

ارزیابی ویژگیهای مهندسی سنگها و پیشنهاد معیار انتخاب مصالح سنگی برای احداث موج شکنهای توده سنگی در سواحل جنوبی ایران

نوشته: مهدی تلخابلو*، ناصر حافظی مقدس**، محمدرضا نیکودل*، علی ارومیه‌ای* و مهدی شفیعی فر***

* گروه زمین شناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. ** گروه زمین شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

*** گروه مهندسی عمران دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

Evaluation the Engineering Properties of Rocks and Suggesting a Criterion to Select Rock Material for Construction of Rubble Mound Breakwaters in Southern Coast of Iran

By: M. Talkhablou*, N. Hafezimoghaddas**, M. Nikodel*, A. Uromeihy* & M. shafiefar***

* Department of Geology, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. ** Department of Geology, Shahrood University

of Technology, Shahrood, Iran *** Faculty of Civil Engineering, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۰۹/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۵/۱۲/۰۹

چکیده

مصالح سنگی، از جمله مصالح طبیعی هستند که در ساخت انواع سازه‌های حفاظتی سواحل، بویژه موج شکنهای توده سنگی به کار می‌روند. ویژگیهای مهندسی سنگها، از جمله دوام و مقاومت آن در برابر عوامل مخرب و مهاجم حاکم بر محیطهای دریایی، از مهم ترین ویژگیهایی است که مصالح مورد استفاده در ساخت سازه‌های دریایی باید از آن برخوردار باشند. دوام، تابعی از ویژگیهای سنگ و محیط یا شرایطی است که در آن قرار می‌گیرد. ضرورت ارزیابی ویژگیهای مهندسی مصالح سنگی مصرفی در این سازه‌ها از دیدگاه دوام و زوال پذیری با توجه به اهمیت اقتصادی و گاه نظامی بنادر و تسهیلات ساحلی احداث شده در نوار ساحلی جنوب ایران مشخص می‌شود. در این مقاله، ضمن بررسی مصالح سنگی مصرفی و گرفتن بیش از ۸۰۰ نمونه از این مصالح از حدود ۲۷ موج شکن توده سنگی احداث شده در طول حدود ۱۰۰۰ کیلومتر از سواحل جنوب کشور، از بندر عامری تا چابهار، و توجه به نتایج حاصل از بررسیهای مشاهده‌ای و انجام آزمایشهای مهندسی سنجش دوام، روابط تجربی از برقراری ارتباط بین پارامترهای فیزیکی، مقاومتی و دوام‌داری سنگها استخراج شده و در پایان معیارهای انتخاب سنگ برای سه گروه سنگهای آهکی، آذرین و سنگهای زیستی تخریبی (صدف سنگها) به طور مجزا پیشنهاد شده است.

کلید واژه‌ها: ویژگیهای مهندسی سنگها، موج شکن توده سنگی، دوام‌داری، سواحل جنوب ایران

Abstract

Rocks are natural materials used in a variety of coastal protection structures, especially in rubble mound breakwaters. Engineering properties of rocks, such as durability and resistance to degradation factors of the marine environments are important properties which construction material of marine structures should behave. Rock durability is a function of rock properties and condition of environment in which the rock will be used. Regarding the economical importance of constructed coastal ports and facilities in coast lines of south Iran, it is necessary to evaluate the engineering properties of rocky construction materials in such structures from durability and degradation point of view. In this study, by investigating and sampling the used rock material in 27 constructed rubble mound breakwaters along the 1000 km south Iran's coastlines, from Amery Port in western part to Pasabandar Port in 85 km east Chabahar, and regarding the observations that collected in field visual investigations and engineering tests of durability examination, the experimental relationship between physical, mechanical and durability parameter of studied rocks have been concluded and consequently criterion to select the suitable rock of three groups of rocks limestone, igneous rock and bioclastic sedimentary rock (lomashell) have been presented individually.

Keywords: Engineering properties of rock, Rubble mound breakwater, Durability, Southern coasts of Iran



۱- مقدمه

نظر به توسعه امکانات و تسهیلات ساحلی در سطح جهان، احداث سازه‌های حفاظتی سواحل، افزایش چشمگیری داشته است. همگام با توسعه احداث این سازه‌ها در نقاط مختلف دنیا، در سواحل ایران نیز، اعم از دریای خزر، سواحل خلیج فارس و دریای عمان، احداث این گونه سازه‌ها، از جمله موج‌شکنها رواج زیادی داشته است. با توجه به شرایط اقلیمی کشور در سواحل جنوبی و نوع مصالح در دسترس، احداث موج‌شکنهای توده‌سنگی نسبت به دیگر انواع موج‌شکنها متداول‌تر است. از جمله ویژگیهای مثبت این موج‌شکنها، ساختمان انعطاف پذیر، نگهداری و بهره‌برداری آسان و همچنین سهولت در اجرا و ساخت آنهاست. برای ساخت این موج‌شکنها، حجم قابل توجهی از مصالح سنگی در اندازه‌های مختلف به کار گرفته می‌شود که دوام و مقاومت آنها در برابر عوامل مخرب و مهاجم حاکم بر محیطهای دریایی از جمله ویژگیهایی هستند که باید مورد توجه و ارزیابی واقع شوند. ضرورت شناخت و رفتار مصالح سنگی مصرفی و میزان دوام‌پذیری آنها در موج‌شکنهای توده‌سنگی سواحل جنوبی کشور، از یک سو عموماً پس از مشاهده خرابیهای به وجود آمده در تعدادی از این سازه‌ها با توجه به اهمیت اقتصادی، سیاسی و گاه نظامی بنادر احداث شده در این مناطق مشخص می‌شود. از سوی دیگر، بیشتر سنگهای مورد استفاده در موج‌شکنهای جنوب ایران از نظر معیارهای موجود رده‌بندی سنگها برای کاربرد در این سازه‌ها که توسط افراد صاحب‌نظر یا به صورت آیین‌نامه‌های مختلف ارائه شده است، در گروه سنگهای ضعیف و غیرقابل قبول قرار می‌گیرند. محدوده مطالعاتی این تحقیق، سواحل جنوبی و جنوب خاور ایران به طول تقریبی ۱۰۰۰ کیلومتر از بندر محمدعامری در استان بوشهر تا پسابندر در خاور چابهار را شامل می‌شود (شکل ۱).

در این محدوده، حدود ۲۷ موج‌شکن توده‌سنگی که اغلب مصالح سنگی مصرفی آنها از جنس سنگهای رسوبی با سنگ‌شناسی سنگهای آهکی، سنگهای زیستی تخریبی (صدف سنگ) و گاه از جنس سنگهای آذرین هستند، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و ضمن انجام آزمایشهای مهندسی سنجش دوام بر روی نمونه‌های گرفته شده از آنها، روابط تجربی بین خصوصیات مختلف آنها استخراج شده است.

همچنین ضمن رده‌بندی نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس معیارهای موجود، براساس تحلیل نتایج حاصل از انجام آزمایشهای مهندسی و مقایسه آنها با نتایج ارزیابی صحرائی از عملکرد سنگ در موج‌شکنهای احداث شده در سواحل جنوب کشور، معیارهای انتخاب سنگ برای سه گروه سنگهای آهکی، آذرین و صدف سنگ به صورت مجزا ارائه شده است.

۲- مروری بر پیشینه تحقیق

معیارها و رده‌بندیهای مختلفی برای ارزیابی کیفیت و دوام سنگهای مورد استفاده در لایه حفاظتی موج‌شکنها ارائه شده است (جدول ۱). اما بیشتر این معیارها، سنگها را به دو رده قابل قبول و غیرقابل قبول برای کاربرد در این سازه‌ها تقسیم می‌کنند و از سوی دیگر، با توجه به شرایط حاکم بر سواحل جنوبی و جنوب خاوری ایران و نوع مصالح در دسترس، این امر سبب بروز مشکلاتی در زمینه انتخاب سنگ مناسب برای ساخت این سازه‌ها شده است. همان‌طور که در جدول ۱ دیده می‌شود، مطالعات صورت گرفته در کشور نیز محدود بوده و عمدتاً به صورت محلی و محدود به منطقه یا طرح خاصی است و تاکنون بررسی جامعی در این خصوص صورت نگرفته است. از جمله مطالعات انجام شده در کشور در زمینه ارائه معیاری برای ارزیابی دوام سنگها به منظور کاربرد در سازه‌های دریایی، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- نیکودل (۱۳۶۹) مطالعه معیارهای شناخت زوال‌پذیری سنگهای آذرین موج‌شکنهای منطقه بندرعباس را انجام داده و رده‌بندی این دسته از سنگها را ارائه کرده است.

- جلالی و ناصحی (۱۳۷۶) معیاری را برای کاربرد سنگ در احداث سازه‌های دریایی جنوب خاوری ایران با مطالعه بر روی موج‌شکنهای منطقه چابهار ارائه داده‌اند.

- همچنین جلالی و همکاران (۱۳۶۷) نیز معیاری را برای استفاده از سنگها ارائه کرده‌اند.

۳- خلاصه‌ای از ویژگیهای زمین‌شناسی عمومی محدوده مطالعاتی

محدوده مطالعاتی در تقسیم‌بندی واحدهای ساختمانی ایران زمین (آقائاتی، ۱۳۸۳) در دو زون زاگرس چین‌خورده و مکران قرار می‌گیرد. زاگرس چین‌خورده از لحاظ چینه‌شناسی از توالی رسوبی ستبری تشکیل شده است که مربوط به دوران مزوزویک و سنوزویک است. این توالی در بخشهای مختلف دارای نبوهای چینه‌ای حاصل فازهای کوهزایی مختلف است و از نظر سنگ‌شناسی بسیار متنوع بوده و شامل تناوبی از سنگهای کربناتی (آهک و دولومیت)، سنگهای تبخیری (مارن، گچ و نمک) و سنگهای آواری (ماسه‌سنگ، لای سنگ و کنگلومرا) است. این توالی رسوبی از لحاظ چینه‌شناسی ایران سازندهای بسیاری را همچون سری هرمز، سازندهای گروه خامی، آسماری، جهرم، میشان، گچساران و بختیاری دربرمی‌گیرد. فعالیتهای آتشفشانی در منطقه چین‌خورده زاگرس مشاهده نمی‌شود و تنها در گنبدهای نمکی آثاری از سنگهای نفوذی و آتشفشانی دیده می‌شود که سن آنها به

۵- روش انجام تحقیق

۵-۱- سنجش و ارزیابی ویژگیهای مهندسی نمونه‌های مورد مطالعه

نمونه‌های مورد مطالعه در این تحقیق، شامل بیش از ۸۰۰ نمونه اخذ شده از مصالح سنگی مصرفی در ۲۷ موج شکن توده‌سنگی احداث شده در سواحل جنوبی کشور است که از لحاظ سنگ‌شناسی شامل انواع مختلف سنگهای آهکی، صدف‌سنگ و سنگهای آذرین است (جدول ۳).

همان‌طور که در جدول ۳ دیده می‌شود صدف‌سنگها بیشترین فراوانی را در گروه سنگهای مورد بررسی و در نتیجه در سنگهای مورد استفاده در موج شکنهای جنوبی کشور دارند. بعد از صدف‌سنگها، به ترتیب سنگهای آهکی و آذرین قرار دارند. رخنمونهای آذرین در سواحل جنوبی صرفاً محدود به برنزدهای آذرین همراه با گنبد‌های نمکی است که توزیع یکنواختی در سراسر سواحل جنوبی نداشته و صرفاً در محدوده بندر لنگه تا بندرعباس وجود دارند. به منظور سنجش و ارزیابی ویژگیهای مهندسی این سنگها، ۱۳ ویژگی فیزیکی، مکانیکی و دوام‌داری آنها در قالب بیش از ۹۲۰۰ آزمایش، مورد بررسی و ارزیابی واقع شد (جدول ۴). تعداد آزمایشها در گروههای سنگی مختلف با توجه به فراوانی آنها و همچنین ضریب تغییرات نتایج آزمایشها متغیر بوده است. برای ارزیابی ویژگیهای فیزیکی نمونه‌های مورد مطالعه، آزمایشهای تعیین چگالی خشک و اشباع، درصد جذب آب، تخلخل و وزن مخصوص بر روی هریک از نمونه‌ها انجام شد. همچنین به منظور بررسی و ارزیابی پارامترهای مقاومتی سنگها نیز، نمونه‌ها تحت آزمایشهای مقاومت فشاری تک محوری، مقاومت بار نقطه‌ای و مقاومت کششی در دو حالت خشک و اشباع قرار گرفتند.

آزمایشهای شاخص دوام در ۵، ۱۰ و ۱۵ سیکل و ارزش ضربه‌ای و سایش لس آنجلس نیز برای ارزیابی ویژگیهای دوام‌داری مکانیکی و آزمایش افت وزنی در برابر سولفات در ۵، ۱۰ و ۱۵ سیکل برای بررسی ویژگیهای دوام‌داری شیمیایی سنگها بر روی نمونه‌ها انجام شد. محدوده تغییرات هر یک از این ویژگیها برای هر گروه سنگی شامل مقادیر کمینه، بیشینه، میانگین و مقادیر بیشترین فراوانی به ترتیب در جدولهای ۵ و ۶ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۵ دیده می‌شود کمترین محدوده تغییرات هر یک از این ویژگیها، غالباً مربوط به سنگهای آذرین و بیشترین آن مربوط به صدف سنگهاست.

۵-۲- روابط بین ویژگیهای مهندسی مختلف گروههای سنگی مورد مطالعه

به منظور ارزیابی سریع و ساده دوام و کیفیت مصالح سنگی برای استفاده در ساخت موج شکنهای توده‌سنگی و جایگزینی روابط ساده به جای روابط پیچیده، بین نتایج آزمایشهای مختلف مهندسی انجام شده بر روی نمونه‌ها و گروههای

اواخر پرکامبرین نسبت داده می‌شود (خسرو تهرانی، ۱۳۷۶). در این پژوهش، در موج شکنهای بندر شهید رجایی، بندر شهید باهنر، حسینیه، بستانو و شناس از سنگهای آذرین این گنبد‌های نمکی استفاده شده است.

نوار ساحلی جنوب خاوری ایران در منطقه چابهار نیز که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است، در زون ساختاری مکران و در بخشی از آن به نام مکران ساحلی واقع است. مکران ساحلی به صورت کمربندی از خاور خلیج فارس (گسل میناب) شروع و تا شمال سواحل اقیانوس هند در پاکستان امتداد یافته است. توالی چینه‌شناسی این منطقه شامل سه بخش واحدهای سنگی میو-پلیوسن با تناوب لایه‌های سبتر تا توده‌ای سنگهای زیستی تخریبی (صدف‌سنگ)، مارن و مارن سیلتی، واحدهای سنگی پلیوسن و واحد سنگی کوآترنر با سنگ‌شناسی ماسه‌سنگهای سست ریزدانه تا درشت‌دانه با فرسایش حفره‌ای و کنگلومرا است.

۴- دوام و زوال مصالح سنگی در سازه‌های دریایی

تنوع عوامل کنترل‌کننده دوام مصالح طبیعی، پیش‌بینی رفتار آنها را در طول زمان بهره‌برداری با مشکلات عدیده‌ای روبه‌رو می‌سازد. Fookes & Poole (1981) بر این باورند که یکی از روشهای مناسب برای تشخیص میزان دوام مصالح سنگی، بررسی سازه‌های موجود در هر منطقه است که از مصالح مورد نظر ساخته شده‌اند. عملکرد لایه حفاظ یک موج شکن به طور مستقیم به دوام‌داری دراز مدت سنگهای مورد استفاده در این لایه بستگی دارد (Clark, 1988). دوام بلند مدت سنگ را می‌توان با انجام مشاهدات صحرایی و داده‌های تجربی آزمایشگاهی بررسی کرد (CUR/RWS, 1995).

Fookes (1991) آزمایشهای دوام مصالح سنگی را در چهار دسته آزمایشهای فیزیکی، مکانیکی، شبیه‌سازی و بررسیهای سنگ‌شناسی بر اساس جدول ۲ ارائه کرده است.

ساز و کارهایی که منجر به زوال سنگ در لایه حفاظ موج شکنها می‌شوند، اغلب فیزیکی هستند. سازوکارهای شیمیایی، شامل حل شدن کانیهای ناپایدار کربناتی مانند آراگونیت، اثر نمکهای محلول در آب، اکسایش و آبرگیری ترکیبهای آهن‌دار مانند اکسیدها و سولفیدها نیز می‌تواند باعث زوال تدریجی سنگها شود ولی اهمیت کمتری دارند (Topal & Acir, 2004).

فرایندهای فیزیکی که به عنوان عوامل اصلی زوال سنگ در سازه‌های دریایی شناخته شده‌اند، شامل سایش، گردشگی، پوسته پوسته شدن، ایجاد شکستگیهای بزرگ و یا ترکیبی از اینها هستند (Dibb et al., 1983). تصاویر موجود در شکل ۲ انواع سازوکارهای زوال را که در برخی از موج شکنهای محدوده مطالعاتی مشاهده شده است نشان می‌دهد.



این است که درصد افت وزنی نمونه‌ها در سولفات همبستگی پایینی با دیگر مشخصات سنگ نشان می‌دهد و این امر حاکی از آن است که دوام شیمیایی سنگها وابستگی کمتری به دیگر ویژگیهای سنگها نشان می‌دهد و باید این پارامتر به صورت مستقل ارزیابی شود.

در مجموع، بررسی نتایج و نمودارهای رسم شده از ارتباط بین خواص فیزیکی، مکانیکی و دوام‌داری نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که ضرایب همبستگی بین پارامترهای مختلف در سنگهای آهکی مقادیر بالاتری را نسبت به سنگهای آذرین و صدف سنگها نشان می‌دهد. به عبارت دیگر نتایج در صدف سنگها بیشترین پراکندگی را دارد. در جدول ۱۰ برخی از این روابط تجربی که ضرایب همبستگی قابل قبول‌تری داشته‌اند، ارائه شده است.

۵-۳- رده‌بندی سنگها بر اساس مشاهدات صحرایی

بر اساس شواهد صحرایی همچون پوسته پوسته شدن، گردشدگی، سایش پذیری، خراش یافتگی با نوک چکش زمین شناسی، وجود یا نبود خزه و صدف بر روی سنگها در قسمتهای مختلف یک موج شکن، تعداد ضربه لازم برای شکستن نمونه و نیز آزمایش جذب آب سریع، نمونه‌های مورد مطالعه در پنج گروه تقسیم‌بندی شدند (جدول ۱۱). در آزمایش جذب آب سریع، قطعه‌ای از سنگ به ابعاد تقریبی ۵ سانتی‌متر در حالت خشک در آب فرو برده می‌شود و بر اساس سرعت جذب آب از سطح نمونه در مورد آن قضاوت می‌شود. در نمونه‌های ضعیف و با جذب آب شدید بلافاصله پس از مرطوب شدگی سطح سنگ خشک می‌شود در حالی که در نمونه‌های خیلی مقاوم، سطح سنگ براق باقی می‌ماند و آب جذب سطح سنگ نمی‌شود.

۵-۴- رده‌بندی و ارائه معیار پیشنهادی انتخاب مصالح سنگی برای

کاربرد در موج‌شکنهای توده‌سنگی

معیار انتخاب سنگ در این تحقیق، به صورت ترکیبی از روش رده‌بندی نسبی و ارزیابی عملکرد واقعی سنگ در موج‌شکنهای جنوبی کشور است. روش رده‌بندی مناسب، باید ضمن داشتن دقت بالا در تفکیک سنگها، ساده و به آسانی قابل استفاده باشد. تعداد زیاد پارامترها، موجب پیچیدگی و محدود شدن کار برد روش خواهد بود. در مطالعه حاضر، پارامترهای مورد استفاده در رده‌بندی به چهار گروه پارامترهای فیزیکی (چگالی خشک، جذب آب)، پارامترهای مقاومتی (مقاومت تک محوری، شاخص بار نقطه‌ای)، پارامترهای دوام‌داری مکانیکی (ارزش ضربه‌ای، سایش لس آنجلس و شاخص دوام) و پارامترهای دوام‌داری شیمیایی (مقاومت در برابر سولفاتها) تقسیم شدند.

مختلف سنگی همبستگی برقرار شد و روابط تجربی به شرح زیر استخراج شد.

۵-۲-۱- روابط بین ویژگیهای فیزیکی و مقاومتی سنگها

پس از انجام آزمایشهای مختلف فیزیکی و مقاومتی بر روی نمونه‌ها و ایجاد ارتباط بین آنها، مشاهده شد که ارتباط بین خواص فیزیکی و مقاومتی هر سه گروه سنگهای آهکی، آذرین و زیستی تخریبی (صدف سنگها) پراکندگی نسبتاً زیادی را نشان می‌دهد که می‌تواند به دلیل وجود ریزدزها و وجود ناهمسانی مقاومتی در سنگها باشد. رابطه بین پارامترهای فیزیکی و مقاومتی، عموماً به صورت نمایی یا توانی است و ضریب همبستگی نیز در بیشتر موارد کمتر از ۰/۵ است. نوع منحنی برازش و ضرایب همبستگی بین پارامترهای مختلف فیزیکی و مقاومتی در سه گروه سنگی مذکور در جدول ۷ ارائه شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که همبستگی بین ویژگیهای فیزیکی و مقاومتی در صدف سنگها عموماً کمتر از دو گروه دیگر سنگهاست که می‌تواند به دلیل ناهمسانی شدید مقاومتی در این سنگها به علت ارتباط بین مقاومت آنها با درصد و نوع سیمان شدگی، درصد تخلخل و اندازه دانه‌ها باشد.

۵-۲-۲- روابط بین ویژگیهای فیزیکی و دوام‌داری سنگها

به طور کلی با بهبود خواص فیزیکی سنگ، دوام‌داری آن نیز افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج حاصل از انجام آزمایشهای مذکور و ایجاد ارتباط بین آنها مشاهده شد که ضریب همبستگی روابط بین این دو پارامتر بیش از روابط بین خواص فیزیکی و مقاومتی سنگها است (جدول ۸)، که می‌تواند به دلیل وابستگی مقاومت سنگها به جهت اعمال بار باشد به گونه‌ای در پارامترهای مقاومتی همچون مقاومت تک محوری، بار نقطه‌ای و مقاومت کششی، جهت اعمال بار اهمیت زیادی دارد و بسته به جهت اعمال بار، مقادیر نهایی مقاومت با هم تفاوت دارد. در واقع، ناهمسانی مقاومتی در ماده سنگ بیش از ناهمسانی دوام‌داری بوده و دارای اهمیت بیشتری است. همچنین ارتباط بین این پارامترها در گروههای مختلف سنگی نشان می‌دهد که در مقایسه با سنگهای آهکی در سنگهای زیستی تخریبی (صدف سنگها)، پراکندگی داده‌های دوام‌داری با خواص فیزیکی بیشتر است.

۵-۲-۳- روابط بین ویژگیهای مقاومتی و دوام‌داری سنگها

از ایجاد ارتباط بین نتایج حاصل از انجام آزمایشهای مقاومتی و دوام‌داری سنگها، (جدول ۹) مشخص شد که از بین ویژگیهای دوام‌داری، شاخص دوام در هر سه سیکل ۵ و ۱۰ و ۱۵ همبستگی خوبی را با خواص مقاومتی سنگها نشان می‌دهد. نکته قابل توجه دیگری که از برقراری این ارتباط حاصل شد

ضعیف (E) قرار ندارند و بر اساس این رده بندی، سنگهای آهکی تقریباً به طور مساوی در چهار رده بسیار مقاوم تا ضعیف (A تا D) توزیع شده اند. نتیجه بررسی بر روی صدف سنگها نیز نشان می دهد که ۵۵ درصد از این سنگها در رده متوسط (C) قرار دارند و نمونه های بسیار مقاوم (A) در این گروه از سنگها اندک است. در ارتباط با سنگهای آذرین نیز بیش از ۹۷ درصد آنها در رده مقاوم و بسیار مقاوم قرار می گیرند.

همچنین نمونه های مورد مطالعه بر اساس معیارهای موجود انتخاب سنگ برای کاربرد در موج شکنهای توده سنگی نیز رده بندی شده و با معیار پیشنهادی مقایسه شدند (جدول ۱۵). نتیجه این بررسی نشان می دهد که تنها ۲ درصد از نمونه صدف سنگها و ۳۰ درصد از نمونه سنگهای آهکی به کار رفته در موج شکنهای سواحل جنوبی کشور که از آنها نمونه برداری شده است، بر اساس معیارهای موجود در رده سنگهای قابل قبول قرار می گیرند در حالی که بر اساس معیار پیشنهادی ۲۴ درصد از صدف سنگها و ۴۹ درصد از سنگهای آهکی در رده سنگهای مقاوم به بالا قرار می گیرند. همچنین نتیجه این بررسی نشان می دهد که معیار پیشنهادی در این تحقیق برای سنگهای آذرین مشابه معیار CUR است و برای سنگهای آهکی نیز اختلاف کمی بین معیار پیشنهادی و معیار CUR در ارزیابی این گروه از سنگها وجود دارد.

همچنین به منظور ارزیابی ضرورت وجود معیارهای متفاوتی برای گروههای سه گانه سنگی مورد مطالعه در این تحقیق، نمونه های مورد بررسی بر اساس هر یک از معیارهای پیشنهادی رده بندی شدند (شکلهای ۴ تا ۶). نتایج حاصل نشان داد که رده بندی سنگهای آهکی و صدف سنگها بر اساس معیار پیشنهادی برای رده بندی سنگهای آذرین، بیشتر این نمونه ها را در رده ضعیف قرار می دهد و بالعکس رده بندی سنگهای آذرین بر اساس معیار پیشنهادی برای سنگهای آهکی و صدف سنگ همه نمونه ها را در رده بسیار مقاوم قرار می دهد. همچنین در رده بندی صدف سنگها بر اساس معیار سنگهای آهکی مشاهده شد که بیشتر نمونه ها در رده متوسط و ضعیف قرار می گیرند و این در حالی است که ارزیابی صحرائی حاکی از عملکرد مناسب غالب این سنگها در موج شکنها بوده است که این مسئله تأییدی بر ضرورت وجود معیارهای متفاوتی برای هر سه گروه سنگی است.

۵-۶- رده بندی و ارزیابی نمونه های موج شکنهای مطالعاتی با استفاده

از معیارهای پیشنهادی

با توجه به معیارهای پیشنهادی برای هر سه گروه سنگی، نمونه های اخذ شده از هر موج شکن به طور جداگانه رده بندی و ارزیابی شدند (جدول ۱۶). نتایج حاصل حاکی از آن است که بیشتر نمونه های آذرین موج شکنها،

به منظور امتیازدهی و رده بندی سنگ، دست کم یک نتیجه آزمایش از هر یک از پارامترهای چهار گانه فوق مورد نیاز است.

آزمایشهای انجام شده بر اساس نقشی که در دوام داری سنگ در موج شکن دارند، به دو گروه پارامترهایی که رابطه مثبت با دوام داری سنگ دارند (چگالی، مقاومت تک محوری، شاخص بار نقطه ای و شاخص دوام) و پارامترهایی که رابطه منفی با دوام داری سنگ دارند (جذب آب، تخلخل، سایش لس آنجلس، ارزش ضربه ای، درصد افت وزنی در برابر سولفاتها) تقسیم شدند.

به مقادیر کمینه و بیشینه پارامترهایی که نسبت مستقیم با دوام داری سنگ دارند، همچون مقاومت تک محوری و چگالی، امتیاز صفر و صد و برای پارامترهایی که نسبت معکوس با دوام داری سنگ دارند، امتیاز صد و صفر اختصاص یافته و به دیگر مقادیر نیز متناسب با آن امتیاز داده شد.

امتیاز میانگین برای هر نمونه سنگ، با جمع جبری امتیازها و تقسیم آن بر تعداد آزمایشهای انجام شده به دست می آید و امتیاز نهایی در برابر نتایج صحرائی قرار گرفته و میانگین امتیاز و تغییرات آن برای رده های مختلف (بسیار ضعیف (E) ضعیف (D) متوسط (C) مقاوم (B) و بسیار مقاوم (A)) تعیین شد. بنابراین، با مشخص شدن امتیاز هر رده و استخراج نمونه سنگهای هر یک از این پنج رده (A تا E) از فایل اصلی، مقادیر محدوده تغییرات هر یک از پارامترهای خواص فیزیکی، مقاومتی و دوام داری تعیین شد. در نهایت، با توجه به اینکه در تحلیل آماری به همه داده ها وزن یکسان داده شده بود، امتیاز بندی پارامترها نیز به صورت یکسان در نظر گرفته شد به این ترتیب که به هر یک از چهار گروه پارامترهای فیزیکی، مقاومتی، دوام داری مکانیکی و دوام داری شیمیایی امتیاز ۲۵ اختصاص داده شد.

در جدولهای ۱۲ تا ۱۴ سیستم امتیازدهی به پارامترها در سه گروه سنگی آهکی، صدف سنگ و آذرین و به عبارت دیگر معیار پیشنهادی برای این سه گروه سنگی ارائه شده است (تلخابلو، ۱۳۸۶).

۵-۵- رده بندی نمونه های مورد مطالعه بر اساس معیار پیشنهادی و

مقایسه با معیارهای موجود

با توجه به معیار پیشنهادی نمونه هایی که در چهار گروه پارامترهای فیزیکی، دوام داری مکانیکی، مقاومتی و دوام داری شیمیایی دست کم یکی از نتایج آزمایش هر گروه را دارا بوده اند، رده بندی شدند. نتایج این رده بندی به صورت درصد فراوانی هر یک از سه گروه سنگی (آهکی، صدف سنگ و آذرین) در قالب رده بندی پیشنهادی در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج این رده بندی نشان می دهد که هیچ یک از نمونه های مورد مطالعه در رده بسیار



اهمیت آن در عملکرد کلی سنگ نشان می‌دهد که این پارامتر باید به صورت مستقل در رده بندی ارزیابی شود.

– رده بندی نمونه های گرفته شده از موج شکنهای نوار ساحلی جنوبی کشور بر اساس معیار پیشنهادی نشان می‌دهد که بیشتر نمونه های آذرین موج شکنها مانند شهید باهنر، شهید رجایی و بستانه در رده مقاوم و بسیار مقاوم قرار می‌گیرند و تنها نمونه های آذرین موج شکن لنگه در رده متوسط قرار دارد. همچنین بیشتر نمونه های صدف سنگی موج شکنها در رده متوسط قرار دارد، به استثنای موج شکنهای کنگان و طاهری که در رده مقاوم به بالا قرار دارند. در ارتباط با نمونه های آهکی موج شکنها نیز بجز نمونه های آهکی موج شکنهای دیر، لنگه و مقام که در گروه متوسط قرار دارند، غالباً در گروه مقاوم قرار می‌گیرند.

– در معیار پیشنهادی برای سنگهای آذرین، این سنگها به چهار گروه ضعیف، متوسط، مقاوم و بسیار مقاوم تقسیم شدند. سنگهای گروه ضعیف در این رده بندی برای لایه حفاظ مناسب نیستند و در مورد سنگهای گروه متوسط نیز پیشنهاد می‌شود که در حد جزرومدی که به طور متناوب خشک و مرطوب می‌شوند استفاده نشوند.

– بر اساس معیار پیشنهادی برای سنگهای آهکی و صدف سنگی، این سنگها به پنج گروه بسیار مقاوم، مقاوم، متوسط، ضعیف و بسیار ضعیف تقسیم شدند که رده سنگهای ضعیف به پایین، غیر قابل کاربرد در لایه حفاظ است، گروه مقاوم به بالا در تمام بخشهای موج شکن قابل استفاده هستند و رده متوسط نیز برای مغزه و فیلتر و بخش مغروق لایه حفاظ توصیه می‌شوند.

– در معیار پیشنهادی حدود ۲۴ درصد از صدف سنگها در گروه مقاوم و بسیار مقاوم، ۵۰ درصد در گروه متوسط و بقیه در گروه ضعیف قرار گرفتند. بررسی صحرایی عملکرد نمونه های صدف سنگ در موج شکنها نیز مؤید عملکرد متوسط این سنگهاست.

– نمونه های مورد مطالعه در این تحقیق بر اساس شواهد صحرایی به پنج گروه بسیار مقاوم تا ضعیف تقسیم بندی شدند (جدول ۱۱).

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت های مالی و تجهیزاتی دانشگاه تربیت مدرس و مهندسین مشاور سازه پردازی ایران در چارچوب یک طرح تحقیقاتی انجام شده و نتایج حاصل از آن مرهون تلاش جمعی اساتید و صاحب نظران در قالب یک تیم مطالعاتی بوده که شایسته قدر دانی است.

همچون موج شکنهای شهید باهنر، شهید رجایی و بستانه در رده مقاوم و بسیار مقاوم (B,A) قرار می‌گیرند و تنها نمونه های آذرین موج شکن لنگه، غالباً در رده متوسط (C) قرار دارند. همچنین غالب نمونه های صدف سنگی موج شکنها در رده متوسط و مقاوم (B,C) قرار دارند و نمونه های صدف سنگی موج شکنهای کنگان و طاهری از مقاومت بالایی برخوردار بوده و در رده بسیار مقاوم و مقاوم (B,A) قرار می‌گیرند. نمونه های آهکی موج شکنها نیز به جز نمونه های آهکی موج شکنهای دیر، لنگه و مقام که بیشتر در رده متوسط (C) قرار دارند، غالباً در گروه مقاوم جای دارند.

۶- نتیجه گیری

در این تحقیق سعی شد ضمن ارزیابی ویژگیهای مهندسی مصالح سنگی به کار رفته در موج شکنهای سواحل جنوب و جنوب خاور ایران، بر اساس تحلیل حاصل از انجام آزمایشهای مهندسی سنجش دوام و مقایسه آنها با نتایج ارزیابی صحرایی از عملکرد واقعی سنگها، معیارهای پیشنهادی انتخاب سنگ برای سه گروه سنگهای آهکی، آذرین و صدف سنگ ارائه شود.

– با توجه به اینکه برقراری همبستگی بین نتایج آزمایشهای مختلف مهندسی، سبب جایگزینی روابط ساده به جای روابط پیچیده و همچنین تسریع در امر ارزیابی دوام مصالح سنگی می‌شود، با بررسی نتایج به دست آمده از انجام آزمایشهای مختلف، روابط تجربی بین پارامترهای مختلف فیزیکی، مقاومتی و دوام داری سنگها در سه گروه سنگی آهکی – آذرین و صدف سنگ ارائه شد (جدول ۱۰).

– ارتباط بین خواص فیزیکی و مقاومتی نمونه ها در هر سه گروه سنگی دارای پراکندگی نسبتاً زیادی است که می‌تواند به علت وجود ناهمسانی مقاومتی در سنگها و وجود ریز درزه ها باشد که در این بین همبستگی بین این پارامترها در صدف سنگها کمتر از دو گروه دیگر است.

– ضریب همبستگی بالای بین پارامترهای فیزیکی و دوام داری نسبت به روابط بین خواص فیزیکی و مقاومتی حاکی از آن است که ناهمسانی مقاومتی در ماده سنگ بیشتر از ناهمسانی دوام داری بوده و دارای اهمیت بیشتری است.

– در صدف سنگها پراکندگی داده های دوام داری با خواص فیزیکی بیش از دیگر گروه های سنگی است.

– برقراری ارتباط بین پارامترهای مقاومتی و دوام داری نمونه ها نشان داد که از بین پارامترهای دوام داری، شاخص دوام در هر سه سیکل ۵، ۱۰ و ۱۵ همبستگی خوبی را با خواص مقاومتی سنگها نشان می‌دهد.

– نبود رابطه سامان مند بین دوام داری شیمیایی و دیگر ویژگیهای سنگ و

جدول ۱- معیارهای موجود انتخاب سنگ مناسب از دید آیین‌نامه‌های مختلف و افراد صاحب‌نظر

افت وزنی در سولفات (%)	ارزش ضربه (%)	سایش لس آنجلس در ۵۰۰ دور (%)	جذب آب (%)	چگالی خشک t/m ³	محقق	
<۱۸	<۳۰	—	<۳	>۲/۶	Wakeling (1977)	
<۱۲	<۱۶	—	<۲/۵	>۲/۶	Poole et al, (1984)	
<۲	—	<۳۵	<۱/۲	>۲/۶	Lutton	
<۱۸	<۳۰	<۱۸	<۳	>۲/۶	استاندارد BS	
—	<۱۳	<۱۸	<۳	>۲/۵۵	جلالی و همکاران (۱۳۶۹)	
<۲	—	—	<۰/۵	>۲/۹	عالی	CUR 2000
۲-۱۲	—	—	۰/۵-۲	۲/۶-۲/۹	خوب	
۱۲-۲۰	—	—	۲-۶	۲/۳-۲/۶	متوسط	
>۲۰	—	—	>۶	<۲/۳	ضعیف	
<۱	<۱۰	<۱۰	<۱	>۲/۷	امتیاز بسیار بالا	نیکودل (۱۳۶۹)
۱-۲	۱۰-۱۳	۱۰-۱۴	۱-۲/۵	۲/۵-۲/۷	امتیاز بالا	
۲-۳	۱۳-۱۵	۱۴-۱۸	۲/۵-۴	۲/۳-۲/۵	امتیاز متوسط	
۳-۵	۱۵-۱۸	۱۸-۲۴	۴-۶	۲/۱-۲/۳	امتیاز کم	
>۵	>۱۸	>۲۴	>۶	<۲/۱	امتیاز بسیار کم	

جدول ۲- رده‌بندی آزمایشهای مهندسی دوام (Fookes, 1991)

بررسی‌های سنگ‌شناسی	آزمایشهای شبیه‌سازی	آزمایشهای مکانیکی	آزمایشهای فیزیکی
بررسی سنگ‌شناسی (ASTM C۲۹۵)	ارزش ضربه‌ای اصلاح شده (هاسکینگ و تویی، ۱۹۶۹)	مقاومت بار نقطه‌ای (ISRM)	چگالی (ظاهری، خشک و اشباع) (BS ۸۱۲)
تعیین کانی‌های رسی (جذب متیلن بلو، اتیلن گلیکول)، پراش پرتو ایکس (XRD)	سایش لس آنجلس (ASTM C۵۳۵)	مقاومت فشاری تک محوری (ISRM)	(BS ۸۱۲) جذب آب
	زوال واشینگتن	ارزش ضربه‌ای مصالح (BS ۸۱۲)	تعیین تخلخل
	سلامت سولفات (ASTM C۸۸)	ارزش سایش مصالح (BS ۸۱۲)	
	دوام‌داری سنگ (AASHTO-T۱۰۳-۷۸)	۱۰ درصد ریزی (BS ۸۱۲)	

جدول ۳- تعداد و جنس نمونه‌های گرفته شده

تعداد	جنس نمونه
۱۹۴	آذرین
۲۷۴	آهک
۳۳۴	صدف سنگ
۸۰۲	جمع کل

جدول ۴- تعداد و انواع آزمایشهای انجام شده بر روی هر یک از نمونه‌های سنگی

مجموع	لوماشل		آهکی		آذرین		نوع سنگ / نوع آزمایش
	اشباع	خشک	اشباع	خشک	اشباع	خشک	
۹۷۸	۴۰۲		۳۸۲		۱۹۴		درصد جذب آب
۹۷۸	۴۰۲		۳۸۲		۱۹۴		تخلخل
۹۷۸	۴۰۲		۳۸۲		۱۹۴		دانسیته خشک
۹۷۸	۴۰۲		۳۸۲		۱۹۴		دانسیته اشباع
۹۷۸	۴۰۲		۳۸۲		۱۹۴		وزن مخصوص
۷۹۶	۲۴۲	۲۴۲	۱۲۰	۱۲۰	۳۶	۳۶	مقاومت تک محوری
۷۹۶	۲۴۲	۲۴۲	۱۲۰	۱۲۰	۳۶	۳۶	مدول الاستیسیته
۸۴۲	۲۵۴	۲۵۴	۱۱۷	۱۱۷	۵۰	۵۰	شاخص بار نقطه‌ای
۳۰۰	۱۹۰		۷۶		۳۴		مقاومت کششی
۲۲۱	۱۶۲		۴۳		۱۶		شاخص دوام (۵سیکل)
۲۲۱	۱۶۲		۴۳		۱۶		شاخص دوام (۱۰سیکل)
۲۲۱	۱۶۲		۴۳		۱۶		شاخص دوام (۱۵سیکل)
۲۷۳	۱۶۷		۶۸		۳۸		ارزش ضربه‌ای
۱۵۱	۸۰		۵۳		۱۸		سایش لس آنجلس
۱۶۸	۹۵		۴۶		۲۷		افت وزنی (۵سیکل)
۱۶۸	۹۵		۴۶		۲۷		افت وزنی (۱۰سیکل)
۱۶۸	۹۵		۴۶		۲۷		افت وزنی (۱۵سیکل)
۹۲۱۵	۴۶۹۴		۳۰۸۸		۱۴۳۳		جمع

جدول ۵ - مقادیر ویژگیهای مهندسی نمونه های مورد مطالعه

الف) ویژگیهای فیزیکی

وزن مخصوص	تخلخل (%)			جذب آب (%)			چگالی اشباع (KN/m ³)			چگالی خشک (KN/m ³)			گروه سنگی
	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	
۲۹۰	۲۴۴	۲۶۶	۲۶۲۰	۰.۳۸	۶.۷۸	۱۱.۰۶	۲۸۸۱	۲۲۷۷	۲۴۹۵	۲۹۱۷	۲۱۱۷	۲۴۲۸	آذرین
۲۸۰	۲۰۱	۲۵۳	۵۰۰۰	۰.۴۳	۱۷.۰۷	۳۳.۶۱	۲۹۲۹	۱۴۳۸	۲۲۳۸	۲۸.۷۲	۱۳.۰۲	۲۰.۷۲	آهکی
۲۸۰	۲۰۰	۲۵۰	۹۶.۱۲	۲.۶۹	۲۶.۸۵	۴۳.۲۶	۲۸.۵۸	۱۶.۵۲	۲۰.۵۶	۲۷.۸۳	۱۳.۴۵	۱۷.۹۵	صدف سنگی

ب) ویژگیهای مقاومتی

مقاومت تک محوری اشباع (MPa)			مقاومت تک محوری خشک (MPa)			مقاومت کششی (MPa)			مقاومت بار نقطه‌ای اشباع (MPa)			مقاومت بار نقطه‌ای خشک (MPa)			گروه سنگی
بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	
۱۶۹.۷۷	۳۴۹	۷۳.۹۹	۲۳۲.۶۴	۵.۱۰	۱۰۸.۰۱	۱۵.۱۵	۰.۲۶	۱۲.۷۹	۱۸.۶۶	۰.۹۴	۷.۰۹	۱۹.۳۰	۱.۲۰	۷.۵۹	آذرین
۷۹.۸۵	۱.۱۴	۲۵.۶۴	۱۴۶.۶۱	۱.۲۱	۴۳.۸۸	۸.۱۱	۰.۰۶	۲.۹۷	۱۶.۷۸	۰.۰۴	۳.۳۹	۱۱.۲۱	۰.۴۷	۳.۳۵	آهکی
۱۲۸.۳۳	۰.۳۱	۸.۲۸	۱۶۳.۴۷	۰.۹۳	۱۴.۰۰	۶.۸۲	۰.۰۵	۱.۳۰	۸.۴۷	۰.۱۰	۱.۵۵	۷.۵۲	۰.۲۰	۱.۹۰	صدف سنگی

ج) ویژگیهای دوام داری

سلامت سنگ (۵ سیکل) (%)		شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)		شاخص دوام (۱۰ سیکل) (%)		شاخص دوام (۵ سیکل) (%)		ارزش ضربه‌ای (%)		گروه سنگی		
بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه			
۹.۹۰	۱.۰۰	۹۸.۹۰	۷۴.۸۰	۹۹.۲۰	۸۰.۱۳	۹۵.۲۴	۸۷.۲۲	۴۱.۶۶	۳.۶۴	۱۰.۹۶		
۷۹.۹۱	۴.۱۰	۹۸.۷۰	۴۷.۶۷	۹۹.۰۰	۵۷.۶۲	۹۹.۳۰	۷۲.۳۱	۴۸.۹۸	۵.۷۴	۲۰.۰۸	آهکی	
۷۵.۲۵	۱.۵۰	۹۸.۸۱	۳۵.۸۰	۹۹.۰۸	۱۲.۸۰	۷۷.۹۸	۹۹.۳۹	۲۸.۸۰	۸۵.۵۰	۷۹.۷۳	۴۴.۰۵	صدف سنگی

ادامه ج) ویژگیهای دوام داری

سایش لس آبتیاس (%)		سلامت سنگ (۱۵ سیکل) (%)		سلامت سنگ (۱۰ سیکل) (%)		سایش لس آبتیاس (%)		گروه سنگی
بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	
۲۹.۰۰	۸.۲۰	۱۶.۲۲	۵.۶۰	-۲.۳	۲.۹۸	۸.۲۵	-۰.۷۸	۲۰.۶
۸۳.۹۷	۱۲.۴۵	۲۴.۹۸	۱۳.۲۵	-۱.۳	۸.۷۰	۲۵.۰۰	-۰.۸	۶.۵۶
۹۱.۸۸	۱۲.۱۵	۵۵.۱۱	۱۹.۶۸	-۳.۴	۹.۹۸	۲۱.۸۰	-۱.۸۱	۱۰.۲۴

جدول ۶- مقادیر بیشترین فراوانی ویژگیهای مهندسی نمونه‌های مورد مطالعه

الف) ویژگیهای فیزیکی

وزن مخصوص	تخلخل (%)	جذب آب (%)	چگالی اشباع (KN/m ³)	چگالی خشک (KN/m ³)	بیشترین فراوانی گروه سنگی
۲.۷۲	۱۰	۲.۲	۲۴	۲۳	آهکی
۲.۷۴	۵	۲	۲۵	۲۴	آذرین
۲.۷۰	۲۵	۱۷	۲۱	۱۸	صدف سنگ

ب) ویژگیهای مقاومتی

مقاومت کششی (MPa)	تک محوری اشباع (MPa)	تک محوری خشک (MPa)	بار نقطه‌ای اشباع (MPa)	بار نقطه‌ای خشک (MPa)	بیشترین فراوانی گروه سنگی
۳	۱۵	۶۰	۱.۸	۲	آهکی
۱۶	۱۱۰	۱۴۰	۱۰	۱۱	آذرین
۰.۵	۸	۱۰	۱.۶	۱.۸	صدف سنگ

ج) ویژگیهای دوام‌داری

سلامت سنگ ۱۵ سیکل (%)	سلامت سنگ ۱۰ سیکل (%)	سلامت سنگ ۵ سیکل (%)	سایش لس آنجلس (%)	ارزش ضربه‌ای (%)	بیشترین فراوانی گروه سنگی
۱۲	۳	۱	۳۰	۲۵	آهکی
۵	۳	۱	۲۰	۸	آذرین
۱۶	۱۸	۱۴	۷۵	۴۷	صدف سنگ

جدول ۷- نوع منحنی برآزش و ضرایب همبستگی بین پارامترهای فیزیکی و مقاومتی سنگها

الف) سنگهای آهکی

	γ_d (KN/m ³)	γ_{sat} (KN/m ³)	G_s	n (%)	w (%)
γ_d	1				
γ_{sat}	0.940(Li)	1			
G_s	0.355(Li)	0.531(Li)	1		
n (%)	0.690(E)	0.498(E)	0.095(E)	1	
w (%)	0.781(Log)	0.597(Log)	0.136(E)	0.977(P)	1
$qu(dry)$ (MPa)	0.385(P)	0.324(P)	0.042(Log)	0.328(E)	0.381(E)
$qu(sat)$ (MPa)	0.408(P)	0.211(P)	0.012(P)	0.359(E)	0.414(E)
$Is(dry)$ (MPa)	0.282(P)	0.137(E)	0.0221(P)	0.238(E)	0.251(E)
$Is(sat)$ (MPa)	0.182(Li)	0.183(E)	0.021(P)	0.180(E)	0.217(E)
$\sigma_1(dry)$ (MPa)	0.400(P)	0.357(Li)	0.117(Li)	0.337(E)	0.359(E)
$Es(dry)$ (MPa)	0.277(Log)	0.246(Li)	0.056(Log)	0.224(Li)	0.246(Li)
$Es(sat)$ (MPa)	0.470(P)	0.439(P)	0.069(P)	0.319(E)	0.366(E)

ب) سنگهای آذرین

	γ_d (KN/m ³)	γ_{sat} (KN/m ³)	G_s	n (%)	w (%)
γ_d	1				
γ_{sat}	0.004(Log)	1			
G_s	0.351(E)	0.595(E)	1		
n (%)	0.676(P)	0.471(P)	0.004(E)	1	
w (%)	0.709(P)	0.507(P)	0.005(Li)	0.996(P)	1
$qu(dry)$ (MPa)	0.0072(Li)	0.012(Li)	0.015(Log)	0.0015(Log)	0.002(Log)
$qu(sat)$ (MPa)	0.009(Li)	0.0026(E)	0.020(E)	0.013(Log)	0.012(Log)
$Is(dry)$ (MPa)	0.222(P)	0.042(Li)	0.035(E)	0.099(Li)	0.433(E)
$Is(sat)$ (MPa)	0.121(Li)	0.065(Li)	0.0251(Log)	0.034(E)	0.107(Li)
$\sigma_1(dry)$ (MPa)	0.172(Li)	0.463(Li)	0.038(Log)	0.012(P)	0.012(Li)
$Es(dry)$ (MPa)	0.018(E)	0.021(P)	0.017(E)	0.009(P)	0.014(P)
$Es(sat)$ (MPa)	0.006(Log)	0.001(Log)	0.003(E)	0.028(P)	0.026(P)

ج) صدف سنگها

	γ_d (KN/m ³)	γ_{sat} (KN/m ³)	G_s	n (%)	w (%)
γ_d	1				
γ_{sat}	0.671(E)	1			
G_s	0.330(E)	0.100(Li)	1		
n (%)	0.307(Log)	0.101(P)	0.156(Li)	1	
w (%)	0.250(Log)	0.650(Log)	0.098(Li)	0.920(P)	1
$qu(dry)$ (MPa)	0.369(E)	0.251(E)	0.005(Log)	0.130(E)	0.182(P)
$qu(sat)$ (MPa)	0.159(E)	0.159(E)	0.005(Log)	0.132(E)	0.228(P)
$Is(dry)$ (MPa)	0.178(Li)	0.132(Li)	0.005(Li)	0.144(Log)	0.169(Log)
$Is(sat)$ (MPa)	0.075(Li)	0.031(Li)	0.001(Li)	0.132(Log)	0.129(Log)
$\sigma_1(dry)$ (MPa)	0.369(Li)	0.199(Li)	0.001(Log)	0.395(Li)	0.418(Li)
$Es(dry)$ (MPa)	0.235(Li)	0.225(P)	0.044(P)	0.091(Log)	0.134(Log)
$Es(sat)$ (MPa)	0.171(E)	0.102(E)	0.003(E)	0.110(P)	0.139(P)

P: Power Log:Logarithmic Li:Linear E:Exponential

جدول ۸- نوع منحنی برازش و ضرایب همبستگی بین پارامترهای فیزیکی و دوام‌داری سنگها.

الف) سنگهای آهکی

	γ^d (KN/m ³)	γ^{sat} (KN/m ³)	G _s	n (%)	w (%)
شاخص دوام (۵ سیکل) (%)	0.575(Li)	0.608(Log)	0.031(P)	0.352(Li)	0.414(Log)
شاخص دوام (۱۰ سیکل) (%)	0.565(Li)	0.589(P)	0.031(E)	0.354(Li)	0.410(Log)
شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)	0.606(Li)	0.712(Log)	0.503(E)	0.345(Log)	0.417(Log)
لس آنجلس (%)	0.673(log)	0.578(Li)	0.092(Log)	0.625(Li)	0.439(Li)
ارزش ضربه‌ای (%)	0.527(Li)	0.515(Log)	0.091(Log)	0.292(Log)	0.359(Log)
افت وزنی (۵ سیکل) (%)	0.222(Li)	0.214(Li)	0.027(Log)	0.176(Log)	0.189(Log)
افت وزنی (۱۰ سیکل) (%)	0.358(Li)	0.306(Li)	0.067(Log)	0.038(Log)	0.308(Li)
افت وزنی (۱۵ سیکل) (%)	0.77(Log)	0.726(Log)	0.063(Log)	0.036(Log)	0.765(Li)

ب) سنگهای آذرین

	γ^d (KN/m ³)	γ^{sat} (KN/m ³)	G _s	n (%)	w (%)
شاخص دوام (۵ سیکل) (%)	0.033(Li)	0.045(Li)	0.056(Li)	0.219(Li)	0.257(Li)
شاخص دوام (۱۰ سیکل) (%)	0.186(Log)	0.058(Log)	0.142(E)	0.170(E)	0.213(E)
شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)	0.208(Log)	0.076(Li)	0.224(Li)	0.163(E)	0.210(E)
لس آنجلس (%)	0.118(E)	0.107(E)	0.017(P)	0.032(Log)	0.025(Log)
ارزش ضربه‌ای (%)	0.323(E)	0.231(E)	0.150(P)	0.198(Log)	0.189(Log)
افت وزنی (۵ سیکل) (%)	0.051(Li)	0.004(Li)	0.056(Li)	0.164(Log)	0.172(Log)
افت وزنی (۱۰ سیکل) (%)	0.011(Li)	0.007(Li)	0.033(Li)	0.020(Log)	0.020(Log)

ج) صدف سنگها

	γ^d (KN/m ³)	γ^{sat} (KN/m ³)	G _s	n (%)	w (%)
شاخص دوام (۵ سیکل) (%)	0.192(Li)	0.091(Li)	0.015(Li)	0.152(Log)	0.194(Log)
شاخص دوام (۱۰ سیکل) (%)	0.180(Log)	0.082(Li)	0.020(Li)	0.157(Log)	0.197(Log)
شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)	0.191(Li)	0.082(Li)	0.023(Li)	0.171(Log)	0.210(Log)
لس آنجلس (%)	0.568(E)	0.530(E)	0.090(E)	0.151(P)	0.206(P)
ارزش ضربه‌ای (%)	0.508(E)	0.182(E)	0.018(Li)	0.372(P)	0.452(P)
افت وزنی (۵ سیکل) (%)	0.169(Log)	0.126(Li)	0.015(Log)	0.125(Log)	0.149(Log)
افت وزنی (۱۰ سیکل) (%)	0.085(Log)	0.133(Log)	0.211(Log)	0.001(Log)	0.010(Log)
افت وزنی (۱۵ سیکل) (v)	0.013(Log)	0.116(Li)	0.057(Log)	0.004(Log)	0.001(Log)

P: Power Log: Logarithmic Li: Linear E: Exponential

جدول ۹- نوع منحنی برآزش و ضرایب همبستگی بین پارامترهای مقاومتی و دوامداری سنگها.

الف) سنگهای آهکی

	$qu(dry)$ (MPa)	$qu(sat)$ (MPa)	$Is(dry)$ (MPa)	$Is(sat)$ (MPa)	$\sigma t(dry)$ (MPa)	$Es(dry)$ (GPa)	$Es(sat)$ (GPa)
شاخص دوام (۵ سیکل) (%)	0.704(P)	0.631(P)	0.320(Log)	0.264(Log)	0.251(Log)	0.605(P)	0.666(P)
شاخص دوام (۱۰ سیکل) (%)	0.695(P)	0.612(Log)	0.317(Log)	0.259(Li)	0.255(Log)	0.605(P)	0.645(Log)
شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)	0.779(P)	0.591(Log)	0.293(Log)	0.236(Li)	0.263(Log)	0.767(P)	0.857(P)
لس آنجلس (%)	0.764(Log)	0.580(Log)	0.356(P)	0.426(P)	0.273(Log)	0.509(E)	0.486(E)
ارزش ضربه‌ای (%)	0.672(Log)	0.282(Li)	0.651(E)	0.470(E)	0.507(E)	0.353(E)	0.285(E)
افت وزنی (۵ سیکل) (%)	0.024(Li)	0.036(Li)	0.060(Li)	0.074(Log)	0.036(Li)	0.0015 (Log)	0.034(Li)
افت وزنی (۱۰ سیکل) (%)	0.171(Log)	0.129(Li)	0.041(Log)	0.043(Li)	0.124(Log)	0.22 (Log)	0.063(Li)
افت وزنی (۱۵ سیکل) (%)	0.034(P)	0.014(P)	0.028(P)	0.036(P)	0.998(Log)	0.102(Li)	0.110(Li)

ب) سنگهای آذرین

	$qu(dry)$ (MPa)	$qu(sat)$ (MPa)	$Is(dry)$ (MPa)	$Is(sat)$ (MPa)	$\sigma t(dry)$ (MPa)	$Es(dry)$ (GPa)	$Es(sat)$ (GPa)
شاخص دوام (۵ سیکل) (%)	0.091(Li)	0.851(Li)	0.288(Log)	0.138(P)	0.827(Li)	0.189(Li)	0.312(Li)
شاخص دوام (۱۰ سیکل) (%)	0.194(Li)	0.966(Li)	0.342(Log)	0.108(P)	0.979(Li)	0.007(E)	0.017(E)
شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)	0.150(Li)	0.750(Li)	0.345(Log)	0.014(P)	0.882(Li)	0.057(E)	0.032(P)
لس آنجلس (%)	0.317(E)	0.233(P)	0.051(P)	0.265(Log)	0.664(E)	0.266(Log)	0.340(E)
ارزش ضربه‌ای (%)	0.171(Log)	0.044(E)	0.081(E)	0.579(Log)	0.401(E)	0.080(Li)	0.026(E)
افت وزنی (۵ سیکل) (%)	0.080(Log)	0.023(Log)	0.013(Li)	0.025(Li)	0.018(Log)	0.006(Log)	0.048(Log)
افت وزنی (۱۰ سیکل) (%)	0.049(Log)	0.017(Log)	0.068(Log)	0.0118(Log)	0.049(Log)	0.062(Li)	0.006(Log)

ج) صدف سنگها

	$qu(dry)$ (MPa)	$qu(sat)$ (MPa)	$Is(dry)$ (MPa)	$Is(sat)$ (MPa)	$\sigma t(dry)$ (MPa)	$Es(dry)$ (GPa)	$Es(sat)$ (GPa)
شاخص دوام (۵ سیکل) (%)	0.302(Log)	0.218(Log)	0.206(Log)	0.286(Log)	0.295(Li)	0.247(Log)	0.195(Log)
شاخص دوام (۱۰ سیکل) (%)	0.384(Log)	0.235(Log)	0.229(Log)	0.536(Log)	0.317(Li)	0.252(Log)	0.190(Log)
شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)	0.327(Log)	0.252(Log)	0.240(Log)	0.305(Log)	0.330(Li)	0.261(Log)	0.186(Log)
لس آنجلس (%)	0.649(E)	0.500(E)	0.181(E)	0.271(E)	0.340(E)	0.238(Log)	0.269(Log)
ارزش ضربه‌ای (%)	0.411(P)	0.415(P)	0.301(P)	0.356(Log)	0.655(E)	0.369(P)	0.239(E)
افت وزنی (۵ سیکل) (%)	0.022(Li)	0.022(Li)	0.021(Li)	0.032(Li)	0.022(Li)	0.031(Log)	0.006(Li)
افت وزنی (۱۰ سیکل) (%)	0.025(Li)	0.004(Li)	0.017(Li)	0.035(Log)	0.182(Log)	0.071(Li)	0.008(Li)
افت وزنی (۱۵ سیکل) (%)	0.114(Li)	0.216(Log)	0.113(Log)	0.476(Log)	0.390(Log)	0.145(Li)	0.108(Li)

P: Power Log: Logarithmic Li: Linear E: Exponential

جدول ۱۰- روابط تجربی بین ویژگیهای مختلف مهندسی نمونه‌های مطالعاتی

روابط تجربی t	نوع پارامترها	نوع سنگ	
$Es(sat) = 285.5 qu(sat)^{0.795}$, $R2 = 0.8834$	مدول الاستیسیته اشباع (ES) و مقاومت تک محوری اشباع (qu)	آذرین	
$Es(dry) = 82.6 qu(dry)$, $R2 = 0.5891$	مدول الاستیسیته خشک (ES) و مقاومت تک محوری خشک (qu)		
$q_u(dry) = 13.59 I_s(dry)$, $R2 = 0.6654$	مقاومت تک محوری خشک (qu) و بار نقطه ای خشک (I)		
$q_u(sat) = 2.540 I_s(sat)$, $R2 = 0.582$	مقاومت تک محوری اشباع (qu) و بار نقطه ای اشباع (I)		
$AIV = -2.2791 Id(10) + 233.55$, $R2 = 0.6063$	ارزش ضربه ای (AIV) و شاخص دوام (۱۰ سیکل) (Id)		
$Ls(\%) = 3.175 (AIV)^{0.792}$, $R2 = 0.7935$	سایش لس آنجلس (Ls) و ارزش ضربه ای (AIV)		
$Ls(\%) = 681.3e^{-0.1437qd}$, $R2 = 0.568$	سایش لس آنجلس (Ls) و چگالی خشک (qd)		
$Ls(\%) = 1267e^{-0.1577qsat}$, $R2 = 0.530$	سایش لس آنجلس (Ls) و چگالی اشباع (qsat)		
$AIV = -0.977 Id(15) + 115.71$, $R2 = 0.751$	ارزش ضربه ای (AIV) و شاخص دوام (۱۵ سیکل) (Id)		صدف سنگ
$Ls(\%) = 0.908 (AIV) + 17.298$, $R2 = 0.598$	سایش لس آنجلس (Ls) و ارزش ضربه ای (AIV)		
$Es(sat) = 102.3 qu(sat)$, $R2 = 0.655$	مدول الاستیسیته اشباع (ES) و مقاومت تک محوری اشباع (qu)		
$Es(dry) = 150.4 qu(dry)^{0.9294}$, $R2 = 0.672$	مدول الاستیسیته خشک (ES) و مقاومت تک محوری خشک (qu)		
$Ls(\%) = -97.79 Ln(qd) + 333.97$, $R2 = 0.672$	سایش لس آنجلس (Ls) و چگالی خشک (qd)		
$Id(15) = 70.575 Ln(q_{sat}^{(1)}) - 131.58$, $R2 = 0.712$	شاخص دوام (۱۵ سیکل) (Id) و چگالی اشباع (qsat)		
$Ls(\%) = -173.9 Ln(Id(15)) + 813.25$, $R2 = 0.871$	سایش لس آنجلس (Ls) و شاخص دوام (۱۵ سیکل) (Id)		
$AIV = -1.350 Id(15) + 141.47$, $R2 = 0.832$	ارزش ضربه ای (AIV) و شاخص دوام (۱۵ سیکل) (Id)		
$Ls(\%) = 1.449 (AIV) + 3.380$, $R2 = 0.886$	سایش لس آنجلس (Ls) و ارزش ضربه ای (AIV)		



جدول ۱۱- رده‌بندی و توصیف صحرایی نمونه‌های سنگی در مطالعه حاضر

بسیار ضعیف (E)	سنگ در زیر آب وارفتنگی نشان می‌دهد و سطح آن ناهموار است، در سطح سنگ در خارج آب، قشری از پودر سنگ مشاهده می‌شود. در شرایطی که در سطح سنگهای اطراف خزه و صدف مشاهده می‌شود سطح این سنگ فاقد خزه و صدف است. با چکش زمین شناسی، شیارهای با عمق بیش از ۲ سانتی متر می‌توان در آن ایجاد کرد. بلوک‌ها کاملاً گرد گوشه شده‌اند و در محل تماس آن با سنگهای مقاومتر سایش شدیدی نشان می‌دهد. با یک ضربه چکش قطعات بزرگی از سنگ شکسته می‌شود. در آزمایش جذب آب سریع، سطح نمونه بلافاصله خشک می‌شود.
ضعیف (D)	آثار پوسته پوسته شدن در سنگ مشاهده می‌شود. فاقد خزه و صدف است. با نوک چکش زمین شناسی شیارهای به عمق بیش از ۱ سانتی متر در آن ایجاد می‌شود. نسبتاً گرد گوشه هستند، سایش زیادی نشان می‌دهند. با ضربه چکش گوشه‌های سنگ به راحتی می‌شکنند. بلوک‌های خرد شده و شکسته شده گاه مشاهده می‌شود. آثار خوردگی در اثر انحلال مشاهده می‌شود. در آزمایش جذب آب سریع، سطح نمونه بلافاصله خشک می‌شود.
متوسط (C)	چکش زمین شناسی آنرا خراش می‌دهد. در حد بین فروکشند و فراکشند سایش زیاد نشان می‌دهد. بلوکها در زیر سطح آب و خارج از آب زاویه‌دار هستند. در حد کشندها نسبتاً گرد گوشه می‌باشند. برای شکستن گوشه سنگ نیاز به بیش از یک ضربه چکش است. در زیر منطقه کشندی سطح سنگ پوشیده از صدف است. گاهی شواهد انحلال شیمیایی دیده می‌شود. در آزمایش جذب آب سریع، سطح نمونه پس از مدت کوتاهی خشک می‌شود.
مقاوم (B)	با نوک چکش به سختی خراش بر می‌دارد. در محدوده کشندی گاه شواهد فرسایش وجود دارد. بیشتر بلوک‌ها زاویه دار هستند. غالباً پوشیده از خزه و صدف هستند. آثار خوردگی و انحلال به ندرت دیده می‌شود. در آزمایش جذب آب سریع، سطح نمونه تا چند دقیقه مرطوب است.
بسیار مقاوم (A)	بلوک‌ها زاویه‌دار و سطح بلوک تمیز است. در محدوده کشندی و زیر سطح آب پوشیده از خزه و صدف است. برای شکستن گوشه سنگ نیاز به چند ضربه چکش زمین شناسی است. در آزمایش جذب آب سریع، نمونه جذب آب ندارد.

جدول ۱۲- سیستم امتیازدهی (معیار پیشنهادی) برای سنگهای آهکی

رده					ویژگیها	پارامتر
A	B	C	D	E		
<۳	۳-۶	۶-۱۲	۱۲-۱۸	>۱۸	جذب آب (%)	پارامترهای فیزیکی
>۲۴	۲۲-۲۴	۱۸-۲۲	۱۶-۱۸	<۱۶	چگالی (KN/m ³)	
۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	امتیاز	
>۴	۳-۴	۲-۳	۱-۲	<۱	شاخص بار نقطه‌ای (Mpa)	پارامترهای مقاومتی
>۶۰	۴۰-۶۰	۲۰-۴۰	۸-۲۰	<۸	مقاومت تک محوری (Mpa)	
۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	امتیاز	
<۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۵	۳۵-۴۵	>۴۵	ارزش ضربه‌ای (%)	پارامترهای دوام داری مکانیکی
>۹۵	۹۰-۹۵	۸۵-۹۰	۸۰-۸۵	<۸۰	شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)	
<۲۵	۲۵-۳۵	۳۵-۵۰	۵۰-۶۵	>۶۵	سایش لس آنجلس (%)	
۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	امتیاز	
<۴	۴-۸	۸-۱۶	۱۶-۲۰	>۲۰	افت وزنی در سولفات (%)	پارامتر دوام داری شیمیایی
۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	امتیاز	
۸۰-۱۰۰	۶۰-۸۰	۴۰-۶۰	۲۰-۴۰	۰-۲۰	جمع امتیازها	

جدول ۱۳- سیستم امتیازدهی (معیار پیشنهادی) برای صدف سنگها

رده					ویژگیها	پارامتر
A	B	C	D	E		
<۶	۶-۱۲	۱۲-۱۸	۱۸-۲۴	>۲۴	جذب آب (%)	پارامترهای فیزیکی
>۲۱	۱۹-۲۱	۱۷-۱۹	۱۵-۱۷	<۱۵	چگالی (KN/m ³)	
۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	امتیاز	
>۴	۲.۵-۴	۱.۵-۲.۵	۱-۱.۵	<۱	شاخص بار نقطه‌ای (Mpa)	پارامترهای مقاومتی
>۴۰	۲۵-۴۰	۱۰-۲۵	۷-۱۰	<۷	مقاومت تک محوری (Mpa)	
۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	امتیاز	
<۱۵	۱۵-۳۰	۳۰-۴۵	۴۵-۶۰	>۶۰	ارزش ضربه‌ای (%)	پارامترهای دوام داری مکانیکی
>۹۰	۸۵-۹۰	۷۵-۸۵	۶۵-۷۵	<۶۵	شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)	
<۳۰	۳۰-۴۵	۴۵-۶۰	۶۰-۷۵	>۷۵	سایش لس آنجلس (%)	
۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	امتیاز	
<۱۰	۱۰-۱۴	۱۴-۱۸	۱۸-۲۲	>۲۲	افت وزنی در سولفات (%)	پارامتر دوام داری شیمیایی
۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	امتیاز	
۸۰-۱۰۰	۶۰-۸۰	۴۰-۶۰	۲۰-۴۰	۰-۲۰	جمع امتیازها	

جدول ۱۴- سیستم امتیازدهی (معیار پیشنهادی) برای سنگهای آذرین

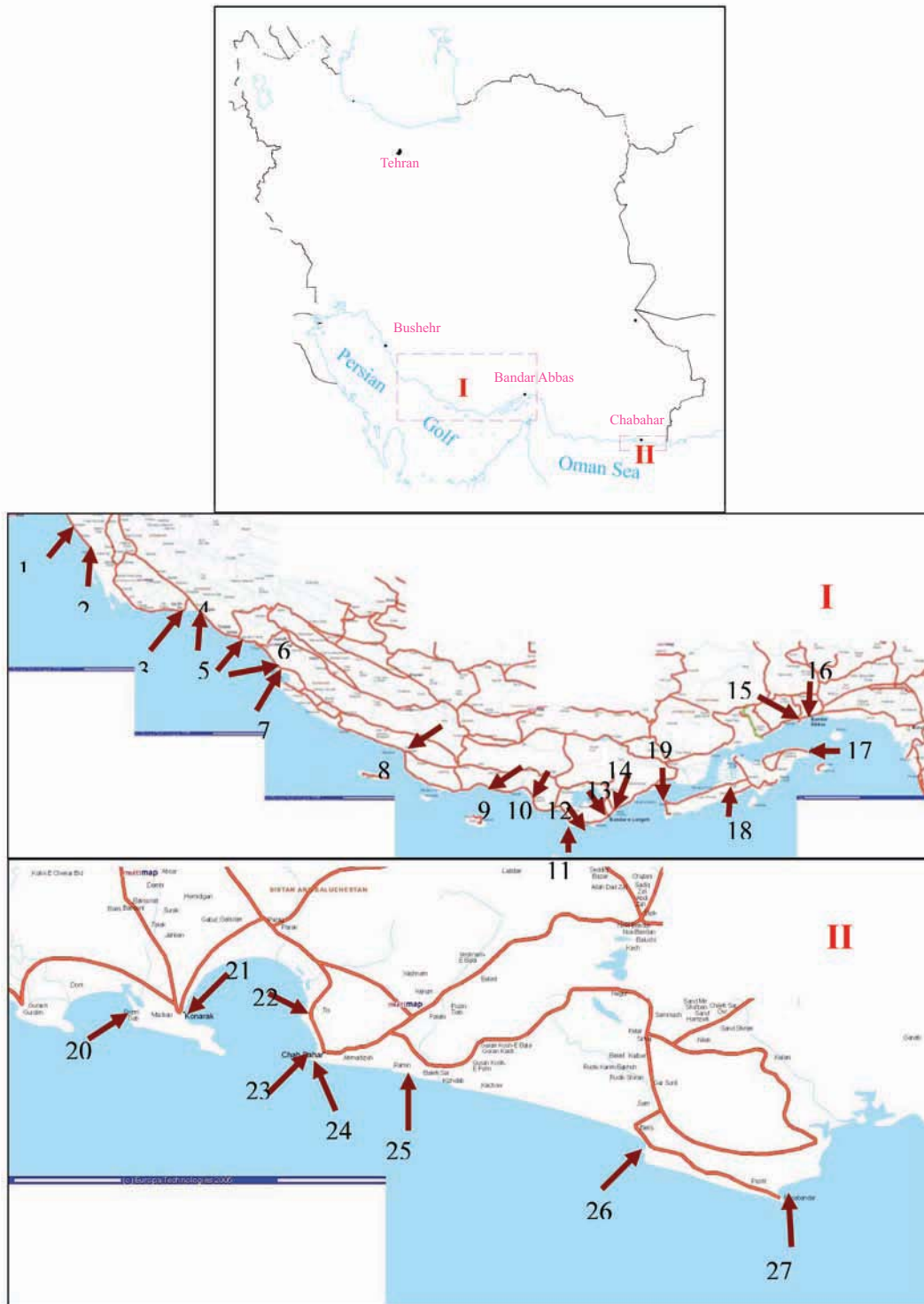
رده				ویژگیها	پارامتر
A	B	C	D		
<۱	۱-۲	۲-۴	>۴	جذب آب (%)	پارامترهای فیزیکی
>۲۶	۲۴-۲۶	۲۲-۲۴	<۲۲	چگالی (KN/m ³)	
۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	امتیاز	
>۱۰	۷-۱۰	۴-۷	<۴	شاخص بار نقطه‌ای (Mpa)	پارامترهای مقاومتی
>۱۵۰	۱۰۰-۱۵۰	۵۰-۱۰۰	>۵۰	مقاومت تک محوری (Mpa)	
۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	امتیاز	
<۵	۵-۱۰	۱۰-۱۵	>۱۵	ارزش ضربه‌ای (%)	پارامترهای دوام داری مکانیکی
>۹۹	۹۸-۹۹	۹۷-۹۸	>۹۷	شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)	
<۱۲	۱۲-۱۶	۱۶-۲۰	>۲۰	سایش لس آنجلس (%)	
۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	امتیاز	
<۱	۱-۲	۲-۵	>۵	افت وزنی در سولفات (%)	پارامتر دوام داری شیمیایی
۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	امتیاز	
۸۰-۱۰۰	۶۰-۸۰	۴۰-۶۰	۲۰-۴۰	جمع امتیازها	

جدول ۱۵- مقایسه رده‌بندی نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس معیارهای موجود و پیشنهادی

صدف سنگها	سنگهای آهکی	سنگهای آذرین	نوع سنگ	معیار
۱۱	۴۲	۷۵	Wakeling	
۳	۲۱	۶۸	Poole & Fookes	
۱	۱۰	۴۸	Lutton	
۱	۲۱	۹۵	BS	
۱	۱۱	۸۰	جلالی	
۲	۳۵	۹۸	CUR	
۲	۱۳	۸۸	نیکودل	
۲۴	۴۹	۹۷	معیار حاضر	

جدول ۱۶- نتایج حاصل از رده‌بندی نمونه‌های گرفته شده از موج شکنها

نام موج شکن	جنس نمونه	تعداد	رده	درصد فراوانی در هر رده	نام موج شکن	جنس نمونه	تعداد	رده	درصد فراوانی در هر رده	نام موج شکن	جنس نمونه	تعداد	رده	درصد فراوانی در هر رده
باسعدو	صدف سنگ	۲۷	A	۴	کنگان	صدف سنگ	۳۴	B	۳۲.۵	سلخ	صدف سنگ	۲۷	B	۳۷
			B	۲۷										
			C	۵۲										
			D	۷										
باهتر	آذرین	۳۹	A	۱۳	کنگان	صدف سنگ	۳۶	A	۶	شناس	صدف سنگ	۳۹	A	۱۳
			B	۸۷										
			B	۲۶										
			D	۵۷										
بریس	صدف سنگ	۱۳	A	۷.۵	کنگان	صدف سنگ	۳۶	B	۲۶	شناس	صدف سنگ	۳۹	B	۸۷
			B	۱۳										
			C	۷.۵										
			D	۷.۵										
بستانه	آذرین	۴۳	A	۳۷	کنگان	صدف سنگ	۳۶	A	۲۶	شیرینو	صدف سنگ	۳۹	A	۱۳
			B	۵۴										
			B	۲۸										
			C	۲۸										
بهشتی	صدف سنگ	۱۶	B	۳۱.۵	کنگان	صدف سنگ	۴۷	A	۳۸	طاهری	صدف سنگ	۱۶	B	۵۴
			C	۴۳.۵										
			C	۹										
			D	۲۱										
بزم	صدف سنگ	۱۵	A	۲۷	کنگان	صدف سنگ	۱۹	A	۲۶.۵	طاهری	صدف سنگ	۱۶	A	۴۳.۵
			B	۶۶										
			B	۶۸.۵										
			C	۵										
پسایندر	صدف سنگ	۱۱	B	۱۰۰	کنگان	صدف سنگ	۱۰	D	۴۰	طیس	صدف سنگ	۱۵	B	۶۶
			C	۷										
			C	۷										
			D	۷										
چارک	صدف سنگ	۵۲	C	۶۹	کنگان	صدف سنگ	۱۹	A	۴۲	عامری	صدف سنگ	۱۱	C	۶۴
			D	۳۱										
			A	۵۰										
			B	۳۷.۵										
حسینه	آذرین	۵۱	A	۱۰۰	کنگان	صدف سنگ	۶	A	۱۲.۵	عامری	صدف سنگ	۱۱	A	۱۸
			B	۲۶										
			B	۳۳										
			C	۳۳										
دیر	صدف سنگ	۷	A	۲۹	کنگان	صدف سنگ	۱۶	B	۶.۵	عامری	صدف سنگ	۱۱	B	۲۹
			B	۷۱										
			C	۲۹										
			C	۲۵										
رجایی	آذرین	۴۲	A	۴۵	کنگان	صدف سنگ	۱۶	A	۳	عامری	صدف سنگ	۱۱	A	۴۵
			B	۳۸										
			B	۳۳										
			C	۱۷										
رمین	صدف سنگ	۱۶	C	۹۳.۵	کنگان	صدف سنگ	۲۵	C	۵۳	عامری	صدف سنگ	۱۶	C	۹۳.۵
			D	۶.۵										
			D	۶.۵										
			D	۶.۵										

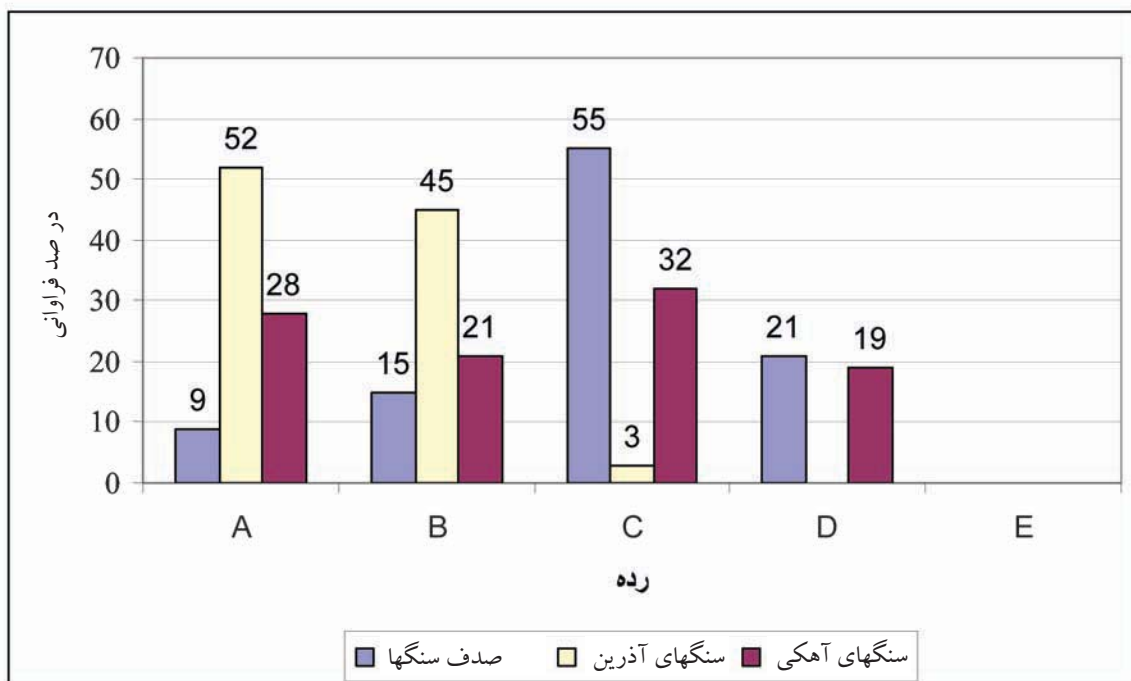


شکل ۱- موقعیت موج شکنهای مطالعاتی در نقشه ایران

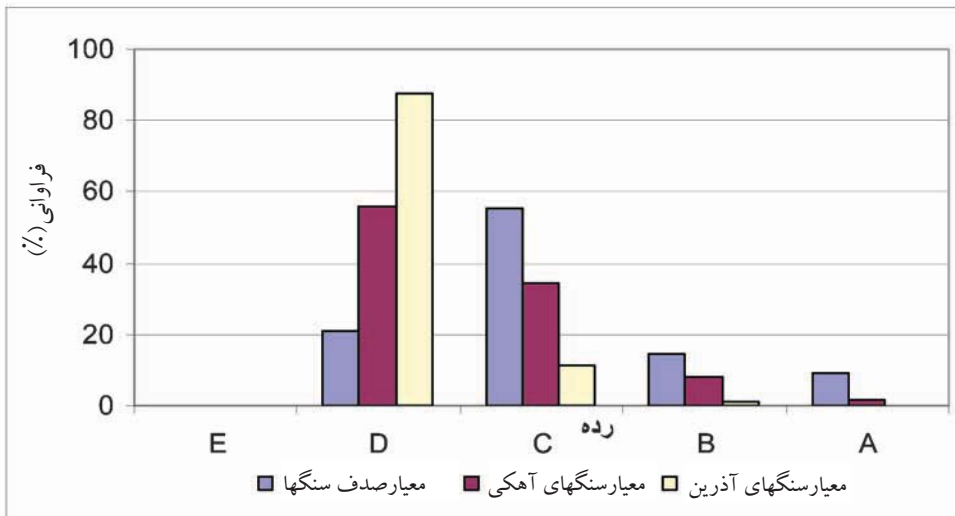
- ۱- محمدعامری ۲- عامری ۳- دیر ۴- کنگان ۵- طاهری ۶- شیرینو ۷- نخل تقی ۸- مقام ۹- چارک ۱۰- حسینه
 ۱۱- بستانه ۱۲- شناس ۱۳- لنگه ۱۴- کنگ ۱۵- باهنر ۱۶- رجایی ۱۷- قشم ۱۸- سلخ ۱۹- باسعیدو ۲۰- پزم
 ۲۱- کنارک ۲۲- طیس ۲۳- کلانتری ۲۴- بهشتی ۲۵- رمین ۲۶- بریس ۲۷- پسابندر



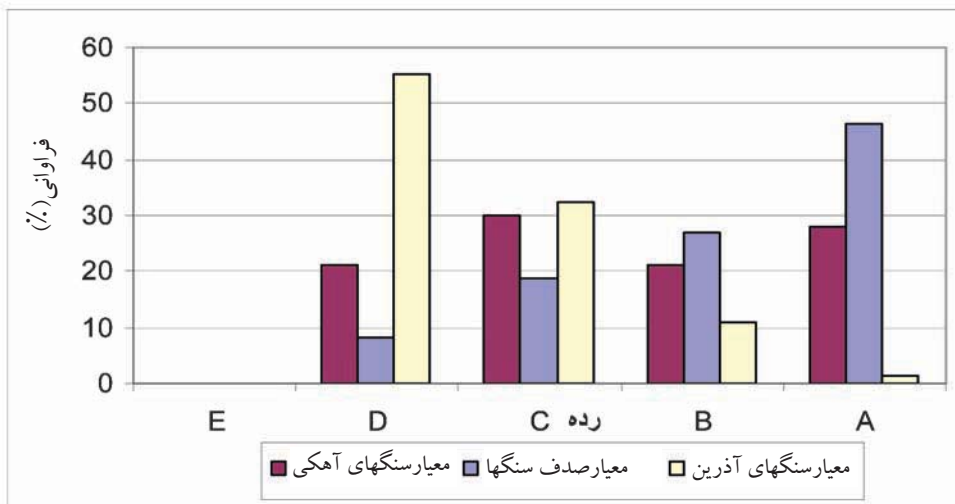
شکل ۲- سازوکارهای فیزیکی و شیمیایی زوال شامل
الف) پوسته پوسته شده شدگی، ب) سایش و گرد شدگی، پ) ایجاد شکستگی، ت) انحلال سطح سنگ.



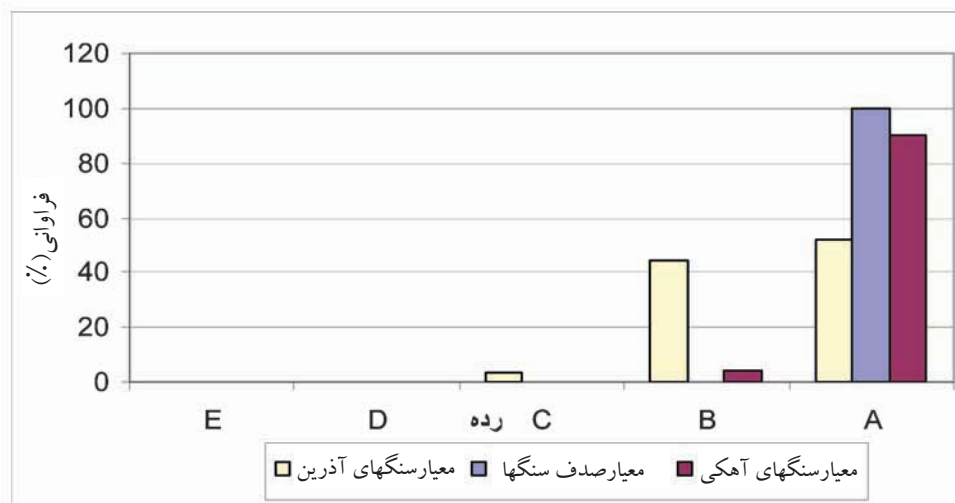
شکل ۳- فراوانی گروههای سه گانه سنگی مورد مطالعه بر اساس معیار پیشنهادی



شکل ۴- مقایسه رده‌بندی صدف سنگها بر اساس معیارهای پیشنهادی برای هر یک از سه گروه سنگی



شکل ۵- مقایسه رده‌بندی سنگهای آهکی بر اساس معیارهای پیشنهادی برای هر یک از سه گروه سنگی



شکل ۶- مقایسه رده‌بندی سنگهای آذرین بر اساس معیارهای پیشنهادی برای هر یک از سه گروه سنگی

کتابنگاری

- آفاکوچک، ع.، ۱۳۷۴- راهنمای کاربرد سنگ در مهندسی سواحل (سازه‌های ساحلی، روشها و ابزار طراحی). انتشارات مرکز تحقیقات و مطالعات راه و ترابری. آفانباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- تلخابلو، م.، ۱۳۸۶- ارزیابی ویژگیهای مهندسی سنگها و ارائه معیارهای مناسب جهت کاربرد در سازه‌های دریایی- سواحل جنوبی ایران، رساله دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- جلالی، ح.، ۱۳۶۹- اهمیت دوام سنگ در پایداری موج‌شکنهای سنگریزه‌ای، اولین کنفرانس بین‌المللی بندرسازی و سازه‌های دریایی، جلد دوم، ص ۴۴۳-۴۰۷.
- جلالی، ح.، ناصحی، ع. و نیکودل، م.، ۱۳۷۶- بررسی مصالح سنگی مصرفی در موج‌شکنهای جنوب شرق ایران - چابهار، اولین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ص ۸۳-۷۹.
- خسرو تهرانی، خ.، ۱۳۶۷- چینه‌شناسی ایران، انتشارات دانشگاه تهران.
- ناصری، ع.، ۱۳۷۶- تعیین معیارهای مناسب برای کاربرد سنگ در احداث سازه‌های دریایی - جنوب شرق ایران (چابهار)، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- نیکودل، م.، ۱۳۶۹- مطالعه معیارهای شناخت زوال‌پذیری سنگ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- نیکودل، م.، جلالی، ح.، ۱۳۷۳- نقدی بر آزمایشهای دوام سنگ برای استفاده در موج‌شکنهای دریایی (نگرشی ویژه بر شرایط خلیج فارس)، سومین کنفرانس علوم دریایی، نور.

References

- American Society for Testing Materials, 1996-Annual Book of ASTM Standard, vol.09.08 and 04.02.
- British standard Institution, 1989 - Code of Practice for Determination of Aggregate Impact value, BS 812.
- CIRIA /CUR, 2000 - Manual on the Use of Rock in Coastal and Shoreline Engineering, CIRIA Special Publication 83/CUR Report 154, London.
- Clark, A.R., 1988 - The use of Portland Stone Rock Armour in Coastal Protection and Sea Defence Works, Quaterly Journal of Engineering Geology, London, Vol.2, 113-136
- Coastal Engineering Manual (CEM), Part VI, Chapter 4.
- CUR/RWS, 1995 - Manual on the use of Rock in Hydraulic Engineering , CUR/RWS Report 169. London, Gouda.
- Dibb, T.E., Hughes, D.W.& Poole, A.B., 1983 - The Identification of Critical Factors Affecting Rock Durability in Marine Environments, Quaterly Journal of Engineering Geology, London, Vol.15, 149-161
- Fookes, P.G. & Poole, A.B., 1981- Some Preliminary Considerations on the Selection & Durability of Rock & Concrete Material for Breakwaters & Coastal Protection Works, Quaterly Journal of Engineering Geology , London, 14, 97-128
- Fookes, P.G., 1991- Geomaterials, Quaterly Journal of Engineering Geology, London, 24, 3-15
- ISRM, 1978 - Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol.15.
- Poole, A.B., Fookes, P.G., Dibb, T.E. & Hughes, D.W., 1984 - Durability of Rock in Breakwaters, Breakwaters-Design & Construction, Thomas Telford, London, 31-43.
- Topal, T., Acir, O., 2004 - Quality Assesment of Armourston for a Rubble Mound Breakwater (Sinop, Turkey), Environmental Geology 2004, 46 pp.905-913.
- Wakeling, H.L., 1977 - The Design of Rubble Mound Breakwater, Symp. on Design of Rubble Mound Breakwaters, British Hovercraft Corp.