بسم الله
الرحمن
الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی معدن

مطالعه و ارزیابی مشخصات سنگ‌های بهسازی شده جهت استفاده در موج شکن‌ها و تصحیح معیار انتخاب سنگ

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی معدن- مکانیک سنگ

احسان محمدی

اساتید راهنما
دکتر علیرضا باغبانان
دکتر حمید هاشم الحسینی

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی معدن

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی معدن – مکانیک سنگ آقای احسان محمدی

تحت عنوان

مطالعه و ارزیابی مشخصات سنگ‌های بهسازی شده جهت استفاده در موج شکن‌ها و تصحیح معیار انتخاب سنگ

در تاریخ ۹۲/۶/۳۰ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای اول پایان‌نامه	دکتر علیرضا باغبانان
۲- استاد راهنمای دوم پایان نامه	دکتر حمید هاشم الحسینی
۳- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر سید عبدالرحیم ذوالانوار
۴- استاد داور خارجی	دکتر سید مهدی ابطحی
۵- استاد داور داخلی	دکتر راحب باقرپور
۶- سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر راحب باقرپور

قدردانی

اکنون که به لطف خداوند متعال مراحل انجام این تحقیق به اتمام رسیده، شایسته است از زحمات همه کسانی که مرا در انجام این تحقیق یاری نمودند، تشکر و قدردانی نمایم.

یادی می کنم از زنده یاد، مرحوم پدرم و قدردانی می کنم از زحمات مادرم، که همیشه همراه و دلسوز من بوده اند ...

از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر باغبانان و جناب آقای دکتر هاشم الحسینی که در نهایت شکیبایی و دقت فراوان راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند و انجام این تحقیق بدون دلسوزی ها و راهنمایی های ارزنده ایشان میسر نبود ...

با سپاس فراوان از جناب آقای دکتر ذوالانوار که مشاوره های ارزشمند ایشان باعث بهبود کیفیت پایان نامه گردید ...

با تشکر فراوان از مسئول محترم آزمایشگاه مکانیک سنگ جناب آقای مهندس بهشتی که با نهایت حوصله و دقت در انجام آزمایش ها مرا یاری نمودند.

کلیه‌ی حقوق مادی مرتبط بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

خرم آن تعمه که مردم بسپارند به یاد

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
فهرست شکل‌ها ..... ده
فهرست جدول‌ها ..... دوازده
چکیده ۱

فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ هدف و ضرورت تحقیق ۳
۱-۳ ساختار پایان نامه ۴

فصل دوم: مبانی نظری موضوع و مروری بر مطالعات صورت گرفته

۲-۱ مقدمه ۵
۲-۲ ساختمان موج شکن توده سنگی ۶
۲-۲-۱ مترس ۷
۲-۲-۲ مغزه ۷
۲-۲-۳ فیلتر ۸
۲-۲-۴ لایه حفاظ ۸
۲-۳ استانداردهای پیشنهاد شده در مورد سنگ‌های استفاده شونده در ساخت موج شکن ۹
۲-۳-۱ استانداردهای خارجی ۹
۲-۳-۲ استانداردهای داخلی ۱۶
۲-۴ بحث در مورد معیارهای انتخاب مصالح سنگی برای لایه حفاظ موج شکن‌های توده سنگی ۲۶

فصل سوم: ارزیابی عملکرد سنگ‌های مورد مطالعه

۳-۱ مقدمه ۲۷
۳-۲ خصوصیات مینرالوژیکی و ژئومکانیکی لوماشل ۲۸
۳-۳ فرآیندها و مکانیزم‌های ایجادکننده زوال و تخریب سنگ در موج‌شکن‌های توده سنگی ۳۲
۳-۴ عوامل کنترل کننده‌ی مکانیزم‌های زوال سنگ در موج‌شکن‌های توده سنگی ۳۶
۳-۴-۱ موقعیت قرارگیری سنگ‌ها در موج شکن ۳۶
۳-۴-۲ شرایط آب و هوایی منطقه ۳۷
۳-۴-۳ شرایط فیزیکی محل موج شکن ۳۷
۳-۴-۴ نوع سنگ و درجه هوازدگی آن ۳۷

فصل چهارم: لزوم استحکام بخشی سنگ‌های لوماشل و ارائه روش‌های بهسازی

۴-۱ مقدمه ۳۹

۴-۲ ویژگی‌های استحکام بخش‌ها ۴۰
۴-۳ انواع استحکام بخش‌ها ۴۱
۴-۳-۱ مواد معدنی ۴۱
۴-۳-۲ آلکوکسی سیلان‌ها ۴۲
۴-۳-۳ پلیمرهای آلی مصنوعی ۴۲
۴-۳-۴ موم‌ها ۴۳
۴-۴ استحکام بخشی با آب آهک ۴۴
۴-۴-۱ مکانیسم تهیه آب آهک ۴۴
۴-۴-۲ بررسی میزان نفوذ ماده استحکام‌بخش ۴۶
۴-۵ استحکام بخشی با اپوکسی‌ها ۴۷
۴-۵-۱ استفاده از رزین برای استحکام بخشی سنگ‌های لوماشل ۴۸
۴-۶ استحکام بخشی با میکرو ارگانیسم‌های قلیایی ۵۰
۴-۶-۱ سیمان شدگی کلسیتی میکروبیولوژیکی ۵۲
۴-۶-۲ رسوب میکروبی کربنات کلسیم در سنگ ۵۴
۴-۶-۳ مکانسیم کشت و تکثیر باکتری ۵۵
۴-۶-۴ آزمایش تعیین اوره آزی ۵۷
۴-۶-۵ نحوه تهیه سوسپانسیون باکتری جهت استفاده در آزمایش‌ها ۵۹

فصل پنجم: سنجش و ارزیابی دوام مصالح سنگی در موج شکن‌های توده سنگی

۵-۱ مقدمه ۶۴
۵-۲ خواص عمومی سنگ‌ها بر مبنای معیار انتخاب شده ۶۵
۵-۳ طبقه بندی آزمایش‌های مهندسی سنگ ۶۷
۵-۳-۱ تشریح خصوصیات فیزیکی نمونه های مورد آزمایش ۶۷
۵-۳-۲ تشریح خصوصیات مقاومتی نمونه های مورد آزمایش ۶۸
۵-۳-۳ تشریح خصوصیات دوام نمونه های مورد آزمایش ۷۱

فصل ششم: نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۶-۱ مقدمه ۸۰
۶-۲ امتیازدهی به روش‌های استحکام بخشی بر اساس معیار انتخاب شده ۸۱
۶-۳ پیشنهادات ۸۴

مراجع ۸۵

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۲-۱ نمایی از سازه موج شکن ۶
شکل ۲-۲ مقطعی از قسمت‌های مختلف یک موج شکن توده سنگی ۷
شکل ۳-۱ نقشه موج شکن‌های مورد مطالعه از بندر دیلم تا بندر عسلویه ۲۸
شکل ۳-۲ نقشه موج شکن‌های مورد مطالعه از بندر عسلویه تا بندرعباس ۲۹
شکل ۳-۳ نقشه موقعیت موج شکن‌های مطالعه شده از بندرعباس تا خلیج گواتر ۲۹
شکل ۳-۴ موقعیت جغرافیایی معدن هُلُر درگهان در جزیره قشم ۳۱
شکل ۳-۵ نمونه سنگ لوماشلی معدن هُلُر درگهان ۳۱
شکل ۳-۶ مکانیسم‌های فیزیکی و شیمیایی زوال ۳۴
شکل ۳-۷ نواحی ساختاری موج شکن (مناطق چهارگانه در مقطع عرضی) ۳۶
شکل ۴-۱ محلول آب آهک ۴۵
شکل ۴-۲ مقایسه نمونه سنگ بهسازی شده با آب آهک (الف) و نمونه سنگ شاهد (ب) ۴۵
شکل ۴-۳ سطح مقطع فنل فتالئین زده دو نمونه از سنگ لوماشل که با آب آهک استحکام بخشی شده است ۴۶
شکل ۴-۴ نحوه اجرای رزین بر روی نمونه سنگ‌ها ۴۸
شکل ۴-۵ مقایسه نمونه سنگ بهسازی شده با رزین اپوکسی (الف) و نمونه سنگ شاهد (ب) ۴۹
شکل ۴-۶ سطح مقطع نمونه استحکام بخشی شده با رزین اپوکسی ۴۹
شکل ۴-۷ تصویر شماتیکی از واکنش‌های بیوشیمیایی در ماتریکس خاک ۵۳
شکل ۴-۸ دستگاه اتوکلاو برای استریل و میکروب زدایی کردن محیط کشت ۵۶
شکل ۴-۹ انتقال باکتری‌ها به داخل محیط کشت اتوکلاو شده ۵۶
شکل ۴-۱۰ دستگاه انکوباتو شیکر که برای تکثیر باکتری استفاده شده است ۵۷
شکل ۴-۱۱ آزمایش تعیین فعالیت اوره آزی ۵۸
شکل ۴-۱۲ استفاده از دستگاه سانتریفیوژ برای تهیه باکتری هاروست شده ۵۹
شکل ۴-۱۳ دستگاه اسپکتروفوتومتر برای تعیین غلظت سوسپانسیون مورد نظر ۶۰
شکل ۴-۱۴ شرایط نگهداری نمونه های سنتز شده برای انجام آزمایش ۶۱
شکل ۴-۱۵ مقایسه نمونه سنگ بهسازی شده با محلول بیولوژیکی (الف) و نمونه سنگ شاهد (ب) ۶۱
شکل ۴-۱۶مقایسه سنگ بهسازی شده با میکروارگانسیم باکتریایی (ب) و نمونه شاهد (الف) ۶۲
شکل ۵-۱ آزمایش بار نقطه ای و وضعیت قرار گرفتن نمونه سنگ ۷۰
شکل ۵-۲ مجموعه ای از نمونه‌هایی که آزمایش بار نقطه ای بر روی آن‌ها انجام شده است ۷۰
شکل ۵-۳ نحوه انجام آزمایش شاخص ضربه ای ۷۲

شکل ۵-۴ دستگاه آزمایش دوام داری ۷۴
شکل ۵-۵ نحوه انجام آزمایش شاخص لس‌آنجلس ۷۶
شکل ۵-۶ مقایسه نمونه سنگ سولفاته شده (الف) با نمونه سنگ شاهد (ب) ۷۸

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۲-۱ معیار واکلینگ برای انتخاب سنگ مناسب جهت استفاده در لایه حفاظ موج شکن‌ها ۱۰
جدول ۲-۲ معیار پول و همکاران برای انتخاب سنگ مناسب برای لایه حفاظ موج شکن‌ها ۱۰
جدول ۲-۳ آئین نامه بریتانیا برای تقسیم‌بندی مهندسی سنگ‌های مناسب جهت کاربرد در موج شکن ۱۱
جدول ۲-۴ محدوده‌ی خواص فیزیکی قابل پذیرش سنگ‌های بر اساس آئین نامه ژاپن ۱۲
جدول ۲-۵ معیار لوتون برای انتخاب سنگ جهت کاربرد در سازه های دریایی ۱۳
جدول ۲-۶ بازه مشخصات فنی غیر فرسایشی سنگ‌های معمولی ۱۴
جدول ۲-۷ راهنمای ارزیابی سنگ‌ها از نظر دستورالعمل CIRIA/CUR, 2000 ..... ۱۵
جدول ۲-۸ معیار جلالی برای انتخاب سنگ مناسب جهت کاربرد در موج‌شکن‌ها ۱۶
جدول ۲-۹ معیار نیکودل برای انتخاب سنگ مناسب برای لایه حفاظ موج‌شکن‌ها ۱۷
جدول ۲-۱۰ معیار ناصحی برای انتخاب سنگ مناسب برای لایه حفاظ موج‌شکن‌ها ۱۸
جدول ۲-۱۱ امتیاز بندی مشخصات فیزیکی گروه‌های مختلف سنگی در منطقه مورد مطالعه توسط حسنلی ۲۰
جدول ۲-۱۲ سیستم امتیازدهی تلخابلو در سنگ‌های آهکی ۲۲
جدول ۲-۱۳ سیستم امتیازدهی تلخابلو در سنگ‌های لوماشل ۲۳
جدول ۲-۱۴ سیستم امتیازدهی تلخابلو در سنگ‌های آذرین ۲۴
جدول ۲-۱۵ معیارهای موجود انتخاب سنگ مناسب از دید آیین نامه‌های گوناگون و افراد صاحب نظر ۲۵
جدول ۳-۱ نتیجه آنالیز XRD نمونه سنگ لوماشل معدن هُلُر درگهان قشم ۳۲
جدول ۳-۲ فرآیندهای مؤثر در زوال مصالح سنگی در موج شکن ۳۳
جدول ۴-۱ خلاصه‌ای از کارهای صورت گرفته در زمینه استفاده از روش‌های بیولوژیکی در کارهای عمرانی ۵۰
جدول ۴-۲ نتایج حاصل از آزمایش جذب آب در آجرهای تست شده ۵۴
جدول ۴-۳ مواد مورد استفاده و مقادیر هر کدام در محیط کشت مایع ۵۵
جدول ۴-۴ مواد مورد استفاده و مقادیر هر یک جهت تعیین فعالیت اوره آزی ۵۸
جدول ۵-۱ سیستم امتیازدهی معیار انتخاب شده برای سنگ‌های لوماشل ۶۶
جدول ۵-۲ نتایج تست‌های مشخص کننده خصوصیات فیزیکی ۶۸
جدول ۵-۳ نتایج آزمایش بار نقطه ای ۷۰
جدول ۵-۴ نتایج آزمایش شاخص ضربه ای ۷۳
جدول ۵-۵ نتایج آزمایش شاخص دوام ۷۴
جدول ۵-۶ نتایج آزمایش سایش لس‌آنجلس ۷۵
جدول ۵-۷ نتایج آزمایش‌های سلامت سنگ در سولفات سدیم ۷۶
جدول ۵-۸ خلاصه نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده ۷۸

جدول ۶-۱ رده کیفیت نمونه سنگ‌های مورد مطالعه پس از انجام آزمایش بر روی آن‌ها ۸۱
جدول ۶-۲ امتیازدهی به خصوصیات نمونه‌ها بر اساس معیار انتخاب شده ۸۲

چکیده

در سواحل جنوبی ایران با توجه به نوع مصالح در دسترس، احداث موج شکن‌های توده سنگی نسبت به سایر موج شکن‌ها متداول‌تر است. در احداث موج شکن‌های توده سنگی، بهره گیری از امکانات محلی و دسترسی به مصالح مناسب و باصرفه اقتصادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین نگهداری این مصالح بایستی کم هزینه باشد و تأمین ایمنی و پایداری لازم را در عمر مفید خود ارائه دهد. استفاده از آهک‌های لوماشل اغلب به عنوان منابع قرضه در ساخت موج شکن‌ها، با توجه به فقر مناطق ساحلی کشور از نظر مصالح سنگی مرغوب، می‌تواند از جنبه اقتصادی بسیار حائز اهمیت باشد. اما، سنگ‌های لوماشل اغلب خواص فیزیکی و مکانیکی ضعیفی دارند و عموماً برای کاربرد در لایه حفاظ موج‌شکن‌ها، فاقد صلاحیت شمرده شده و با در نظر گرفتن پارامترهای اقتصادی، حمل سنگ مقاوم از فواصل دروتر مقرون به صرفه نخواهد بود. لذا با توجه به محدودیت‌های بیان شده، بهسازی مقاومتی و دوام داری سنگ‌های لوماشل، در صورتی که پارامترهای اقتصادی را توجیه کند، می‌تواند دسته‌ای از آن‌ها را که دارای خواص ضعیفی هستند در شرایطی قرار دهد که قابل استفاده باشند.

در تحقیق حاضر، در قالب یک عملیات صحرایی از مصالح سنگی معدن هُلُر درگهان واقع در شمال شرقی جزیره قشم، نمونه برداری سنگ لوماشل صورت گرفت. نمونه‌ها به چهار دسته تقسیم شدند. دسته‌ای با آب آهک و دسته‌ای با رزین اپوکسی و دسته ای دیگر به وسیله دوغاب بیولوژیکی استحکام بخشی شدند. دسته‌ای نیز بدون استعمال استحکام‌بخش بر روی آن‌ها، جهت انجام آزمون‌های شاهد در خلال کاربرد، بررسی و مقایسه سه ماده استحکام بخش مذکور، نگه داشته شد. سپس، با انجام آزمایش‌های مهندسی سنجش دوام بر روی نمونه‌های اخذ شده، ویژگی‌های این مصالح مشتمل بر ویژگی‌های فیزیکی، مقاومتی، دوام داری شیمیایی و مکانیکی آن‌ها تعیین گردید. نتایج تحقیق نشان می‌دهد آب آهک، به علت داشتن مقدار زیاد آب، سبب تخریب بافت سنگ شده و باعث کاهش ۸/۵ درصدی خصوصیات مکانیکی سنگ نسبت به حالت اولیه شده است. استحکام بخشی با دوغاب بیولوژیکی، سبب کاهش جذب آب سنگ شد و ۷ درصد بهبود کیفیت در سنگ ایجاد نموده است. رزین اپوکسی، نسبت به دو استحکام بخش دیگر مناسب‌تر است و تا ۱۷ درصد خصوصیات سنگ را بهبود می‌بخشد. اما به علت داشتن خواص فیزیکوشیمیایی غیر یکسان با سنگ و عمق نفوذ کم، یک استحکام بخش سطحی محسوب شده و بایستی به صورت دوره ای بر روی سطح تجدید شود.

کلمات کلیدی: موج‌شکن توده سنگی، سنگ لوماشل، استحکام‌بخش، آب آهک، رزین اپوکسی، میکرو ارگانیسم قلیایی.

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

در سال‌های اخیر، با توجه به توسعه امکانات و تسهیلات ساحلی در سطح جهان، احداث سازه های دریایی و حفاظتی سواحل، افزایش چشمگیری داشته است. همگام با افزایش احداث این سازه‌ها در نقاط مختلف دنیا، در سواحل ایران نیز احداث این‌گونه سازه‌ها رواج زیادی داشته است. وجود بالغ بر سه هزار کیلومتر مرز دریایی در شمال و جنوب کشور و حجم وسیع سرمایه‌گذاری انجام شده جهت توسعه شیلات، صنایع مختلف، حمل و نقل و گردشگری و احداث پایگاه‌های دفاعی جهت حراست از مرزهای آبی کشور، اهمیت مطالعه و تحقیق در بهینه سازی طرح‌ها و انتخاب مصالح مناسب را برای ساخت، تعمیر و نگهداری این سازه‌ها بیش از پیش نشان می‌دهد. سازه‌های دریایی و ساحلی برای کاربردهای مختلفی نظیر ایجاد امکان پهلوگیری شناورها، حفاظت سواحل، استحصال اراضی از دریا، ایجاد سدهای حفاظتی در مقابل امواج و بالا آمدن سطح دریا احداث می‌گردند. ازجمله سازه‌های حفاظت کننده سواحل و بنادر می‌توان به موج‌شکن‌ها اشاره نمود.

موج شکن‌ها[1] سازه‌هایی هستند که جهت ایجاد آرامش در بندر و لنگرگاه و کاهش انرژی ناشی از امواج و جریان‌های دریایی احداث می‌شوند. با توجه به حجم بالای مصالح مصرفی در موج شکن‌ها و سازه‌های حفاظت کننده‌ی سواحل، همچنین جهت کاهش هزینه ساخت و ریسک خرابی سازه‌ها، معمولاً سنگ به عنوان یکی از کاربردی‌ترین و اصلی‌ترین مصالح مصرفی در این سازه‌ها محسوب می‌گردد. لذا با توجه به نوع مصالح در دسترس

[1] Breakwater

در سواحل جنوبی کشور، احداث موج شکن‌های توده سنگی نسبت به سایر انواع موج شکن‌ها متداول‌تر است [۱].

در ساخت موج‌شکن‌های توده سنگی بایستی از مصالح مناسبی استفاده شود که قابل دسترس بوده و احداث سازه توجیه اقتصادی داشته و همچنین نگهداری آن کم هزینه باشد و تأمین ایمنی و پایداری لازم را در عمر مفید خود ارائه دهد. لذا دوام و مقاومت سنگ‌ها در برابر عوامل مخرب و مهاجم حاکم بر محیط‌های دریایی، از جمله ویژگی‌هایی هستند که می‌بایست مورد توجه و ارزیابی واقع شوند. رفتار مصالح سنگی در این موج‌شکن‌ها بستگی به خصوصیات فیزیکی و مکانیکی این مصالح، شرایط محیطی و موقعیت مکانی سنگ بر روی سازه موج‌شکن دارد [۱]. ضرورت شناخت مصالح سنگی مصرفی و دوام آن‌ها در سازه‌های دریایی زمانی مشخص می‌گردد که به فهرست تعداد قابل ملاحظه‌ای از سازه‌های تخریب شده، به علت کاربری مصالح سنگی نامرغوب و بی دوام توجه شود [۲].

مطالعات و پژوهش‌های زیادی در زمینه زوال و دوام مصالح سنگی در محیط‌های دریایی نقاط مختلف جهان، انجام شده است که هر کدام به نوبه خود گام مهمی را در زمینه استفاده و کاربرد مصالح مطلوب و مرغوب، همچنین جلوگیری از تخریب سازه‌ها و بروز ضرر و زیان مالی برداشته است. نتایج این پژوهش‌ها برای بعضی از شرایط آب و هوایی ممکن است مناسب باشد اما برای شرایط گرم و کم باران جنوبی کشور ما، نیاز به تجدید نظر در بعضی از نتایج و به‌روز کردن آن‌ها می‌باشد. تحقیقات انجام شده در داخل کشور نیز هرچند با ارزش و بسیار مفید هستند، اما هر یک به صورت موردی به یک منطقه خاص از سواحل جنوبی کشور پرداخته و از این جهت نمی‌توان نتایج آن‌ها را به تمام انواع سنگ‌های مورد استفاده در سرتاسر سواحل جنوبی تعمیم داد. لذا با توجه به خرابی‌های گزارش‌شده، ضرورت بررسی دوام و زوال مصالح سنگی مصرفی در بخش حفاظ سازه‌های مذکور با توجه به اهمیت اقتصادی و تجاری اکثر بنادر و تسهیلات ساحلی احداث شده در این نواحی دو چندان می‌شود. بنابراین ارائه راه‌کارهای جدید جهت افزایش کیفیت و مقاومت سنگ‌های ضعیف، بهسازی و استحکام بخشی آن‌ها، از اهمیت خاصی برخوردار است. مطالعات صورت گرفته برای بررسی و رفع این مشکل، می‌تواند در عموم سازه های سنگی دیگر که می‌بایستی برای طول عمر زیاد مورد بهره برداری قرار گیرند نیز قابل تعمیم است.

۱-۲ هدف و ضرورت تحقیق

سنگ یکی از مصالحی است که در احداث این موج شکن‌های توده سنگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. رفتار سنگ در موج شکن‌ها در طول سرویس دهی بستگی به ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی، محیطی و موقعیت مکانی سنگ روی سازه موج شکن دارد. این ویژگی‌ها در هنگام انتخاب سنگ مناسب، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. از سوی دیگر، ارزیابی کیفی سنگ مناسب در کشور، با استفاده از استانداردها، ضوابط و پیشنهادهایی که عمدتاً مربوط به کشورهای دیگر هستند، انجام می‌پذیرد [۳]. با توجه به اینکه این معیارها برای شرایط آب و هوایی و اقتصادی و با در نظر گرفتن موجودیت مصالح سنگی همان کشورها تدوین شده‌اند، لذا استفاده از آن‌ها در طراحی پروژه‌های داخل کشور مشکلاتی را به وجود آورده است. به گونه‌ای که گاه در انتخاب سنگ مناسب، مشاوران و پیمانکاران، مجبور به نادیده گرفتن قسمت‌هایی از این استانداردها و معیارها شده‌اند، زیرا مشخصات فیزیکی و شیمیایی مصالح سنگی موجود در منطقه، در بازه‌ی قابل قبول اکثر این استانداردها نمی‌گنجد. با توجه به فقر مناطق

ساحلی کشور از نظر مصالح سنگی مرغوب، این مسئله می‌تواند از جنبه اقتصادی بسیار حائز اهمیت باشد. بر مبنای اکثر معیارها، سنگ‌های لوماشلی که اغلب وزن مخصوص پایین و جذب آب نسبتاً بالایی دارند، برای کاربرد در لایه حفاظ موج‌شکن‌ها عموماً فاقد صلاحیت شمرده می‌شوند و با توجه به پارامترهای اقتصادی، حمل سنگ مقاوم از فواصل دروتر مقرون به صرفه نخواهد بود. با توجه به ویژگی‌های ذکر شده و شرایط سنگ‌های معادن جنوب کشور، با کمبود منابعی که دارای تمامی این پارامترها باشد، روبرو می‌شویم [۴].

لذا با توجه به معیار های انتخاب سنگ موجود، بهسازی مقاومتی و دوام داری سنگ‌های لوماشلی، می‌تواند دسته‌ای از آن‌ها را که دارای خواص ضعیفی هستند و در طبقه بندی این معیارها امتیاز پایینی دارند را در شرایطی قرار دهد که با افزایش امتیاز، قابل استفاده باشند.

۱-۳ ساختار پایان نامه

پس از فصل کلیات که شامل معرفی و اهمیت موضوع و نیز شرح برنامه و اهداف تحقیق می‌باشد، دیگر فصول پایان نامه به شرح زیر تنظیم شده است:

فصل دوم: شامل مبانی تئوری و اصول کلی فرایند و مروری بر تحقیقات و کارهای صورت گرفته در این زمینه می‌باشد تا دانش و آگاهی کلی در مورد سازه موج شکن و معیارهای انتخاب سنگ مناسب حاصل گردد.

فصل سوم: معرفی سنگ لوماشلی و آسیب شناسی علل ایجاد کننده زوال سنگ مورد مطالعه

فصل چهارم: معرفی انواع استحکام بخش‌ها و مواد و روش‌های به کار برده شده جهت بهسازی و استحکام بخشی صدف سنگ‌های ضعیف و لوماشل‌ها در آزمایش‌ها را شامل می‌شود.

فصل پنجم: در این فصل ابتدا به معرفی معیار مناسب انتخاب شده پرداخته شده است. سپس آزمایش‌های انجام گرفته بر روی نمونه‌های بهسازی شده، تشریح و نتایج حاصل از آن‌ها ارائه گردیده است.

فصل ششم: این فصل شامل نتیجه‌گیری و جمع بندی کلی نتایج حاصل از پژوهش صورت گرفته و ارائه پیشنهادات جهت تحقیقات و پژوهش‌های بعدی می‌باشد.

فصل دوم

مبانی نظری موضوع و مروری بر مطالعات صورت گرفته

۲-۱ مقدمه

موج‌شکن‌های توده سنگی رایج‌ترین نوع موج‌شکن‌های اجرا شده در سراسر دنیا هستند. استحکام پس از اجرا و اقتصادی بودن روش‌های ساخت از فرآیندهای اصلی موج‌شکن‌های توده سنگی است. از آن جهت که فراوانی سنگ‌ها و مقرون به صرفه بودن استفاده از آن برای کارفرمایان بسیار حائز اهمیت است [۵]. مصالح سنگی مورد استفاده در این سازه، در معرض شرایط محیطی قرار می‌گیرند که هم از لحاظ نوع و هم از لحاظ شدت با شرایطی که در آن قرار داشته‌اند، متفاوت است؛ لذا انتخاب نوع سنگ با توجه به وضعیت کاربرد آن از اهمیت خاصی برخوردار است. این موج‌شکن‌ها جاذب بسیار خوبی برای امواج بوده و با توجه به شکل هندسی و ساختار آن‌ها، دارای پایداری و طول عمر بسیار زیاد می‌باشند [۶ و ۷].

در این فصل به تشریح ساختمان یک موج شکن توده سنگی می‌پردازیم. سپس معیارها و استاندارد های مورد استفاده جهت انتخاب سنگ مناسب برای لایه حفاظ سازه توضیح داده می‌شود و در ادامه با توجه به ویژگی‌های مورد نظر، معیار مناسب انتخاب می‌گردد.

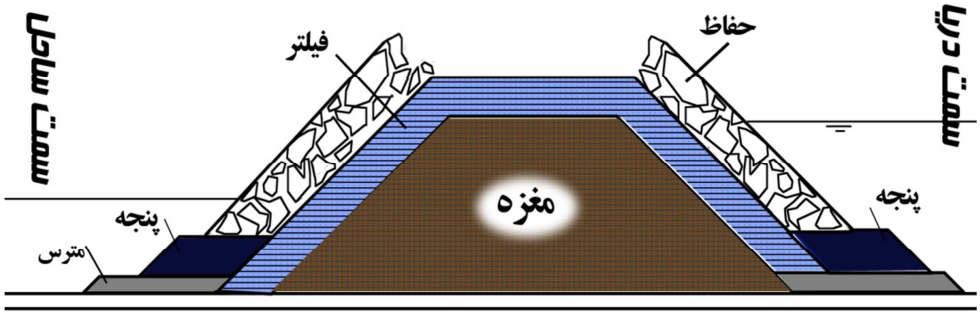
۲-۲ ساختمان موج‌شکن توده سنگی

امروزه احداث موج‌شکن‌های توده سنگی با کاربری بندری بسیار رایج شده است. مطابق شکل ۲-۱ این سازه معمولاً از دو بازوی سنگی با مقطع ذوزنقه‌ای شکل و با لایه‌بندی مشخص تشکیل می‌شود. حوضچه محصور و آرام بین دو بازوی موج‌شکن از طریق دهانه ورودی ایجاد شده بین بازوها به محیط مواج خارج از حوضچه مرتبط می‌شود و عبور و مرور شناورها از طریق این دهانه صورت می‌گیرد [۸].

شکل ۲-۱ نمایی از سازه موج شکن [۵]

موج‌شکن‌های توده سنگی معمولاً از چند لایه سنگی با دانه‌بندی متفاوت ساخته می‌شوند، به طوری که سنگ‌های ریزتر لایه‌های داخلی در اثر شسته شدن، از میان فضاهای خالی موجود در لایه‌های بیرونی فرار نکنند. در واقع سنگ‌های کوچک‌تر به عنوان یک پایه و اساس در داخلی‌ترین لایه قرار گرفته و لایه‌های درشت‌تر از آن به گونه‌ای تعیین و جانمایی می‌گردند تا مصالح لایه‌های داخلی دچار شستگی و فرار نشوند و در خارجی‌ترین لایه، دانه‌بندی، اندازه و خصوصیات مکانیکی قطعات سنگی، بایستی به گونه ای باشد تا بتوان در مقابل حمله امواج مقاومت کنند. یعنی میزان حرکت و جابجایی قطعات نزدیک به صفر و یا در حد قابل اغماضی باشد. با ین ترتیب این سازه دارای نیم‌رخی ثابت بوده و بدون تغییر شکل باقی می‌ماند [۵ و ۹].

به طورکلی بدنه یک موج‌شکن از سه بخش اصلی مغزه، فیلتر و لایه حفاظ تشکیل شده است. چنانچه بستر دریا در محل اجرای موج‌شکن ضعیف باشد در زیر بدنه سازه یک لایه با عنوان مترس ریخته می‌شود که بار ناشی از سازه را بر روی بستر دریا توزیع کرده و از نشست‌های غیرمجاز سازه جلوگیری می‌کند. قسمت‌های مختلف یک موج‌شکن توده سنگی در شکل ۲-۲ نشان داده شده است [۱ و ۱۰].



شکل ۲-۲ مقطعی از قسمت‌های مختلف یک موج‌شکن توده سنگی [۱]

۲-۲-۱ مترس[۱]

یک لایه از مصالح ریزدانه است که چنانچه بستر دریا در محل اجرای موج‌شکن مقاومت کافی برای تحمل وزن سازه را نداشته باشد، برای جلوگیری و کاهش نشست‌های غیرمجاز و غیرمتجانس، در زیر سازه موج-شکن و روی بستر ریخته می‌شود و حکم بالشتک توزیع بار بر روی بستر را دارد. معمولاً با ضخامت در حدود ۵۰ تا ۷۰ سانتی‌متر اجرا می‌شود و اصلی‌ترین علت اجرای آن جلوگیری از نشست لایه‌های فیلتر و آرمور و فرسایش در پای موج‌شکن در بسترهای عمدتاً ماسه‌ای دریا می‌باشد [۱ و ۸].

۲-۲-۲ مغزه[۲]

نقش بدنه اصلی سازه را داشته و سایر قسمت‌های موج‌شکن بر روی این قسمت قرار می‌گیرند و و از لحاظ مقدار و درصد به طور معمول بین ۷۰ تا ۸۰ درصد حجم کلی موج‌شکن را شامل می‌شود. مصالح مورد استفاده در این قسمت از موج‌شکن در تماس مستقیم با آب دریا نیستند، اما باید دارای مقاومت مناسب در برابر انحلال بوده و همچنین مقاومت مکانیکی لازم برای تحمل فشار ناشی از لایه‌های رویی را داشته باشد، در غیر این صورت سازه دچار نشست شده و نقاط ضعفی در آن به وجود می‌آید که در نهایت می‌تواند نقطه شروعی برای تخریب تدریجی سازه باشد [۱].

از جمله خصوصیات دیگری که برای مغزه در نظر گرفته می‌شود تراوایی و قابلیت عبور آب است به طوری که مغزه بایستی علاوه بر دارا بودن تراکم و فشردگی لازم تا حدودی قابلیت عبور آب را از خود نشان دهد. از طرف دیگر تخلخل بیش از حد نیز باعث عبور امواج از داخل مغزه شده و در نتیجه عدم آرامش در حوضچه و یا رسوب‌گذاری را به دنبال خواهد داشت [۱ و ۹].

---

[۱] Matres
[۲] Core

۲-۲-۳ فیلتر[1]

لایه به منظور حفاظت از مصالح مغزه موج‌شکن در برابر شستگی، در بین مغزه و لایه حفاظ قرار می‌گیرد. خصوصیات دانه بندی سنگ‌های این لایه به گونه‌ای است که بتواند از خروج مصالح مغزه در اثر مکش ناشی از حرکت رفت و برگشتی امواج جلوگیری کند و همچنین خود نیز از میان بلوک‌های لایه حفاظ خارج نشود. به عبارت دیگر حفظ مغزه در شرایط ساخت و بهره برداری و نیز فراهم نمودن شرایط لازم برای استقرار لایه حفاظ از وظایف لایه فیلتر به شمار می‌رود [۸].

۲-۲-٤ لایه حفاظ[2]

قطعات بزرگ سنگی یا بتنی هستند که در یک یا دو لایه بر روی فیلتر قرار می‌گیرند و نقش آن‌ها در سازه به عنوان مستهلک کننده انرژی موج و حفاظت لایه‌های زیرین می‌باشد. چنانچه لایه حفاظ از قطعات سنگی ساخته شده باشد، این قطعات بسیار درشت و ابعاد آن‌ها گاهی به چند متر و وزن آن‌ها تا ۲۰ تن هم می‌رسد. در انتخاب سنگ‌های این لایه باید دقت کافی به کار برد زیرا سنگ‌های این لایه باید سخت و دارای بهترین کیفیت و دوام باشند. این سنگ‌ها باید فاقد تورق و صفحات ضعیف بوده و در مقابل عواملی نظیر تر و خشک شدن مداوم، یخ بستن و ذوب شدن و ضربه امواج مقاوم باشند و توسط این عوامل تجزیه و متلاشی نشوند [۱].

به علاوه این سنگ‌ها باید قابل حمل بوده و در اثر برداشتن و قرار دادن مجدد روی زمین، دچار ترک و شکستگی نشوند. در استقرار لایه حفاظ بایستی سنگ‌ها به صورت منظم و به هم چسبیده قرار داده شوند تا به کمک اصطکاک بین قطعات، اثرات ضربه‌ای امواج را خنثی کنند. همچنین سنگ‌های این لایه نباید گرد گوشه باشند تا کاملاً درهم قفل و بست شوند. از لحاظ نسبت ابعاد نیز بزرگ‌ترین بعد سنگ‌های آن نباید از ۲/۵ برابر کوچک‌ترین بعد آن بیشتر باشد، چرا که افزایش آن ممکن است عامل ایجاد حفره‌های بزرگ و تخریب‌های بعدی گردد [۱۰].

---

[1] Filter
[2] Armour