

## مقایسه وضعیت سنگ‌های آهکی بکار رفته در موج‌شکن‌های سواحل جنوبی کشور با معیارهای ارزیابی کیفیت سنگ

مصطفی امینی مزرعه‌نو\*، کارشناس ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

مهدی شفیعی‌فر، دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

محمدرضا نیکودل، استادیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

E-mail: shafiee@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۸۶/۶/۱۳ - تاریخ پذیرش: ۸۷/۷/۷

### چکیده

به منظور بررسی عملکرد مصالح سنگی موج‌شکن‌های سواحل جنوبی کشور، تحقیق گسترده‌ای انجام شد. در این تحقیق در مرحله نمونه‌برداری، بیش از ۲۵۰ بلوک سنگ از ۲۰ موج‌شکن و معادن سنگ آنها در استان‌های ساحلی جنوب کشور جمع‌آوری شد. ضمن نمونه‌برداری، مشخصات ظاهری و میزان فرسایش هر نمونه سنگ ثبت شد. همچنین مودهای خرابی هر موج‌شکن و دلایل احتمالی این تخریب‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌های مختلفی که بر روی نمونه‌ها انجام شد با معیارهای متداول ارزیابی کیفیت سنگ مقایسه و مشخص شد که بر اساس این معیارها قسمت عمده‌ای از سنگ‌های آهکی بکار رفته در موج‌شکن‌های مورد بررسی، نامناسب بوده‌اند. این در حالی است که مشاهدات میدانی و بررسی عملکرد سنگ‌ها در سازه موج‌شکن و نیز مطالعه مودهای خرابی هر موج‌شکن، گویای این واقعیت است که این سنگ‌ها در موج‌شکن‌های مورد استفاده عملکرد قابل قبولی داشته‌اند. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که برای انتخاب سنگ مناسب برای احداث سازه‌های ساحلی، صرفاً نمی‌توان از معیارهای ارزیابی موجود استفاده کرد و بنابراین تدوین یک معیار داخلی جدید، منطبق با شرایط آب و هوایی سواحل کشور و موجودیت منابع سنگ قابل استفاده، ضرورت خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: عملکرد سنگ، معیار ارزیابی سنگ، سنگ‌های آهکی، موج‌شکن.

### ۱. مقدمه

سنگی نامرغوب و بی‌دوام است. هزینه سنگین ساخت و نگهداری و همچنین مرمت و بهسازی چنین سازه‌هایی، لزوم شناخت عملکرد مصالح مصرفی و دوام آنها در شرایط محیط دریا را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

از سوی دیگر معیارهای ارزیابی کیفی سنگ مناسب در کشور، با استفاده از استانداردها، ضوابط و پیشنهادهایی که عمدتاً مربوط به کشورهای دیگر هستند انجام می‌پذیرد. با توجه به اینکه این استانداردها و ضوابط برای شرایط آب و هوایی و با در نظر گرفتن موجودیت مصالح سنگی همان کشورها تدوین شده‌اند، بنابراین استفاده از آنها در طراحی پروژه‌های داخل کشور مشکلاتی را به وجود آورده است، زیرا مشخصات

از میان ویژگیهای مختلف سنگ، دوام و مقاومت آن در برابر عوامل مخرب و مهاجم حاکم بر محیط‌های دریایی از مهم‌ترین خصوصیات است که مصالح مورد استفاده در ساخت سازه‌های دریایی خصوصاً موج‌شکن‌های توده‌سنگی باید از آن برخوردار باشند. در ایران گزارشهای متعددی از خرابی سازه‌های دریایی به ویژه موج‌شکن‌های توده‌سنگی در دست است. بررسی‌های به عمل آمده نشان می‌دهند که قسمت عمده تخریب‌های مربوط به شاخه شرقی موج‌شکن صیادی رستمی، موج‌شکن ابوموسی، موج‌شکن بندر چابهار، موج‌شکن حوضچه کارخانه کشتی‌سازی خلیج فارس در بندر عباس و قسمتی از ابتدای بازوی موج‌شکن بندر طاهری به دلیل استفاده از مصالح

فیزیکی و شیمیایی مصالح سنگی موجود در منطقه در بازه قابل قبول اکثر این استانداردها نمی‌گنجد. در حالی که بررسی‌ها نشان می‌دهد که برخی از این مصالح سنگی، که از نظر بسیاری از دستورات عملی و آیین‌نامه‌های متداول، مردود و غیرقابل قبول به شمار می‌آیند وقتی که در شرایط آب دریا واقع شوند و یا در موقعیت مکانی مناسبی روی موج‌شکن قرار گیرند، می‌توانند عملکرد مطلوبی را از خود نشان دهند. با توجه به فقر مناطق ساحلی کشور از نظر مصالح سنگی مرغوب، این مساله می‌تواند از جنبه اقتصادی بسیار حایز اهمیت باشد.

مطالعه و تحقیق در مورد وضعیت و عملکرد سنگ‌های مورد استفاده در سازه‌های ساحلی و حفاظتی جنوب کشور از دیرباز مورد توجه محققین و زمین‌شناسان داخلی بوده است و در همین راستا کارهای قابل توجهی نیز انجام شده است. جلالی (۱۳۶۷)، اهمیت دوام سنگ در موج‌شکن‌های توده سنگی را به تفصیل مورد بررسی قرار داده و برای سنگ‌های آذرین گنبد گچین که تأمین‌کننده مصالح موج‌شکن‌های حوضچه کشتی‌سازی خلیج فارس بوده‌اند، معیاری به صورت رد یا قبول کردن سنگ ارایه کرده است [۱].

نیکودل (۱۳۶۹) مطالعات گسترده‌ای بر روی ۲۱ نمونه از سنگ‌های آذرین و رسوبی مربوط به گنبد‌های نمکی گچین و انگوران در استان هرمزگان، که جهت احداث موج‌شکن‌های شهید رجایی و کارخانه کشتی‌سازی خلیج فارس از آنها استفاده شده، و نیز جزیره هرمز، که در ساخت موج‌شکن صیادی این جزیره مورد استفاده قرار گرفته، انجام داده است. با بررسی‌های آزمایشگاهی و مشاهدات صحرائی، در نهایت معیاری به صورت یک سیستم امتیازدهی برای ارزیابی کیفیت سنگ پیشنهاد شده است [۲].

یثربی و صفری (۱۳۷۷) نیز در تحقیقی گسترده، با مطالعات زمین‌شناسی و بررسی سازه‌های مختلف سواحل جنوبی کشور و نمونه‌برداری از ۳۱ معدن واقع در سواحل جنوبی و انجام آزمایش‌های مختلف بر روی آنها، تمام سنگ‌های موج‌شکن‌های جنوب کشور را به پنج دسته سنگ‌های آهکی (آهک، آهک مارنی و آهک ماسه‌ای)، ماسه سنگ، سنگ‌های آذرین، فلیش و نهشته‌های سخت شده کواترنری تقسیم کرده‌اند. در ادامه با توجه به اینکه فقط بعضی از سنگ‌های آذرین (در منطقه بندر عباس) و فلیش‌ها (در منطقه چابهار) از

نظر تمام شاخص‌های ارزیابی در حد مطلوب قرار دارند و اکثر سنگ‌های بکار رفته (نهشته‌های سخت شده کواترنری) وضعیت نامطلوبی دارند، لزوم تدوین آیین‌نامه‌ای داخلی با در نظر گرفتن مسایل اقتصادی و وضعیت سازه‌های سواحل جنوبی کشور، مورد تأکید قرار گرفته است [۳].

حسنلی (۱۳۸۳) با انجام آزمایش‌های مختلف بر روی ۶۴ نمونه آهکی، عملکرد سنگ‌های آهکی مورد استفاده در موج‌شکن‌های توده سنگی استان بوشهر (۱۲ موج‌شکن) را مورد بررسی قرار داده است [۴]. ناصحی (۱۳۷۶) نیز در تحقیقی مشابه با انجام آزمایش‌های مختلف بر روی حداکثر ۳۸ نمونه سنگ آهکی و ماسه سنگ برداشت شده از ۹ موج‌شکن توده سنگی استان سیستان و بلوچستان، علاوه بر مقایسه عملکرد این سنگ‌ها، معیاری به همان صورت سیستم امتیازدهی نیکودل، پیشنهاد کرده است [۵ و ۶]. امانیان (۱۳۸۴) نیز با بررسی ۴۸ نمونه از سنگ‌های آذرین بکار رفته در ۷ موج‌شکن توده سنگی استان هرمزگان، تأثیر ویژگی‌های بافتی و کانی‌شناسی را بر خواص مقاومتی و دوام داری سنگ‌های آذرین مورد مطالعه قرار داده و اثر هوازدگی را در کاهش مقاومت و دوام سنگ‌های آذرین، ارزیابی کرده است [۷].

تحقیقات انجام شده در داخل کشور هر چند با ارزش و بسیار مفید هستند، اما هر یک به صورت موردی به یک نوع سنگ خاص و یا یک منطقه خاص از سواحل جنوبی کشور پرداخته و از این جهت نمی‌توان نتایج آن را به تمام انواع سنگ‌های مورد استفاده در سرتاسر سواحل جنوبی تعمیم داد. مطالعات جلالی، نیکودل و امانیان بیشتر روی سنگ‌های آذرین بکار رفته در موج‌شکن‌های استان هرمزگان متمرکز است. حسنلی صرفاً روی سنگ‌های آهکی موج‌شکن‌های استان بوشهر مطالعه کرده و ناصحی نیز تحقیقات خود را به سنگ‌های رسوبی استان سیستان و بلوچستان اختصاص داده است. از سوی دیگر نمونه‌گیری و انجام آزمایش‌های مهندسی سنگ در هیچ یک از تحقیقات گذشته به گستردگی و تنوع تحقیق حاضر نبوده است. در این تحقیق سعی بر این است که با بررسی تعداد قابل ملاحظه‌ای از موج‌شکن‌های توده سنگی ساخته شده در سواحل خلیج فارس و دریای عمان، تحلیل آماری نتایج آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی انجام شده بر روی نمونه‌های اخذ شده از این موج‌شکن‌ها و معادن سنگ آنها و در ادامه تطبیق نتایج

است. سپس یک گروه کارشناسی برای بررسی وضعیت هر موج‌شکن به منطقه گسیل شد تا گزارشی از مودهای خرابی، علل تخریب، نوع مصالح بکار رفته، کیفیت مصالح و ... برای هر موج‌شکن تهیه شود. در ادامه، از هر موج‌شکن در مقاطع مختلف طولی شامل هد، قسمت قوسی شکل و قسمت ابتدایی بازوی اصلی و نیز در مقاطع مختلف عرضی شامل نواحی مغروق، جزر و مدی و پاشش آب (بالای جزر و مدی) بلوک‌هایی از سنگ به عنوان نمونه انتخاب شد.

آزمایش‌ها با مشاهدات صحرایی و عملکرد ظاهری سنگ در لایه آرمور، معیارهای ارزیابی موجود بر مبنای ساختار سنگ‌های منطقه جهت انتخاب سنگ مناسب و با دوام کنترل شود.

## ۲. روش تحقیق

مراحل اولیه این تحقیق شامل گردآوری اطلاعات در مورد موقعیت هر موج‌شکن، پارامترهای طراحی آن، معادن مورد استفاده، نحوه طراحی، ساخت و ترمیم (در صورت انجام) بوده

جدول ۱. وضعیت نمونه برداری از موج‌شکن‌های سواحل جنوبی کشور

نام موج شکن	سن	منطقه برداشت در پلان	منطقه برداشت در مقطع	تعداد نمونه بلوکی
کنگ	۳۶	وسط بازو	بالای جزر و مدی	۶
			جزر و مدی	۱۰
			غرقابی	۷
لنگه		وسط بازو	بالای جزر و مدی	۵
			جزر و مدی	۸
			غرقابی	۷
لنگه جدید		وسط بازو	بالای جزر و مدی	۱
مقام		وسط بازو	بالای جزر و مدی	۱
			جزر و مدی	۲
			غرقابی	۳
شناس		هد	بالای جزر و مدی	۱
			جزر و مدی	۵
			غرقابی	۳
قشم		وسط بازو	بالای جزر و مدی	۱
			جزر و مدی	۱
			غرقابی	۱
باسعیدو		وسط بازو	بالای جزر و مدی	۱
			جزر و مدی	۳
			غرقابی	۱
صلخ	۱۱	وسط بازو	بالای جزر و مدی	۱
			جزر و مدی	۵
			غرقابی	۳
طیس	۱۴	هد	بالای جزر و مدی	۱
			جزر و مدی	۵
			غرقابی	۱
رمین	۸	وسط بازو	بالای جزر و مدی	۱
			جزر و مدی	۲
			غرقابی	۲
عسلویه	۴	هد	بالای جزر و مدی	۲
			جزر و مدی	۳
			غرقابی	۵
شیرینو		هد	بالای جزر و مدی	۱
			جزر و مدی	۳
			غرقابی	۴
طاهری		وسط بازو	بالای جزر و مدی	۲
			جزر و مدی	۲
			غرقابی	۸
کنگان		هد	بالای جزر و مدی	۱۳
			جزر و مدی	۱
			غرقابی	۳
دیر	۷	وسط بازو	بالای جزر و مدی	۱
			جزر و مدی	۲
			غرقابی	۱
عامری	۸	هد	بالای جزر و مدی	۱
			جزر و مدی	۳
			غرقابی	۱
محمد عامری	۹	هد	بالای جزر و مدی	۲
			جزر و مدی	۲
			غرقابی	۲
نخل تقی	۸	هد	بالای جزر و مدی	۲
			جزر و مدی	۱
			غرقابی	۱
شهید باهنر		وسط بازو	بالای جزر و مدی	۱
			جزر و مدی	۱
			غرقابی	۲
چارک		هد	بالای جزر و مدی	۲
			جزر و مدی	۴
			غرقابی	۲
		وسط بازو	بالای جزر و مدی	۶
			جزر و مدی	۲
			غرقابی	۳

## امینی مزرعه‌نو، شفیعی فر و نیکودل

و موج‌شکن‌های استفاده کننده از هر معدن و تعداد نمونه‌های برداشت شده از هر معدن را نشان داده است. در هنگام نمونه‌برداری، یک شناسنامه برای هر نمونه بلوکی تهیه شد و در آن بعضی از مشخصات ظاهری نمونه ثبت شد. این مشخصات در جدول (۳) ارایه شده است.

در نمونه‌برداری سعی شده که از تمام انواع سنگ‌های مختلف موجود در هر موج شکن نیز حداقل یک نمونه تهیه شود. جدول (۱) وضعیت نمونه‌برداری و آمار نمونه‌های تهیه شده از هر موج‌شکن را نشان می‌دهد. همچنین از معادن سنگ مورد استفاده برای احداث هر موج‌شکن، نمونه‌برداری شد. جدول (۲) معادن مورد مطالعه

جدول ۲. آمار نمونه‌های گرفته شده از معادن مورد استفاده در احداث موج‌شکنهای سواحل جنوبی کشور

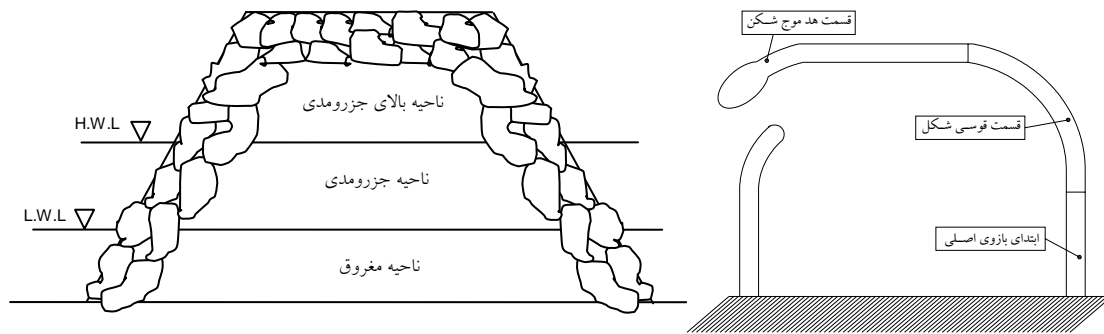
تعداد نمونه بلوکی	موج شکن‌های استفاده کننده	نام معدن
۶	لنگه - کنگ - شناس	حسین آباد (شمال لنگه)
۳	شیرینو - طاهری - نخل تقی	طاهری
۲	محمد عامری - رستمی	دره پهن (محمد عامری)
۱	کنگان	تنگ سیلاب (کنگان)
۱	عامری	عامری
۳	چارک	چارک
۱	باسعیدو	شل گیر (با سعیدو)

تعداد نمونه بلوکی	موج شکن‌های استفاده کننده	نام معدن
۳	رمین - طیس - بهشتی	طیس
۳	پسابندر	پسابندر
۴	کنارک - پزم - رمین	پایگاه دریایی کنارک
۳	کلانتری	پیر سهراب
۱	بریس	بریس
۴	بهشتی	بهشتی
۱	صلخ	پشت بن (صلخ)
۱	قشم - صلخ	سرسو (قشم)

جدول ۳. مشخصات ظاهری ثبت شده برای هر نمونه بلوکی در سایت

مشخصات ظاهری ثبت شده نمونه	طبقه‌بندی مشخصات
۱- نام موج شکن یا معدن محل برداشت نمونه ۲- محل برداشت نمونه در مقاطع طولی (هد، قسمت قوسی شکل یا قسمت ابتدای بازوی اصلی) ۳- محل برداشت نمونه در مقاطع عرضی (ناحیه مغروق، جزر و مدی، پاشش آب یا خشک) ۴- نوع سنگ (تشخیص اولیه) ۵- رنگ سطحی و رنگ قسمت شکسته شده (سطح تازه) سنگ ۶- تشکیل یا عدم تشکیل جلبک و صدف روی سطح سنگهای داخل آب و میزان آن ۷- وجود یا عدم وجود فسیل در سنگ و میزان آن	کلی
۸- میزان تراکم و تخلخل ۹- ریزدانه یا درشت دانه بودن سنگ	فیزیکی
۱۰- مقاومت سنگ در برابر ضربه چکش زمین شناسی ۱۱- عمق شیار ایجاد شده به کمک چکش زمین شناسی روی سنگ	مکانیکی
۱۲- میزان گردگوشه شدن سنگ ۱۳- میزان حفرات انحلالی موجود در سنگ ۱۴- میزان پوسته پوسته شدن سنگ ۱۵- میزان خردشدگی و شکستگی سنگ ۱۶- درزه و شکافهای اولیه و ثانویه موجود در سنگ ۱۷- وجود یا عدم وجود رگه‌های ضعیف در نمونه بلوکی	دوام‌داری

مقایسه وضعیت سنگ‌های آهکی بکار رفته در موج‌شکن‌های سواحل جنوبی کشور با...



شکل ۱. سمت راست: مناطق نمونه‌برداری موج شکن در پلان سمت چپ: نواحی نمونه‌برداری موج شکن در مقطع عرضی

جدول ۴. آزمایشهای مکانیک سنگ انجام شده در آزمایشگاه و تعداد نمونه بلوکی مورد استفاده در هر آزمایش

تعداد نمونه	آزمایش انجام شده	تعداد نمونه	آزمایش انجام شده
۲۱۸	مدول الاستیسیته اشباع	۲۳۱	درصد جذب آب
۱۷۴	شاخص دوام (۵ سیکل)	۲۳۱	درصد تخلخل
۱۷۴	شاخص دوام (۱۰ سیکل)	۲۳۱	وزن مخصوص اشباع
۱۷۳	شاخص دوام (۱۵ سیکل)	۲۳۱	وزن مخصوص خشک
۱۱۲	سلامت شیمیایی سنگ (۵ سیکل)	۲۳۱	وزن مخصوص دانه‌ای
۵۳	سلامت شیمیایی سنگ (۱۰ سیکل)	۲۱۰	مقاومت کششی
۲۱	سلامت شیمیایی سنگ (۱۵ سیکل)	۲۴۵	شاخص بار نقطه‌ای خشک
۲۳۶	کلسیمتری	۲۲۳	شاخص بار نقطه‌ای اشباع
۱۷۳	ارزش ضربه	۲۱۷	مقاومت تک محوری خشک
۸۵	تیتراسیون	۲۱۷	مقاومت تک محوری اشباع
۸۲	سایش لس آنجلس	۲۱۹	مدول الاستیسیته خشک

لازم به ذکر است که از هر یک از نمونه‌های بلوکی که تعداد آنها در این جدول آورده شده است، حداقل ۳ مغزه جهت انجام آزمایش تهیه شده است. همچنین مقاطع نازک میکروسکوپی از بعضی نمونه‌ها تهیه شد و مطالعات سنگ‌شناسی و پتروگرافی بر روی آنها انجام گرفت. نتایج آزمایش‌های انجام شده در چهار مرحله مورد کنترل و تجدید نظر قرار گرفت و پس از تأیید نهایی، آنالیزهای آماری مختلف بر روی داده‌ها انجام شد.

در مقاله حاضر با بررسی نتایج آزمایش‌های مختلف انجام شده بر روی سنگ‌های آهکی و مقایسه این نتایج با معیارهای مختلف ارزیابی که توسط محققین مختلف و آیین‌نامه‌های مربوطه ارائه شده است، وضعیت سنگ‌های آهکی بکار رفته در

در آزمایشگاه از هر نمونه بلوکی تعداد زیادی مغزه تهیه شد. عکسهایی از نمونه بلوکی و نیز از مغزه‌های آن تهیه و به شناسنامه نمونه ضمیمه شد. آزمایش‌های مختلف فیزیکی، مکانیکی و ارزیابی دوام شامل دانسیته خشک و اشباع، درصد جذب آب، درصد تخلخل، مقاومت کششی، شاخص بار نقطه‌ای خشک و اشباع، مقاومت تک‌محوری خشک و اشباع، مقاومت تک‌محوری خشک و اشباع، شاخص دوام آبدیگی در سیکل‌های اول تا پانزدهم، سلامت شیمیایی سولفات در سیکل‌های اول تا پانزدهم، ارزش ضربه، کلسیمتری، تیتراسیون و سایش لس آنجلس (هر یک بر روی حداقل سه مغزه تهیه شده از هر نمونه بلوکی) انجام شد [۹ و ۱۰ و ۱۱]. جدول (۴) آزمایش‌های انجام شده و تعداد نمونه سنگ بلوکی مورد استفاده در هر آزمایش را نشان می‌دهد.

بر اساس سایر شاخص‌ها دارد. می‌دانیم که آزمایش سلامت شیمیایی سنگ شاخص خوبی برای شکستگی‌های ناشی از هوازدگی نمک است؛ بنابراین در شرایط آب و هوایی گرم که امکان تبلور نمک وجود دارد و بویژه برای سنگ‌هایی که به دلیل ریزش‌شکستگی‌های فراوان و یا حفرات با اندازه کوچک، میزان جذب آب قابل توجهی دارند، این آزمایش معیار مناسبی برای ارزیابی دوام سنگ در شرایط بهره‌برداری است. بر اساس اعداد و ارقام ستون سوم جدول (۵) چنین به نظر می‌رسد که هرچند سنگ‌های آهکی بکار رفته در سازه‌های ساحلی جنوب کشور از نظر درصد جذب آب، دانسیته و سایش چندان مناسب به نظر نمی‌رسند؛ اما از نظر سلامت شیمیایی در برابر محلولهای خورنده که یکی از فاکتورهای بسیار مهم دوام‌داری مصالح سنگی است وضعیت به نسبت مناسب‌تری دارند. البته مقاومت سایشی سنگ که با آزمایش سایش لس‌آنجلس ارزیابی می‌گردد، نیز در مقایسه با دو پارامتر درصد جذب آب و دانسیته، از نظر درصد قبولی وضعیت بهتری دارد.

از سوی دیگر چنانچه درصد نمونه‌های مورد قبول برداشت شده از معادن (ستون چهارم جدول) و موج‌شکن‌ها (ستون سوم جدول) با یکدیگر مقایسه شوند، مشاهده خواهد شد که مطابق انتظار سه پارامتر درصد جذب آب، دانسیته و سایش در نمونه‌های مربوط به معادن وضعیت بهتری دارند؛ اما در مورد پارامتر سلامت شیمیایی سنگ، بر خلاف انتظار نمونه‌های برداشت شده از موج‌شکن‌ها شرایط مطلوب‌تری نسبت به نمونه‌های معادن دارند. می‌توان نتیجه گرفت که قرار گرفتن سنگ‌های آهکی در شرایط آب و هوایی دریا به خصوص ناحیه غرقابی موج‌شکن، باعث بهبود سلامت شیمیایی سنگ و در نتیجه افزایش دوام سنگ می‌شود.

سازه‌های ساحلی جنوب ایران از دیدگاه این معیارها مشخص می‌شود. در ادامه با توجه به اینکه بر اساس مشاهدات میدانی، عملکرد این سنگ‌ها در حفظ دوام و پایداری سازه مورد مطالعه قرار گرفته است؛ میزان انطباق و سازگاری این معیارها با شرایط اقلیمی و ساختار سنگ‌های رسوبی مناطق جنوبی کشور و به بیان دیگر میزان کارآمدی آنها جهت ارزیابی سنگ‌های آهکی و انتخاب سنگ مناسب، مورد تأمل قرار گرفته است.

### ۳. ارزیابی کیفیت سنگ‌های آهکی بر اساس معیارهای مختلف انتخاب سنگ

در این بخش، نتایج آزمایش‌های مربوط به سنگ‌های آهکی بکار رفته در موج‌شکن‌های سواحل جنوبی کشور و نیز سنگ‌های آهکی معادن مختلفی که از آنها در ساخت این موج‌شکن‌ها استفاده شده است، با شاخص‌های ارزیابی مختلفی که توسط محققین مختلف و یا آیین‌نامه‌ها پیشنهاد شده، کنترل شده و درصد سنگ‌های معتبر و مورد قبول بر اساس هر معیار مشخص می‌شود. جدول (۵) معیارهای ارزیابی لوتون<sup>۱</sup> و درصد سنگ‌های مناسب جهت کاربرد در سازه‌های دریایی از دیدگاه وی را نشان می‌دهد.

همان گونه که در این جدول دیده می‌شود، چنانچه از معیار ارزیابی لوتون استفاده کنیم، تنها درصد بسیار کمی از سنگ‌های آهکی مورد آزمایش (اعم از نمونه‌های مربوط به موج‌شکن‌ها یا معادن) قابلیت استفاده در سازه‌های ساحلی را خواهند داشت. نکته قابل تأمل این است که درصد نمونه‌های سنگی برداشت شده از موج‌شکن، که بر اساس پارامتر سلامت شیمیایی در محلول سولفات منیزیم، برای استفاده در سازه دوام قابل قبولی دارند، تفاوت فاحشی با درصد نمونه‌های مورد قبول

جدول ۵. مقایسه وضعیت سنگ‌های آهکی مربوط به موج‌شکنها و معادن با معیار لوتون

آزمایش	معیار تقریبی برای مناسب بودن سنگ	درصد نمونه های مورد قبول (موج‌شکن)	درصد نمونه های مورد قبول (معادن)
چگالی حجمی	$> 2/6$	۲/۶۰	۵/۸۸
جذب آب	$< 1/2$	۱/۷۳	۵/۸۸
سلامت سولفات منیزیم (۵ سیکل)	$< 2$	۳۳/۹۳	۵/۸۸
سایش لس آنجلس	$< 25$	۱۰/۹۸	۲۳/۶۸

مقایسه وضعیت سنگ‌های آهکی بکار رفته در موج‌شکن‌های سواحل جنوبی کشور با...

جدول ۶. مقایسه وضعیت سنگ‌های آهکی مربوط به موج‌شکنها و معادن با معیار CUR2000

آزمایش		عالی	خوب	متوسط	ضعیف
چگالی سنگ $\rho_r (t/m^3)$		$>2/9$	۲/۶-۲/۹	۲/۳-۲/۶	$<2/3$
درصد نمونه های	موج شکن	۰/۴۳	۴/۷۶	۱۳/۸۵	۸۰/۹۵
مورد قبول	معادن	۰	۵/۸۸	۲۳/۵۶	۷۰/۵۹
جذب آب $W_{ab} (\%)$		$<0/5$	۰/۵-۲/۰	۲/۰-۶/۰	$>6/0$
درصد نمونه های	موج شکن	۰	۱/۷۳	۱۳/۸۵	۸۴/۴۲
مورد قبول	معادن	۰	۸/۸۲	۲۶/۴۷	۶۴/۷۱
سلامت سولفات منیزیم $MSS (\%)$		$<2$	۲-۱۲	۱۲-۳۰	$>30$
درصد نمونه های	موج شکن	۳۳/۹۳	۳۳/۹۳	۳۲/۱۴	۰
مورد قبول	معادن	۵/۸۸	۴۷/۰۶	۴۷/۰۶	۰
اندیس بار نقطه‌ای $I_{s(50)} (MPa)$		$> 8$	۴/۰-۸/۰	۰/۵-۴/۰	$<1/5$
درصد نمونه های	موج شکن	۰/۴۱	۱۱/۰۲	۵۶/۷۳	۳۱/۸۴
مورد قبول	معادن	۰	۱۵/۷۹	۲۸/۹۵	۵۵/۲۶

جدول (۶) معیار ارزیابی سنگ برای استفاده در سازه‌های دریایی را از دیدگاه CUR2000 نشان می‌دهد. این معیار، سنگ‌ها را بر اساس مقادیر هر یک از پارامترهای فیزیکی، مقاومتی و شیمیایی به ۴ گروه عالی، خوب، متوسط و ضعیف تقسیم می‌کند. همچنین درصد نمونه‌های مناسب مربوط به موج‌شکن‌ها و معادن برای هر پارامتر ارزیابی، در این جدول ارائه شده است. چنان‌که در این جدول مشاهده می‌شود بر اساس پارامترهای درصد جذب آب و دانسیته، بیش از ۶۰ درصد نمونه‌های مورد آزمایش (اعم از نمونه‌های موج‌شکن‌ها و معادن) در گروه ضعیف قرار می‌گیرند و تقریباً هیچ نمونه‌ای در گروه عالی قرار نگرفته و کمتر از ۱۰ درصد آنها در گروه خوب دسته‌بندی شده‌اند. هرچند پارامتر اندیس بار نقطه‌ای خشک وضعیت تقریباً مشابهی دارد، اما به هر حال نسبت به دو پارامتر درصد جذب آب و دانسیته شرایط بهتری دارد و بالاترین درصد نمونه‌ها به جای گروه ضعیف در گروه متوسط قرار دارند. در مورد پارامتر سلامت شیمیایی سنگ وضعیت کاملاً متفاوت و یا شاید بتوان گفت برعکس است. تقریباً هیچ نمونه‌ای در گروه ضعیف قرار نگرفته و در عوض بالای ۳۰ درصد نمونه‌ها در گروه عالی قرار گرفته‌اند. همچنین درصد نمونه‌های دارای شرایط عالی که از موج‌شکن‌ها برداشت شده‌اند نسبت به معادن بسیار بیشتر است. معیارهای انتخاب سنگ لایه آر مور اصلی از دیدگاه آیین‌نامه بریتانیا (BS) و وضعیت سنگ‌های آهکی سواحل جنوبی براساس این معیارها در جدول (۷) آمده است. همان‌طور که در معیارهای

لوتون و CUR2000 نیز دیده شد، نمونه‌های برداشت شده (اعم از اینکه مربوط به موج‌شکن یا معدن باشند) از لحاظ پارامترهای فیزیکی وضعیت بسیار نامناسبی دارند و بالای ۸۰ درصد نمونه‌ها مردود هستند. در میان پارامترهای مقاومتی نیز مقاومت فشاری تک محوری و مقاومت کششی برزیلی، وضعیت به مراتب بدتری دارند و برای قریب به اتفاق نمونه‌ها کمتر از حد قابل قبول آیین‌نامه هستند. در مورد شاخص بار نقطه‌ای، هرچند درصد نمونه‌های مناسب از دید آیین‌نامه باز هم زیر ۲۰ درصد است اما نسبت به دو پارامتر مقاومتی دیگر وضعیت بهتری را از خود نشان می‌دهد. دو پارامتر دوام‌داری سایش لس آنجلس و ارزش ضربه‌ای که به ترتیب پایداری مصالح در برابر سایش و ضربه را نشان می‌دهند، نسبت به همه پارامترهای مطرح شده قبل، وضعیت مناسب‌تری دارند و در حدود ۳۰ درصد مصالح مورد آزمایش از نظر آیین‌نامه، مقاومت قابل قبولی در برابر سایش و ضربه دارند و در نتیجه دوام مورد انتظار را خواهند داشت. اما نکته قابل تأمل این است که بر اساس آیین‌نامه بریتانیا، بیش از ۸۰ درصد نمونه‌ها از نظر سلامت شیمیایی در برابر محلول سولفات، حد نصاب لازم را کسب کرده‌اند و همان‌طور که در معیارهای قبل نیز دیده شد، به رغم نامناسب بودن مقادیر پارامترهای فیزیکی و مقاومتی (بر اساس حداقل‌ها و حداکثرهای تعیین شده از سوی آن معیارها) نمونه‌ها از نظر پایداری و دوام در برابر مهم‌ترین پدیده شیمیایی زوال که همان هوازدگی نمک است، وضعیت نسبتاً مطلوبی دارند.

جدول ۷. مقایسه وضعیت سنگ‌های آهکی مربوط به موج‌شکن‌ها و معادن با دیدگاه آیین‌نامه بریتانیا

درصد نمونه‌های مورد قبول (معدن)	درصد نمونه‌های مورد قبول (موج‌شکن)	معیار مناسب بودن سنگ	آزمایش
۵/۸۸	۱/۷۳	>۲/۶	چگالی
۱۷/۶۵	۸/۶۶	<۳	جذب آب
۴۲/۴۲	۳۱/۲۱	<۳۰	ارزش ضربه سنگدانه‌ها (A.I.V)
۷۰/۵۹	۸۶/۶۱	<۱۸	سلامت سولفات منیزیم
۰	۰/۴۶	>۱۰۰	مقاومت تک محوری (U.C.S)
۱۵/۷۹	۱۱/۴۳	>۴	شاخص بار نقطه‌ای (I <sub>s(50)</sub> )
۰	۰	>۱۰	مقاومت کششی برزیلی
۳۱/۵۸	۲۹/۲۷	<۳۵	سایش لس آنجلس

جدول ۸. مقایسه وضعیت سنگ‌های آهکی مربوط به موج‌شکن‌ها و معادن بر اساس آیین‌نامه هلند

درصد نمونه‌های مورد قبول (معدن)	درصد نمونه‌های مورد قبول (موج‌شکن)	معیار مناسب بودن سنگ	آزمایش
۵/۸۸	۵/۱۹	>۲/۵	چگالی خشک
۵۷/۵۸	۵۲/۰۲	<۴۰	ارزش ضربه (AIV)

درصد جذب آب، مناسب جهت استفاده هستند. اما بیش از ۶۰ درصد این مصالح، سلامت شیمیایی قابل قبول دارند. همچنین مقاومت در برابر ضربه به عنوان دومین پارامتر دارای درصد قبولی زیاد، مطرح است.

جدول (۱۱) معیارهای انتخاب سنگ مناسب از دیدگاه موریسون و لويس جلی<sup>۵</sup> (۱۹۸۶) را نشان می‌دهد [۱۳]. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که بر اساس این معیار، در حدود ۵۰ درصد نمونه‌های مورد آزمایش از نظر مقاومت سایشی و سلامت شیمیایی وضعیت مطلوب و قابل قبولی دارند، در حالی که درصد جذب آب همچنان به عنوان نقطه ضعف این سنگ‌ها مطرح است.

در پایان معیار پیشنهادی نیکودل را بررسی می‌کنیم که به صورت یک سیستم امتیازدهی است. جدول (۱۲) این معیار را نشان می‌دهد. در این سیستم امتیازدهی از ۷ پارامتر مختلف جهت تعیین کیفیت سنگ استفاده شده و سنگ‌ها در محدوده‌های بسیار ضعیف تا عالی تقسیم‌بندی شده‌اند. در این معیار، پارامترهای در نظر گرفته شده برای ارزیابی سنگ، وزن‌دهی شده‌اند و هر یک بخشی از ۱۰۰ امتیاز کل را به خود اختصاص داده‌اند [۲].

افزایش درصد نمونه‌های قابل قبول بر اساس پارامتر سلامت شیمیایی پس از قرار گرفتن آنها در شرایط بهره‌برداری در اینجا نیز به چشم می‌خورد؛ در حالی که برای سایر پارامترها، قرار گرفتن در شرایط محیطی دریا منجر به کاهش درصد نمونه‌های مورد قبول و طبیعتاً کاهش مقادیر این پارامترها شده است.

دو ضابطه نیز از آیین‌نامه NEN 5180 مربوط به کشور هلند برای انتخاب سنگ مناسب در لایه آرمور در جدول (۸) آورده شده است. با مراجعه به این جدول مشاهده می‌شود که عدم کسب حداقل دانسیته پیشنهادی این آیین‌نامه، همچنان باعث از رده خارج شدن قسمت اعظم مصالح می‌شود، در حالی که بیش از نیمی از مصالح از لحاظ مقاومت ضربه‌ای که فاکتور تعیین‌کننده‌ای در دوام سنگ در برابر پدیده‌های فیزیکی زوال است، مورد قبول آیین‌نامه هستند.

والکینگ<sup>۲</sup> (۱۹۹۷)، برای تشخیص مناسب بودن سنگ‌های لایه آرمور ارقام ذکر شده در جدول (۹) را به عنوان معیار ارایه داده است [۱۳]. پول و فوکس<sup>۳</sup> (۱۹۸۴) نیز شاخص‌های ارایه شده در جدول (۱۰) را پیشنهاد کرده‌اند [۱۴]. در این دو مورد نیز همانند معیارهای قبل مشاهده می‌شود که درصد بسیار کمی از مصالح مورد آزمایش از نظر پارامترهای فیزیکی دانسیته و



مقایسه وضعیت سنگ‌های آهکی بکار رفته در موج‌شکن‌های سواحل جنوبی کشور با...

جدول ۹. مقایسه وضعیت سنگ‌های آهکی مربوط به موج‌شکن‌ها و معادن با معیار والکینگ

درصد نمونه های مورد قبول (معدن)	درصد نمونه های مورد قبول (موج‌شکن)	معیار مناسب بودن سنگ	آزمایش
۷۰/۵۹	۸۶/۶۱	<۱۸	سلامت سولفات منیزیم
۱۷/۶۵	۸/۶۶	<۳	جذب آب
۵/۸۸	۱/۷۳	>۲/۶	وزن مخصوص (t/m <sup>3</sup> )
۴۲/۴۲	۳۱/۲۱	<۳۰	ارزش ضربه AIV

جدول ۱۰. مقایسه وضعیت سنگ‌های آهکی مربوط به موج‌شکن‌ها و معادن با معیار پول و فوکس

درصد نمونه های مورد قبول (معدن)	درصد نمونه های مورد قبول (موج‌شکن)	معیار مناسب بودن سنگ	آزمایش
۵۲/۹۴	۶۷/۸۶	<۱۲	سلامت سولفات منیزیم
۱۱/۷۶	۶/۰۶	<۲/۵	جذب آب
۵/۸۸	۱/۷۳	>۲/۶	وزن مخصوص (t/m <sup>3</sup> )
۱۸/۱۸	۹/۸۳	<۱۶	ارزش ضربه AIV

جدول ۱۱. مقایسه وضعیت سنگ‌های آهکی مربوط به موج‌شکن‌ها و معادن با معیار موریسون و لويس جلی

درصد نمونه های مورد قبول (معدن)	درصد نمونه های مورد قبول (موج‌شکن)	معیار مناسب بودن سنگ	آزمایش
۱۷/۶۵	۴۵/۵۴	<۵	سلامت سولفات منیزیم
۸/۸۲	۵/۱۹	<۲	جذب آب
۳۴/۲۱	۵۲/۴۴	<۴۵	سایش لس آنجلس

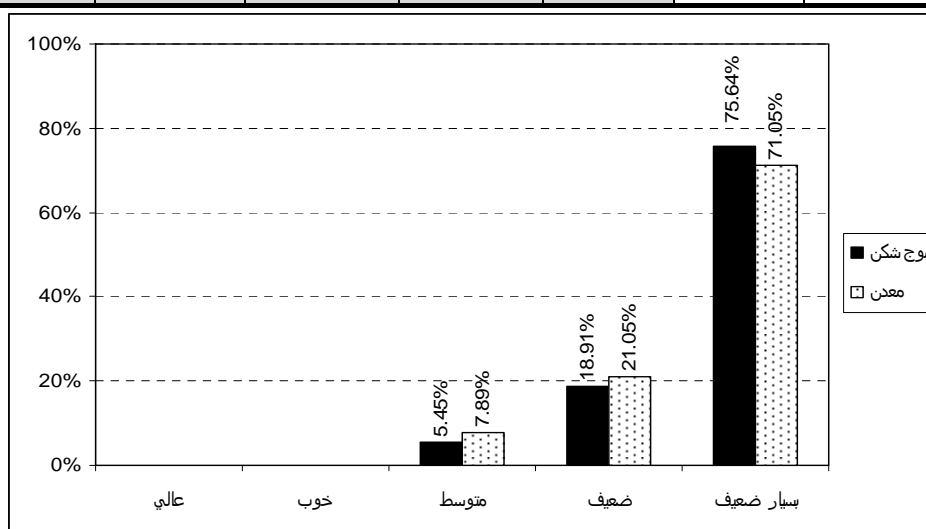
جدول ۱۲. معیار امتیازدهی نیکودل

رده					خصوصیت
بسیار ضعیف	ضعیف	متوسط	خوب	عالی	
<۲/۱	۲/۱-۲/۳	۲/۳-۲/۵	۲/۵-۲/۷	>۲/۷	دانسیته خشک
۲	۴	۶	۸	۱۰	امتیاز
>۶	۴-۶	۲/۵-۴	۱-۲/۵	<۱	جذب آب
۲	۴	۸	۱۰	۱۳	امتیاز
<۲/۵	۲/۵-۵	۵-۷/۵	۷/۵-۱۰	>۱۰	اندیس بار نقطه ای
۲	۶	۹	۱۲	۱۵	امتیاز
>۱۸	۱۵-۱۸	۱۳-۱۵	۱۰-۱۳	<۱۰	ارزش ضربه
۱	۲	۶	۱۰	۱۲	امتیاز
>۵	۳-۵	۲-۳	۱-۲	<۱	افت وزنی در سولفات (۵ سیکل)
۲	۶	۱۰	۱۳	۱۵	امتیاز
>۲۴	۱۸-۲۴	۱۴-۱۸	۱۰-۱۴	<۱۰	افت وزنی در سایش لس آنجلس
۲	۵	۹	۱۲	۱۵	امتیاز
سنگ کاملاً هوازده، وجود کانیهای قابل حل بیش از ۱۰ درصد، تخلخل بیش از ۱۵ درصد	سنگ تقریباً متراکم، سنگهای رسوبی سخت با هوازدگی قابل ملاحظه، وجود کانیهای قابل حل	سنگ آذرین نسبتاً متراکم، سنگهای رسوبی سخت با اندکی هوازدگی قابل مشاهده	سنگ آذرین متراکم و تقریباً یکنواخت، فاقد هوازدگی یا مختصری هوازدگی در مقطع میکورسکوپی	سنگ آذرین متراکم و یکنواخت، فاقد نقاط ضعف	مطالعات سنگ شناسی
۴	۸	۱۲	۱۵	۲۰	امتیاز
۱۵	۳۵	۶۰	۸۰	۱۰۰	جمع امتیازات

بسیار ضعیف	ضعیف	متوسط	خوب	عالی	توصیف رده
<۲۵	۲۵-۵۵	۵۵-۷۵	۷۵-۹۰	۹۰-۱۰۰	امتیاز رده

جدول ۱۳. مقایسه وضعیت سنگهای آهکی مربوط به موج شکنها و معادن با معیار نیکودل (بر اساس هر یک از شاخصها)

درصد نمونه های مورد قبول بر اساس هر شاخص					خصوصیت	
بسیار ضعیف	ضعیف	متوسط	خوب	عالی		
۸۰/۹۵	۶/۰۶	۶/۹۳	۵/۱۹	۰/۸۷	موج شکن	دانسیته خشک
۶۴/۷۱	۵/۸۸	۲۳/۵۳	۵/۸۸	۰	معادن	
۷۳/۵۹	۱۰/۸۲	۱۰/۳۹	۵/۱۹	۰	موج شکن	جذب آب
۶۴/۷۱	۲/۹۴	۲۰/۵۹	۸/۸۲	۲/۹۴	معادن	
۶۴/۰۸	۲۹/۳۹	۵/۳۱	۰/۸۲	۰	موج شکن	اندیس بار نقطه ای
۷۱/۰۵	۱۵/۷۹	۱۳/۱۶	۰	۰	معادن	
۸۷/۲۸	۳/۴۷	۱/۱۶	۶/۳۶	۱/۷۳	موج شکن	ارزش ضربه
۷۵/۷۶	۶/۰۶	۳/۰۳	۶/۰۶	۹/۰۹	معادن	
۵۴/۴۶	۸/۰۴	۳/۵۷	۸/۹۳	۲۵	موج شکن	افت وزنی در سولفات (۵ سیکل)
۸۲/۳۵	۱۱/۷۶	۰	۵/۸۸	۰	معادن	
۸۹/۰۲	۸/۵۴	۲/۴۴	۰	۰	موج شکن	افت وزنی در سایش لیس آنجلس
۷۸/۹۵	۱۳/۱۶	۵/۲۶	۲/۶۳	۰	معادن	
۶۹/۳۷	۱۸/۵۳	۱۲/۱۰	۰	۰	موج شکن	مطالعات سنگ شناسی
۵۲/۲۷	۲۰/۱۵	۲۷/۵۸	۰	۰	معادن	



شکل ۱. مقایسه وضعیت سنگهای آهکی مربوط به موج شکنها و معادن با معیار نیکودل (بر اساس همه شاخصها)

با زوال شیمیایی سنگ است را کنار بگذاریم، دومین پارامتر که نسبت به سایرین وضعیت بهتری دارد، مقاومت ضربه ای مصالح است که متناظر با زوال فیزیکی سنگ است و در حدود ۱۵ درصد نمونه های برداشت شده از معادن را به خود اختصاص داده است. البته آشکار است که در مورد نمونه های برداشت شده از موج شکنها این درصد کاهش خواهد داشت.

شکل (۱) وضعیت سنگهای آهکی را با در نظر گرفتن تمام شاخص های ارابه شده در معیار نیکودل به صورت همزمان و در نظر گرفتن مجموع امتیاز مربوط به این شاخصها نشان

در جدول (۱۳) وضعیت سنگهای آهکی معادن و موج شکنهای سواحل جنوبی، بر اساس هر یک از شاخصهای مورد استفاده در این معیار به تفکیک مشخص شده است. همان طور که انتظار می رود در مورد پارامتر سلامت سولفات، در حدود ۳۵ درصد مصالح مورد آزمایش در محدوده های عالی و خوب قرار گرفته اند، در حالی که در مورد سایر پارامترها، محدوده عالی کمتر از یک درصد و محدوده خوب در حدود ۵ درصد از نمونه های مورد آزمایش را در خود جای داده است. اگر پارامتر سلامت سولفات که متناظر

می‌دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود چنانچه مجموع امتیازها مد نظر قرار گیرد، هیچ نمونه‌ای در محدوده‌های عالی و خوب قرار نگرفته و بیش از ۷۰ درصد نمونه‌ها در محدوده بسیار ضعیف جای خواهند گرفت. بنابراین به نظر می‌رسد این معیار امتیازدهی برای ارزیابی سنگ‌های آهکی مناطق جنوبی کشور چندان مناسب نیست.

استفاده در سازه موج‌شکن را ندارند و در صورت استفاده، باید فرسایش شدید سنگ و به دنبال آن تخریب سازه را انتظار داشت، در حالی که مشاهدات میدانی به عمل آمده خلاف این مطلب را ثابت می‌کنند.

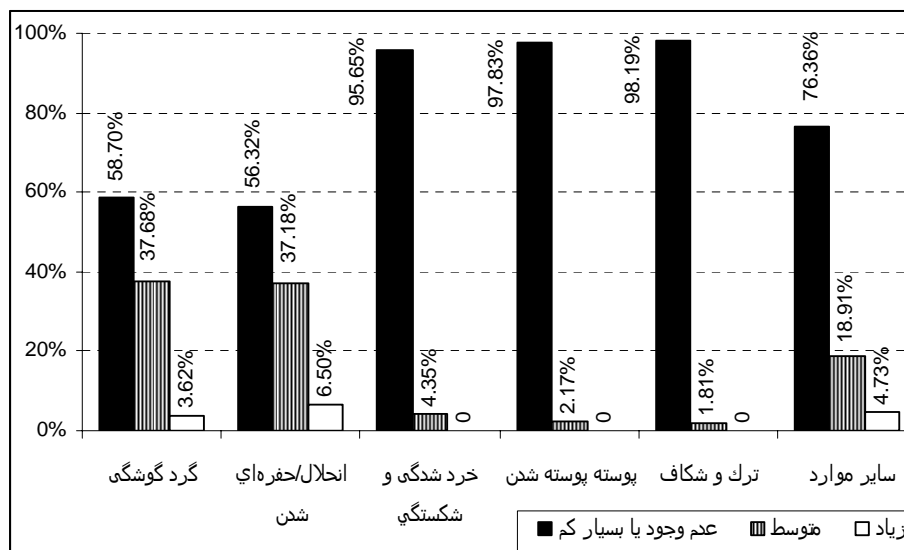
همان طور که قبلاً گفته شد، هنگام نمونه‌برداری از موج‌شکن‌ها، مشخصات ظاهری مربوط به هر نمونه ثبت شده است. بر اساس این مشاهدات، انواع مختلف فرسایش شامل گردگوشگی، انحلال و حفره حفره شدن، تورق و پوسته پوسته شدن، خردشدگی و شکستگی و در نهایت ترک و شکاف در نظر گرفته شده و هر نمونه مربوط به موج‌شکن از نظر میزان فرسایش در یکی از سه گروه بسیار کم، متوسط و زیاد دسته‌بندی شده است. بر اساس این دسته‌بندی، می‌توان درصد نمونه‌های قرار گرفته در هر یک از این گروه‌های سه‌گانه را به صورتی که در شکل (۲) نشان داده شده مشخص کرد.

همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود درصد بسیار کمی از نمونه‌ها دچار فرسایش زیاد شده‌اند و بیش از ۵۰ درصد نمونه‌های روی موج‌شکن، در شرایط بدون فرسایش یا فرسایش بسیار کم به سر می‌برند. بیشترین نوع فرسایش، گردگوشگی ناشی از ضعف مقاومت سایشی و پس از آن انحلال و حفره حفره شدن است و انواع دیگر فرسایش فقط در حد متوسط و به میزان کمی مشاهده شده است.

#### ۴. ارزیابی کیفیت سنگ‌های آهکی بر اساس

##### مشاهدات میدانی به عمل آمده

در بخش قبل تنها نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های منتقل شده به آزمایشگاه، مدنظر قرار گرفت و بر همین اساس وضعیت سنگ‌های آهکی مورد استفاده در موج‌شکن‌های جنوب کشور از دیدگاه محققین و آیین‌نامه‌های مختلف مطالعه و بررسی شد. در این بررسی مشخص شد که اگرچه سنگ‌های آهکی مورد آزمایش، از نظر پارامتر سلامت شیمیایی در برابر سولفات در درجه اول، و از نظر پارامترهای مقاومت سایشی و ضربه‌ای در درجه دوم نسبت به سایر پارامترهای فیزیکی و مقاومتی از وضعیت بسیار بهتری برخوردارند؛ اما در مجموع و با در نظر گرفتن همه شاخص‌های مطرح شده در هر معیار ارزیابی به صورت همزمان، متوجه می‌شویم که درصد قابل توجهی از این سنگ‌ها قابلیت



شکل ۲. بررسی میزان فرسایش ظاهری در نمونه‌های موج‌شکن بر اساس مشاهدات میدانی

مستندترین و محتمل‌ترین دلایل پیشنهاد شد. از آنجا که در این مقاله در مورد کیفیت و مرغوبیت مصالح مورد استفاده در موج‌شکن‌ها بحث می‌شود فقط خرابیهایی که به احتمال قوی از نامناسب بودن مصالح سنگی مورد استفاده ناشی شده‌اند، مدنظر قرار گرفته‌اند.

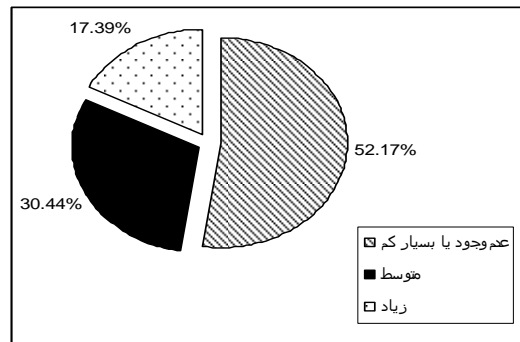
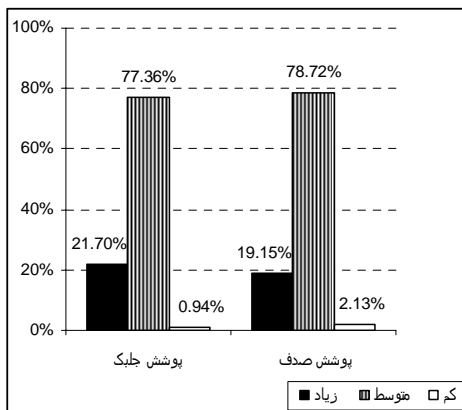
موج‌شکن‌ها را می‌توان از منظر شدت و میزان تخریب ناشی از نامرغوب بودن مصالح در سه گروه بسیارکم، متوسط و زیاد دسته‌بندی کرد. دیاگرام سمت راست شکل (۳) نتایج این تقسیم‌بندی را برای موج‌شکن‌هایی که در آنها از سنگ‌های آهکی مورد بحث استفاده شده نشان می‌دهد.

همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، در بیش از ۵۰ درصد موج‌شکن‌ها، تخریب ناشی از نامناسب بودن مصالح دیده نشده و یا میزان تخریب بسیار کم بوده است؛ از سوی دیگر در کمتر از ۲۰ درصد موج‌شکن‌ها، نامرغوب بودن مصالح منجر به تخریب قابل توجه در سازه شده است.

بنابراین با وجود اینکه بر اساس معیارهای ارزیابی موجود، درصد بالایی از سنگ‌های آهکی مورد بحث، دوام لازم را برای استفاده در موج‌شکن ندارند؛ اما وضعیت ظاهری این سنگ‌ها پس از سالها قرارگرفتن در معرض شرایط محیطی دریا و نیز عملکرد مناسب موج‌شکن‌های ساخته شده با این مصالح، بیانگر این مطلب است که درصد قابل توجهی از این سنگ‌ها علیرغم مشخصه‌های فیزیکی و مقاومتی پایین، وقتی در داخل آب قرار می‌گیرند عملکرد مناسبی از خود نشان می‌دهند. در نتیجه نمی‌توان رفتار واقعی آنها را با استفاده از معیارهای ارزیابی موجود پیش‌بینی کرد.

از دیگر مواردی که ثبت شده است، میزان پوشیده شدن سطح سنگ از صدفها و جلبکها است. این مورد در باره سنگ‌هایی که در تماس با آب هستند (ناحیه غرقابی و ناحیه جزر و مدی) گزارش شده است. می‌دانیم که پوشش سطح سنگ توسط جلبک یا صدف به عنوان سپری در برابر عوامل فرساینده و مخرب عمل می‌کند و در نتیجه هرچه سطح سنگ بیشتر پوشیده شده باشد، مصنوعیت بیشتری برای آن سنگ ایجاد خواهد شد. دیاگرام سمت چپ در شکل (۳) نمونه‌ها را از نظر میزان پوشش در سه گروه زیاد، متوسط و کم و از نظر نوع پوشش در دو دسته جلبک و صدف تقسیم‌بندی کرده و درصد نمونه‌هایی را که در هر گروه قرار می‌گیرند، مشخص می‌کند. همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد، مجموعاً بیش از ۹۵ درصد نمونه‌های در تماس با آب، توسط جلبک یا صدف و به میزان متوسط و زیاد پوشیده شده‌اند و در نتیجه از یک سپر محافظتی مناسب در برابر عوامل فرساینده برخوردارند.

از سوی دیگر در بازدیدهای به عمل آمده، علاوه بر ثبت وضعیت ظاهری مربوط به هر نمونه به صورت جداگانه، هر موج‌شکن نیز از نظر مودهای خرابی به طور کلی مورد بررسی قرار گرفت. در این بازدیدها، با در نظر گرفتن انواع خرابیهایی پیش‌آمده و با بررسی مستندات مطالعاتی، طراحی و اجرایی، تحقیق از مردم محلی در مورد مشکلات و ناکارآمدیهای سازه و نیز منظور کردن دلایل ترمیم (چنانچه موج‌شکن ترمیم شده باشد) سعی شد عوامل احتمالی این تخریبها مشخص شوند. دلایل مختلفی اعم از دلایل طراحی و یا اجرایی برای هر یک از انواع خرابی سازه در نظر گرفته شد و براساس شواهد و قرائن،



شکل ۳. سمت راست: میزان تخریب موج شکنها ناشی از نامرغوب بودن مصالح

سمت چپ: وضعیت پوشش سطحی نمونه‌ها بر اساس مشاهدات میدانی

## ۵. بحث و نتیجه‌گیری

چنانچه نتایج آزمایش‌های مکانیک سنگ انجام شده بر روی نمونه‌های مربوط به موج‌شکن‌ها و معادن جنوب کشور با معیارهای ارزیابی متداول بین‌المللی (که توسط محققین و یا آیین‌نامه‌های مختلف پیشنهاد شده است) مقایسه شوند، این نتیجه به دست می‌آید که درصد بالایی از سنگ‌های مورد استفاده در سازه‌های ساحلی جنوب کشور، حد نصاب لازم را از نظر کیفیت کسب نکرده و در نتیجه جهت استفاده در این سازه‌ها مناسب نخواهند بود. در حالی که مشاهدات میدانی به عمل آمده از وضعیت ظاهری نمونه‌ها و نیز سرویس‌دهی قابل قبول موج‌شکن‌های احداث شده با این مصالح به ظاهر نامناسب در طول بیش از ۱۰ سال عمر مفید سازه، ما را متقاعد می‌کند که نمی‌توان صرفاً این معیارها را برای ارزیابی کیفیت سنگ‌های مورد بحث، ملاک عمل قرار داد و بهتر است بر اساس نتایج به دست آمده از این مطالعه و بررسی‌های مشابه و بهره‌گیری از تجربیات گذشته در زمینه طراحی موج‌شکن‌ها و با تکیه بر عملکرد واقعی مصالح در سازه‌های احداث شده، معیار جدیدی برای ارزیابی کیفیت اینگونه سنگ‌ها تدوین کرد. چنانکه گفته شد در مورد هر یک از معیارهای موجود، در صورتی که در نظر باشد تمام محدودیتهای مطرح شده در آن معیار اعمال شوند، درصد بالایی از سنگ‌های جنوب کشور غیرقابل استفاده خواهند بود. در عین حال مقایسه نتایج آزمایش‌های انجام شده با این معیارها نشان داد که هرچند، سنگ‌های آهکی منطقه از نظر مشخصه‌های فیزیکی (دانسیته و درصد جذب آب) و مقاومتی (اندیس بار نقطه‌ای، مقاومت کششی و مقاومت فشاری تک محوری)، وضعیت مطلوبی ندارند؛ ولی از نظر سلامت شیمیایی و پارامترهای دوام‌داری (ارزش ضربه، سایش لس‌آنجلس و شاخص دوام) به نسبت شرایط بهتری دارند. اختلاف فاحش درصد نمونه‌های مورد قبول بر اساس شاخص‌های سلامت شیمیایی، سایش لس‌آنجلس و ارزش ضربه، نسبت به درصد نمونه‌های مورد قبول بر اساس سایر شاخص‌ها که در اکثر قریب به اتفاق معیارهای موجود شاهد آن بودیم، گواه این مدعاست. بنابراین چنانکه بر اساس همین معیارهای موجود مقرر باشد که به صورت نسبی، مشخصه‌های مختلف سنگ‌های مورد بحث با یکدیگر مقایسه شوند و از نظر میزان مطابقت با

معیارها رتبه‌بندی گردند، مشاهده خواهد شد که سلامت شیمیایی سنگ به عنوان مهم‌ترین شاخص دوام سنگ در برابر پدیده هوازگی نمک در رتبه اول قرار می‌گیرد و در نتیجه به نظر می‌رسد که درصد قابل توجهی از سنگ‌های مورد بررسی از این نظر کیفیت و مرغوبیت لازم را ندارند. پارامترهای مقاومت سایشی و ضربه‌ای که شاخص‌های مناسبی برای دوام‌داری سنگ در برابر پدیده‌های غالب هوازگی فیزیکی در موج‌شکن‌های جنوب ایران هستند، در رتبه دوم قرار گرفته و پارامتر شاخص بار نقطه‌ای نیز رتبه سوم را به خود اختصاص می‌دهد. سایر مشخصه‌های مقاومتی و نیز پارامترهای فیزیکی در رتبه آخر قرار می‌گیرند. بنابراین درصد بالایی از مصالح آهکی مورد بحث، حد نصاب تعیین شده از سوی معیارهای ارزیابی را در مورد این پارامترها کسب نکرده و در نتیجه از این نظر فاقد کیفیت لازم تلقی می‌شوند.

از سوی دیگر عملکرد این سنگ‌ها در سازه‌های دریایی احداث شده نشان می‌دهد که نامناسب بودن پارامترهای فیزیکی (بالا بودن تخلخل و درصد جذب آب) برای درصد بالایی از این سنگ‌ها، لزوماً به معنای پایین بودن کیفیت سنگ نخواهد بود. چون تخلخل زیاد و حفرات درشت منجر به خروج آب از سنگ می‌شود و این سنگ‌ها نمی‌توانند آب را درون خود نگه دارند. در نتیجه آب مشکل چندان جدی برای این سنگ‌ها به خصوص در ناحیه مغروق به حساب نمی‌آید. در صورتی که حفرات ریز، منجر به پدیده مویبگی و باقی ماندن آب درون سنگ شده و در اثر تبلور و هوازگی نمک، زوال سنگ تسریع خواهد شد.

## ۶. پانویس‌ها

- 1- Lutton
- 2- Walking
- 3- Pool & Fooks
- 4- Morrison & Louisjlee

## ۷. مراجع

۱. جلالی، حسین (۱۳۶۷) «اهمیت دوام سنگ در پایداری موج‌شکن‌های سنگریزه‌ای»، اولین کنفرانس بین‌المللی بنادر و سازه‌های دریایی.

9. American Society for Testing Materials, *Annual Books of ASTM standards*, Vol. 04 & 08, 1996.
10. ISRM(1985) "Suggested method for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake durability index properties", Int. Society for Rock Mechanics, p. 211.
11. Lutton, R.J., Erickson R.L. (1992) "Problems with armor-stone quality on Lakes Michigan, Huron, and Erie", In: *Durability of Stone for Rubble Mound Breakwaters*, American Society for Civil Engineers, New York, pp. 115-136.
12. CIRIA/CUR (2000) "Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering", Construction Industry Research and Information Association, London, CIRIA Spec Publ 83/CUR Report 154.
13. CIRIA/CUR/CETMEF (2007) "The rock manual, the use of rock in hydraulic engineering", C683, Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), London.
14. Fookes, P.G., Poole, A.B. (1981) "Some preliminary considerations on the selection and durability of rock and concrete materials for breakwaters and coastal protection works", *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol. 14, pp. 97-128.
15. Poole, A.B. (1991). "Rock quality in coastal engineering", *Quarterly Journal of Engineering Geology*, London, Vol. 24, pp. 85-90.
16. Coastal and Hydraulics Laboratory (2006) "Coastal Engineering Manual", USA, pp. VI-4-15 and VI-4-18.

۲. نیکودل، محمدرضا (۱۳۶۹) «مطالعه معیارهای شناخت زوال‌پذیری سنگ»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس.
۳. یثربی، سید شهاب‌الدین، صفری، حجت‌الله (۱۳۷۷) «بررسی معیارهای کنترل کیفیت سنگ در موج‌شکن‌ها با نگرشی ویژه به منطقه خلیج فارس و دریای عمان»، سومین کنفرانس بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی.
۴. حسنی، حمید رضا (۱۳۸۳) «ارزیابی عملکرد موج‌شکن‌های توده سنگی سواحل شمالی خلیج فارس (استان بوشهر)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های دریایی، دانشکده فنی، دانشگاه تربیت مدرس.
۵. ناصحی، سید علیرضا (۱۳۷۶) «تعیین معیارهای مناسب برای کاربرد سنگ در احداث سازه‌های دریایی جنوب شرق ایران (چابهار)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس.
۶. جلالی، حسین، نیکودل، محمدرضا، ناصحی، سید علیرضا (۱۳۷۷) «زوال و دوام مصالح سنگی در موج‌شکن‌های منطقه چابهار»، سومین کنفرانس بین‌المللی سواحل بنادر و سازه‌های دریایی.
۷. امانیان، مهدی (۱۳۸۴) «پترولوژی سنگ‌های آذرین به‌کاررفته در موج‌شکن‌های استان هرمزگان»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۸. فهیمی‌فر، احمد، سروش، حامد (۱۳۸۰) «آزمایش‌های مکانیک سنگ (مبانی نظری و استانداردها)»، جلد اول (آزمونهای آزمایشگاهی)، چاپ اول، شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک.