بررسی عملکرد سنگهای آرمور درموج شکنهای توده سنگی سواحل شمالی خلیج فارس(استان بوشهر)

نوشته: حمیدرضا حسنلی * ، دکتر مهدی شفیعی فر** و دکتر محمدرضا نیکودل***

Performance Assessment of Armoure the Rubble Mound Breakwaters Located in Northern Coasts of Persian Gulf (Boushehr Province)

By: H.R. Hassanli * , Dr. M. Shafieefar** & Dr. M.R. Nikoodel***

چکیده

در تحقیق حاضر با هدف بررسی عملکرد سنگ در موج شکنهای توده سنگی سواحل شمالی خلیج فارس (استان بوشهر)، مطالعه موردی برروی ۱۲ موج‌شکن توده سنگی این منطقه از خلیج نای بند واقع در بندر عسلویه تا بندر بوشهر انجام پذیرفته است. بدین منظور در قالب یک عملیات صحرایی گسترده، از مصالح سنگی تک تک این موج شکنها در مقاطع مختلف نمونه برداری شده و نمونه‌ها تحت آزمایشهای مختلف سنجش کیفیت سنگ قرار گرفته و نتایج آزمایشها با استانداردهای مختلف موجود در دنیا مقایسه شده است. افزون بر این، از هر یک از نمونه‌ها مقطع نازک تهیه شده و با استفاده از میکروسکوپ، جنس و ذرات تشکیل دهنده آنها تعیین شده است. همچنین عملکرد واقعی و طبیعی هر یک از نمونه‌ها در شرایط محیطی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که اولاً سنگهای مطالعه شده منطقه کلاً رسوبی بوده و قابل تقسیم به زیرگروههای مختلفی می‌باشند. دوم، ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی سنگهای منطقه در بازه مورد قبول بیشتر استانداردها نمی‌گنجند و از این نظر سنگهای منطقه برای ساخت موج شکن قابل استفاده نمی‌باشند. ولی عملاً این سنگها در مواردی عملکرد مناسبی از خود نشان داده‌اند که این عملکرد به ساختار سنگ و موقعیت مکانی هر گروه از سنگها برروی سازه موج شکن مربوط می‌شود. سوم اینکه ملاحظات طراحی، اجرایی و سازه‌ای می‌تواند به شکلی در نوع عملکرد سنگ دخیل باشد.

کلید واژه‌ها: موج شکن توده سنگی، مصالح سنگی در موج شکنها، آزمایشهای سنگ، دوام سنگ در محیط دریا

Abstract

In this research durability of rocks used in rubble mound breakwaters has been studied. As a part of this research, twelve case studies have been conducted on twelve breakwaters located on the northern coast of Persian Gulf in Bushehr Province (between Naay Band estuary in Assaluyeh Port to Bushehr Port). Moreover, to conduct extensive site investigations, some samples were collected from different cross-sections of breakwaters. In each case, standard quality-control tests were carried out on samples and test results compared with different authentic standards. Furthermore, thin sections of each sample were prepared and classified by petrographical microscope. In addition, actual and natural properties of the samples were examined with respect to environmental conditions.Type 1 and 2 sequence boundary, Tejas megasequence, TB2, Serravallian.

Key words: Rubble Mound breakwater, Rock Materials in Breakwaters, Rock Tests, Rock Durability in Marrine Environment.

۱– مقدمه

در احداث موج شکنهای توده سنگی، بهره گیری از امکانات محلی و دسترسی به مصالح مناسب و باصرفه اقتصادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سنگ یکی از مصالحی است که در احداث این موج شکنها مورد استفاده قرار می گیرد. رفتار سنگ در موج شکنها در طول سرویس‌دهی 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 می گیرند. معیار ارزیابی کیفی سنگ مناسب، با استفاده از استانداردها و معیارهایی که عمدتاً مربوط به کشورهای دیگر است، انجام می‌پذیرد. با توجه به اینکه این معیارها اغلب برای شرایط آب و هوایی و اقتصادی همان کشورها تهیه شده‌اند، لذا استفاده از آنها در طراحی پروژه‌های ایران مشکلاتی 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، چراکه ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی مصالح سنگی موجود در منطقه، عمدتاً در بازه مورد قبول بیشتر این استانداردها نمی گنجد. از سوی دیگر، بررسیها نشان می‌دهد که برخی از همین مصالح سنگی، وقتی که در شرایط آب دریا واقع شوند و یا در موقعیت مکانی مناسب روی موج شکن قرار گیرند، می‌توانند عملکرد قابل قبولی را از خود نشان دهند. با توجه به فقر مناطق ساحلی از نظر مصالح سنگی، این مسأله می‌تواند از جنبه اقتصادی بسیار حائز اهمیت باشد.

با توجه به اهمیت موضوع، تصمیم گرفته شد با مطالعه موردی بر روی موج‌شکنهای توده سنگی ساخته شده در استان بوشهر، از خلیج نای بند واقع در عسلویه تا بندر بوشهر، عملکرد مصالح سنگی موج شکنهای منطقه بررسی شده و با توجه به آزمایشهای سنجش کیفیت سنگ که بر روی این مصالح انجام می‌گیرد و همچنین عملکرد طبیعی و واقعی این سنگها در شرایط محیطی و تحلیل نتایج به دست آمده بتوان نخست، سنگهای مناسب در منطقه برای ساخت موج شکن را تعیین و رده بندی کرد. دوم، موقعیت مناسبی را که هر نمونه سنگ می‌تواند روی موج شکن داشته باشد تا بهترین عملکرد و کمترین فرسایش را از خود نشان دهد، مشخص کرد. سوم، عوامل اجرایی، طراحی و سازه‌ای که در عملکرد سنگ دخیل هستند، شناسایی شوند.

در این راستا، ۱۲ موج‌شکن توده سنگی شامل: ۱) موج‌شکن حفاظت استحصال زمین از دریا در مجتمع پتروشیمی عسلویه، ۲) موج‌شکن بندر خدماتی پارس، ۳) موج شکن بازوی باختری بندر پتروشیمی، ۴)موج‌شکن B10 فاز II طرح استحصال اراضی پتروشیمی عسلویه، ۵) موج‌شکن نخل تقی، ۶) موج‌شکن شیرینو، ۷) موج‌شکن طاهری، ۸) موج‌شکن کنگان، ۹)موج‌شکن دیر، ۱۰) موج‌شکن عامری، ۱۱) موج‌شکن رستمی، ۱۲)موج‌شکن محمد عامری، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت.

عملیات تحقیق بدین ترتیب بود که در هر یک از این موج شکنها، دست کم ۱۲ نمونه به ابعاد حداقل (۴۰ cm × ۴۰ cm) در چهار منطقه سازه‌ای از موج شکن شامل: منطقه‌ای که دائماً غرقاب است، منطقه‌ای که در محدوده کشندی واقع است، منطقه‌ای که در بالای کشند واقع است و منطقه تاج و همچنین از نقاط مختلف موج شکن نظیر: ابتدای موج شکن، منطقه قوسی و هد موج شکن تهیه شد. از طرفی، به منظور ارزیابی عملکرد واقعی و طبیعی هر یک از این نمونه‌ها در شرایط محیطی سعی شد با مشاهدات محلی، وضعیت سنگها از جنبه‌های زیر مورد بررسی قرار گیرد:

۱–آیاسنگ دچار گرد گوشگی شده یا اینکه گوشه‌های خود را حفظ کرده‌است؟

۲– آیا بر روی سنگ، جلبک و صدفهای دریایی رشد کرده است ؟

۳– آیا سطح سنگ به راحتی خش برمی‌دارد و نرم شده است ؟

۴– آیا سنگ در برابر ضربه چکش به راحتی خرد می‌شود ؟

۵–آیا سنگ دچار فرسایش شده یا اینکه در برابر فرسایش مقاومت کرده است؟

۶– اگر سنگ دچار فرسایش شده، فرسایش از چه نوعی و در چه ناحیه‌ای از سازه اتفاق افتاده است؟

۷– اگر سنگ دچار فرسایش شده، آیا این فرسایش عمقی است یا سطحی؟

۸– از دید ظاهری، نوع ذرات تشکیل دهنده سنگ، اندازه این ذرات و پیوند بین آنها چگونه است ؟

سپس نمونه‌ها طی چندین ماه تحت آزمایشهای مختلف سنجش کیفیت قرار گرفت. همچنین از هر یک از این نمونه‌ها، مقطع نازک گرفته شد و از طریق میکروسکوپ، نام سنگ شناسی آنها مشخص گردید.

۲– مشخصات سنگ در موج شکنهای توده سنگی و دوام سنگ

با توجه به شرایط اقلیمی و منطقه‌ای حاکم بر سواحل کشور، سنگ از عمده مصالحی است که در ساخت موج شکنها استفاده می‌شود. سنگی که برای کارهای حفاظتی و موج شکنها استفاده می‌شود، باید مقاوم بوده و کیفیت بالا و دوام خوبی داشته باشد و عاری از ورقه ورقه شدن و صفحات ضعیف باشد و شامل مشخصاتی نباشد که باعث متلاشی شدن یا فرسایش در اثر عملکرد هوا، آب، تر و خشک شدن، یخ زدن و آب شدن، و ضربه ناشی از عملکرد امواج شود. سنگ باید به گونه‌ای باشد که قابل حمل و جابه جایی و قرارگیری در موقعیت مورد نظر روی سازه باشد بدون اینکه دچار شکست یا خسارت شود. یک سری خواص، مربوط به سنگ است که می‌تواند عملکرد سنگ را به شدت تحت تأثیر قرار دهد این خواص عبارتند از: وزن مخصوص، جذب آب، تخلخل، مقاومت فشاری و کششی، مقاومت سایشی، میزان هوازدگی و ناپیوستگیها

(CUR,2000; Poole et al.,1983;Fookes et al.,1984).

در راستای تأمین ایمنی و پایداری موج شکنهای توده سنگی، لازم است سنگهای مصرفی در لایه‌ها، بویژه لایه حفاظتی (آرمور) از دوام خوب و مطلوبی برخوردار باشند. چرا که بی‌دوامی سبب کاهش وزن، افزایش گردگوشگی و قطعه قطعه شدن بلوکهای سنگی گردیده و در برابر نیروهای هیدرودینامیکی مهم امواج، از جای خود کنده شده و باعث ایجاد ضعف موضعی و در نهایت سبب صدمه جدی به بدنه موج شکن می‌شود (جلالی،۱۳۶۹؛ Fookes et al.,1984).

اثرات بی‌دوامی سنگ در موج شکنها می‌تواند به صورت ساییدگی، پوسته پوسته شدن و شکستگیهای بزرگ نمایان شود. عوامل مهمی که می‌تواند باعث بی‌دوامی سنگ در موج شکنها شود، عبارتند از: موقعیت سنگ در موج شکن، شرایط آب و هوایی و تغییرات آن، شرایط فیزیکی محل موج‌شکن، نوع سنگ و درجه هوازدگی(مهین روستا،۱۳۷۶؛ BDCP of London Conference, 1983). چنانچه نتیجه مطالعه برروی منابع سنگ محلی گویای افت و زوال سریع سنگ آرمور باشد، در این صورت، برای افزایش دوام سنگ به کاررفته در سازه باید یک یا ترکیبی از راه حلهای زیر در طراحی و اجرا در نظر گرفته شود.

- حفاظت و نگهداری و مرمت در حد وسیع .
- به کارگیری ابعاد بالا در سنگ آرمور .
- تغییر شیب طراحی موج شکن در وجه رو به دریا .
- استفـــاده از سنگ با کیفیت بالا از معـــــادن دورتـر (صادقی،۱۳۸۰؛ Latham&Poole,1988) .

۳- آزمایشهای سنجش کیفیت و دوام سنگ

امروزه برای پی بردن به دوام و خواص سنگ، بویژه خواص ذاتی آن، آزمایشهای بسیاری به کار می‌رود که با استناد به نتایج این آزمایشها، می‌توان در مورد مناسب بودن یا نامناسب بودن سنگ برای کاربرد خاص، اظهار نظر کرد. معمولاً آزمایشهایی که برای تعیین ویژگیهای کلی سنگ توصیه می‌شوند، عبارتند از: چگالی سنگ، سایش، یخ زدن/ ذوب شدن، مقاومت فشاری تک محوری، استحکام گسیختگی، کانی شناسی و سنگ‌شناسی، ارزش ضربه‌ای، سلامت سولفات منیزیم، جذب متیلن آبی، جذب آب، ترشدن/ خشک شدن (OCDI,1991;Poole et al.,1983; Fookes et al.,1984).

معیارهایی که برای قابل پذیرش بودن مصالح سنگی ارائه شده است، از دید آیین نامه‌های مختلف یا از دید متخصصانی که شخصاً با یک سری آزمایشها به آنها دست یافته‌اند و پیشنهاد داده‌اند، با هم متفاوت است که جمع بندی این معیارها بر مبنای آزمایشهای معمول سنجش کیفیت سنگ در جدول ۱ آورده شده است.

۴- وضعیت چینه‌ای واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه

با بررسی و مشاهدات مشخص شد که همه سنگهای استفاده شده در محدوده مورد بررسی از نوع رسوبی بوده و می‌توان آنها را به گروههای زیر تقسیم کرد: ۱) سنگهای آهکی مارنی (تعداد نمونه برداشت شده ۲۵ عدد)، ۲)سنگهای آهکی لوماشل (تعداد نمونه برداشت شده ۱۵ عدد)، ۳) ماسه سنگهای آهکی (تعداد نمونه برداشت شده ۱۰عدد)، ۴)سنگهای آهکی متبلور (تعداد نمونه برداشت شده ۱۰ عدد)، ۵) سنگهای آهکی فسیل دار (تعداد نمونه برداشت شده ۲۰ عدد)، ۶) سنگهای کنگلومرای آهکی (تعداد نمونه برداشت شده ۵ عدد) . در میان این گروهها، سنگهای آهکی مارنی دارای بیشترین و سنگهای کنگلومرای آهکی دارای کمترین فراوانی و تنوع هستند .

۵- بررسی وضعیت موجود کیفیت سنگ برای گروههای مختلف سنگی

همان طورکه اشاره شد، نمونه‌های سنگی تهیه شده در هر موج شکن از چهار منطقه سازه‌ای: منطقه غرقابی، منطقه کشندی، منطقه فراکشندی و منطقه تاج و همچنین از نقاط مختلف بازوی موج شکن از جمله: ابتدای موج شکن، منطقه قوسی و هد موج‌شکن می‌باشد. در این تحقیق، با توجه به وقت‌گیر و پرهزینه بودن بعضی از آزمایشهای تعیین کیفیت سنگ، به آزمایشهایی چون: جذب آب، تخلخل، وزن مخصوص، سلامت سنگ در سولفات، سایش لوس آنجلس، ارزش ضربه‌ای و اندیس فشاری بار نقطه‌ای بسنده شد. از طرفی، این نتایج با استانداردهای مختلف مقایسه شد (جدول ۲). قسمت بالای جدول شامل محدوده مشخصات گروههای مختلف سنگی براساس نمونه‌های برداشت شده از منطقه و قسمت پایین جدول محدوده قابل پذیرش سنگ از دید استانداردها و معیارهای مختلف است. در ضمن، با توجه به مشاهده عملکرد واقعی سنگها در شرایط محیطی آب دریا و سازه موج شکن و همچنین سنگهای موجود در منطقه مطالعاتی، محققان این مقاله، معیاری را برای انتخاب سنگ مناسب در موج شکنهای سواحل جنوبی کشور پیشنهاد داده که در انتهای جدول ۲ آمده است. لازم به ذکر است که بر اساس جدول۱، بازه مورد قبول از دید استانداردها و معیارها با هم متفاوت است ولی در جدول ۲، بازه‌ای به عنوان ملاک در نظر گرفته شده است که بازه مورد قبول کلیه استانداردها و معیارها را بپوشاند.

۶- امتیاز بندی مشخصات فیزیکی سنجش کیفی گروههای مختلف سنگی در منطقه مورد مطالعه

در اینجا لازم است که برای مقایسه گروههای مختلف سنگی، مشخصات

فیزیکی سنگها رده‌بندی شود که این رده‌بندی به صورت عالی، خوب، متوسط، ضعیف و بسیار ضعیف است. بدین صورت که با استفاده از محدوده قابل پذیرش سنگ از دید نویسندگان مقاله که در جدول۲ به آن اشاره شد، برای حد بالای معیار درجه عالی و حد پایین معیار درجه بسیار ضعیف در نظر گرفته و بین این دو رتبه، براساس تنوع سنگهای منطقه و نقش مؤثر هر یک از مشخصات فیزیکی در عملکرد واقعی سنگها، رتبه خوب، متوسط و ضعیف در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه اهمیت هر یک از آزمایشهای سنجش کیفیت در ارزیابی ایستایی و پایداری و دوام سنگها در موج شکن با هم یکسان نیست، با توجه به میزان این اهمیت، به هریک از مشخصات، امتیاز داده شده است. برای مثال، برای وزن مخصوص که هم در دوام سنگ تأثیرگذار است و هم نقش اساسی در پایداری سنگ برروی موج شکن دارد (براساس فرمول هادسون) ، بیشینه امتیاز ۲۰ و کمینه امتیاز ۲ در نظر گرفته شده و بین این دو مقدار، براساس بازه رده بندی خوب، متوسط و ضعیف امتیاز دهی شده است. به همین ترتیب، برای مشخصاتی از جمله ارزش ضربه و شاخص بار نقطه‌ای که در پایداری و دوام سنگها اهمیت کمتری دارند، امتیاز بیشینه ۱۰ و کمینه ۱ در نظر گرفته شده است. بدین شکل، هریک از رده‌بندیهای فوق امتیازبندی شده و در نهایت برای هر یک از رده‌ها، محدوده امتیاز کلی مشخص شده و نتایج در جدول۳ آمده است و حکم یک الگوی امتیاز دهی به مشخصات فیزیکی سنگ را دارد. در ادامه، براساس نتایج جدول۳ و محدوده مشخصات گروههای مختلف سنگی منطقه مورد مطالعه، به مشخصات فیزیکی هر گروه از سنگهای منطقه امتیاز داده می‌شود که نتایج در جدول۵ قابل رؤیت است .

لازم به ذکر است که در امتیاز دهی به هریک از گروهها، میزان فراوانی نمونه‌ها در منطقه در نظر گرفته شده است .

۷- عوامل سنگ شناختی مؤثر در عملکرد واقعی گروههای مختلف سنگی در منطقه مورد مطالعه

با توجه به نتایج جدولهای ۲، ۳ و ۵ و مشاهداتی که از عملکرد واقعی این سنگها در شرایط محیط دریا انجام پذیرفت، نتیجه‌گیری شد که با توجه به مشخصات فیزیکی این سنگها، ظاهراً خیلی از آنها نباید عملکرد مناسبی از خود نشان دهند و قابل استفاده در موج شکن نیستند، ولی واقعیت این است که برخی از این سنگها هنگامی که در شرایط محیطی دریا قرار گیرند و یا در موقعیت مکانی خاصی از سازه موج شکن واقع شوند، عملکرد کاملاً متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. در این راستا، علاوه بر مشخصات فیزیکی، پارامترهای دیگری نیز می‌توانند عملکرد سنگ را تحت شعاع قرار دهند و این پارامترها از طریق سنگ شناسی توصیفی قابل تشخیص هستند. این پارامترها که بیشتر مربوط به ساختار سنگ هستند، عبارتند از :

میزان ماده سیمانی سنگ و نوع آن، میزان فسیلهای موجود در سنگ در واحد سطح، تراکم و اندازه فسیلها، میزان چسبندگی فسیلها با بدنه اصلی سنگ، میزان پیوستگی بین ذرات تشکیل دهنده سنگ، همگنی یا عدم همگنی سنگ از نقطه نظر ذرات تشکیل دهنده، قابلیت تجمع جلبک و صدفهای دریایی برروی پیکره سنگ، میزان درز و شکافهای اولیه در سنگ، ریزدانه یا درشت دانه بودن ذرات اصلی سنگ، میزان هوازدگی اولیه در سنگ و موقعیت مکانی سنگ برروی موج شکن (فهیمی فر و سروش،۱۳۸۰؛ جلالی،۱۳۶۹؛ نیکودل،۱۳۶۹؛ CUR,2000; CEM;BSI,1991).

۸- بررسی عملکرد گروههای مختلف سنگی در منطقه مورد مطالعه

با توجه به مشاهدات صحرایی که از نمونه سنگهای منطقه انجام پذیرفت و همچنین نتایج آزمایشهای سنجش کیفی نمونه‌ها و مقایسه با بازه پیشنهادی نگارندگان مقاله (جدولهای ۲ ،۳ ، ۵) ، عملکرد هر یک از گروه سنگهای منطقه به قرار زیر است .

۸-۱- سنگهای آهکی مارنی: در این سنگها، میزان جذب آب، تخلخل و وزن مخصوص در حد ضعیف تا بسیار ضعیف، و سایش لوس آنجلس، ارزش ضربه‌ای و شاخص بار نقطه‌ای در حد ضعیف و سلامت سنگ در حد خوب است. ولی مشاهدات صحرایی گویای این است که عملکرد این سنگها علاوه بر مشخصات فیزیکی، بیشتر تحت تأثیر ذرات تشکیل دهنده سنگ است. فرسایش این سنگها در ناحیه فراکشندی و تاج به صورت هوازدگی و پوسته پوسته شدن است که این فرسایش در ناحیه فراکشندی به مراتب بیشتر از تاج است (شکل۱). این سنگها در ناحیه کشندی و غرقابی دارای عملکرد ضعیفی هستند، به طوری که در ناحیه کشندی دچار سایش شدید شده و به شدت گردگوشه می‌شوند و در ناحیه غرقابی مقاومتشان به شدت کاهش می‌یابد به طوری که موجودات دریایی می‌توانند به راحتی در سنگ نفوذ کنند (شکلهای ۲ ، ۳ ، ۴). فروریزی لایه آرمور در تعدادی از موج شکنهای منطقه از جمله شیرینو، طاهری و بخشی از موج شکن بندر خدماتی پارس عسلویه ناشی از به کارگیری این سنگ در اعماق است و بدین شکل که در اعماق به دلیل کاهش مقاومت، سنگهای زیرین نتوانسته‌اند فشار ناشی از لایه‌های آرمور بالایی را تحمل نمایند و زیر این فشار خرد شده‌اند و مکش موج هم مزید بر علت شده و باعث فروریزی لایه آرمور شده است. در این سنگها، با افزایش تخلخل و میزان جذب آب، فرسایش نیز افزایش می‌یابد. وجود ذرات فسیل، هم در مقاومت و هم در نوع فرسایش

سنگ تأثیرگذار است به طوری که مقاومت را افزایش داده و فرسایش را از حالت پوسته پوسته شدن به حالت حفره‌ای شدن تبدیل می‌کند. لازم به ذکر است که فرسایش حفره‌ای به مراتب بهتر از پوسته پوسته شدن است .

۸-۲- سنگهای آهکی لوماشل: در این سنگها، میزان جذب آب، تخلخل، وزن مخصوص و سایش لوس آنجلس در حد بسیار ضعیف، ارزش ضربه و شاخص بار نقطه‌ای در حد ضعیف تا بسیار ضعیف و سلامت سنگ در حد خوب بوده و کلاً مشخصات فیزیکی بسیار ضعیفی دارند. ولی مشاهدات صحرایی گویای این است که عملکرد این سنگها به شدت تحت تأثیر اندازه ذرات فسیل و مواد سیمانی بین ذرات است. در ناحیه فراکشندی سنگهای لوماشل ریزدانه نسبت به لوماشل درشت دانه فرسایش کمتری دارند و فرسایش سنگهای لوماشال درشت دانه در این ناحیه به صورت جدا شدن مواد سیمانی بین ذرات، و زبر شدن سطح رویه سنگ است در حالی که فرسایش لوماشل ریزدانه در این محیط به صورت پوسته پوسته شدن است. در ناحیه کشندی و غرقابی، به دلیل تجمع جلبکها و صدفها برروی سنگ، عملکرد این دو سنگ شبیه به هم بوده و هر دو سنگهای خوبی هستند به طوری که فرسایش کم بوده و سنگ گوشه‌های خود را حفظ می‌کند (شکلهای ۵ و ۶) .

۸-۳- ماسه سنگهای آهکی: در این سنگها، سایش درحد بسیار ضعیف، میزان جذب آب، تخلخل و وزن مخصوص در حد ضعیف تا بسیار ضعیف، ارزش ضربه و شاخص بار نقطه‌ای در حد ضعیف و سلامت سنگ در حد خوب است. ولی مشاهدات صحرایی گویای این است که عملکرد این سنگها به شدت تحت تأثیر مشخصات فیزیکی آن است، به طوری که هرقدر میزان جذب آب، تخلخل و افت وزنی سنگ در سولفات کمتر و وزن مخصوص بیشتر باشد، به همان اندازه فرسایش کمتر است. این سنگها کلاً در ناحیه فراکشندی بسیار فرسایش پذیر بوده و پوسته پوسته می‌شوند ولی اگر مشخصات فیزیکی مناسبی داشته باشند در ناحیه کشندی و غرقابی سنگهای خوبی هستند به طوری که جلبک فراوانی بر روی آنها می‌نشیند که در نتیجه گوشه‌های خود راحفظ کرده و فرسایش در آنها خیلی کم و در حد یک سری حفره‌های انحلالی کوچک خواهد بود (شکل ۷) .

۸-۴- سنگهای آهکی متبلور : در این سنگها شاخص بار نقطه‌ای و سایش لوس آنجلس در حد ضعیف، ارزش ضربه در حد متوسط، تخلخل و وزن مخصوص در حد خوب تا متوسط، میزان جذب آب در حد خوب و سلامت سنگ در حد عالی است. اگرچه این سنگ، مشخصات فیزیکی قابل قبولی دارد ولی مشاهدات صحرایی گویای این است که عملکرد این سنگها به شدت تحت تأثیر میزان درز و شکافهای اولیه‌ای است که در سنگ وجود دارد و این درز و شکافها فاقد پر کننده هستند. اگر این سنگ دارای درز و شکافهای اولیه زیادی باشد و مواد پرکننده بین ترکها از جنس مواد قابل انحلال باشند، در ناحیه کشندی و غرقابی عملکرد خوبی ندارد و به سرعت فرسایش می‌یابد، ولی درصورتی که درز و شکافهای اولیه کم باشد، عملکرد خوبی دارند. در ناحیه فراکشندی، این سنگ در هر شرایطی عملکرد خوبی از خود نشان داده است (شکلهای ۸، ۹، ۱۰) .

۸-۵- سنگهای آهکی فسیل دار: در این سنگها، سایش لوس آنجلس در حد بسیار ضعیف، ارزش ضربه و شاخص بار نقطه‌ای در حد ضعیف، جذب آب، تخلخل و وزن مخصوص در حد ضعیف تا بسیار ضعیف و سلامت سنگ در حد عالی است. ولی مشاهدات صحرایی گویای این است که عملکرد این سنگها علاوه بر مشخصات فیزیکی، به تراکم فسیلها، اندازه فسیلها، نوع ذرات سیمانی و چسبندگی بین فسیلها با بدنه اصلی سنگ بستگی دارد. در این سنگها، هرچقدر فسیلها درشت‌تر، میزان فسیلها در واحد سطح بیشتر، میزان مارن سنگ کمتر و چسبندگی بین فسیلها با بدنه اصلی سنگ بیشتر باشد، به همان اندازه سنگ در برابر فرسایش مقاوم‌تر است .

برای مثال، اگر مقاطع سه نمونه T_2AA_1 ، T_3NB_1 و T_3tB_{Gb} را که اولی از موج شکن نخل تقی، دومی از موج شکن عسلویه و سومی از موج شکن طاهری تهیه شده است با هم مقایسه شوند (شکل ۱۱)، خصوصیات فیزیکی آنها مطابق جدول ۴ است .

نمونه T_3NB_1 در منطقه فراکشندی عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهد ولی در منطقه کشندی تا حدی ضعیف بوده و دچار گرد گوشگی می‌شود، به راحتی بر روی آن خش می‌افتد و جلبک‌چندانی بر روی آن جمع نمی‌شود.

نمونه T_2AA_1 گرچه نسبت به نمونه T_3NB_1 وزن مخصوص تقریباً یکسانی دارد، ولی از آنجا که چسبندگی بین ذرات فسیل و بدنه سنگ در نمونه T_2AA_1 بیشتر است، به همین دلیل این سنگ در منطقه کشندی و غرقابی عملکرد بسیار بهتری داشته و فرسایش و گرد گوشگی در آن نسبت به نمونه T_3NB_1 کمتربوده است و در ناحیه فراکشندی عملکرد این دو سنگ شبیه به هم است.

نمونه T_3tB_{Gb} که از فسیلهای درشت‌تری تشکیل شده است نسبت به دو نوع دیگر جذب آب و تخلخل کمتر و وزن مخصوص بیشتری دارد و از طرفی چسبندگی بین فسیلها و بدنه اصلی سنگ و همچنین پیوستگی بین ذرات اصلی تشکیل دهنده سنگ بسیار مناسب‌تر است. این ویژگیها باعث شده که این سنگ جزو یکی از بهترین سنگهایی باشد که در منطقه دیده شد. این سنگ هم در منطقه فراکشندی و هم در منطقه کشندی وغرقابی عملکرد بسیار قابل قبولی دارد، گوشه‌داری خود را حفظ کرده و به راحتی بر روی آن خش نمی‌افتد. شکل۱۲ سمت چپ این سنگ را

در منطقه فراکشندی و سمت راست آن را در منطقه کشندی نشان می‌دهد.

۸ -۶- سنگهای کنگلومرای آهکی : در این سنگها، سایش لوس آنجلس در حد بسیار ضعیف، ارزش ضربه، شاخص بار نقطه‌ای و وزن مخصوص در حد ضعیف، جذب آب و تخلخل در حد متوسط و سلامت سنگ در حد عالی است. اگرچه خصوصیات فیزیکی این سنگ تقریباً مناسب است ولی مشاهدات صحرایی گویای این است که عملکرد این سنگها علاوه بر این مشخصات، به اندازه ذرات تشکیل دهنده سنگ هم ارتباط دارد. به طوری که در ناحیه فراکشندی سنگهای کنگلومرای ریزدانه نسبت به کنگلومرای درشت دانه عملکرد خیلی بهتری دارد ولی در ناحیه کشندی و غرقابی به دلیل تجمع جلبکها بر روی سنگ این وجه تمایز کم رنگ‌تر می‌شود و هر دو سنگ عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهند. کنگلومرای ریزدانه علاوه بر این که نسبت به کنگلومرای درشت دانه مشخصات فیزیکی بهتری دارد، چسبندگی ذرات دانه‌ای با بدنه اصلی سنگ بیشتر است و این عوامل باعث شده که چه در ناحیه فراکشندی و چه در ناحیه کشندی عملکرد آن نسبت به کنگلومرای درشت دانه بهتر باشد و حتی در ناحیه کشندی گردگوشگی نداشته باشد (شکل۱۳).

۹- دیگر پارامترهای مؤثر در عملکرد سنگها

علاوه بر موارد فوق، ضمن مطالعه صحرایی موج شکنها با یک سری عوامل دیگری برخورد شد که در نوع عملکرد سنگها و مقاومت آنها، نقش مهمی دارند و در اینجا به چند مورد اشاره می‌شود :

۱- وجود لایه‌های گچی حاوی انیدریت در بعضی از سنگها، باعث می‌شود که در اثر جذب آب منبسط شده و سنگ را بترکانند و همچنین انحلال سنگ را افزایش داده و سبب فرسایش زودهنگام آن شوند (شکل۱۴) .

۲- وجود مرجانها بین سنگها، مانند یک ماده سیمانی عمل کرده سبب افزایش استحکام بین آنها می‌شود و اگر سنگ به دلیل کاهش گوشه داری، درگیری خود را با سنگهای مجاور از دست داده باشد، این مرجانها می‌توانند تا حدی این ضعف را پوشش دهند و فرسایش مکانیکی را به حداقل برسانند (شکل ۱۵).

۳- شیب موج شکن به نوعی فرسایش را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای مثال سنگهایی که در ناحیه کشندی دچار انحلال شیمیایی می‌شوند، هرچقدر در شیبهای تندتری واقع شوند، اثر این انحلال کمتر خواهد بود چرا که در شیبهای تند، آب فرصت کمتری دارد تا بر روی سنگ بایستد و همین باعث کاهش انحلال ناشی از ایستادن آب دریا برروی سنگ می‌شود .

۴- عدم جایگذاری مناسب سنگها در کنار هم، باعث می‌شود قفل و بست بین سنگها کاهش یافته و در اثر ضربه امواج قطعات سنگ بر روی هم ساییده شده و منجر به فرسایش مکانیکی سنگ شود(شکل ۱۶) .

۱۰- نتیجه گیری

با آزمایشهای معمول سنجش کیفی که برروی نمونه‌ها انجام پذیرفت و همچنین مشاهدات عملکرد واقعی هریک از نمونه سنگها در شرایط واقعی و مقایسه جواب آزمایشها با استانداردهای مختلف، نتایج زیر به دست آمد :

۱- سنگهای بررسی شده منطقه استان بوشهر کلاً رسوبی بوده که به گروههای آهکی مارنی، آهکی لوماشل، آهکی متبلور، آهکی فسیل دار، ماسه سنگهای آهکی و کنگلومرای آهکی تقسیم بندی می‌شوند. در میان این گروهها، آهک مارنی و آهک فسیل دار بیشترین تنوع و کنگلومرای آهکی کمترین تنوع را دارند.

۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی سنگهای منطقه در بازه مورد قبول بیشتر استانداردهای سازه‌های دریایی نمی‌گنجند، به طوری که فقط سنگهای آهکی متبلور در زمره سنگهای قابل قبول بوده و سنگهای آهکی لوماشل جزو سنگهای بسیار ضعیف و مابقی در حد ضعیف تا بسیار ضعیف هستند .

۳- اگرچه بسیاری از سنگهای منطقه برای ساخت موج شکن قابل استفاده نیستند، ولی عواملی چون ساختار سنگ و موقعیت مکانی سنگ بر روی سازه می‌تواند عملکرد سنگ را به شدت تحت تأثیر قرار دهد .

۴- در ناحیه غرقابی و کشندی نباید از سنگهای آهکی مارنی با درصد بالای مارن استفاده شود .

۵- در ناحیه فراکشندی اگر از سنگهای آهکی لوماشل استفاده شود، بهتر است که دانه ریزتر و سیمان بین ذرات در آن کامل‌تر باشد ولی در ناحیه کشندی و غرقابی این سنگ چه دانه ریز باشد و چه درشت دانه، عملکرد خوبی دارد .

۶- ماسه سنگهای آهکی، کلاً در ناحیه فراکشندی بسیار فرسایش پذیر بوده و پوسته پوسته می‌شوند، ولی اگر مشخصات فیزیکی مناسبی داشته باشند در ناحیه کشندی و غرقابی سنگهای خوبی هستند .

۷- سنگهای آهکی متبلور اگر دارای درز و شکافهای اولیه زیادی باشند و مواد پرکننده بین این درزها از جنس مواد انحلال پذیر باشند، در ناحیه کشندی و غرقابی عملکرد خوبی ندارند ولی درصورتی که درز و شکافهای اولیه آنها کم باشد، در این ناحیه می‌توان از آنها استفاده نمود. در ناحیه فراکشندی این سنگ در هر شرایطی عملکرد خوبی از خود نشان داده است.

۸- در سنگهای آهکی فسیل دار، هرچقدر فسیلها درشت‌تر، میزان فسیلها در واحد سطح بیشتر، میزان مارن موجود در سنگ کمتر وچسبندگی بین فسیلها با بدنه اصلی سنگ بیشتر باشد، به همان اندازه سنگ در برابر فرسایش مقاوم‌تر است .

۹ - در ناحیه فراکشندی سنگهای کنگلومرای ریزدانه نسبت به کنگلومرای درشت دانه عملکرد بسیار بهتری دارند ولی در ناحیه کشندی و غرقابی به دلیل تجمع جلبکها برروی سنگ این وجه تمایز کم‌رنگ‌تر می‌شود و هردو سنگ، عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهند .

۱۰- وجود لایه‌های گچی در هر گروه از سنگها، می‌تواند باعث فرسایش زودهنگام سنگ شود .

۱۱- هرچه شیب موج‌شکن بیشتر باشد، فرسایش انحلالی سنگها کمتر است.

۱۲- عدم جایگذاری مناسب سنگها در کنار هم می‌تواند باعث فرسایش مکانیکی سنگ شود .

۱۳- وجود مرجانها بین سنگها می‌تواند عامل مهمی برای افزایش پایداری و درگیری بین سنگها و کاهش فرسایش مکانیکی باشد .

۱۴- در هر ناحیه از سازه، سنگهای لوماشل نسبت به آهکهای مارنی عملکرد بهتری دارند .

۱۵ - در ناحیه فراکشندی سنگهای آهکی فسیل دار بسیار بهتر از ماسه‌سنگهای آهکی عمل می‌کنند در صورتی که در ناحیه کشندی و غرقابی سنگهای آهکی فسیل دار نسبت به ماسه سنگهای آهکی عملکرد ضعیف‌تری دارند .

۱۶- اگر در ناحیه کشندی و غرقابی جلبک و صدف برروی سنگ جمع شود، به طور معمول سنگ عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهد .

۱۷- سنگهایی با بافت ناهمگن، فرسایش غیر یکنواخت و سریع‌تر دارند .

۱۸- سنگهایی که فرسایش در آنها به صورت حفره حفره است نسبت به سنگهایی که دارای فرسایش پوسته پوسته هستند عمر مفید بیشتری دارند .

۱۱- سپاسگزاری

این مقاله بخشی از طرح پژوهشی است که با حمایتهای مالی شرکت مدیریت توسعه صنایع پتروشیمی و شرکت مهندسین مشاور سازه پردازی ایران انجام شده است. بدین وسیله از همکاریهای به عمل آمده تشکر و قدردانی می‌شود.

جدول۱- مقایسه مهم‌ترین معیارهای انتخاب سنگ مناسب از دید آیین نامه‌های مختلف و افراد صاحبنظر
(جلالی،۱۳۶۹؛ نیکودل، ۱۳۶۹؛ CUR,2000; CEM; BSI,1991 ; Poole et al.,1983;Fookes et al.,1984)

محقق		وزن مخصوص خشک(t/m3)	جذب آب(%)	سایش لس آنجلس در ۵۰۰ دور(%)	ارزش ضربه(%)	سلامت سنگ در سولفات در ۵ چرخه(%)
Walking(1977)		> ۲/۶	< ۳	———	< ۳۰	< ۱۸
Pool et al.(1984)		> ۲/۶	< ۲/۵	———	< ۱۶	< ۱۲
Lutton		> ۲/۶	< ۱/۲	< ۲۵	———	< ۲
Louisjlee&Morrison (1986)		———	< ۲	< ۴۵	———	< ۵
استاندارد BS		>۲/۶	< ۳	< ۱۸	< ۳۰	< ۱۸
جلالی و همکاران، ۱۳۶۹		>۲/۵۵	< ۳	< ۱۸	< ۱۲	———
CUR 2000	عالی	>۲/۹	< ۰/۵	—	—	< ۲
	خوب	۲/۶-۲/۹	۰/۵ -۲/	—	—	۲ -۱۲
	متوسط	۲/۳-۲/۶	۲ - ۶	—	—	۱۲ -۰۳
	ضعیف	< ۲/۳	> ۶	—	—	> ۰۳
نیکودل(۱۳۶۹)	امتیاز خیلی بالا	>۲/۷	< ۱	< ۱۰	< ۱۰	< ۱
	امتیاز بالا	۲/۵ -۲/۷	۱ -۲/۵	۱۰ -۱۴	۱۰ -۱۳	۱ -۲
	امتیاز متوسط	۲/۳ -۲/۵	۲/۵ -۴	۱۴ -۱۸	۱۳ -۱۵	۲-۳
	امتیاز کم	۲/۱ -۲/۳	۴ -۶	۱۸-۲۴	۱۵ -۱۸	۳-۵
	امتیاز خیلی کم	< ۲/۱	> ۶	> ۲۴	> ۱۸	> ۵

جدول۲- محدوده مشخصات گروههای مختلف سنگی در مقایسه با محدوده مشخصات قابل پذیرش سنگ از دید استانداردهای مختلف

گروه سنگی	موج شکنهای استفاده شده	جذب آب	تخلخل	وزن مخصوص خشک	سلامت سنگ در ۵ چرخه	سایش لوس آنجلس در ۵۰۰ دور	ارزش ضربه	شاخص بار نقطه ای
سنگهای آهکی مارنی	شیرینو-عامری-محمد عامری-کنگان-طاهری عسلویه	۱۰/۱۵- ۲/۸	۱۹/۷- ۶/۵	۲/۴۳- ۲	۳- ۱/۷۵	۵۶ - ۳۹	۲۹/۷- ۲۳/۵	۳/۴- ۱/۵۸
سنگهای آهکی لوماشل	محمد عامری-دیر-طاهری-کنگان-عسلویه	۱۵/۳- ۸/۲۱	۲۸/۲- ۱۷/۷	۲/۱۴- ۱/۷۵	۳- ۱/۵	۵۷- ۵۱	۲۹- ۲۶	۲/۱- ۱/۷
ماسه سنگهای آهکی	طاهری- عامری-نخل تقی	۹/۸۶- ۱/۴۲	۲۰/۴- ۳/۴۸	۲/۴۸- ۱/۷۵	۳- ۱/۷۵	۴۹/۷- ۴۸	۲۵- ۲۴/۵	۲/۸- ۲/۵
سنگهای آهکی متبلور	عسلویه- طاهری- شیرینو	۲/۷۴-/۵۳	۶/۷۶- ۲/۶۵	۲/۷۵- ۲/۴۷	< ۰/۵	۴۸- ۳۸	۱۶- ۱۴	۳/۷- ۳/۴
سنگهای آهکی فسیل دار	نخل تقی- عسلویه- کنگان-شیرینو-عامری	۱۳/۳۷- ۵/۴	۲۵/۳- ۱۲/۷	۲/۵- ۱/۸۷	۲- ۱/۷۵	۵۹- ۴۳	۳۰- ۲۴	۲/۹۵- ۱/۹۵
سنگهای کنگلومرای آهکی	طاهری- شیرینو	۴/۲۱- ۸۷ ۲/	۱۲/۶- ۷	۲/۴۳- ۲/۲۵	۱/۸-۱/۲	۵۰- ۴۸	۳۰- ۲۷/۵	۲- ۱/۷۵
استانداردهای مختلف	خیلی بالای استاندارد	/۵ >	/۵ >	۲/۹ <	۲ >	۱۰ >	۱۰ >	۸ >
	بازه مورد قبول	۶- /۵	۲۰- /۵	۲/۹- ۲/۳	۱۲- ۲	۴۵- ۱۰	۳۰- ۱۰	۸- ۱/۵
	خیلی پایین استاندارد	۶ >	۲۰ >	۲/۳ >	۱۲ >	۴۵ >	۳۰ >	۱/۵ >
پیشنهادی در این مقاله	مناسب	۸- ۵	۱۳>	۲/۳ <	۵ >	۳۵ >	۲۵ >	۳ <

جدول۳- سیستم امتیاز بندی مشخصات فیزیکی برای ارزیابی ایستایی، پایداری ودوام مصالح سنگی در موج شکنها

آزمایش	رده‌بندی نتایج آزمایشهای سنجش کیفیت سنگ				
	عالی	خوب	متوسط	ضعیف	بسیار ضعیف
۱ - جذب آب	< ۱	۱ -۴	۴-۷	۷-۱۰	> ۱۰
امتیاز	۱۵	۱۲	۹	۴/۵	۱/۵
۲- تخلخل	< ۲	۲ -۵	۵-۹	۹-۱۳	> ۱۳
امتیاز	۱۵	۱۲	۹	۴/۵	۱/۵
۳- وزن مخصوص	> ۲/۸	۲/۶۵ -۲/۸	۲/۴۵ -۲/۶۵	۲/۲۵-۲/۴۵	< ۲/۲۵
امتیاز	۲۰	۱۶	۱۲	۶	۲
۴- سلامت سنگ	< ۱	۱-۳	۳-۵	۵ -۸	> ۸
امتیاز	۱۵	۱۲	۹	۴/۵	۱/۵
۵- سایش	<۱۰	۱۰-۲۳	۲۳-۳۳	۳۳-۴۳	> ۴۳
امتیاز	۱۵	۱۲	۹	۴/۵	۱/۵
۶- ارزش ضربه	<۱۰	۱۰-۱۷	۱۷ -۲۵	۲۵-۳۰	> ۳۰
امتیاز	۱۰	۸	۶	۳	۱
۷- شاخص بار نقطه‌ای	> ۸	۶/۵ -۸	۴-۶/۵	۱/۵ -۴	<۱/۵
امتیاز	۱۰	۸	۶	۳	۱
مجموع امتیازات	۱۰۰	۸۰	۶۰	۳۰	۱۰
رده بندی سنگ					
شرح رده	عالی	خوب	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف
محدوده امتیازات	۹۰-۱۰۰	۷۵-۹۰	۶۰-۷۵	۳۰-۶۰	< ۳۰

جدول ۴- مشخصات فیزیکی سه نمونه سنگ آهکی فسیل دار

(T_3NB_1 و T_2AA_1 و T_3tB_{Gb})

نمونه سنگ	جذب آب (٪)	تخلخل (٪)	وزن مخصوص خشک (t/m3)
T_3NB_1	۱۳/۳۷	۲۵/۱	۱/۸۷
T_2AA_1	۱۰/۶۳	۲۰/۱	۱/۸۹
T_3tB_{Gb}	۵/۴	۱۲/۷۲	۲/۳۵

جدول۵- امتیاز بندی مشخصات فیزیکی سنجش کیفی گروههای مختلف سنگی در منطقه مورد مطالعه

گروه سنگی		جذب آب	تخلخل	وزن مخصوص	سلامت سنگ	سایش لوس آنجلس	ارزش ضربه	شاخص وار نقطه ای	مجموع امتیازات	رده بندی کلی	عملکرد مکانی سنگ
سنگهای آهکی مارنی	محدوده مشخصات	۱۰/۱۵ – ۲/۸	۱۹/۷ – ۶/۵	۲/۴۳ – ۲	۳ – ۱/۷۵	۵۶ – ۳۹	۲۹/۷ – ۲۳/۵	۳/۴ – ۱/۵۸	۵۲/۵ – ۱۳/۵	ضعیف تا خیلی ضعیف	در ناحیه غرقابی و کشندی ضعیف هستند و به شدت گرد گوشه شده و کاهش مقاومت می‌دهند- در صورت اجبار فقط در ناحیه فراکشندی و ترجیحاً تاج استفاده گردد
	امتیاز	۱۲ – ۴/۵	۹ – ۴/۵	۶ – ۲	۲۱	۴/۵ – ۱/۵	۶ – ۱	۳			
سنگهای آهکی لوماشل	محدوده مشخصات	۱۵/۳ – ۸/۲۱	۲۸/۲ – ۱۷/۷	۲/۱۴ – ۱/۷۵	۳ – ۱/۵	۵۷ – ۵۱	۲۹ – ۲۶	۲/۱ – ۱/۷	۲۴/۵	خیلی ضعیف	در ناحیه کشندی و غرقابی معمولاً عملکرد خوبی دارند ولی در ناحیه فراکشندی و تاج هرچقدر میزان مارن بین ذرات کمتر و ذرات سنگی ریزدانه تر باشد فرسایش کمتر است
	امتیاز	۱/۵	۱/۵	۲	۲۱	۱/۵	۱۴ – ۳۶	۳			
ماسه سنگهای آهکی	محدوده مشخصات	۹/۸۶ – ۱/۴۲	۲۰/۴ – ۳/۴۸	۲/۴۸ – ۱/۷۵	۳ – ۱/۷۵	۴۹/۷ – ۴۸	۸	۲/۸ – ۲/۵	۵۵/۵ – ۲۳	ضعیف تا خیلی ضعیف	در ناحیه فراکشندی و تاج کلاً سنگهای ضعیفی هستند ولی اگر مشخصات فیزیکی مناسبی داشته باشند،در ناحیه کشندی و غرقابی عملکرد خوبی دارند
	امتیاز	۱۵ – ۴/۵	۱۲ – ۴/۵	۶ – ۲	۱۲	۱/۵	۳۰۶	۳			
سنگهای آهکی متبلور	محدوده مشخصات	۱۵ – ۲/۷۴	۶/۷۶ – ۲/۶۵	۲/۸۵ – ۲/۴۷	۵ >	۴۷ – ۳۳	۱۶ – ۱۴	۳/۷ – ۳/۴	۷۶/۵ – ۳۷/۵	خوب- تا ضعیف	در ناحیه فراکشندی و تاج کلاً عملکرد خوبی دارند ولی در ناحیه کشندی و غرقابی هرچقدر میزان درزوشکافهای اولیه کمتر باشد عملکرد بهتری دارند
	امتیاز	۱۵ – ۱۲	۱۲ – ۷/۵	۲۱ – ۶۱	۱۵	۴/۵ – ۱/۵	۸ – ۲۴	۳			
سنگهای آهکی فسیل دار	محدوده مشخصات	۱۳/۳۷ – ۵/۴	۲۵/۳ – ۱۲/۷	۲/۵ – ۱/۸۷	۲ – ۱/۷۵	۵۹ – ۴۳	۳۰ – ۲۴	۲/۹۵ – ۱/۹۵	۳۶ – ۵	ضعیف تا خیلی ضعیف	عملکردشان در هر نقطه از موج شکن بستگی به تراکم و اندازه فسیلها و همچنین چسبندگی بین آنها دارد به طوری که هرچقدر این پارامترها بیشتر باشند عملکرد سنگ بهتر است
	امتیاز	۹ – ۱/۵	۱/۵	۶ – ۲	۱۲	۱/۵	۳	۳			
سنگهای کنگلومرای آهکی	محدوده مشخصات	۲۱/۴ – ۲/۸۷	۱۲/۶ – ۷	۲/۴۳ – ۲/۲۵	۱/۸ – ۱/۲	۵۰ – ۴۸	۳۰ – ۲۷/۵	۲ – ۱/۷۵	۴۶/۵ – ۱۰/۵	ضعیف تا خیلی ضعیف	در ناحیه کشندی و غرقابی معمولاً عملکرد خوبی دارند ولی در ناحیه فراکشندی و تاج هرچقدر میزان ذرات تشکیل دهنده سنگی ریزدانه تر باشد ،عملکرد بهتری دارد
	امتیاز	۱۲ – ۹	۱/۵ – ۹	۱/۵	۱۲	۱/۵	۳	۳			

شکل ۱- سنگ آهکی مارنی در تاج (سمت راست) و در ناحیه فراکشندی (سمت چپ)

شکل ۲- سیاه شدن رویه سنگ آهکی مارنی، ناشی از انحلال شیمیایی در ناحیه کشندی

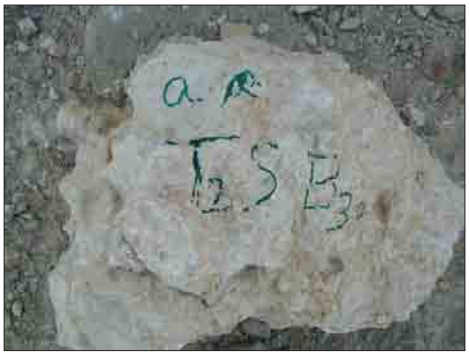
شکل ۳- کاهش مقاومت سنگ آهکی مارنی در ناحیه غرقابی

شکل ۴- نفوذ موجودات دریایی به درون سنگ آهک مارنی در ناحیه غرقابی

شکل ۵ - لوماشل ریزدانه (سمت راست) و لوماشل درشت دانه (سمت چپ) در ناحیه کشندی

شکل ۶- سنگ لوماشل در ناحیه کشندی

شکل۷- ماسه سنگ آهکی در ناحیه فراکشندی



شکل ۸- سنگ آهک متبلور در ناحیه فراکشندی

شکل ۹- سنگ آهک متبلور با درز و شکافهای اولیه کم در ناحیه کشندی

شکل ۱۰- سنگ آهک متبلور با درز و شکافهای اولیه زیاد در ناحیه کشندی

شکل ۱۱- مقطع سه نمونه سنگ آهکی فسیل دار (T_3NB_1 و T_2AA_1 و T_3tB_{Gb})

شکل ۱۲- سنگ آهک فسیل‌دار با فسیلهای درشت در ناحیه کشندی (سمت راست) و ناحیه فراکشندی (سمت چپ)

شکل ۱۳- سنگ کنگلومرای آهکی درشت دانه در ناحیه فراکشندی

شکل ۱۴- فرسایش سنگ ناشی از وجود لایه‌های گچی حاوی انیدریت

شکل ۱۵- چسبندگی بین قطعات سنگ ناشی از وجود مرجانها

شکل ۱۶- سایش قطعات سنگ مجاور هم ناشی از جایگذاری نامناسب

کتابنگاری

جلالی، ح. ، ۱۳۶۹- " اهمیت دوام سنگ در پایداری موج شکنهای سنگریزه ای " ، اولین کنفرانس بین المللی بندر سازی و سازه های دریایی ، جلد دوم ، تهران.
صادقی، ک.، ۱۳۸۰- " مهندسی سواحل ، بنادر و سازه های دریایی " دانشکده صنعت آب و برق (شهید عباسپور)
فهیمی فر، ا.، سروش ، ح.، ۱۳۸۰ - " آزمایشهای مکانیک سنگ (مبانی نظری و استانداردها) " ، مرکز نشر پروفسور حسابی.
مهین روستا ، ر.، ۱۳۷۶- " کاربرد سنگ در مهندسی سواحل " ، مجله علمی دانشجویان دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف ، شماره ۲۱ .
نیکودل، م.ر.،۱۳۶۹- "مطالعه معیارهای شناخت زوال پذیری سنگ"، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی،دانشکده علوم پایه،دانشگاه تربیت مدرس.

References

Breakwaters, Design & Construction, Proceeding of the Conference Organized by Institution of Civil Engineers and Held in London on 4-6 May 1983.

British Standard Institution ,1991-"Maritime Structures"Part7:Guide to the design and construction of breakwaters,BS 6349-7.

Coastal Engineering Manual (CEM), Part VI, Chapter 4.

CUR ,2000-"Manual on the Use of Rock in Hydraulic Eng ".,A.A.Balkema Publishers, 2000 The Netherlands.

Fookes, P.G et al .,1984- " Durability of Rock in Breakwaters " , Breakwater – Design & Construction , Thomas Telford , London, PP. 31-43 .

Latham,J.P.&Poole,A.B.,1988-"Assessing the Effect of Armor stone Shape & Wear",Coastal Engineering ,Vol.2,Chapter 170 , 2299-2312 .

OCDI, 1991- Technical Standards for Port and Harbor Facilities in Japan, Port and Harbors Bureau, Ministry of Transport, Published the japan Ports and Harbours Association

Poole , A.B. et al . ,1983-" The Identification of Critical Factors Affecting Rock Durability in Marine Environments " , Journal of Engineering Geology London , Vol .15 , PP.149-161 .

*شرکت مهندسین مشاور سازه پردازی ایران، تهران، ایران
** دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
***دانشکده علوم دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

* Sazeh Pardazi Iran Consulting Eng. Tehran, Iran
**Faculty of Engineering Tarbiat Modares University, Tehran,Iran
***Faculty of basic science Tarbiat Modares University, Tehran,Iran