Archive OF SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز بررسی اطلاعات علمی

ICOPMAS

www.SID.ir

Archive of SID

زوال و دوام مصالح سنگی در موج شکنهای منطقه چابهار

Degradation & Durability of Rock Materials

In Chabahar's Breakwaters

دکتر حسین جلالی* سید علیرضا ناصحی** محمدرضا نیکودل***

چکیده

برای احداث اکثر سازه‌های حفاظتی سواحل مقادیر معتنابهی سنگ به مصرف می‌رسد که تأثیر شرایط محیط دریا بر روی آنها با دیگر مناطق کاملاً متفاوت است. این مصالح می‌بایست به اندازه، شکل و دانه‌بندی ویژه‌ای که بوسیله طراحان سازه‌های دریایی مشخص می‌شود، طبقه‌بندی شوند. خصوصیات دیگر سنگ نظیر دانسیته نیز برای استفاده در معادلات طراحی مورد نیاز است. علاوه بر این شرایط سخت حاکم بر مناطق دریایی موجب می‌شود که دوام و مقاومت سنگ مورد مصرف نیز از جایگاه و اهمیت ویژه‌ای برخوردار شود.

از میان ویژگیهای مذکور، دوام سنگ و مقاومت آن در برابر عوامل مخرب و مهاجم حاکم بر محیطهای دریایی از مهمترین خصوصیاتی است که مصالح مورد استفاده در ساخت سازه‌های دریایی، خصوصاً موج شکنها باید از آن برخوردار باشند. دوام عبارتست از توانایی سنگ در حفظ ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی خود در مدتی که در یک سازه مهندسی از آن استفاده می‌شود. بنابراین دوام تابعی از ویژگیهای سنگ و محیط یا شرایطی است که در آن قرار می‌گیرد.

ضرورت شناخت رفتار مصالح سنگی مصرفی و دوام آنها در سازه‌های دریایی، عموماً پس از مشاهده خرابیهای بوجود آمده در بسیاری از این سازه‌ها در سرتاسر جهان مشخص گردیده است. مطالعات و پژوهشهای بسیاری در زمینه زوال و دوام مصالح سنگی در محیطهای دریایی انجام شده است که هر کدام به نوبه خود گام مهمی را در زمینه استفاده و کاربرد مصالح مطلوب و مرغوب، همچنین جلوگیری از تخریب سازه‌ها و بروز ضرر و زیان مالی داشته است.

---

* - مدیر عامل مهندسان مشاور آب نیرو

** - کارشناس ارشد زمین شناسی مهندسی از دانشگاه تربیت مدرس

*** - دانشجوی دکتری زمین شناسی مهندسی و عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

در راستای تأمین ایمنی و پایداری سازه‌های سنگی، خصوصاً انواع موج‌شکن‌های خرده سنگی، لازمست که سنگهای مصرفی در این سازه‌ها از دوام و مقاومت خوب و مطلوبی برخوردار باشند؛ زیرا بی دوامی سبب کاهش وزن و قطعه قطعه شدن قطعات سنگی می‌شود و در اثر بارگذاریهای تناوبی حاصل از عملکرد امواج، این قطعات از جای کنده شده و ضعف موضعی را پیامد خواهند داشت. چنین نقاط ضعفی به مرور می‌تواند سبب گسترش ناپایداری در کل سازه شده و بروز خسارات قابل توجهی را به دنبال داشته باشد.

اهمیت بررسی دوام مصالح سنگی قبل از کاربرد آنها در سازه‌های مهندسی، زمانی مشخص می‌شود که به فهرست تعداد قابل ملاحظه‌ای از سازه‌های تخریب شده، به علت کاربری مصالح سنگی نامرغوب و بی‌دوام، توجه شود. در این میان بروز خرابی و حوادث در موج‌شکنهای خرده سنگی بزرگ در سواحل اقیانوس اطلس و دریا ی مدیترانه، نظیر سی‌نس در پرتغال، ترپولی در لیبی، جی‌الاتارو در ایتالیا و اوران و آرزو در الجزایر، ضرورت شناخت و بررسی دوام مصالح سنگی را در این سازه‌ها تأیید می‌کند.

در ایران نیز گزارشهای متعددی از خرابی سازه‌های دریایی ساخته شده از سنگ، خصوصاً موج‌شکنهای سنگی، در دست است. در سالهای اخیر تعداد زیادی موج‌شکن در نوار ساحلی جنوب ایران و بعضی از جزایر، ساخته شده و یا در دست ساخت می‌باشد که اکثر آنها از نوع سنگریزه‌ای بوده و در لایه حفاظ تعداد قابل ملاحظه‌ای از این سازه‌ها به دلیل انتخاب نامناسب مصالح پس از مدتی تخریب صورت گرفته و ضررهای مالی قابل توجهی وارد شده است.

با توجه به اعلام منطقه آزاد تجاری چابهار و عنایت مسئولین کشور برای پیشرفت اقتصادی و عمرانی این منطقه، سازه‌های عمرانی و تجاری متعددی در ناحیه چابهار ساخته شده است که مستلزم استفاده از دریا و امکانات ساحلی بویژه موج شکنها می‌باشد. به همین منظور تعداد زیادی موج شکن در این ناحیه ساخته شده است که لایه حفاظ آنها از قطعات سنگی می‌باشد.

در این پژوهش سعی شده است که مصالح سنگی مصرفی در تعدادی از موج شکنهای ساخته شده و در حال ساخت از دیدگاه دوام و زوال آنها در لایه حفاظ مورد بررسی قرار گیرد و ضمن معرفی مناسب‌ترین منبع قرضه مصالح سنگی در ناحیه مذکور، با بهره‌گیری از نمونه‌های سنگ با دوام و بی‌دوام مشاهده شده در موج شکنهای منطقه چابهار و توجه به نتایج حاصل از بررسیهای مشاهده‌ای و آزمایشهای مهندسی سنجش دوام، معیارهای مناسبی برای ارزیابی سریع کیفیت و دوام مصالح سنگی در این ناحیه ارائه شود.

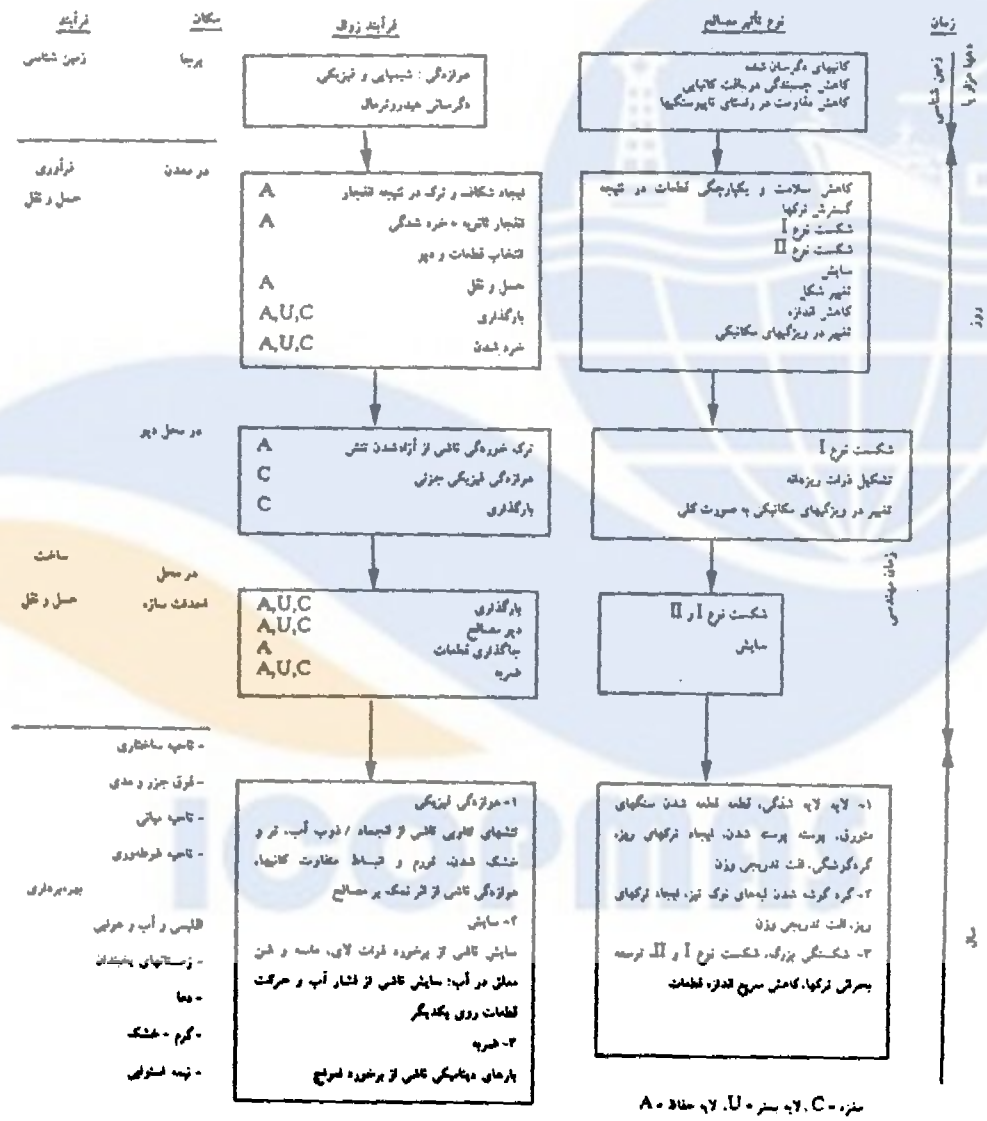
www.SID.ir

Archive of SID

۲- فرآیندهای زوال مصالح سنگی در عمر مفید سازه

علاوه بر فرآیندهای هوازدگی در زمان زمین‌شناسی، یک گروه از فرآیندهای زوال مکانیکی نیز بر روی سنگهای جدا شده از سنگ مادر تأثیر می‌گذارند. این فرآیندها در ضمن فرآوری، حمل و نقل، ساخت سازه و در طول عمر مفید سازه ساخته شده از مصالح سنگی عمل می‌نمایند.

شکل -۱ خلاصه‌ای از پدیده‌ها و فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی تأثیر گذار بر روی دوام سنگ و مصالح خرده سنگی را ارائه می‌کند.



شکل -۱ : عوامل مؤثر بر زوال پذیری مصالح سنگی و خرده سنگی [۷].

www.SID.ir

Archive of SID

۳- عوامل کنترل کننده سرعت تخریب و زوال سنگ در لایه حفاظ سازه‌های دریایی

گر چه مهمترین نقش پایداری سازه‌های حفاظت از ساحل، مانند موج شکن، به لایه حفاظ و لایه بستر آن نسبت داده می‌شود، اما نقش مصالح مغزه و عملکرد هیدرولیکی - سازه‌ای آن در دراز مدت آشکار گردیده است.

در توصیف مفاهیمی مانند دوام و زوال، به نظر می‌رسد که کارکرد و وظیفه لایه حفاظ در شیب‌های حفاظتی ساحل چه از نظر ساختاری و چه از نظر هیدرولیکی از اهمیت خاصی برخوردار است. علاوه بر این، آنچه از اهمیت ویژه‌ای برای طراحان سازه‌های دریایی برخوردار است، میزان سطح پایداری قطعات سنگی است که به صورت مشخصی با گذشت زمان در نتیجه تخریب و زوال سنگ کاهش می‌یابد. عوامل مؤثر بر سرعت زوال و تخریب مصالح سنگی در لایه حفاظ عبارتند از [۱۴]:

- ویژگیهای ذاتی مصالح سنگی؛
- مراحل تولید واستخراج که بر روی ویژگیهای هندسی سنگ حفاظ مؤثرند؛
- شرایط و حدود محیطی در ساحل؛
- مبانی و مفروضات در طراحی لایه حفاظ.

عوامل مذکور را می‌توان در ۱۰ عامل فرعی، چنانکه در جدول -۱ ارائه شده است، تقسیم کرد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- : عوامل کنترل کننده سرعت تخریب وزوال مصالح سنگی در لایه حفاظ [۴۰].

نوع عامل	عوامل فرعی کنترل کننده		
	کانی شناسی		مقاومت در برابر هوازدگی
ویژگیهای ذاتی مصالحی سنگی	بافت میکروسکوپی	مقاومت ساخت	سایش
	درجه هوازدگی	و بافت سنگ	شکست نوع II
	سلامت و یکپارچگی	مقاومت قطعه سنگ با توجه به وجود درزه‌های ماکروسکوپی	شکست نوع I
تأثیر مراحل تولید و استخراج بر روی	وزن قطعه سنگ (W_{50})		
خصوصیات هندسی سنگ حفاظ	دانه‌بندی قطعات سنگ (W_{85}/W_{15})		
	شکل اولیه یا ضریب زیری (P_R)		
شرایط و حدود محیطی	انرژی موجب غالب (H_s یا $H^2_sT^2_m$)		
	ناحیه ساختاری (ناحیه قرارگیری قطعات سنگ در سازه)		
	اثرات آب و هوایی		
	عوامل ساینده موجود در آب		
مفاهیم استفاده شده در	تمرکز هجوم موج (زاویه شیب + محدوده جزر و مد)		
طراحی لایه حفاظ	میزان تحرک سنگ حفاظ ($H_s/\Delta D_{n50}$)		

W_{50} : متوسط وزنی قطعات؛ W_{85} و W_{15} : اندازه وزنی که به ترتیب ۸۵ و ۱۵ درصد قطعات، دارای وزن کوچکتر از آن هستند؛ P_R: ضریب زیری؛ H_s و T_m : متوسط ارتفاع و پریود موج (متوسط $\frac{1}{3}$ بلندترین امواج)؛ Δ : دانسیته نسبی غوطه‌وری بر مبنای دانسیته آب دریا؛ D_{n50} : قطر قطعه سنگ با وزن W_{50}

www.SID.ir

Archive of SID

۴- زوال مصالح سنگی و اثرات آن بر پایداری سازه

زوال مصالح سنگی در لایه حفاظ سازه‌های دریایی، عموماً در چهار شکل شامل : گرد گوشه شدن یا سایش، پوسته پوسته شدن و ایجاد شکستگیهای بزرگ، فروپاشی و دگرسانی و یا ترکیبی از آنها ظاهر می‌شود. نتایج خسارات حاصل از این موارد را می‌توان به شرح زیر دسته بندی نمود :

- ایجاد حفره‌ها و فضاهای خالی در نخستین لایه حفاظ؛
- پیدایش قطعات شکسته شده به دو یا چند قسمت که به صورت برجا در محل اولیه قرار دارند؛
- کاهش در کیفیت و وزن قطعات سنگی؛
- ناپایداری و حرکات قطعات سنگی در شرایط عادی دریا؛

پیشرفت تخریب یا فرسایش در اولین لایه حفاظ، موارد زیر را سبب خواهد شد :

- پیشرفت ترکها و شکستگیها در مصالح سنگی و ایجاد قطعات ناپایدار و یا کوچکتر از اندازه مناسب؛
- پیشرفت و افزایش حفرات در اولین لایه حفاظ؛
- خرابی لایه دوم حفاظ و تخریب کلی سازه؛

پیشرفت مراحل فوق در شرایط عادی اتفاق نمی‌افتد، اما شرایط توفانی می‌تواند پیشرفت دو مرحله آخر را سرعت بخشد[۱].

۵- سنجش و ارزیابی دوام مصالح سنگی در موج‌شکنها

تنوع عوامل کنترل کننده دوام مصالح طبیعی، پیش‌بینی رفتار آنها را در طول زمان بهره‌برداری با مشکلات عدیده‌ای روبرو می‌سازد. کیفیت و دوام مصالح سنگی، شاید تنها متغیری باشد که بتوان با صحت و دقت مناسب مشخص نمود. فوکس و پول (۱۹۸۱) بر این عقیده‌اند که یکی از روشهای مناسب برای تشخیص میزان دوام مصالح سنگی، بررسی سازه‌های موجود در هر منطقه است که از سنگ مورد نظر ساخته شده‌اند [نقل از ۹]. راه دیگرانجام یکسری آزمایشهای آزمایشگاهی است که علی‌رغم پیشنهادات و نظرات متفاوت از سوی محققین مختلف، به عنوان روشی در ارزیابی دوام مصالح طبیعی، کاربرد وسیعی پیدا کرده است.

دپویی (۱۹۶۵) آزمایشهای دوام مصالح سنگی را در سه دسته اصلی به شرح زیر طبقه‌بندی نمود :

- آزمایشهای فیزیکی؛

www.SID.ir

Archive of SID

- آزمایشهای مکانیکی؛
- آزمایشهای شبیه‌سازی.

فوکس و همکاران (۱۹۸۸) این طبقه‌بندی را توسعه داده و برای هر طبقه، آزمایشهای ویژه‌ای را اختصاص دادند. آنها به سه گروه فوق، بررسیهای سنگ‌شناسی را نیز افزودند [نقل از ۱۱]. در جدول -۲ آزمایشهای ویژه هر گروه به صورت مجزا ارائه شده است.

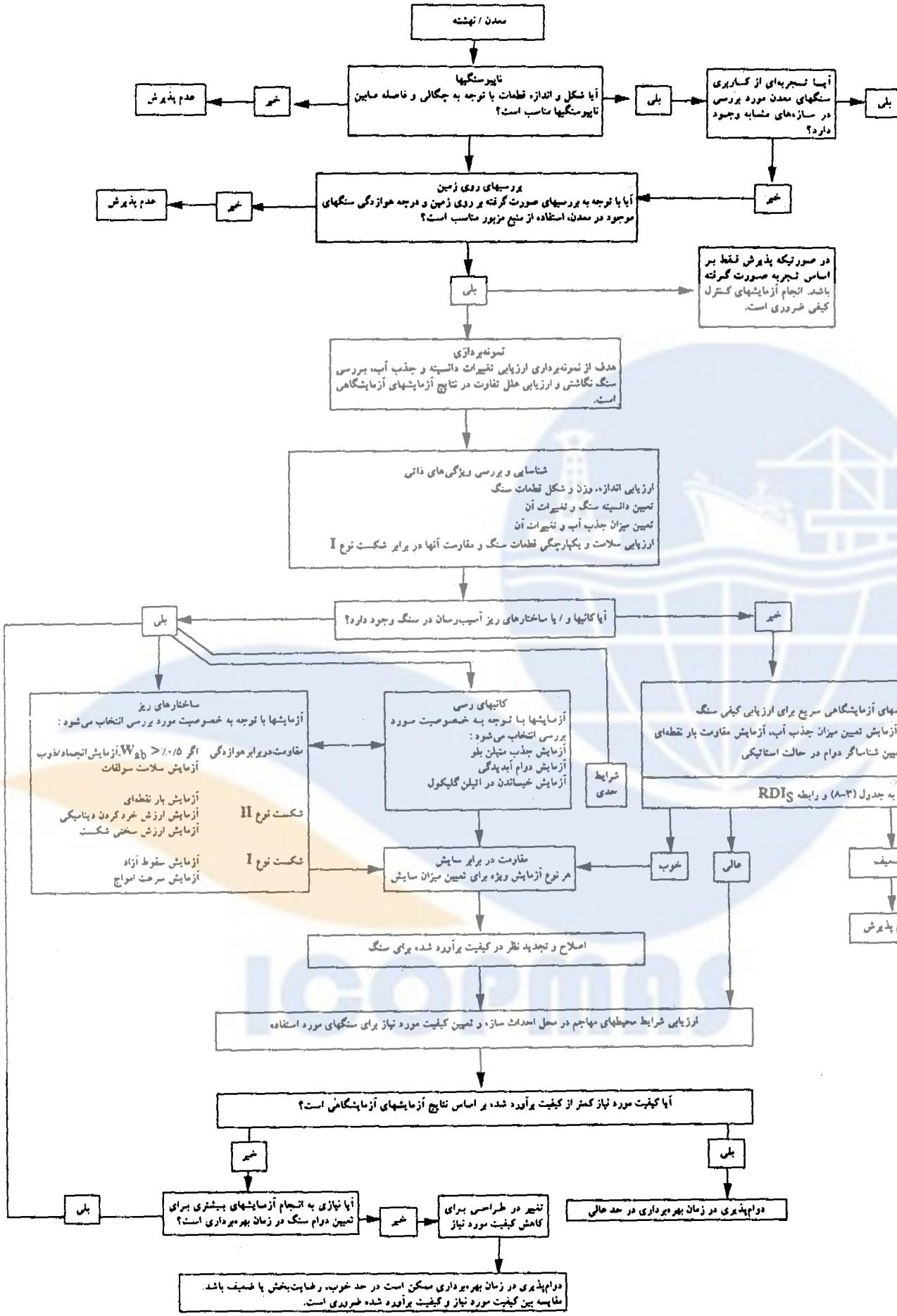
جدول -۲ : طبقه‌بندی آزمایشهای مهندسی دوام[۱۱].

آزمایشهای فیزیکی	آزمایشهای مکانیکی	آزمایشهای شبیه سازی	بررسیهای سنگ نگاشتی
وزن مخصوص(ظاهری،خشک‌واشباع) (BS 812)	مقاومت بار نقطه‌ای (ISRM)	ارزش ضربه‌ای اصلاح شده (هاسکینگ و تویی، ۱۹۶۹)	بررسی سنگ‌نگاشتی (ASTM C295)
جذب آب (BS 812)	سختی چکش اشمیت دانکن، (۱۹۶۹)	سایش لس آنجلس (ASTM C535)	تعیین کانیهای رسی (جذب‌متیلن‌بلو،اتیلن‌گلیکون ،پراش اشعه ایکس)
مقاومت نشاری تک‌محوری (ISRM)	ارزش ضربه‌ای مصالح (BS 812)	زوال واشینگتن	
		تر و خشک کردن	
	ارزش سایش مصالح (BS 812)	سلامت سولفات (ASTM C88)	
	ارزش خرد کردن مصالح (BS 812)	دوام در برابر انجماد/ذوب شدن (AASHTO-T103-78)	
	۱۰ درصد ریزی (BS 812)	دوام آبدیدگی	

چگونگی بررسی و ارزیابی دوام مصالح سنگی براساس آزمایشهای مهندسی، همچنین روش و مسیر این بررسیها در شکل -۲ ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲-: نمودار جریانی دوام مصالح سنگی [۷].

www.SID.ir

Archive of SID

٦- نتایج بررسیهای سنگ شناسی مصالح منطقه چابهار

به منظور شناسایی مصالح سنگی معادن منطقه چابهار که در ساخت موج‌شکنهای این منطقه بکار گرفته شده‌اند، مطالعات و بررسیهای سنگ‌شناسی میکروسکوپی انجام گردیده که نتایج آن در جدول -۳ آورده شده است. موقعیت معادن بر روی شکل -۳ نشان داده شده است.

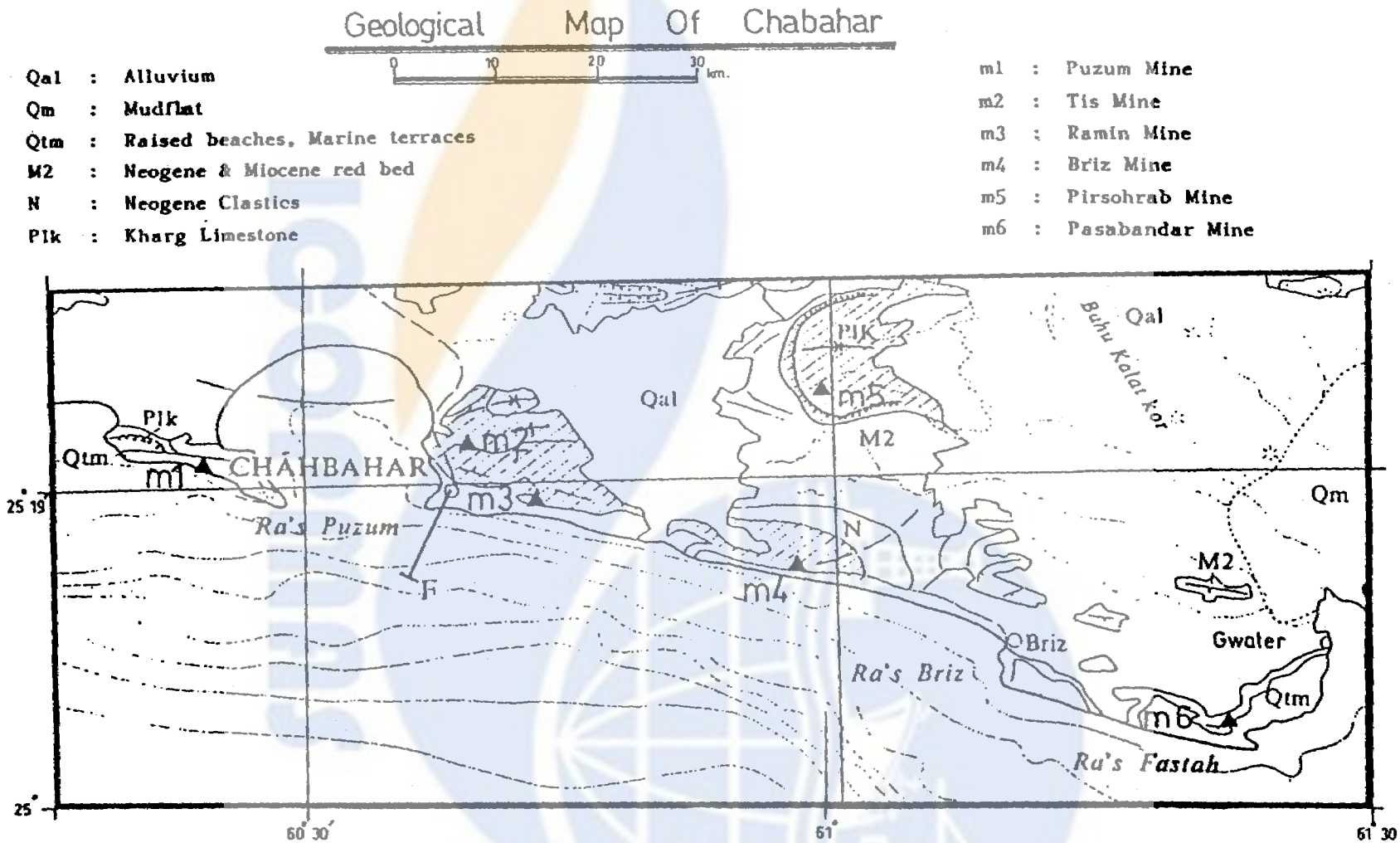
جدول -۳ : نتایج بررسیهای سنگ شناسی میکروسکوپی بر روی مصالح سنگی معادن منطقه چابهار[۵].

نام معدن	فاصله و موقعیت معدن نسبت به چابهار	نام موج شکن	نام سنگ	نوع کانیها و ذرات سازنده سنگ	نوع کانی رسی *
پزم (Po_1) (Po_2),	۴۵ کیلومتری غرب چابهار	موج شکن پزم موج شکن بندر کنارک	بایواسپارودایت	خرده‌های فسیل خرده‌سنگهای رسوبی و آذرین ذرات کوارتز ذرات پلاژیوکلاز	مونتمو- ریلونیت
تیس (T)	۱۰ کیلومتری شمال چابهار	موج شکن تیس راه سنگ دسترسی به اسکله‌های بندر شهید بهشتی	ماسه سنگ آهکی	ذرات کوارتز ذرات پلاژیوکلاز خرده سنگهای آذرین خرده‌های فسیلی	
پیرسهراب (PS),(PK)	۸۰ کیلومتری شمال شرق چابهار	موج‌شکن شهید کلانتری موج شکن نیروی دریایی سپاه	گری وک	ذرات کوارتز ذرات فلدسپات خرده‌سنگهای رسوبی، آذرین، دگرگونی کانیهای فرعی	
رمین (R)	۱۲ کیلومتری شرق چابهار	موج‌شکن رمین	بایواسپارودایت	خرده‌های صدف خرده‌سنگهای رسوبی ذرات کوارتز	مونتمو- ریلونیت
بریس (B)	۷۰ کیلومتری شرق چابهار	موج شکن بریس	کوکینیت	خرده‌های صدف ذرات پراکنده کوارتز	
پسابندر (PA)	۱۳۰ کیلومتری شرق چابهار	موج‌شکن پسابندر	بایواسپارودایت	خرده‌های فسیل ذرات کوارتز خرده‌سنگهای رسوبی اینتراکلاست	

* نوع کانی رسی با توجه به بررسیهای کیفی مصالح سنگی به روش تفرق اشعه ایکس (XRD) مشخص شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ـ۳:نقشه زمین شناسی وموقعیت تقریبی معادن سنگ منطقه چابهار

www.SID.ir

Archive of SID

۷- نتایج آزمایشهای سنجش دوام انجام شده بر روی مصالح سنگی معادن منطقه چابهار

به منظور ارزیابی کیفیت و دوام مصالح سنگی مصرفی در موج‌شکنهای منطقه چابهار، آزمایشهای مهندسی سنجش دوام زیر بر روی مصالح مذکور انجام شده است :

- آزمایش تعیین جذب آب نمونه‌های سنگی
- آزمایش تعیین تخلخل نمونه‌های سنگی
- آزمایش تعیین وزن مخصوص ظاهری، اشباع و واقعی نمونه‌های سنگی
- آزمایش سایش لس آنجلس
- آزمایش تعیین ارزش ضربه‌ای
- آزمایش تعیین شاخص بار نقطه‌ای در حالتهای خشک، اشباع و در چرخه‌های مختلف‌تر و خشک شدن با محلول اشباع سولفات سدیم
- آزمایش سلامت سنگ
- آزمایش دوام آبدیدگی
- آزمایش تعیین ارزش سختی شکست سنگ به روش غیر مستقیم و به کمک آزمایش برزیلی
- آزمایش تعیین مقاومت فشاری تک محوری بر روی نمونه‌های خشک و اشباع
- آزمایش خیساندن نمونه‌های سنگی در اتیلن گلیکول
- بررسیهای سنگ شناسی میکروسکوپی
- بررسی کیفی به روش تفرق اشعه ایکس

نتایج بررسیهای سنگ شناسی میکروسکوپی و بررسی کیفی به روش تفرق اشعه ایکس در جدول ۳- آورده شده است. جدول ۴- در برگیرنده نتایج آزمایشهای مهندسی دوام فوق‌الذکر است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول -۴ : نتایج آزمایشهای مهندسی دوام بر روی مصالح سنگی معادن ناحیه چابهار*[۵].

شماره نمونه	جذب آب (%)	تخلخل %	وزن مخصوص			سایش لس‌آنجلس (%)	ارزش ضربه‌ای (%)	شاخص بار نقطه‌ای (Mpa)			سلامت سنگ (%)	دوام آبدیدگی Id_2(%)	ارزش سختی شکست $K_{IC}(MN/m^{1.5})$		مقاومت فشاری تک محوری(Mpa)	
			اشباع	واقعی	ظاهری			خشک	اشباع	پس‌ازچرخه پستم‌سلامت سنگ			خشک	اشباع	خشک	اشباع
Po_1	۱/۴۴	۳/۴	۲/۴۲	۲/۴۷	۲/۴	۸/۰	۱۴/۰	۴/۴	۴/۱	۳/۸	۰	–	۰/۹۸	۰/۸	۵۲/۵	۴۴/۴
Po_2	۱۴/۸	۲۷/۷	۲/۰۹	۲/۵	۱/۸	۲۰/۸	۳۷/۳	۱/۷	۱/۷	۱/۲	۰	۹۶/۹	۰/۳۱	۰/۱۸	۱۶/۶	۱۱/۹
T	۲۰/۲	۳۵/۰	۲/۱	۲/۷۱	۱/۷	۴۵/۰	۵۷/۴	۰/۶۸	۰/۳۸	۰/۲۳	۱۰/۴	۹۲/۱	۰/۲۳	۰/۱	۷/۲	۳/۹
PK	۲/۷	۷/۰	۲/۵۸	۲/۶۹	۲/۵	۶/۵	۱۰/۵	۵/۴	۴/۲	۱/۷	۱۸/۲	–	۲/۱	۰/۹۱	۱۴۵/۰	۱۲۰/۹
PS	۳/۲	۸/۱	۲/۵۸	۲/۷۲	۲/۴	۸/۵	۱۱/۰	۲/۳	۱/۶	+	+	–	۱/۶	۰/۷	۵۳/۰	۴۳/۰
R	۲۲/۵	۳۶/۶	۲/۰۶	۲/۷۱	۱/۶	۳۹/۲	۶۱/۲	۰/۵۵	۰/۴۳	۰/۳۲	۸/۲	۹۲/۹	۰/۱۹	۰/۱۵	۵/۰	۳/۱۲
B	۱۷/۰	۳۰/۰	۲/۱۵	۲/۶۸	۱/۸	۳۶/۰	۶۲/۸	۰/۱۲	۰/۸۵	۰/۶۱	۷/۵	۹۱/۰	۰/۱۸	۰/۱۴	۵/۹	۴/۶
PA	۲۰/۴	۳۴/۵	۲/۰۹	۲/۶۹	۱/۷	۴۵/۰	۵۶/۶	۰/۹۶	۰/۶۶	۰/۴۶	۸/۴	۹۳/۳	۰/۲۴	۰/۱۲	۷/۴	۴/۹

*) در آزمایش خیساندن نمونه‌های سنگی در اتیلن گلیکول هیچ گونه اثری از زوال و یا تورم مصالح سنگی مشاهده نگردید.

+) نمونه‌ها در چرخه هفتم تر و خشک شدن با سولفات سدیم دچار وارفتگی شدند.

۸- همبستگی و روابط موجود بین نتایج آزمایشهای سنجش دوام مصالح سنگی معادن منطقه چابهار

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگها مهمترین شاخصهایی هستند که می‌توان برای شناسایی مصالح مرغوب از آنها استفاده کرد. علاوه بر این، برقراری روابط و تعیین همبستگی بین نتایج بدست آمده از آزمایشهای سنجش دوام، شناسایی سریع و ساده آزمایشهایی را تسهیل می‌کند که می‌توان از آنها به عنوان جانشینی برای آزمایشهای وقت گیر و پیچیده استفاده کرد. معمولاً بیشترین همبستگی بین نتایج آزمایشهایی دیده می‌شود که خصوصیات مشابهی از سنگ رابوسیله آنها اندازه‌گیری می‌کنند.

جدول -۵ نشان دهندهٔ روابط و همبستگی بین نتایج آزمایشهای سنجش دوام انجام شده بر روی مصالح سنگی معادن منطقه چابهار می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵-: روابط و همبستگی بین نتایج آزمایشهای سنجش دوام انجام شده بر روی مصالح سنگی معادن منطقه چابهار[۵].

همبستگی بین آزمایشهای	رابطه	ضریب همبستگی (R^2)
آزمایش تعیین درصد جذب آب (W_{ab}) باتخلخل (n)	$n=1.58W_{ab}+2.58$	۰/۹۹
آزمایش سایش لس‌آنجلس (Los) با وزن مخصوص ظاهری (BSG)	$Los=449.47BSG^{-3.849}$	۰/۸۵
آزمایش سایش لس‌آنجلس (Los) با ارزش ضربه‌ای (AIV)	$Los=0.97AIV+5.99$	۰/۹۳
آزمایش سایش لس‌آنجلس (Los) باشاخص بار نقطه‌ای ($I_{S(50)}$)	$Los=13769I_{S(50)}^{-0.809}$	۰/۸۴
آزمایش سایش لس‌آنجلس (Los) با مقاومت فشاری تک محوری(σ_c)	$Los=177.09\sigma_c^{-0.562}$	۰/۹۳
آزمایش ارزش ضربه‌ای (AIV) با وزن مخصوص ظاهری (BSG)	$AIV=772.49BSG^{-4.614}$	۰/۹۷
آزمایش ارزش ضربه‌ای (AIV) با ارزش سختی شکست (K_{ic})	$AIV=16.7K_{IC}^{-0.811}$	۰/۹۷
آزمایش شاخص بار نقطه‌ای ($I_{S(50)}$) با وزن مخصوص ظاهری (BSG)	$I_{S(50)}=0.18BSG+1.63$	۰/۷۸
آزمایش شاخص بار نقطه‌ای ($I_{S(50)}$) با درصد جذب آب (W_{ab})	$I_{S(50)}=5.36W_{ab}^{-0.715}$	۰/۷۲
آزمایش شاخص بار نقطه‌ای ($I_{S(50)}$) با ارزش ضربه‌ای (AIV)	$I_{S(50)}=36.77AIV^{-0.915}$	۰/۸۰
آزمایش مقاومت فشاری تک محوری (σ_c) با شاخص بار نقطه‌ای ($I_{S(50)}$) در حالت خشک	$\sigma_{c(d)}=9.12\ I_{S(50)d}^{1.425}$	۰/۸۸
آزمایش مقاومت فشاری تک محوری (σ_c) با شاخص بار نقطه‌ای ($I_{S(50)}$) در حالت اشباع	$\sigma_{c(w)}=9.13\ I_{S(50)w}^{1.239}$	۰/۸۷
آزمایش مقاومت فشاری تک محوری (σ_c) با ارزش ضربه‌ای (AIV)	$\sigma_c=3223.1AIV^{-1.518}$	۰/۹۵
آزمایش سلامت سنگ (SST) با درصد جذب آب (W_{ab})	$SST=-0.51W_{ab}+19.0$	۰/۸۴
آزمایش سلامت سنگ (SST) با سایش لس آنجلس (Los)	$SST=-0.16Los+19.4$	۰/۷۷
آزمایش سلامت سنگ (SST) با ارزش ضربه‌ای (AIV)	$SST=-0.19AIV+20.3$	۰/۹۷

www.SID.ir

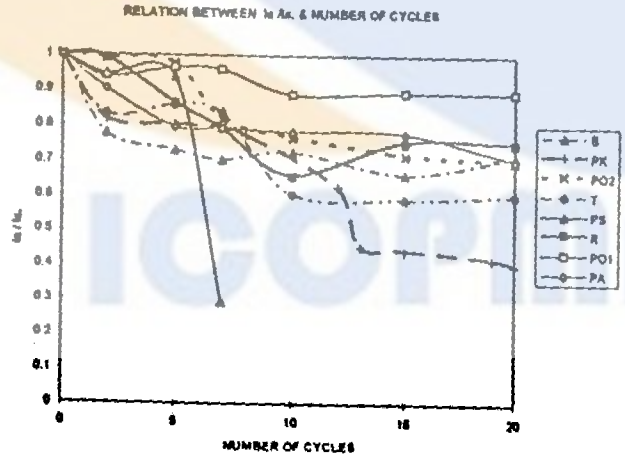
Archive of SID

۹- تغییرات شاخص بار نقطه‌ای مصالح سنگی معادن منطقه چابهار در چرخه‌های تر و خشک کردن با محلول سولفات سدیم

به منظور شناسایی اثرات محلولهای نمکین بر روی مصالح سنگی معادن منطقه چابهار، همچنین تعیین تأثیر تنشهای کششی حاصل از تبلور نمک در خلل و فرج این مصالح بر روی مقاومت کششی آنها، شاخص بار نقطه‌ای در چرخه‌های مختلف تر و خشک کردن مصالح با محلول سولفات سدیم اشباع تعیین گردید. سپس مطابق شکل -۴، شاخص دوام (D_i) که نسبت شاخص بار نقطه‌ای پس از بیست چرخه تر و خشک نمودن در محلول سولفات سدیم به شاخص بار نقطه‌ای اشباع قبل از انجام آزمایش تر و خشک نمودن است، از رابطه زیر برای تمامی نمونه‌ها محاسبه شده و تغییرات آن در برابر چرخه‌های مختلف تر و خشک کردن ترسیم گردیده است :

$$D_i = \frac{I_s}{I_{s_0}}$$

با توجه به شکل مذکور، مشاهده می‌شود که نمونه Po_1 کمترین مقدار کاهش مقاومت کششی را پس از ۲۰ چرخه تر و خشک شدن متحمل شده است و این در حالی است که نمونه‌های PK و PS بیشترین کاهش مقاومت کششی را از خود نشان می‌دهند؛ به نحوی که نمونه PS در پایان چرخه هفتم دچار زوال و وارفتگی شده و شاخص دوام آن در این مرحله برابر ۰/۲۹ است. پس از نمونه PS، نمونه PK بدترین وضعیت را داراست. شاخص دوام این نمونه پس از چرخه بیستم تر و خشک نمودن برابر ۰/۴ می‌باشد که بسیار پایین است. نمونه‌های متخلخل Po_2، T، R، B و PA وضعیت نسبتاً مشابهی دارند.



شکل -۴ : تغییرات شاخص دوام مصالح سنگی منطقه چابهار در چرخه‌های مختلف تر و خشک نمودن با محلول سولفات سدیم[۵].

www.SID.ir

Archive of SID

۱۰ - شاخصهای دوام استاتیکی و دینامیکی مصالح سنگی معادن منطقه چابهار

در ساخت سازه‌های سنگی، ارزیابی سریع و صحیح دوام سنگ و مصالح مورد مصرف حرف او را در مدیریت معدنکاری، پیمانکاری، مشاوره، مدیریت مهندسی و ارزیابی پایداری سازه در حین بهره‌برداری می‌زند. هر گونه تغییر در کیفیت و پتانسیل دوام در زمان فرآوری و جاگذاری مصالح در سازه می‌باید بررسی و سریعاً گزارش شود تا انتخاب صحیح در محل و صرفه‌جویی در زمان و سرمایه در همان مراحل اولیه کار انجام گیرد. به این منظور استفاده از شاخصهای دوام که تلفیقی از نتایج آزمایشهای ساده مهندسی هستند، چه برای محیطهای سازه‌ای استاتیکی و چه دینامیکی قابل کار برد بوده و در ارزیابی سریع پتانسیل دوام مصالح مفید می‌باشد.

با توجه به نتایج آزمایشهای دوام انجام شده بر روی مصالح سنگی معادن منطقه چابهار، به منظور ارزیابی سریع دوام و کیفیت این مصالح، شاخصهای دوام استاتیکی و دینامیکی زیر ارائه می‌شود :

الف) شاخص دوام استاتیکی :

$$RDI_S = D_i - 0.1(SST + W_{ab}).SG_{ssd}$$

رده‌بندی مصالح سنگی براساس شاخص مذکور در جدول -۶ ارائه شده است.

جدول -۶ : تخمین پتانسیل دوام براساس شاخص دوام استاتیکی برای مصالح سنگی منطقه چابهار[۵].

شاخص دوام استاتیکی (RDI_S)	پتانسیل دوام
>۱	عالی
۰/۵-۱	خوب
۰-۰/۵	متوسط
<۰	ضعیف

ب) شاخص دوام دینامیکی :

$$RDI_d = \frac{2J + SG_{ssd}}{W_{ab} + SST}$$

رده بندی مصالح سنگی براساس شاخص دوام دینامیکی در جدول -۷ ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول -۷ : تخمین پتانسیل دوام براساس شاخص دوام دینامیکی برای مصالح سنگی منطقه چابهار [۵].

شاخص دوام استاتیکی (RDI_S)	پتانسیل دوام
>۳	عالی
۱/۵-۳	خوب
۰/۷۵-۱/۵	متوسط
<۰/۷۵	ضعیف

در روابط فوق، SG_{ssd} وزن مخصوص اشباع نمونه با سطح خشک، W_{ab} درصد جذب آب، SST درصد افت وزنی نمونه در آزمایش سلامت سنگ، $D_i=\frac{I_s}{I_{s0}}$ و J نسبت وزن نهایی نمونه پس از ۵۰۰۰ دور چرخش در آزمایش لس‌آنجلس به وزن اولیه نمونه قبل از آزمایش ($J=\frac{W}{W_0}$) است.

۱۱ - ارزیابی دوام سنگ در سازه‌های دریایی براساس سیستم امتیازبندی

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، همچنین با استفاده از نتایج تحقیقات انجام شده بوسیله محققین مختلف [۵ و ۷]، سیستم امتیازبندی مطابق جدول -۸ به منظور ارزیابی سریع دوام مصالح سنگی و کاربرد آنها در احداث موج‌شکنهای منطقه چابهار قابل پیشنهاد است.اما برای نهایی شدن این پیشنهاد مطالعات و تحقیقات گسترده‌تری نیاز است. براساس این رده‌بندی مصالح با کیفیت عالی تا خوب برای ساخت لایه حفاظ موج‌شکنها و شیب‌های حفاظتی و مصالح با کیفیت و دوام خوب تا متوسط برای استفاده به عنوان مصالح لایه آستری و مغزه آن قابل توصیه می‌باشد.

ارقام ارائه شده در جدول مذکور براساس نتایج آزمایشها و بررسیهای انجام شده در این مقطع از زمان بر روی سنگهای مصرفی منطقه استوار است که با تحقیقات گسترده‌تر بر روی مصالح سنگی دیگر مناطق حاشیه خلیج‌فارس و دریای عمان، می‌توان نتایج آنرا تدقیق نمود. بهرحال جدول مزبور اولین تلاش برای صرفاً منطقه چابهار می‌باشد، زیرا شرایط محیطی و مصالح هر منطقه می‌تواند متفاوت از شرایط منطقه مورد مطالعه باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول -۸ : سیستم امتیاز بندی پیشنهادی به منظور ارزیابی سریع دوام مصالح سنگی و کاربری آنها در سازه‌های دریایی[۵]

آزمایش	رده‌بندی نتایج آزمایش				
	عالی	خوب	متوسط	ضعیف	بسیار ضعیف
وزن مخصوص ظاهری BSG	>۲/۷	۲/۵-۲/۷	۲/۲-۲/۵	۱/۹-۲/۲	<۱/۹
امتیاز	۱۰	۸	۶	۳	۱
جذب آب $W_{ab}(\%)$	<۱	۱-۳	۳-۶	۶-۱۰	>۱۰
امتیاز	۱۰	۸	۶	۳	۱
سلامت‌سنگ(سولفات سدیم)$SST(\%)$	<۲	۲-۵	۵-۱۲	۱۲-۱۵	>۱۵
امتیاز	۱۵	۱۲	۷	۳	۱
لس‌آنجلس‌اصلاح شده $M.Los(\%)$	<۱۰	۱۰-۱۵	۱۵-۲۰	۲۰-۳۰	>۳۰
امتیاز	۱۰	۸	۵	۲	۱
ارزش سختی شکست $K_{IC}(MN/m^{1.5})$	>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 $I_{S(50)}$ (Mpa)	>۸	۴-۸	۲-۴	۱-۲	<۱
امتیاز	۱۲	۸	۶	۳	۱
ارزش ضربه‌ای $AIV(\%)$	<۱۰	۱۰-۱۲	۱۲-۱۸	۱۸-۲۵	>۲۵
امتیاز	۱۰	۷	۵	۳	۱
مقاومت‌فشاری‌تک‌محوری $\sigma_c(Mpa)$	>۱۴۰	۷۰-۱۴۰	۲۰-۷۰	۵-۲۰	<۵
امتیاز	۶	۴	۲	۱	
سنگ شناسی	سنگهای آذرین متراکم،فاقد سطوح و نقاط ضعف	سنگهای‌آذرین‌ردگرگون‌متراکم باهوازدگی‌کم‌وفاقدسطوح ضعف،سنگهای‌رسوبی‌سخت	سنگهای‌آذرین‌ردگرگون‌نسبتاً متراکم‌باهوازدگی‌متوسط‌وسطوح ضعف،سنگهای‌رسوبی‌سخت	سنگهایی با هوازدگی‌زیاد،دارای کانیهای انحلال‌پذیر و سطوح ضعف متعدد	سنگهای‌کاملاًهوازده،دارای کانیهای‌انحلال‌پذیربابیش از ۱۵ درصد تخلخل
امتیاز	۱۲	۸	۵	۳	۲
مجموع امتیازات	۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵	۱۰

رده‌بندی دوام :

شرح رده	عالی	خوب	متوسط	ضعیف	بسیار ضعیف
محدوده امتیازات	۹۰-۱۰۰	۷۵-۹۰	۵۰-۷۵	۲۵-۵۰	<۲۵

www.SID.ir

Archive of SID

۱۲- نتیجه‌گیری

۱- هیچ یک از آزمایشهای مهندسی رانمی‌توان به صورت انفرادی به عنوان شاخصی برای بررسی دوام مصالح سنگی معرفی نمود.

۲- ترکیبی از نتایج بدست آمده از آزمایشهای مهندسی مختلف مانند درصد جذب آب، وزن مخصوص، مقاومت بار نقطه‌ای، ارزش ضربه‌ای و سلامت سنگ را می‌توان به عنوان شاخص دوام مصالح سنگی معرفی نمود.

۳- آزمایشهای مهندسی ترکیبی، بهترین نتایج را به منظور ارزیابی دوام و کیفیت مصالح سنگی بدست می‌دهند.

۴- ارائه شاخصهای تجربی دوام سنگ، ارزیابی سریع و ساده دوام و کیفیت مصالح سنگی را در مراحل معدنکاری، فرآوری و کاربری آنها در ساخت سازه سنگی امکان پذیر می‌نمایند.

۵- برقراری همبستگی بین نتایج آزمایشهای مختلف مهندسی، سبب جایگزینی روابط ساده به جای روابط پیچیده و همچنین سبب تسریع در امر ارزیابی دوام مصالح سنگی می‌شود.

۶- با توجه به بررسیهای سنگ شناسی، تنوع مصالح سنگی قابل کاربرد در احداث موج‌شکنها و شیب‌های حفاظتی در منطقه چابهار کم بوده و عمده توده سنگهای موجود از جنس ماسه سنگ، بایواسپارودایت و کوکینیت متخلخل می‌باشد که سنگهای آهکی متخلخل منطقه از دوام و پایائی قابل توجهی برخوردار است.

۷- با عنایت به نتایج حاصله از آزمایشهای سنجش دوام، مشخص می‌شود که مصالح سنگی معدن پیرسهراب دارای مقاومت سایشی، ضربه‌ای، کششی و فشاری بالایی در مقایسه با مصالح بایواسپارودایت و کوکینیت معادن پزم، تیس، رمین، بریس و پسابندر بوده و با توجه به بالا بودن ارزش سختی شکست آن، از نظر مقاومت در برابر پدیده‌های مخرب سایشی و ضربه‌ای و بارگذاریهای تحمیلی در رده خوب تا عالی قرار می‌گیرد. اما براساس شاخص دوام پیشنهادی ملاحظه شد که از دوام لازم برخوردار نیست. این مطلب براساس مشاهدات صحرایی و بررسیهای انجام شده بر روی موج شکن‌های ناحیه چابهار و همچنین با توجه به پژوهشهای آزمایشگاهی تأیید گردید. بهر حال هوازدگی فیزیکی خصوصاً تأثیر محلولهای نمکین و تبلور نمک در خلل و فرج مصالح سنگی منطقه، به ویژه ماسه سنگهای معدن پیرسهراب، مهمترین عامل زوال و تخریب

www.SID.ir

Archive of SID

این مصالح قلمداد می‌شود. این در حالی است که مصالح بایواسپارودایت و کوکینیت موجود در منطقه دارای بالاترین درجه دوام و پایائی در برابر اثر محلولهای نمکین می‌باشند.

۸- شاخص دوام (D_i) مناسب‌ترین پارامتری است که براساس آن می‌توان به دوام یا بی‌دوامی سنگهای منطقه حاشیه خلیج‌فارس پی برد. از آنجا که برای شناخت این پارامتر نیاز به صرف هزینه گزاف نمی‌باشد و با دقت بالایی دوام سنگ به کمک آن مشخص می‌شود، لذا کاربرد این پارامتر برای تحقیق در مورد دوام سنگها در حاشیه خلیج‌فارس قویاً توصیه می‌شود.

۹- براساس شاخص دوام استاتیکی و دینامیکی ارائه شده برای مصالح سنگی معادن منطقه چابهار، مصالح معدن پزم (Po_1) از لحاظ دوام استاتیکی و دینامیکی در رده متوسط تا خوب و مصالح دیگر معادن در ردهٔ ضعیف قرار می‌گیرند.

۱۰- براساس سیستم امتیازبندی پیشنهادی در مورد ارزیابی دوام مصالح سنگی، مصالح سنگی معدن پزم (Po_1) و پیرسهراب (PK) در رده متوسط و مصالح دیگر معادن در ردهٔ ضعیف تا بسیار ضعیف قرار می‌گیرند.

۱۱- با توجه به نتایج حاصل از بررسیهای مشاهده‌ای در منطقه چابهار و نتایج آزمایشگاهی، بهترین و با دوام‌ترین سنگ موجود در منطقه برای استفاده به عنوان لایه حفاظ، مصالح سنگی معدن پزم (Po_1) است که با انجام کنترل کیفی در معدن براحتی از نوع متخلخل (Po_2) قابل تشخیص است. برای ساخت بخشهای لایه بستر و مغزه، استفاده از مصالح سنگی معدن پزم، همچنین مصالح سنگی معدن پیرسهراب (PK) پیشنهاد می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع و مآخذ

۱- جلالی، ح (۱۳۶۹). "اهمیت دوام سنگ در پایداری موج شکنهای سنگریزه‌ای"، اولین کنفرانس بین‌المللی بندرسازی و سازه‌های دریایی، تهران خرداد ماه ۱۳۶۹، جلد دوم، صفحات ۴۴۳-۴۰۷.

۲- جلالی، ح و همکاران (۱۳۶۶). "گزارش بررسی پایداری و پایابی موج شکنها و شیبهای حفاظتی بندر کشتی سازی"، وزارت صنایع سنگین، جلد اول.

۳- جلالی، ح و همکاران (۱۳۶۷). "گزارش بررسی پایداری و پایابی موج شکنها و شیبهای حفاظتی بندر کشتی سازی"، وزارت صنایع سنگین، جلد دوم.

٤- جلالی، ح.ناصحی، س.ع و نیکودل، م.(۱۳۷٦). "بررسی مصالح سنگی مصرفی در موج شکنهای جنوب شرق ایران- چابهار"، خلاصه مقالات اولین همایش سالانه انجمن زمین شناسی ایران، تهران شهریور ماه ۱۳۷٦، صفحات ۸۳-۷۹.

۵- ناصحی، س.ع (۱۳۷٦). "تعیین معیارهای مناسب برای کاربرد سنگ در احداث سازه‌های دریایی - جنوب شرق ایران (جابهار)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.

۶- نیکودل، م.ر (۱۳۶۹). "مطالعه معیارهای شناخت زوال پذیری سنگ"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.

7- CIRIA/CUR. (1991). "Manual on the Use of Rock in Coastal and Shoreline Engineering", CIRIA Special Publication 83/CUR Report 154, London.

8- CUR/RWS. (1995). "Manual on the Use of Rock in Hydraulic Engineering", CUR/RWS Report 169, London, Gouda.

9- Clark, A.R. (1988). "The Use of Portland Stone Rock Armour in Coastal Protection and Sea Defence Works", Quaterly Journal of Engineering Geology, London, Vol.2, 113-136.

10- Fookes,P.G.(1991)."Geomaterials",Quaterly Journal of Engineering Geology,London,24, 3-15.

11- Fookes, P.G. & Gourely, C.S. & Ohikere, C. (1988). "Rock Wethering in Engineering Time", Quaterly Journal of Engineering Geology, London, 21, 33-57.

12- Guo, H. & Aziz, N.I. & Schmidt, L.C. (1993)." Rock Fructure-Toughness Determination by the Brazilian Test", Engineering Geology, 33, 177-188.

13- Haskins, D.R. & Bell, F.G. (1995). "Drakensberg Basalts : Their Alteration, Breakdown & Durability", Quaterly Journal of Engineering Geology, London, 28, 287-320.

14- Latham, J.P. (1991). "Degradtion Model for Rock Armour in Coastal Engineering", Quaterly Journal of Engineering Geology, London, 24, 101-118.

www.SID.ir

Archive of SID

Degradation and Durability of Rock Materials in Chabahar Breakwaters

H. Jalali, Ph.D. – CEO at Water & Power Consultative Engineers Co.

S. A. Nasehi – Master of Geology Engineering from Tarbiat Modarres University

M. R. Nikudel, Ph.D. – Candidate of Geology Engineering and Faculty Member of Tarbiat Modarres University

Abstract

In order to construct most coast conserving structures, a vast amount of stones are used, the impact of sea environment on which differs from that of other environments. These materials should be classified by their particular size, shape and grading, determined by the maritime structure designers. Other features of stone, such as its density, are also necessary in modeling equations. Moreover, the aggressive conditions of the sea areas signify the importance of the durability and strength of the implemented stone. Among the mentioned features, the strength and the durability of the stones against the aggressive agents existing in maritime environments are the most significant feature that the materials used for constructing the maritime structures, especially the breakwaters should possess. Durability is the stone potency in preserving the stone's physical and mechanical features while it is being used in an engineering structure. Thus, this feature depends on the characteristics of the stone and its environment or the conditions it is being used. The necessity of learning the behavior of stone materials and their durability while they are being used in a maritime structure around the world has been generally indicated after these structures has shown damage. Many investigations and studies are conducted about the degradation and the durability of stones in sea environments, each of which was an important step in implementing the favorable and qualitative material and also in preventing the destruction of the structures and causing financial damage.

Keywords: stone degradation; durability; maritime structures; breakwater

www.SID.ir