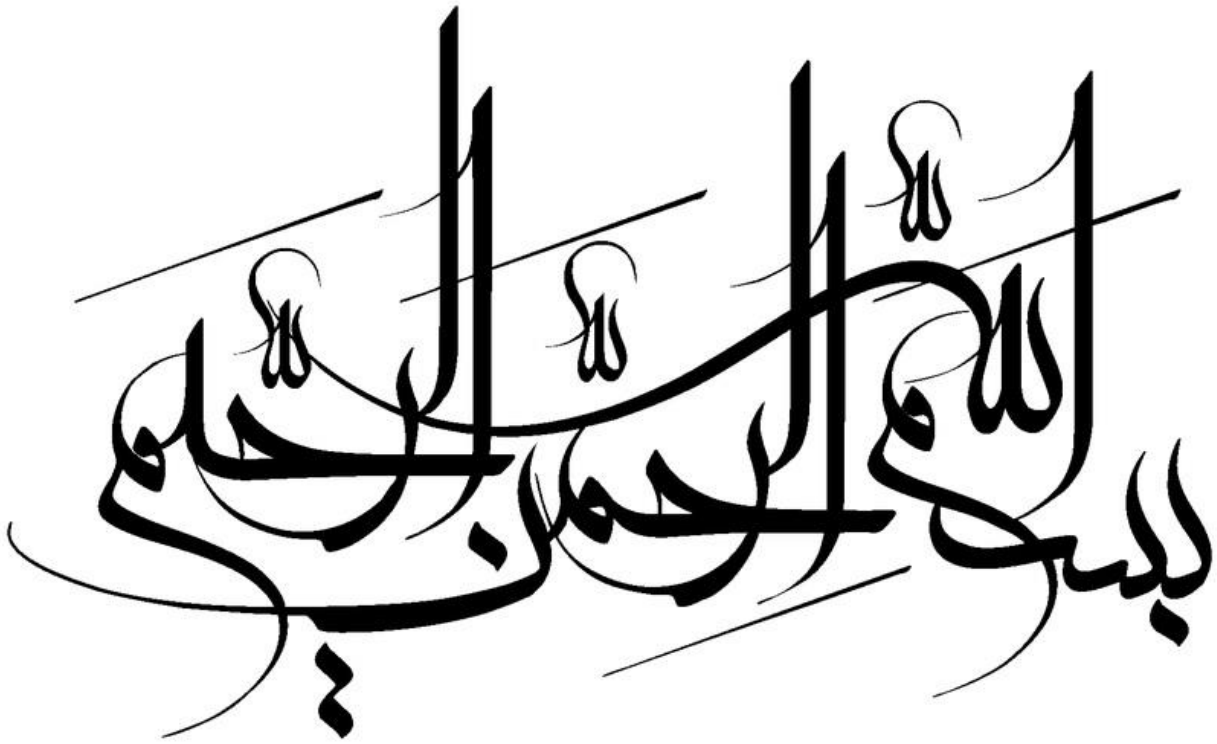
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی

گروه عمران

گرایش سازه های دریایی

بررسی آزمایشگاهی تاثیر موج سونامی بر موج شکن

توده سنگی با شیب های متفاوت (مورد مطالعه ، موج شکن بندر انزلی)

از:

دیانوش هدایتی مشکله

استاد راهنما :

دکتر امیر هوشنگ نظامیوند چگینی

تیر ۹۳

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم که اینجانب را تا این مرحله از کسب علم و دانش یاری کرده اند؛ به گونه ای که همه مراتب پیشرفتم در مسیر صحیح زندگی را مدیون آنها می باشم.

نخستین سپاس به پیشگاه حضرت دوست
که هرچه هست از اوست

بسی شایسته است که از زحمات دلسوزانه و راهنمایی های کارساز و سازنده استاد گرانقدر جناب آقای دکتر چگینی تقدیر و تشکر نمایم. در انتها از دوستان بسیار خوبم آقایان مهندس **نریمان دقیقی**، **محمد دلیری**، **سلمان ساسانی** و خانم دکتر **نوال آزم** به سبب کمک های بی دریغشان نهایت تشکر را دارم.

چکیده

بررسی آزمایشگاهی موج شکن های توده سنگی با شیب های متفاوت در اثر موج سونامی (مورد مطالعه ، موج شکن بندر انزلی)

دیانوش هدایتی مشکله

از مسائل مهم در پایداری موج شکن ها، بررسی رفتار سازه در هنگام وقوع سونامی است. هدف رساله نخست بررسی نحوه مدل سازی و تولید سونامی در فلوم موج به منظور شناخت خصوصیت های آن و شرایط آزمایشگاهی و سپس ساخت مدل هایی با مقیاس ۱ به ۶۰ از نمونه ای مشابه مقطع انتخابی از موج شکن غربی بندر انزلی اما با شیب های متفاوت (۱:۱، ۱:۱/۲۵، ۱:۱/۵ و ۱:۱/۷۵) ، با استفاده تشابه دینامیکی می باشد.

آزمایش ها بوسیله سیستم تولید موج دریچه با هدف تولید امواج تنها در اثر وقوع سونامی می باشند. تغییرات سطح آب و تراز تاج موج شکن در داخل فلوم بوسیله ۳ سنسور التراسونیک ثبت می شوند. مشاهدات عینی، ضبط تصاویر بوسیله دوربین ها و اندازه گیری های بعد از انجام آزمایش ها به منظور نحوه تخریب سازه، تغییر شکل نیم رخ آن، حدّ پایداری، نواحی نیازمند به تقویت و میزان تاثیر سونامی بر روی ساحل از طریق اندازه گیری ارتفاع بالاروی و موج انتقال یافته، بوده است. هدف این است که موج شکن های بدون سازه روبنا در هنگام سونامی تا چه میزان پایدار هستند. با توجه به سرریزی در هنگام سونامی، تمرکز بر پایداری وجه پشتی از نظر سنگ های آرمور از طریق ارتباط پایداری ناحیه پشتی به ارتفاع آب عبوری از روی تاج می باشد. این مهم نشان می دهد که پایداری در برابر سونامی نیازمند توجه به وجه پشتی و ابعاد آرمورهای آن است.

نتایج مدل سازی های موج و سازه با بررسی های مشابه تطابق داشته و نشان دهنده توانایی مناسب موج شکن های نمونه در برخورد موج تنها با آرمورهای جلویی است. در مقابل این سازه ها نیازمند به تقویت ناحیه پشتی با سنگ های آرمور می باشند.

کلید واژه: موج شکن توده سنگی، پایداری موج شکن، شیب، موج تنها، موج سونامی، فلوم موج

فهرست مطالب **صفحه**

فهرست مطالب.....ث

فهرست جداول.....ر

فهرست اشکال.....س

فهرست علائم.....ظ

چکیده فارسی.....غ

چکیده انگلیسی.....ف

فصل۱ کلّیات.....۱

۱-۱ پیشگفتار.....۲

۱-۲ بیان مسئله.....۳

۱-۳ اهداف تحقیق.....۵

۱-۴ عناوین مندرج دررساله.....۵

فصل ۲ پیشینه تحقیق.....۷

۲-۱ مقدّمه.....۸

۲-۲ نتایج مدل سازی (Esteban, 2009).....۸

۲-۳ نتایج گزارش (Cuypers, 2004).....۱۲

۲-۴ پارامتر های مرتبط موج سونامی.....۱۶

۲-۵ محاسبات عددی برای امواج سونامی (Satake, 1995).....۱۷

۲-۶ شکست امواج سونامی (Bryant, 2001).....۱۸

۲-۷ پارامتر بی بعد شکست موج تنها(Grilli, 1997)..... ۱۸

۲-۸ نتایج بررسی پایداری موج شکن های توده سنگی در برابر سونامی (Kamel, 1970)..... ۱۹

۲-۹ بررسی پایداری پی توده سنگی موج شکن کیسونی مستغرق (Hitachi, 1994)..... ۲۲

۲-۱۰ بررسی پایداری موج شکن توده سنگی در برابر موج تنهای سونامی (Esteban, 2012)..... ۲۳

فصل ۳ مراتب آماده سازی مدل و انجام آزمایشات..... ۲۷

۳-۱ مقدّمه..... ۲۸

۳-۲ فلوم موج..... ۲۸

۳-۳ بررسی نیمرخ شیب فلوم و تراز آن..... ۳۰

۳-۳-۱ تراز کردن میله های دو جداره فلوم..... ۳۰

۳-۳-۲ پروفیل کف به کمک ارتفاع سنج مکانیکی..... ۳۰

۳-۳-۳ پروفیل کف به کمک ارتفاع آب جاری شده در کف فلوم..... ۳۱

۳-۳-۴ برداشت رقوم کف به کمک سنسور های اولتراسونیک..... ۳۲

۳-۴ ثبت کننده داده ها (دیتالاگر)..... ۳۲

۳-۴-۱ راه اندازی دستگاه دیتا لاگر در آزمایشگاه..... ۳۳

۳-۴-۲ خاموش کردن دیتالاگر..... ۳۵

۳-۴-۳ خطای سنسور های التراسونیک..... ۳۶

۳-۵ دریچه تولید موج..... ۳۷

۳-۶ ساحل شبیه سازی شده..... ۳۸

۳-۷ دستگاه صاف کننده ماسه روی کف فلوم..... ۳۹

۳-۸ شبیه سازی اوّلیه تولید امواج تنهای سونامی با دریچه..... ۴۰
۳-۸-۱ مراتب آزمایش های اوّلیه..... ۴۰
۳-۸-۲ نتایج آزمایش های اوّلیه تولید موج تنها..... ۴۲
۳-۸-۳ مقایسه سرعت های محاسبه شده با نمونه واقعی..... ۴۶
۳-۹ انتخاب مقیاس مدل همگن موج شکن..... ۴۷
۳-۱۰ انتخاب مقطع نمونه..... ۴۷
۳-۱۱ مصالح برای ساخت لایه های مدل موج شکن..... ۵۰
۳-۱۱-۱ هسته..... ۵۰
۳-۱۱-۲ فیلتر (آرمورثانویه)..... ۵۱
۳-۱۱-۳ آرمور اصلی..... ۵۱
۳-۱۱-۴ ساخت مدل با آماده شدن مصالح لایه ها..... ۵۲.
۳-۱۱-۵ ساخت هسته مدل..... ۵۳
۳-۱۱-۶ ساخت فیلتر مدل..... ۵۳
۳-۱۱-۷ ساخت آرمور اصلی مدل..... ۵۳
۳-۱۲ جانمایی سازه در فلوم و آماده سازی..... ۵۶
فصل ۴ مبانی تئوری و بی بعد سازی..... ۵۸
۴-۱ مقدّمه..... ۵۹
۴-۲ تشابه..... ۵۹
۴-۲-۱ تشابه هندسی..... ۵۹

۴-۲-۲ تشابه سینماتیکی ۵۹
۴-۲-۳ تشابه دینامیکی ۶۰
۴-۳ بی بعد سازی در مکانیک سیّالات و هیدرولیک ۶۲
۴-۳-۱ شباهت دینامیکی ۶۲
۴-۳-۲ نسبت های بی بعد ۶۴
۴-۳-۳ اهمیّت اعداد فرود و رینولدز ۶۴
۴-۳-۴ مدل همگن ۶۵
۴-۳-۵ مدل ناهمگن ۶۶
۴-۴ اصول روش های شبیه سازی ۶۷
۴-۴-۱ شبیه سازی بر اساس آنالیز بی بعد و با استفاده اساس تئوری باکینگهام (قضیه π) ۶۸
۴-۴-۲ شبیه سازی با استفاده از معدلات اساسی و نرمال کردن یک مقیاس ۶۷
۴-۴-۳ دلایل انتخاب روش بی بعد سازی امواج بلند در رساله ۷۰
۴- ۵ مدل سازی فیزیکی در سازه های دریایی ۷۰
۴-۶ معرّفی مدل های سازه ای ۷۱
۴-۷ اهداف و نیازمندی ها در مدل سازی سازه های دریایی ۷۲
۴-۸ مدل های دوبعدی و سه بعدی ۷۲
۴-۹ داده های مورد نیاز ساخت مدل فیزیکی ۷۴
۴-۱۰ نیازمندی های مقیاس گذاری سازه های توده سنگی ۷۵
۴-۱۱ مدل آزمایشگاهی موج شکن توده سنگی و اثرات مقیاس ۸۱

۴-۱۱-۱ تأثیرات مقیاس لزجت در مدل های توده سنگی..... ۸۱
۴-۱۱-۲ اثر مقیاس در انعکاس و انتقال در مدل سازی سازه های توده سنگی..... ۸۲
۴-۱۱-۳ اثر چگالی آب در مدل سازی سازه های توده سنگی..... ۸۳
۴-۱۱-۴ اثر اصصکاک و زبری سطح در مدل سازی سازه های توده سنگی..... ۸۳
۴-۱۱-۵ اثر هوادهی در مدل سازی سازه های توده سنگی..... ۸۴
۴-۱۲ تایید و تطبیق مدل سازه توده سنگی..... ۸۴
۴-۱۳ انتخاب مقیاس مدل سازه توده سنگی..... ۸۵
۴-۱۴ پروسه مدل سازی سازه توده سنگی..... ۸۶
۴-۱۵ ساخت مدل توده سنگی..... ۸۶
۴-۱۶ اهداف اصلی در آزمایش ها..... ۸۸
۴-۱۶-۱ آزمایش های با افزایش ارتفاع موج..... ۸۸
۴-۱۶-۲ آزمایش های شرایط طرّاحی..... ۸۹
۴-۱۶-۳ آزمایش های تولید دوباره طوفان های مشخّص..... ۸۹
۴-۱۶-۴ آزمایش های با مدّت زمان طویل..... ۸۹
۴-۱۶-۵ آزمایش های طوفان های با مشخّصات متفاوت..... ۸۹
۴-۱۶-۶ آزمایش های پایداری سازه باقیمانده..... ۸۹
۴-۱۶-۷ آزمایش های سازه های تحت ساخت..... ۹۰
۴-۱۷ ایده پایداری موج شکن های توده سنگی در برابر سونامی..... ۹۰
۴-۱۷-۱ روابط مربوط به آرمور پشتی موج شکن..... ۹۰

۴-۱۷-۲ محاسبه سرعت جریان وجه پشتی موج شکن..... ۹۱

۴-۱۸ معیار پایداری و عدد تخریب سازه..... ۹۲

۴-۱۹ محاسبه سرعت جریان آب در نزدیکی تراز SWL وجه پشتی موج شکن..... ۹۲

فصل ۵ نتایج و تحلیل آنها..... ۹۳

۵-۱ مقدّمه..... ۹۴

۵-۲ نتایج امواج تولیدی و مشخّصه های آن ها..... ۹۵

۵-۲- نتایج امواج تولیدی و مشخّصه های آن در موج شکن های ۱:۱ ، ۱:۱.۲۵ ، ۱:۱.۵ و ۱:۱.۷۵..... ۹۵

۵-۳ تحلیل تصاویر اندرکنش موج – سازه..... ۹۹

۵-۴ نحوه جابه جایی سنگ ها ۱۰۱

۵-۵ نیم رخ های تغییر شکل سازه..... ۱۰۳

۵-۶ درصد تخریب سازه..... ۱۰۶

۵-۷ تعیین عدد پایداری..... ۱۰۷

۵-۸ تعیین سرعت جریان سرریزی روی تاج موج شکن..... ۱۰۸

۵-۹ محاسبه آرمور های ناحیه پشتی موج شکن با استفاده از سرعت جریان روی تاج..... ۱۰۹

۵-۱۰ بررسی ارتفاع بالاروی از روی ساحل ماسه ای شبیه سازی شده..... ۱۱۱

فصل ۶ نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۱۱۲

۶-۱ نتیجه گیری..... ۱۱۳

۶-۲ پیشنهاد هایی برای کارهای آینده..... ۱۱۵

فهرست مراجع و منابع..... ۱۱۶

فهرست جداول **صفحه**

جدول۲-۱: شرایط آزمایشگاهی ایجاد موج بوسیله دریچه (Esteban, 2009)..... ۱۰

جدول ۲-۲: حداکثر ارتفاع سرریزی برای عدم تخریب در مقطع آزمایش شده (Cuypers, 2004)..... ۲۱

جدول۲-۳: میزان تخریب محاسبه شده (Cuypers, 2004)..... ۲۳

جداول ۳-۱ تا ۳-۴: خطای سنسور ها..... ۳۷

جداول ۳-۵: نسبت های آب پشت و جلوی دریچه..... ۴۲

جدول۳-۶: ابعاد هندسی موج شکن مدل و نمونه متناسب با آن (مقیاس ۱ به ۶۰)..... ۵۰

جدول ۳-۷: نسبت تشابه وزن آرمور و لایه ها..... ۵۴

جدول ۳-۸: متوسّط قطر سنگ های مدل و نمونه..... ۵۶

جدول۳-۹: مراتب انجام آزمایش های پایداری موج شکن مدل..... ۵۸

جدول ۵-۱: مشخّصه های امواج تولید شده در زیر سنسورها و ضرایب انتقال موج برای موج شکن ۱:۱..... ۹۸

جدول ۵-۲: مشخّصه های امواج تولید شده در زیر سنسورها و ضرایب انتقال موج برای موج شکن ۱:۱.۲۵..... ۹۸

جدول ۵-۳: مشخّصه های امواج تولید شده در زیر سنسورها و ضرایب انتقال موج برای موج شکن ۱:۱.۵..... ۹۸

جدول ۵-۴: مشخّصه های امواج تولید شده در زیر سنسورها و ضرایب انتقال موج برای موج شکن ۱:۱.۷۵..... ۹۸

جدول ۵-۵: طبقه بندی آسیب در موج شکن مدل..... ۱۰۰

جدول ۵-۶: درصد تخریب محاسبه شده برای موج شکن های مدل..... ۱۰۱

جدول ۵-۷: عدد پایداری موج شکن N_S..... ۱۰۶

جدول ۵-۸: ارتفاع جریان آب طولانی مدّت عبوری از انتهای تاج موج شکن..... ۱۰۸

جدول ۵-۹: سرعت جریان آب عبوری از انتهای تاج موج شکن نمونه..... ۱۰۹

جدول ۵-۱۰: وزن آرمور های مورد نیاز ناحیه پشتی موج شکن با استفاده از رابطه Izbash..... ۱۱۰

جدول ۵-۱۱: وزن آرمور های مورد نیاز ناحیه پشتی موج شکن با استفاده از رابطه C.E.R.C..... ۱۱۰

جدول ۵-۱۲: ارتفاع بالاروی جریان روی ساحل با وجود موج شکن..... ۱۱۱

فهرست اشکال **صفحه**

شکل ۱-۱: ایجاد و توسعه موج سونامی..... ۳

شکل۲-۱: نحوه جانمایی اجزای آزمایش در فلوم موج (Esteban, 2009)..... ۹

شکل۲-۲: مدل موج شکن همراه با انواع چینش تتراپودهای محافظ..... ۹

شکل۲-۳: پروفیل موج (حالت T_2)..... ۱۰

شکل۲-۴: فرایند Shoaling موج سونامی (Cuypers, 2004)..... ۱۳

شکل۲-۵: نحوه ایجاد موج سونامی بوسیله زمین لغزش زیر آبی..... ۱۳

شکل ۲-۶: ورود سونامی به ساحل به صورت یک موج ناشکنا..... ۱۴

شکل۲-۷: ورود سونامی به ساحل به شکل جریان موج زودتر شکسته..... ۱۴

شکل ۲-۸: موج طرح برای Pie del Gigante..... ۱۶

شکل ۲-۹: اصطلاحات یک موج سونامی..... ۱۶

شکل۲-۱۰: اشکال مختلف موج سونامی..... ۱۷

شکل ۲-۱۱: مقطع آزمایشی حالت اوّل با سرریزی برای نمونه واقعی (Kamel, 1970)..... ۲۰

شکل ۲-۱۲: مقطع سرریزی با شیب های متفاوت سمت روبه بندر برای نمونه واقعی..... ۲۰

شکل ۲-۱۳: رابطه بین D و y (Hitachi, 1994)..... ۲۲

شکل ۲-۱۴: آماده سازی آزمایشگاهی در فلوم موج (Esteban, 2012)..... ۲۴

شکل ۲-۱۵: پروفیل موج در حالت نزدیک سازه..... ۲۴

شکل ۲-۱۶: تغییرات عدد تخریب آرمور ها S در مقابل نسبت وزن آرمور های موجود به آرمور های مورد نیاز..... ۲۵

شکل ۳-۱: فلوم موج آزمایشگاه هیدرولیک و مکانیک سیّالات دانشکده فنّی..... ۲۸

شکل ۳-۲: محلّ استقرار پمپ، لوله ها و شیر های تنظیم..... ۲۹
شکل۳-۳: ارتفاع سنج مکانیکی..... ۳۱
شکل۳-۴: پروفیل کف فلوم به کمک ارتفاع سنج مکانیکی..... ۳۱
شکل۳-۵: پروفیل کف فلوم به کمک ارتفاع آب جاری شده در کف..... ۳۲
شکل۳-۶: سنسور شماره ۳..... ۳۵
شکل۳-۷: دستگاه ثبت کننده متّصل به رایانه..... ۳۵
شکل ۳-۸: سنسور ها و ارتفاع سنج های جانمایی شده در فلوم موج..... ۳۵
شکل ۳-۹: پنجره sensor calibration..... ۳۶
شکل ۳-۱۰: پنجره view data and curve..... ۳۶
شکل ۳-۱۱: دریچه تولید موج..... ۳۷
شکل ۳-۱۲: شماتیک اختلاف آب دو سمت دریچه..... ۳۷
شکل ۳-۱۳: ساحل شبیه سازی شده (دید۱)..... ۳۸
شکل ۳-۱۴: ساحل شبیه سازی شده (دید۲)..... ۳۸
شکل۳-۱۵: دستگاه صاف کننده ماسه روی کف فلوم..... ۳۹
شکل ۳-۱۶: نحوه جانمایی سنسور ها، ساحل و دریچه در فلوم موج در سه حالت آزمایش..... ۴۰
شکل های ۳-۱۷: موج تنهای تولیدی در فلوم موج در دو دید..... ۴۱
شکل های ۳-۱۸: تغییرات سطح آب زیر سنسور ها در دو حالت بازشوندگی..... ۴۳
شکل۳-۱۹: تغییرات سطح آب زیر سنسور ها در حالت بازشوندگی عادی برای نسبت ۳۰۰ به ۱۵۰..... ۴۴
شکل ۳-۲۰: گزینه آرمور آکروپاد مقطع W4b موج شکن غربی..... ۴۸

شکل ۳-۲۱: گزینه آرمور XBLOC (اجرا شده) مقطع W4b موج شکن غربی..... ۴۸
شکل ۳-۲۲: محلّ انتخابی مقطع W4b موج شکن غربی..... ۴۹
شکل ۳-۲۳: مقطع مدل موج شکن توده سنگی..... ۵۰
شکل ۳-۲۴: مصالح هسته ۵۴
شکل ۳-۲۵: مصالح فیلتر ۵۴
شکل ۳-۲۶: مصالح آرمور..... ۵۴
شکل ۳-۲۷ چینش مصالح هسته در فلوم هیدرولیکی..... ۵۵
شکل ۳-۲۸: چینش لایه فیلتر در فلوم هیدرولیکی..... ۵۵
شکل۳-۲۹: چینش لایه آرمور (مقطع نهایی)..... ۵۵
شکل ۳-۳۰: جانمایی سازه و اجزای آزمایش در فلوم موج..... ۵۷
شکل ۳-۳۱: تصویر جانمایی سازه و اجزای آزمایش در فلوم موج..... ۵۷
شکل ۴-۱: شماتیک بردار های سرعت مدل و نمونه..... ۶۰
شکل ۴-۲: شماتیک بردار های سرعت مدل و نمونه..... ۶۰
شکل ۴-۳: مقطع مدل موج شکن ساخته شده در فلوم موج..... ۷۳
شکل ۴-۴: مدل سه بعدی ساخت موج شکن در حوضچه..... ۷۳
شکل ۴-۵: بارگذاری سونامی بر روی موج شکن..... ۹۰
شکل ۴-۶: کمّیت های حاکم در رابطه ۴-۶۶ مورد استفاده برای وجه پشتی موج شکن..... ۹۲
شکل ۵-۱: تغییرات سطح آب در آزمایش ۱..... ۹۵
شکل ۵-۲: تغییرات سطح آب در آزمایش ۲..... ۹۵

شکل ۵-۳: تغییرات سطح آب در آزمایش ۳.....۹۵

شکل ۵-۴: تغییرات سطح آب در آزمایش ۴.....۹۵

شکل ۵-۵: تغییرات سطح آب در آزمایش ۵.....۹۶

شکل ۵-۶: تغییرات سطح آب در آزمایش ۶.....۹۶

شکل ۵-۷: تغییرات سطح آب در آزمایش ۷ (bore).....۹۶

شکل ۵-۸: تغییرات تاج موج شکن در آزمایش های ۱، ۲ ، ۴ و۵..... ۹۶

شکل ۵-۹: تغییرات تاج موج شکن در آزمایش ۶ ..... ۹۷

شکل ۵-۱۰: تغییرات تاج موج شکن در آزمایش ۷ ..... ۹۷

شکل ۵-۱۱: تغییرات تاج موج شکن در آزمایش ۳ .....۹۷

شکل ۵-۱۲ : آزمایش ۷ برای موج شکن ۱:۱.....۹۹

شکل ۵-۱۳ : آزمایش ۳ برای موج شکن ۱:۱.....۱۰۰

شکل ۵-۱۴: نحوه ناحیه بندی آرمور های اصلی قبل از انجام آزمایش ها در کلّ ضخامت لایه.....۱۰۱

شکل ۵-۱۵: نحوه جابه جایی سنگ های آرمور اصلی بعد از انجام آزمایش ۷ برای موج شکن ۱:۱.....۱۰۱

شکل ۵-۱۶: نحوه جابه جایی سنگ های آرمور اصلی بعد از انجام آزمایش ۷ برای موج شکن ۱:۱/۲۵.....۱۰۲

شکل ۵-۱۷: نحوه جابه جایی سنگ های آرمور اصلی بعد از انجام آزمایش ۷ برای موج شکن ۱:۱/۵..... .....۱۰۲

شکل ۵-۱۸: نحوه جابه جایی سنگ های آرمور اصلی بعد از انجام آزمایش ۷ برای موج شکن ۱:۱/۷۵.....۱۰۲

شکل ۵-۱۹: تغییرات تراز ارتفاعی سازه، برای آزمایش ۷ و موج شکن ۱:۱.....۱۰۳

شکل ۵-۲۰: تغییرات تراز ارتفاعی سازه، برای آزمایش ۷ و موج شکن ۱:۱/۲۵.....۱۰۳

شکل ۵-۲۱ : تغییرات تراز ارتفاعی سازه، برای آزمایش ۷ و موج شکن ۱:۱/۵.....۱۰۴

شکل ۵-۲۲: تغییرات تراز ارتفاعی سازه، برای آزمایش ۷ و موج شکن ۱:۱/۷۵.....۱۰۴

شکل ۵-۲۳ : نیم رخ تغییر شکل موج شکن در آزمایش ۷ برای موج شکن ۱:۱..... ۱۰۵

شکل ۵-۲۴ : نیم رخ تغییر شکل موج شکن در آزمایش ۷ برای موج شکن ۱:۱/۲۵..... ۱۰۵

شکل ۵-۲۵ : نیم رخ تغییر شکل موج شکن در آزمایش ۷ برای موج شکن ۱:۱/۵..... ۱۰۵

شکل ۵-۲۶ : نیم رخ تغییر شکل موج شکن در آزمایش ۷ برای موج شکن ۱:۱/۷۵..... ۱۰۶

فهرست علائم

بردار سرعت افقی در عمق میانگین	V
تراز آب	η
عمق آب	d
ضریب اصطکاک بی بعد	C_f
شتاب جاذبه	g
پارامتر شکست	Br
ارتفاع موج	H
شیب ساحل	β
فرکانس زاویه ای موج	ω
پارامتر بی بعد شکست موج	S_0
سرعت جریان تاثیر گذار بر روی سازه توده سنگی	U_d
وزن مخصوص سنگ های آرمور	ρ_a
وزن مخصوص آب دریا	ρ_w
زاویه شیب	θ
عددی است به تناسب درصد تخریب	y
وزن سنگ مورد نیاز	w
شیب سمت رو به دریای سازه نسبت به افق	α
ارتفاع موج مشخّصه	H_s
پریود موج	T_m
پارامتر نفوذپذیری سازه	P
قطر متوسّط سنگ های مورد نیاز	D_{n50}

ضریب براساس نوع آرمور	K_D
نسبت وزن مخصوص آرمور به وزن مخصوص آب	S_r
سرعت ذرّات آب در راستای افقی	U_x
وزن هر واحد آرمور موج شکن	W_a
مقیاس خطی در نظر گرفته شده برای مدل	$\frac{l_m}{l_p}$
حجم واحد آرمور	ν
ضریب لزجت سینماتیک	υ
ضریب تخلیه	m
ارتفاع جریان سرریزی آب از روی تاج سازه	h
سطح فرسایش یافته	A_e
زاویه شیب پشتی موج شکن	β
ضریب اصطکاک بی بعد برای سنگ	f
ضریب انتقال	C_t
عدد پایداری موج شکن	N_S
عدد تخریب آرمورها	S