نشریه انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران
بهار ۱۳۸۷، جلد اول، شماره ۱، صفحه ۱ تا ۲۲

بررسی زمین شناسی مهندسی مصالح سنگی و ارائه معیار جهت کاربرد دراحداث موج شکنهای توده سنگی سواحل جنوبی ایران

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

دریافت مقاله : ۸۵/۱۰/۲ پذیرش مقاله : ۸۶/۲/۲

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 ویژگی هایی 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 سازه ها از دیدگاه دوام و زوال پذیری با توجه به اهمیت اقتصادی و بعضا" 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 (لوماشل ها) بطور مجزا پیشنهاد شده است .

کلید واژه ها: *ویژگی‌های مهندسی سنگها - موج شکن توده سنگی – دوام داری- سواحل جنوب ایران*

۱- گروه زمین شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود
۲- گروه زمین شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس
۳- گروه مهندسی عمران دانشگاه تربیت مدرس

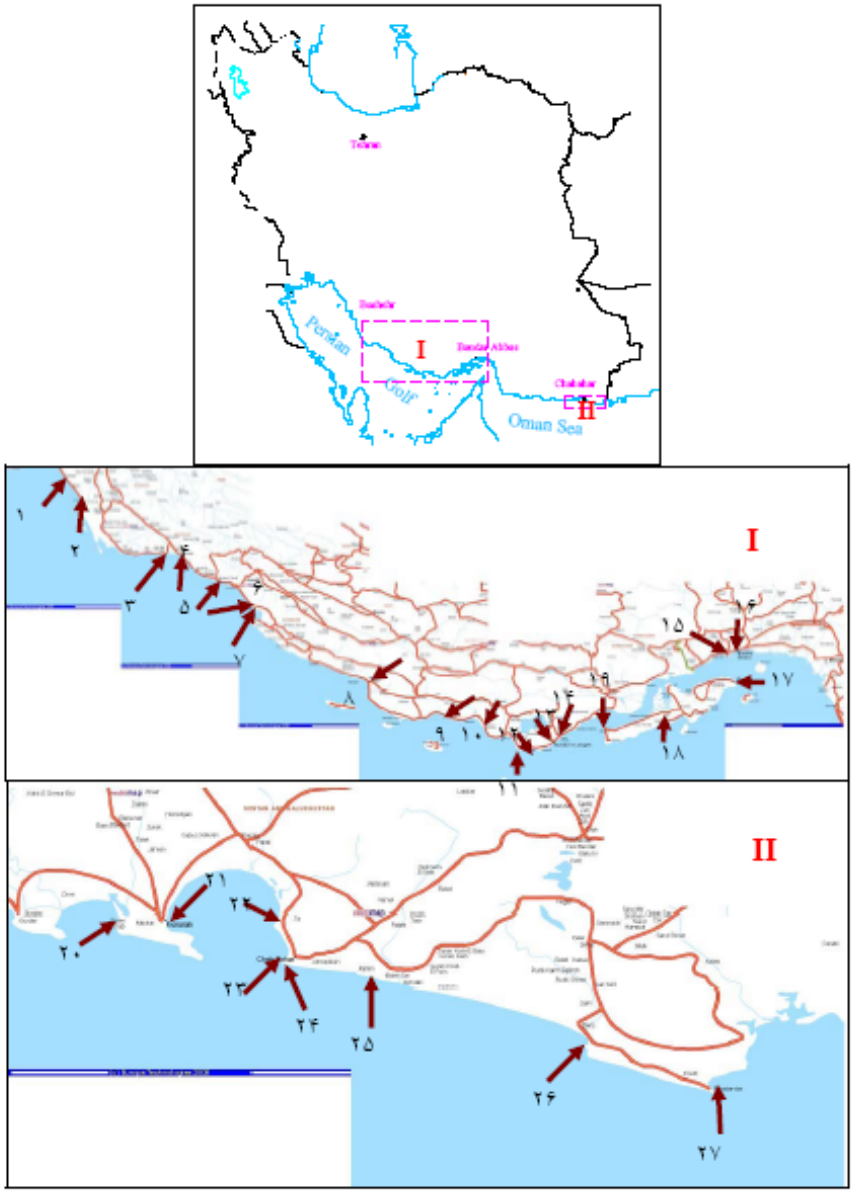
مقدمه

با توجه به توسعه امکانات و تسهیلات ساحلی در سطح جهان، احداث سازه های حفاظتی سواحل افزایش چشمگیری داشته است. همگام با رواج احداث این سازه ها 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) 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 ویژگی های مختلف آنها نیز استخراج گردید. همچنین ضمن طبقه-بندی 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 می کنند. 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 یافته های 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)، (ناصحی، ۱۳۷۶) بررسی جامعی در این خصوص صورت نگرفته است.

در رابطه با دوام و زوال مصالح سنگی در سازه های 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 روش های 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).



شکل ۱- موقعیت موج شکن‌های مطالعاتی در نقشه ایران

۱-محمد عامری ۲-عامری ۳- دیر ٤- کنگان ٥- طاهری ٦- شیرینو ۷- نخل تقی ۸- مقام ۹- چارک ۱۰- حسینه
۱۱-بستانه ۱۲- شناس ۱۳-لنگه ١٤-کنگ ١٥-باهنر ١٦-رجایی ۱۷-قشم ۱۸- سلخ ۱۹-باسعیدو ۲۰-پزم
۲۱-کنارک ۲۲- طیس ۲۳-کلانتری ٢٤-بهشتی ٢٥-رمین ٢٦-بریس ۲۷-پسابندر

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

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	<۲/۵	_	<۱٦	<۱۲
Lutton(1991) (نقل از D)		>۲/٦	<۱/۲	<۳۵	-	<۲
BS (1989)		>۲/٦	<۳	<۱۸	<۳۰	<۱۸
جلالی (۱۳٦۹)		>۲/۵	<۳	<۱۸	<۱۲	-
CIRIA\CUR (2000)	عالی	>۲/۹	<.۰۵	_	_	<۲
	خوب	۲/٦-۲/۹	۰۵-۲.	_	_	۲-۱۲
	متوسط	۲/۳-۲/٦	۲-٦	_	_	۱۲-۲۰
	ضعیف	<۲/۳	>٦	_	_	>۲۰
نیکودل (۱۳٦۹)	امتیاز خیلی بالا	>۲/۷	<۱	<۱۰	<۱۰	<۱
	امتیاز بالا	۲/۵-۲/۷	۲/۵-۱	۱٤-۱۰	۱۳-۱۰	۲-۱
	امتیاز متوسط	۲/۳-۲/۵	٤-۲/۵	۱۸-۱٤	۱۵-۱۳	۳-۲
	امتیاز کم	۲/۱-۲/۳	٦-٤	۲٤-۱۸	۱۸-۱۵	۵-۳
	امتیاز خیلی کم	<۲/۱	>٦	>۲٤	>۱۸	>۵
ناصحی (۱۳۷٦)	عالی	> ۲/۷	<۱	<۱۰	<۱۰	>۲
	خوب	۲/۵ - ۲/۷	۱/۳	۱۵-۱۰	۱۲-۱۰	۵-۲
	متوسط	۲/۲ - ۲/۵	۳/٦	۲۰-۱۵	۱۸-۱۲	۱۲-۵
	ضعیف	۱/۹ -۲/۲	٦/۱۰	۳۰-۲۰	۲۵-۱۸	۱۵-۱۲
	بسیار ضعیف	< ۱/۹	> ۱۰	> ۳۰	> ۲۵	>۱۵

آزمایشهای دوام مصالح سنگی را در چهار دسته آزمایش‌های فیزیکی، مکانیکی، شبیه‌سازی و بررسی‌های سنگ‌شناسی طبق جدول۲ ارائه نموده است(Fookes,1991). مکانیسم‌هایی که منجر به زوال سنگ در لایه حفاظ موج شکن‌ها می‌شوند اغلب فیزیکی هستند. مکانیسم های 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).

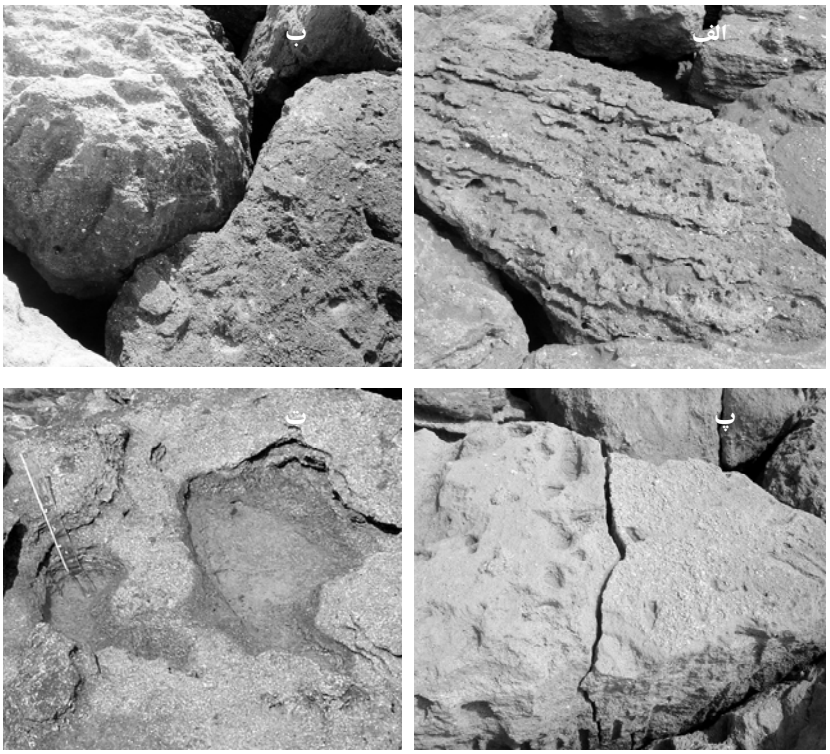
فرآیندهای فیزیکی که بعنوان عوامل اصلی زوال سنگ در سازه‌های دریایی شناخته شده‌اند شامل سایش، گردشدگی، پوسته پوسته شدن، ایجاد شکستگی‌های بزرگ ویا مجموعه‌ای از اینها هستند.

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

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

جدول۲- طبقه‌بندی آزمایش‌های مهندسی دوام (Fookes, 1991)

آزمایشهای فیزیکی	آزمایشهای مکانیکی	آزمایشهای شبیه سازی	بررسی های سنگ شناسی
دانسیته(ظاهری،خشک واشباع) (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 واشینگتن	
	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.

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 نبودهای چینه‌ای است که حاصل فازهای کوهزایی مختلف می‌باشد و از نظر لیتولوژی بسیار متنوع بوده و شامل تناوبی از سنگ‌های کربناته (آهک و دولومیت)، سنگ‌های تبخیری (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

بختیاری را در بر می گیرد. 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، ۱۳۷٦). 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 می باشد.

روش انجام تحقیق

۱- سنجش و ارزیابی ویژگیهای مهندسی نمونه های مورد مطالعه

در این تحقیق، ۸۰۲ نمونه از مصالح سنگی مصرفی در ۲۷موج 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 (جدول۳).

جدول۳- تعداد و جنس نمونه های اخذ شده

جنس نمونه	تعداد
آذرین	۱۹٤
آهک	۲۷٤
لوماشل	۳۳٤
جمع کل	۸۰۲

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، ویژگی های فیزیکی، مکانیکی و دوام داری آنها در قالب بیش از ۹۲۰۰ آزمایش مورد بررسی و ارزیابی واقع گردید (جدول٤). 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 نمونه ها 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 نمونه ها 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 ۵و٦ ارائه شده است.

جدول ٤- تعداد و انواع آزمایش‌های انجام شده بر روی هر یک از نمونه‌های سنگی

نوع سنگ / نوع آزمایش		آذرین		آهکی		لوماشل		مجموع
		خشک	اشباع	خشک	اشباع	خشک	اشباع	
ویژگی های فیزیکی	درصد جذب آب	۱۹٤		۳۸۲		٤۰۲		۹۷۸
	تخلخل	۱۹٤		۳۸۲		٤۰۲		۹۷۸
	دانسیته خشک	۱۹٤		۳۸۲		٤۰۲		۹۷۸
	دانسیته اشباع	۱۹٤		۳۸۲		٤۰۲		۹۷۸
	وزن مخصوص	۱۹٤		۳۸۲		٤۰۲		۹٦٦
ویژگی های مقاومتی	مقاومت تک محوری	۳٦	۳٦	۱۲۰	۱۲۰	۲٤۲	۲٤۲	۷۹٦
	مدول الاستیسیته	۳٦	۳٦	۱۲۰	۱۲۰	۲٤۲	۲٤۲	۷۹٦
	شاخص بار نقطه ای	۵۰	۵۰	۱۱۷	۱۱۷	۲۵٤	۲۵٤	۸٤۲
	مقاومت کششی	۳٤		۷٦		۱۹۰		۳۰۰
ویژگی های دوام داری مکانیکی	شاخص دوام (۵سیکل)	۱٦		٤۳		۱٦۲		۲۲۱
	شاخص دوام (۱۰سیکل)	۱٦		٤۳		۱٦۲		۲۲۱
	شاخص دوام (۱۵سیکل)	۱٦		٤۳		۱٦۲		۲۲۱
	ارزش ضربه	۳۸		٦۸		۱٦۷		۲۷۳
	سایش لس آنجلس	۱۸		۵۳		۸۰		۱۵۱
ویژگی های دوام داری شیمیایی	افت وزنی(۵ سیکل)	۲۷		٤٦		۹۵		۱٦۸
	افت وزنی(۱۰ سیکل)	۲۷		٤٦		۹۵		۱٦۸
	افت وزنی(۱۵ سیکل)	۲۷		٤٦		۹۵		۱٦۸
		۱٤۳۳		۳۰۸۸		٤٦۹٤		۹۲۱۵

جدول ۵- مقادیر ویژگی‌های مهندسی نمونه های مورد مطالعه الف: ویژگی‌های 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	۲٤/۲۸	۲۱/۱۷	۲۹/۱۷	۲٤/۹۵	۲۲/۷۷	۲۸/۸۱	۲/۸۸	۰/۱۳۱	۱۱/۰٦	٦/۷۸	۰/۳۸	۲٦/۲۰	۲/٦٦	۲/٤٤	۲/۹۰
آهکی	۲۰/۷۲	۱۳/۰۲	۲۸/۷۲	۲۲/۳۸	۱٤/۳۸	۲۹/۲۹	۹/۰٤٤	۰/۱٤٤	۳۳/٦۱	۱۷/۰۷	۰/٤۳	۵۰/۰۰	۲/۵۳	۲/۰۱	۲/۸۰
لوماشل	۱۷/۹۵	۱۳/٤۵	۲۷/۸۳	۲۰/۵٦	۱٦/۵۲	۲۸/۵۸	۱۵/۰٦	۱/۰۵٦	٤۳/۲٦	۲٦/۸۵	۲/٦۹	۹٦/۱۲	۲/۵۰	۲/۰۰	۲/۸۰

ب: ویژگی های مقاومتی

گروه سنگی	بار نقطه ای خشک(MPa)			بار نقطه ای اشباع(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	میانگین	حداقل	حداکثر
آذرین	۷/۵۹	۱/۲۰	۱۹/۳۰	۷/۰۹	۰/۹٤	۱۵/٦٦	۱۲/۷۹	۰/۲٦	۱۵/۱۵	۱۰۸/۰۱	۵/۱۰	۲۳۲/٦٤	۷۳/۹۹	۳/٤۹	۱٦۹/۷۷
آهکی	۳/۳۵	۰/٤۷	۱۱/۲۱	۳/۳۹	۰/۰٤	۱٦/۷۸	۲/۹۷	۰/۰٦	۸/۱۱	٤۳/۸۸	۱/۲۱	۱٤٤/٦۱	۲۵/٦٤	۱/۱٤	۷۹/۸۵
لوماشل	۱/۹۰	۰/۲۰	۷/۵۲	۱/۵۵	۰/۱۰	۸/٤۷	۱/۳۰	۰/۰۵	٦/۸۲	۱٤/۰۰	۰/۹۳	۱٦۳/٤۷	۸/۳۸	۰/۳۱	۱۳۸/۳۳

ج: ویژگی های دوام داری

گروه سنگی	ارزش ضربه ای(٪)			شاخص دوام(۵ سیکل)(٪)			شاخص دوام(۱۰ سیکل) (٪)			شاخص دوام(۱۵ سیکل) (٪)			سلامت سنگ(۵ سیکل) (٪)		
	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر
آذرین	۱۰/۹٦	۳/٦٤	٤۱/٦٦	۹٦/۹٤	۸۷/۲۲	۹۹/٤۰	۹۵/۲٤	۸۰/۱۳	۹۹/۲۰	۹۳/۸۷	۷٤/۸۰	۹۸/۹۰	۰/۷۹	۱/۰۰	۹/۹۰
آهکی	۲۰/۰۸	۵/۷٤	٤۸/۹۸	۹۳/۷٦	۷۲/۳۱	۹۹/۳۰	۹۰/۰٦	۵۷/٦۲	۹۹/۰۰	۸۹/۳۷	٤۷/٦۷	۹۸/۷۰	۱۲/۱٦	٤/۱۰	۷۹/۹۱
لوماشل	٤٤/۰۵	۹/۸۷	۷۹/۷۳	۸۵/۵۰	۲۸/۸۰	۹۹/۳۹	۷۷/۹۸	۱۲/۸۰	۹۹/۰۸	۷۲/۰۷	۳۵/۸۰	۹۸/۸۱	۱۱/۳۰	۱/۵۰	۷۵/۲۵

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
لوماشل	۱۰/۲۴	-۱/۸۱	۲۱/۸۰	۹/۹۸	-۳/۴	۱۹/۶۸	۵۵/۱۱	۱۲/۱۵	۹۱/۸۸

جدول ٦- مقادیر بیشترین فراوانی ویژگی های مهندسی نمونه های مورد مطالعه

الف: ویژگی های فیزیکی

بیشترین فراوانی / گروه سنگی	دانسیته خشک (KN/m3)	دانسیته اشباع (KN/m3)	جذب آب (٪)	تخلخل (٪)	وزن مخصوص
آهکی	۲۴	۲۴	۲/۲	۱۰	۲/۷۲
آذری	۲۴	۲۵	۲	۵	۲/۷۴
لوماشن	۱۸	۲۱	۱۷	۲۵	۲/۷۰

ب: ویژگی های مقاومتی

بیشترین فراوانی / گروه سنگی	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	۶۰	۱۵	۳
آذری	۱۱	۱۰	۱۴۰	۱۱۰	۱۶
لوماشن	۱/۸	۱.۶	۱۰	۸	۰/۵

ج: ویژگی های دوام داری

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

همانطور که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود کمترین محدوده تغییرات هر یک از این ویژگی‌های مربوط به سنگ‌های 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 وگروههای 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 نمونه‌ها و ایجاد ارتباط بین آنها، مشاهده گردید که ارتباط بین خواص فیزیکی و مقاومتی هر سه گروه سنگ‌های آهکی، آذرین و زیستی تخریبی (لوماشل) پراکندگی نسبتاً زیادی را نشان می‌دهد که می‌تواند بدلیل وجود ریزدرزه 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 مقاومتی در سه گروه سنگی مذکور در جدول (۷) ارائه شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که همبستگی بین ویژگیهای فیزیکی و مقاومتی در سنگ‌های لوماشلی عموماً کمتر از دو گروه دیگر سنگها است. این می‌تواند بدلیل ناهمسانی شدید مقاومتی در این سنگها(بعلت ارتباط بین مقاومت آنها با درصد و نوع سیمان شدگی، درصد تخلخل و اندازه دانه‌ها) باشد.

۲-۲- روابط بین ویژگی‌های فیزیکی و دوام داری سنگها

بطورکلی با بهبود خواص فیزیکی سنگ، دوام‌داری آن نیز افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج حاصل از انجام آزمایش‌های مذکور وایجاد 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 می‌تواند بدلیل وابستگی مقاومت سنگها با جهت اعمال بار باشد بطوریکه در پارامترهای مقاومتی نظیر مقاومت تک محوری، بار نقطه‌ای 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.

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

	γd (۳ KN/M)	γsat (KN/M 3)	Gs	n (%)	w (%)
γd	1				
γsat	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)
σt(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

	γd (۳ KN/M)	γsat (KN/M 3)	Gs	n (%)	w (%)
γd	1				
γsat	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)	0109(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)
σt(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 لوماشل

	γd (۳ KN/M)	γsat (KN/M 3)	Gs	n (%)	w (%)
γd	1				
γsat	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)
σt(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

	γd (۳ KN/M)	γsat (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)	0176(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

	γd (KN/M ۳)	Γsat (KN/M 3)	Gs	n (%)	w (%)
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

	γd (KN/M ۳)	γsat (KN/M 3)	Gs	n (%)	w (%)
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

همچنین ارتباط بین این اقلام در گروه‌های مختلف سنگی نشان می‌دهد که در مقایسه با سنگ‌های آهکی در سنگ‌های زیستی- تخریبی (لوماشل)، پراکندگی داده‌های دوام داری با خواص فیزیکی بیشتر است.

۲-۳- روابط بین ویژگی‌های 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 می‌دهد. نکته قابل توجه دیگری که از برقراری این ارتباط حاصل گردید، درصد افت وزنی نمونه‌ها در سولفات همبستگی پائین است با سایر مشخصات سنگ و این امر حاکی از آن است که دوام شیمیایی سنگها وابستگی کمتری به سایر ویژگی‌های سنگ‌ها نشان می‌دهد و باید این اقلام بصورت مستقل ارزیابی شود.

بررسی نتایج، در مورد ارتباط بین خواص فیزیکی، مکانیکی و دوام‌داری نشان می‌دهد، 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 قبول‌تری داشته اند ارائه شده است.

جدول ۹- نوع منحنی برازش 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)	σt(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)	0596(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)	σt(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)	σt(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) ومقاومت تک محوری اشباع(qu)	$Es(sat) = 285.5\ qu(sat)^{0.795}$, R2 = 0.8854
	مدول الاستیسیته خشک (Es) ومقاومت تک محوری خشک (qu)	Es(dry) = 82.6 qu(dry) , R2 = 0.5891
	مقاومت تک محوری خشک (qu) و بار نقطه ای خشک(I_S)	$q_u(dry) = 13.59\ I_S(dry)$, R2 = 0.6654
	مقاومت تک محوری اشباع (qu) و بار نقطه ای اشباع(I_S)	$q_u(sat) = 2.540\ I_S(sat)$, 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
لوماشل	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) ومقاومت تک محوری اشباع (qu)	Es(sat) = 102.3 qu(sat) , R2 = 0.655
	مدول الاستیسیته خشک (Es) ومقاومت 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، گردشدگی، 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 (جدول۱۱).

لازم به ذکر است که امتیاز نهایی حاصل از آزمایش‌های آزمایشگاهی در مقابل این نتایج صحرایی (رده های A تا E جدول۱۱) قرار گرفته و متوسط امتیاز گروه‌های مختلف سنگی خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، مقاوم و بسیار مقاوم تعیین شده است که این مطلب به تفصیل در بند ۳-٤ ارائه شده است. در آزمایش جذب آب سریع قطعه‌ای 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 نمونه‌های خیلی مقاوم، سطح سنگ براق باقی می‌ماند و آب جذب سطح سنگ نمی‌شود.

٤- رده بندی وا رائه معیار پیشنهادی انتخاب مصالح سنگی جهت کاربرد در موج شکنهای توده سنگی

معیار انتخاب سنگ در این تحقیق بصورت ترکیبی از روش طبقه‌بندی نسبی و ارزیابی عملکرد واقعی سنگ در موج شکنهای جنوبی کشور می‌باشد. سیستم طبقه‌بندی 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 طبقه‌بندی 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 پارامترهـای دوام داری شیمیایی (مقاومت در برابـر سـولفاتها) تقسـیم گردیدنـد. بـه منظور امتیازدهی و طبقه‌بندی سنگ حداقل یک نتیجه آزمایش از هر یک از پارامترهای چهار گانه فوق مورد نیاز است.

جدول۱۱- 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 می‌شود. 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 شیاری با عمق بیش از ۲ سانتیمتر می‌توان در آن ایجاد نمود. بلوک ها کاملاً گرد گوشه شده‌اند و در محل تماس آن با سنگهای مقاومتر سایش شدیدی نشان می‌دهد. با یک ضربه چکش زمین شناسی قطعات بزرگی از سنگ شکسته می‌شود. در آزمایش جذب آب سریع، سطح نمونه بلافاصله خشک می‌شود.
ضعیف (D)	آثار پوسته پوسته شدن در سنگ مشاهده می گردد. فاقد خزه و صدف می باشد. با نوک چکش زمین شناسی شیاری به عمق بیش از ۱ سانتیمتر در آن ایجاد می‌گردد. نسبتاً گردگوشه هستند، سایش زیادی نشان می‌دهند. با ضربه چکش گوشه های سنگ براحتی می شکند. بلوک های خرد شده و شکسته شده بعضاً مشاهده می‌گردد. آثار خوردگی در اثر انحلال مشاهده می گردد. در آزمایش جذب آب سریع، سطح نمونه بلافاصله خشک می‌شود
متوسط (C)	چکش زمین شناسی آنرا خراش می دهد. در حد بین جزرومد سایش زیاد نشان می‌دهد. بلوک ها در زیر سطح آب و خارج از آب زاویه‌دار هستند. در حد جزرومدی نسبتاً گردگوشه می‌باشند. برای شکستن گوشه سنگ نیاز به بیش از یک ضربه چکش می‌باشد. در زیر منطقه جزرومدی سطح سنگ پوشیده از صدف می‌باشد. شواهد انحلال شیمیایی بعضاً دیده می‌شود. در آزمایش جذب آب سریع، سطح نمونه بعد از مدت کوتاهی خشک می‌شود
مقاوم (B)	با نوک چکش زمین شناسی به سختی خراش برمی‌دارد. 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 می‌شود. در آزمایش جذب آب سریع، سطح نمونه تا چند دقیقه مرطوب است.
خیلی مقاوم(A)	بلوک ها زاویه‌دار و سطح بلوک تمیز می‌باشد. در محدوده جزرومدی و زیر سطح آب پوشیده از خزه و صدف می‌باشد. برای شکستن گوشه سنگ نیاز به چند ضربه چکش زمین شناسی می‌باشد. در آزمایش جذب آب سریع، نمونه جذب آب ندارد.

آزمایش‌های انجام شـده بـر اسـاس نقشـی کـه در دوام داری سنگ در موج شکن دارند به دو گروه پارامترهایی کـه رابطـه مثبـت بـا دوام داری سـنگ دارنـد (دانسـیته، مقاومـت تـک محوری، شاخص بار نقطه‌ای و شاخص دوام) و پارامترهـایی که رابطه منفی با دوام‌داری سنگ دارند (جذب آب، تخلخـل، سایش لس‌آنجلـس، ارزش ضـربه‌ای، درصـد افـت وزنـی در مقابل سولفاتها) تقسیم شدند.

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

برای هر نمونه سنگ امتیاز میانگین آن با جمع جبری امتیازات و تقسیم آن بر تعداد آزمایش‌های انجام شده بدست می‌آید و امتیاز نهایی در مقابل نتایج صحرایی قرار گرفته و متوسط امتیاز و تغییرات آن برای رده‌های 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 سنگ‌های 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 همـه داده‌ها وزن یکسان داده شده بود، امتیازبندی پارامترها نیـز بـه صورت یکسان در نظر گرفته شد به این ترتیب که به هر یـک

از چهـار گـروه پارامترهـای فیزیکـی، مقـاومتی، دوام‌داری مکانیکی و دوام‌داری شیمیایی امتیاز ۲۵ اختصاص داده شد.

در جداول ۱۲ تا ۱٤ سیستم امتیاز دهـی بـه پارامترهـا در سـه گروه سنگی آهکی، لوماشل و آذرین و بعبـارت دیگـر معیـار پیشنهادی برای این سه گروه سنگی ارائه شده است.

جدول۱۲- سیستم امتیازدهی(معیار پیشنهادی) برای سنگهای آهکی

پارامتر	ویژگی های	رده				
		E	D	C	B	A
پارامترهای فیزیکی	جذب آب (٪)	>۱۸	۱۲-۱۸	٦-۱۲	۳-٦	<۳
	دانسیته (KN/m^3)	<۱٦	۱٦-۱۸	۱۸-۲۲	۲۲-۲٤	>۲٤
امتیاز		**۵**	**۱۰**	**۱۵**	**۲۰**	**۲۵**
پارامترهای مقاومتی	اندیس بار نقطه ای (Mpa)	<۱	۱-۲	۲-۳	۳-٤	>٤
	مقاومت تک محوری (Mpa)	<۸	۸-۲۰	۲۰-٤۰	٤۰-٦۰	>٦۰
امتیاز		**۵**	**۱۰**	**۱۵**	**۲۰**	**۲۵**
پارامترهای دوام‌داری مکانیکی	ارزش ضربه ای (٪)	>٤۵	۳۵-٤۵	۲۰-۳۵	۱۰-۲۰	<۱۰
	شاخص دوام (۱۵ سیکل) (٪)	<۸۰	۸۰-۸۵	۸۵-۹۰	۹۰-۹۵	>۹۵
پارامترهای دوام‌داری مکانیکی	سایش لس آنجلس (٪)	<۲۵	۲۵-۳۵	۳۵-۵۰	۵۰-۶۵	>۶۵
امتیاز		۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵
پارامترهای دوام‌داری شیمیایی	افت وزنی در سولفات (٪)	>۲۰	۱۶-۲۰	۸-۱۶	۴-۸	<۴
امتیاز		۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵
جمع امتیازات		۰-۲۰	۲۰-٤۰	٤۰-٦۰	٦۰-۸۰	۸۰-۱۰۰

جدول۱۳- سیستم امتیازدهی(معیار پیشنهادی) برای سنگهای لوماشل

پارامتر	ویژگی های	رده				
		E	D	C	B	A
پارامترهای فیزیکی	جذب آب (٪)	>۲٤	۱۸-۲٤	۱۲-۱۸	٦-۱۲	<٦
	دانسیته (KN/m^3)	<۱۵	۱۵-۱۷	۱۷-۱۹	۱۹-۲۱	>۲۱
امتیاز		**۵**	**۱۰**	**۱۵**	**۲۰**	**۲۵**
پارامترهای مقاومتی	اندیس بار نقطه ای (Mpa)	<۱	۱-۱.۵	۱.۵-۲.۵	۲.۵-٤	>٤
	مقاومت تک محوری (Mpa)	<۷	۷-۱۰	۱۰-۲۵	۲۵-٤۰	>٤۰
امتیاز		**۵**	**۱۰**	**۱۵**	**۲۰**	**۲۵**
پارامترهای دوام‌داری مکانیکی	ارزش ضربه ای (٪)	>٦۰	٤۵-٦۰	۳۰-٤۵	۱۵-۳۰	<۱۵
	شاخص دوام (۱۵ سیکل) (٪)	<٦۵	٦۵-۷۵	۷۵-۸۵	۸۵-۹۰	>۹۰
	سایش لس آنجلس (٪)	>۷۵	٦۰-۷۵	٤۵-٦۰	۳۰-٤۵	<۳۰
امتیاز		**۵**	**۱۰**	**۱۵**	**۲۰**	**۲۵**
پارامترهای دوام‌داری شیمیایی	افت وزنی در سولفات (٪)	>۲۲	۱۸-۲۲	۱٤-۱۸	۱۰-۱٤	<۱۰
امتیاز		**۵**	**۱۰**	**۱۵**	**۲۰**	**۲۵**
جمع امتیازات		**۰-۲۰**	**۲۰-٤۰**	**٤۰-٦۰**	**٦۰-۸۰**	**۸۰-۱۰۰**

جدول ١٤- سیستم امتیازدهی(معیار پیشنهادی) برای سنگهای آذرین

پارامتر	ویژگی های	رده			
		D	C	B	A
پارامترهای فیزیکی	جذب آب (٪)	>٤	٢-٤	١-٢	<١
	دانسیته (KN/m^3)	<٢٢	٢٢-٢٤	٢٤-٢٦	>٢٦
امتیاز		**١٠**	**١٥**	**٢٠**	**٢٥**
پارامترهای مقاومتی	اندیس بار نقطه ای (Mpa)	<٤	٤-٧	٧-١٠	>١٠
	مقاومت تک محوری (Mpa)	<٥٠	٥٠-١٠٠	١٠٠-١٥٠	>١٥٠
امتیاز		**١٠**	**١٥**	**٢٠**	**٢٥**
پارامترهای دوام داری مکانیکی	ارزش ضربه ای (٪)	>١٥	١٠-١٥	٥-١٠	<٥
	شاخص دوام (١٥ سیکل) (٪)	<٩٧	٩٧-٩٨	٩٨-٩٩	>٩٩
	سایش لس آنجلس (٪)	>٢٠	١٦-٢٠	١٢-١٦	<١٢
امتیاز		**١٠**	**١٥**	**٢٠**	**٢٥**
پارامترهای دوام داری شیمیایی	افت وزنی در سولفات (٪)	>٥	٢-٥	١-٢	<١
امتیاز		**١٠**	**١٥**	**٢٠**	**٢٥**
جمع امتیازات		**٢٠-٤٠**	**٤٠-٦٠**	**٦٠-٨٠**	**٨٠-١٠٠**

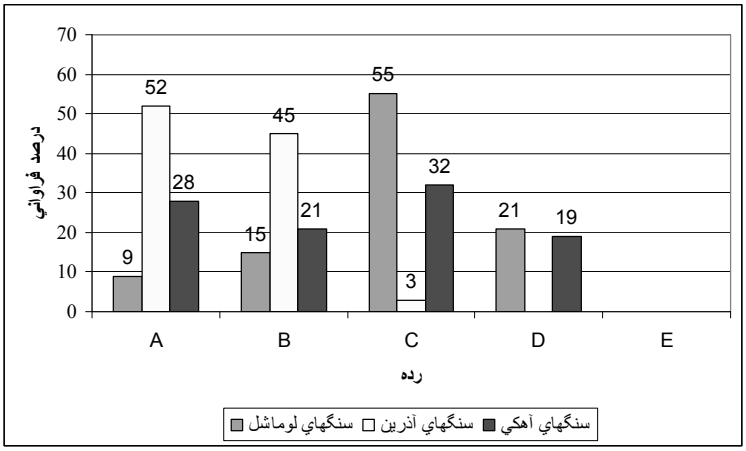
٥- طبقه بندی نمونه های مورد مطالعه بر اساس معیار پیشنهادی و مقایسه با معیارهای موجود

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 ، لوماشل و آذرین) در قالب رده بندی پیشنهادی در شکل ٣ 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 لوماشل نیز نشان می‌دهد که ٥٥ 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 ٩٧ درصد آنها در رده مقاوم و بسیار مقاوم قرار می‌گیرند.

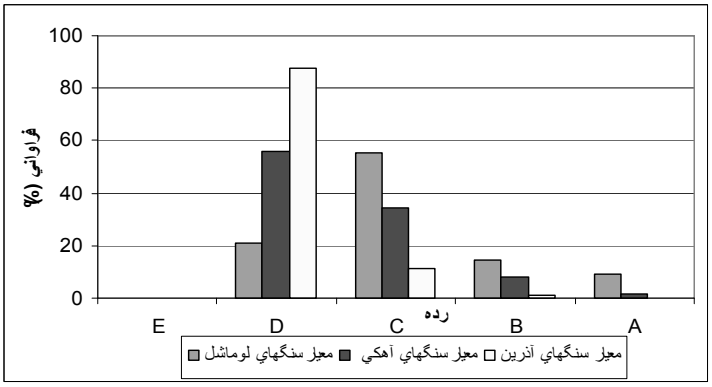
همچنین نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس معیارهای موجود انتخاب سنگ جهت کاربرد در موج شکنهای توده سنگی نیز طبقه‌بندی گردیده و با معیار پیشنهادی مقایسه شدند (جدول ١٥). نتیجه این بررسی نشان می دهد که تنها ٢ درصد از نمونه سنگهای لوماشلی و ٣٠ درصد از نمونه سنگهای آهکی بکار رفته در موج شکنهای سواحل جنوبی کشور که از آنها نمونه‌برداری شده است بر اساس معیارهای موجود در رده سنگهای قابل قبول قرار می‌گیرند در حالیکه بر اساس معیار پیشنهادی ٢٤ درصد از سنگهای لوماشلی و ٤٩ درصد از سنگهای آهکی در رده سنگهای مقاوم به بالا قرار می‌گیرند. همچنین نتیجه این بررسی نشان می دهد 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.

شایان ذکر است همانطور که در جدول ۱۵ مشاهده می‌شود طبق معیارCUR نمونه سنگ‌ها به ٤ رده عالی تا ضعیف تقسیم شده‌اند.

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 ٤ تا ٦).



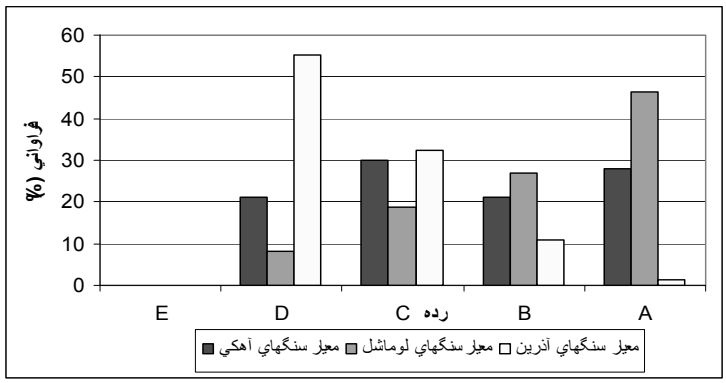
شکل۳- فراوانی گروههای سه گانه سنگی مورد مطالعه بر اساس معیار پیشنهادی



شکل ٤- 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

نوع سنگ / معیار	سنگهای آذرین	سنگهای آهکی	سنگهای لوماشل
Wakeling	۷۵	٤۲	۱۱
Poole & Fookes	٦۸	۲۱	۳
Lutton	٤۸	۱۰	۱
BS	۹۵	۲۱	۱
جلالی	۸۰	۱۱	۱
CUR	۹۸	۳۵	۲
نیکودل	۸۸	۱۳	۲
معیار حاضر	۹۷	٤۹	۲٤



شکل۵- مقایسه رده بندی سنگهای آهکی بر اساس معیارهای پیشنهادی برای هریک از سه گروه سنگی

شکل٦- مقایسه رده بندی سنگهای آذرین بر اساس معیارهای پیشنهادی برای هریک از سه گروه سنگی

نتایج حاصله نشان داد که طبقه‌بندی سنگ‌های آهکی و لوماشل بر اساس معیار پیشنهادی برای رده بندی سنگهای آذرین، اکثر این نمونه ها 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 می گیرند. این در حالی است که ارزیابی صحرایی 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 می باشد.

٦- رده‌بندی و ارزیابی نمونه های موج شکنهای مطالعاتی با استفاده از معیارهای پیشنهادی

با توجه به معیارهای پیشنهادی برای هر سه گروه سنگی، نمونه‌های اخذ شده از هر موج‌شکن به طور جداگانه رده‌بندی و ارزیابی شدند (جدول ١٦).

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(B,A) 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 (B,A) قرار می‌گیرند. نمونه های آهکی موج شکنها نیز بیشتر در رده مقاوم و متوسط(B,C) جای دارند.

جدول ۱۶-نتایج حاصل از رده بندی نمونه‌های اخذ شده از موج شکنها

نام موج شکن	جنس نمونه	تعداد	رده	درصد فراوانی در هر رده
باسعیدو	لوماشل	۲۷	A	٤
			B	۳۷
			C	۵۲
			D	۷
باهنر	آذرین	۳۹	A	۱۳
			B	۸۷
بریس	لوماشل	۱۳	A	۷/۵
			C	۸۵
			D	۷/۵
بستانه	آذرین	٤۳	A	۳۷
			B	۵٤
			C	۹
بهشتی	لوماشل	۱٦	B	۳۱/۵
			C	٤۳/۵
			D	۲۵
پزم	لوماشل	۱۵	A	۲۷
			B	٦٦
			C	۷
	آهکی	۳	B	۱۰۰
پسابندر	لوماشل	۱۱	B	۱۸
			C	٦٤
			D	۱۸
چارک	آهکی	۵۲	C	٦۹
			D	۳۱
	لوماشل	۱۰	B	٤۰
			C	٦۰
حسینه	آهکی	٤	A	۱۰۰
	آذرین	۵۱	A	۲٦
			B	۳۳
			C	٤۱
دیر	آهکی	۷	B	۲۹
			C	۷۱
رجایی	آذرین	٤۲	A	٤۵
			B	۳۸
			C	۱۷
رمین	لوماشل	۱٦	C	۹۳/۵
			D	٦/۵

نام موج شکن	جنس نمونه	تعداد	رده	درصد فراوانی در هر رده
سلخ	لوماشل	۳٤	B	۳۲/۵
			C	٤۱
			D	۲٦/۵
شناس	لوماشل	۳٦	A	٦
			B	۲٦
			C	۵۷
			D	۱۱
شیرینو	آهکی	۱۱	A	۷۲
			B	۲۸
طاهری	آهکی	٤۷	A	۳۸
			B	٤۱
			C	۲۱
	لوماشل	۱۹	A	۲٦/۵
			B	٦۸/۵
			C	۵
طیس	لوماشل	۱۰	C	٦۰
			D	٤۰
عامری	آهکی	۸	A	۱۲/۵
			B	۵۰
			C	۳۷/۵
قشم	لوماشل	۱۹	A	۵
			B	٤۲
			C	٤۲
			D	۱۱
کلانتری	لوماشل	۸	A	۷۵
			C	۱۲/۵
			D	۱۲/۵
	آذرین	٦	B	۱۰۰
کنارک	لوماشل	۱٦	A	٦/۵
			B	۲۵
			C	٤۳/۵
			D	۲۵
کنگ	آهکی	۵۳	A	۳
			C	۳۳
			D	٦٤
	لوماشل	۲۵	C	۵۳
			D	٤۷

ادامه جدول ١٦

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
لنگه	آهکی	۴۲	A	۸
			B	۸
			C	۵۲
			D	۳۲
	لوماشل	۲۰	A	۲۰
			B	۳۰
			C	٤٠
			D	۲۰
	آذرین	۱۳	A	۱۵/۵
			B	۲۳
			C	٤٦
			D	۱۵/۵
لنگه جدید	لوماشل	۳	C	۳۳
			D	٦٧
محمد عامری	آهکی	۱۳	A	۳۱
			B	٦١
			C	۸
	لوماشل	۳	A	۱۰۰
مقام	آهکی	۸	A	۱۲/۵
			B	۳۷/۵
			C	۵۰
	لوماشل	۱۳	B	٥٤
			C	٤٦
نخل تقی	آهکی	۱۰	A	۵۰
			B	٤٠
			C	۱۰
	لوماشل	۸	A	۱۲/۵
			B	۵۰
			C	۳۷/۵

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 می شود، 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 ریزدرزه ها 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

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

- رده‌بندی نمونه های اخذ شده از موج‌شکن‌های نوار ساحلی جنوبی کشور بر اساس معیار پیشنهادی نشان می‌دهد بیشتر نمونه‌های آذرین موج‌شکنها 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 موج‌شکن‌ها 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 طبقه‌بندی جهت لایه حفاظ مناسب نیستند، در مورد سنگ‌های گروه متوسط نیز پیشنهاد می‌شود که در حد جزر و مدی که به طور متناوب خشک و مرطوب می شوند 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 ضعیف به پائین غیر قابل کاربرد در لایه حفا ظ 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 می شود.

- در معیار پیشنهادی حدود ٢٤ 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.

منابع

آقانباتی، سید علی. (۱۳۸۳) زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

جلالی، حسین. (١٣٦٩) اهمیت دوام سنگ در پایداری موج شکنهای سنگریزه ای، اولین کنفرانس بین المللی بندر سازی و سازه های دریای، جلد دوم، صفحه ٤٤٣-٤٠٧.

خسرو تهرانی، خسرو. (١٣٦٧) چینه شناسی ایران، انتشارات دانشگاه تهران.

ناصحی، علیرضا. (١٣٧٦) 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. (١٣٦٩) 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.