پیشنهاد معیار جدید رده‌بندی و امتیازدهی سنگ‌های رسوبی و ارزیابی معادن جهت احداث موج‌شکن‌های جنوب ایران

محمدمهدی پاردسوئی

۱- دانشجوی دکتری، شرکت مهندسین مشاور هندسه پارس، ایران

m.m.pardsouie@gmail.com

یکی از روش‌های معمول ساخت موج‌شکن‌ها در ایران، استفاده از سازه‌های توده سنگی است. عمده سنگ‌های موجود در جنوب کشور ایران از نوع رسوبی (آهکی، ماسه‌سنگ و لوماشل) است. بیشتر آیین‌نامه‌های مدون در خصوص کاربرد سنگ در سازه‌های محافظ هیدرولیکی کشورهای دیگر باتوجه‌به دردسترس‌بودن و فراوانی سنگ‌های آذرین و همچنین وضعیت زمین‌شناسی متفاوت، دارای معیارهایی هستند که بیشتر منطبق بر این گونه سنگ‌ها است. در سال ۱۳۸۸ آیین‌نامه کاربرد سنگ در موج‌شکن‌ها و سازه‌های حفاظت تهیه گردید تا باتوجه‌به فقر شدید سنگ‌های مطلوب در جنوب ایران، معیاری مدون جهت بررسی کیفی و حین ساخت ارائه دهد. علی‌رغم ابلاغ این آیین‌نامه همچنان کیفیت ساخت در عمده سازه‌های توده سنگی مطلوب نیست که از دلایل آن می‌توان به فراوانی بسیار زیاد کانی‌های مضر رسی در محدوده عمق قابل‌استخراج سازندهای موجود، ناهمگونی زیاد در کیفیت سنگ استخراجی، تطویل عمر سازه‌های احداثی بیش از مفروضات اولیه طراحی، عدم کفایت معیارهای موجود در میان‌مدت و بلندمدت و به‌صورت کلی اثر غالب کانی‌شناسی بر عملکرد کلی سنگ‌های رسوبی در سازه‌های توده سنگی اشاره کرد. با عنایت به موارد مذکور در این نوشتار یک معیار جدید جهت رده‌بندی و امتیازدهی سنگ‌های رسوبی پیشنهاد گردیده است.

کلمات کلیدی: آرمور، فیلتر، موج‌شکن، سنگ رسوبی، رده‌بندی، توده سنگی

۱. مقدمه

یکی از معمول ترین روش های ساخت موج شکن ها و سازه های حفاظت ساحلی استفاده از سازه های توده سنگی می باشد. این سازه ها علاوه بر پایداری مطلوب و هزینه اقتصادی مناسب در صورت رعایت نکات فنی، یکی از بهترین گزینه ها جهت ساخت بنادر و همچنین استحصال دریایی می باشند. عمده سازه های حفاظت ساحلی ساخته شده در جنوب و شمال ایران از نوع توده سنگی است. با توجه به فقر شدید جنوب ایران از لحاظ سنگ های مطلوب ، متاسفانه اکثر سازه های ساخته شده دچار زوال زود هنگام شده و در نتیجه عملکرد میان مدت و بلند مدت آن ها در هاله ای از ابهام قرار دارد. علاوه بر مشکلات طراحی، عامل اصلی تخریب زودهنگام این سازه ها، استفاده از سنگ های آهکی، ماسه سنگی و لوماشل ضعیف و نامطلوب از نظر مشخصات مهندسی است. با توجه به تنوع خصوصیات زمین شناسی در مناطق مختلف، هرکشور بسته به شرایط خود اقدام به تدوین آیین نامه ها و مقرراتی در خصوص احداث سازه های دریایی کرده است. عمده سازه های حفاظت دریایی احداث شده در بیشتر قسمت های اروپا و آمریکا، ساخته شده از سنگ های آذرین می باشد و از این رو معیار های آیین نامه ای تدوین شده در این کشور ها عمدتاً بر همین اساس است. در صورت به کار بردن این معیار ها جهت سنگ های آهکی و لوماشلی موجود در جنوب ایران، عمده این سنگ ها در دسته نامطلوب قرار گرفته و عمدتاً قابل استفاده در هیچ یک از قسمت های سازه حفاظت دریایی نیستند. شکل ۱ مقایسه ای از معیار های امتیاز دهی و پذیرش چندین آیین نامه و مقالات منتشره را نشان می دهد. به همین جهت در سال ۱۳۸۸ آیین نامه "کاربرد سنگ در موج شکن ها و سازه های حفاظت" [۱] با پشتیبانی پژوهشکده حمل و نقل تدوین گردید. علیرغم تدوین آیین نامه مربوطه از سال ۱۳۸۸ در کشور به منظور در دسترس بودن معیار مناسب و مدون جهت انتخاب صحیح معادن و مضافاً کنترل کیفی و مستمر کارگاهی، همچنان شرایط مطلوبی در ساخت و ساز های انجام شده در جنوب کشور وجود ندارد. یکی از دلایل مهم در ضعف سازه های موجود تغییرات بسیار وسیع در نوع و مشخصات مهندسی سنگ های استخراجی از سازند های موجود در معادن استخراج سنگ اشاره کرد. علیرغم عملکرد مطلوب سنگ های رسوبی در ناحیه غرقابی و تاج [۲-۴]، در ناحیه شیبدار کشندی و فراکشندی که مصالح آرمور در معرض سیکل مداوم تر و خشک هستند، انواع تخریب

ها شامل: شکستگی و قطعه قطعه شدن، به وجود ترک های پیشرونده و عمیق در لایه های آرمور و فیلتر، ناپایدرای و جابه جایی و فرسایش رویه لایه آرمور مشاهده می گردد. به عقیده نگارنده این نوشتار بازبینی در آزمایشات ارائه شده در آیین نامه "کاربرد سنگ در موج شکن ها و سازه های حفاظت" و اتخاذ روندی سختگیرانه تر در فرآیند مطالعات اولیه و آزمایشات مستمر دوره ای می تواند در بهبود کیفیت سازه های در حال ساخت و همچنین سازه های تحت مطالعات اولیه کارساز باشد. در این نوشتار بر اساس تجربیات گذشته و همچنین مقالات منتشره در سال های اخیر، معیار رده بندی و امتیاز دهی جدیدی مطابق با کاربرد سنگ در موج شکن ها و سازه های حفاظت" [۱] ارائه گردیده است.

پژوهشگر		دانسیته خشک (t/m3)	جذب آب (٪)	سایش لس آنجلس در ۵۰۰ دور (٪)	ارزش ضربه (٪)	افت وزنی در سولفات (٪)
Wakeling (1977)		>۲/٦	<۳	–	<۳۰	<۱۸
Poole et al, (1984)		>۲/٦	<۲/٥	_	<۱٦	<۱۲
Lutton(1991) (نقل از D)		>۲/٦	<۱/۲	<۳٥	–	<۲
BS (1989)		>۲/٦	<۳	<۱۸	<۳۰	<۱۸
جلالی (۱۳٦۹)		>۲/٥	<۳	<۱۸	<۱۲	–
CIRIA\CUR (2000)	عالی	>۲/۹	<.۰٥	_	_	<۲
	خوب	۲/٦–۲/۹	۲–.۰٥	_	_	۲–۱۲
	متوسط	۲/۳–۲/٦	٦–۲	_	_	۱۲–۲۰
	ضعیف	<۲/۳	>٦	_	_	>۲۰
نیکودل (۱۳٦۹)	امتیاز خیلی بالا	>۲/۷	<۱	<۱۰	<۱۰	<۱
	امتیاز بالا	۲/٥–۲/۷	۱–۲/٥	۱۰–۱٤	۱۰–۱۳	۱–۲
	امتیاز متوسط	۲/۳–۲/٥	۲/٥–٤	۱٤–۱۸	۱۳–۱٥	۲–۳
	امتیاز کم	۲/۱–۲/۳	٤–٦	۱۸–۲٤	۱٥–۱۸	۳–٥
	امتیاز خیلی کم	<۲/۱	>٦	>۲٤	>۱۸	>٥
ناصحی (۱۳۷٦)	عالی	> ۲/۷	<۱	<۱۰	<۱۰	>۲
	خوب	۲/٥ – ۲/۷	۱/۳	۱۰–۱٥	۱۰–۱۲	۲–٥
	متوسط	۲/۲ – ۲/٥	۳/٦	۱٥–۲۰	۱۲–۱۸	٥–۱۲
	ضعیف	۱/۹ –۲/۲	٦/۱۰	۲۰–۳۰	۱۸–۲٥	۱۲–۱٥
	بسیار ضعیف	< ۱/۹	> ۱۰	> ۳۰	> ۲٥	>۱٥

شکل ۱: طبقه‌بندی آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی و دوام داری بر اساس آیین‌نامه‌ها و مقالات منتشره [۲]

۲. عوامل مؤثر بر عملکرد و زوال لایه‌های محافظ در سازه‌های دریایی در میان‌مدت و بلندمدت

یکی از پارامترهای مهم در تعیین کیفیت سرویس‌دهی سازه‌های دریایی در طول عمر در نظر گرفته شده برای آن در میان‌مدت و بلندمدت، دوام و پایداری لایه‌های محافظ در این سازه‌ها است. کاهش میزان سطح پایداری باگذشت زمان در نتیجه فعل‌وانفعالات شیمیایی کانی‌های سازنده سنگ و همچنین فرسایش مکانیکی ناشی از شرایط محیطی، در سازه‌های دریایی امری اجتناب‌ناپذیر است. هدف اصلی تمام آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های نگاشته شده تاکنون کنترل محدوده زوال و خرابی در بازه‌ای قابل‌قبول است. زوال لایه محافظ به‌صورت سایش یا گرد گوشه شدن لایه آرمور، پوسته‌پوسته شدن رویه سنگ و زوال پیش‌رونده در سنگ‌های لایه آرمور و فیلتر، ایجاد حفرات ریزودرشت در بافت سنگ به‌خصوص در ناحیه کشندی و فراکشندی سازه توده سنگی که در معرض سیکل تر و خشک‌شدن مداوم قرار دارد، فرورفتن لایه آرمور در لایه فیلتر به‌خاطر ضعف مقاومتی، فرورفتن لایه‌های محافظ در مغزه به‌خاطر شسته شدن یا عدم توانایی تحمل وزن وارده خصوصاً در زمان طوفان‌های دریایی و موسمی، نشست و در هم فروریختن لایه‌های محافظ ناشی از نشست و یا زوال مقاومتی سنگ‌های قسمت مدفون از جمله عوامل خرابی‌های جزئی و کلی سازه‌های توده سنگی هستند. علاوه بر کنترل‌های آیین‌نامه‌ای طراحی سازه‌ای و مضافاً پایش مداوم فرایند استخراج و استقرار و چینش این مصالح، کنترل خصوصیات فیزیکی - شیمیایی سنگ‌های مورداستفاده از اهمیت بسیار ویژه‌ای در سنگ‌های رسوبی برخوردار است.

۳. ساختار زمین‌شناسی و کانی‌شناسی منطقه جنوب کشور

سواحل جنوبی ایران از لحاظ تقسیم‌بندی واحدهای زمین ساختاری در دو زون زاگرس چین‌خورده و مکران قرار می‌گیرد. زاگرس چین‌خورده از توالی رسوبی ضخیمی تشکیل شده است که مربوط به دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک است. عمده سازندهای رخنمون یافته در این زون شامل گروه فارس

متشکل از سازندهای گچساران، میشان و آغاجاری با سن میوسن و سازند بختیاری با سن میوپلیوسن است. در کنار این سازنده‌ها، پدیده دیاپیریسم یا بالاآمدگی گنبدهای نمکی متعلق به اینفراکامبرین همانند گنبد نمکی گچین که نهشته‌های سازند هرمز را همراه سنگ‌های آذرین به سطح آورده‌اند دیده می‌شود. مکران ساحلی که در نوار ساحلی جنوب شرقی ایران واقع گردیده است به‌صورت کمربندی از خاور خلیج‌فارس (گسل میناب) شروع و تا شمال سواحل اقیانوس هند در پاکستان امتدادیافته است. چینه‌شناسی عمومی منطقه دربرگیرنده واحدهای سنگی دوران سوم و کواترنر است که از لحاظ لیتولوژی از واحدهای سنگی مارنی در قاعده و تناوبی از مارن، مارن سیلتی با سنگ‌های زیستی تخریبی (لوماشل)، ماسه‌سنگ و میان‌لایه‌های میکروبرشی و کنگلومرایی تشکیل شده است [۵]. همانطور که مشاهده می گردد سنگ های مارنی در تمام سازندهای ذکر شده حضور پر رنگی دارند.

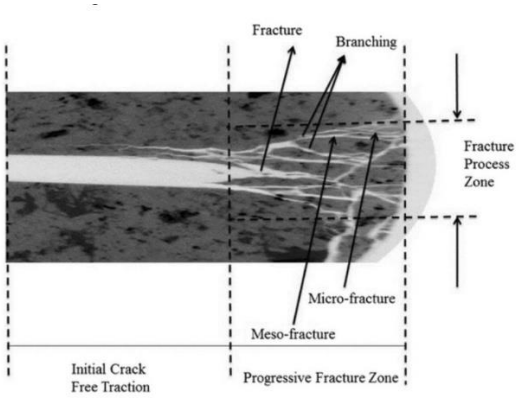
سنگ های رسوبی بر اساس آیین نامه کاربرد سنگ در موج شکن ها به دو گروه کلی سنگ های آهکی و ماسه سنگی و سنگ های لوماشل تقسیم شده اند. سنگ های رسوبی با منشا تشکیل دهنده آلی که فسیل موجودات در ساختار آن ها وجود داشته باشد نسبت به سنگ های کربناته دیگر دارای مقاومت و کیفیت کمتری می باشند [۶]. در سنگهای کربناته افزایش سن معمولا سبب بهبود تمامی پارامترهای مهندسی می گردد. البته در کنار سن، محیط رسوبی نیز تأثیرگذار بوده به نحوی که نمونه سنگهای با سن جدیدتر عمدتا در محیطهای ساحلی تشکیل شده اند و نمونه های قدیمی تر در محیط های عمیق تر همچون دریای باز تهنشست یافته اند[۵]. در نمونه های رسوبی تخریبی همچون ماسه سنگ علیرغم سن پایین دارای خصوصیات مهندسی قابل قبولی در حد سنگ های کربناته با سن بیشتر می باشند و دلیل این امر تفاوت در ترکیب کانیهای تشکیل دهنده سنگ می باشد. به طور کلی مشخصات مهندسی سنگ های آهکی بهتر از سنگهای زیست تخریبی (لوماشل) است و سنگهای لوماشل علیرغم روند کلی بهبود خصوصیات مهندسی با افزایش سن، اما در درصدی از موارد از این روند کلی تبعیت نمی کنند. سنگ های لوماشلی بندر کنارک به نسبت سن بیشتر از هفت بندر دیگر با سن کمتر اما دارای خصوصیات مهندسی ضعیف تری هستند. دلیل این امر کمتر بودن ضخامت روباره و فقدان رسوبات جدیدتر می باشد[۵]. شکل ۲ نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی تعدادی از موج‌شکن‌های جنوب کشور را نشان می دهد.

ردیف	نام موج شکن	دانسیته خشک (gr/cm³)	دانسیته اشباع (gr/cm³)	وزن مخصوص	جذب آب (٪)	تخلخل (٪)	مقاومت بارنقطه ای (MPa)	مقاومت کششی برزیلین (MPa)	مقاومت فشاری تک محوری (MPa)	ارزش ضربه‌ای ٪	شاخص دوام ٪	سلامت سنگ ٪	سایش لس آنجلس ٪
۱	بندر کنگ	۱/۷۲	۱/۸۵	۲/۰۱	۷/۶	۱۳/۳	۱/۴	۲/۴۵	۷/۲۰	۳۸	۹۲/۲۰	۱۲/۵۵	۵۲/۶۰
۲	بندر لنگه	۱/۹۲	۲/۱۱	۲/۴۲	۹/۸	۱۹/۳	۱/۲	۰/۳۱	۸/۱۰	۴۱/۶۶	۹۱/۷۰	۱/۴۵	–
۳	بندر رمین	۱/۸	۲/۱۲	۲/۷۱	۱۷/۶	۳۲/۲	۱/۶	۰/۱۵	۱۲/۳۰	۴۶/۶۰	۹۴/۷۰	۴/۱۷	–
۴	بندر بوالخیر	۱/۵۹	۱/۶۴	۲/۴۵	۱۵/۷	۲۷/۹۳	۱/۵۱	۰/۲۳	۵/۹۰	۴۰/۴۰	۹۰/۸۴	۵/۳۰	۶۱/۷۸
۵	بندر شهید بهشتی	۱/۸	۲/۱۰	۲/۶۵	۱۷	۳۱/۱	۱/۶	۰/۱۰	۵	۵۱/۳۰	۹۱/۸۵	–	۸۸
۶	بندر پسابندر	۱/۷۳	۲/۰۷	۲/۶۲	۱۷/۶	۳۰/۴۳	۱/۸	۰/۳۲	۲۵/۵۰	۴۷/۵۰	۹۴/۵۰	۲۸/۵۰	–
۷	بندر پریس	۱/۶۲	۱/۸۸	۲/۳۰	۱۴/۸	۲۶/۲	۱/۴	۱/۷۰	۵/۸۰	۳۸/۷۰	۹۱/۵۵	۱۴/۲۶	۴۱/۳۵
۸	بندر شهید کلانتری	۲/۴۵	۲/۵۱	۲/۵۴	۲/۱۸	۵/۲۲	۵/۱۲	۸/۸۰	۴۴/۶۳	۱۵/۶۰	۹۹/۰۴	۸/۶۰	۲۳/۲۶
۹	بندر کنارک	۱/۴۹	۱/۹۳	۲/۷۴	۲۹/۶	۴۴/۷	۱/۲	۰/۱۰	۲۰/۵۰	۵۴/۳۰	۹۳/۵۲	۱۹/۶۰	۲۸/۸۳
۱۰	بندر ذاکری	۱/۶۵	۱/۹۴	۲/۳۹	۱۷/۹	۲۹/۹	۱/۲	۰/۷۲	۵/۲۰	۴۹/۹۹	۹۲	۷/۳۰	۶۶/۲۰
۱۱	بندر باسعیدو	۱/۹۵	۲/۰۹	۲/۳۳	۷/۴	۱۴/۶	۲/۱۸	۱/۲۲	۲۲/۹۰	۴۴/۸۷	۸۳/۹۰	۳/۹۰	۷۱/۵۷
۱۲	بندر محمد عامری	۱/۸۳	۱/۸۷	۲/۱۴	۸/۲۱	۱۷/۷	۱/۷	۱/۲۶	۳۱/۷۰	۲۹	۸۲/۱۰	۳	۵۷
۱۳	بندر کنگان	۲/۲۱	۲/۲۵	۲/۳۹	۵/۴	۱۰/۸	۲/۲۴	۱/۴۷	۳۴	۲۳/۵۰	۸۸/۱۶	۲/۸۰	۴۶
۱۴	بندر دیر	۲/۳۹	۲/۴۱	۲/۴۳	۲/۸	۶/۵	۳/۴	۱۲/۴۰	۷۱	۱۴/۱۰	۹۹/۲۳	۱/۷۵	۳۹

شکل ۲: نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی تعدادی از موج‌شکن‌های جنوب کشور [۵]

حسنلی و همکاران [۷] مطالعاتی در خصوص سنگ های آمور به کار رفته در موج شکن های استان بوشهر انجام دادند. بر اساس تحقیقات انجام شده مشخص گردید که عمده سنگ های مورد استفاده از نوع رسوبی بوده و بر اساس خصوصیات مکانیکی و شیمیایی از منظر استانداردهای مختلف قابل استفاده در موج شکن نمی باشند در حالی که در عمل بسته به موقعیت قرارگیری (غرقابی یا کشندی) عملکردهای متفاوتی را از خود نشان داده اند. بر اساس تحقیق انجام شده سنگ های موجود به ۶ زیرگروه تقسیم بندی گردیدند: ۱- سنگ های آهکی مارنی که علیرغم ضعف در میزان تخلخل، جذب آب و وزن مخصوص، ارزش ضربه ای و شاخص بار نقطه ای، نتایج قابل قبولی در بحث آزمایش سلامت سنگ دارند. عملکرد این سنگ ها در منطقه غرقابی به خاطر انحلال و زوال شدید مقاومت بسیار بد بوده و در ناحیه کشندی و فراکشندی به شدت دچار سایش و هوازدگی گردیده اند. بر اساس آیین نامه کاربرد سنگ ها استفاده از این سنگ ها با تدابیر ویژه صرفا جهت مغزه مجاز است. ۲- سنگ های آهکی لوماشل به استثنای سلامت سنگ در سایر فاکتور ها در رده ضعیف و بسیار ضعیف می باشند. عملکرد آن ها بیشتر وابسته به اندازه فسیل و مواد سیمانی بین ذرات آن ها می باشد. در خصوص این سنگ ها، نمونه های ریزدانه فرسایش کمتری نسبت به نمونه های درشت دانه داشته اند.۳- ماسه سنگ های آهکی علیرغم داشتن خصوصیات مکانیکی ضعیف، به علت تجمع جلبک در حالت غرقابی و کشندی عملکرد خوبی دارند اما در ناحیه فراکشندی بسیار مستعد فرسایش می باشند. ۴- سنگ های آهکی متبلور در صورت نداشتن درز و شکاف اولیه زیاد عملکرد مطلوبی را در ناحیه غرقابی و کشندی و فراکشندی دارند. ۵- عملکرد سنگ های آهکی فسیل دار به شدت وابسته به اندازه، تراکم و نوع مواد سیمانی موجود در آن ها می باشد. علیرغم عملکرد مطلوب در ناحیه فراکشندی، در ناحیه غرقابی و کشندی عملکرد نامطلوبی داشته و دچار گردگوشگی و فرسایش شدید می گردند. در صورت داشتن فسیل های درشت عملکرد این سنگ مشابه سنگ های آهکی متبلور بوده و در تمامی ناحیه قابل استفاده است. ۶- سنگ های کنگلومرای آهکی در صورت ریزدانه بودن عملکرد بسیار بهتری نسبت به سنگ های کنگلومرای درشت دانه دارد. در سنگ های درشت دانه به علت تجمع جلبک در حالت غرقابی تفاوت زیادی با سنگ ریزدانه وجود ندارد. عملکرد این سنگ ها به شدت وابسته به اندازه ذرات تشکیل دهنده آن ها به یکدیگر است.

۴. اثر مقیاس در نمونه‌های آزمایشی مصالح سنگی



شکل ۳: محدوده فرایند شکست در سنگ‌ها و منطقه غیرالاستیک [۸]

هنگام مطالعه فرایند رشد ترک‌ها در مصالح شبه ترد شکن مثل سنگ‌ها و مصالح با اجزای سیمانی، مشخص گردید که منطقه غیرالاستیک خردشدگی[1] (FPZ) در نوک سنگ‌ها به وجود می‌آید (شکل ۳). این منطقه در شکل نشان‌داده‌شده است. با به‌وجودآمدن ترک در نوک سنگ، ترک‌های به‌دست‌آمده در هم ادغام می‌گردد و در نتیجه ترک‌هایی با ابعاد و گسترش بیشتر به وجود می‌آید که در نهایت منجر به گسیختگی کامل و در هم فروریزش بدنه سنگ می‌گردند. بر اساس مطالعات دولتشاهی و ملا داوودی [9] با افزایش ابعاد نمونه های برداشتی، مقاومت برشی و کششی در سنگ ها کاهش می یابد. آن ها اعلام کردند که تاثیر اثر مقیاس در تخمین مقاومت سنگ ها به اندازه اندازه ذرات سازنده سنگ در ابعاد میکرو و همچنین کانی شناسی سنگ دارای اهمیت است.

[1] In-elastic fracture zone

۵. ضرورت تجدیدنظر در معیار رده‌بندی و امتیازدهی با درنظرگرفتن کانی‌های سازنده

ارائه یک سیستم رده بندی که خواص فیزیکی و شاخص دوام داری سنگ را به طور همزمان در نظر بگیرد، می تواند نتایج مناسب تر و قابل اطمینان تری ارائه داده و از اتلاف وقت و هزینه نیز جلوگیری نماید [۱۰]. فهیمی فر و سروش [۱۱] در خصوص شاخص دوام و وارفتگی روش ارائه شده توسط فرانکلین و چاندرا که در سال ۱۹۷۲ پیشنهاد گردید یک شاخص بسیار مناسب برای نشان دادن حساسیت سنگ در مقابل تر و خشک شدن متوالی و تأثیرات شیمیایی آب می باشد را پیشنهاد نمودند که در واقع مقاومت سنگ در برابر فرآیند تر و خشک شدن را نشان می دهد. هرچه مقدار این شاخص بیشتر باشد، میزان فرسایش، انحلال و خرد شدن سنگ در برابر هوازدگی کمتر است. آن ها گزارش دادند که انجام این آزمایش روی سنگ هایی که در بدنه یا کرانه های سنگی (ناحیه کشندی یا فراکشندی یا تاج) قرار می گیرند ضروری است. یکی دیگر از شاخص هایی که برای رده بندی سنگ ها می تواند مورد استفاده قرار می گیرد، شاخص دوام داری گمبل ۱۹۷۱ است. توحیدی و همکاران [۱۰] اثر سیکل اول فرانکلین و چاندرا وسیکل دوم گمبل را بر روی سنگ های مصرفی در موج شکن مورد بررسی قرار دادند. در حقیقت روش پیشنهادی فرانکلین و چاندرا برای انجام آزمایش دوام و وارفتگی دینامیکی، دقت نتایج بدست آمده را قربانی سرعت انجام آزمایش کرده است. استفاده از این آزمایش ها علیرغم نتایج مفید و کاربردی آن به خاطر معمول نبودن، در فرآیند امتیاز دهی و رده بندی آیین نامه کاربرد سنگ در موج شکن ها وارد نشده است. رویکرد آیین نامه بر مبنای محدود نمودن تعداد آزمایشات به حداقل و همزمان گرفتن بهترین نتیجه ممکن بر اساس یک شاخص امتیاز دهی مدون با توجه به سنگ ها و سازند های موجود در کشور می باشد. علیرغم تمام این ملاحظات سنگ های رسوبی به خاطر نوع ساختار شیمیایی خاص خود و همچنین محیط خشن به کار گیری در دریا، بسته به محل قرار گیری در سازه توده سنگی، رفتار های متفاوتی را از خود نشان می دهند.

دپوئی [۱۲] آزمایش های دوام سنگی را به سه دسته فیزیکی، مکانیکی و شبیه سازی تقسیم بندی نمود است. فوکس و همکاران [۱۳] این طبقه بندی را گسترش داده و آزمایشات متعددی را جهت تعیین ارزیابی سنگ ها به همراه آزمایشات سنگ شناسی و کانی شناسی بدان افزودند. روند پیشنهادی در آیین نامه کاربرد سنگ در موج شکن ها نیز بر پایه تحقیقات دپوئی و فوکس و همکاران می باشد که سیستم امتیاز دهی را جهت گروه بندی سنگ ها به صورت کمی به آن افزوده اند. نکته حائز اهمیت در تقسیم بندی این محققان، شبیه سازی محیط قرارگیری سنگ ها جهت پی بردن به نحوه عملکرد آن ها در یک محیط خاص است. بدیهی است که هر سنگ با توجه به شرایط محیطی و همچنین بارهای وارده بر آن رفتار های بسیار متفاوتی را از خود نشان می دهند. اهمیت این مهم در خصوص سنگ های رسوبی با قابلیت واکنش پذیری شیمیایی زیاد دو چندان می گردد. با توجه به شرایط خشن محیط دریایی، وجود نمک ها و کلریت ها و سولفات ها در آب دریا و تواماً اعمال بارهای استاتیکی و دینامیکی با دامنه تفاوت مقادیر بسیاز زیاد، شبیه سازی سنگ های کار شده در هر یک از حالت های غرقابی، در معرض تر و خشک شدن مداوم و ناحیه فراکشندی و تاج امری بسیار دشوار است.

به نظر می‌رسد که آزمایش‌های طبقه‌بندی پیشنهادی در خصوص سنگ‌های رسوبی (آهکی، لوماشل) در آیین‌نامه کاربرد سنگ در موج‌شکن‌ها، جهت رده‌بندی و امتیازدهی به سنگ‌ها، در خصوص شبیه‌سازی شرایط واقعی کافی نبوده و دراین‌خصوص اعداد و رده‌های به‌دست‌آمده بالاتر از عملکرد واقعی سنگ‌ها است. همان‌طور که در مقدمه آیین‌نامه صراحتاً به این نکته اشاره گردیده است که در صورت به‌کاربردن معیارهای سیستم امتیازدهی آیین‌نامه‌های مشابه در خصوص سنگ‌های رسوبی موجود در ایران، عمده این سنگ‌ها علی‌رغم عملکرد مطلوب در زمره مصالح غیرقابل‌استفاده قرار می‌گیرند، اما به نظر نگارنده، سیستم امتیازدهی پیشنهادی در آیین‌نامه همچنان در خصوص آزمایش‌ها جهت شبیه‌سازی دچار نقصان است. باتوجه‌به تنوع وسیع سنگ‌های رسوبی از نظر خصوصیات فیزیکی - شیمیایی در جنوب ایران و همچنین تفاوت رفتار سنگ‌ها (غرقابی یا در معرض تر و خشک‌شدن متوالی) به نظر می‌رسد که می‌بایست در سیستم رده‌بندی و بررسی کفایت سنگ‌های مورداستفاده در سازه‌های حفاظت ساحلی تجدیدنظر گردد. مطابق آیین‌نامه کاربرد سنگ به دلیل عدم وجود رابطه سیستماتیک بین دوام داری شیمیایی و سایر خصوصیات سنگی، این پارامتر به‌صورت مستقل در رده‌بندی وارد گردیده است. بااین‌حال کلیه خصوصیات مکانیکی و دوام داری سنگ تابعی از دوام داری شیمیایی و به‌عبارت‌دیگر نوع و خصوصیات کانی‌های سازنده سنگ است. نکته حائز اهمیت دراین‌خصوص این مهم است که زوال در خصوص سنگ‌های رسوبی زمانی روی می‌دهد که به علت وجود درزها و فعل‌وانفعالات شیمیایی، خصوصیات مکانیکی سنگ به‌شدت کاهش‌یافته است. این پدیده که با عنوان سرطان سنگ نیز شناخته می‌شود عمدتاً در ناحیه کشندی موج‌شکن دیده می‌شود درحالی‌که همان‌طور که توسط [۱۴] گزارش گردیده این سنگ ها در ناحیه غرقابی در درصدی از موارد خصوصیات دوام داری شیمیایی بالاتری نسبت به نمونه گرفته شده از معادن را دارند. سنگ مورد استفاده در سازه های دریایی ممکن است که در یک محدوده کوتاه مدت و میان مدت به علل مختلف از جمله ریز بودن درز ها و خلل و فرج موجود به صورت ظاهری وضعیت خوبی داشته باشد، اما به محض شروع زوال پیشرونده، آهنگ تخریب سنگ به طور ناگهانی به با سرعت زیادی افزایش یافته و سنگ در یک بازه زمانی کوتاه دچار اضمحلال درونی می گردد.

در عملیات اجرایی در محیط کارگاهی و معدن عملاً امکان تفکیک و دسته بندی سنگ ها جهت مصرف صرف در ناحیه کشندی و فراکشندی یا ناحیه غرقابی وجود ندارد. به صورت فرضی اگر امکان این تفکیک وجود داشت تعریف دو معیار متفاوت مفروض بود. با عنایت به این موارد عامل تعیین معیار جهت رده بندی و امتیاز دهی بدترین شرایط که همان قرار گرفتن در ناحیه کشندی است می باشد و علیرغم نتایج تحقیقات انجام شده در خصوص عملکرد مثبت این گونه سنگ های رسوبی در ناحیه غرقابی[۱, ۳, ۵, ۶, ۱۰]، لحاظ این موضوع گمراه کننده خواهد بود و منجر به نتایج بیش- مقدار در برآورد های اولیه معادن قرضه و هنچنین کنترل های مستمر ارزیابی کیفی خواهد شد.

عمر سرویس‌دهی عمده سازه‌های توده سنگی بین ۲۰ تا ۴۰ سال بسته به نوع عملکرد در نظر گرفته می‌شود درحالی‌که در عمل کارفرمایان حتی در بازه‌های دوبرابر این مقادیر انتظار سرویس‌دهی با کمترین میزان تعمیرات را دارند. به نظر می‌رسد معیار امتیازدهی فعلی در بهترین حالت تنها در بازه کوتاه‌مدت و میان‌مدت برآورده‌کننده خصوصیات مطلوب با کمترین هزینه تعمیر و نگهداری است و در خصوص عملکرد بلندمدت درنظرگرفتن معیارهای آیین‌نامه با حدود حدی در نظر گرفته شده جای سؤال است. همچنین این نکته نیز باید در نظر گرفته شود که در صورت نیاز به تعمیر و جایگزینی اساسی در خصوص سازه‌های هیدرولیکی مهم مثل بنادر و استراتژیک تجاری یا نظامی، تبعات و هزینه از سرویس خارج‌شدن حتی به‌صورت جزئی و یا کلی خارج‌ازحد تصور است.

۶. سیستم پیشنهادی جدید جهت رده‌بندی و امتیازدهی سنگ‌های مورداستفاده در سازه‌های توده سنگی

با عنایت به فراوانی بسیار زیاد کانی‌های مضر رسی[1] در محدوده عمق قابل‌استخراج سازندهای موجود، اثر مقیاس در نمونه‌های اخذ شده جهت آزمایش‌های، ناهمگونی[2] زیاد در کیفیت سنگ استخراجی از معادن قرضه حتی در یک محدوده کوچک، عدم امکان تفکیک مصالح جهت استفاده در یک جبهه خاص، روند طراحی معمول در طراحی سازه هیدرولیکی توده سنگی، تطویل عمر بهره‌برداری سازه‌های ساخته شده یا در حال ساخت بیش از مفروضات اولیه طراحی، تبعات و هزینه گزاف تعمیر و نگهداری این سازه‌ها در صورت به‌وجودآمدن ایرادهای جزئی و اساسی، عدم کفایت معیارهای موجود در میان‌مدت و بلندمدت و به‌صورت کلی اثر غالب کانی‌شناسی بر عملکرد کلی سنگ‌های رسوبی در سازه‌های توده سنگی، تجدیدنظر در خصوص معیارهای ارائه شده در آیین‌نامه کاربرد سنگ ضروری است.

در تحقیق انجام شده توسط ناصحی و همکاران و همچنین جلالی و همکاران [۳, ۴] سیستم امتیاز دهی و رده بندی شامل در نظر گرفتن نوع سنگ و کانی شناسی سنگ نیز لحاظ شده بود اما در آیین نامه کاربرد سنگ با توجه به اهمیت داوم داری شیمیایی و همینطور ساده سازی روند ارزیابی، قسمت نوع سنگ و کانی شناسی از سیستم امتیاز دهی حذف گردید و تنها دوام داری شیمیایی با تاثیر ۲۵ درصد از وزن کل در سیستم امتیاز دهی اعمال گردید. شکل ۴ معیارهای مندرج در آیین‌نامه کاربرد سنگ در موج‌شکن‌ها و سازه‌های حفاظت در سنگ‌های آهکی و ماسه‌سنگی و سنگ‌های لوماشل را نشان می دهد. شکل ۵ جداول پیشنهادی جدید جهت امتیازدهی و رده‌بندی سنگ‌های رسوبی جنوب کشور جهت سنگ‌های آهکی و ماسه‌سنگی و سنگ‌های لوماشل و نحوه امتیاز دهی و تخصیص رده بر اساس امتیازات کسب شده را نشان می دهد. در سیستم پیشنهادی، با توجه به موارد عنوان شده، قسمت کانی شناسی و نوع سنگ به عنوان یک قسمت از ۴ ارکان اصلی با درصد وزنی ۲۵ درصد در نظر گرفته شده است. در خصوص پارامتر های دوام داری فیزیکی و شیمیایی، با توجه به در نظر گرفتن دو آزمایش ۵ و ۱۰ سیکل سولفات منیزیم، درصد وزنی موثر این قسمت به ۳۰ درصد از وزن کل سیستم امتیاز دهی افزایش یافته است. کاهش درصد وزنی پارامترهای مقاومتی از ۲۵ به ۲۰ درصد و در عوض اضافه کردن ۵ درصد به وزن کلی دوام داری شیمیایی و فیزیکی، به هیچ عنوان به معنی کمتر کردن اهمیت این آزمایشات نبوده و صرفاً جهت سنگ های رسوبی به خاطر شرایط ذکر شده این تغییر اعمال شده است. لازم به ذکر است که با توجه به اهمیت واکنش های شیمیایی در سنگ های رسوبی و موارد عنوان شده در بخش های قبل و مضافاً به منظور شبیه سازی و در نظر گرفتن سرویس دهی در بلند مدت، در آزمایشات جذب آب (ASTM C127) ، اندیس بار نقطه ای (ASTM D5731) و مقاومت تک محوری (ASTM D2938)، ارزش ضربه ای (BS 812-112) و شاخص دوام (ASTM D4644) آزمایشات در دو حالت آیین نامه کاربرد سنگ شکن و جدول پیشنهادی با شرایط مندرج در جدول، انجام و نتایج حاصله برای ارزیابی دقیق مهندسی توسط متخصصین ذی صلاح مقایسه و تفسیر می گردند. جهت انجام آزمایشات ذکر شده، تمامی نمونه ها بعد از ۵ سیکل سولفات سدیم و خشک شدن (مطابق ASTM D5240) تحت آزمایشات مذکور قرار می گیرند. لحاظ ۵ سیکل سولفات سدیم و خشک شدن (مطابق ASTM D5240) به منظور شبیه سازی شرایط استقرار سنگ های آرمور در ناحیه کشندی و فراکشندی بر اساس یک رویه استاندار و مدون لحاظ گردیده است. همچنین آزمایش سایش لس آنجلس در جدول پیشنهادی جدید، در حالت

[1] - smectite clays
[2] - anisotropy

اشباع شده سنگ انجام می پذیرد. البته در خصوص درصد بسیار کمی از سنگ های رسوبی آهکی ریزدانه با چگالی بالا اشباع سنگ عملاً امکان پذیر نیست.

انجام آزمایش‌های بر اساس آیین‌نامه کاربرد سنگ بر اساس استانداردهای معتبر موجود و تهیه گزارش فنی به یک بازه زمانی حدوداً یک‌ماهه نیاز دارد. بر اساس جدول امتیازدهی جدید باتوجه‌به پیش‌نیاز انجام آزمایش‌های بعد از یک سیکل ۵ دوره‌ای سولفات سدیم (منیزیم)، به‌نوعی هزینه آزمایش‌های و همچنین زمان انجام آزمایش‌های افزایش می‌یابد. باتوجه‌به اهمیت نتایج در مرحله مطالعات مقدماتی به‌منظور بررسی کفایت فنی معدن یا جهت انجام آزمایش‌های کنترل کیفی دوره‌ای، مدت‌زمان موردنیاز یا هزینه جزئی اضافه شده قابل‌مقایسه با هزینه‌ها و خسارت‌های به بار آمده ناشی از عدم درنظرگرفتن این مهم نیست. هر چند انجام تمام این آزمایش‌های طبق جدول پیشنهادی به انضمام رویه عمومی آزمایش‌های بر اساس آیین‌نامه کاربرد سنگ جهت مطالعات بررسی کفایت معدن جهت استخراج سنگ یا تغییر ناگهانی جنس و کیفیت سنگ در حین بهره‌برداری ضروری است؛ اما در مرحله کنترل کیفی دوره‌ای مصالح، تنها به‌صورت موردی می‌توان از تعدادی از آزمایش‌های مذکور بر حسب نظر مهندسین ذی‌صلاح جهت بررسی خصوصیات و یا رده‌بندی سنگ‌ها استفاده نمود. بر اساس جدول پیشنهادی تنها سنگ‌هایی که در رده عالی و خوب قرار می‌گیرند قابلیت استفاده به‌عنوان سنگ آرمور یا فیلتر را دارند. استفاده از سنگ‌ها بارده متوسط و پایین‌تر به‌هیچ‌عنوان جهت کاربرد به‌عنوان فیلتر و یا آرمور مجاز نیست. از سنگ‌هایی که در رده متوسط قرار می‌گیرند تنها می‌توان با درنظرگرفتن قضاوت مهندسی، به‌عنوان مغزه یا مترس استفاده کرد. بدیهی است که در صورت عدم وجود معادن مناسب در پیرامون پروژه موردنظر، راهکارهای دیگر مثل استفاده از آرمور بتنی می‌بایست مدنظر قرار گیرد و به‌هیچ‌عنوان از قضاوت مهندسی نمی‌توان جهت کاربرد این سنگ‌ها در پروژه‌ها استفاده نمود. باتوجه‌به پروسه طولانی (بعضاً یک‌ماهه) از نمونه‌برداری تا وصول گزارش‌ها، دپوی سنگ‌های استخراجی می‌بایست به‌صورت تفکیکی در معدن یا کارگاه بر حسب دوره زمانی شناسایی گردد تا در صورت عدم کفایت نتایج از به‌کاربردن آن‌ها در سازه هیدرولیکی جلوگیری گردد. باتوجه‌به این موضوع، ترجیحاً، برداشت مصالح فیلتر و آرمور (خصوصاً آرمور) می‌بایست از دپوی مصالح در کارگاه یا معدن باشد و نه به‌صورت تخلیه مستقیم از معدن، تا امکان بررسی دقیق مشخصات فنی وجود داشته باشد.

پارامتر	خصوصیات	رده				
		E	D	C	B	A
پارامترهای فیزیکی	جذب آب (٪)	>18	12-18	6-12	3-6	<3
	دانسیته (KN/m³)	<16	16-18	18-22	22-24	<24
امتیاز		5	10	15	20	25
پارامترهای مقاومتی	اندیس بار نقطه ای (Mpa)	<1	1-2	2-3	3-4	>4
	مقاومت تک محوری (Mpa)	<8	8-20	20-40	40-60	>60
امتیاز		5	10	15	20	25
پارامترهای دوام داری مکانیکی	ارزش ضربه ای (٪)	>45	35-45	20-35	10-20	<10
	شاخص دوام (۱۵ سیکل) (٪)	<80	80-85	85-90	90-95	>95
	سایش لس انجلس (٪)	>65	50-65	35-50	25-35	<25
امتیاز		5	10	15	20	25
پارامترهای دوام داری شیمیایی	افت وزنی در سولفات (٪)	>20	16-20	8-16	4-8	<4
امتیاز		5	10	15	20	25
جمع امتیازات		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100

(الف)

پارامتر	خصوصیات	رده				
		E	D	C	B	A
پارامترهای فیزیکی	جذب آب (٪)	>24	18-24	12-18	6-12	<6
	دانسیته خشک (KN/m3)	<15	15-17	17-19	19-21	>21
	امتیاز	5	10	15	20	25
پارامترهای مقاومتی	اندیس بار نقطه ای (Mpa)	<1	1-1.5	1.5-2.5	2.5-4	>4
	مقاومت تک محوری (Mpa)	<7	7-10	10-25	25-40	>40
	امتیاز	5	10	15	20	25
پارامترهای دوام داری مکانیکی	ارزش ضربه ای (٪)	>60	45-60	30-45	15-30	<15
	شاخص دوام (۱۵ سیکل) (٪)	<65	65-75	75-85	85-90	>90
	سایش لس انجلس (٪)	>75	60-75	45-60	30-45	<30
	امتیاز	5	10	15	20	25
پارامترهای دوام داری شیمیایی	افت وزنی در سولفات (٪)	>22	18-22	14-18	10-14	<10
	امتیاز	5	10	15	20	25
جمع امتیازات		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100

(ب)

شکل ٤: معیارهای مندرج در آیین‌نامه کاربرد سنگ در موج‌شکن‌ها و سازه‌های حفاظت (الف) سنگ‌های آهکی و ماسه‌سنگی (ب) سنگ‌های لوماشل

پارامتر	خصوصیات	واحد	رده					توضیحات
			E	D	C	B	A	
پارامترهای فیزیکی	جذب آب	درصد	>۱۸	۱۲ – ۱۸	۶ – ۱۲	۳ – ۶	< ۳	بعد از انجام ۵ سیکل سولفات سدیم (منیزیم) و شستن و خشک کردن نمونه ها
	دانسیته خشک	کیلونیوتن بر متر مکعب	<۱۶	۱۶ – ۱۸	۱۸ – ۲۲	۲۲–۲۵	> ۲۵	-
امتیاز			۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	
پارامترهای مقاومتی	اندیس بار نقطه ای	مگا پاسکال	<۱	۱–۲	۲–۳	۳–۴	> ۴	بعد از انجام ۵ سیکل سولفات سدیم (منیزیم) و شستن و خشک کردن نمونه ها
	مقاومت تک محوری	مگا پاسکال	<۸	۸–۲۰	۲۰–۴۰	۴۰–۶۰	> ۶۰	بعد از انجام ۵ سیکل سولفات سدیم (منیزیم) و شستن و خشک کردن نمونه ها
امتیاز			۲.۵	۵	۱۰	۱۵	۲۰	
پارامتر های دوام داری فیزیکی و شیمیایی	ارزش ضربه ای	درصد	>۴۵	۳۵–۴۵	۲۰–۳۵	۱۰–۲۰	< ۱۰	بعد از انجام ۵ سیکل سولفات سدیم (منیزیم) و شستن و خشک کردن نمونه ها
	شاخص دوام (۱۵ سیکل)	درصد	<۸۰	۸۰–۸۵	۸۵–۹۰	۹۰–۹۵	> ۹۵	بعد از انجام ۵ سیکل سولفات سدیم (منیزیم) و شستن و خشک کردن نمونه ها
	سایش لس آنجلس	درصد	>۶۵	۵۰–۶۵	۳۵–۵۰	۲۵–۳۵	< ۲۵	در حالت اشباع
	افت وزنی در سولفات سدیم	درصد	>۱۸	۱۴–۱۸	۸–۱۴	۴–۸	< ۴	۱۰ سیکل
	افت وزنی در سولفات سدیم	درصد	>۲۰	۱۵–۲۰	۱۰–۱۵	۵–۱۰	< ۵	۱۵ سیکل
امتیاز			۵	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	
نوع سنگ و کانی شناسی			سنگ مارن آهکی ، آهک تخریبی یا ماسه سنگ با سیمان شده گی ضعیف	سنگ آهک مارنی و ماسه سنگ با سیمان شده گی متوسط	سنگ آهک نسبتا متراکم ، ماسه سنگ آهکی و آهک تخریبی ریزدانه	سنگ آهک متراکم ، ماسه سنگ آهکی خوب سیمانی شده و متراکم	ماسه سنگ با سیمان سیلیسی، سنگ آهک متبلور و دولومیت	درصورت ظن به وجود کانی مضر رسی انجام آزمایش های الکل آبی، اتیلن گلیکول و میکروسکوپ الکترونیک ضروری است
امتیاز			۳	۵	۱۲	۱۸	۲۵	

(الف)

پارامتر	خصوصیات	واحد	رده					توضیحات
			E	D	C	B	A	
پارامترهای فیزیکی	جذب آب	درصد	> ۲۴	۱۸ – ۲۴	۱۲–۱۸	۶–۱۲	< ۶	بعد از انجام ۵ سیکل سولفات سدیم (منیزیم) و شستن و خشک کردن نمونه ها
	دانسیته خشک	کیلونیوتن بر متر مکعب	< ۱۵	۱۵ – ۱۷	۱۷–۱۹	۱۹–۲۱	> ۲۱	-
امتیاز			۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	
پارامترهای مقاومتی	اندیس بار نقطه ای	مگا پاسکال	< ۱	۱ – ۱.۵	۱.۵–۲.۵	۲.۵–۴	> ۴	بعد از انجام ۵ سیکل سولفات سدیم (منیزیم) و شستن و خشک کردن نمونه ها
	مقاومت تک محوری	مگا پاسکال	< ۷	۷ – ۱۰	۱۰–۲۵	۲۵–۴۰	> ۴۰	بعد از انجام ۵ سیکل سولفات سدیم (منیزیم) و شستن و خشک کردن نمونه ها
امتیاز			۲.۵	۵	۱۰	۱۵	۲۰	
پارامتر های دوام داری فیزیکی و شیمیایی	ارزش ضربه ای	درصد	> ۶۰	۴۵ – ۶۰	۳۰–۴۵	۵۱–۳۰	< ۱۵	بعد از انجام ۵ سیکل سولفات سدیم (منیزیم) و شستن و خشک کردن نمونه ها
	شاخص دوام (۱۵ سیکل)	درصد	< ۶۵	۶۵–۷۵	۷۵–۸۵	۸۵–۹۰	> ۹۰	بعد از انجام ۵ سیکل سولفات سدیم (منیزیم) و شستن و خشک کردن نمونه ها
	سایش لس آنجلس	درصد	> ۷۵	۶۰–۷۵	۴۵–۶۰	۳۰–۴۵	< ۳۰	در حالت اشباع
	افت وزنی در سولفات سدیم	درصد	> ۲۲	۱۸–۲۲	۱۴–۱۸	۱۰–۱۴	< ۱۰	۱۰ سیکل
	افت وزنی در سولفات سدیم	درصد	> ۲۵	۲۰–۲۵	۱۵–۲۰	۱۲–۱۵	< ۱۲	۱۵ سیکل
امتیاز			۵	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	
نوع سنگ و کانی شناسی			سنگ لوماشل با بافت درشت و سیمان شده گی ضعیف دارای کانی های مارنی	سنگ لوماشل با بافت متوسط و سیمان شده گی ضعیف	سنگ لوماشل نسبتا متراکم با آثار هوازده گی سطحی	سنگ لوماشل ریزدانه متراکم با پیوند سیمانی قوی	سنگ لوماشل با سیمان آهکی	درصورت ظن به وجود کانی مضر رسی انجام آزمایش های الکل آبی، اتیلن گلیکول و میکروسکوپ الکترونیک ضروری است
امتیاز			۳	۵	۱۰	۱۸	۲۵	

(ب)

شرح رده	عالی	خوب	متوسط	ضعیف	بسیار ضعیف
محدوده امتیازات	۸۰ – ۱۰۰	۶۰– ۸۰	۴۰ – ۶۰	۲۰ – ۴۰	< ۲۰

(ج)

شکل ۵: جداول پیشنهادی جدید جهت امتیازدهی و رده‌بندی سنگ‌های رسوبی جنوب کشور (الف) سنگ‌های آهکی و ماسه‌سنگی (ب) سنگ‌های لوماشل (ج) محدوده امتیازات جهت رده‌بندی سنگ‌ها بر اساس امتیاز مأخوذه

۷. نتیجه‌گیری

با عنایت به فراوانی بسیار زیاد کانی‌های مضر رسی در محدوده عمق قابل‌استخراج سازندهای موجود، اثر مقیاس در نمونه‌های اخذ شده جهت آزمایش‌های، ناهمگونی زیاد در کیفیت سنگ استخراجی از معادن قرضه حتی در یک محدوده کوچک، عدم امکان تفکیک مصالح جهت استفاده در یک جبهه خاص، روند طراحی معمول در طراحی سازه هیدرولیکی توده سنگی، تطویل عمر بهره‌برداری سازه‌های ساخته شده یا در حال ساخت بیش از مفروضات اولیه طراحی، تبعات و هزینه گزاف تعمیر و نگهداری این سازه‌ها در صورت به‌وجودآمدن ایرادهای جزئی و اساسی، عدم کفایت معیارهای موجود در میان‌مدت و بلندمدت و به‌صورت کلی اثر غالب کانی‌شناسی بر عملکرد کلی سنگ‌های رسوبی در سازه‌های توده سنگی، تجدیدنظر در خصوص معیارهای ارائه شده در آیین‌نامه کاربرد سنگ ضروری است. با عنایت به موارد مذکور در این نوشتار یک معیار جدید جهت رده‌بندی و امتیازدهی سنگ‌های رسوبی پیشنهاد گردیده است. در سیستم پیشنهادی، باتوجه‌به موارد عنوان شده، قسمت کانی‌شناسی و نوع سنگ به‌عنوان یک قسمت از ۴ ارکان اصلی با درصد وزنی ۲۵ درصد در نظر گرفته شده است. در خصوص پارامترهای دوام داری فیزیکی و شیمیایی، باتوجه‌به درنظرگرفتن دو آزمایش ۵ و ۱۰ سیکل سولفات منیزیم، درصد وزنی مؤثر این قسمت به ۳۰ درصد از وزن کل سیستم امتیازدهی افزایش‌یافته است. باتوجه‌به اهمیت واکنش‌های شیمیایی در سنگ‌های رسوبی و موارد عنوان شده به‌منظور شبیه‌سازی و درنظرگرفتن سرویس‌دهی مطلوب با حداقل هزینه تعمیر و نگهداری در بلندمدت، آزمایش‌های جذب آب، اندیس بار نقطه‌ای و مقاومت تک‌محوری، ارزش ضربه‌ای و شاخص دوام، آزمایش‌های در دو حالت آیین‌نامه کاربرد سنگ و جدول پیشنهادی با شرایط مندرج در جدول، انجام و نتایج حاصله جهت ارزیابی دقیق مهندسی، توسط متخصصین ذی‌صلاح در این زمینه مقایسه و تفسیر می‌گردند. جهت انجام آزمایش‌های ذکر شده، تمامی نمونه‌ها بعد از ۵ سیکل سولفات سدیم (منیزیم) تحت آزمایش‌های مذکور قرار می‌گیرند. لحاظ ۵ سیکل سولفات سدیم و خشک‌شدن (مطابق ASTM D5240) به‌منظور شبیه‌سازی شرایط استقرار سنگ‌های آرمور در ناحیه کشندی و فراکشندی بر اساس یک‌رویه

استاندار و مدون لحاظ گردیده است. همچنین آزمایش سایش لس‌آنجلس در جدول پیشنهادی جدید، در صورت امکان در حالت اشباع شده سنگ انجام می‌پذیرد. تنها در صورت کسب امتیاز مناسب بر اساس جدول ارائه شده و مضافاً کفایت سنگ از منظر کانی‌شناسی، اجازه بهره‌برداری از معدن، بالاخص جهت سنگ آرمور و فیلتر صادر می‌گردد. باتوجه‌به تغییرات وسیع در هنگام استخراج معادن سنگ‌های رسوبی در سازنده‌های موجود در جنوب کشور از نظر خصوصیات فیزیکی - شیمیایی و حتی نوع کانی‌ها، پایش و نظارت مستمر فرایند استخراج در کیفیت نهایی ساخت سازه‌ای توده سنگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۸. منابع

۱. شفیعی فر, م., تدوین دستورالعمل کاربرد سنگ در موج شکن و سازه های حفاظتی کشور. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. ۱۳۸۸.

۲. حافظی مقدس، ن., et al., بررسی زمین‌شناسی مهندسی مصالح سنگی و ارائه معیار جهت کاربرد در احداث موج‌شکن‌های توده سنگی سواحل جنوبی ایران. نشریه انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، ۲۰۰۸. ۱(۱): p. 1-22.

۳. جلالی، ح., س. ناصحی، and م. نیکودل, زوال و دوام مصالح سنگی در موج‌شکن‌های منطقه چابهار، in سومین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی. ۱۳۷۷.

٤. Nasehi, A., *Rock mass rating system with application to construction of breakwaters, southeast of Iran.* Geotechnical Geology, 2008. **4**(1): p. 65-70.

٥. رحمانی، ا., ع. صادقی، and م. نیکودل, ارزیابی ارتباط بین سن سنگ‌های رسوبی بادوام آنها در محیطهای تخریبی. فصلنامه علمی علوم زمین، ۲۰۲۱. ۳۱(۱): p. ۱۸۷-۱۹۸.

٦. محمدی، س.د., غ. خانلری، and ل. احمدی, بررسی تأثیر بافت سنگ‌های آهکی منطقه همدان بر روند افت وزنی آنها در آزمایش سلامت سنگ. نشریه انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، ۲۰۱۰. ۲(شماره ۳ و ٤): p. 1-12.

۷. حمیدرضا، ح., ف. مهدی شفیعی، and ن. محمدرضا, بررسی عملکرد سنگ‌های آرمور در موج‌شکن‌های توده سنگی سواحل شمالی خلیج‌فارس (استان بوشهر). علوم زمین، ۱۳۸۵. سال شانزدهم (٦۱): p. 78-0.

۸. Ghamgosar, M. and N. Erarslan, *Experimental and numerical studies on development of fracture process zone (FPZ) in rocks under cyclic and static loadings.* Rock Mechanics and Rock Engineering, 2016. **49**: p. 893-908.

۹. Dolatshahi, A. and H. Molladavoodi, *Specimens Size Effect on Mechanical and Fracture Properties of Rocks: A Review.* Journal of Mining and Environment, 2023: p. -.

۱۰. توحیدی، و., et al., ارزیابی ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی و دوام داری سنگ‌های مصرفی در موج‌شکن جدید بندر انزلی، in هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیطزیست ایران. ۱۳۹۰.

۱۱. احمد، ف.ف. and س. حامد, آزمایش‌های مکانیک سنگ: مبانی نظری و استانداردها: آزمون‌های آزمایشگاهی. Vol. 0. 1380: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران).

۱۲. Depuy, G., *Petrographic investigations of rock durability and comparisons of various test procedures.* Engineering Geology, 1965.

۱۳. Fookes, P., C. Gourley, and C. Ohikere, *Rock weathering in engineering time.* Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 1988. **21**(1): p. 33-57.

۱٤. مصطفی امینی مزرعه، ن., ف. مهدی شفیعی، and ن. محمدرضا, مقایسه وضعیت سنگ‌های آهکی بکار رفته در موج‌شکن‌های سواحل جنوبی کشور با معیارهای ارزیابی کیفیت سنگ. پژوهش‌نامه حمل‌ونقل، ۱۳۸۸. سال ششم (۳): p. 205-0.