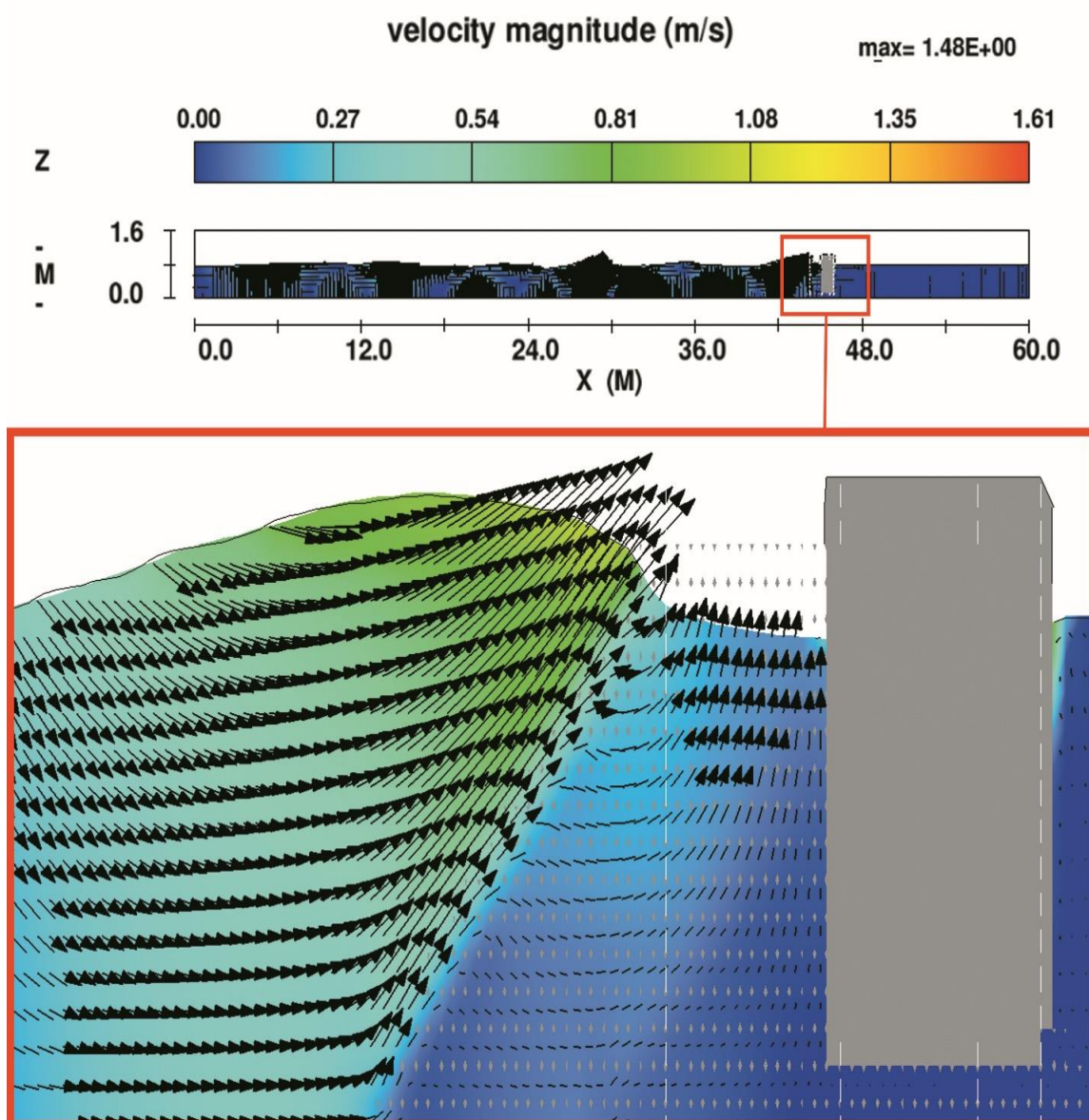
شکل (۴-۲۴): مقادیر و بردارهای سرعت جریان در لحظه اعمال نیرو به آرمور C (تراوش جریان - موج شکن سکویی حالت دوم)

همانطور که در نمودار (۴-۲۵) مشاهده می شود، در موج شکن سکویی مرکب حالت سوم، نیروی ناشی از بالاروی موج باعث جابه جایی آرمور C شده است. این در صورتی است که با توجه به نمودار (۴-۲۳)، نیروی عمود بر سطح نیز به این جابجایی کمک کرده است. علت افزایش نیروی عمود بر سطح هنگام بالاروی موج، این است که زمانی موج قبلی در حال پایین روی است به داخل موج بعدی (موج منتشرشده) فرو می رود. با شروع بالاروی موج منتشر شده، میدان سرعت جریان به صورت ناگهانی

تغییر می کند و نتیجه آن ایجاد نیروی عمود بر سطح به سمت خارج موج شکن است. شکل (۴-۲۵) تغییر ناگهانی میدان سرعت جریان را نشان می دهد. با افزایش نیروی وارد بر سطح در اثر تغییر ناگهانی میدان سرعت جریان و بالاروی موج، سنگ آرمور C در حالت سوم موج شکن سکویی مرکب جابجا می شود. شکل (۴-۲۶) نمایی از مقادیر و بردارهای سرعت جریان، هنگام جابجایی آرمور C در موج شکن سکویی حالت سوم را نشان می دهد.



شکل (۴-۲۵): تغییرات ناگهانی میدان سرعت جریان و افزایش نیروی عمود بر سطح آرمور C (موج شکن سکویی حالت سوم)



شکل (۴-۲۶) : مقادیر و بردار های سرعت جریان در لحظه جابجایی آرمور C (بالاروی موج - موج شکن سکویی حالت سوم)

۵-۴- جمع بندی و نتیجه گیری

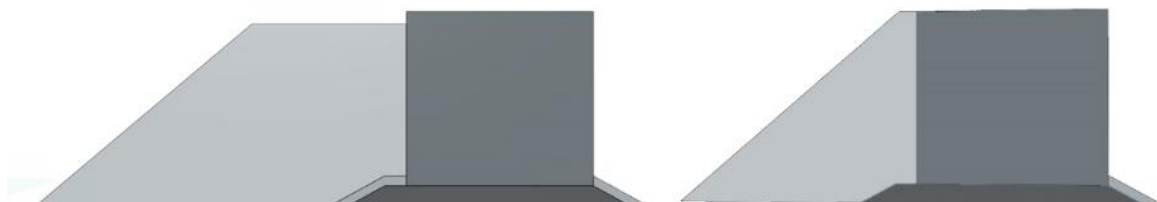
نتایج صحت سنجی بیان شده در این فصل، نشان دهنده توانایی و کارایی قابل قبول مدل عددی Flow3D در مدلسازی فشار، روگذری و نیروهای وارد بر آرمور موج شکن سکویی مرکب می باشد. آرمور A در بخش انتهایی سکوی موج شکن سکویی مرکب، دچار جابجایی نشده است. همچنین حرکت سنگ های آرمور در موج شکن سکویی مرکب در فاصله ماکزیمم بالاروی (آرمور B در ابتدای سکوی موج شکن) و پایین روی موج (آرمور C واقع بر روی شیب سکو) صورت گرفته است. در هر کدام از حالت های موج شکن سکویی مرکب، یک سنگ آرمور جابجا شده است و بیشترین جابجایی مربوط به سنگ آرمور B می باشد. در حالت دوم موج شکن سکویی مرکب، بیشترین نیرو به آرمورها وارد شده است. همچنین کمترین میزان نیرو ها، به آرمورهای حالت سوم موج شکن سکویی مرکب وارد شده است. با توجه به تحلیل نتایج نیرو های وارد بر موج شکن سکویی مرکب، موج شکن سکویی حالت سوم، پیشنهاد می شود.

فصل ۵

تحليل نتایج

۱-۵-مقدمه

مدلسازی عددی موج شکن سکویی مرکب، شامل سه حالت می باشد. موج شکن های کیسونی افقی^۱ از نظر چینش مصالح جلوی کیسون به موج شکن های سکویی مرکب شباهت دارند. با این تفاوت که در موج شکن های سکویی مرکب از سکو (شکل پذیر و شکل ناپذیر) استفاده شده است. شکل (۱-۵) مقایسه موج شکن سکویی مرکب و موج شکن کیسونی افقی را نشان می دهد.

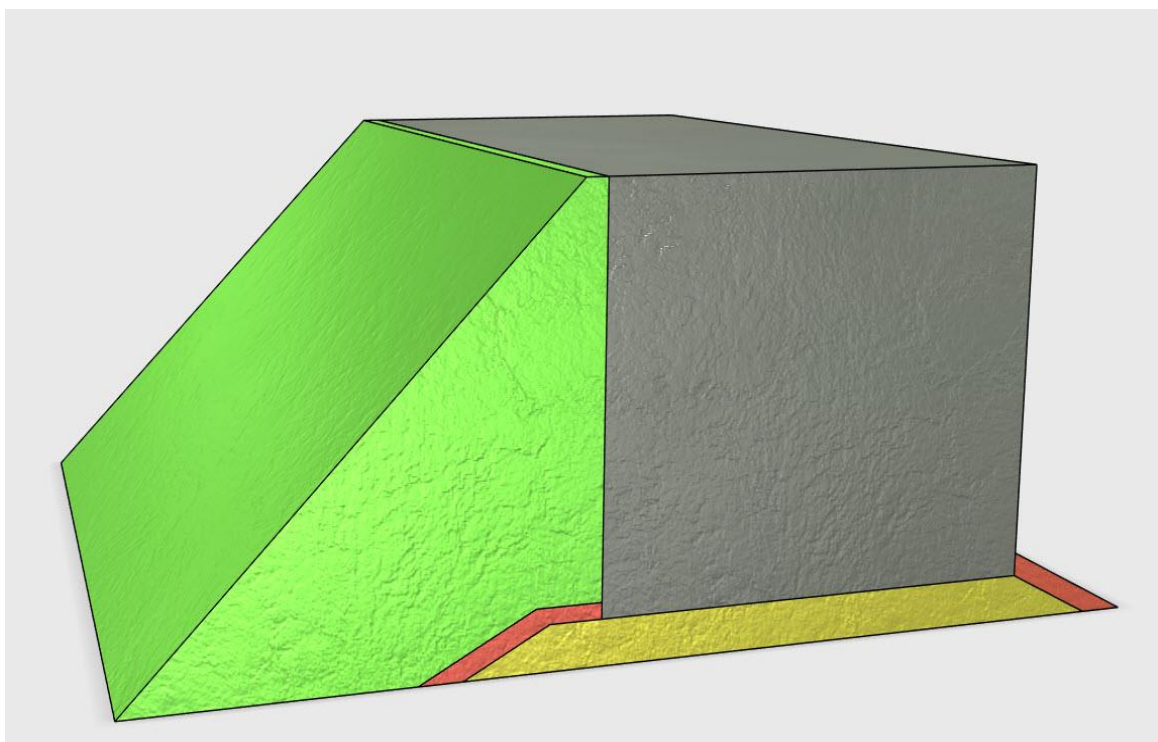


شکل (۱-۵) : نمایی از موج شکن کیسونی افقی (سمت راست) و موج شکن سکویی مرکب (سمت چپ)

به منظور مقایسه موج شکن سکویی مرکب با موج شکن کیسونی افقی، به مدلسازی موج شکن کیسونی افقی پرداخته خواهد شد. مقایسه صورت گرفته در زمینه فشار وارد بر کیسون و روگذری ناشی از برخورد امواج می باشد و عملکرد این دو موج شکن مورد ارزیابی قرار گرفته است. لازمه بررسی رفتار این دو موج شکن در موارد بیان شده وجود شرایط هندسی و محیطی مشابه است. در جدول (۱-۵) مقادیر پارامتر های هندسی برای موج شکن کیسونی افقی به همراه پارامتر های محیطی شامل ارتفاع مشخصه موج و پریود پیک آورده شده است. در شکل (۲-۵) نمایی از موج شکن کیسونی افقی قابل مشاهده است. رنگ سبز بیانگر سنگ آرمور و رنگ قرمز نشان دهنده ی لایه فیلتر است. همچنین رنگ زرد،

¹ Horizontally Caisson Breakwater

مصالح زیرسازی کیسون را نشان می دهد. لازم به ذکر است ضرایب درگ A و B برای سنگ آرمور، سنگدانه فیلتر و مصالح زیرسازی کیسون در مدلسازی محیط متخلخل مدل عددی موج شکن کیسونی افقی با توجه به یکسان بودن قطر اسمی سنگ آرمور، فیلتر و مصالح زیرسازی کیسون با حالت اول و دوم موج شکن سکویی مرکب مطابق جدول (۲-۴) در بخش ۳-۲-۴ فصل ۴ می باشد.



شکل (۲-۵) : نمایی از موج شکن کیسونی افقی با لایه آرمور سبز رنگ ، لایه فیلتر قرمز و مصالح زیرسازی کیسون زرد

جدول (۵-۱) : مقادیر پارامترهای هندسی و محیطی مورد استفاده در مدل سازی عددی موج شکن کیسونی افقی

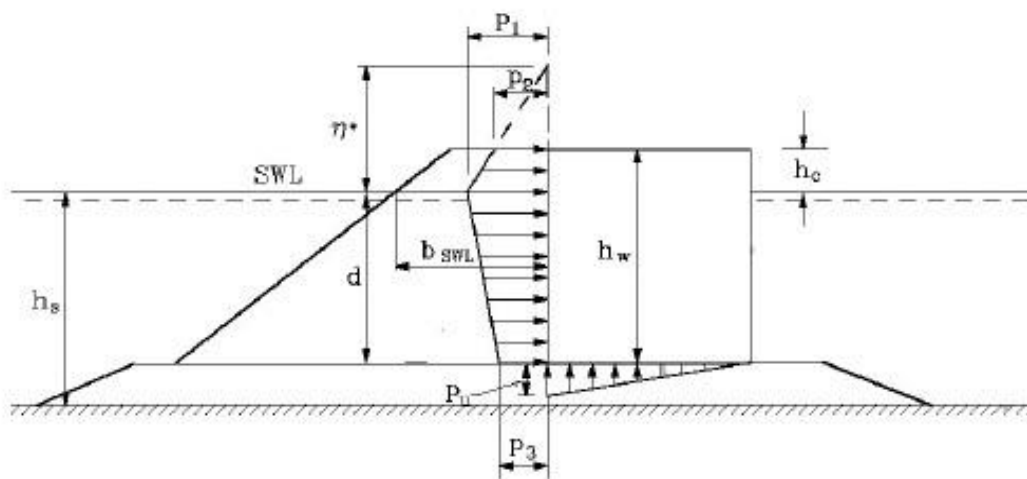
پارامترهای هندسی	
شیب مصالح آرمور	۱:۱/۲۵
تراز مصالح آرمور نسبت به سطح ایستابی (متر)	۰/۲
تراز تاج موج شکن نسبت به سطح ایستابی (متر)	۰/۲
عرض تاج موج شکن (متر)	۱/۰۴
قطر اسمی سنگ آرمور (متر)	۰/۱۳۵
قطر اسمی سنگدانه فیلتر (متر)	۰/۰۳۵
قطر اسمی زیرسازی کیسون (متر)	۰/۰۱
پارامترهای محیطی	
ارتفاع مشخصه موج (متر)	۰/۱۸
پریود پیک (ثانیه)	۵
مشخصات مدل عددی موج شکن کیسونی افق	
موج	نامنظم (جانسواپ)
مدل آشفتگی	RNG
درصد تخلخل آرمور	۰/۵
درصد تخلخل فیلتر	۰/۵
مدت زمان شبیه سازی مدل عددی (ثانیه)	۱۶۰
مدت زمان مدلسازی (ساعت)	۱۴
مقدار خطای مدلسازی (درصد)	٪ ۸/۷۱

۵-۲- ارزیابی و تحلیل نتایج مدل عددی موج شکن سکویی مرکب

در ادامه به بررسی و ارزیابی نتایج مدلسازی عددی موج شکن سکویی مرکب شامل فشار و روگذری ناشی از امواج پرداخته می شود. همچنین با ارزیابی نتایج مدل عددی موج شکن سکویی مرکب با نتایج حاصل از مدلسازی عددی موج شکن کیسونی و کیسون افقی، به جمع بندی و امتیاز دهی عملکرد به موج شکن سکویی مرکب پرداخته می شود. در آخر به نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات در خصوص فعالیت های پژوهشی آتی در زمینه طراحی موج شکن سکویی مرکب پرداخته می شود.

۵-۲-۱- ارزیابی و تحلیل نتایج فشار در موج شکن سکویی مرکب

طبق آیین نامه ارتش دریایی امریکا^۱ به منظور محاسبه فشار وارد بر کیسون موج شکن های کیسونی افقی؛ تانیموتو و همکاران^۲ (۱۹۷۶) مطالعات آزمایشگاهی بر تاثیر قرار گیری آرمور در جلوی کیسون انجام دادند. [۴۴ و ۴۱] نتیجه این تحقیقات ارائه ضرایب اصلاح رابطه تعمیم یافته گودا و همکاران (۱۹۷۴) بوده است. [۴۵] ضرایب اصلاحی λ_1 ، λ_2 ، λ_3 به منظور اصلاح رابطه تعمیم یافته گودا و همکاران (۱۹۷۴) در رابطه (۵-۹) و (۵-۱۰) آورده شده است. [۴۱] همچنین در شکل (۵-۳) نمایی از موج شکن سکویی افقی و فشار وارد بر کیسون آن قابل مشاهده است.



شکل (۵-۳): فشار های وارد بر کیسون موج شکن کیسونی افقی

¹ CEM

² Tanimoto et al (1976)

در رابطه گودا و همکاران (۱۹۷۴) با فرض توزیع خطی فشار موج با حداکثر مقدار P_1 ؛ در تراز آب ساکن (کیلوپاسکال) ، فشار صفر در ارتفاع η^* ؛ بالای تراز آب ساکن (متر) ، مقدار فشار P_2 ؛ در تاج کیسون (کیلوپاسکال) ، مقدار فشار P_3 ؛ در پنجه جلوی کیسون (کیلوپاسکال) و P_u فشار بالابرنده ؛ زیر کیسون (کیلوپاسکال)؛ روابط (۱-۵) ، (۲-۵) ، (۳-۵) ، (۴-۵) و (۵-۵) ارائه شده اند:

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos\beta)\lambda_1 H_D \quad (1-5)$$

$$p_1 = 0.5(1 + \cos\beta)(\alpha_1\lambda_1 + \alpha_2\lambda_2\cos^2\beta)\rho_0 g H_D \quad (2-5)$$

$$p_2 = \begin{cases} \left(1 - \frac{h_c}{\eta^*}\right)p_1 & \text{for } \eta^* > h_c \\ 0 & \text{for } \eta^* \leq h_c \end{cases} \quad (3-5)$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1 \quad (4-5)$$

$$p_u = 0.5(1 + \cos\beta)\alpha_1\alpha_3\lambda_3\rho_0 g H_D \quad (5-5)$$

که در آن ها:

H_D : ارتفاع موج طراحی (m)

β : زاویه بین خط عمود بر دیواره قائم و جهت حرکت موج (در این مطالعه صفر است)

ρ_0 : چگالی آب (t/m^3)

g : شتاب گرانش (m/s^2)

h_c : تراز تاج تا سطح ایستابی (m)

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ به ترتیب در روابط (۶-۵) ، (۷-۵) و (۸-۵) آورده شده اند:

$$\alpha_1 = 0.6 + 0.5 \left[\frac{4 \pi h_s / L}{\sinh(4 \pi h_s / L)} \right]^2 \quad (6-5)$$

$$\alpha_2 = \text{مقدار کوچکتر} \quad \frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H_{\text{design}}}{d} \right)^2 \quad \text{و} \quad \frac{2d}{H_{\text{design}}} \quad (7-5)$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h_w - h_c}{h_s} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2 \pi h_s / L)} \right] \quad (8-5)$$

که در آن ها:

h_s : عمق آب جلوی سازه (m)

L : طول موج در عمق آب h_s (m)

h_b : عمق آب در فاصله ی ۵ برابری ارتفاع مشخصه موج، جلوی کیسون (m)

d : عمق آب از سطح ایستابی تا پنجه ی جلوی کیسون (m)

h_w : ارتفاع کیسون (m)

ضرایب اصلاحی λ_1 ، λ_2 ، λ_3 ، به منظور اصلاح رابطه تعمیم یافته گودا و همکاران (۱۹۷۴):

$$\lambda_1 = \lambda_3 = \begin{cases} 1.0 & H_{\text{design}}/h_s < 0.3 \\ 1.2 - 0.67 \left(\frac{H_{\text{design}}}{h_s} \right) & 0.3 \leq H_{\text{design}}/h_s : \\ 0.8 & H_{\text{design}}/h_s \end{cases} \quad (9-5)$$

$$\lambda_2 = 0 \quad (10-5)$$

در جدول (۲-۵) فشار های وارد بر کیسون موج شکن کیسونی افقی، محاسبه شده توسط روابط گودا برای موج شکن کیسونی افقی آورده شده است. تمامی مقادیر فشار های ذکر شده به کیلوپاسکال می باشند.

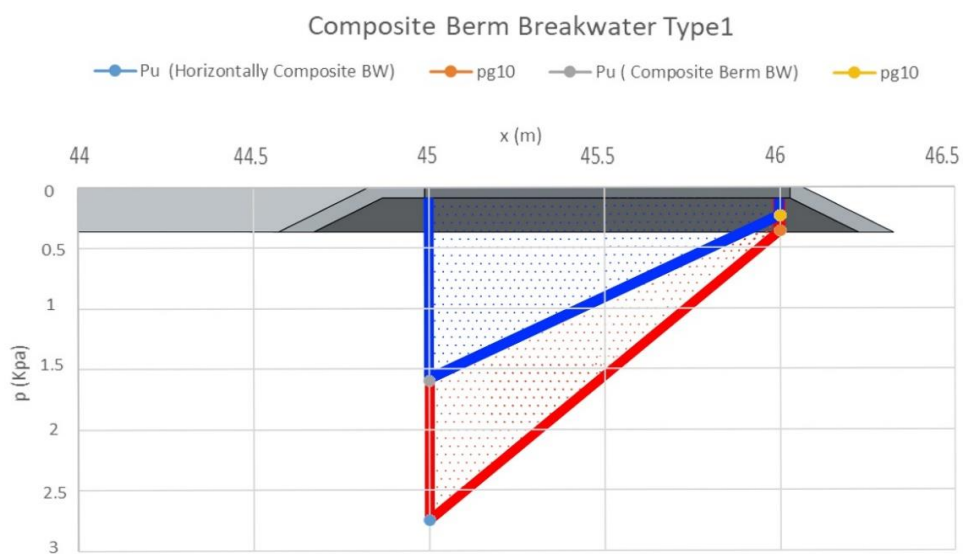
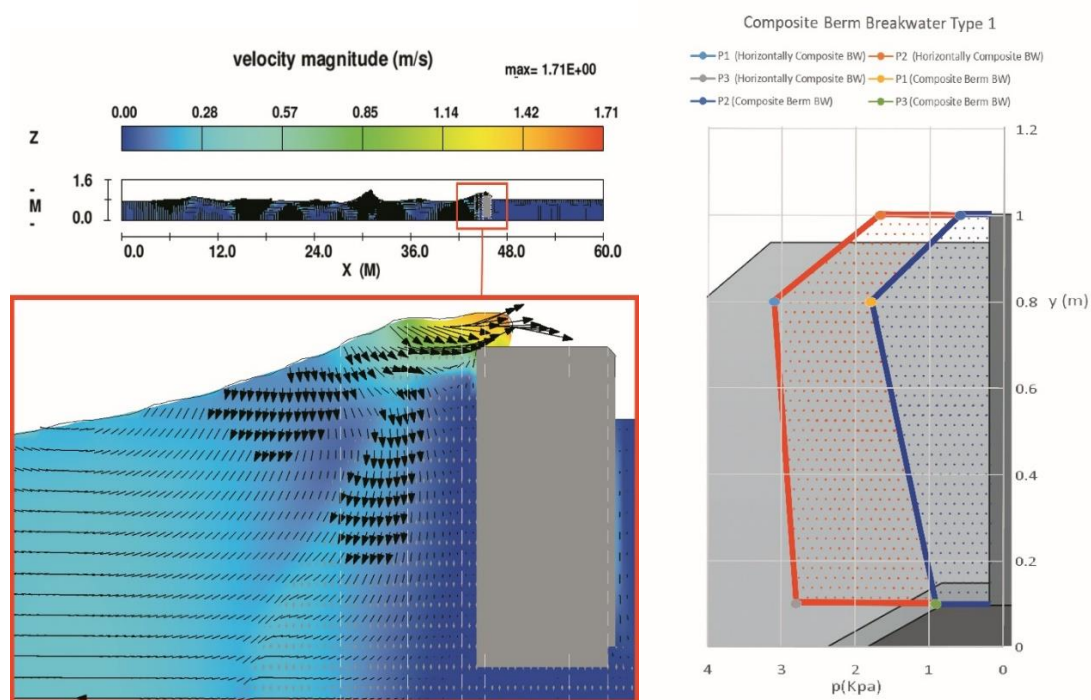
جدول (۲-۵) مقادیر فشار بدست آمده از رابطه گودا (موج شکن کیسونی افقی)

P_u (Kpa)	P_3 (Kpa)	P_2 (Kpa)	P_1 (Kpa)
۲/۷۵	۲/۸	۱/۶۸	۳/۱۱

نتایج مقادیر فشار حداکثری اندازه گیری شده (P_u و P_3, P_2, P_1) بر کیسون، در سه حالت موج شکن سکویی مرکب (نمودار آبی) نسبت به نتایج فشار بدست آمده از رابطه گودا و همکاران (۱۹۷۴) برای موج شکن کیسونی افقی (نمودار قرمز) در شکل های (۴-۵)، (۵-۵ الف)، (۵-۵ ب) و (۶-۵) آورده شده است. همچنین در این شکل ها، مقادیر و بردارهای سرعت جریان در لحظه فشار حداکثری، به ترتیب برای حالت اول، دوم و سوم موج شکن سکویی مرکب نشان داده شده است. فشار سنج شماره ۱۰ نشان دهنده آخرین فشار سنج زیر کیسون، در مدل موج شکن سکویی مرکب است. محل این فشار سنج در شکل (۴-۵) و (۶-۴) فصل ۴ نشان داده شده است.

الف) موج شکن سکویی مرکب حالت اول

در موج شکن سکویی مرکب حالت اول نسبت به موج شکن کیسونی افقی؛ در P_1 (حداکثر فشار وارد بر کیسون در تراز آب) مقدار فشار بدست آمده کاهش ۴۲/۴٪، در P_2 (حداکثر فشار در تاج کیسون) مقدار فشار بدست آمده کاهش ۶۴٪ و در P_3 (حداکثر فشار در پنجه کیسون) کاهش ۶۷٪ و در P_u (فشار بالا برنده زیر کیسون) این مقدار فشار کاهش ۴۲/۱۸٪ را داشته است. نتایج بیان شده به صورت خلاصه در جدول (۳-۵) آورده شده است.



شکل (۴-۵) : مقایسه نتایج فشار حالت اول موج شکن سکویی مرکب با موج شکن کیسونی افقی به همراه میدان سرعت جریان (P1 ، P2 ، P3 و Pu)

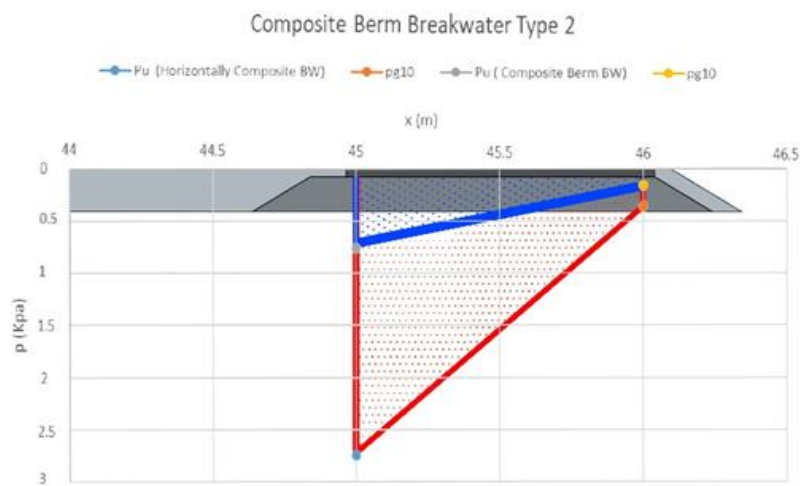
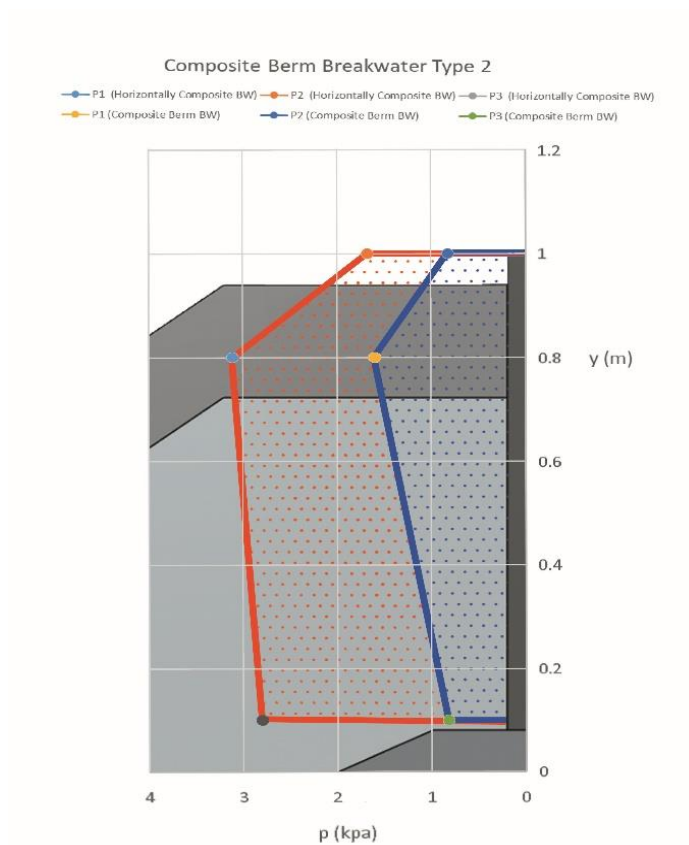
جدول (۳-۵): میزان فشار (P_1 ، P_2 ، P_3 و P_u) موج شکن سکویی حالت اول و درصد کاهش آن نسبت به موج شکن کیسونی افقی

فشار	P_1 (Kpa)	P_2 (Kpa)	P_3 (Kpa)	P_u (Kpa)
موج شکن سکویی حالت اول	۱/۷۹	۰/۵۹	۰/۹۱	۱/۵۹
درصد کاهش	% ۴۲/۴	% ۶۴	% ۶۴	% ۴۲/۱۸

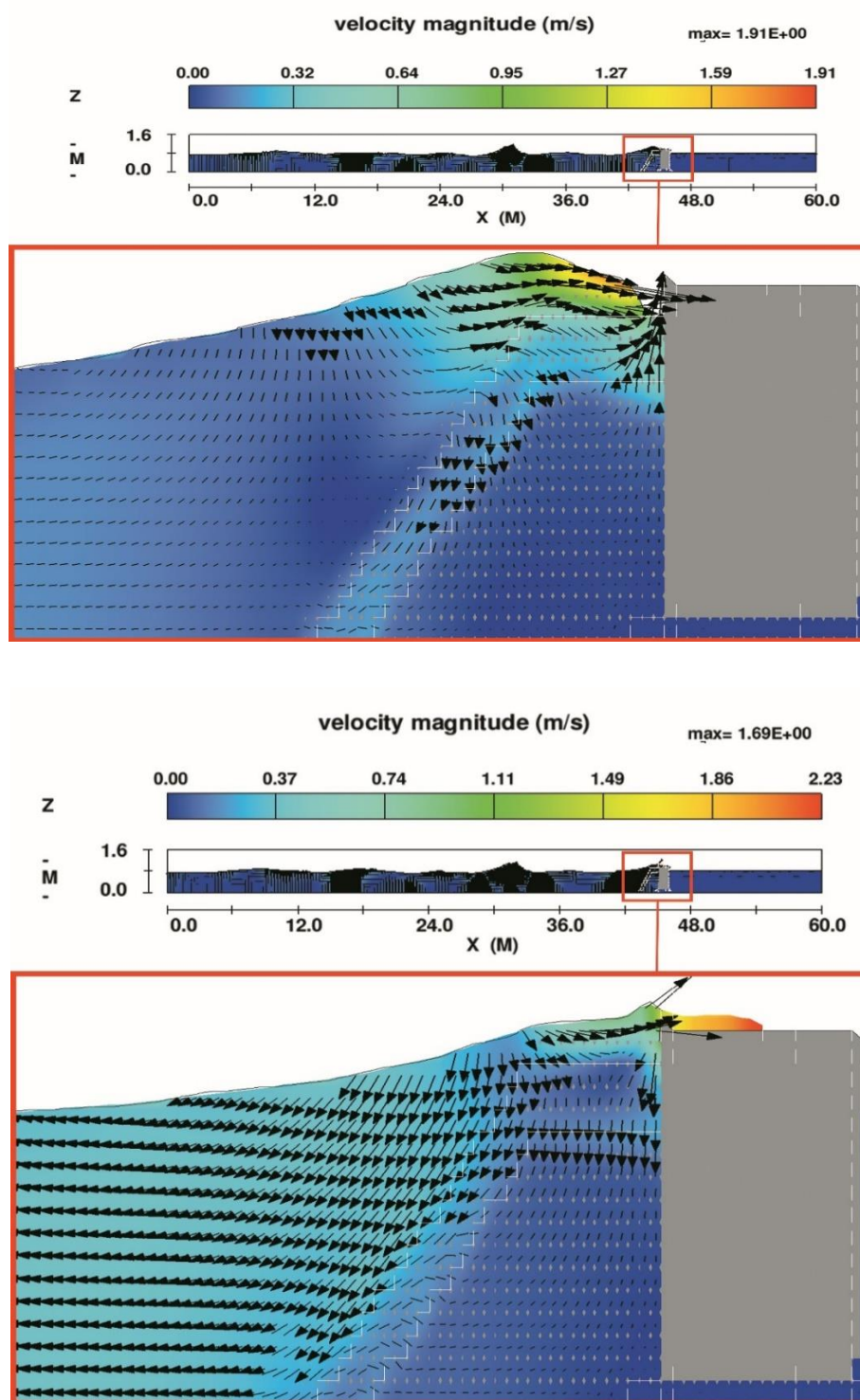
ب) موج شکن سکویی مرکب حالت دوم

در موج شکن سکویی مرکب حالت دوم نسبت به موج شکن کیسونی افقی؛ در P_1 (حداکثر فشار وارد بر کیسون در تراز آب) مقدار فشار بدست آمده کاهش ۴۴/۵۵٪، در P_2 (حداکثر فشار در تاج کیسون) مقدار فشار بدست آمده کاهش ۵۱/۷۸٪ و در P_3 (حداکثر فشار در پنجه کیسون) کاهش ۷۱/۰۷٪ و در P_u (فشار بالا برنده زیر کیسون) این مقدار فشار کاهش ۷۲/۴٪ را داشته است.

موج شکن سکویی مرکب حالت دوم در کاهش فشار وارد بر تاج کیسون (P_2) ضعیف ترین عملکرد را داشته است. بیشترین مقدار فشار بر روی تاج موج شکن سکویی مرکب مربوط به موج شکن سکویی مرکب حالت دوم می باشد. با بررسی میدان سرعت جریان در لحظه ی وقوع فشار حداکثری در تاج کیسون مشخص می شود که در این لحظه موج، دچار شکست شده و فشار ضربه ناشی از شکست موج، باعث افزایش مقدار فشار در تاج کیسون شده است. کمترین مقدار فشار بالابرنده در موج شکن سکویی مرکب، مربوط به حالت دوم موج شکن سکویی مرکب می باشد. نتایج به صورت خلاصه در جدول (۴-۵) آورده شده است.



شکل (۵-۵) : الف) مقایسه نتایج فشار حالت دوم موج شکن سکویی مرکب با موج شکن کیسونی افقی (P1 ، P2 ، P3 و P_u)



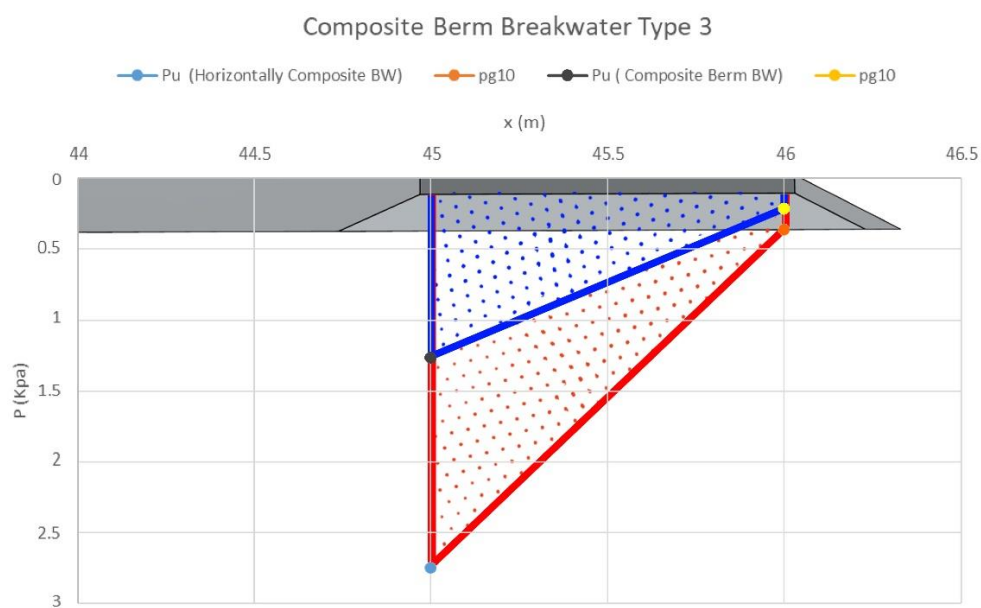
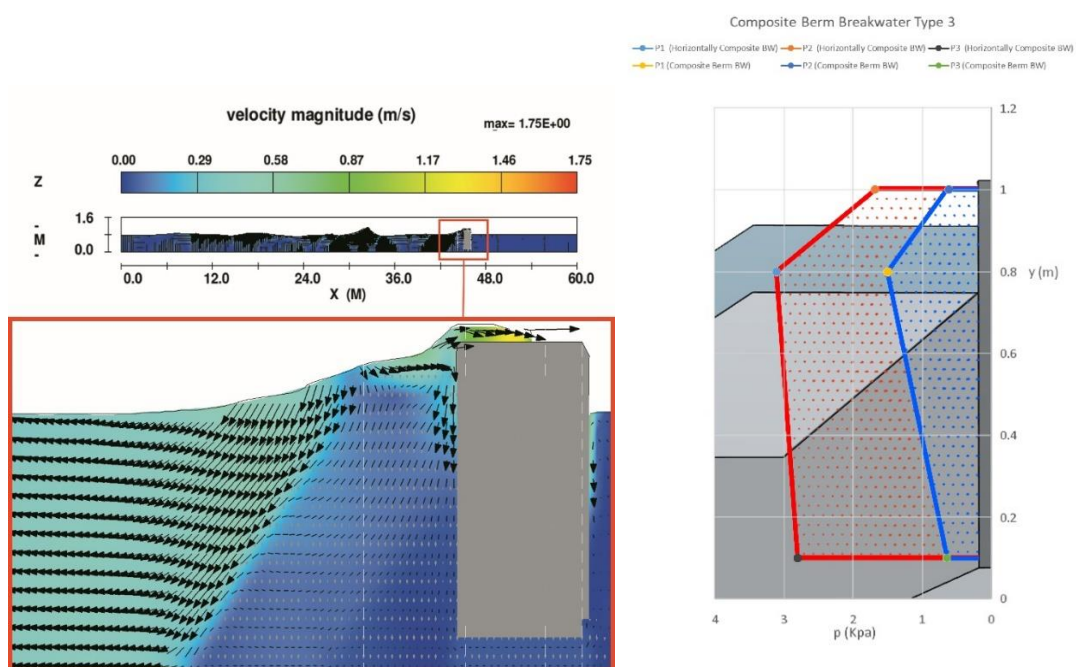
شکل (۵-۵) : (ب) مقادیر و بردار های سرعت جریان در حالت دوم موج شکن سکویی (فشار ضربه ناشی از شکست موج)

جدول (۴-۵): میزان فشار (P_u ، P_3 ، P_2 ، P_1) موج شکن سکویی حالت دوم و درصد کاهش آن نسبت به موج شکن کیسونی افقی

فشار	P_1 (Kpa)	P_2 (Kpa)	P_3 (Kpa)	P_u (Kpa)
موج شکن سکویی حالت دوم	۱/۶۰	۰/۸۱	۰/۸۱۸	۰/۷۵۹
درصد کاهش	% ۴۴/۵۵	% ۵۱/۷۸	% ۷۱/۰۷	% ۷۲/۴

ج) موج شکن سکویی مرکب حالت سوم

در موج شکن سکویی مرکب حالت سوم نسبت به موج شکن کیسونی افقی در P_1 (حداکثر فشار وارد بر کیسون در تراز آب) مقدار فشار بدست آمده کاهش ۵۲/۰۹٪، در P_2 (حداکثر فشار در تاج کیسون) مقدار فشار بدست آمده کاهش ۶۳/۰۷٪ و در P_3 (حداکثر فشار در پنجه کیسون) کاهش ۷۶/۰۹٪ و در P_u (فشار بالا برنده زیر کیسون) این مقدار فشار کاهش ۵۳/۹۲٪ را داشته است. کاهش فشار وارد بر کیسون باعث کاهش ضخامت دیواره های بتنی کیسون و در ادامه کاهش هزینه های ساخت موج شکن خواهد شد. سکوی چند لایه (ایسلندی) موج شکن سکویی حالت سوم، باعث کاهش فشار وارد بر کیسون شده است. در جدول (۵-۵) نتایج بیان شده به صورت مختصر آورده شده است.

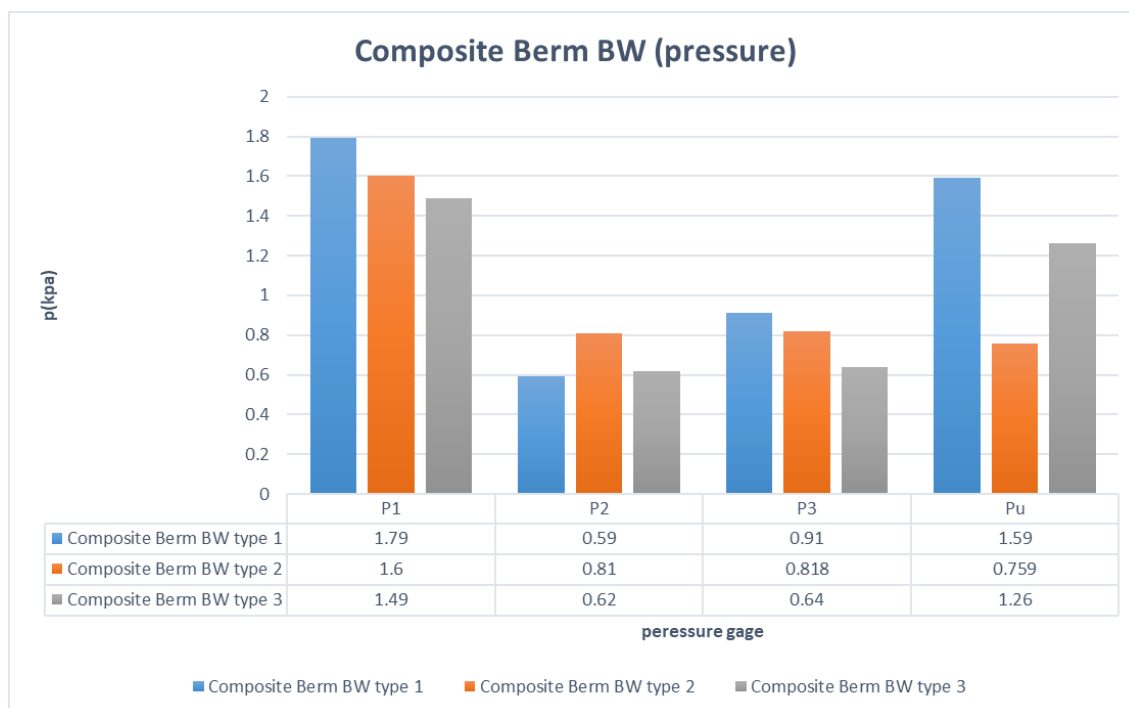


شکل (۵-۶) : مقایسه نتایج فشار حالت سوم موج شکن سکویی مرکب با موج شکن کیسونی افقی به همراه میدان سرعت جریان (P1 ، P2 ، P3 و Pu)

جدول (۵-۵): میزان فشار (P_1 ، P_2 ، P_3 و P_u) موج شکن سکویی حالت سوم و درصد کاهش آن نسبت به موج شکن کیسونی افقی

فشار	P_1 (Kpa)	P_2 (Kpa)	P_3 (Kpa)	P_u (Kpa)
موج شکن سکویی حالت سوم	۱/۴۹	۰/۶۲	۰/۶۴	۱/۲۶
درصد کاهش	% ۵۲/۰۹	% ۶۳/۰۷	% ۷۶/۰۹	% ۵۳/۹۲

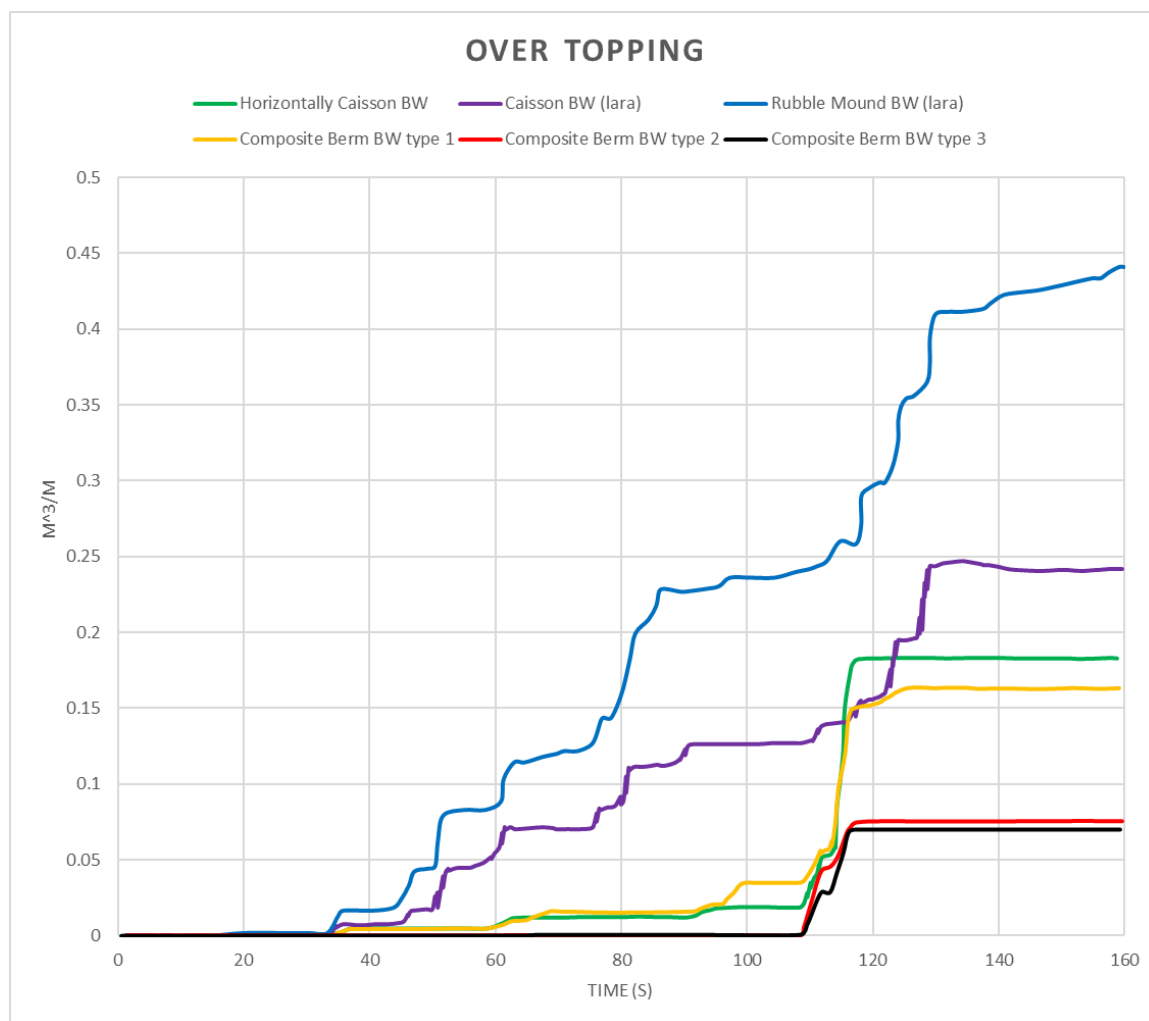
بیشترین فشار وارد بر کیسون در موج شکن سکویی مرکب و موج شکن کیسونی افقی مربوط به فشار در تراز سطح آب (P_1) است که در حالت سوم موج شکن سکویی، این فشار بیشترین کاهش را داشته است. حالت سوم موج شکن سکویی مرکب در کاهش حداکثر فشار در تاج کیسون (P_2)، نسبت به حالت دوم عملکرد مناسب تری داشته است و نسبت به حالت اول عملکردی مشابه داشته است. همچنین حالت سوم موج شکن سکویی مرکب در زمینه کاهش فشار وارد بر پنجه کیسون (P_3)، نسبت به حالت اول و دوم مناسب ترین عملکرد را دارا می باشد. در زمینه فشار بالابرنده زیر کیسون (P_u)، حالت سوم موج شکن سکویی مرکب نیز نسبت به حالت اول کاهش مناسبی را داشته است. با توجه به نتایج بیان شده در زمینه فشار وارد بر موج شکن سکویی مرکب، موج شکن سکویی مرکب حالت سوم توصیه خواهد شد. نمودار (۵-۱) مقایسه نتایج فشار (P_1 ، P_2 ، P_3 و P_u) در سه حالت موج شکن سکویی مرکب را نشان می دهد.



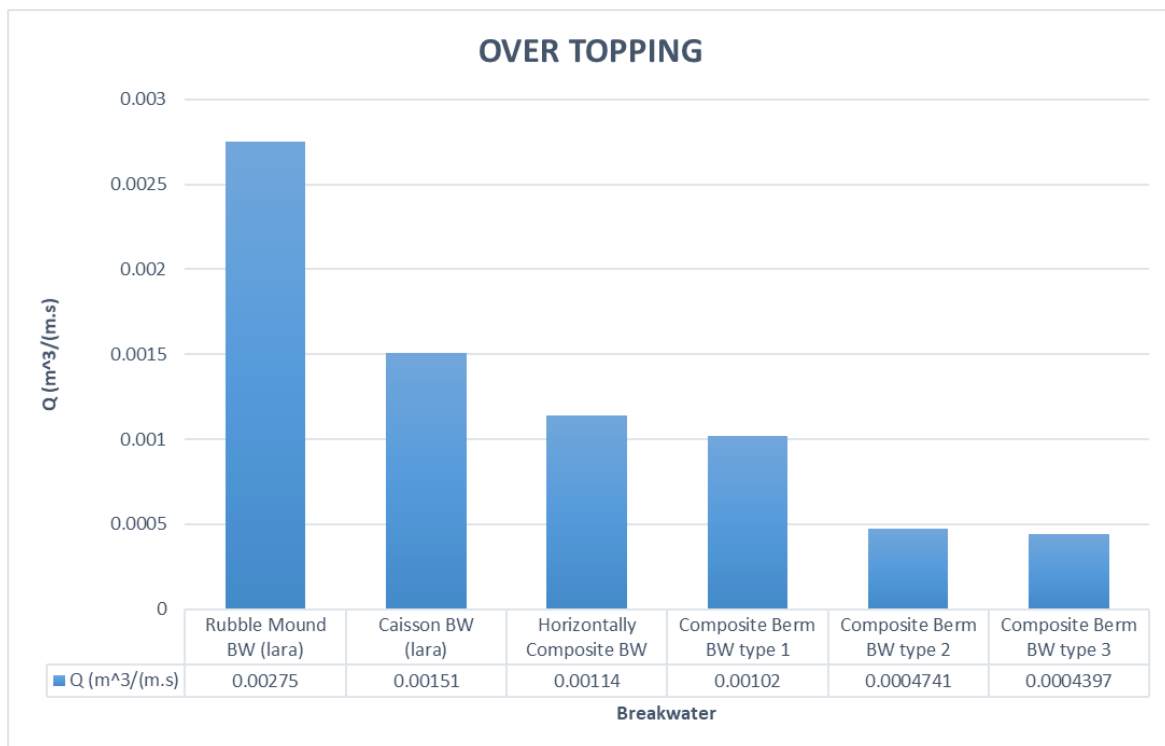
نمودار (۵-۱) : مقایسه نتایج فشار در مدل عددی موج شکن سکویی مرکب

۲-۲-۵- ارزیابی و تحلیل نتایج روگذری امواج در موج شکن سکویی مرکب

روگذری امواج در نتیجه بالاروی امواج بر شیب جلویی موج شکن و عبور آب از روی تاج آن اتفاق می افتد. روگذری در واحد طول سازه رخ می دهد و واحد روگذری امواج ($m^3/(m.s)$) می باشد. با مشاهده نمودارهای سرعت جریان در ارزیابی فشار وارد بر کیسون موج شکن سکویی مرکب، مشخص شد که روگذری امواج در بروز بیشترین فشار وارد به کیسون موثر است. برای مشخص شدن اینکه موج شکن سکویی مرکب چه مقدار در کاهش روگذری ناشی از امواج موثر است، در این بخش به ارزیابی عملکرد موج شکن سکویی مرکب در رابطه با روگذری امواج پرداخته خواهد شد. در نمودار (۵-۲) سه حالت موج شکن سکویی مرکب با موج شکن کیسونی افقی، موج شکن کیسونی و موج شکن توده سنگی مقایسه می شوند و همچنین در نمودار (۵-۳) میزان نرخ روگذری در هر ثانیه برای هر سه حالت موج شکن سکویی نسبت به موج شکن کیسونی افقی، کیسونی و توده سنگی بیان شده است.

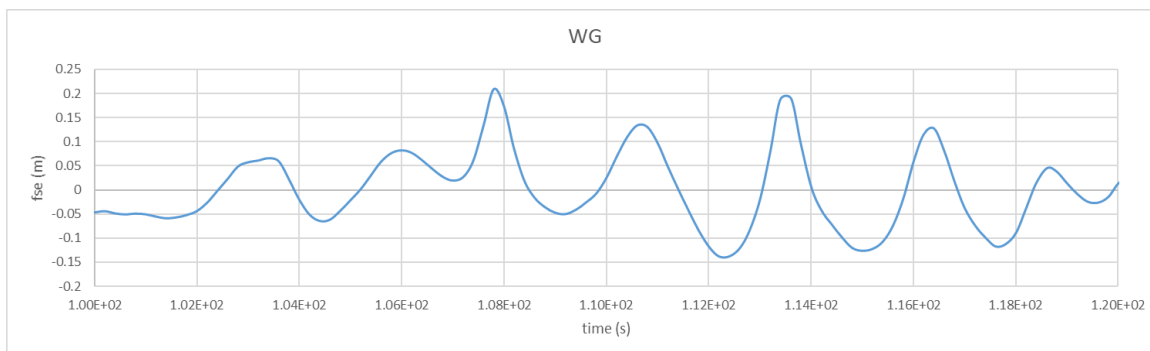


نمودار (۵-۲): مقایسه روگذری ناشی از امواج در طول مدلسازی (۱۶۰ ثانیه) برای سه حالت موج شکن سکویی با موج شکن کیسونی افقی، کیسونی و توده سنگی



نمودار (۳-۵): میزان نرخ روگذری در هر ثانیه برای سه حالت موج شکن سکویی نسبت به موج شکن کیسونی افقی، کیسونی و توده سنگی

در نمودار (۲-۵) مشاهده می شود که روگذری برای موج شکن توده سنگی و موج شکن کیسونی به صورت پلکانی در حال افزایش است، به طوری که شروع روگذری از ثانیه ۳۶ آغاز شده است. این در حالی است که نمودار روگذری موج شکن کیسونی افقی و موج شکن سکویی مرکب در ثانیه ۱۰۹ شروع روگذری را نشان می دهد و تمامی روگذری در طول مدلسازی، مربوط به موجی با ارتفاع حداکثری می باشد. در نتیجه باعث ایجاد یک پله در نمودار (۲-۵) شده است. در موج شکن سکویی مرکب در لحظه ی وقوع روگذری برای بررسی این موضوع، از یک موج نگار در پای سازه (قبل از شروع سکو) استفاده شده است و به صورت سری زمانی تغییرات سطح تراز آب را نشان می دهد. در نمودار (۴-۵) می توان تغییرات سطح تراز آب را قبل از وقوع بیشترین روگذری، در موج شکن سکویی مرکب مشاهده کرد. این موج نگار تغییرات سطح آب در ۱۰ ثانیه قبل و بعد روگذری را نشان می دهد.

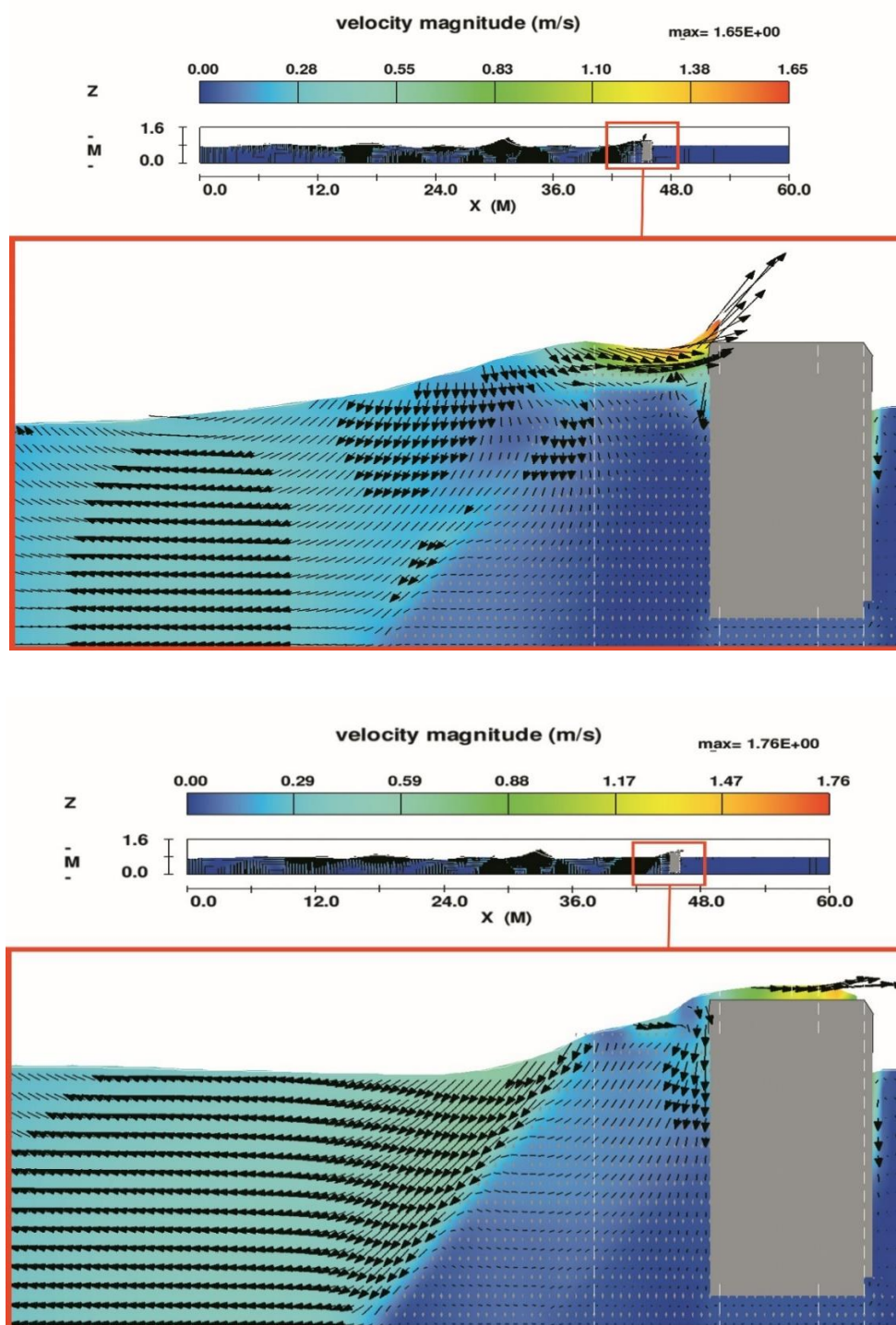


نمودار (۴-۵): تغییرات سطح تراز آب موج شکن سکویی مرکب در زمان رخداد بیشترین روگذری

در موج شکن سکویی مرکب، با بررسی نمودار (۴-۵) قبل از وقوع بیشترین روگذری، می توان دریافت که قبل از وقوع روگذری در ثانیه ۱۰۸، بلندترین موج در طول مدلسازی، با ارتفاع ۲۱ سانت به موج شکن برخورد کرده است. این موج با بالاروی از سکوی موج شکن سکویی مرکب، در ثانیه ۱۰۹ از روی کیسون موج شکن سکویی عبور کرده است و سبب ایجاد روگذری در موج شکن سکویی مرکب شده است. در صورتی که امواج دیگر در طول مدل سازی موج شکن سکویی مرکب، باعث ایجاد رو گذری نشده اند.

حالت سوم موج شکن سکویی مرکب (ایسلندی)، بیشترین تاثیر را در کاهش روگذری داشته است. بررسی میدان سرعت جریان در حالت سوم موج شکن سکویی مرکب نشان می دهد که موج بر روی سکو دچار شکست شده است. روگذری در حالت سوم موج شکن سکویی مرکب، ناشی از پاشش^۱ موج است و مربوط به هنگامی است که امواج روی دیواره کیسون در تاج می شکنند. این پاشش توسط اصابت شیرجه موج در حال شکست با کیسون بوجود آمده است. شکل (۷-۵) مقادیر و بردارهای سرعت جریان در لحظه روگذری برای موج شکن سکویی مرکب در حالت سوم را نشان می دهد.

^۱ Splash



شکل (۷-۵): مقادیر و بردارهای سرعت جریان در لحظه روگذری (موج شکن سکویی مرکب - حالت سوم)

نمودار (۳-۵) نشان دهنده میزان نرخ روگذری امواج در هر ثانیه است. بیشترین نرخ روگذری برای موج شکن توده سنگی و کمترین نرخ برای حالت سوم موج شکن سکویی مرکب می باشد. میزان نرخ روگذری برای حالت اول موج شکن سکویی مرکب نسبت به موج شکن کیسونی افقی کاهش ۱۰/۵۲٪، برای حالت دوم موج شکن سکویی مرکب نسبت به موج شکن کیسونی افقی کاهش ۵۸/۴۱٪ و برای حالت سوم موج شکن سکویی مرکب نسبت به موج شکن کیسونی افقی کاهش ۶۱/۴۲٪ داشته است. با توجه به نتایج و تحلیل های صورت گرفته در رابطه با روگذری موج شکن سکویی مرکب، حالت سوم موج شکن سکویی مرکب (ایسلندی) کمترین میزان روگذری ناشی از امواج را داشته است که استفاده از این حالت موج شکن سکویی مرکب پیشنهاد می شود. نتایج بیان شده به اختصار در جدول (۵-۶) آورده شده اند.

جدول (۵-۶): درصد کاهش میزان نرخ روگذری امواج در هر ثانیه برای موج شکن سکویی مرکب نسبت به موج شکن کیسونی افقی

۰/۰۰۱۱۴			موج شکن کیسونی افقی ($m^3/(m.s)$)
حالت سوم	حالت دوم	حالت اول	موج شکن سکویی مرکب ($m^3/(m.s)$)
۰/۰۰۰۴۳۹۷	۰/۰۰۰۴۷۴۱	۰/۰۰۱۰۲	
٪ ۶۱/۴۲	٪ ۵۸/۴۱	٪ ۱۰/۵۲	کاهش میزان نرخ روگذری (درصد)

۳-۵- جمع بندی و نتیجه گیری

در این فصل به بررسی و تحلیل نتایج بدست آمده از مدلسازی عددی موج شکن سکویی مرکب پرداخته شد. همچنین نتایج بدست آمده از فشار وارد بر کیسون و روگذری با موج شکن کیسونی افقی مقایسه و تحلیل شده است. نتیجه بررسی های صورت گرفته در ادامه آورده شده است:

الف) با بررسی فشار وارد بر کیسون، مدل موج شکن سکویی مرکب باعث کاهش قابل توجه مقادیر فشار وارد بر کیسون شده است. از طرفی کاهش فشار وارد بر کیسون باعث کاهش ضخامت دیواره کیسون و در نتیجه، کاهش هزینه های اجرای کیسون خواهد شد و موج شکن سکویی حالت سوم (ایسلندی) از بین سه حالت موج شکن سکویی مرکب پیشنهاد می شود.

ب) در زمینه کاهش میزان روگذری امواج، مدل موج شکن سکویی مرکب نسبت به سایر مدل ها موج شکن (توده سنگی، کیسونی و کیسونی افقی) عملکرد مطلوبی را داشته است. کاهش روگذری باعث کاهش تخریب سازه، تامین ایمنی تاسیسات روی تاج موج شکن و کاهش هزینه های حفاظت از سازه خواهد شد. با کاهش روگذری امواج در موج شکن سکویی مرکب امکان ایجاد تاسیسات مهم بر روی تاج موج شکن فراهم می شود. در بررسی انجام شده، حالت سوم موج شکن سکویی مرکب (ایسلندی) در زمینه کاهش روگذری امواج بهترین عملکرد را داشته است. با قرار دادن بلوک تاج بر سر کیسون موج شکن سکویی مرکب، می توان مقدار روگذری امواج را به میزان چشم گیری کاهش داد.

استفاده از کیسون در موج شکن سکویی باعث کاهش حجم مصالح مصرفی می شود و امکان اجرای موج شکن سکویی در عمق زیاد را فراهم می کند. از طرفی با کاهش فشار وارد بر کیسون به وسیله سکوی موج شکن سکویی مرکب، امکان ساخت کیسون با دیواره های نازک تر فراهم می شود که همین مساله باعث کاهش هزینه های ساخت و اجرای موج شکن می شود. استفاده ی بیشتر از مصالح آرمور در موج شکن، باعث افزایش هزینه های اجرای موج شکن خواهد شد. موج شکن سکویی حالت اول، از سکوی همگن (تمام آرمور) ساخته شده است در صورتی که استفاده از سه کلاس سنگ با قطر اسمی

متفاوت در موج شکن سکویی مرکب (ایسلندی)، باعث کاهش هزینه های تامین مصالح می شود. به طوری که می توان از مصالح معادن قرضه، به شیوه مناسب تری بهره برد.

موج شکن سکویی مرکب با امکان اجرا در عمق بالا، به علت تامین آبخور مناسب برای شناور ها، محل مناسبی برای پهلوگیری شناور ها در وجه رو به بندر موج شکن است. تامین آبخور و پایداری لازم برای پهلوگیری شناور ها، امکان بهره برداری موج شکن سکویی مرکب را به عنوان اسکله فراهم می آورد.

۴-۵- پیشنهاد برای تحقیقات آینده

موج شکن سکویی مرکب، موج شکنی نوین است که به دلیل فراهم نشدن امکانات آزمایشگاهی، امکان بررسی این موج شکن در حالت شکل پذیر فراهم نیامد. در بررسی موج شکن سکویی مرکب در حالت شکل پذیر تاثیر کیسون بر تشکیل نیم رخ تعادلی مشخص خواهد شد. در تحقیقات آینده بر روی موج شکن سکویی بررسی این موارد پیشنهاد می شود:

- مطالعه آزمایشگاهی تاثیر کیسون بر عرض فرسایش یافته (Rec) در موج شکن سکویی مرکب
- مطالعه آزمایشگاهی تاثیر تغییرات D_{n50} بر پایداری موج شکن سکویی مرکب (شکل پذیر و شکل ناپذیر)
- مطالعه آزمایشگاهی تاثیر سکوی موج شکن سکویی مرکب بر پایداری کیسون آن تحت اثر برخورد امواج
- مطالعه آزمایشگاهی تاثیر تغییر ابعاد و وزن کیسون در پایداری موج شکن سکویی مرکب
- مطالعه آزمایشگاهی تاثیر بلوک تاج بر روی کیسون در کاهش میزان روگذری امواج و جابه جایی بلوک تاج در اثر برخورد امواج
- مطالعه آزمایشگاهی تشکیل نیم رخ تعادلی در مواجهه با شرایط محیطی مختلف به روش پردازش تصویر

- مطالعه آزمایشگاهی پایداری کیسون هنگام پهلوگیری شناور (کاربری کیسون موج شکن سکویی به

عنوان اسکله پهلوگیری)

منابع

- [۱] چگینی، وهمکاران، ۱۳۷۷. راهنمای طراحی موج شکن ها. مجموعه سه جلدی کتاب های مهندسی دریا، شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری.
- [2] Baird, W. F., & Hall, K. R. (1984). The design of breakwaters using quarried stone. 19th "International Conference on Coastal Engineering" (Houston, USA).
- [۳] خسروی بابادی، محسن؛ امیر ارسلان کرمی متین و اکبر قانع اردکانی، ۱۳۹۵، آینده نگری در طراحی و روش های اجرادر موج شکن ها، اولین کنفرانس بین المللی آب، محیط زیست و توسعه پایدار، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی.
- [۴] چگینی، وحید و حسینی بندر آبادی، سید محمد، اردیبهشت ۱۳۷۵، "معرفی موج شکن های شکل پذیر"، هفتمین گردهمایی ارگان های دریایی و سومین کنفرانس علوم و فنون دریایی، نور، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس.
- [5] Tørum, A., Naess, S., Instanes, A. and Vold, S., 1988. On Berm Breakwaters. In ICCE'88.
- [6] Hall, K. R. (1993). Two dimensional effects in modelling berm or reshaping breakwaters. In Coastal Engineering 1992 (pp. 1203-1216).
- [7] PIANC, W. (2003). State-of-the-Art of Designing and Constructing Berm Breakwaters. Report of working group, 40.
- [8] Van der Meer, J. W., & Koster, M. J. (1988). P1. Application of computational model on dynamic stability. In Design of Breakwaters (pp. 333-342). Thomas Telford Publishing.
- [9] Hall, K. R., and Joseph S. Kao., (1991). "A study of the stability of dynamically stable breakwaters." Canadian Journal of Civil Engineering 18.6: 916-925.
- [10] Tørum, A. (1999). On the stability of berm breakwaters in shallow and deep water. In Coastal Engineering 1998 (pp. 1435-1448).
- [11] Tørum, A., Kuhnén, F., & Menze, A. (2003). On berm breakwaters. Stability, scour, overtopping. Coastal Engineering, 49(3), 209-238.
- [12] Rao, S., Pramod, C., & Rao, B. (2004). Stability of berm breakwater with reduced armor stone weight. Ocean engineering, 31(11-12), 1577-1589.
- [13] Andersen, T. L. (2006). Hydraulic Response of Rubble Mound Breakwaters: scale effects- berm breakwaters (Doctoral dissertation, Hydraulics & Coastal Engineering Laboratory, Department of Civil Engineering, Aalborg University).
- [۱۴] مقیم، محمد نوید، شفیعی فر، مهدی، پیمان آق تومانی و چگینی، وحید. (۱۳۸۷). " اثر عرض اولیه سکوی موج شکن های سکویی شکل پذیر بر نیم رخ تغییر شکل یافته و عرض فرسایش یافته سکو." هشتمین همایش بین المللی مهندسی سواحل، بنادر و سازه های دریایی.
- [15] Shekari, M. R., & Shafieefar, M. (2012). Experimental Study on Effects of Initial Berm Width and Stone Grading on the Stability of Berm Breakwaters. International Journal of Maritime Technology, 8(15), 85-96.
- [۱۶] شفیعی فر، مهدی و خیروی، ذوالفقار، ۲۰۰۸، " بررسی عملکرد موج شکن های سکویی در ایران " کنفرانس بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی (ICOPMAS)، تهران، ایران.

- [17] Sigurdarson, S., Viggosson, G., Benediktsson, S., & Smáráson, O. B. (1996). Berm breakwaters, tailor-made size graded structures. 11e Havencongres Antwerpen.
- [18] Sigurdarson, S., et al., 1998. "Advances in berm breakwaters." Coastlines, Structures and Breakwaters: Proceedings of the International Conference Organized by the Institution of Civil Engineers and Held in London, UK, on 19-20 March 1998. Thomas Telford.
- [19] Sigurdarson, S., Viggosson, G., Torum, A. and Smarason, O.B., March 2001.: "Stable berm breakwaters", International Workshop on Advanced Design of Maritime Structures in the 21st Century, PHRI, Japan.
- [20] Sigurdarson, S. and Van der Meer, J.W. (2016). Design and Construction of Berm Breakwaters, WorldScientific Press.
- [21] Sveinbjörnsson, P. I. (2008). Stability of Icelandic type Berm Breakwaters. Delft University of Technology, Faculty of Engineering and geosciences, Deapartment of Hydraulic Engineering.
- [22] Sigurdarson, S., Jacobsen, A., Smarason, O. B., Bjørdar, S., Viggosson, G., Urrang, C., & Tørum, A. (2004). Sirevåg Berm Breakwater, design, construction and experience after design storm. In Coastal Structures 2003 (pp. 1212-1224).
- [23] Xie, S. L. (1981). Scouring patterns in front of vertical breakwaters and their influences on the stability of the foundation of the breakwaters.
- [24] Sakakiyama, T., & Liu, P. L. F. (2001). Laboratory experiments for wave motions and turbulence flows in front of a breakwater. Coastal Engineering, 44(2), 117-139.
- [25] Kudella, M., Oumeraci, H., De Groot, M. B., & Meijers, P. (2006). Large-scale experiments on pore pressure generation underneath a caisson breakwater. Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering, 132(4), 310-324.
- [26] Ruol, P., Martin, P., Andersen, T. L., & Martinelli, L. (2014). Experimental investigation on caisson breakwater sliding. Coastal Engineering Proceedings, 1(34), 74.
- [27] Suh, Kyung Duck, and Woo Sun Park, (1995). "Wave reflection from perforated-wall caisson breakwaters." Coastal Engineering 26.3-4: 177-193.
- [28] Suh, K. D., Park, J. K., & Park, W. S. (2006). Wave reflection from partially perforated-wall caisson breakwater. Ocean Engineering, 33(2), 264-280.
- [29] Lara, J. L., I. J. Losada, and R. Guanche., (2008). "Wave interaction with low-mound breakwaters using a RANS model." Ocean engineering 35.13: 1388-1400.
- [30] Misra, S., Narayanaswamy, M., Bayram, A., & Shi, F. (2011). OPTIMIZATION OF CAISSON BREAKWATER SUPERSTRUCTURE GEOMETRY USING A 2DV RANS-VOF NUMERICAL MODEL. Coastal Engineering Proceedings, 1(32), 49.
- [31] Higuera Caubilla, P. (2015). Aplicación de la dinámica de fluidos computacional a la acción del oleaje sobre estructuras. Application of computational fluid dynamics to wave action on structures (Doctoral dissertation, Universidad de Cantabria).
- [32] Goda, Y. (1994). Dynamic response of upright breakwaters to impulsive breaking wave forces. Coastal Engineering, 22(1-2), 135-158.

[33] Dentale, F., Donnarumma, G., & Pugliese Carratelli, E. (2013, September). Rubble mound breakwater: run-up, reflection and overtopping by numerical 3D simulation. In ICE Conference (pp. 120-130).

[34] Margheritini, L., Vicinanza, D., & Frigaard, P. (2009). SSG wave energy converter: Design, reliability and hydraulic performance of an innovative overtopping device. *Renewable Energy*, 34(5), 1371-1380.

[35] Flow-3D Help, Ver9.3, Flow science Inc.

[36] Wilcox, D. C. (1998). *Turbulence modeling for CFD* (Vol. 2, pp. 103-217). La Canada, CA: DCW industries.

[۳۷] آیین نامه طراحی موج شکن های سکویی شکل پذیر، سازمان بنادر و دریا نوردی، اداره کل مهندسی سواحل و بنادر.

[38] Sigurdarson, S., Van Der Meer, J. W., Burcharth, H. F., & Sørensen, J. D. (2009). Optimum safety levels and design rules for the Icelandic-type berm breakwater. In *Coastal Structures 2007: (In 2 Volumes)* (pp. 53-64).

[39] Lara, J. L., Losada, I. J., Guanche, R., & Gonzalez-Ondina, J. M. (2008). Numerical analysis of wave overtopping of rubble mound breakwaters. *Coastal engineering*, 55(1), 47-62.

[40] Goda, Y. (1988). Statistical variability of sea state parameters as a function of wave spectrum. *Coastal Engineering in Japan*, 31(1), 39-52.

[41] US Army, 2003. *Coastal Engineering Manual*.

[42] Hudson, R. Y. (1959). Laboratory investigation of rubble-mound breakwaters. Reprint of the original paper as published in the *Journal of the Waterways and Harbors Division of ASCE*, proceedings paper 2171.

[43] Tørum, A., Moghim, M. N., Westeng, K., Hidayati, N., & Arntsen, Ø. (2012). On berm breakwaters: Recession, crown wall wave forces, reliability. *Coastal Engineering*, 60, 299-318.

[44] Tanimoto, K., Moto, K., Ishizuka, S., & Goda, Y. (1976). An investigation on design wave force formulae of composite-type breakwaters. In *Proceedings of the 23rd Japanese Conference on Coastal Engineering* (pp. 11-16).

[45] Goda, Y. (1975). New wave pressure formulae for composite breakwaters. In *Coastal Engineering 1974* (pp. 1702-1720).

Performance Assessment of Wave Impact on Composite Berm Breakwater (a New BW Conceptual Design)

Abstract

In this study, composite berm breakwater has been introduced as a new conceptual model. The understanding of composite berm breakwater is gained by studying the activities of berm breakwater. At first, the definition, importance and necessity of reviewing the subject has been addressed. After a literature review of studies, conducted in conjunction with the berm breakwater, caisson breakwater and a new breakwater, experimental study and numerical modeling of composite berm breakwater is expressed. This model is modeled in three modes by introducing composite berm breakwater design relationships. Numerical modeling of composite berm breakwater is done by numerical model Flow3D. To verify the correct and acceptable results of a numerical model, a numerical model can be verified and calibrated. Validation results of the Flow3D numerical model represent acceptable results.

To obtain armor forces in the composite berm breakwater in three modes of the berm including the end of the berm, the beginning of the berm and on the slope; the stability of the armors has been investigated. The results indicate the ability of the Flow3D numerical model to calculate the forces on the armor. With the numerical modeling of the composite berm breakwater, one can obtain the pressure on the caisson and wave overtopping. The results are then compared with horizontally caisson breakwater, rubble mound breakwater and caisson breakwater. Composite berm breakwater has a desirable performance in terms of reducing caisson pressure and reducing overtopping. Also, in assessments of armor forces, caisson pressure and wave over topping in composite berm breakwater; third mode composite berm breakwater (Iceland) is recommended.

key words: Composite Berm Breakwater , Berm Breakwater, Caisson, Numerical Model, Flow3D, Force on armor, Armor stability, Pressure, overtopping



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Coastal Engineering, Ports and Marine Structures

**Performance Assessment of Wave Impact on Composite
Berm Breakwater (a New BW Conceptual Design)**

Seyed Morteza Marashian

Supervisor

Dr. Mehdi Adjami

Dr. Farshid Jandaghi Alaei

Advisor

Eng. Taghi Aliakbari

September 2018