

بررسی معیارهای دوام مصالح در موج شکن‌های توده سنگی

مقاله پژوهشی

ایرج رحمانی*، استادیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
عرفان صادقی، دانش آموخته کارشناسی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
محمد رضا نیکودل، دانشیار، گروه زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
عطا آقایی آرای، دانشیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: I.Rahmani@bhrc.ac.ir

دریافت: ۹۸/۱۱/۱۵ - پذیرش: ۹۹/۰۴/۰۵

صفحه ۶۸-۵۱

چکیده

استانداردها و معیارهای زیادی در ارتباط با موج شکن‌های توده سنگی وجود دارد که هر کدام از آن‌ها بر پایه خصوصیات مهندسی مصالح مورد استفاده، تقسیم‌بندی‌ها و طبقه بندی‌های مختص به خود را ارائه داده‌اند. با توجه به این که این نوع موج شکن‌ها عمدتاً از مصالح سنگی ساخته می‌شوند، شناخت خصوصیات مهندسی اعم از دوام داری و زوال و تخریب آن‌ها در برابر عوامل مخرب و مهاجم حاکم بر محیط‌های دریایی در ارایه طبقه بندی‌های مناسب از اهمیت زیادی برخوردار است. موج شکن‌های توده سنگی ساخته شده در سواحل خلیج فارس، دریای عمان و دریای خزر عمدتاً بر اساس استانداردها، ضوابط و پیشنهادهایی که مربوط به کشورهای دیگر نظیر انگلیس، هلند، ژاپن و آمریکا طراحی و ساخته شده‌اند. استفاده از این استانداردها سبب ایجاد محدودیتها و مشکلاتی همچون عدم تطابق سنگ انتخابی با استانداردهای مورد اشاره و افزایش هزینه‌های اجرایی می‌شود. در این مقاله معیارهای املی و بین المللی جهت انتخاب سنگ در موج شکن‌ها ارایه شده است. سپس با تمرکز بر معیارهای داخلی، به معرفی مهمترین شاخص‌های این معیارها برای هر نوع سنگ پرداخته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: موج‌شکن، معیار رده‌بندی، مصالح سنگی، دریای خزر، خلیج فارس، دریای عمان

۱-مقدمه

جهت کاهش هزینه ساخت و ریسک خرابی سازه‌ها، معمولاً سنگ به عنوان یکی از کاربردی‌ترین و اصلی‌ترین مصالح مصرفی در سازه‌ها محسوب می‌شود. مصالح سنگی از جمله مصالح مطلوب طبیعی هستند که کاربرد آن‌ها در سازه‌های هیدرولیکی مانند سدها، سازه‌های دریایی و همچنین موج‌شکن‌ها و سازه‌های حفاظتی سواحل بسیار متداول می‌باشد. استفاده وسیع از مصالح سنگی در سازه‌های دریایی به منظور حفاظت از سواحل باعث شده است تا معیارهای متفاوتی از سوی محققین و انجمن‌ها ارایه و پیشنهاد شود. با وجود برخی تفاوت‌ها در این معیارها، نقطه اشتراک همه آنها

با افزایش امکانات و تسهیلات ساحلی در سطح جهان، احداث سازه‌های دریایی و ساحلی در نقاط مختلف دنیا و نیز در سواحل ایران رواج زیادی داشته است. با توجه به اینکه طول سواحل ایران در حاشیه خلیج فارس، دریای عمان و دریای خزر به بیش از ۲۵۰۰ کیلومتر می‌رسد، استفاده از این خط ساحلی جهت توسعه شیلات، صنعت، تجارت، حمل و نقل، گردشگری و همچنین احداث پایگاه‌های دفاعی جهت حراست از مرزهای آبی کشورمان نیازمند ساخت سازه‌های مختلف دریایی و ساحلی می‌باشد. با توجه به حجم بالای مصالح مصرفی در موج‌شکن‌ها و سازه‌های حفاظت کننده سواحل،

موج‌شکن‌های توده‌سنگی منطقه چابهار پیشنهاد نموده است. (Lienhart, 1998; Lienhart and Stransky, 1981) حاصل تحقیقات گسترده خود را به صورت پیشنهاد روش‌های جهت ارزیابی منابع سنگی لایه حفاظ موج‌شکن‌ها و لایه پوشش سنگچین (Riprap) در سازه‌های مهندسی ارائه نموده اند. حسنی (۱۳۸۳)، عملکرد سنگ‌های آهکی را به تفکیک نوع سنگ موج‌شکن‌های توده‌سنگی استان بوشهر مورد بررسی قرار داده و عوامل و شرایط موثر بر رفتار هر نوع سنگ را توضیح داده است. حسینی (۱۳۸۵)، تحقیقاتی را بر روی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌های زیستی‌تخریبی (لوماشل) جهت استفاده در سازه‌های دریایی انجام داده و نتیجه فعالیت خود را بصورت معیاری که محدوده خواص مهندسی سنگ مناسب برای استفاده در نواحی مختلف لایه حفاظ موج‌شکن را مشخص می‌کند ارائه نموده است. امینی مزرعه‌نو (۱۳۸۵)، به ارائه معیاری جهت انتخاب سنگ مناسب برای لایه آرمر در موج‌شکن‌های توده‌سنگی سواحل جنوبی کشور ارائه داده است. تلخابلو (۱۳۸۶)، بر اساس تجزیه و تحلیل آماری نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها و مقایسه آن‌ها با نتایج ارزیابی‌های صحرایی از عملکرد واقعی سنگ در موج‌شکن‌های سواحل جنوبی کشور، معیارهای انتخاب سنگ برای سه گروه سنگ‌های آهکی، آذرین و لوماشل را به صورت مجزا پیشنهاد داده و به تفکیک هر گروه سنگی، موارد کاربرد مناسب این معیارها را نیز بیان نموده است. پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری (۱۳۸۸)، به کمک برخی معیارهای ذکر شده، به دو روش «امتیازدهی و رده‌بندی» و روش «مقادیرحدی» معیار جدیدی را تحت عنوان راهنمای کاربرد سنگ در موج شکن و سازه‌های حفاظتی ارائه کرده است. این معیار تا حدودی بر گرفته از معیار تلخابلو (۱۳۸۶) می‌باشد و تفاوت آن‌ها در عدد پتروگرافی و نوع امتیازدهی می‌باشد. در رابطه با دوام و زوال مصالح سنگی در سازه‌های دریایی، تنوع عوامل کنترل‌کننده دوام مصالح طبیعی، پیش‌بینی رفتار آنها را در طول زمان بهره‌برداری با مشکلاتی روبرو می‌شود. بررسی سازه‌های ساخته شده از مصالح در هر منطقه، یکی از روش‌های مناسب برای تشخیص میزان دوام مصالح سنگی است (Fookes & Poole, 1981). لازم به ذکر است عملکرد لایه حفاظ یک موج شکن به طور مستقیم به دوام داری 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, 2000).

استفاده از نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی بوده است. با این حال برخی از محققین نیز با در نظر گرفتن شرایط محیطی و عملکرد صحرایی سنگ، رده‌بندی‌هایی را به این منظور ارائه نموده‌اند. معیارهای اصلی انتخاب سنگ در این‌گونه پروژه‌ها شامل؛ مقاومت، دوام، بلوک‌دهی، مشخصات فیزیکی، شرایط اجرایی، هزینه استخراج، حمل، استقرار، سازگاری با محیط و قابل دسترس بودن می‌باشد. از میان ویژگی‌های بیان شده؛ دوام سنگ و مقاومت آن در برابر عوامل مخرب و مهاجم حاکم بر محیط‌های دریایی، از مهمترین خصوصیات است که مصالح مورد استفاده در این نوع سازه‌ها باید از آن برخوردار باشند. از جمله کشورهایی که در ارائه معیارهای فوق پیشنهاد داده‌اند میتوان به انگلستان، ژاپن و آمریکا اشاره کرد. در ایران نیز معیارهایی به همین منظور ارائه و پیشنهاد شده است. در نگاه اول، میتوان این معیارها را به دو دسته معیارهای داخل و خارج کشور دسته‌بندی نمود. در هر صورت معیارهای داخل کشور مطابقت زیادی با شرایط محیطی سواحل ایران داشته و در عمل با داشتن تطابق بهتر، کارایی بیشتری در ارزیابی سنگ‌های موجود در مناطق ساحلی ایران دارند.

۲- پیشینه تحقیق

مطالعه و تحقیقات مختلفی برای ارائه معیار ارزیابی کیفیت و دوام سنگ‌های مورد استفاده در موج‌شکن‌ها و سازه‌های حفاظتی دریایی انجام شده است که می‌توان آن‌ها را به دو دسته مطالعات و تحقیقات صورت گرفته در کشور و تحقیقات و معیارهای ارائه شده توسط محققین سایر کشورها تقسیم‌بندی نمود. (Wakeling, 1977)، ضمن انجام تحقیقی در خصوص طراحی موج‌شکن‌ها، معیاری را جهت تشخیص مناسب بودن سنگ‌های لایه حفاظتی این سازه‌ها ارائه نموده است. (Poole et al., 1983)، مطالعات گسترده‌ای را بر روی دوام سنگ‌های مورد استفاده به عنوان لایه حفاظ موج‌شکن‌ها انجام داده‌اند که یکی از معیارهای ارزیابی کیفیت سنگ جهت استفاده در سازه‌های دریایی است که در کشور ما نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، حاصل این تحقیقات می‌باشد. جلالی (۱۳۶۹)، با بررسی اهمیت دوام سنگ در پایداری موج‌شکن‌های توده‌سنگی، معیاری را به صورت رد یا قبول سنگ برای سنگ‌های آذرین گنبد نمکی گچین، ارائه نموده است. نیکودل (۱۳۶۹)، مطالعاتی را بر روی سنگ‌های مربوط به گنبد‌های نمکی گچین و انگوران انجام داده و معیاری را بصورت امتیازدهی برای ارزیابی کیفیت سنگ، به منظور استفاده از آن در موج‌شکن‌های توده‌سنگی پیشنهاد نموده است. ناصحی (۱۳۷۶)، معیاری را بصورت سیستم امتیازدهی برای

۳- ویژگی‌های مصالح سنگی در سازه‌های دریایی

بررسی و تعیین ویژگی‌های مصالح سنگی که در ساخت سازه‌های دریایی مورد استفاده قرار می‌گیرند از اهمیت بالایی برخوردار است. این خصوصیات را بطور کلی در چهار گروه می‌توان طبقه‌بندی نمود که به اختصار به شرح زیر می‌باشند:

- ویژگی‌های ذاتی سنگ (دانسیته، تخلخل، ناپیوستگی، درجه هوازگی، جذب آب، مقاومت).
- ویژگی‌های متأثر از تولید و استخراج (مانند خواص مهندسی، شکل، وزن قطعات، دانه‌بندی).
- ویژگی‌های متأثر از اجرای طرح (مانند تراوایی، اصطکاک و قفل و بست بین قطعات).
- دوام سنگ (مقاومت سنگ در برابر زوال در طول زمان بهره‌برداری از آن).

۳-۱- آزمایش‌های ارزیابی دوام سنگ

تنوع عوامل کنترل‌کننده و تأثیرگذار بر دوام مصالح سنگی، پیش‌بینی رفتار آن را در طول زمان بهره‌برداری با مشکلات متعددی روبه‌رو می‌سازد. در این بین، کیفیت مصالح سنگی شاید تنها متغیری باشد که می‌توان آن را با دقت مشخص نمود. آزمایش‌های متعدد و متنوعی برای ارزیابی کیفیت مصالح سنگی مورد استفاده در ساخت سازه‌های دریایی وجود دارد. فوکس و همکاران (1988)، بر این عقیده‌اند که روش مناسب برای تشخیص میزان دوام مصالح سنگی، بررسی سازه‌های موجود در منطقه است که از سنگ مورد نظر ساخته نمود.

جدول ۱. طبقه‌بندی آزمایش‌های مهندسی دوام (Fookes et al., 1988)

آزمایش‌های فیزیکی	آزمایش‌های مکانیکی	آزمایش‌های شبیه‌سازی	بررسی‌های سنگ‌شناسی
- تعیین دانسیته (خشک و اشباع)	- شاخص بار نقطه‌ای - عدد اشمیت	- ارزش ضربه‌ای اصلاح شده (MAIV)	- بررسی سنگ‌شناسی - تعیین کانی‌های رسی با استفاده از اشعه X
- جذب آب	- ارزش ضربه‌ای (IAV) - ارزش خرد کردن نمونه (ACV)	- سایش لس‌آنجلس - زوال واشنگتن - تر و خشک کردن	
	- ارزش ۱۰ درصد ریزی - مقاومت تک‌محوری	- سلامت‌سنگ با سولفات - انجماد و ذوب - شاخص دوام وارفتگی	

۴- معیارهای پیشنهاد شده جهت استفاده از سنگ در سازه‌های دریایی

ارزیابی کیفیت و مرغوبیت سنگ‌ها برای انتخاب و استفاده در سازه‌های ساحلی و دریایی دارای ضوابط و استانداردهای متعددی است که بعضی از آنها توسط محققان کشورهای مختلف پیشنهاد شده و برخی دیگر به صورت آیین‌نامه، تدوین شده است. معیار انتخاب و کاربرد سنگ در کارهای دریایی بر

روش دوم، انجام یکسری آزمایش‌های آزمایشگاهی است که علیرغم پیشنهادها و نظرهای متفاوت از سوی محققان مختلف، به عنوان روشی در ارزیابی دوام مصالح طبیعی، کاربرد وسیعی پیدا کرده است. آزمایش‌هایی که برای انتخاب مصالح با کیفیت مناسب در نظر گرفته می‌شوند، باید تعیین‌کننده ویژگی‌های سنگ به شرح زیر باشد (CIRIA/CUR, 2000).

- خصوصیات ذاتی شامل جذب آب، دانسیته، پتروگرافی (روش‌های سنگ‌شناسی توصیفی).
- مقاومت سنگ بکر شامل مقاومت در برابر ضربه، خرد شدن و سایش.
- مقاومت در برابر هوازگی شامل انجماد و ذوب، سلامت شیمیایی در برابر سولفات.
- گاهی ویژگی دیگری تحت عنوان یکپارچگی قطعات نیز به ویژگی‌های فوق افزوده می‌شود.

دپویی (۱۹۶۵)، آزمایش‌های مصالح سنگی را در سه دسته اصلی شامل آزمایش‌های فیزیکی، مکانیکی و شبیه‌سازی تقسیم نمود. فوکس و همکاران (Fookes et al., 1988) این طبقه‌بندی را توسعه داده و برای هر طبقه آزمایش‌های ویژه‌ای را اختصاص داده‌اند. آن‌ها به سه گروه فوق، بررسی‌های سنگ‌نگاشتی را نیز افزودند. در جدول ۱ آزمایش‌های ویژه هر گروه به صورت مجزا ارایه شده است.

بهرتر، کارایی بیشتری در ارزیابی سنگ‌های موجود در مناطق ساحلی ایران دارند. در ادامه به معرفی تعدادی از معیارهای موجود پرداخته می‌شود.

۴-۱- معیار پیشنهادی واکلینگ (1977)

واکلینگ (Wakeling, 1977) ارقام ذکر شده در جدول ۲ را به عنوان معیاری برای تشخیص مناسب بودن سنگ‌های لایه حفاظ موج‌شکن‌ها ارائه داده است.

اساس دو روش رده بندی امتیازدهی و روش مقادیر حدی انجام می‌شود. جهت رسیدن به معیار مناسب بر اساس روش‌های ذکر شده باید به عواملی همچون ارزیابی صحرایی نمونه‌ها، رده بندی نسبی نمونه‌های آزمایش، مقایسه نتایج ارزیابی صحرایی و آزمایشگاهی و تعیین معیار رده بندی توجه نمود. در نگاه اول می‌توان این معیارهای ارائه شده در سالیان اخیر را به دو دسته معیارهای داخل و خارج کشور دسته‌بندی نمود. در هر صورت معیارهای داخل کشور مطابقت زیادی با شرایط محیطی سواحل ایران داشته و در عمل با داشتن تطابق

جدول ۲. معیار واکلینگ برای انتخاب سنگ مناسب جهت استفاده در موج‌شکن‌ها (Wakeling, 1977)

معیار مناسب بودن سنگ	آزمایش
افت وزنی کمتر از ۱۸ درصد باشد.	سلامت سولفات منیزیم
کمتر از ۳ درصد باشد.	جذب آب
بیش از ۲/۶ باشد.	دانسیته (t/m^3)
نباید بیش از ۳۰ درصد باشد.	ارزش ضربه‌ای AIV
نباید کمتر از ۱۰۰ کیلو نیوتن باشد.	ارزش ۱۰٪ ریزی در خرد کردن

۴). این معیار، سنگ‌ها را بر اساس مقادیر هر یک از پارامترهای فیزیکی، مقاومتی و شیمیایی به چهار گروه عالی، خوب، متوسط و ضعیف تقسیم می‌کند.

۴-۴- معیار پیشنهاد شده در آئین‌نامه انگلستان (BS)

در آیین‌نامه انگلستان (British Standard Institution, 2000) نیز برای انتخاب سنگ جهت کاربرد در لایه حفاظ معیاری تدوین گردیده است که در جدول ۵ ارائه شده است.

۴-۲- معیار پول و همکاران (Poole et al., 1983)

این محققین برای تشخیص مناسب بودن سنگ‌های لایه حفاظ در موج‌شکن‌های توده‌سنگی ارقام ذکر شده در جدول ۳ را به عنوان معیار ارائه داده‌اند.

۴-۳- معیار پیشنهاد شده در آئین‌نامه CUR 2000

راهنمای استفاده از سنگ در سازه‌های ساحلی (آیین‌نامه CUR 2000)، ضوابطی را بر اساس آزمایش‌هایی که در رابطه با خواص ذاتی سنگ انجام شده، پیشنهاد نموده است (جدول

جدول ۳. معیار پول و همکاران جهت انتخاب سنگ برای لایه حفاظ موج‌شکن‌ها (Poole et al., 1983)

معیار مناسب بودن سنگ	آزمایش
افت وزنی کمتر از ۱۲ درصد باشد	سلامت سولفات منیزیم
کمتر از ۲/۵ درصد باشد.	جذب آب
بیش از ۲/۶ باشد.	دانسیته (گرم بر سانتی متر مکعب)
کمتر از ۱۶ درصد باشد.	ارزش ضربه‌ای AIV
بیشتر از ۰/۷ MN/m ² باشد.	ارزش سختی شکست سنگ

جدول ۴. معیارهای ارزیابی سنگ‌ها بر اساس CUR 2000

آزمایش	عالی	خوب	متوسط	ضعیف
چگالی سنگ (گرم بر سانتی متر مکعب)	$> 2/9$	$2/6 - 2/9$	$2/3 - 2/6$	$< 2/3$
جذب آب %	$< 0/5$	$0/5 - 2$	$0/2 - 6$	> 6
سلامت سولفات منیزیم MMS%	< 2	$2 - 12$	$12 - 30$	> 30
یخ زدن/ذوب شدن % FT	$< 0/1$	$0/1 - 0/5$	$0/5 - 2$	> 2
جذب الکل آبی g/100g	$< 0/4$	$0/4 - 0/7$	$0/7 - 1$	> 1
ارزش سختی شکست ($MPa.m^{1/2}$)	$> 2/2$	$1/4 - 2/2$	$0/8 - 1/4$	$< 0/8$
اندیس بار نقطه‌ای (مگاپاسکال)	> 8	$4 - 8$	$1/5 - 4$	$< 1/5$
مقدار خردشدگی دینامیکی مرطوب %	< 12	$12 - 20$	$20 - 30$	> 30
افت یکپارچگی سنگ %	< 2	$2 - 5$	$5 - 15$	> 15
اندیس مقاومت سایشی (به ازای ۱۰۰۰ دور)	$< 0/002$	$0/002 - 0/004$	$0/004 - 0/015$	$> 0/015$

جدول ۵. معیار BS (2000) برای انتخاب سنگ مناسب جهت کاربرد در لایه حفاظ موج‌شکن

آزمایش	معیار مناسب بودن سنگ
دانسیته (گرم بر سانتی متر مکعب)	مقدار حداقل ۲/۶ مرغوب است اما مقادیر کمتر نیز قابل پذیرش است زیرا با انتخاب سنگ بزرگتر این مساله جبران می‌شود.
جذب آب	نباید بیش از ۳ درصد باشد.
ارزش ضربه‌ای سنگدانه‌ها	نباید کمتر از ۳۰ درصد باشد.
سلامت و استحکام	افت جرم بعد از ۵ سیکل نباید بیش از ۱۲ درصد برای سولفات سدیم و یا ۱۸ درصد برای سولفات منیزیم باشد.
ارزش سایش سنگدانه‌ها	نباید بیش از ۱۵ درصد باشد.
مقاومت تک محوری	مساوی یا بیشتر از ۱۰۰ مگاپاسکال باشد.
شاخص بارنقطه‌ای	مساوی یا بیشتر از ۴ مگاپاسکال باشد.
مقاومت کششی برزیلی	مساوی یا بیشتر از ۱۰ مگاپاسکال باشد.
سایش لس آنجلس در ۵۰۰ دور	این مقدار نباید بیشتر از ۳۵ درصد باشد.

قابل پذیرش برای انواع سنگ‌ها معین شده که در جدول ۶ مشاهده می‌گردد.

۴-۵- معیار پیشنهادی آئین‌نامه ژاپن (OCDI, 2002) در آئین‌نامه ژاپن (OCDI, 2002) خواص فیزیکی

جدول ۶. محدوده خواص فیزیکی و مکانیکی قابل پذیرش سنگ‌ها (OCDI, 2002)

طبقه‌بندی سنگ‌ها	گروه سنگ	دانسیته (گرم بر سانتی متر مکعب)	جذب آب (%)	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)
آذرین	گرانیت	$2/6 \sim 2/78$	$0/07 \sim 0/64$	$85 \sim 190$
	آندزیت	$2/57 \sim 2/76$	$0/27 \sim 1/12$	$78 \sim 269$
	بازالت	$2/68$	$1/85$	85
	گابرو	$2/91$	$0/21$	177
	پریدوتیت	$3/18$	$0/16$	187
	دیاباز	$2/78 \sim 2/85$	$0/008 \sim 0/03$	$123 \sim 182$

توف	۲/۶۴	۰/۱۶	۳۷۷
سنگ لوح	۲/۶۵ ~ ۲/۷۴	۰/۰۸ ~ ۱/۳۷	۵۹ ~ ۱۸۵
ماسه سنگ	۲/۲۹ ~ ۲/۷۲	۰/۰۴ ~ ۳/۶۵	۴۸ ~ ۱۹۶
سنگ آهک	۲/۳۶ ~ ۲/۷۱	۰/۱۸ ~ ۲/۵۹	۱۷ ~ ۷۶
چرت	۲/۶۴	۰/۱۴	۱۱۹
هورنفلس	۲/۶۸	۰/۲۲	۱۹۱

۴-۷- معیار پیشنهادی کشور هلند

در آئین نامه کشور هلند (NEN 5180) نیز ضوابطی برای انتخاب سنگ مناسب در لایه آرمور که در جدول ۸ آورده شده است.

۴-۶- معیار پیشنهادی بر اساس آیین نامه اروپا EN

13383

معیارهای آیین نامه EN 13383 برای ارزیابی کاربرد سنگ در کارهای دریایی که توسط مرجع Rock Manual توصیه شده در جدول ۷ آمده است. استاندارد حاضر در سالهای اخیر جایگزین آیین نامه های کاربرد سنگ به عنوان آرمور در کشورهای مختلف این قاره شده است.

جدول ۷. معیارهای ارزیابی سنگها بر اساس آیین نامه اروپا EN 13383

آزمایش	عالی	خوب	متوسط	ضعیف
چگالی سنگ (t/m^3)	>2.7	۲/۵-۲/۷	۲/۳-۲/۵	<2.3
جذب آب %	<0.5	۰/۵-۲	۲-۶	>6
سلامت سولفات منیزیم MMS%	<2	۲-۱۰	۱۰-۳۰	>30
یخ زدن/ذوب شدن FT%	<0.5	۰/۵-۱	۱-۲	>2
جذب الکل آبی g/100g	<0.4	۰/۴-۰/۷	۰/۷-۱	>1
ارزش سختی شکست ($MPa.m^{1/2}$)	>1.7	۱-۱/۷	۰/۶-۱	<0.6
اندیس بار نقطه ای (مگاپاسکال)	>8	۴-۸	۱/۵-۴	<1.5
لس آنجلس (درصد افت وزنی)	<15	۱۵-۲۵	۲۵-۳۵	>35

جدول ۸. معیارهای انتخاب سنگ برای لایه آرمور مطابق آیین نامه هلند

آزمایش	معیار مناسب بودن سنگ
چگالی خشک	بزرگتر یا مساوی ۲/۵ تن بر مترمکعب
ارزش ضربه (AIV)	کوچکتر یا مساوی ۴۰ درصد
ذوب و انجماد	کوچکتر یا مساوی ۵ درصد

۴-۸- معیار جلالی (۱۳۶۹)

سنگ را تأیید کند، برای استفاده در موج شکنها معرفی نموده است.

جلالی ضمن انجام تحقیقات گسترده ای، جدول ۹ را به عنوان معیار استفاده از سنگهای آذرین گنبد نمکی گچین (به شرط آنکه بررسی های میکروسکوپی سلامت و پایایی

۴-۹- معیار ناصحی (۱۳۷۶)

ناصحی (۱۳۷۶) نیز یک سیستم امتیاز بندی برای ارزیابی دوام سنگ‌های رسوبی منطقه چابهار در جنوب شرقی ایران، مطابق جدول ۱۰ ارائه کرده است.

جدول ۹. معیار جلالی (۱۳۶۹) برای انتخاب سنگ مناسب جهت کاربرد در موج‌شکن‌ها

آزمایش	معیار سالم بودن
سایش (لس آنجلس)	کمتر از ۱۸ درصد باشد.
جذب آب (%)	کمتر از ۳ درصد باشد.
ارزش ضربه‌ای AIV	کمتر از ۱۲ درصد باشد.
شاخص بارنقطه‌ای Is	برای حالت تر، بزرگتر از ۶ مگاپاسکال (برای نمونه مکعبی ۵×۵×۵ سانتی‌متر)
دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	برای ماسه‌سنگ‌های متاسوماتیزه حداقل ۲/۳۵ و سنگهای بازالتی و گرانیتی حداقل ۲/۵۵

جدول ۱۰. سیستم امتیازدهی ناصحی (۱۳۷۶) برای ارزیابی مصالح سنگی در سازه‌های دریایی

آزمایش	رده‌بندی نتایج آزمایش				
	عالی	خوب	متوسط	ضعیف	بسیار ضعیف
دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	>۲/۷	۲/۵-۲/۷	۲/۲-۲/۵	۱/۹-۲/۲	<۱/۹
امتیاز	۱۰	۸	۶	۳	۱
جذب آب (%)	<۱	۱-۳	۳-۶	۶-۱۰	>۱۰
امتیاز	۱۰	۸	۶	۳	۱
سلامت سنگ (%)	<۲	۲-۵	۵-۱۲	۱۲-۱۵	>۱۵
امتیاز	۱۵	۱۲	۷	۳	۱
سایش لس آنجلس (%)	<۱۰	۱۰-۱۵	۱۵-۲۰	۲۰-۳۰	>۳۰
امتیاز	۱۰	۸	۵	۲	۱
ارزش سختی شکست (M.N/m ^{1.5})	>۲/۲	۱/۵-۲/۲	۰/۸-۱/۵	۰/۳-۰/۸	<۰/۳
امتیاز	۱۵	۱۲	۸	۴	۲
شاخص بار نقطه‌ای (مگاپاسکال)	>۸	۴-۸	۲-۴	۱-۲	<۱
امتیاز	۱۲	۸	۶	۳	۱
ارزش ضربه‌ای (%)	<۱۰	۱۲-۱۰	۱۲-۱۸	۱۸-۲۵	>۲۵
امتیاز	۱۰	۷	۵	۳	۱
مقاومت تک‌محوری (مگاپاسکال)	>۱۴۰	۷۰-۱۴۰	۲۰-۷۰	۵-۲۰	<۵
امتیاز	۶	۴	۲	۱	۰
سنگ‌شناسی	آذرین، متراکم و فاقد نقاط ضعف	آذرین و دگرگونی، متراکم، هوازگی کم، فاقد سطوح و نقاط ضعف، سنگ‌های رسوبی سخت	آذری و دگرگونی نسبتاً متراکم، هوازگی متوسط و سطوح و نقاط ضعف، سنگ‌های رسوبی سخت	سنگ‌های با هوازگی زیاد، دارای کانی‌های انحلال‌پذیر و سطوح ضعف متعدد	سنگ‌های کاملاً هوازده دارای کانی‌های انحلال‌پذیر و تخلخل بالای ۱۵ درصد
امتیاز	۱۲	۸	۵	۳	۲
مجموع امتیاز	۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵	۱۰
محدوده امتیازات	۷۵-۱۰۰	۵۰-۷۵	۲۵-۵۰	۱۰-۲۵	<۱۰

۴-۱۰- معیار نیکودل (۱۳۶۹)

در موج شکن‌های توده‌سنگی به صورت جدول ۱۱ ارایه کرده است. در این سیستم امتیازدهی سنگ‌ها از امتیاز خیلی بالا تا خیلی کم تقسیم‌بندی شده‌اند.

نیکودل (۱۳۶۹) معیاری را به صورت سیستم امتیازدهی برای ارزیابی کیفیت سنگ‌های آذرین، به منظور استفاده از آن

جدول ۱۱. معیار نیکودل (۱۳۶۹) برای انتخاب سنگ مناسب برای لایه حفاظ موج شکن‌ها

آزمایش	دانشیته (گرم بر سانتی متر مکعب)	جذب آب (%)	اندیس بار نقطه‌ای (مگا پاسکال)	سایش لس انجلس (%)	ارزش ضربه‌ای (%)	سلامت در سولفات (%)	امتیاز
خیلی بالا	>۲/۷	<۱	>۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱	خیلی بالا
بالا	۲/۵-۲/۷	۱-۲/۵	۷/۵-۱۰	۱۰-۱۴	۱۰-۱۳	۱-۲	بالا
متوسط	۲/۳-۲/۵	۲/۵-۴	۵-۷/۵	۱۴-۱۸	۱۳-۱۵	۲-۳	متوسط
کم	۲/۱-۲/۳	۴-۶	۲/۵-۵	۱۸-۲۴	۱۵-۱۸	۳-۵	کم
خیلی کم	<۲/۱	>۶	<۲/۵	>۲۴	>۱۸	>۵	خیلی کم

۴-۱۱- معیار امینی مزرعه‌نو (۱۳۸۵)

امینی مزرعه‌نو (۱۳۸۵) معیاری را جهت ارزیابی سنگ‌های رسوبی سواحل خلیج فارس و دریای عمان پیشنهاد داد (جدول ۱۲).

جدول ۱۲. معیار پیشنهادی امینی مزرعه‌نو (۱۳۸۵) جهت انتخاب سنگ در سواحل جنوبی ایران

پارامترها	خصوصیات	رده				
		بسیار ضعیف	ضعیف	متوسط	خوب	بسیار خوب
فیزیکی	دانشیته (گرم بر سانتی متر مکعب)	<۱/۸	۱/۸-۱/۹	۱/۹-۲/۱	۲/۱-۲/۴	>۲/۴
امتیاز		۱	۷	۱۴	۲۱	۲۸
فیزیکی	جذب آب (%)	>۱۶	۱۰-۱۶	۶-۱۰	۴-۶	<۴
امتیاز		۱	۴	۸	۱۲	۱۶
مقاومتی	شاخص بار نقطه‌ای (مگا پاسکال)	<۱/۵	۱/۵-۲	۲-۳	۳-۴	>۴
امتیاز		۱	۴	۸	۱۲	۱۶
دوام‌داری مکانیکی	ارزش ضربه‌ای (%)	>۴۵	۳۵-۴۵	۲۰-۳۵	۱۰-۲۰	<۱۰
امتیاز		۱	۴	۸	۱۲	۱۶
دوام‌داری شیمیایی	افت وزنی در سولفات سدیم (سیکل ۱۰)	>۲۰	۱۲-۲۰	۸-۱۲	۵-۸	<۵
امتیاز		۱	۶	۱۲	۱۸	۲۴
جمع امتیازات		۵	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰
امتیاز رده		>۱۵	۱۵-۴۰	۴۰-۶۵	۶۵-۹۰	۹۰-۱۰۰

۴-۱۲- معیار تلخابلو (۱۳۸۶)

پیشنهاد کرده است. معیار پیشنهاد شده ونحوه امتیازدهی سنگ‌های آهکی در جدول ۱۳، سنگ‌های لوماشل در جدول ۱۴ و سنگ‌های آذرین در جدول ۱۵ آورده شده است.

تلخابلو (۱۳۸۶) معیارهای انتخاب سنگ برای سه گروه سنگ‌های آهکی، آذرین و لوماشل را به صورت مجزا

جدول ۱۳. طریقه امتیازدهی در معیار تلخابلو (۱۳۸۶) برای انتخاب سنگ‌های آهکی در کارهای دریایی

رده					خصوصیات	پارامترها
A	B	C	D	E		
<۳	۳-۶	۶-۱۲	۱۲-۱۸	>۱۸	جذب آب (%)	
>۲/۴	۲/۲-۲/۴	۱/۸-۲/۲	۱/۶-۱/۸	<۱/۶	دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	فیزیکی
۲۰	۱۶	۱۲	۸	۴		امتیاز
>۴	۳-۴	۲-۳	۱-۲	<۱	شاخص بار نقطه‌ای (مگاپاسکال)	مقاومتی
>۶۰	۴۰-۶۰	۲۰-۴۰	۸-۲۰	<۸	مقاومت تک‌محوری (مگاپاسکال)	
۲۰	۱۶	۱۲	۸	۴		امتیاز
<۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۵	۳۵-۴۵	>۴۵	ارزش ضربه‌ای (%)	
>۹۵	۹۰-۹۵	۸۵-۹۰	۸۰-۸۵	<۸۰	شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)	دوام‌داری مکانیکی
<۲۵	۲۵-۳۵	۳۵-۵۰	۵۰-۶۵	>۶۵	سایش لس‌آنجلس (%)	
۲۰	۱۶	۱۲	۸	۴		امتیاز
<۴	۴-۸	۸-۱۶	۱۶-۲۰	>۲۰	افت وزنی در سولفات (%)	دوام شیمیایی
۲۰	۱۶	۱۲	۸	۴		امتیاز
<۱۲۰	۱۲۰-۱۴۰	۱۴۰-۱۶۰	۱۶۰-۱۸۰	>۱۸۰	عدد پتروگرافی	سنگ‌شناسی
۲۰	۱۶	۱۲	۸	۴		امتیاز
۸۰-۱۰۰	۶۰-۸۰	۴۰-۶۰	۲۰-۴۰	≥۲۰		جمع امتیازات

جدول ۱۴. طریقه امتیازدهی در معیار تلخابلو (۱۳۸۶) برای انتخاب سنگ‌های لوماشل در کارهای دریایی

رده					خصوصیات	پارامترها
A	B	C	D	E		
<۶	۶-۱۲	۱۲-۱۸	۱۸-۲۴	>۲۴	جذب آب (%)	
>۲/۱	۱/۹-۲/۱	۱/۷-۱/۹	۱/۵-۱/۷	<۱/۵	دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	فیزیکی
۲۰	۱۶	۱۲	۸	۴		امتیاز
>۴	۲/۵-۴	۱/۵-۲/۵	۱-۱/۵	<۱	شاخص بار نقطه‌ای (مگاپاسکال)	مقاومتی
>۴۰	۲۵-۴۰	۱۰-۲۵	۷-۱۰	<۷	مقاومت تک‌محوری (مگاپاسکال)	

۲۰	۱۶	۱۲	۸	۴	امتیاز
<۱۵	۱۵-۳۰	۳۰-۴۵	۴۵-۶۰	>۶۰	ارزش ضربه‌ای (%)
>۹۰	۸۵-۹۰	۷۵-۸۵	۶۵-۷۵	<۶۵	شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)
<۳۰	۳۰-۴۵	۴۵-۶۰	۶۰-۷۵	>۷۵	سایش لس آنجلس (%)
۲۰	۱۶	۱۲	۸	۴	امتیاز
<۱۰	۱۰-۱۴	۱۴-۱۸	۱۸-۲۲	>۲۲	افت وزنی در سولفات (%)
۲۰	۱۶	۱۲	۸	۴	امتیاز
<۱۴۰	۱۴۰-۱۶۰	۱۶۰-۱۸۰	۱۸۰-۲۰۰	>۲۰۰	عدد پتروگرافی
۲۰	۱۶	۱۲	۸	۴	امتیاز
۸۰-۱۰۰	۶۰-۸۰	۴۰-۶۰	۲۰-۴۰	۰-۲۰	جمع امتیازات
جدول ۱۵. طریقه امتیازدهی در معیار تلخابلو (۱۳۸۶) برای انتخاب سنگ‌های آذرین در کارهای دریایی					
رده				خصوصیات	پارامترها
A	B	C	D		
<۱	۱-۲	۲-۴	>۴	جذب آب (%)	
>۲/۶	۲/۴-۲/۶	۲/۲-۲/۴	<۲/۲	دانسیته (گرم بر سانتی متر مکعب)	فیزیکی
۲۰	۱۵	۱۰	۵	امتیاز	
>۱۰	۷-۱۰	۴-۷	<۴	شاخص بار نقطه‌ای (مگاپاسکال)	مقاومتی
>۱۵۰	۱۰۰-۱۵۰	۵۰-۱۰۰	<۵۰	مقاومت تک‌محوری (مگاپاسکال)	
۲۰	۱۵	۱۰	۵	امتیاز	
<۵	۵-۱۰	۱۰-۱۵	>۱۵	ارزش ضربه‌ای (%)	
>۹۹	۹۸-۹۹	۹۷-۹۸	<۹۷	شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)	دوام‌داری مکانیکی
<۱۲	۱۲-۱۶	۱۶-۲۰	>۲۰	سایش لس آنجلس (%)	
۲۰	۱۵	۱۰	۵	امتیاز	
<۱	۱-۲	۲-۵	>۵	افت وزنی در سولفات (%)	دوام شیمیایی
۲۰	۱۵	۱۰	۵	امتیاز	
متراکم و فاقد هوازدهی و نقاط ضعف	متراکم، هوازدهی کم، فاقد سطوح و نقاط ضعف	نسبتاً متراکم، هوازدهی متوسط و دارای سطوح و نقاط ضعف	سنگ‌های با هوازدهی زیاد دارای کانی‌های دگرسان شده و سطوح ضعف متعدد		سنگ شناسی
۲۰	۱۵	۱۰	۵	امتیاز	
۷۵-۱۰۰	۵۰-۷۵	۲۵-۵۰	۰-۲۵	جمع امتیازات	

۴-۱۳- راهنمای کاربرد سنگ در موج شکن و

سازه‌های حفاظتی (وزارت راه و ترابری ۱۳۸۸)

در راهنما، سنگ‌های مورد استفاده در سازه‌های ساحلی و دریایی جنوب کشور در ۳ گروه سنگ‌های رسوبی آهکی - ماسه‌سنگی، سنگ‌های لوماشل و سنگ‌های آذرین طبقه‌بندی شده‌اند و برای هر گروه بطور مجزا معیاری ارایه شده است. شایان ذکر است که در بیشتر طبقه‌بندی‌ها به نوع سنگ توجهی نشده است. اهداف مورد نظر از تدوین آیین نامه، ارایه معیار برای کاربرد سنگ در سازه‌های دریایی جهت استفاده مناسب و بهینه از معادن سنگ موجود در سواحل کشور، افزایش کارایی و دوام این سازه‌ها و کاهش هزینه‌های سنگین حمل مصالح از معادن دوردست بوده است. مهمترین معیارهای ارایه شده در این آیین نامه عبارتند از:

- بررسی عملکرد سنگ‌های به کار رفته در موج شکن‌ها و سازه‌های حفاظت سواحل کشور
- بررسی واقعیت‌های معادن کشور
- استفاده از داده‌ها و نتایج کارهای پژوهشی
- ارایه معیار جداگانه برای سه گروه سنگ‌های آذرین، آهکی - ماسه‌سنگی و لوماشل
- ارایه مقادیر حدی شامل مقادیر حداکثر و یا حداقل قابل قبول خصوصیات نمونه سنگی، علاوه بر روش رده بندی.
نحوه امتیازدهی به پارامترها در رده‌های A تا E برای سنگ‌های آهکی و ماسه‌سنگی در جدول ۱۶ نشان داده شده است. در جدول ۱۷ محدوده تغییرات پارامترها برای هر رده در سنگ‌های آهکی و ماسه‌سنگی ارایه شده است.

جدول ۱۶. نحوه امتیازدهی به پارامترها در رده‌های A تا E برای سنگ‌های آهکی و ماسه‌سنگی (وزارت راه و ترابری ۱۳۸۸)

پارامترها	خصوصیات	رده				
		A	B	C	D	E
فیزیکی	جذب آب (%)	<۳	۳-۶	۶-۱۲	۱۲-۱۸	>۱۸
	دانسیته (گرم بر سانتی متر مکعب)	>۲/۴	۲/۲-۲/۴	۱/۸-۲/۲	۱/۶-۱/۸	<۱/۶
مقاومتی	امتیاز	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵
	شاخص بار نقطه‌ای (مگا پاسکال)	>۴	۳-۴	۲-۳	۱-۲	<۱
	مقاومت تک‌محوری (مگا پاسکال)	>۶۰	۴۰-۶۰	۲۰-۴۰	۸-۲۰	<۸
	امتیاز	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵
دوام‌داری مکانیکی	ارزش ضربه‌ای (%)	<۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۵	۳۵-۴۵	>۴۵
	شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)	>۹۵	۹۰-۹۵	۸۵-۹۰	۸۰-۸۵	<۸۰
دوام شیمیایی	سایش لس آنجلس (%)	<۲۵	۲۵-۳۵	۳۵-۵۰	۵۰-۶۵	>۶۵
	امتیاز	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵
	افت وزنی در سولفات (%)	<۴	۴-۸	۸-۱۶	۱۶-۲۰	>۲۰
	امتیاز	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵
جمع امتیازات		۸۰-۱۰۰	۶۰-۸۰	۴۰-۶۰	۲۰-۴۰	۰-۲۰

جدول ۱۷. محدوده تغییرات پارامترها برای هر رده در سنگ‌های آهکی - ماسه‌سنگی (وزارت راه و ترابری ۱۳۸۸)

گروه	توصیف	درصد جذب آب (%)	شاخص بار نقطه‌ای خشک (مگاپاسکال)	مقاومت تک-محوری خشک (مگاپاسکال)	شاخص دوام (سیکل)	افت وزنی (۱۰ سیکل)	ارزش ضربه	سایش لس آنجلس (%)
E	خیلی ضعیف	>۱۸	<۱	<۸	<۸۰	>۲۰	>۴۵	>۶۵
D	ضعیف	۱۲-۱۸	۱-۲	۸-۲۰	۸۰-۸۵	۱۶-۲۰	۳۵-۴۵	۵۰-۶۵
C	متوسط	۶-۱۲	۲-۳	۲۰-۴۰	۸۵-۹۰	۸-۱۶	۲۰-۳۵	۳۵-۵۰
B	مقاوم	۳-۶	۳-۴	۴۰-۵۵	۹۰-۹۵	۴-۸	۱۰-۲۰	۲۵-۳۵
A	خیلی مقاوم	>۳	>۴	>۵۵	>۹۵	<۴	<۱۰	<۲۵

نحوه امتیازدهی به پارامترها در رده‌های A تا E برای سنگ‌های لوماشل در جدول ۱۸ ارایه شده است. در جدول ۱۹ محدوده تغییرات پارامترها برای هر رده در سنگ‌های لوماشل ارایه شده است.

جدول ۱۸. نحوه امتیازدهی به پارامترها در رده‌های A تا E برای سنگ‌های لوماشل (وزارت راه و ترابری ۱۳۸۸)

پارامترها	رده				
	A	B	C	D	E
جذب آب (%)	<۶	۶-۱۲	۱۲-۱۸	۱۸-۲۴	>۲۴
فیزیکی دانسیته (گرم بر سانتی متر مکعب)	>۲/۱	۱/۹-۲/۱	۱/۷-۱/۹	۱/۵-۱/۷	<۱/۵
امتیاز	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵
مقاومتی شاخص بار نقطه‌ای (مگاپاسکال)	>۴	۲/۵-۴	۱/۵-۲/۵	۱-۱/۵	<۱
مقاومت تک‌محوری (مگاپاسکال)	>۴۰	۲۵-۴۰	۱۰-۲۵	۷-۱۰	<۷
امتیاز	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵
ارزش ضربه‌ای (%)	<۱۵	۱۵-۳۰	۳۰-۴۵	۴۵-۶۰	>۶۰
دوام‌داری مکانیکی شاخص دوام (سیکل) (%)	>۹۰	۸۵-۹۰	۷۵-۸۵	۶۵-۷۵	<۶۵
سایش لس آنجلس (%)	<۳۰	۳۰-۴۵	۴۵-۶۰	۶۰-۷۵	>۷۵
امتیاز	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵
دوام شیمیایی افت وزنی در سولفات (%)	<۱۰	۱۰-۱۴	۱۴-۱۸	۱۸-۲۲	>۲۲
امتیاز	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵
جمع امتیازات	۸۰-۱۰۰	۶۰-۸۰	۴۰-۶۰	۲۰-۴۰	۰-۲۰

جدول ۱۹. محدوده تغییرات پارامترها برای هر رده در سنگ‌های لوماشل (وزارت راه و ترابری ۱۳۸۸)

گروه	توصیف	درصد جذب آب (%)	شاخص بار نقطه‌ای خشک (مگاپاسکال)	مقاومت تک‌محوری خشک (مگاپاسکال)	شاخص بار نقطه‌ای خشک (مگاپاسکال)	مقاومت تک‌محوری خشک (مگاپاسکال)	شاخص بار نقطه‌ای خشک (مگاپاسکال)	افت وزنی (%)	ارزش ضربه	سایش لس آنجلس (%)
E	خیلی ضعیف	>۲۴	<۱	<۷	<۱	<۷	<۱	>۲۲	>۶۰	>۷۵
D	ضعیف	۱۸-۲۴	۱/۵-۱/۷	۷-۱۰	۱-۱/۵	۷-۱۰	۱-۱/۵	۱۸-۲۲	۴۵-۶۰	۶۰-۷۵
C	متوسط	۱۲-۱۸	۱/۷-۱/۹	۱۰-۲۵	۱/۵-۲/۵	۱۰-۲۵	۱/۵-۲/۵	۱۴-۱۸	۳۰-۴۵	۴۵-۶۰
B	مقاوم	۶-۱۲	۱/۹-۲/۱	۲۵-۴۰	۲-۵-۴	۲۵-۴۰	۲-۵-۴	۱۰-۱۴	۱۵-۳۰	۳۰-۴۵
A	خیلی مقاوم	>۶	>۲/۱	>۴۰	>۴	>۴۰	>۴	<۱۰	<۱۵	<۳۰

نحوه امتیازدهی به پارامترها در رده‌های A تا D برای سنگ‌های آذرین در جدول ۲۰ نشان داده شده است. همچنین در جدول ۲۱

محدوده تغییرات پارامترها برای هر رده در سنگ‌های آذرین ارائه شده است.

جدول ۲۰. نحوه امتیازدهی به پارامترها در رده‌های A تا D برای سنگ‌های آذرین (وزارت راه و ترابری ۱۳۸۸)

پارامترها	رده				خصوصیات
	A	B	C	D	
فیزیکی	<۱	۱-۲	۲-۴	>۴	جذب آب (%)
	>۲/۶	۲/۴-۲/۶	۲/۲-۲/۴	<۲/۲	دانسیته (گرم بر سانتی متر مکعب)
مقاومتی	۲۵	۲۰	۱۵	۵	امتیاز
	>۱۰	۷-۱۰	۴-۷	<۴	شاخص بار نقطه‌ای (مگاپاسکال)
	>۱۵۰	۱۰۰-۱۵۰	۵۰-۱۰۰	<۵۰	مقاومت تک‌محوری (مگاپاسکال)
	۲۵	۲۰	۱۵	۵	امتیاز
دوام‌داری مکانیکی	<۵	۵-۱۰	۱۰-۱۵	>۱۵	ارزش ضربه‌ای (%)
	>۹۹	۹۸-۹۹	۹۷-۹۸	<۹۷	شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)
	<۱۲	۱۲-۱۶	۱۶-۲۰	>۲۰	سایش لس آنجلس (%)
	۲۵	۲۰	۱۵	۵	امتیاز
دوام شیمیایی	<۱	۱-۲	۲-۵	>۵	افت وزنی در سولفات (%)
	۲۵	۲۰	۱۵	۵	امتیاز
	۸۰-۱۰۰	۶۰-۸۰	۴۰-۶۰	۰-۲۰	جمع امتیازات

جدول ۲۱. محدوده تغییرات پارامترها برای هر رده در سنگ‌های آذرین (وزارت راه و ترابری ۱۳۸۸)

گروه	توصیف	درصد جذب آب (%)	شاخص بار نقطه‌ای خشک (مگاپاسکال)	مقاومت تک‌محوری خشک (مگاپاسکال)	شاخص بار نقطه‌ای خشک (مگاپاسکال)	مقاومت تک‌محوری خشک (مگاپاسکال)	افت وزنی (سیکل)	ارزش ضربه آنجلس (%)	سایش لس آنجلس (%)
D	ضعیف	>۴	<۲/۲	<۴	<۵۰	<۹۷	>۵	>۱۵	>۲۰
C	متوسط	۲-۴	۲/۲-۲/۴	۴-۷	۵۰-۱۰۰	۹۷-۹۸	۲-۵	۱۰-۱۵	۱۶-۲۰
B	مقاوم	۱-۲	۲/۴-۲/۶	۷-۱۰	۱۰۰-۱۵۰	۹۸-۹۹	۱-۲	۵-۱۰	۱۲-۱۶
A	خیلی مقاوم	>۱	>۲/۶	>۱۰	>۱۵۰	>۹۹	<۱	<۵	<۱۲

معیارهای مقادیر حدی پارامترهای مختلف در جدول ۲۲ نشان داده شده است.

جدول ۲۲. معیارهای مقادیر حدی پارامترهای مختلف (وزارت راه و ترابری ۱۳۸۸)

آزمایش	حداکثر جذب (%)	حداقل شاخص بار نقطه‌ای خشک (مگاپاسکال)	حداقل مقاومت تراکمی خشک (مگاپاسکال)	حداکثر سایش لس آنجلس (%)	حداکثر افت وزنی (%)	سلامت سنگ (%)	شاخص دوام (%)	نام سنگ
سنگ لوماشل	۲۱	۱/۶	۸	۶۰	۴۵	۲۰	۷۰	
سنگ آهکی- ماسه‌سنگی	۱۵	۱/۷	۱۴	۵۰	۳۵	۱۸	۸۰	
سنگ آذرین	۶	۲/۳	۵۰	۳۰	۱۵	۷	۹۰	

(1983)، (BS (2000)، (OCDI (2002)، NEN 5180 و جلالی (۱۳۶۹) به صورت حدی بیان شده اند. از جمله معایب رده‌بندی‌های موجود به جز رده‌بندی تلخابلو (۱۳۸۶) و پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری (۱۳۸۸)، این است که سنگ‌ها بر اساس چند مشخصه اصلی رده‌بندی می‌شوند و وزن و اهمیت دیگر خصوصیات آن در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین ممکن است یک نمونه از نظر چند مشخصه در گروه خوب قرار گیرد و از نظر یک یا دو مشخصه، در گروه متوسط رده بندی شود. همچنین در این رده بندی‌ها، طبقه بندی بر اساس نوع سنگ انجام نمی‌شود، بلکه برای انواع سنگ‌ها یک رده بندی ارائه می‌شود. همانگونه که از رده‌بندی‌های مختلف قابل مشاهده است هر یک از معیارهای ارائه شده برای یک نوع سنگ خاص یا محدوده جغرافیایی خاص تعریف و کاربردی شده است. معیارهای پیشنهادی (Wakeling (1977 و Pool et al (1983) برای یک نوع سنگ خاص و یا محدوده

ارزیابی کیفیت و مرغوبیت سنگ‌ها برای انتخاب و استفاده در سازه‌های ساحلی و دریایی دارای ضوابط و استانداردهای متعددی است که برخی از آن‌ها توسط محققان کشورهای مختلف پیشنهاد شده و برخی دیگر به صورت آیین نامه، تدوین شده است. این مقاله به معرفی معیارهای پیشنهادی آیین نامه‌های کاربرد سنگ در موج شکن‌ها و سازه‌های حفاظت داخلی و خارج از کشور پرداخته است. معیار انتخاب و کاربرد سنگ در کارهای دریایی بر اساس دو روش رده‌بندی امتیازدهی و روش مقادیر حدی انجام می‌شود. در بین معیارهای ارائه شده، معیارهای (EN 13383, CUR (2000)، ناصحی (۱۳۷۶)، نیکودل (۱۳۶۹)، امینی مزرعه نو (۱۳۸۵)، تلخابلو (۱۳۸۶) و راهنمای پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری (۱۳۸۸) به رده بندی سنگ‌ها پرداخته‌اند. در روش رده بندی، امکان مقایسه بین سنگ‌های مختلف و انتخاب گزینه مناسب‌تر وجود دارد. سایر معیارها شامل (Wakeling (1977، Pool et al

اند. سنگ‌های گروه ضعیف در این طبقه‌بندی جهت لایه حفاظ مناسب نیستند، در مورد سنگ‌های گروه متوسط نیز پیشنهاد می‌شود که در حد جزر و مدی که به طور متناوب خشک و مرطوب می‌گردند 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 شده‌اند 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 می‌شود. معیارهای پیشنهادی پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری (۱۳۸۸)، برای سنگ‌های آذرین اختلاف زیادی با سایر معیارهای انتخاب سنگ ندارند، اما در بخش سنگ‌های آهکی بخصوص لوماشل معیار پیشنهادی با سایر معیارها اختلاف زیادی دارد. معیار رده بندی پیشنهادی برای سنگ‌های آذرین و آهکی تقریباً مشابه با رده بندی CUR است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله به معرفی معیارهای داخلی و خارجی در ارتباط با استفاده از مصالح سنگی در موج شکن‌ها و سازه‌های ساحلی پرداخته شده و کاربرد این معیارها را بر اساس محل جغرافیایی و نوع مصالح ارایه می‌نماید. با توجه به اینکه پارامترهای سنگ شناسی و شرایط محیطی و جغرافیایی کشور ایران با سایر کشورها متفاوت بوده و استفاده از معیار آنها سازگاری مناسبی با شرایط محیطی ایران ندارد. محققان در سال‌های اخیر بر این تلاش بوده‌اند که مناسب‌ترین معیار را معرفی نمایند. با توجه به این مهم و تجربیات به دست آمده در مطالعات پیشین در استفاده از آیین نامه‌های خارجی می‌توان بیان نمود که معیارهای داخلی ارایه شده کارایی نسبتاً بهتری را دارا می‌باشند. معیارهای داخلی بر اساس آزمایش‌های انجام شده روی نمونه‌های معدنی و نمونه‌های برداشت شده از موج شکن‌ها و همچنین بر اساس شرایط محیطی و اقتصادی ایران تعریف شده‌اند. معیارهای موجود بر اساس اهمیت و کارایی به ترتیب در ذیل ارایه شده‌اند:

۱- معیار پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری (۱۳۸۸) مناسب‌ترین معیار بوده زیرا در برگیرنده معیارهای مختص به هر نوع سنگ می‌باشد و با انجام آزمایش بر روی مصالح طبیعی کشور تدوین شده است.

خاصی تعریف نشده و به صورت کلی می‌باشد. معیارهای ارایه شده در آیین نامه‌های انگلستان، ژاپن و هلند برای یک محدوده خاص که منحصر به کشورشان می‌باشد ارایه گردیده است. معیارهای (2000) CUR و EN 13383 به ترتیب برای تمام نقاط دنیا و اتحادیه اروپا ارایه شده‌اند و برگرفته از معیارهای ارایه شده توسط محققین و سازمان‌های مختلف از سراسر دنیا می‌باشد. همچنین همه معیارهای ارایه شده توسط محققین داخل کشور در ارتباط با موج شکن‌ها و سازه‌های حفاظتی محدوده سواحل خلیج فارس و دریای عمان ارایه می‌باشد. معیار جلالی (۱۳۶۹) و معیار نیکودل (۱۳۶۹) بر مبنای مطالعه روی سنگ‌های آذرین گنبد نمکی گچین بوده و معیار آنها مناسب برای رده سنگ‌های آذرین می‌باشد. ناصحی (۱۳۷۶) مطالعات خود را بر روی سنگ‌های رسوبی در منطقه چابهار انجام داده و تنها برای این نوع سنگ‌ها کاربرد دارد. با توجه به اینکه تحقیقات امینی مزرعه نو (۱۳۸۵)، تلخابلو (۱۳۸۶) و پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری (۱۳۸۸) بر روی سواحل جنوبی کشور متمرکز می‌باشد، و در این مناطق فقط سنگ‌های رسوبی و آذرین در ساخت سازه‌های ساحلی به کار گرفته شده‌اند، معیارهای ارایه شده تنها برای این نوع سنگ‌ها به کار می‌رود. امینی مزرعه نو (۱۳۸۵) معیار خود را به صورت کلی برای هر نوع سنگی ارایه نموده است. در حالی که تلخابلو (۱۳۸۶) به صورت تفکیک شده بر مبنای جنس سنگ، معیارهایی را برای سنگ‌های رسوبی (آهکی و لوماشل) و سنگ آذرین ارایه نموده است. در حال حاضر کاملترین رده بندی که مناسب برای کشور ایران می‌باشد، رده بندی پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری (۱۳۸۸) می‌باشد. این رده بندی بر مبنای مطالعات پیشین و مطالعات جدید خود، سه معیار تفکیک شده برای سنگ‌های آهکی-ماسه سنگ، لوماشل و سنگ آذرین ارایه نموده است. عمده تفاوت معیارهای تلخابلو (۱۳۸۶) و پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری (۱۳۸۸) به استفاده از توصیفات زمین شناسی در رده بندی مرتبط می‌گردد، به گونه‌ای که تلخابلو (۱۳۸۶) از توصیفات زمین شناسی به صورت مستقیم در رده بندی استفاده نموده و آنها را در سیستم امتیازدهی لحاظ نموده است. اما معیار پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری (۱۳۸۸) پارامترهای زمین شناسی را نادیده و یا به صورت غیرمستقیم لحاظ نموده است.

در معیار پیشنهادی پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری (۱۳۸۸)، برای سنگ‌های آذرین، این سنگ‌ها به چهار گروه ضعیف، متوسط، مقاوم و خیلی مقاوم تقسیم شده

سواحل جنوبی ایران، رساله دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.

-جلالی، ح.، (۱۳۶۹)، "اهمیت دوام سنگ در پایداری موج‌شکن‌های سنگریزه‌ای"، اولین کنفرانس بین‌المللی بندر سازی و سازه‌های دریایی، جلد دوم، تهران خرداد.

-حسنلی، ح.ر.، (۱۳۸۳)، "ارزیابی عملکرد موج‌شکن‌های توده‌سنگی سواحل شمالی خلیج فارس (استان بوشهر)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های دریایی، دانشکده فنی، دانشگاه تربیت مدرس.

-حسینی، ر.، (۱۳۸۵)، "ارزیابی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی سنگهای زیست‌تخریبی (لوماشل جهت استفاده در سازه‌های سنگی دریایی و ارزیابی روش بهسازی آنها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.

-ناصری، ع.ر.، (۱۳۶۶)، "تعیین معیارهای مناسب برای کاربرد سنگ در احداث سازه‌های دریایی جنوب شرق ایران (چابهار)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.

-نیکودل، م.ر.، (۱۳۶۹)، "مطالعه معیارهای شناخت زوال‌پذیری سنگ"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.

-وزارت راه و ترابری، (۱۳۸۸)، "آئین‌نامه کاربرد سنگ در موج‌شکن‌ها و سازه‌های حفاظت، مرکز نشر پژوهشکده حمل و نقل.

-British Standard, (2000), "BS 6349-Martime structures, Part 1: Code of practice for general criteria.

-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.

-Clark, A.R., (1988), "The use of portland stone rock armour in coastal protection and sea defense works", Quaterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, London, Vol.2, pp. 113-136.

-DePuy, G., (1965), "Petrographic investigations of rock durability and

۲-معیار تلخابلو (۱۳۸۶) به عنوان پایه معیار پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری (۱۳۸۸) بوده و در رده بندی خود از پارامترهای زمین‌شناسی نیز استفاده کرده است.

۳-معیار امینی مزرعه نو (۱۳۸۵) برای سنگ‌های سواحل جنوبی ایران بوده و به صورت رده بندی همه سنگ‌ها را در بر می‌گیرد.

۴-معیار نیکودل (۱۳۶۹) به صورت رده بندی بوده و برای سنگ‌های آذرین گنبد نمکی گچین ارایه گردیده است.

۵-معیار ناصحی (۱۳۷۶) برای سنگ‌های ایران و در محدوده چابهار بر روی سنگ‌های رسوبی آن منطقه ارایه شده است.

۶-معیار جلالی (۱۳۶۹) اگر چه بر روی سنگ‌های آذرین منطقه گچین بوده ولی به صورت حدی و محدود می‌باشد.

۷-رده‌بندی (2000) CUR معیار رده بندی کلی است که برای کل دنیا ارایه شده است و مجموعه تعداد زیادی از آزمایش‌ها را در بر می‌گیرد.

۸-رده‌بندی EN13383, OCIDI (2002), BS (2000), Waking و Poole et al (1983), NEN 5180 (2004) (1977) در رده آخر و نامناسب قرار می‌گیرند. دلیل این امر مختص بودن هر رده بندی به یک منطقه جغرافیایی خاص و همچنین حدی بودن یا فاقد وزن دهی در معیارها می‌باشد.

۶- سپاسگزاری

این تحقیق با کمک مالی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی انجام شد که بدینوسیله از آنها تشکر و قدردانی می‌شود.

۷- پی‌نوشت‌ها

1- CIRIA: Construction Industry Research and Information Association.
2-CUR: the Netherlands Centre for Civil. Engineering Research and Codes.

۸-مراجع

-امینی مزرعه‌نو، م.، (۱۳۸۵)، "ارزیابی عملکرد سنگ در موج‌شکن‌های توده‌سنگی سواحل شمالی خلیج فارس"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.

-تلخابلو، م.، (۱۳۸۶)، "ارزیابی ویژگی‌های مهندسی سنگها و ارایه معیارهای مناسب جهت کاربرد در سازه‌های دریایی-

- NEN 5180, (2004), "Nederlands Norm, NEN, Septamber 1990", NEN 5180-5186 broken rock: term, definations demands and tests.
- OCDI. (2002), "Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan", The Overseas Coastal Area Development Institute, Japan.
- Poole, A.B., Fookes, P.G., Dibb, T.E. and Hughes, D.W., (1983), "Dibb T E and Hughes D W. Durability of rock in breakwaters", Proc Conf Breakwaters- design and construction ICE, pp. 31-42.
- Wakeling, H., (1977), "The design of rubble mound breakwaters. Paper presented at the Symp. Design of Rubble Mound Breakwaters", Experimental and Electronic Laboratories, British Hovercraft Corporation, Isle of Wight.
- coMParisons of various test procedures". Bulletin of the American Association of Engineering Geologists, 2, pp.31-46.
- EN13383-1, 2, (2002), "Armourstone specifications", Test methods, Euronorms.
- Fookes, P. and Poole, A., (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 and Hydrogeology, 14(2): pp.97-128.
- Fookes, P., Gourley, C. and Ohikere, C. (1988), "Rock weathering in engineering time. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 21(1): pp.33-57.
- Lienhart, D., (1998), "Rock engineering rating system for assessing the suitability of armourstone sources", Engineering Geology, 86, pp.122-140.
- Lienhart, D. and Stransky, T.E., (1981), "Evaluation of the potential sources of rip-rap and armourstone methods and considerations", Bulliten Association of Engineering Geology, 18, pp.323-332.

Evaluation of Material Durability Criteria on Rubble Mound Breakwaters

Iraj Rahmani, Assistant Professor, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran.

Erfan Sadeghi, Research Expert, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran.

*Mohammad Reza Nikudel, Associate Professor, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
Ata Aghaei Araie, Assistant Professor, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran.*

E-mail: I.Rahmani@bhrc.ac.ir

Received: June 2020-Accepted: July 2020

ABSTRACT

Various standards and criteria are existed regarding rubble mound breakwaters. Based on engineering material properties used each of them have own classification. Where as these types of breakwaters are mainly made by rock material, knowing their engineering properties such as durability and deterioration and destruction against predominant condition in marine environments is vital in order to preparation of proper classification system. Iranian rubble mound breakwaters in Persian Gulf, Oman Sea and Caspian Sea are mainly designed and made based on regulations, standards and criteria of other countries such as, America, Britain, Japan and Netherland. Using of these standards caused limitations such as the mismatch of the selected stone with the given standards and operating costs are increased. This paper introduces national and international criteria in order to select rock used in break waters. In the following with Concentration, on national criteria, most important indexes of these criteria presented for each type of stone.

Keywords: Break Water, Classification Criteria, Rock Material, Caspian Sea, Persian Gulf, Oman Sea