



بررسی زمین‌شناسی مهندسی مصالح سنگی و ارائه معیار جهت کاربرد در احداث موج شکنهای توده سنگی سواحل جنوبی ایران

ناصرحافظی مقدس^۱، محمدرضانیکودل^۲، مهدی تلخابلو^۳، علی ارومیه‌ای^۲، مهدی شفیعی فر^۳

پذیرش مقاله: ۸۶/۲/۲

دریافت مقاله: ۸۵/۱۰/۲

چکیده:

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

کلید واژه‌ها: ویژگی‌های مهندسی سنگها - موج شکن توده سنگی - دوام داری - سواحل جنوب ایران

۱- گروه زمین‌شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- گروه زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس

۳- گروه مهندسی عمران دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه

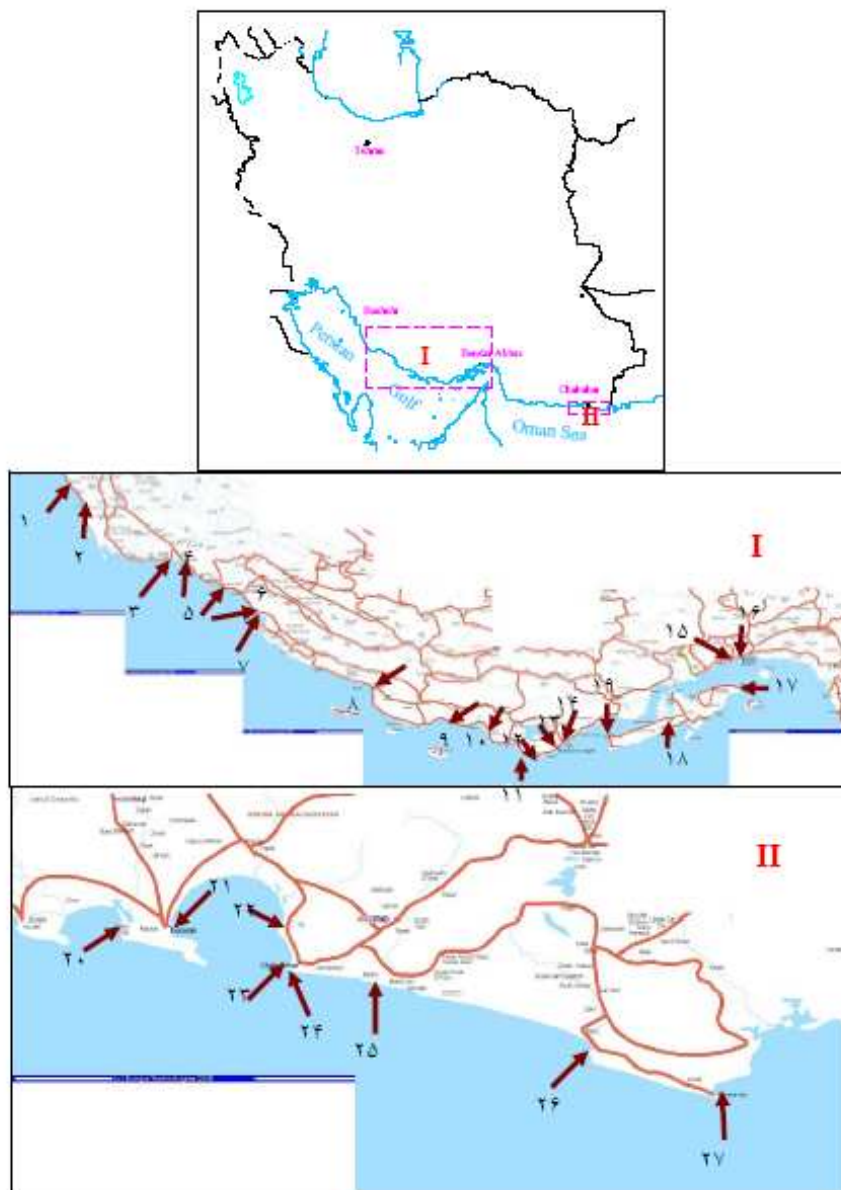
و بعضاً از جنس سنگهای آذرین هستند مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت ضمن انجام آزمایش‌های مهندسی سنجش دوام بر روی نمونه‌های اخذ شده روابط تجربی بین ویژگی‌های مختلف آنها نیز استخراج گردید. همچنین ضمن طبقه‌بندی نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس معیارهای موجود، تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از انجام آزمایش‌های مهندسی و مقایسه آنها با نتایج ارزیابی صحرایی از عملکرد سنگ در موج شکن‌های احداث شده در سواحل جنوب کشور، معیارهای انتخاب سنگ برای سه گروه سنگ‌های آهکی، آذرین و لوماشل بصورت مجزا پیشنهاد شده است.

در ارتباط با پیشینه تحقیق، معیارها و طبقه‌بندیهای مختلفی برای ارزیابی کیفیت و دوام سنگهای مورد استفاده در لایه حفاظتی موج شکنها ارائه شده است (جدول ۱). غالب این معیارها، سنگ‌ها را به دو رده قابل قبول و غیر قابل قبول جهت کاربرد در این سازه‌ها تقسیم می‌کنند. شرایط حاکم بر سواحل جنوبی و جنوب شرق ایران و نوع مصالح در دسترس سبب بروز مشکلاتی در زمینه انتخاب سنگ مناسب برای ساخت این سازه‌ها شده است. با توجه به یافته‌های جدول ۱ مطالعات انجام شده در کشور محدود بوده و بیشتر به صورت محلی و محدود به منطقه یا طرح خاصی است. بجز (جلالی، ۱۳۶۹)، (نیکودل، ۱۳۶۹)، (ناصری، ۱۳۷۶) بررسی جامعی در این خصوص صورت نگرفته است.

در رابطه با دوام و زوال مصالح سنگی در سازه‌های دریایی، تنوع عوامل کنترل کننده دوام مصالح طبیعی، پیش بینی رفتار آنها را در طول زمان بهره برداری با مشکلاتی روبرو می‌سازد. بررسی سازه‌های موجود ساخته شده از مصالح در هر منطقه، یکی از روش‌های مناسب برای تشخیص میزان دوام مصالح سنگی است (Fookes & Poole, 1981). 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 نمود (CUR/RWS, 1995).

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

در این محدوده حدود ۲۷ موج شکن توده سنگی که اغلب مصالح سنگی مصرفی آنها از جنس سنگهای رسوبی با لیتولوژی سنگهای آهکی، سنگهای زیستی تخریبی (لوماشل)



شکل ۱- موقعیت موج شکن‌های مطالعاتی در نقشه ایران

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

جدول ۱- طبقه‌بندی آزمایش‌های مهندسی دوام (Fookes, 1991)

پژوهشگر	دانسیته خشک (t/m ³)	جذب آب (%)	سایش لس آنجلس در ۵۰۰ دور (%)	ارزش ضربه (%)	افت وزنی در سولفات (%)
Wakeling (1977)	>۲/۶	<۳	-	<۳۰	<۱۸
Poole et al, (1984)	>۲/۶	<۲/۵	-	<۱۶	<۱۲
Lutton(1991) (نقل از D)	>۲/۶	<۱/۲	<۳۵	-	<۲
BS (1989)	>۲/۶	<۳	<۱۸	<۳۰	<۱۸
جلالی (۱۳۶۹)	>۲/۵	<۳	<۱۸	<۱۲	-
CIRIA\CUR (2000)	عالی	>۲/۹	<.۰۵	-	<۲
	خوب	۲/۶-۲/۹	.۰۵-۲	-	۲-۱۲
	متوسط	۲/۳-۲/۶	۲-۶	-	۱۲-۲۰
	ضعیف	<۲/۳	>۶	-	>۲۰
نیکودل (۱۳۶۹)	امتیاز خیلی بالا	>۲/۷	<۱	<۱۰	<۱
	امتیاز بالا	۲/۵-۲/۷	۱-۲/۵	۱۰-۱۴	۱-۲
	امتیاز متوسط	۲/۳-۲/۵	۲/۵-۴	۱۴-۱۸	۲-۳
	امتیاز کم	۲/۱-۲/۳	۴-۶	۱۸-۲۴	۳-۵
	امتیاز خیلی کم	<۲/۱	>۶	>۲۴	>۱۸
ناصحی (۱۳۷۶)	عالی	> ۲/۷	<۱	<۱۰	>۲
	خوب	۲/۵ - ۲/۷	۱/۳	۱۰-۱۵	۲-۵
	متوسط	۲/۲ - ۲/۵	۳/۶	۱۵-۲۰	۵-۱۲
	ضعیف	۱/۹ - ۲/۲	۶/۱۰	۲۰-۳۰	۱۲-۱۵
	بسیار ضعیف	< ۱/۹	> ۱۰	> ۳۰	> ۲۵

فرآیندهای فیزیکی که بعنوان عوامل اصلی زوال سنگ در سازه‌های دریایی شناخته شده‌اند شامل سایش، گردشگری، پوسته پوسته شدن، ایجاد شکستگی‌های بزرگ و یا مجموعه‌ای از اینها هستند.

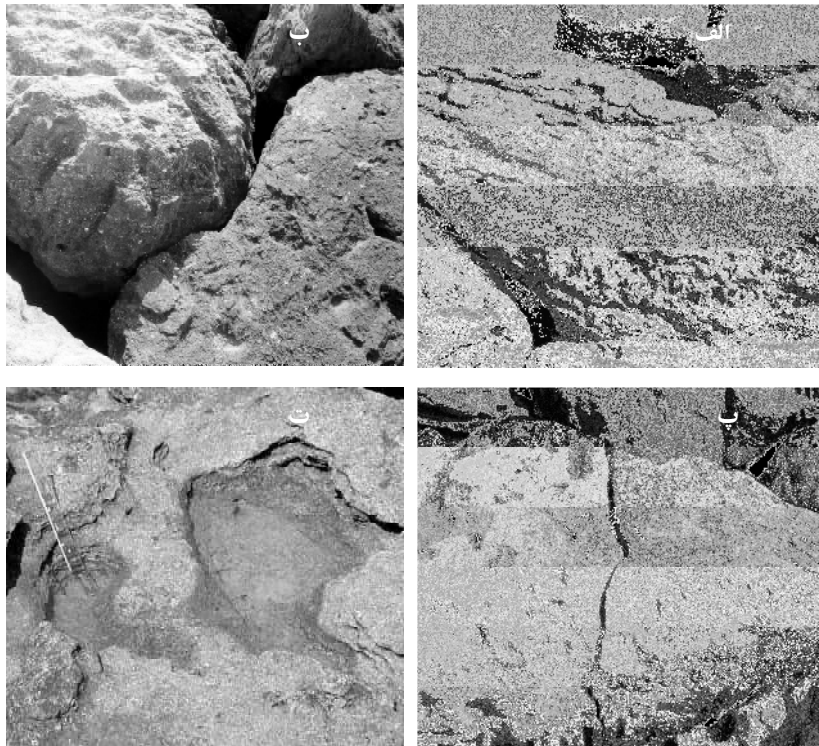
تصاویر موجود در شکل ۲ انواع مکانیسم‌های زوال را که در برخی از موج شکن‌های محدوده مطالعاتی مشاهده گردیده است نشان می‌دهد.

ویژگی‌های زمین‌شناسی عمومی محدوده مطالعاتی در تقسیم‌بندی واحدهای ساختمانی ایران زمین (آقائباتی، ۱۳۸۳) در دو منطقه زاگرس چین خورده و مکران قرار می‌گیرد.

آزمایش‌های دوام مصالح سنگی را در چهار دسته آزمایش‌های فیزیکی، مکانیکی، شبیه‌سازی و بررسی‌های سنگ‌شناسی طبق جدول ۲ ارائه نموده است (Fookes, 1991). مکانیسم‌هایی که منجر به زوال سنگ در لایه حفاظ موج شکن‌ها می‌شوند اغلب فیزیکی هستند. مکانیسم‌های شیمیایی شامل حل شدن کانی‌های ناپایدار کربناتی مانند: آراگونیت، اثر نمکهای محلول در آب، اکسیداسیون و هیدراسیون ترکیبات آهن‌دار مانند اکسیدها و سولفیدها نیز می‌توانند باعث زوال تدریجی سنگ‌ها شود ولی دارای اهمیت کمتری هستند (Topal & Acir, 2004).

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

آزمایشهای فیزیکی	آزمایشهای مکانیکی	آزمایشهای شبیه سازی	بررسی های سنگ شناسی
دانسیته (ظاهری، خشک و اشباع) (BS 812)	مقاومت بار نقطه‌ای (ISRM)	ارزش ضربه‌ای اصلاح شده (هاسکینگ و تویی، ۱۹۶۹)	بررسی سنگ‌شناسی (ASTM C295)
جذب آب (BS 812)	مقاومت فشاری تک محوری (ISRM)	سایش لس آنجلس (ASTM C535)	تعیین کانی‌های رسی (جذب متیلن بلو، اتیلن گلیکول)، پراش اشعه ایکس (XRD)
تعیین تخلخل	ارزش ضربه ای مصالح (BS 812)	زوال و اشینگتن	
	ارزش سایش مصالح (BS 812)	سلامت سولفات (ASTM C88)	
	۱۰ درصد ریزی (BS 812)	دوام داری سنگ (AASHTO-T103-78)	



شکل ۲- مکانیسم‌های فیزیکی و شیمیایی زوال شامل الف- پوسته پوسته شدگی
ب- سایش و گردشدگی، پ- ایجاد شکستگی، ت- انحلال سطح سنگ.

سنگ‌های کربناته (آهک و دولومیت)، سنگ‌های تخییری (مارن، گچ و نمک) و سنگ‌های آواری (ماسه سنگ، لای سنگ و کنگلومرا) است. این توالی رسوبی از لحاظ چینه شناسی ایران سازندهای بسیاری را از قبیل سری هرمز، سازندهای گروه خامی، آسماری، جهرم، میشان، گچساران و

زاگرس چین خورده از لحاظ چینه شناسی از توالی رسوبی ضخیمی تشکیل شده است که مربوط به دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک می‌باشد. این توالی در بخش‌های مختلف دارای نبوده‌های چینه‌ای است که حاصل فازهای کوهزایی مختلف می‌باشد و از نظر لیتولوژی بسیار متنوع بوده و شامل تناوبی از

همانطور که در جدول ۳ ملاحظه می‌شود، سنگهای لوماشلی بیشترین فراوانی را در گروه سنگ‌های مورد بررسی و در نتیجه سنگ‌های مورد استفاده در موج شکن‌های جنوبی کشور دارا می‌باشند. بعد از سنگ‌های لوماشلی به ترتیب سنگ‌های آهکی و آذرین قرار دارند. رخنمونهای آذرین در سواحل جنوبی فقط محدود به برونزدهای آذرین همراه با گنبد‌های نمکی است که توزیع یکنواختی در سرتاسر سواحل جنوبی ندارد و در محدوده بندرلنگه تا بندرعباس وجود دارند. به منظور سنجش و ارزیابی ویژگیهای مهندسی این سنگ‌ها، ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و دوام داری آنها در قالب بیش از ۹۲۰۰ آزمایش مورد بررسی و ارزیابی واقع گردید (جدول ۴). تعداد آزمایش‌ها در گروههای سنگی مختلف با توجه به فراوانی آنها و ضریب تغییرات نتایج آزمایشها متغیر بوده است. برای ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌های مورد مطالعه، آزمایش‌های تعیین دانسیته خشک و اشباع، درصد جذب آب، تخلخل و وزن مخصوص بر روی هر یک از نمونه‌ها انجام گردید. همچنین به منظور بررسی و ارزیابی پارامترهای مقاومتی سنگها نیز، نمونه‌ها تحت آزمایش‌های مقاومت فشاری تک محوری، مقاومت بار نقطه ای و مقاومت کششی در دو حالت خشک و اشباع قرار گرفتند.

آزمایشهای شاخص دوام در ۵، ۱۰ و ۱۵ سیکل و ارزش ضربه ای و سایش لس آنجلس نیز برای ارزیابی ویژگی‌های دوام‌داری مکانیکی و همچنین آزمایش افت وزنی در مقابل سولفات در ۵، ۱۰ و ۱۵ سیکل برای بررسی ویژگی‌های دوام-داری شیمیایی سنگها بر روی نمونه‌ها انجام شد.

محدوده تغییرات هر یک از این ویژگی‌ها برای هر گروه سنگی شامل مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و مقادیر بیشترین فراوانی (مقداری از هر آزمایش که به دفعات بیشتر تکرار شده است) به ترتیب در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده است.

بختیاری را در بر می‌گیرد. فعالیت‌های آتشفشانی در منطقه چین خورده زاگرس مشاهده نمی‌شود و تنها در گنبد‌های نمکی آثاری از سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی دیده می‌شود که سن آنها به اواخر پرکامبرین فرض می‌شود (خسرو تهرانی، ۱۳۷۶). در این پژوهش در موج شکنهای بندر شهید رجایی، بندر شهید باهنر، حسینه، بستانو و شناس از سنگهای آذرین این گنبد‌های نمکی استفاده شده است.

نوار ساحلی جنوب شرقی ایران در منطقه چابهار نیز که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است در منطقه ساختاری مکران و در بخشی از آن به نام مکران ساحلی واقع گردیده است. مکران ساحلی به صورت کمربندی از شرق خلیج فارس (گسل میناب) شروع و تا شمال سواحل اقیانوس هند در پاکستان امتداد یافته است. توالی چینه شناسی این منطقه شامل سه بخش واحدهای سنگی میو- پلیوسن با تناوب لایه‌های ضخیم تا توده ای سنگهای زیستی تخریبی (لوماشل)، مارن و مارن سیلتی، واحدهای سنگی پلیوسن و واحد سنگی کواترنر با لیتولوژی ماسه سنگهای سست ریز تا درشت دانه با فرسایش حفره ای و کنگلومرا می‌باشد.

روش انجام تحقیق

۱- سنجش و ارزیابی ویژگیهای مهندسی نمونه های مورد

مطالعه

در این تحقیق، ۸۰۲ نمونه از مصالح سنگی مصرفی در ۲۷ موج شکن توده سنگی احداث شده در سواحل جنوبی کشور که از لحاظ لیتولوژی شامل انواع مختلف سنگهای آهکی، لوماشل و سنگهای آذرین است، اخذ شد (جدول ۳).

جدول ۳- تعداد و جنس نمونه های اخذ شده

تعداد	جنس نمونه
۱۹۴	آذرین
۲۷۴	آهک
۳۳۴	لوماشل
۸۰۲	جمع کل

جدول ۴- تعداد و انواع آزمایش های انجام شده بر روی هر یک از نمونه های سنگی

مجموع	لوماشل		آهکی		آذرین		نوع سنگ		نوع آزمایش
	اشباع	خشک	اشباع	خشک	اشباع	خشک	اشباع	خشک	
۹۷۸	۴۰۲		۳۸۲		۱۹۴		درصد جذب آب		ویژگی های فیزیکی
۹۷۸	۴۰۲		۳۸۲		۱۹۴		تخلخل		
۹۷۸	۴۰۲		۳۸۲		۱۹۴		دانسیته خشک		
۹۷۸	۴۰۲		۳۸۲		۱۹۴		دانسیته اشباع		
۹۶۶	۴۰۲		۳۸۲		۱۹۴		وزن مخصوص		
۷۹۶	۲۴۲	۲۴۲	۱۲۰	۱۲۰	۳۶	۳۶	مقاومت تک محوری		ویژگی های مقاومتی
۷۹۶	۲۴۲	۲۴۲	۱۲۰	۱۲۰	۳۶	۳۶	مدول الاستیسیته		
۸۴۲	۲۵۴	۲۵۴	۱۱۷	۱۱۷	۵۰	۵۰	شاخص بار نقطه ای		
۳۰۰	۱۹۰		۷۶		۳۴		مقاومت کششی		
۲۲۱	۱۶۲		۴۳		۱۶		شاخص دوام (۵سیکل)		ویژگی های دوام داری مکانیکی
۲۲۱	۱۶۲		۴۳		۱۶		شاخص دوام (۱۰سیکل)		
۲۲۱	۱۶۲		۴۳		۱۶		شاخص دوام (۱۵سیکل)		
۲۷۳	۱۶۷		۶۸		۳۸		ارزش ضربه		
۱۵۱	۸۰		۵۳		۱۸		سایش لس آنجلس		ویژگی های دوام داری شیمیایی
۱۶۸	۹۵		۴۶		۲۷		افت وزنی (۵سیکل)		
۱۶۸	۹۵		۴۶		۲۷		افت وزنی (۱۰سیکل)		
۱۶۸	۹۵		۴۶		۲۷		افت وزنی (۱۵سیکل)		
۹۲۱۵	۴۶۹۴		۳۰۸۸		۱۴۳۳				

جدول ۵- مقادیر ویژگی های مهندسی نمونه های مورد مطالعه الف: ویژگی های فیزیکی

گروه سنگی	دانسیته خشک (KN/m3)			دانسیته اشباع (KN/m3)			جذب آب (%)			تخلخل (%)			وزن مخصوص		
	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر
آذرین	۲۴/۲۸	۲۱/۱۷	۲۹/۱۷	۲۴/۹۵	۲۲/۷۷	۲۸/۸۱	۲/۸۸	۰/۱۳۱	۱۱/۰۶	۶/۷۸	۰/۳۸	۲۶/۲۰	۲/۶۶	۲/۴۴	۲/۹۰
آهکی	۲۰/۷۲	۱۳/۰۲	۲۸/۷۲	۲۲/۳۸	۱۴/۳۸	۲۹/۲۹	۹/۰۴۴	۰/۱۴۴	۳۳/۶۱	۱۷/۰۷	۰/۴۳	۵۰/۰۰	۲/۵۳	۲/۰۱	۲/۸۰
لوماشل	۱۷/۹۵	۱۳/۴۵	۲۷/۸۳	۲۰/۵۶	۱۶/۵۲	۲۸/۵۸	۱۵/۰۶	۱/۰۵۶	۴۳/۲۶	۲۶/۸۵	۲/۶۹	۹۶/۱۲	۲/۵۰	۲/۰۰	۲/۸۰

ب: ویژگی های مقاومتی

گروه سنگی	بار نقطه ای خشک (MPa)			مقاومت کششی (MPa)			مقاومت تک محوری خشک (MPa)			مقاومت تک محوری اشباع (MPa)					
	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر			
آذرین	۷/۵۹	۱/۲۰	۱۹/۳۰	۷/۰۹	۰/۹۴	۱۵/۶۶	۱۲/۷۹	۰/۲۶	۱۵/۱۵	۱۰/۸۰	۵/۱۰	۲۳۲/۶۴	۷۳/۹۹	۳/۴۹	۱۶۹/۷۷
آهکی	۳/۳۵	۰/۴۷	۱۱/۲۱	۳/۳۹	۰/۰۴	۱۶/۷۸	۲/۹۷	۰/۰۶	۸/۱۱	۴۳/۸۸	۱/۲۱	۱۴۴/۶۱	۲۵/۶۴	۱/۱۴	۷۹/۸۵
لوماشل	۱/۹۰	۰/۲۰	۷/۵۲	۱/۵۵	۰/۱۰	۸/۴۷	۱/۳۰	۰/۰۵	۶/۸۲	۱۴/۰۰	۰/۹۳	۱۶۳/۴۷	۸/۳۸	۰/۳۱	۱۳۸/۳۳

ج: ویژگی های دوام داری

گروه سنگی	ارزش ضربه ای (%)			شاخص دوام (۱۰ سیکل) (%)			شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)			سلامت سنگ (۵ سیکل) (%)		
	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر
آذرین	۱۰/۹۶	۳/۶۴	۴۱/۶۶	۹۶/۹۴	۸۷/۲۲	۹۹/۴۰	۹۵/۲۴	۸۰/۱۳	۹۹/۲۰	۹۳/۸۷	۷۴/۸۰	۹۸/۹۰
آهکی	۲۰/۰۸	۵/۷۴	۴۸/۹۸	۹۳/۷۶	۷۲/۳۱	۹۹/۳۰	۹۰/۰۶	۵۷/۶۲	۹۹/۰۰	۸۹/۳۷	۴۷/۶۷	۹۸/۷۰
لوماشیل	۴۴/۰۵	۹/۸۷	۷۹/۷۳	۸۵/۵۰	۲۸/۸۰	۹۹/۳۹	۷۷/۹۸	۱۲/۸۰	۹۹/۰۸	۷۲/۰۷	۳۵/۸۰	۹۸/۸۱

ادامه ج: ویژگی های دوام داری

گروه سنگی	سلامت سنگ (۱۰ سیکل) (%)			سلامت سنگ (۱۵ سیکل) (%)			سایش لس آنجلس (%)		
	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر
آذرین	۲/۰۶	-۰/۷۸	۸/۲۵	۲/۹۸	-۲/۳	۵/۶۰	۱۶/۲۲	۸/۲۰	۲۹/۰۰
آهکی	۶/۵۶	-۰/۸	۲۵/۰۰	۸/۷۰	-۱/۳	۱۳/۲۵	۳۴/۹۸	۱۲/۴۵	۸۳/۹۷
لوماشیل	۱۰/۲۴	-۱/۸۱	۲۱/۸۰	۹/۹۸	-۳/۴	۱۹/۶۸	۵۵/۱۱	۱۲/۱۵	۹۱/۸۸

جدول ۶- مقادیر بیشترین فراوانی ویژگی های مهندسی نمونه های مورد مطالعه

الف: ویژگی های فیزیکی

گروه سنگی	بیشترین فراوانی	دانسیته خشک (KN/m ³)	دانسیته اشباع (KN/m ³)	جذب آب (%)	تخلخل (%)	وزن مخصوص
آهکی	۲۴	۲۴	۲۴	۲/۲	۱۰	۲/۷۲
آذری	۲۴	۲۴	۲۵	۲	۵	۲/۷۴
لوماشیل	۱۸	۱۸	۲۱	۱۷	۲۵	۲/۷۰

ب: ویژگی های مقاومتی

گروه سنگی	بیشترین فراوانی	بار نقطه ای خشک (MPa)	بار نقطه ای اشباع (MPa)	تک محوری خشک (MPa)	تک محوری اشباع (MPa)	مقاومت کششی (MPa)
آهکی	۲	۱/۸	۱/۸	۶۰	۱۵	۳
آذری	۱۱	۱۰	۱۰	۱۴۰	۱۱۰	۱۶
لوماشیل	۱/۸	۱/۶	۱/۶	۱۰	۸	۰/۵

ج: ویژگی های دوام داری

گروه سنگی	بیشترین فراوانی	ارزش ضربه ای (%)	سایش لس آنجلس (%)	سلامت سنگ ۵ سیکل (%)	سلامت سنگ ۱۰ سیکل (%)	سلامت سنگ ۱۵ سیکل (%)
آهکی	۲۵	۲۵	۴۰	۱	۴	۱۲
آذری	۸	۸	۲۰	۱	۴	۵
لوماشیل	۴۷	۴۷	۷۵	۱۴	۱۸	۱۶

مقاومتی در سه گروه سنگی مذکور در جدول (۷) ارائه شده است. نتایج حاصله نشان می دهد که همبستگی بین ویژگیهای فیزیکی و مقاومتی در سنگهای لوماشلی عموماً کمتر از دو گروه دیگر سنگها است. این می تواند بدلیل ناهمسانی شدید مقاومتی در این سنگها (بعلت ارتباط بین مقاومت آنها با درصد و نوع سیمان شدگی، درصد تخلخل و اندازه دانه ها) باشد.

۲-۲- روابط بین ویژگی های فیزیکی و دوام داری سنگها بطور کلی با بهبود خواص فیزیکی سنگ، دوام داری آن نیز افزایش می یابد. با توجه به نتایج حاصل از انجام آزمایش های مذکور و ایجاد ارتباط بین آنها، مشاهده گردید که ضریب همبستگی روابط بین این دو پارامتر بیشتر از روابط بین خواص فیزیکی و مقاومتی سنگها است (جدول ۸). این می تواند بدلیل وابستگی مقاومت سنگها با جهت اعمال بار باشد بطوریکه در پارامترهای مقاومتی نظیر مقاومت تک محوری، بار نقطه ای و مقاومت کششی جهت اعمال بار اهمیت زیادی دارد و بسته به جهت اعمال بار، مقادیر نهایی مقاومت با هم تفاوت دارند. در واقع ناهمسانی مقاومتی در ماده سنگ بیشتر از ناهمسانی دوام داری بوده و دارای اهمیت بیشتری می باشد.

همانطور که در جدول ۵ ملاحظه می شود کمترین محدوده تغییرات هر یک از این ویژگی های مربوط به سنگ های آذرین و بیشترین آن مربوط به سنگهای لوماشلی است.

۲- روابط بین ویژگیهای مهندسی مختلف گروههای سنگی مورد مطالعه

به منظور بررسی ارتباط بین نتایج آزمایشهای مختلف مهندسی انجام شده بر روی نمونه ها و گروههای مختلف سنگی و استخراج روابط تجربی، رابطه بین پارامترهای فیزیکی، مقاومتی و دوام داری نمونه ها برقرار گردید.

۲-۱- روابط بین ویژگیهای فیزیکی و مقاومتی سنگها پس از انجام آزمایشهای مختلف فیزیکی و مقاومتی بر روی نمونه ها و ایجاد ارتباط بین آنها، مشاهده گردید که ارتباط بین خواص فیزیکی و مقاومتی هر سه گروه سنگهای آهکی، آذرین و زیستی تخریبی (لوماشلی) پراکندگی نسبتاً زیادی را نشان می دهد که می تواند بدلیل وجود ریزدازه و وجود ناهمسانی مقاومتی در سنگها باشد. رابطه بین اقلام فیزیکی و مقاومتی بیشتر به صورت نمایی یا توانی است و ضریب همبستگی نیز در غالب موارد کمتر از ۰/۵ است. نوع منحنی برازش و ضرائب همبستگی (r) بین اقلام مختلف فیزیکی و

جدول ۷- نوع منحنی برازش و ضرائب همبستگی بین پارامترهای فیزیکی و مقاومتی سنگها
الف: سنگهای آهکی

	γ_d (τ KN/M)	γ_{sat} (KN/M ³)	Gs	n (%)	w (%)
γ_d	1				
γ_{sat}	0.968(Li)	1			
Gs	0.595(Li)	0.728(Li)	1		
n (%)	0.830(E)	0.705(E)	0.308(E)	1	
w (%)	0.883(Log)	0.772(Log)	0.367(E)	0.988(P)	1
qu(dry) (Mpa)	0.620(P)	0.569(P)	0.204(Log)	0.573(E)	0.617(E)
qu(sat) (Mpa)	0.638(P)	0.459(P)	0.109(P)	0.599(E)	0.643(E)
Is(dry) (Mpa)	0.531(P)	0.370(E)	0.148(P)	0.488(E)	0.500(E)
Is(sat) (Mpa)	0.426(Li)	0.427(E)	0.145(P)	0.424(E)	0.466(E)
σ_t (dry) (Mpa)	0.632(P)	0.597(Li)	0.342(Li)	0.580(E)	0.599(E)
Es(dry) (Mpa)	0.526(Log)	0.495(Li)	0.237(Log)	0.473(Li)	0.495(Li)
Es(sat) (Mpa)	0.685(P)	0.662(P)	0.263(P)	0.565(E)	0.605(E)

ب: سنگهای آذرین

	γ_d (γ KN/M ³)	γ_{sat} (KN/M ³)	Gs	n (%)	w (%)
γ_d	1				
γ_{sat}	0.063(Log)	1			
Gs	0.592(E)	0.771(E)	1		
n (%)	0.822(P)	0.686(P)	0.065(E)	1	
w (%)	0.842(P)	0.712(P)	0.071(Li)	0.997(P)	1
qu(dry) (Mpa)	0.085(Li)	0.109(Li)	0.122(Log)	0.038(Log)	0.044(Log)
qu(sat) (Mpa)	0.095(Li)	0.051(E)	0.141(E)	0.114(Log)	0.109(Log)
Is(dry) (Mpa)	0.471(P)	0.205(Li)	0.187(E)	0.314(Li)	0.658(E)
Is(sat) (Mpa)	0.348(Li)	0.255(Li)	0.154(Log)	0.184(E)	0.327(Li)
σ_t (dry) (Mpa)	0.414(Li)	0.680(Li)	0.195(Log)	0.109(P)	0.109(Li)
Es(dry) (Mpa)	0.134(E)	0.145(P)	0.130(E)	0.095(P)	0.118(P)
Es(sat) (Mpa)	0.077(Log)	0.032(Log)	0.054(E)	0.167(P)	0.161(P)

ج: سنگهای لوماسیل

	γ_d (γ KN/M ³)	γ_{sat} (KN/M ³)	Gs	n (%)	w (%)
γ_d	1				
γ_{sat}	0.819(E)	1			
Gs	0.574(E)	0.316(Li)	1		
n (%)	0.554(Log)	0.318(P)	0.395(Li)	1	
w (%)	0.500(Log)	0.806(Log)	0.313(Li)	0.959(P)	1
qu(dry) (Mpa)	0.607(E)	0.500(E)	0.071(Log)	0.360(E)	0.426(P)
qu(sat) (Mpa)	0.398(E)	0.398(E)	0.070(Log)	0.363(E)	0.477(P)
Is(dry) (Mpa)	0.421(Li)	0.363(Li)	0.071(Li)	0.379(Log)	0.411(Log)
Is(sat) (Mpa)	0.273(Li)	0.176(Li)	0.031(Li)	0.362(Log)	0.359(Log)
σ_t (dry) (Mpa)	0.607(Li)	0.446(Li)	0.032(Log)	0.628(Li)	0.646(Li)
Es(dry) (Mpa)	0.484(Li)	0.474(P)	0.209(P)	0.301(Log)	0.366(Log)
Es(sat) (Mpa)	0.413(E)	0.319(E)	0.054(E)	0.331(P)	0.372(P)

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

جدول ۸- نوع منحنی برازش و ضرایب همبستگی بین پارامترهای فیزیکی و دوام داری سنگها

الف: سنگهای آهکی

	γ_d (γ KN/M ³)	γ_{sat} (KN/M ³)	Gs	n (%)	w (%)
شاخص دوام (۵ سیکل) (%)	0.758(Li)	0.779(Log)	0.176(P)	0.593(Li)	0.643(Log)
شاخص دوام (۱۰ سیکل) (%)	0.751(Li)	0.767(P)	0.176(E)	0.594(Li)	0.640(Log)
شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)	0.778(Li)	0.843(Log)	0.709(E)	0.587(Log)	0.645(Log)
لس آنجلس (%)	0.820(log)	0.760(Li)	0.303(Log)	0.790(Li)	0.662(Li)
ارزش ضربه (%)	0.725(Li)	0.717(Log)	0.302(Log)	0.540(Log)	0.599(Log)
افت وزنی (۵ سیکل) (%)	0.471(Li)	0.462(Li)	0.164(Log)	0.419(Log)	0.434(Log)
افت وزنی (۱۰ سیکل) (%)	0.598(Li)	0.553(Li)	0.258(Log)	0.194(Log)	0.554(Li)
افت وزنی (۱۵ سیکل) (%)	0.877(Log)	0.852(Log)	0.251(Log)	0.189(Log)	0.874(Li)

ب: سنگهای آذرین

	γ_d	Γ_{sat}	Gs	n (%)	w (%)
	(γ KN/M)	(KN/M 3)			
شاخص دوام (۵ سیکل) (%)	0.181(Li)	0.212(Li)	0.236(Li)	0.467(Li)	0.506(Li)
شاخص دوام (۱۰ سیکل) (%)	0.431(Log)	0.240(Log)	0.376(E)	0.412(E)	0.461(E)
شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)	0.456(Log)	0.275(Li)	0.473(Li)	0.403(E)	0.458(E)
لس آنجلس (%)	0.343(E)	0.327(E)	0.130(P)	0.179(Log)	0.158(Log)
ارزش ضربه (%)	0.568(E)	0.481(E)	0.387(P)	0.444(Log)	0.434(Log)
افت وزنی (۵ سیکل) (%)	0.225(Li)	0.063(Li)	0.236(Li)	0.405(Log)	0.414(Log)
افت وزنی (۱۰ سیکل) (%)	0.104(Li)	0.083(Li)	0.181(Li)	0.141(Log)	0.141(Log)

ج: سنگهای لوماشل

	γ_d	γ_{sat}	Gs	n (%)	w (%)
	(γ KN/M)	(KN/M 3)			
شاخص دوام (۵ سیکل) (%)	0.438(Li)	0.302(Li)	0.122(Li)	0.389(Log)	0.440(Log)
شاخص دوام (۱۰ سیکل) (%)	0.424(Log)	0.286(Li)	0.141(Li)	0.369(Log)	0.443(Log)
شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)	0.437(Li)	0.286(Li)	0.151(Li)	0.413(Log)	0.458(Log)
لس آنجلس (%)	0.753(E)	0.728(E)	0.300(E)	0.388(P)	0.453(P)
ارزش ضربه (%)	0.712(E)	0.426(E)	0.134(Li)	0.610(P)	0.672(P)
افت وزنی (۵ سیکل) (%)	0.411(Log)	0.354(Li)	0.122(Log)	0.353(Log)	0.386(Log)
افت وزنی (۱۰ سیکل) (%)	0.291(Log)	0.364(Log)	0.459(Log)	0.031(Log)	0.100(Log)
افت وزنی (۱۵ سیکل) (%)	0.114(Log)	0.340(Li)	0.238(Log)	0.063(Log)	0.031(Log)

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

همبستگی پائین است با سایر مشخصات سنگ و این امر حاکی از آن است که دوام شیمیایی سنگها وابستگی کمتری به سایر ویژگی های سنگها نشان می دهد و باید این اقلام بصورت مستقل ارزیابی شود.

بررسی نتایج، در مورد ارتباط بین خواص فیزیکی، مکانیکی و دوامداری نشان می دهد، ضرائب همبستگی بین پارامترهای مختلف در سنگهای آهکی مقادیر بالاتری را نسبت به سنگهای آذرین و لوماشلی دارد. به عبارت دیگر نتایج در سنگهای لوماشلی بیشترین پراکندگی را دارد. در جدول ۱۰ برخی از این روابط تجربی که ضرائب همبستگی قابل قبول تری داشته اند ارائه شده است.

همچنین ارتباط بین این اقلام در گروه های مختلف سنگی نشان می دهد که در مقایسه با سنگهای آهکی در سنگهای زیستی - تخریبی (لوماشل)، پراکندگی داده های دوام داری با خواص فیزیکی بیشتر است.

۲-۳- روابط بین ویژگی های مقاومتی و دوام داری سنگها از ایجاد ارتباط بین نتایج حاصل از انجام آزمایشهای مقاومتی و دوام داری سنگها، (جدول ۹) مشخص گردید که از بین ویژگی های دوام داری، شاخص دوام در هر سه سیکل ۵ و ۱۰ و ۱۵ همبستگی خوبی را با خواص مقاومتی سنگها نشان می دهد. نکته قابل توجه دیگری که از برقراری این ارتباط حاصل گردید، درصد افت وزنی نمونه ها در سولفات

جدول ۹- نوع منحنی برآزش و ضرایب همبستگی بین اقلام مقاومتی و دوام داری سنگها

الف: سنگهای آهکی

	qu(dry) (Mpa)	qu(sat) (Mpa)	Is(dry) (Mpa)	Is(sat) (Mpa)	σ_t (dry) (Mpa)	Es(dry) (Gpa)	Es(sat) (Gpa)
شاخص دوام (۵ سیکل) (%)	0.839(P)	0.794(P)	0.565(Log)	0.513(Log)	0.500(Log)	0.778(P)	0.816(P)
شاخص دوام (۱۰ سیکل) (%)	0.833(P)	0.782(Log)	0.563(Log)	0.509(Li)	0.504(Log)	0.778(P)	0.803(Log)
شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)	0.882(P)	0.768(Log)	0.541(Log)	0.485(Li)	0.512(Log)	0.875(P)	0.925(P)
لس آنجلس (%)	0.874(Log)	0.761(Log)	0.596(P)	0.652(P)	0.522(Log)	0.713(E)	0.697(E)
ارزش ضربه (%)	0.819(Log)	0.531(Li)	0.806(E)	0.685(E)	0.712(E)	0.594(E)	0.533(E)
افت وزنی (۵ سیکل) (%)	0.154(Li)	0.189(Li)	0.245(Li)	0.272(Log)	0.189(Li)	0.038 (Log)	0.184(Li)
افت وزنی (۱۰ سیکل) (%)	0.413(Log)	0.359(Li)	0.202(Log)	0.207(Li)	0.352(Log)	0.469 (Log)	0.250(Li)
افت وزنی (۱۵ سیکل) (%)	0.184(P)	0.118(P)	0.167(P)	0.189(P)	0.998(Log)	0.319(Li)	0.331(Li)

ب: سنگهای آذرین

	qu(dry) (Mpa)	qu(sat) (Mpa)	Is(dry) (Mpa)	Is(sat) (Mpa)	σ_t (dry) (Mpa)	Es(dry) (Gpa)	Es(sat) (Gpa)
شاخص دوام (۵ سیکل) (%)	0.301(Li)	0.922(Li)	0.536(Log)	0.371(P)	0.909(Li)	0.434(Li)	0.558(Li)
شاخص دوام (۱۰ سیکل) (%)	0.440(Li)	0.982(Li)	0.584(Log)	0.328(P)	0.989(Li)	0.083(E)	0.130(E)
شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)	0.387(Li)	0.866(Li)	0.587(Log)	0.118(P)	0.939(Li)	0.238(E)	0.178(P)
لس آنجلس (%)	0.563(E)	0.482(P)	0.225(P)	0.514(Log)	0.814(E)	0.515(Log)	0.583(E)
ارزش ضربه (%)	0.413(Log)	0.209(E)	0.284(E)	0.760(Log)	0.633(E)	0.894(Li)	0.161(E)
افت وزنی (۵ سیکل) (%)	0.282(Log)	0.151(Log)	0.114(Li)	0.158(Li)	0.134(Log)	0.077(Log)	0.219(Log)
افت وزنی (۱۰ سیکل) (%)	0.221(Log)	0.130(Log)	0.260(Log)	0.108(Log)	0.221(Log)	0.248(Li)	0.077(Log)

ج: سنگهای لوماشل

	qu(dry) (Mpa)	qu(sat) (Mpa)	Is(dry) (Mpa)	Is(sat) (Mpa)	σ_t (dry) (Mpa)	Es(dry) (Gpa)	Es(sat) (Gpa)
شاخص دوام (۵ سیکل) (%)	0.549(Log)	0.466(Log)	0.454(Log)	0.534(Log)	0.543(Li)	0.497(Log)	0.441(Log)
شاخص دوام (۱۰ سیکل) (%)	0.619(Log)	0.484(Log)	0.478(Log)	0.732(Log)	0.563(Li)	0.501(Log)	0.435(Log)
شاخص دوام (۱۵ سیکل) (%)	0.571(Log)	0.501(Log)	0.489(Log)	0.552(Log)	0.574(Li)	0.510(Log)	0.431(Log)
لس آنجلس (%)	0.805(E)	0.707(E)	0.425(E)	0.520(E)	0.583(E)	0.487(Log)	0.518(Log)
ارزش ضربه (%)	0.641(P)	0.644(P)	0.548(P)	0.597(Log)	0.809(E)	0.607(P)	0.489(E)
افت وزنی (۵ سیکل) (%)	0.148(Li)	0.148(Li)	0.145(Li)	0.179(Li)	0.148(Li)	0.176(Log)	0.078(Li)
افت وزنی (۱۰ سیکل) (%)	0.158(Li)	0.063(Li)	0.130(Li)	0.187(Log)	0.426(Log)	0.266(Li)	0.089(Li)
افت وزنی (۱۵ سیکل) (%)	0.337(Li)	0.464(Log)	0.336(Log)	0.689(Log)	0.624(Log)	0.381(Li)	0.328(Li)

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

جدول ۱۰- روابط تجربی بین ویژگی های مختلف مهندسی نمونه های مطالعاتی

نوع سنگ	نوع پارامترها	روابط تجربی
آذرین	مدول الاستیسیته اشباع (Es) و مقاومت تک محوری اشباع (qu)	$Es(sat) = 285.5 qu(sat)^{0.795}$, $R2 = 0.8854$
	مدول الاستیسیته خشک (Es) و مقاومت تک محوری خشک (qu)	$Es(dry) = 82.6 qu(dry)$, $R2 = 0.5891$
	مقاومت تک محوری خشک (qu) و بار نقطه ای خشک (Is)	$qu(dry) = 13.59 Is(dry)$, $R2 = 0.6654$
	مقاومت تک محوری اشباع (qu) و بار نقطه ای اشباع (Is)	$qu(sat) = 2.540 Is(sat)$, $R2 = 0.582$
	ارزش ضربه ای (AIV) و شاخص دوام (۱۰ سیکل) (Id)	$AIV = -2.2791 Id(10) + 233.55$, $R2 = 0.6063$
	سایش لس آنجلس (Ls) و ارزش ضربه ای (AIV)	$Ls(\%) = 3.175 (AIV)^{0.792}$, $R2 = 0.7935$
لوماسل	سایش لس آنجلس (Ls) و دانسیته خشک (γd)	$Ls(\%) = 681.3e^{-0.1437\gamma d}$, $R2 = 0.568$
	سایش لس آنجلس (Ls) و دانسیته اشباع (γsat)	$Ls(\%) = 1267e^{-0.157\gamma sat}$, $R2 = 0.530$
	ارزش ضربه ای (AIV) و شاخص دوام (۱۵ سیکل) (Id)	$AIV = -0.977 Id(15) + 115.71$, $R2 = 0.751$
	سایش لس آنجلس (Ls) و ارزش ضربه ای (AIV)	$Ls(\%) = 0.908 (AIV) + 17.298$, $R2 = 0.598$
آهکی	مدول الاستیسیته اشباع (Es) و مقاومت تک محوری اشباع (qu)	$Es(sat) = 102.3 qu(sat)$, $R2 = 0.655$
	مدول الاستیسیته خشک (Es) و مقاومت تک محوری خشک (qu)	$Es(dry) = 150.4 qu(dry)^{0.9294}$, $R2 = 0.672$
	سایش لس آنجلس (Ls) و دانسیته خشک (γd)	$Ls(\%) = -97.79 Ln(\gamma d) + 333.97$, $R2 = 0.672$
	شاخص دوام (۱۵ سیکل) (Id) و دانسیته اشباع (γsat)	$Id(15) = 70.575 Ln(\gamma sat) - 131.58$, $R2 = 0.712$
	سایش لس آنجلس (Ls) و شاخص دوام (۱۵ سیکل) (Id)	$Ls(\%) = -173.9 Ln(Id(15)) + 813.25$, $R2 = 0.871$
	ارزش ضربه ای (AIV) و شاخص دوام (۱۵ سیکل) (Id)	$AIV = -1.350 Id(15) + 141.47$, $R2 = 0.832$
سایش لس آنجلس (Ls) و ارزش ضربه ای (AIV)	$Ls(\%) = 1.449 (AIV) + 3.380$, $R2 = 0.886$	

۳- طبقه بندی سنگها بر اساس مشاهدات صحرایی

بر اساس شواهد صحرایی نظیر پوسته پوسته شدن، گردشگی، سایش پذیری و خراش یافتگی با نوک چکش زمین شناسی، وجود یا نبود خزه و صدف بر روی سنگها در قسمتهای مختلف یک موج شکن، تعداد ضربه لازم برای شکستن نمونه و نیز آزمایش جذب آب سریع، نمونه های مورد مطالعه در پنج گروه تقسیم بندی شدند (جدول ۱۱).

لازم به ذکر است که امتیاز نهایی حاصل از آزمایش های آزمایشگاهی در مقابل این نتایج صحرایی (رده های A تا E جدول ۱۱) قرار گرفته و متوسط امتیاز گروه های مختلف سنگی خیلی ضعیف، متوسط، مقاوم و بسیار مقاوم تعیین شده است که این مطلب به تفصیل در بند ۳-۴ ارائه شده است. در آزمایش جذب آب سریع قطعه ای از سنگ به ابعاد تقریبی ۵ سانتیمتر در حالت خشک در داخل آب فرو برده می شود و بر اساس سرعت جذب آب از سطح نمونه در

مورد آن قضاوت می شود. در نمونه های ضعیف و با جذب آب شدید بلافاصله بعد از مرطوب شدگی سطح سنگ خشک می شود، در حالیکه در نمونه های خیلی مقاوم، سطح سنگ براق باقی می ماند و آب جذب سطح سنگ نمی شود.

۴- رده بندی و ارائه معیار پیشنهادی انتخاب مصالح سنگی جهت کاربرد در موج شکنهای توده سنگی

معیار انتخاب سنگ در این تحقیق بصورت ترکیبی از روش طبقه بندی نسبی و ارزیابی عملکرد واقعی سنگ در موج شکنهای جنوبی کشور می باشد. سیستم طبقه بندی مناسب باید ضمن داشتن دقت بالا در تفکیک سنگها، ساده و براحتی قابل استفاده باشد. تعداد زیاد پارامترها موجب پیچیدگی و محدود شدن کاربرد سیستم خواهد بود. در این مطالعه پارامترهای مورد استفاده در طبقه بندی به چهار گروه پارامترهای فیزیکی (دانسیته خشک، جذب آب تخلخل)، پارامترهای مقاومتی (مقاومت تک محوری، شاخص بار

نقطه ای)، پارامترهای دوام داری مکانیکی (ارزش ضربه ای، سایش لس آنجلس و شاخص دوام) و پارامترهای دوام داری شیمیایی (مقاومت در برابر سولفاتها) تقسیم گردیدند. به منظور امتیازدهی و طبقه‌بندی سنگ حداقل یک نتیجه آزمایش از هر یک از پارامترهای چهار گانه فوق مورد نیاز است.

جدول ۱۱- طبقه بندی و توصیف صحرایی نمونه‌های سنگی در این مطالعه

رده بندی	توصیف صحرایی نمونه
خیلی ضعیف (E)	سنگ در زیر آب وارفتگی نشان می دهد و سطح آن ناهموار است، در سطح سنگ در خارج آب قشری از پودر سنگ مشاهده می شود. در شرایطی که در سطح سنگهای اطراف خزه و صدف مشاهده می گردد سطح این سنگ فاقد خزه و صدف می باشد. با چکش زمین شناسی شیبی با عمق بیش از ۲ سانتیمتر می توان در آن ایجاد نمود. بلوک ها کاملاً گرد گوشه شده اند و در محل تماس آن با سنگهای مقاومتر سایش شدیدی نشان می دهد. با یک ضربه چکش زمین شناسی قطعات بزرگی از سنگ شکسته می شود. در آزمایش جذب آب سریع، سطح نمونه بلافاصله خشک می شود.
ضعیف (D)	آثار پوسته پوسته شدن در سنگ مشاهده می گردد. فاقد خزه و صدف می باشد. با نوک چکش زمین شناسی شیبی به عمق بیش از ۱ سانتیمتر در آن ایجاد می گردد. نسبتاً گرد گوشه هستند، سایش زیادی نشان می دهند. با ضربه چکش گوشه های سنگ پراحتی می شکند. بلوک های خرد شده و شکسته شده بعضاً مشاهده می گردد. آثار خوردگی در اثر انحلال مشاهده می گردد. در آزمایش جذب آب سریع، سطح نمونه بلافاصله خشک می شود
متوسط (C)	چکش زمین شناسی آنرا خراش می دهد. در حد بین جزرومد سایش زیاد نشان می دهد. بلوک ها در زیر سطح آب و خارج از آب زاویه دار هستند. در حد جزرومدی نسبتاً گرد گوشه می باشند. برای شکستن گوشه سنگ نیاز به بیش از یک ضربه چکش می باشد. در زیر منطقه جزرومدی سطح سنگ پوشیده از صدف می باشد. شواهد انحلال شیمیایی بعضاً دیده می شود. در آزمایش جذب آب سریع، سطح نمونه بعد از مدت کوتاهی خشک می شود
مقاوم (B)	با نوک چکش زمین شناسی به سختی خراش برمی دارد. در محدوده جزرومدی بعضاً شواهد فرسایش وجود دارد. غالب بلوک ها زاویه دار هستند. غالباً پوشیده از خزه و صدف هستند. آثار خوردگی و انحلال بندرت دیده می شود. در آزمایش جذب آب سریع، سطح نمونه تا چند دقیقه مرطوب است.
خیلی مقاوم (A)	بلوک ها زاویه دار و سطح بلوک تمیز می باشد. در محدوده جزرومدی و زیر سطح آب پوشیده از خزه و صدف می باشد. برای شکستن گوشه سنگ نیاز به چند ضربه چکش زمین شناسی می باشد. در آزمایش جذب آب سریع، نمونه جذب آب ندارد.

برای هر نمونه سنگ امتیاز میانگین آن با جمع جبری امتیازات و تقسیم آن بر تعداد آزمایش های انجام شده بدست می آید و امتیاز نهایی در مقابل نتایج صحرایی قرار گرفته و متوسط امتیاز و تغییرات آن برای رده های مختلف (خیلی ضعیف (E) ضعیف (D) متوسط (C) مقاوم (B) و بسیار مقاوم (A) تعیین گردید. بنابراین با مشخص شدن امتیاز هر رده و استخراج نمونه سنگ های هر یک از این پنج رده (A تا E) از فایل اصلی، مقادیر محدوده تغییرات هر یک از پارامترهای خواص فیزیکی، مقاومتی و دوام داری تعیین گردید.

در نهایت با توجه به اینکه در تجزیه و تحلیل آماری به همه داده ها وزن یکسان داده شده بود، امتیازبندی پارامترها نیز به صورت یکسان در نظر گرفته شد به این ترتیب که به هر یک

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

به مقادیر کم و زیاد پارامترهایی که نسبت مستقیم با دوام داری سنگ دارند نظیر مقاومت تک محوری و دانسیته امتیاز صفر و صد و برای پارامترهایی که نسبت معکوس با دوام داری سنگ دارند امتیاز صد و صفر اختصاص یافته و به سایر مقادیر نیز متناسب با آن امتیاز داده شد.

در جداول ۱۲ تا ۱۴ سیستم امتیاز دهی به پارامترها در سه گروه سنگی آهکی، لوماشل و آذرین و بعبارت دیگر معیار پیشنهادی برای این سه گروه سنگی ارائه شده است.

از چهار گروه پارامترهای فیزیکی، مقاومتی، دوامداری مکانیکی و دوامداری شیمیایی امتیاز ۲۵ اختصاص داده شد.

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

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

جدول ۱۳- سیستم امتیازدهی (معیار پیشنهادی) برای سنگهای لوماشل

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

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

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

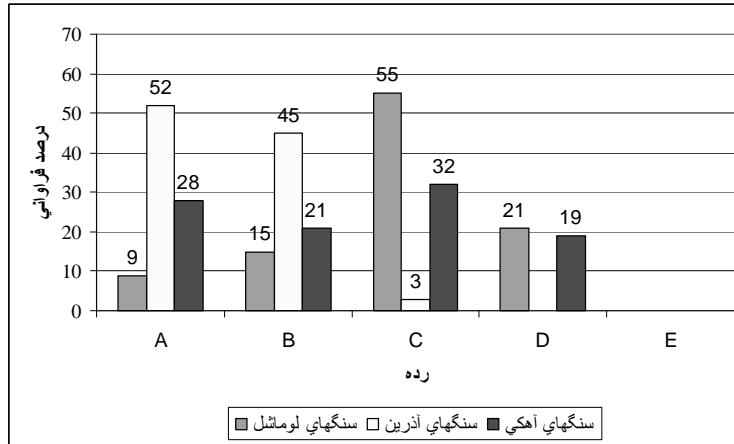
همچنین نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس معیارهای موجود انتخاب سنگ جهت کاربرد در موج شکنهای توده سنگی نیز طبقه‌بندی گردیده و با معیار پیشنهادی مقایسه شدند (جدول ۱۵). نتیجه این بررسی نشان می‌دهد که تنها ۲ درصد از نمونه سنگهای لوماشلی و ۳۰ درصد از نمونه سنگهای آهکی بکار رفته در موج شکنهای سواحل جنوبی کشور که از آنها نمونه‌برداری شده است بر اساس معیارهای موجود در رده سنگهای قابل قبول قرار می‌گیرند در حالیکه بر اساس معیار پیشنهادی ۲۴ درصد از سنگهای لوماشلی و ۴۹ درصد از سنگهای آهکی در رده سنگهای مقاوم به بالا قرار می‌گیرند. همچنین نتیجه این بررسی نشان می‌دهد که معیار پیشنهادی در این تحقیق برای سنگهای آذرین مشابه معیار CUR می‌باشد و برای سنگهای آهکی نیز اختلاف کمی بین معیار پیشنهادی و معیار CUR در ارزیابی این گروه از سنگها وجود دارد.

۵- طبقه بندی نمونه های مورد مطالعه بر اساس معیار پیشنهادی و مقایسه با معیارهای موجود

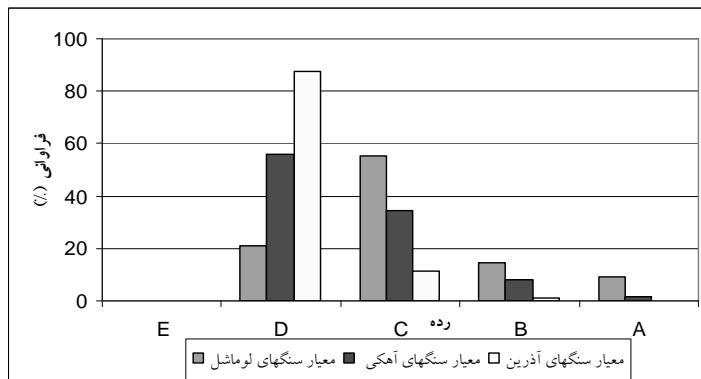
با توجه به معیار پیشنهادی نمونه‌هایی که در چهار گروه پارامترهای فیزیکی، دوام‌داری مکانیکی، مقاومتی و دوام‌داری شیمیایی حداقل یکی از نتایج آزمایش هر گروه را دارا بوده‌اند، طبقه‌بندی شدند. نتایج این طبقه بندی به صورت درصد فراوانی هر یک از سه گروه سنگی (آهکی، لوماشلی و آذرین) در قالب رده بندی پیشنهادی در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج این طبقه‌بندی نشان می‌دهد که هیچ یک از نمونه‌های مورد مطالعه در رده بسیار ضعیف (E) قرار ندارند و بر اساس این طبقه‌بندی، سنگهای آهکی تقریباً بطور مساوی در چهار رده بسیار مقاوم تا ضعیف (A تا D) توزیع شده‌اند. نتیجه بررسی بر روی سنگهای لوماشلی نیز نشان می‌دهد که ۵۵ درصد از این سنگها در رده متوسط (C) قراردارند و نمونه‌های بسیار مقاوم (A) در این گروه از سنگها اندک می‌باشد. در ارتباط با سنگهای آذرین نیز بیش از ۹۷ درصد آنها در رده مقاوم و بسیار مقاوم قرار می‌گیرند.

همچنین به منظور ارزیابی، ضرورت وجود معیارهای متفاوتی برای گروههای سه گانه سنگی مورد مطالعه در این تحقیق، نمونه‌های مورد بررسی بر اساس هر یک از معیارهای پیشنهادی طبقه‌بندی شدند (اشکال ۴ تا ۶).

شایان ذکر است همانطور که در جدول ۱۵ مشاهده می‌شود طبق معیار CUR نمونه سنگ‌ها به ۴ رده عالی تا ضعیف تقسیم شده‌اند.



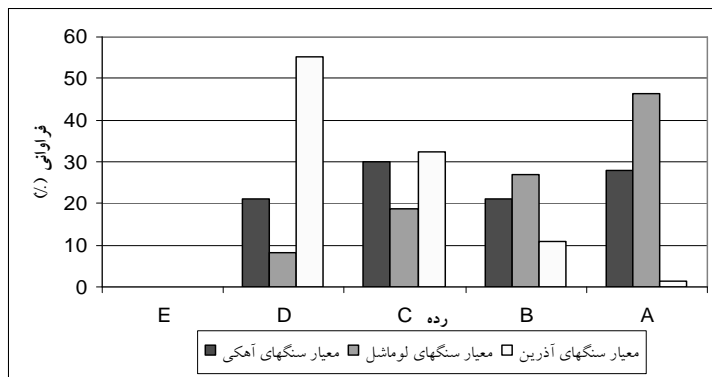
شکل ۳- فراوانی گروههای سه گانه سنگی مورد مطالعه بر اساس معیار پیشنهادی



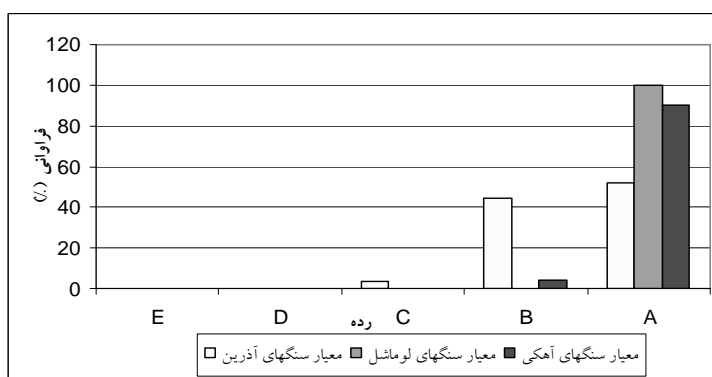
شکل ۴- مقایسه رده بندی سنگهای لوماشل بر اساس معیارهای پیشنهادی برای هر یک از سه گروه سنگی

جدول ۱۵- مقایسه رده بندی نمونه های مورد مطالعه بر اساس معیارهای موجود و پیشنهادی

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



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



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

با توجه به معیارهای پیشنهادی برای هر سه گروه سنگی، نمونه‌های اخذ شده از هر موج‌شکن به طور جداگانه رده‌بندی و ارزیابی شدند (جدول ۱۶).

نتایج حاصله حاکی از آن است که غالب نمونه‌های آذرین موج‌شکن‌ها نظیر موج‌شکن‌های شهید باهنر، شهید رجایی و بستانه در رده مقاوم و خیلی مقاوم (A, B) قرار می‌گیرند و تنها نمونه‌های آذرین موج‌شکن لنگه غالباً در رده متوسط (C) قرار دارند. همچنین غالب نمونه‌های لوماشل موج‌شکن‌ها در رده متوسط (C) قرار دارند و نمونه‌های لوماشل موج‌شکن‌های کنگان و طاهری از مقاومت بالایی برخوردار بوده و در رده خیلی مقاوم و مقاوم (A, B) قرار می‌گیرند. نمونه‌های آهکی موج‌شکن‌ها نیز بیشتر در رده مقاوم و متوسط (B, C) جای دارند.

نتایج حاصله نشان داد که طبقه‌بندی سنگ‌های آهکی و لوماشل بر اساس معیار پیشنهادی برای رده بندی سنگهای آذرین، اکثر این نمونه‌ها را در رده ضعیف قرار می‌دهد. و بالعکس رده‌بندی سنگ‌های آذرین بر اساس معیار پیشنهادی برای سنگ‌های آهکی و لوماشل همه نمونه‌ها را در رده خیلی مقاوم قرار می‌دهد. همچنین در رده بندی سنگهای لوماشلی بر اساس معیار سنگ‌های آهکی مشاهده گردید که اکثر نمونه‌ها در رده متوسط و ضعیف قرار می‌گیرند. این در حالی است که ارزیابی صحرائی حاکی از عملکرد مناسب غالب این سنگ‌ها در موج‌شکن‌ها بوده است که این مساله تاییدی بر ضرورت وجود معیارهای متفاوتی برای هر سه گروه سنگی می‌باشد.

۶- رده‌بندی و ارزیابی نمونه‌های موج‌شکنهای مطالعاتی با استفاده از معیارهای پیشنهادی

جدول ۱۶- نتایج حاصل از رده بندی نمونه های اخذ شده از

موج شکنها

نام موج شکن	جنس نمونه	تعداد	رده	درصد فراوانی در هر رده
سلخ	لوماثل	۳۴	B	۳۲/۵
			C	۴۱
			D	۲۶/۵
شناس	لوماثل	۳۶	A	۶
			B	۲۶
			C	۵۷
			D	۱۱
شیرینو	آهکی	۱۱	A	۷۲
			B	۲۸
طاهری	آهکی	۴۷	A	۳۸
			B	۴۱
			C	۲۱
	لوماثل	۱۹	A	۲۶/۵
			B	۶۸/۵
			C	۵
طیس	لوماثل	۱۰	C	۶۰
			D	۴۰
عامری	آهکی	۸	A	۱۲/۵
			B	۵۰
			C	۳۷/۵
قشم	لوماثل	۱۹	A	۵
			B	۴۲
			C	۴۲
			D	۱۱
کلانتری	لوماثل	۸	A	۷۵
			C	۱۲/۵
	آذرین	۶	D	۱۲/۵
			B	۱۰۰
کنارک	لوماثل	۱۶	A	۶/۵
			B	۲۵
			C	۴۳/۵
			D	۲۵
کنگ	آهکی	۵۳	A	۳
			C	۳۳
			D	۶۴
	لوماثل	۲۵	C	۵۳
			D	۴۷

نام موج شکن	جنس نمونه	تعداد	رده	درصد فراوانی در هر رده
باسعیدو	لوماثل	۲۷	A	۴
			B	۳۷
			C	۵۲
			D	۷
باهتر	آذرین	۳۹	A	۱۳
			B	۸۷
بریس	لوماثل	۱۳	A	۷/۵
			C	۸۵
			D	۷/۵
			A	۳۷
بستانه	آذرین	۴۳	B	۵۴
			C	۹
			B	۳۱/۵
بهشتی	لوماثل	۱۶	C	۴۳/۵
			D	۲۵
			A	۲۷
بزم	لوماثل	۱۵	B	۶۶
			C	۷
			B	۱۰۰
پسابندر	لوماثل	۱۱	B	۱۸
			C	۶۴
			D	۱۸
			C	۶۹
چارک	آهکی	۵۲	D	۳۱
			B	۴۰
			C	۶۰
حسینه	آهکی	۴	A	۱۰۰
			A	۲۶
	آذرین	۵۱	B	۳۳
			C	۴۱
			B	۲۹
دیر	آهکی	۷	C	۷۱
			A	۴۵
			B	۳۸
رجایی	آذرین	۴۲	C	۱۷
			C	۹۳/۵
			D	۶/۵
رمین	لوماثل	۱۶	C	۹۳/۵
			D	۶/۵

نتیجه گیری

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

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

- ارتباط بین خواص فیزیکی و مقاومتی نمونه‌ها در هر سه گروه سنگی دارای پراکندگی نسبتاً زیادی است که می‌تواند بعلت وجود ناهمسانی مقاومتی در سنگها و وجود ریزدرزه‌ها باشد که در این بین همبستگی بین این پارامترها در سنگ‌های لوماشلی کمتر از دو گروه دیگر است.

- ضریب همبستگی بالای بین پارامترهای فیزیکی و دوام‌داری نسبت به روابط بین خواص فیزیکی و مقاومتی حاکی از آن است که ناهمسانی مقاومتی در ماده سنگ بیشتر از ناهمسانی دوام داری بوده و دارای اهمیت بیشتری می‌باشد. - در سنگ‌های لوماشل پراکندگی داده‌های دوام‌داری با خواص فیزیکی بیشتر از سایر گروه‌های سنگی است.

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

- نبود رابطه سیستماتیک بین دوام‌داری شیمیایی و سایر ویژگی‌های سنگ و اهمیت آن در عملکرد کلی آن نشان

ادامه جدول ۱۶

نام موج شکن	جنس نمونه	تعداد	رده	درصد فراوانی در هر رده
کنگان	لوماشل	۱۲	A	۲۵
			B	۷۵
	آهکی	۱۶	A	۱۲/۵
			B	۵۰
			C	۳۷/۵
	آهکی	۴۲	A	۸
B			۸	
C			۵۲	
D			۳۲	
لنگه	لوماشل	۲۰	A	۲۰
			B	۳۰
			C	۴۰
			D	۲۰
آذرین	۱۳	A	۱۵/۵	
		B	۲۳	
		C	۴۶	
		D	۱۵/۵	
لنگه جدید	لوماشل	۳	C	۳۳
			D	۶۷
محمد عامری	آهکی	۱۳	A	۳۱
			B	۶۱
			C	۸
مقام	آهکی	۸	A	۱۲/۵
			B	۳۷/۵
	لوماشل	۱۳	C	۵۰
			B	۵۴
نخل تقی	آهکی	۱۰	A	۵۰
			B	۴۰
			C	۱۰
			لوماشل	۸
B	۵۰			
C	۳۷/۵			

ضعیف به پائین غیر قابل کاربرد در لایه حفاظ می‌باشند، گروه مقاوم به بالا در تمام بخش‌های موج‌شکن قابل استفاده هستند. رده متوسط نیز برای مغزه و فیلتر و بخش مغروق لایه حفاظ توصیه می‌شود.

- در معیار پیشنهادی حدود ۲۴ درصد از سنگ‌های لوماشل در گروه مقاوم و خیلی مقاوم، ۵۰ درصد در گروه متوسط و مابقی در گروه ضعیف قرار گرفتند. بررسی صحرایی عملکرد نمونه‌های لوماشل در موج شکنها نیز موید عملکرد متوسط این سنگ‌ها است.

- نمونه‌های مورد مطالعه در این تحقیق بر اساس شواهد صحرایی به پنج گروه خیلی مقاوم تا ضعیف تقسیم بندی شدند (جدول ۱۱).

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت‌های مالی و تجهیزاتی دانشگاه تربیت مدرس و مهندسین مشاور سازه پردازی ایران در چار چوب یک طرح تحقیقاتی انجام شده است. نتایج حاصل از آن مرهون تلاش جمعی اساتید و صاحب‌نظران در قالب یک گروه مطالعاتی بوده که شایسته قدردانی است.

می‌دهد که این پارامتر باید بصورت مستقل در طبقه بندی ارزیابی شود.

- رده بندی نمونه های اخذ شده از موج شکن های نوار ساحلی جنوبی کشور بر اساس معیار پیشنهادی نشان می‌دهد بیشتر نمونه‌های آذرین موج شکنها نظیر شهید باهنر، شهید رجایی و بستانه در رده مقاوم و خیلی مقاوم قرار می‌گیرند. تنها نمونه‌های آذرین موج شکن لنگه در رده متوسط قرار دارد. همچنین غالب نمونه‌های لوماشلی موج شکنها در رده متوسط قرار دارد به استثنای موج شکنهای کنگان و طاهری که در رده مقاوم به بالا قرار دارند. در ارتباط با نمونه‌های آهکی موج شکنها نیز بیشتر در گروه متوسط و مقاوم قرار می‌گیرند.

- در معیار پیشنهادی برای سنگ‌های آذرین، این سنگ‌ها به چهار گروه ضعیف، متوسط، مقاوم و خیلی مقاوم تقسیم شدند. سنگ‌های گروه ضعیف در این طبقه بندی 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 می‌شوند استفاده نشوند.

- بر اساس معیار پیشنهادی جهت سنگ‌های آهکی و لوماشلی، این سنگ‌ها به پنج گروه خیلی مقاوم، مقاوم، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف تقسیم شدند. رده سنگ‌های

منابع

- آقائاتی، سید علی. (۱۳۸۳) زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- جلالی، حسین. (۱۳۶۹) اهمیت دوام سنگ در پایداری موج شکنهای سنگریزه ای، اولین کنفرانس بین المللی بندر سازی و سازه های دریایی، جلد دوم، صفحه ۴۴۳-۴۰۷.
- خسرو تهرانی، خسرو. (۱۳۶۷) چینه شناسی ایران، انتشارات دانشگاه تهران.
- ناصری، علیرضا. (۱۳۷۶) تعیین معیارهای مناسب برای کاربرد سنگ در احداث سازه های دریایی - جنوب شرق ایران (چابهار)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- نیکودل، محمد رضا. (۱۳۶۹) مطالعه معیارهای شناخت زوال پذیری سنگ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

American Society for Testing Materials. (1996) Annual Book of ASTM Standard, vol.09.08 and 04.02.

British standard Institution. (1989) Code of Practice for Determination of Aggregate Impact value, BS 812.

- CIRIA /CUR. (2000) Manual on the Use of Rock in Coastal and Shoreline Engineering, CIRIA Special Publication 83/CUR Report 154, London.
- Coastal Engineering Manual (CEM), Part VI, Chapter 4.
- CUR/RWS. (1995) Manual on the use of Rock in Hydraulic Engineering , CUR/RWS Report 169. London, Gouda.
- 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
- Dibb T.E., Hughes D.W., Poole A.B. (1983) The Identification of Critical Factors Affecting Rock Durability in Marine Environments, Quaterly Journal of Engineering Geology, London, Vol.15, 149-161
- Fookes P.G. (1991) Geomaterials, Quaterly Journal of Engineering Geology, London, 24, 3-15
- Fookes P.G., Poole A.B. (1981) Some Preliminary Considerations on the Selection & Durability of Rock & Concrete Material for Breakwaters & Coastal Protection Works, Quaterly Journal of Engineering Geology , London, 14, 97-128
- ISRM (1978) Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol.15.
- Poole A.B., Fookes P.G., Dibb T.E., Hughes D.W. (1984) Durability of Rock in Breakwaters, Breakwaters-Design & Construction, Thomas Telford, London, 31-43.
- Topal T., Acir O. (2004) Quality Assesment of Armourston for a Rubble Mound Breakwater (Sinop, Turkey), Environmental Geology 2004, 46 pp.905-913.
- Wakeling H.L. (1977) The Design of Rubble Mound Breakwater, Symp. on Design of Rubble Mound Breakwaters, British Hovercraft Corp.