

ارزیابی ارتباط بین سن سنگ‌های رسوبی با دوام آنها در محیط‌های تخریبی

ایرج رحمانی^۱، عرفان صادقی^۲ و محمدرضا نیکودل^۳

استادیار، بخش ژئوتکنیک و زیرساخت، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

کارشناس پژوهشی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

دانشیار، گروه زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۰

چکیده

به دلیل گسترش سطحی بسیار زیاد سنگ‌های رسوبی در سطح زمین و فرارگیری بسیاری از سازه‌های عمرانی بر روی آنها، شناخت این سنگ‌ها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد. این شناخت در محیط‌های تخریبی همچون سواحل به دلیل وجود عوامل مخرب دارای اهمیت بیشتری است. از مهمترین عوامل مؤثر روی نتایج پارامترهای مهندسی، سن تشکیل سنگ‌های رسوبی است. هدف از این تحقیق بررسی میزان تأثیر سن سنگ روی پایداری موج‌شکن به منظور انتخاب مصالح مناسب تر برای ساخت موج‌شکن می‌باشد. روش تحقیق شامل بازدید صحرایی از تعدادی از موج‌شکن‌های سواحل جنوبی و شمالی ایران، بررسی پارامترهای سنگ‌شناسی و سازه‌ای مصالح سنگی لایه حفاظ، انجام آزمایش‌های مهندسی جهت کمک به سنجش دوام و ارزیابی تأثیر سن مصالح سنگی بر نتایج و عملکرد این مصالح می‌باشد. نتایج نشان‌دهنده اولویت انتخاب مصالح با ترکیب سیلیسی همچون ماسه‌سنگ نسبت به مصالح کربناته در سن زمین‌شناسی یکسان می‌باشد. همچنین افزایش سن مصالح سنگی (از پلیستوسن تا کرتاسه) سبب افزایش دانسیته سنگ (از ۱/۵۹ تا ۲/۴۵ گرم بر سانتیمتر مکعب)، کاهش تخلخل (از ۴۴/۷ تا ۰/۴۱ درصد) و جذب آب (از ۲۹/۶ تا ۰/۲۱ درصد)، افزایش پارامترهای مقاومتی شامل افزایش مقاومت فشاری تک محوری (از ۵ تا ۱۱۱/۱۹ مگاپاسکال)، افزایش بارنقطه‌ای (از ۱/۲ تا ۵/۱۲ مگاپاسکال) و افزایش مقاومت کششی (از ۰/۱۰ تا ۱۶/۵۶ مگاپاسکال) و کاهش افت ناشی از فرایندهای سایشی، ضربه‌ای و شیمیایی شامل کاهش افت ارزش ضربه‌ای (از ۵۴/۳۰ تا ۱۰/۹۴ درصد)، افزایش شاخص دوام و ارتفگی (از ۸۲/۱۰ تا ۹۹/۴۴ درصد)، کاهش افت سلامت سنگ (از ۲۸/۵۰ تا ۰/۳۸ درصد) و کاهش افت سایش لس آنجلس (از ۷۱/۵۷ تا ۲۲/۶۷ درصد) می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: موج‌شکن، سن زمین‌شناسی، دوام سنگ، آزمایش فیزیکی، آزمایش مکانیکی، آزمایش دوام داری.

*نویسنده مسئول: ایرج رحمانی

Email: I.Rahmani@bhrc.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

ورده‌بندی آنها انجام شده است که می‌توان آنها را به دو دسته تقسیم‌بندی نمود. دسته اول مطالعات و تحقیقات صورت گرفته در کشور، که عمدتاً به صورت محلی و محدود به منطقه یا طرح خاصی بوده است همچون جلالی (۱۳۶۹)؛ نیکودل (۱۳۶۹)؛ ناصحی (۱۳۷۶)؛ حسینی (۱۳۸۵)؛ تلخابلو (۱۳۸۶)؛ شفیعی فر (۱۳۹۰)؛ توحیدی (۱۳۹۰)؛ قاسمی قهساره (۱۳۹۲) و شکری زیناب (۱۳۹۴) می‌باشند. دسته دوم اشاره به شاخص‌ترین تحقیقات و معیارهای ارائه شده توسط محققین سایر کشورها بر روی مصالح سنگی موج‌شکن‌ها همچون (Fookes & Poole 1981)؛ (Latham and Poole 1988)؛ (Fookes et al. 1988)؛ (Mather 1985)؛ (Latham 1991)؛ (Assen 2000)؛ (Tugrul and Zarif 1999)؛ (Latham 2002)؛ (Topal and Acir 2002)؛ (Tomasichio et al. 2003)؛ (Wood and Shaw, 2012)؛ (Yagiz 2011) دارد. علاوه بر این تحقیقات تعدادی دیگر از محققین به ارزیابی تأثیر سن سنگ‌ها روی مقاومت و پایداری پرداخته‌اند. ارزیابی تأثیر سن روی مقاومت و تخلخل بر روی سنگ‌های رسوبی همچون سنگ‌های آرزلیتی با سن‌های پالئوزوئیک تا تشریری نشان داد که افزایش سن زمین‌شناسی سبب افزایش مقاومت این سنگ‌ها و کاهش تخلخل آنها می‌شود (Hoshino, 1967; Koide et al., 1979; Okamoto et al., 1981; Kanji, 2014). همچنین افزایش سن نمونه‌ها سبب افزایش دانسیته خشک نمونه‌ها و به تبع آن نیز مقاومت فشاری تا حدودی افزایش یافته است (Wood and Shaw, 2012).

روندهای مذکور علیرغم افزایش سن مصالح، اگر ضخامت روباره در زمان تشکیل کم باشد و یا ضخامت روباره از مرکز به حاشیه‌ها در یک حوضه متغیر باشد از روندهای مورد انتظار تبعیت نمی‌کند. سنگ‌های قدیمی تر عموماً دارای تخلخل پایین تری از سنگ‌های جوان تر در محیط‌های با شرایط رسوبگذاری و تکنوئیک مشابه هستند. رابطه بین سن مطلق (α) و تخلخل (p) سنگ‌های رسوبی دوران تشریری

با توجه به گسترش سطحی بسیار زیاد سنگ‌های رسوبی در سطح زمین و فرارگیری بسیاری از سازه‌های عمرانی بر روی آنها، شناخت این سنگ‌ها دارای اهمیت زیادی می‌باشند. یکی از مهمترین پارامترها در رفتارنگاری مهندسی سنگ‌های رسوبی ارزیابی دوام این سنگ‌ها در محیط‌های تخریبی رسوبی همچون محیط‌های ساحلی، رودخانه‌ای، دریایی و غیره می‌باشد. دوام یا دوام‌پذیری را اصطلاحاً توانایی یا استعداد یک ماده در حفظ سلامت و خصوصیات خود در محیط‌های مهندسی تعریف می‌کنند (تلخابلو، ۱۳۸۶). دوام در واقع ثبات کیفیت مصالح بدون تحمل سایش یا زوال است و به مقاومت آن در برابر فرایندهای تحمیلی و طبیعی حاصل از هوازگی یا عوامل دیگر وابسته است که در یک دوره زمانی بر آن مصالح اثر می‌کنند. وجود بالغ بر ۲۷۰۰ کیلومتر مرز دریایی در شمال و جنوب کشور و حجم وسیع سرمایه‌گذاری انجام شده یا در حال انجام در سازه‌های دریایی احداث شده در این سواحل، اهمیت مطالعه و تحقیق در بهینه‌سازی طرح‌ها و انتخاب مصالح مناسب را نشان می‌دهد. جهت تأمین ایمنی و پایداری سازه‌های دریایی ساخته شده از سنگ، لازم است که سنگ‌های مصرفی در این سازه‌ها از دوام و مقاومت مطلوبی برخوردار باشند، زیرا بی‌دوامی سبب کاهش وزن و قطعه‌قطعه شدن مصالح سنگی شده و در اثر بارگذاری‌های تناوبی حاصل از عملکرد امواج، قطعات سنگی از جا کنده شده و ضعف موضعی را پدید خواهند داشت. چنین نقاط ضعفی به مرور می‌توانند سبب گسترش ناپایداری در کل سازه شده و بروز خسارات قابل توجهی را به دنبال داشته باشند. از طرفی دوام سنگ‌های رسوبی وابستگی بسیاری به سن تشکیل سنگ دارد، زیرا هر چقدر سن سنگ‌های رسوبی زیاد باشد به تبع عوامل بسیاری روی ویژگی‌ها و پارامترهای مقاومتی و دوام‌داری سنگ تأثیر می‌گذارد.

مطالعات و تحقیقات مختلفی برای ارزیابی کیفیت و دوام سنگ‌های مورد استفاده در موج‌شکن‌ها به منظور شناسایی نوع مصالح سنگی، شناخت خصوصیات

سنگی مناسب‌تر در ساخت موج‌شکن است. در همین راستا در این پژوهش تعداد ۱۵ موج شکن در نوار ساحلی شمال و جنوب کشور که در آنها سنگ رسوبی به عنوان مصالح اصلی لایه آرمور مورد استفاده واقع شده است انتخاب گردیده است. با مشخص نمودن سن مصالح و انجام آزمایش‌های فیزیکی، مکانیکی و دوام داری، به ارتباط بین این پارامترها و ارتباط دوام با سن سنگ‌های رسوبی پرداخته شده است.

۲- دوام سنگ

فرایندهای مؤثر بر روی زوال و دوام‌پذیری سنگ‌ها را به طور کلی می‌توان به دو دسته فیزیکی و شیمیایی تقسیم‌بندی نمود که میزان پیشرفت هر یک از عوامل در تخریب سنگ بستگی به جنس سنگ مورد مطالعه و دیگر خصوصیات مؤثر دارد. (Depuy (1965) آزمایش‌های دوام مصالح سنگی را در سه دسته اصلی شامل آزمایش‌های فیزیکی، مکانیکی و شبیه‌سازی تقسیم‌بندی کرد. طبقه‌بندی مذکور توسط Fookes et al., (1988) توسعه داده شده است و برای هر طبقه آزمایش‌های پیش‌بینی گردیده است که در جدول ۱ ارائه شده است.

در ژاپن در رابطه ۱ نشان داده شده است (Koide et al. 1979).

$$\text{Log}_{10} (\%) = 1.62 - 0.63\alpha \text{ (million years)} \quad (1)$$

ارتباط بین نسبت تخلخل و مقاومت سنگ‌های رسوبی حاصل از سنگ‌شدگی رسوبات دوران سنوزوئیک را می‌توان در سه مرحله تقسیم نمود شامل تغییرات زیاد حجم به دلیل از دست دادن آب (Dehydration)، افزایش پیوندهای بین دانه‌ای به دلیل افزایش تراکم و افزایش مقاومت به دلیل تراکم و سیماناسیون رسوبات (Okamoto et al. 1981).

با توجه به اینکه در انتخاب مصالح لازم برای ساخت موج شکن‌های توده سنگی از مصالح موجود در منطقه استفاده می‌شود و به دلیل محدود بودن تنوع مصالح در سواحل ایران بخصوص سواحل جنوبی، ضرورت انجام این تحقیق در مشخص نمودن تأثیر سن و کانی‌شناسی در انتخاب مناسب‌ترین و بادوام‌ترین مصالح موجود است. در مطالعات پیشین صرفاً به ارتباط بین سن سنگ با پارامترهای فیزیکی و مقاومتی پرداخته شده است به همین دلیل در این تحقیق هدف بسط و گسترش ارتباط بین سن سنگ با پارامترهای فیزیکی، مکانیکی و دوام داری به منظور انتخاب مصالح

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

آزمایش‌های فیزیکی	آزمایش‌های مکانیکی	آزمایش‌های شبیه‌سازی	بررسی‌های سنگ‌شناسی
دانسیته (ظاهری، خشک و اشباع) BS 812	مقاومت بار نقطه‌ای (ISRM, 1985)	ارزش ضربه‌ای اصلاح شده Hosking and Tubey (1969)	بررسی سنگ‌شناسی ASTM C295
جذب آب و تخلخل BS 812	سختی چکش اشمیت Duncan (1969)	سایش لس آنجلس ASTM C535	تعیین کانی‌های رسی (جذب متیلن بلو، اتیلن گلیکول. پراش اشعه ایکس XRD)
	ارزش ضربه‌ای مصالح BS 812	آزمایش زوال واشینگتن DMR T214	
	ارزش سایش مصالح BS 812	تر و خشک کردن	
	ارزش خرد کردن مصالح BS 812	سلامت سولفات منیزیم ASTM C88	
	۱۰ درصد ریزی BS 812	دوام در برابر انجماد و ذوب شدن AASHTO-T103-78	
	مقاومت فشاری محوری ASTM D 2938	دوام آبدیدگی ASTM D4644	

۳- زمین‌شناسی

سازند هرمز را همراه سنگ‌های آذرین به سطح آورده‌اند. مکران ساحلی که در نوار ساحلی جنوب شرقی ایران واقع گردیده است به صورت کمربندی از خاور خلیج فارس (گسل میناب) شروع و تا شمال سواحل اقیانوس هند در پاکستان امتداد یافته است. چینه‌شناسی عمومی منطقه دربرگیرنده واحدهای سنگی دوران سوم و کواترن می‌باشد که از لحاظ لیتولوژی از واحدهای سنگی ماری در قاعده و تناوبی از مارن، مارن سیلتی با سنگ‌های زیستی تخریبی (لوماشل)، ماسه‌سنگ و میان لایه‌های میکروبرشی و کنگلومرایی تشکیل شده است.

۴- مواد و روش‌ها

۴-۱. بنادر مورد مطالعه

در این تحقیق به منظور بررسی عملکرد تعداد ۱۵ موج شکن توده سنگی واقع در استان‌های سیستان و بلوچستان، هرمزگان، بوشهر و گیلان در قالب عملیات صحرائی،

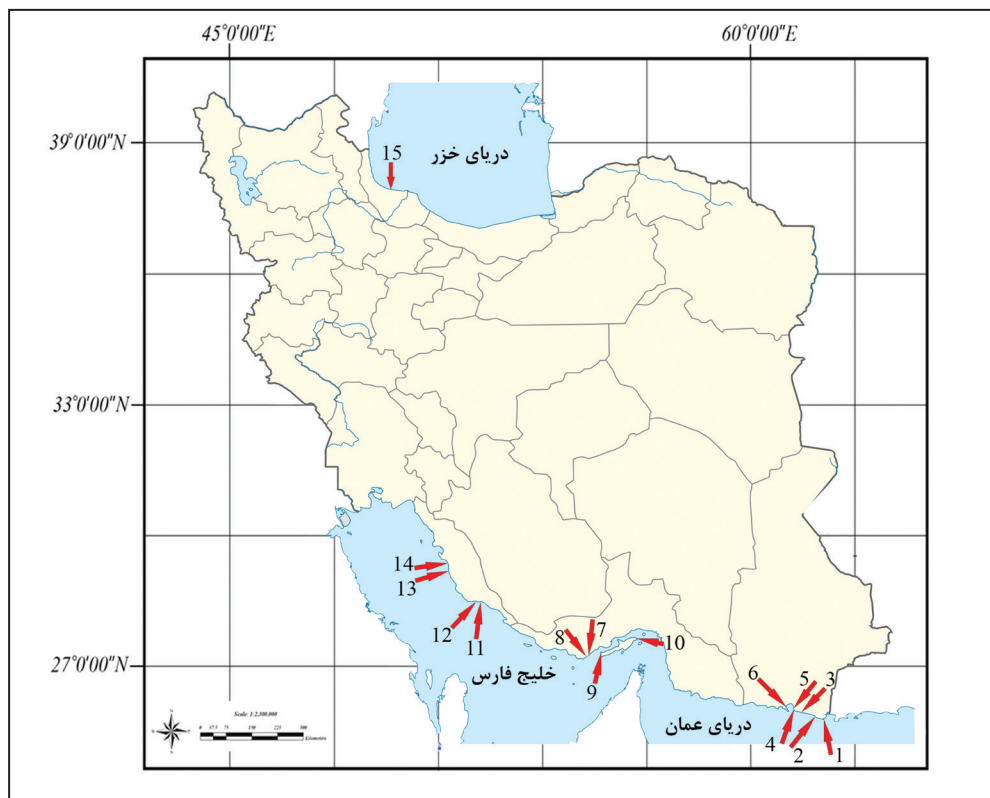
محدوده مطالعاتی در این تحقیق شامل سواحل جنوبی دریای خزر، سواحل خلیج فارس و دریای عمان است. در ارتباط با سواحل جنوبی خزر، از زمان میوسن میانی همزمان با تکوین کوه‌های آلپ، دریای تیس به دو حوضه جدا از هم تقسیم شده است. حوضه شمالی (دریای خزر) دارای محیطی لب شور بوده و بخش بیشتر این نوار ساحلی با رسوبات دلتایی، رودخانه‌ای و ساحلی عهد حاضر پوشیده شده است. سواحل جنوبی ایران از لحاظ تقسیم‌بندی واحدهای زمین‌ساختاری در دو زون زاگرس چین خورده و مکران قرار می‌گیرد (آقناباتی، ۱۳۸۳). زاگرس چین خورده از توالی رسوبی ضخیمی تشکیل شده است که مربوط به دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک می‌باشد. عمده سازندهای رخنمون‌یافته در این زون شامل گروه فارس متشکل از سازندهای گچساران، میشان و آغاجاری با سن میوسن و سازند بختیاری با سن میوپلیوسن است. در کنار این سازندها، پدیده دیابیرسم یا بالآآمدگی گنبد‌های نمکی متعلق به اینفراکامبرین دیده می‌شود همانند گنبد نمکی گچین، که نهشته‌های

بر روی سازه موج شکن مورد بررسی قرار گرفته است (جدول ۲). موقعیت جغرافیایی موج شکن‌های توده‌سنگی مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

ضمن بازدید از موج شکن و نمونه برداری از مصالح سنگی آنها، مکانیزم‌های تخریب و گسیختگی‌های احتمالی ایجاد شده در این سازه‌ها ناشی از عوامل مختلف، به‌ویژه مصالح مصرفی ارزیابی گردیده و عملکرد واقعی سنگ‌ها

جدول ۲- اسامی و مختصات مکانی موج شکن‌های مورد بازدید.

ردیف	استان	نام موج شکن	X	Y
۱	سیستان و بلوچستان	پسابندر	۳۳۹۸۰۴	۲۷۷۳۱۹۲
۲		بریس	۳۱۶۳۲۴	۲۷۸۲۳۲۱
۳		رمین	۲۷۲۹۷۹	۲۷۹۶۶۹۲
۴		شهید بهشتی	۲۵۸۴۳۱	۲۸۰۰۲۸۵
۵		شهید کلاتری	۲۶۰۲۷۶	۲۸۰۱۷۹۳
۶		کنارک	۲۴۱۵۸۵	۲۸۰۶۷۹۵
۷	هرمزگان	بندر کنگ	۲۹۵۳۶۵	۲۹۴۲۷۴۶
۸		بندر لنگه	۲۸۹۷۱۷	۲۹۳۸۲۵۰
۹		بندر باسعیدو	۳۲۷۸۲۴	۲۹۵۰۰۳۶
۱۰		بندر شهید ذاکری	۴۲۷۷۴۴	۲۹۸۳۰۶۹
۱۱	بوشهر	بندر کنگان	۶۰۴۱۲۳	۳۰۷۸۷۶۸
۱۲		بندر دیر	۵۹۱۳۰۹	۳۰۷۸۵۱۳
۱۳		بندر بوالخیر	۵۰۸۶۰۸	۳۱۵۶۵۶۶
۱۴		بندر محمد عامری	۵۰۵۵۲۳	۳۱۷۶۷۱۰
۱۵		گیلان	بندر انزلی	۳۶۴۳۸۴



شکل ۱ - توزیع مکانی بنادر مورد مطالعه.

۴-۲. بررسی‌های میدانی

در این تحقیق سعی شد ضمن بررسی و بازدید صحرایی موج شکن‌های سواحل جنوبی و شمالی ایران، خصوصیات و پارامترهای سنگ‌شناسی و سازه‌ای مصالح سنگی مورد استفاده در ساخت آنها ارزیابی گردد (شکل ۲). لذا در این بخش نتایج حاصل از بررسی‌های میدانی به طور مختصر شرح داده می‌شود.

۱) مصالح سنگی مورد استفاده در احداث بنادر و موج شکن‌های منطقه سیستان و بلوچستان از معادن محلی بوده و عمدتاً از جنس لوماشل هستند. قطعات سنگی لوماشلی مصرفی در اکثر موج شکن‌ها به دلیل دانسیته کم، درصد سایش بالا و مقاومت کم پس از اشباع شدن توسط آب دریا به راحتی گرد گوشه گردیده و حفرات بزرگ و متعددی را در فضای مابین قطعات به ویژه در منطقه جزر و مدی به وجود می‌آورد که نتیجه آن کاهش میزان قفل و بست قطعات سنگی می‌باشد. قطعات ماسه‌سنگ مصرفی در موج شکن شهید کلاتری از یک سو به دلیل دارا بودن رگه‌های کلسیتی متعدد که انحلال آنها سبب خرد شدن کل توده سنگ می‌شود و از سوی دیگر به دلیل گردگوشه شدن، پوسته پوسته شدن و فرسایش زیاد در تماس با آب دریا از لحاظ دوام مناسب نمی‌باشد.

۲) مصالح سنگی موج شکن‌های استان هرمزگان عمدتاً از جنس سنگ آهک

و لوماشل هستند. در سنگ‌های لوماشل خصوصیتی همچون حفرات انحلالی، فرسایش و گردشدگی، پوسته پوسته شدن، جنس ضعیف مصالح، رگه‌های رسی و مارنی قابل مشاهده است. پارامترهای اصلی گسیختگی شامل نشست، جابه‌جایی قطعات آرمور، شکست قطعات سنگی و فرسایش بودند و فقط در تعداد کمی از موج شکن‌ها تخریب و لغزش سازه همراه با فرسایش و خرابی هسته و فیلتر مشاهده گردید. ۳) در موج شکن‌های استان بوشهر جنس مصالح سنگی از نوع رسوبی و عمدتاً لوماشل و سنگ آهک هستند. بر اساس آنچه که طی مشاهدات میدانی در سازه موج شکن‌ها به دست آمده است، پارامترهای اصلی گسیختگی شامل نشست، جابه‌جایی قطعات آرمور، شکست قطعات سنگی و فرسایش بودند.

۴) در استان گیلان (موج شکن بندر انزلی) مصالح سنگی عمدتاً از سنگ‌های آذرین، رسوبی و قطعات بتنی آرمور استفاده شده است. از نظر سازه‌ای، ساختمان موج شکن احداثی از پایداری خوبی برخوردار بوده و عمده گسیختگی قابل مشاهده جابجایی قطعات آرمور می‌باشد. در سنگ آهک‌های مورد استفاده خصوصیتی همچون حفرات انحلالی، فرسایش و گردشدگی، رگه‌های رسی و مارنی قابل مشاهده بود.



شکل ۲- الف) بندر پسابندر در استان سیستان و بلوچستان؛ ب) رگه کلسیتی ماسه سنگ بندر شهید کلاتری؛ ج) نمونه‌های اخذ شده از بنادر؛ د) انحلال و فرسایش میان‌لایه‌های رسی.

۴-۳. سن زمین‌شناسی مصالح

سن این مصالح به علت قرارگیری در حاشیه جنوبی و شمالی کشور جدید بوده و مربوط به دوران سنوزوئیک هستند. فقط مصالح به کار گرفته شده در بنادر انزلی و دیر به نسبت قدیمی‌تر بوده و به دوران مزوزوئیک (دوره کرتاسه) مرتبط می‌شوند. همچنین این مصالح عمدتاً (در حدود ۹۵ درصد) دارای ترکیبات کربناته بوده و شامل سنگ آهک و سنگ‌های زیست تخریبی (لوماشل) هستند و فقط در موج شکن شهید کلاتری عمده مصالح مورد استفاده ماسه‌سنگ می‌باشد.

به منظور ارتباط سن زمین‌شناسی با پارامترها و نتایج به دست آمده از آزمایش‌های مهندسی مصالح، سن مصالح برداشت شده از هر معدن به تفکیک موج شکن‌های مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است. بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی مورد مطالعه، توالی سازندها و بر اساس مطالعات پیشین محققان سن عددی منابع قرصه مورد مطالعه با واحد میلیون سال تعیین گردید و در ترسیم نمودارهای پارامترهای مهندسی سنگ‌ها مورد استفاده واقع شد. همانطور که از جدول ۳ قابل مشاهده است

جدول ۳- سن زمین‌شناسی مصالح مورد استفاده در ساخت موج شکن‌های مورد مطالعه.

ردیف	نام موج شکن	نام معدن	جنس سنگ	سن زمین‌شناسی	سن (میلیون سال)
۱	بندر کنگ	حسین آباد	لوماشل	پلیستوسن	۱/۵
۲	بندر لنگه	حسین آباد	سنگ آهک، لوماشل	پلیستوسن	۱/۵
۳	بندر رمین	رمین ۱	لوماشل	پلیستوسن	۲
۴	بندر بوالخیر	بوجیکدان	سنگ آهک، لوماشل	پلیوسن	۳
۵	بندر شهید بهشتی	طیس	لوماشل	پلیوسن	۴
۶	بندر پسابندر	پسابندر	لوماشل	میوسن	۶
۷	بندر بریس	بریس	لوماشل	میوسن	۹
۸	بندر شهید کلاتری	پیرسهراب	ماسه سنگ	میوسن	۱۲
۹	بندر کنارک	پایگاه دریایی کنارک	لوماشل	میوسن	۱۵
۱۰	بندر ذاکری	قشم	لوماشل	میوسن	۱۸
۱۱	بندر باسعیدو	شل گیر	سنگ آهک، لوماشل	میوسن	۲۱
۱۲	بندر محمد عامری	دره پهن	سنگ آهک، لوماشل	الیگومیوسن	۲۵
۱۳	بندر کنگان	تنگ سیلابی	سنگ آهک، لوماشل	الیگوسن-میوسن	۳۱
۱۴	بندر دیر	مل گنزه	سنگ آهک	کرتاسه	۷۴
۱۵	بندر انزلی	آهک نمین	سنگ آهک	کرتاسه	۱۰۰
۱۶	بندر انزلی	آهک مارنی	سنگ آهک	کرتاسه	۱۳۰

۵- نتایج و بحث

بهبود تمامی پارامترهای مهندسی گردیده است، البته در کنار سن، محیط رسوبی نیز تأثیرگذار بوده به نحوی که نمونه سنگ‌های با سن جدیدتر عمدتاً در محیط‌های ساحلی تشکیل شده‌اند و نمونه‌های قدیمی‌تر در محیط‌های عمیق‌تر همچون دریای باز ته‌نشست یافته‌اند. در نمونه‌های رسوبی تخریبی همچون ماسه‌سنگ علیرغم سن پایین دارای خصوصیات مهندسی قابل قبولی در حد سنگ‌های کربناته با سن بیشتر می‌باشند و دلیل این امر تفاوت در ترکیب کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ می‌باشد. به طور کلی مشخصات مهندسی سنگ‌های آهکی بهتر از سنگ‌های زیست تخریبی (لوماشل) است و سنگ‌های لوماشل علیرغم روند کلی بهبود خصوصیات مهندسی با افزایش سن، اما در تعدادی موارد از این روند تبعیت نمی‌گردد. سنگ‌های لوماشلی بندر کنارک به نسبت سن بیشتر از هفت بندر دیگر با سن کمتر اما دارای خصوصیات مهندسی ضعیف تری هستند. دلیل این امر کمتر بودن ضخامت روباره و فقدان رسوبات جدیدتر می‌باشد.

در این بخش از تحقیق، ویژگی‌های مهندسی سنگ‌های مورد مطالعه براساس نتایج آزمایشات آزمایشگاهی که شناساگرهای خوبی برای تعیین این خصوصیات هستند، مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا با انجام آزمایشات آزمایشگاهی مختلف بر روی نمونه‌های برداشت شده از موج شکن‌های مورد مطالعه، خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و دوام‌داری ارزیابی شده و نتایج به دست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. سه گروه آزمایش بر روی نمونه‌ها صورت گرفته است. آزمایش‌های فیزیکی شامل دانسیته خشک و اشباع، وزن مخصوص، جذب آب و تخلخل، آزمایش‌های مکانیکی شامل مقاومت بار نقطه‌ای، برزیلین و مقاومت فشاری تک محوری و همچنین آزمایش‌های شبیه‌سازی شامل دوام وارفتگی، سلامت سنگ در سولفات منیزیم، سایش لس آنجلس و ارزش ضربه‌ای (جدول ۴). نتایج به دست آمده و تجزیه و تحلیل‌های انجام شده بر روی داده‌ها در جدول ۵ آورده شده است. همانگونه که از جدول ۵ قابل مشاهده است در سنگ‌های کربناته افزایش سن سبب

جدول ۴- طبقه‌بندی آزمایش‌های مهندسی دوام و تعداد آنها.

گروه آزمایش	نوع آزمایش	استاندارد	تعداد
آزمایش‌های فیزیکی	دانسیته (ظاهری، خشک و اشباع)	BS 812	۸۰
	جذب آب و تخلخل	BS 812	۸۰
آزمایش‌های مکانیکی	مقاومت بار نقطه‌ای	ASTM D5731	۸۰
	مقاومت کششی برزیلین	ASTM D3967	۸۰
	ارزش ضربه ای مصالح	BS 812	۳۲
آزمایش‌های شبیه‌سازی	مقاومت فشاری محوری	ASTM D 2938	۸۰
	سایش لس آنجلس	ASTM C535	۱۳
	سلامت سنگ	ASTM C88	۱۵
	دوام وارفتگی	ASTM D4644	۱۶

جدول ۵ - نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های موج شکن‌ها.

ردیف	نام موج شکن	دانسیته خشکی (g/cm ³)	دانسیته اشباع (g/cm ³)	وزن مخصوص	جذب آب (%)	تخلخل (%)	مقاومت بار نقطه‌ای (MPa)	مقاومت کششی برزیلین (MPa)	مقاومت فشاری تک محوری (MPa)	ارزش ضریب‌های %	شاخص دوام %	سلامت سنگ %	سایش نسبی آنجس %
۱	بندر کنگک	۱/۷۲	۱/۸۵	۲/۰۱	۷/۶	۱۳/۳	۱/۴	۲/۴۵	۷/۲۰	۳۸	۹۲/۲۰	۱۲/۵۵	۵۲/۶۰
۲	بندر لنگه	۱/۹۲	۲/۱۱	۲/۴۲	۹/۸	۱۹/۳	۱/۲	۰/۳۱	۸/۱۰	۴۱/۶۶	۹۱/۷۰	۱/۴۵	-
۳	بندر رمین	۱/۸	۲/۱۲	۲/۷۱	۱۷/۶	۳۲/۲	۱/۶	۰/۱۵	۱۲/۳۰	۴۶/۶۰	۹۴/۷۰	۴/۱۷	-
۴	بندر بوالخیر	۱/۵۹	۱/۶۴	۲/۴۵	۱۵/۷	۲۷/۹۳	۱/۵۱	۰/۲۳	۵/۹۰	۴۰/۴۰	۹۰/۸۴	۵/۳۰	۶۱/۷۸
۵	بندر شهید بهشتی	۱/۸	۲/۱۰	۲/۶۵	۱۷	۳۱/۱	۱/۶	۰/۱۰	۵	۵۱/۳۰	۹۱/۸۵	-	۸۸
۶	بندر پساندر	۱/۷۳	۲/۰۷	۲/۶۲	۱۷/۶	۳۰/۴۳	۱/۸	۰/۳۲	۲۵/۵۰	۴۷/۵۰	۹۴/۵۰	۲۸/۵۰	-
۷	بندر بریس	۱/۶۲	۱/۸۸	۲/۳۰	۱۴/۸	۲۶/۲	۱/۴	۱/۷۰	۵/۸۰	۳۸/۷۰	۹۱/۵۵	۱۴/۲۶	۴۱/۳۵
۸	بندر شهید کلاتری	۲/۴۵	۲/۵۱	۲/۵۴	۲/۱۸	۵/۲۲	۵/۱۲	۸/۸۰	۴۴/۶۳	۱۵/۶۰	۹۹/۰۴	۸/۶۰	۲۳/۲۶
۹	بندر کنارک	۱/۴۹	۱/۹۳	۲/۷۴	۲۹/۶	۴۴/۷	۱/۲	۰/۱۰	۲۰/۵۰	۵۴/۳۰	۹۳/۵۲	۱۹/۶۰	۲۸/۸۳
۱۰	بندر ذاکری	۱/۶۵	۱/۹۴	۲/۳۹	۱۷/۹	۲۹/۹	۱/۲	۰/۷۲	۵/۲۰	۴۹/۹۹	۹۲	۷/۳۰	۶۶/۲۰
۱۱	بندر باسعیدو	۱/۹۵	۲/۰۹	۲/۳۳	۷/۴	۱۴/۶	۲/۱۸	۱/۲۲	۲۲/۹۰	۴۴/۸۷	۸۳/۹۰	۳/۹۰	۷۱/۵۷
۱۲	بندر محمد عامری	۱/۸۳	۱/۸۷	۲/۱۴	۸/۲۱	۱۷/۷	۱/۷	۱/۲۶	۳۱/۷۰	۲۹	۸۲/۱۰	۳	۵۷
۱۳	بندر کنگان	۲/۲۱	۲/۲۵	۲/۳۹	۵/۴	۱۰/۸	۲/۲۴	۱/۴۷	۳۴	۲۳/۵۰	۸۸/۱۶	۲/۸۰	۴۶
۱۴	بندر دیر	۲/۳۹	۲/۴۱	۲/۴۳	۲/۸	۶/۵	۳/۴	۱۲/۴۰	۷۱	۱۴/۱۰	۹۹/۲۳	۱/۷۵	۳۹
۱۵	بندر انزلی	۲/۴۵	۲/۴۶	۲/۴۵	۰/۲۱	۰/۴۱	۲/۰۶	۹/۱۲	۶۶	۱۰/۹۴	۹۹/۱۵	۰/۰۳۸	۲۶
۱۶	بندر انزلی	۲/۴۳	۲/۴۴	۲/۴۴	۰/۴۴	۰/۸۳	۲/۷۱	۱۶/۵۶	۱۱۱/۱۹	۱۳/۴۷	۹۹/۴۴	۰/۱۶۱	۲۲/۶۷

۵-۱. بررسی روابط بین آزمون‌های آزمایشگاهی

در این بخش به بررسی روابط بین نتایج آزمایش‌های فیزیکی، مکانیکی و دوام داری پرداخته می‌شود. همان‌طور که پیشتر اشاره شد، از آنجا که همواره ارتباطی بین خصوصیات فیزیکی، مقاومتی و دوام داری وجود دارد، روابط تجربی بدست آمده از گروهی از آزمون‌ها می‌تواند برای پیش‌بینی و تخمین نتایج گروه دیگری از آزمایش‌ها، مورد استفاده قرار گیرد. در همین راستا با استفاده از نرم‌افزار SPSS معادلات رگرسیون و ضرایب تعیین (R2) آن‌ها از ارتباط بین پارامترها مشخص می‌شود (جدول ۶). دقت معادلات رگرسیون نیز بستگی به انتخاب نوع متغیرهای مستقل، همبستگی بین متغیرهای مستقل، چگونگی تأثیر احتمالی این متغیرها بر

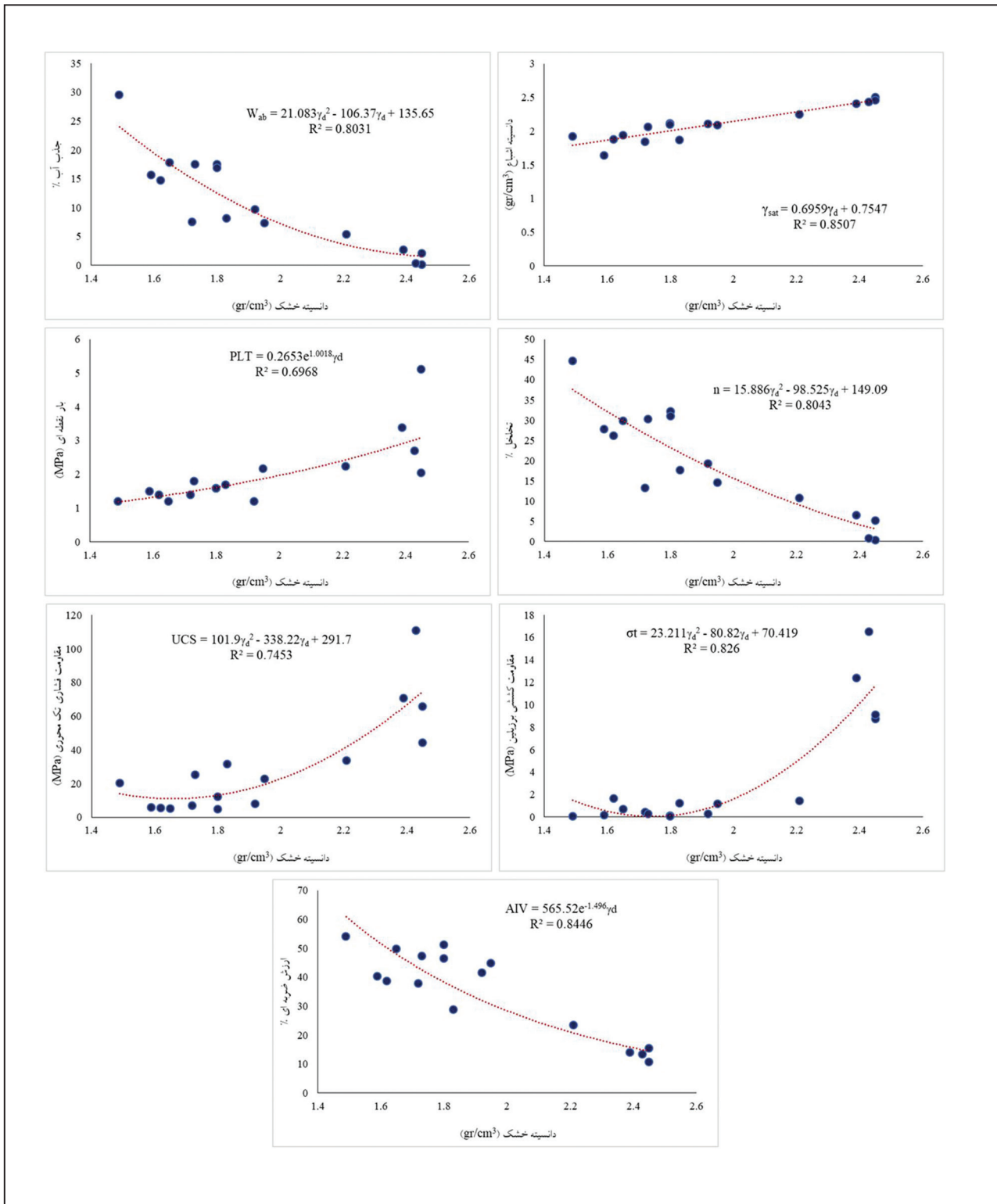
متغیر وابسته و سهولت استفاده از معادله بدست آمده بر اساس متغیرهای انتخابی دارد. سطوح معناداری نیز توسط نرم افزار SPSS و بر اساس آزمون همبستگی دو متغیری انجام گردید. در این آزمون روابط با سطح معناداری بسیار قوی به رنگ سبز (***) و روابط با سطوح معناداری قوی به رنگ نارنجی (*) تعیین و در جدول ۶ نشان داده شده است. روابط با سطوح معناداری بسیار قوی دارای ضرایب تعیین بالاتری نیز هستند. در موارد محدودی همچون ارتباط بین نتایج آزمایش لس آنجس با دانسیته خشک، جذب آب و تخلخل علیرغم ضرایب تعیین بالا، ارتباط معناداری قابل مشاهده نیست.

جدول ۶ - ضرایب تعیین (R2) و سطح معناداری بین پارامترهای فیزیکی، مکانیکی و دوام داری.

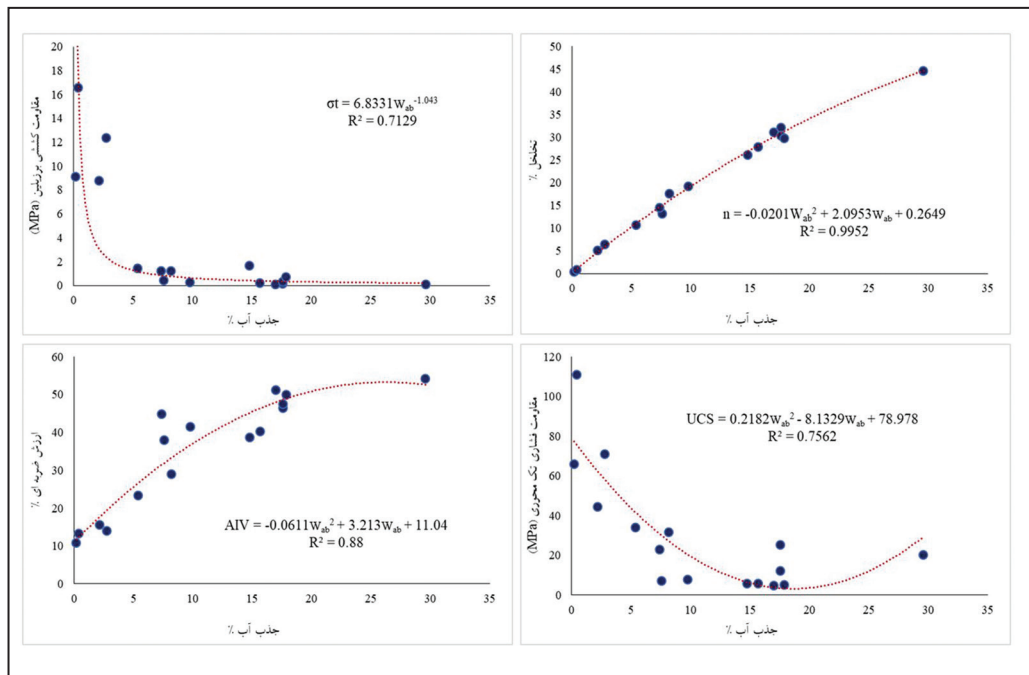
لس آنجلس	سلامت سولفات	دوام وارفتگی	ارزش ضربه‌ای	تک محوری	برزیلین	بار نقطه‌ای	تخلخل	جذب آب	وزن مخصوص	دانسیته اشباع	دانسیته خشک	
											1	دانسیته خشک
										1	0.85 (Li)**	دانسیته اشباع
									1	0.009 (PI)	0.082 (PI)	وزن مخصوص
								1	0.424 (PI)	-0.573 (E)**	-0.803 (PI)**	جذب آب
							1	0.995 (PI)**	0.388 (PI)	-0.540 (E)**	-0.804 (PI)**	تخلخل
						1	0.495 (E)	-0.484 (E)	0.105 (PI)	0.688 (PI)**	0.699 (E)**	بار نقطه‌ای
					1	0.488 (E)	-0.77 (E)**	-0.713 (P)**	0.164 (PI)	0.767 (PI)**	0.826 (PI)**	برزیلین
				1	0.897 (PI)**	0.65 (PI)*	-0.785 (PI)**	-0.756 (PI)**	0.119 (PI)	0.658 (PI)**	0.745 (PI)**	تک محوری
			1	-0.74 (E)**	-0.818 (PI)**	-0.623 (PI)**	0.87 (PI)**	0.88 (PI)**	0.249 (PI)	-0.759 (PI)**	-0.845 (E)**	ارزش ضربه‌ای
		1	-0.55 (PI)	0.307 (PI)	0.485 (PI)	0.215 (PI)	-0.426 (PI)	-0.296 (PI)	0.192 (PI)	0.500 (PI)**	0.573 (PI)*	دوام وارفتگی
	1	0.218 (PI)	0.54 (P)*	-0.493 (E)	-0.43 (E)	-0.156 (PI)	0.480 (E)	0.445 (E)	0.287 (PI)	-0.345 (E)	-0.385 (PI)	سلامت سولفات
1	-0.335 (PI)	-0.515 (PI)*	0.516 (PI)*	-0.499 (E)	-0.51 (E)*	-0.28 (E)	0.655 (PI)	0.689 (PI)	0.026 (PI)	-0.442 (PI)	-0.748 (PI)	لس آنجلس
Li=Linear PI=Polynomial E=Exponential P=Power												
** Correlation is significant at the 0.01 level						* Correlation is significant at the 0.05 level						

جذب آب دارای ارتباط مستقیم و معناداری با پارامتر تخلخل می‌باشد که نشان‌دهنده مفید بودن تخلخل موجود در سنگ است. تخلخل به عنوان یک عامل ضعف در سنگ عمل نموده و سبب کاهش خواص مهندسی سنگ می‌گردد. با افزایش تخلخل و به تبع آن جذب آب پارامترهای مکانیکی همچون مقاومت فشاری تک محوری و مقاومت کششی برزیلین کاهش یافته و درصد افت ناشی از آزمایش ارزش ضربه‌ای افزایش می‌یابد. ارتباط بین جذب آب با سایر پارامترهای مهندسی در شکل ۴ آورده شده است.

همانگونه که از جدول ۶ قابل ملاحظه است، روابط بین خصوصیات گروه‌های مختلف آزمایش‌ها عمدتاً چندجمله‌ای، نمایی و خطی است. بهترین روابط را دانسیته با سایر پارامترهای فیزیکی، مکانیکی و دوام داری دارد (شکل ۳). دانسیته خشک دارای ارتباط مستقیم با دانسیته اشباع، مقاومت بارنقطه‌ای، مقاومت کششی برزیلین و مقاومت فشاری تک محوری و ارتباط معکوس با جذب آب، تخلخل و آزمایش ارزش ضربه‌ای است. نمودار بین پارامترهای که دارای سطح معناداری بسیار قوی و ضریب تعیین بیشتر از ۰/۶ می‌باشد آورده شده است.



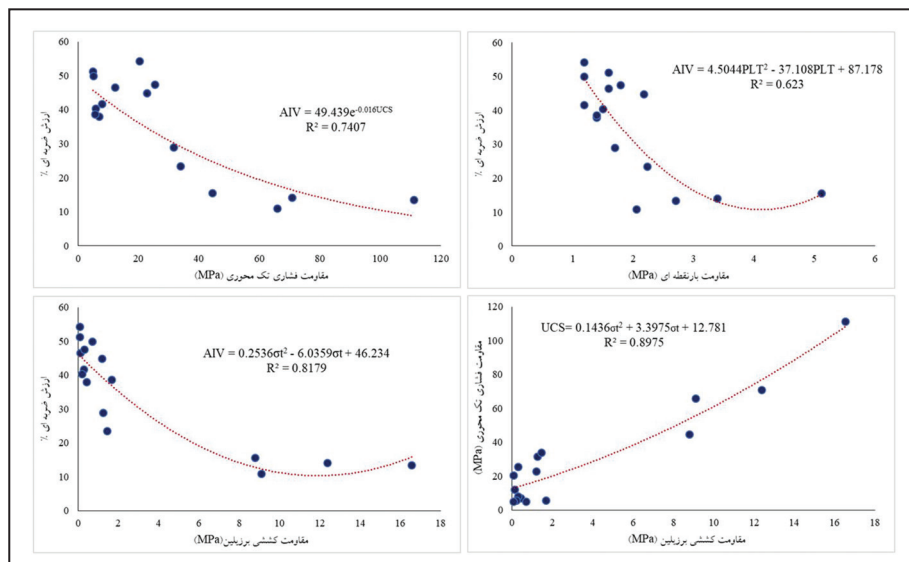
شکل ۳ - ارتباط بین دانسیته خشک با سایر پارامترهای فیزیکی، مکانیکی و دوام داری نمونه‌های مورد آزمایش.



شکل ۴- ارتباط بین جذب آب با سایر پارامترهای فیزیکی، مکانیکی و دوام داری نمونه‌های مورد آزمایش.

در این تحقیق پارامترهای مکانیکی با پارامتر افت ناشی از آزمایش ارزش ضربه‌ای ارتباط معناداری دارند. با افزایش پارامترهای مقاومتی، افت ناشی از آزمایش ارزش ضربه‌ای کاهش می‌یابد اما در مقاومت‌های بالاتر درصد افت ثابت مانده و نرخ کاهش کمتر می‌شود. نمودارهای ارتباط بین پارامترهای مکانیکی با سایر پارامترهای مکانیکی و دوام داری در شکل ۵ نشان داده شده است.

پارامترهای مکانیکی عمدتاً دارای ارتباط مستقیم با یکدیگر هستند به گونه‌ای که با افزایش یکپارچگی و مقاومت فشاری سنگ، مقاومت کششی نیز افزایش می‌یابد. شکل ۵ نشان‌دهنده ارتباط مستقیم مقاومت فشاری تک محوری و مقاومت کششی برزیلین می‌باشد. به تبع این افزایش مقاومت نیز کاهش دهنده زوال و افت سنگ در اثر فعل و انفعالات فیزیکی و شیمیایی می‌باشد. همانگونه که پیشتر نیز اشاره شد



شکل ۵- نمودارهای ارتباط بین پارامترهای مکانیکی با سایر پارامترهای مکانیکی و دوام داری نمونه‌های مورد آزمایش.

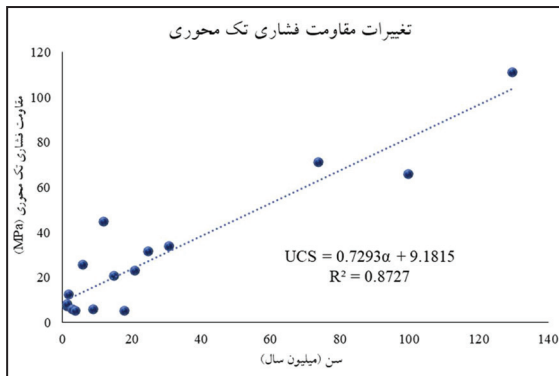
اشباع و تخلخل به دلیل مشابهت و همبستگی بالا با نتایج دانسیته خشک و جذب آب ترسیم نشده است.

۵-۲. ارتباط بین پارامترهای مهندسی سنگ ها و سن آن‌ها

از پارامترهای جدول ۳ و نتایج پارامترهای مهندسی سنگ که قبلاً به آن اشاره شده برای ارزیابی تأثیر سن مصالح بر عملکرد شاخص‌های مهندسی سنگ استفاده می‌گردد. با استفاده از نرم‌افزار SPSS ضرایب تعیین و سطح معناداری بین سن و سایر پارامترها تعیین گردید. بر همین اساس نتایج نشان‌دهنده ارتباط سن با دانسیته خشک، دانسیته اشباع، تخلخل، مقاومت کششی برزیلین، مقاومت فشاری تک محوری و

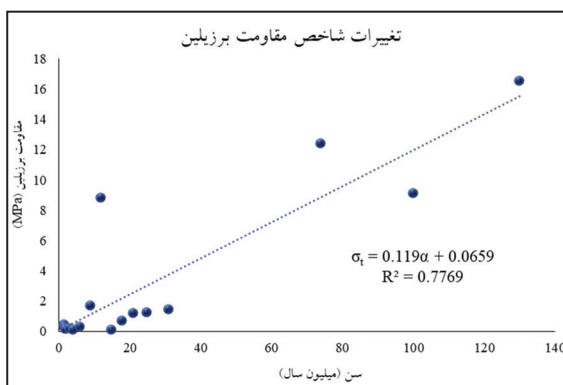
کمترین ارتباط رگرسیونی بین داده‌ها نیز مرتبط به وزن مخصوص، دوام و ارتفنگی و سلامت سولفات با سایر پارامترهای محاسبه شده است. دلیل اصلی پراکندگی نتایج آزمایش‌های دوام و ارتفنگی و سلامت سولفات به وجود منافذ زیاد و سست بودن سنگ‌های لوماشل که قسمت اعظم نمونه‌ها را تشکیل داده است مربوط می‌شود. از بین خصوصیات فیزیکی، رابطه بین وزن مخصوص با سایر خصوصیات مقاومتی سنگ بیشترین میزان پراکندگی را نشان می‌دهد. دلیل عمده آن می‌تواند به دلیل نزدیک بودن وزن مخصوص نمونه‌ها به یکدیگر باشد به نحوی که تغییرات آن در نتایج سایر خصوصیات تأثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد. نمودارهای دو گروه دانسیته

پارامترهایی است که در افزایش مقاومت سنگ در برابر تنش‌های وارده تأثیرگذار است. از این روی به بررسی تأثیر سن مصالح در نتایج آزمایش‌های مکانیکی مذکور پرداخته شده است. شکل ۸ ارتباط بین سن زمین‌شناسی مصالح سنگی و مقاومت فشاری تک محوری را نشان می‌دهد. این دو پارامتر دارای یک ارتباط خطی صعودی بوده و با افزایش سن مصالح، مقاومت فشاری افزایش می‌یابد.



شکل ۸ - ارتباط بین سن زمین‌شناسی مصالح سنگی و مقاومت فشاری تک محوری.

شکل ۹ ارتباط بین سن زمین‌شناسی مصالح سنگی و مقاومت کششی برزیلین را نشان می‌دهد. این دو پارامتر دارای یک ارتباط خطی صعودی بوده و با افزایش سن مصالح، مقاومت کششی افزایش می‌یابد. یکی از عوامل پراکندگی داده‌ها در این گراف، متغیر بودن ماهیت کانی‌شناسی ماسه‌سنگ نسبت به سایر سنگ‌های کربناته است که قبلاً نیز به آن اشاره شده است. این نمونه ماسه‌سنگی علیرغم رسوبی بودن و با توجه به سن کم آن، دارای مقاومت نسبتاً بالایی نسبت به سنگ‌های کربناته هم سن خود می‌باشد. پس پارامترهای مکانیکی سنگ‌ها علاوه بر سن سنگ، به جنس سنگ نیز بستگی دارد.



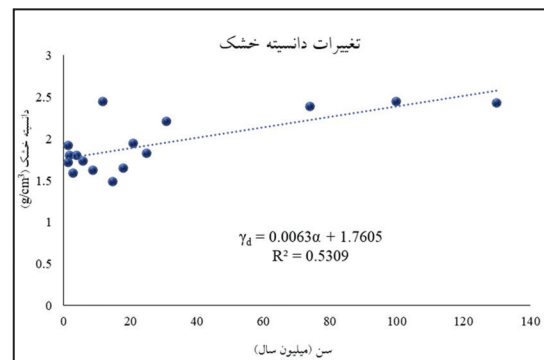
شکل ۹ - ارتباط بین سن زمین‌شناسی مصالح سنگی و مقاومت کششی برزیلین.

۳-۲-۵. **ارتباط بین پارامترهای دوام داری و سن مصالح سنگی:** دوام مصالح مورد استفاده در ساخت سازه‌های مهندسی در محیط‌های تخریبی عامل بسیار مهمی در طول عمر مفید سازه دارد. از مهمترین روش‌های ارزیابی دوام مصالح نیز می‌توان به آزمایش ارزش ضربه‌ای و آزمایش سلامت سنگ اشاره داشت. مصالح سنگی در محیط‌های دریایی به خصوص در سواحل بسیار در معرض ضربات ناشی از امواج و ترکیبات شیمیایی، املاح و نمک‌های موجود در ترکیب آب هستند. در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ تأثیر سن مصالح را در میزان دوام مصالح با استفاده از آزمایش‌های مذکور ارائه شده است.

از جمله نتایجی که از شکل ۱۰ قابل استنتاج است می‌توان به ارتباط معکوس سن

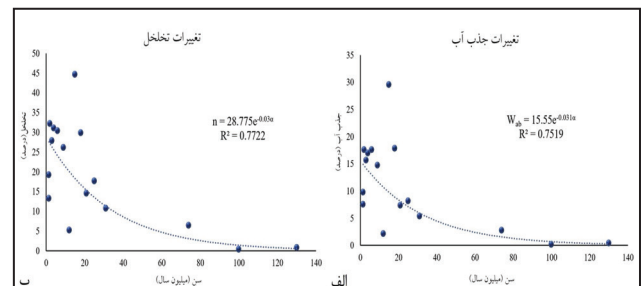
آزمایش ارزش ضربه‌ای در دسته با سطح معناداری بسیار قوی، ارتباط سن با جذب آب و لس آنجلس در دسته با سطح معناداری قوی و ارتباط سن با وزن مخصوص، مقاومت بارنقطه‌ای، دوام وارفتگی و سلامت سولفات در دسته فاقد معناداری است. قابل ذکر است که به منظور ارائه روابط قابل اطمینان، فقط روابطی با سطح معناداری قوی و بسیار قوی که ضرایب تعیین آن‌ها نیز بالاتر از ۰/۵ می‌باشد مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن به صورت نموداری ارائه می‌شود.

۲-۱. **ارتباط بین پارامترهای فیزیکی و سن مصالح سنگی:** ارتباط بین سن زمین‌شناسی مصالح سنگی و دانسیته خشک در شکل ۶ نشان داده شده است. ارتباط میان این دو پارامتر صعودی بوده و افزایش سن تأثیر مستقیم در افزایش دانسیته سنگ‌ها دارد. دلیل این امر می‌تواند به افزایش ضخامت روباره و تأثیر سنگ‌شدگی در کاهش منافذ سنگ و تراکم سنگ‌ها باشد.



شکل ۶ - ارتباط بین سن زمین‌شناسی مصالح سنگی و دانسیته خشک.

ارتباط بین سن زمین‌شناسی مصالح سنگی و درصد جذب آب در شکل ۷-الف نشان داده شده است. با افزایش سن مصالح سنگی از میزان حفرات درون سنگ کاسته شده و به تبع آن میزان جذب آب کاهش می‌یابد. همچنین این شرایط برای پارامتر تخلخل نیز صادق می‌باشد (شکل ۷-ب). همانگونه که قابل مشاهده است روند کاهش منافذ درون سنگ در اثر زمان به صورت تصاعدی می‌باشد و با افزایش سن مصالح سنگی به بیشتر از ۲۰ میلیون سال به یکباره کاهش شدیدی در حجم منافذ و خلل و فرج سنگ رخ می‌دهد. همچنین همانگونه که از نمودار قابل مشاهده است نمونه‌های ماسه‌سنگی بندر شهید کلاتری با سن میوسن دارای منافذ بسیار کمی می‌باشد که این امر از تأثیر کانی‌شناسی سنگ و بافت متفاوت ماسه‌سنگ نسبت به سنگ‌های کربناته ناشی می‌شود.



شکل ۷-الف) ارتباط بین سن زمین‌شناسی مصالح سنگی و جذب آب؛ ب) ارتباط بین سن زمین‌شناسی مصالح سنگی و تخلخل.

۲-۲-۵. **ارتباط بین پارامترهای مکانیکی و سن مصالح سنگی:** با توجه به اینکه مصالح سنگی در طول عمر مفیدشان در موج شکن‌ها تحت تأثیر تنش‌های کششی و فشاری هستند، به منظور تعیین مقاومت کششی و فشاری این مصالح از آزمایش‌های برزیلین و مقاومت فشاری تک محوری استفاده شده است. سن مصالح سنگی یکی از

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق ضمن بررسی و بازدید صحرایی موج‌شکن‌های سواحل جنوبی و شمالی ایران، خصوصیات و پارامترهای سنگ‌شناسی و سازه‌ای مصالح سنگی مورد استفاده در ساخت آنها ارزیابی گردد. همچنین تعیین و ارزیابی ویژگی‌های مهندسی مصالح سنگی بر اساس انجام آزمایش‌های مهندسی جهت کمک به سنجش دوام و مقایسه آنها با نتایج ارزیابی صحرایی از عملکرد واقعی سنگ‌ها، از دیگر اهداف مطالعه حاضر بود. اما مهمترین بخش مطالعات ارزیابی تأثیر سن مصالح سنگی بر نتایج و عملکرد این مصالح می‌باشد. نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها و روابط بین خصوصیات مختلف نمونه‌های مورد مطالعه و تأثیر سن مصالح ارائه گردیده است.

(۱) در ارتباط با خصوصیات فیزیکی سنگ‌ها، با توجه به اینکه چگالی کانی شناسی کوارتز بیشتر از کلیست می‌باشد، دانسیته سنگ‌های کربناته کمتر از ماسه‌سنگ است. جذب آب و تخلخل سنگ آهک کمتر از ماسه سنگ و لوماشل می‌باشد که دلیل این موضوع سن بالا و منافذ کمتر سنگ آهک می‌باشد.

(۲) در ارتباط با خصوصیات مکانیکی سنگ‌ها، مقاومت کششی برزیلی و مقاومت فشاری تک محوری سنگ آهک بیشتر از ماسه‌سنگ و ماسه‌سنگ بیشتر از لوماشل است. مقاومت بار نقطه‌ای ماسه‌سنگ بیشتر از نمونه‌های کربناته است.

(۳) در ارتباط با خصوصیات دوام داری، در تمامی آزمایش‌ها درصد افت وزنی سنگ آهک کمتر از ماسه‌سنگ و ماسه‌سنگ کمتر از لوماشل است.

(۴) روابط همبستگی بین پارامترها از ضرایب تعیین بسیار خوبی برخوردار می‌باشد و بیشتر از ۵۰ درصد روابط ضریب تعیین بالای ۰/۵ دارند. کمترین میزان همبستگی را آزمایش‌های وزن مخصوص، دوام و ارتفگی و سلامت سنگ با سایر پارامترها دارند.

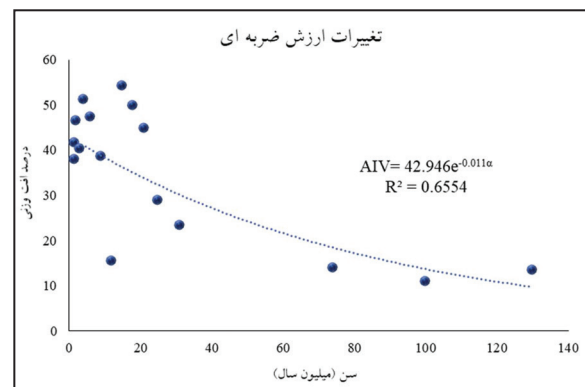
(۵) افزایش سن زمین‌شناسی مصالح سنگی تأثیر مستقیم در افزایش مقادیر پارامترهای دانسیته سنگ، مقاومت فشاری تک محوری و مقاومت کششی برزیلین و کاهش مقادیر پارامترهای همچون جذب آب، تخلخل، افت وزنی و سلامت سنگ دارد.

(۶) تفاوت در کانی‌شناسی مصالح مورد بررسی سبب اختلاف در نتایج و پراکندگی داده‌ها می‌گردد. با توجه به آهکی بودن مصالح بیشتر بنادر و ماسه‌سنگی بودن بندر شهید کلانتری، در نمودارها پراکندگی ناشی از این مسئله قابل مشاهده است.

۷- سپاسگزاری

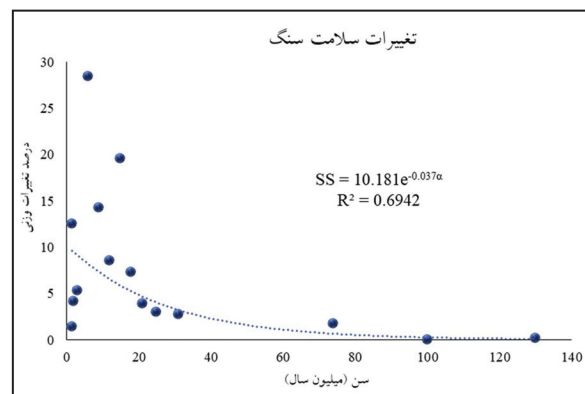
این تحقیق با کمک مالی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی انجام شد که بدینوسیله از آنها تشکر و قدردانی می‌کنیم.

مصالح سنگی با میزان درصد افت وزنی حاصل از آزمایش ارزش ضربه‌ای اشاره نمود و همانند سایر نتایج میزان افت مصالح ماسه‌سنگی با توجه به سن آنها تفاوت قابل ملاحظه‌ای نسبت به مصالح کربناته دارد.



شکل ۱۰- ارتباط بین سن زمین‌شناسی مصالح سنگی و درصد افت وزنی آزمایش ارزش ضربه‌ای.

همانطور که از شکل ۱۱ قابل مشاهده است، سن مصالح سنگی دارای ارتباط معکوس با درصد تغییرات وزنی (افت وزنی) آزمایش سلامت سنگ دارد. این تغییرات در سنگ‌های با سن کمتر دارای تأثیر بسیار بیشتری است و میزان تخریب افزایش می‌یابد. در این آزمایش سنگ‌های کربناته متخلخل تأثیرپذیری بیشتری نسبت به سایر سنگ‌ها دارند.



شکل ۱۱- ارتباط بین سن زمین‌شناسی مصالح سنگی و درصد افت وزنی آزمایش سلامت سنگ.

کتابنگاری

- آقاباتی، س.ع، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- تلخابلو، م.، ۱۳۸۶- ارزیابی ویژگی‌های مهندسی سنگ‌ها و ارائه معیارهای مناسب جهت کاربرد در سازه‌های دریایی- سواحل جنوبی ایران، پایان‌نامه دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- توحیدی، و.، ۱۳۹۰- ارزیابی ویژگی‌های مهندسی مصالح سنگی مصرفی در موج شکن جدید بندر انزلی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- جلالی، ح.، ۱۳۶۹- اهمیت دوام سنگ در پایداری موج شکن‌های سنگریزه‌ای، اولین کنفرانس بین‌المللی بندرسازی و سازه‌های دریایی.
- حسینی، ر.، ۱۳۸۵- ارزیابی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌های زیستی تخریبی (لوماشل) جهت استفاده در سازه‌های سنگی دریایی و ارائه روش بهسازی آنها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- شفیعی‌فر، م.، ۱۳۹۰- راهنمای کاربرد سنگ در موج شکن و سازه‌های حفاظتی، وزارت راه و شهرسازی، پژوهشکده حمل و نقل.
- شکری زیناب، س.، ۱۳۹۴- مطالعه هوازدگی سنگ‌های میانگذر دریاچه ارومیه در اثر آب شور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
- قاسمی قهساره، م.، ۱۳۹۲- تأثیر ویژگی‌های سنگ‌شناسی سنگ‌های کربناته سازنده‌های آسماری و میشان و ماسه سنگ‌های سازند آغاچاری بر روی دوام پذیری آنها جهت استفاده در سازه‌های حفاظتی دریایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- ناصیحی، س.ع، ۱۳۷۶- تعیین معیارهای مناسب برای کاربرد سنگ در احداث سازه‌های دریایی، جنوب شرق ایران (چابهار)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- نیکودل، م.، ۱۳۶۹- مطالعه معیارهای شناخت زوال پذیری سنگ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.

References

- Assen, R.L., 2000- Durability assessment of armour stones along the coast of Cartagena”, Columbia. Memoirs of the Centre of Engineering Geology in the Netherlands, Vol. 191. Delft, 84 pp.
- ASTM (American society for testing and materials), 1996- Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine1, C 535-96.
- ASTM (American society for testing and materials), 1998- Standard test method of Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks, D 4644-87.
- ASTM (American society for testing and materials), 1999- Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate, C 88-99a.
- ASTM (American society for testing and materials), 2001- Standard test method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens, Designation D 3967-95a.
- ASTM (American society for testing and materials), 2001- Standard test method for determination of the point load strength index of rock, Designation D 5731-95.
- ASTM (American society for testing and materials), 2002- Standard test method of unconfined compressive strength of intact rock core specimens, D 2938-95.
- British standard Institution, 1989- Code of Practice for Determination of Aggregate Impact value, BS 812.
- Depuy, G. W., 1965 - Petrographic investigations of rock durability and comparisons of various test procedures, Bulletin of the American Association of Engineering Geologists, Vol.2, pp. 31-46.
- Duncan, N., 1969- Engineering Geology and rock mechanics’, London, Leonard Hill, Vol. 1
- Fookes, P. G. and Poole, A., 1981- Some preliminary considerations on the selection and durability of rock and concrete materials for breakwaters and coastal protection”, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Vol.14, pp.97–128. <https://doi.org/10.1144/GSL.QJEG.1981.014.02.03>.
- Fookes, P. G. Gourdly, C. S. and Ohikere, C., 1988- Rock weathering in engineering time, Quaterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Vol. 21, pp 33-57. <https://doi.org/10.1144/GSL.QJEG.1988.021.01.03>.
- Hoshino, K., 1967- Mechanical Properties of Some Japanese Sedimentary Rocks under Confining Pressure (1), Journal of the Japan Society of Engineering Geology, Volume 8, Issue 3, Pages 151-164. <https://doi.org/10.5110/jjseg.8.151>.
- Hosking, J. R. and Tubey, L.W., 1969- Research on low grade and unsound aggregates. RRI Report LR 293. Road Research Laboratory, Ministry of Transport, Crow Thorne, UK.
- Kanji, M. A., 2014- Critical issues in soft rocks, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, Volume 6, Issue 3, pp: 186-195. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrmge.2014.04.002>.
- Koide, H., Hoshino, K., Endo, G. & Kitaoka, M., 1979- Effect of Geological Compaction on the Deformation of Sedimentary Rocks. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering. 4th ISRM Congress, 2-8 September, Montreux, Switzerland.
- Latham J. P. and Poole, A. B., 1988- Assessing the effect of armourestone shape & wear, Coastal Engineering, Vol.2, pp. 2299-2312. <https://doi.org/10.1061/9780872626874.171>.
- Latham, J. P., 1991- Degradation model for rock armour in coastal engineering, Quaterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, London, Vol.24, pp. 101-118. DOI: 10.1144/GSL.QJEG.1991.024.01.11.
- Latham, J. P., Lienhart, D. A. and Dupray, S., 2006c-Rock quality, durability and service life prediction of armourestone, Engineering Geology, Vol. 87, pp.122–140. doi:10.1016/j.enggeo.2006.06.004.
- Mather, R. P., 1985- Rock for breakwater construction in Western Australia: its availability and influence on design, Engineering Geology, Vol.22, pp. 35-44. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(85\)90036-5](https://doi.org/10.1016/0013-7952(85)90036-5).
- Okamoto, R., Kojima, K. and Yoshiaka, R., 1981- Distribution and Engineering Properties of Weak Rocks in Japan. Proc International Symposium on Weak Rock, V5, P89-103.
- Tomasicchio, G. R., Lamberti, A. and Archetti, R., 2003- Armor stone abrasion due to displacements in sea storms, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol.129, pp. 229-242. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(2003\)129:5\(229\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(2003)129:5(229)).
- Topal, T. and Acir, O., 2002- Quality assessment of the armourestone for a rubble mound breakwater (Sinop, Turkey), Environmental Geology, Vol.46, pp.905 – 913. DOI: 10.1007/s00254-004-1102-4.
- Tugrul, A. and Zarif, I. H., 1999- Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey, Engineering Geology, Vol.51, pp.1-23. Doi: 10.1016/s0013-7952(98)00071-4.
- Wood, D. and Shaw, N., 2012- The Correlation of Unconfined Compressive Strength with Dry Density and Grainsize for Different Aged Sedimentary Rock. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering. ISRM International Symposium - EUROCK 2012, 28-30 May, Stockholm, Sweden.
- Yagiz, S., 2011- Correlation between slake durability and rock properties for some carbonate rocks, Bull Eng Geol Environ, 70:377–383. DOI 10.1007/s10064-010-0317-8.

Evaluation of Relation between Sedimentary Rocks Age and Durability of Them in Deteriorate Environments

I. Rahmani^{1*}, E. Sadeghi² and M. R. Nikudel³

¹Assistant Professor, Geotechnical Eng. Department, Road, Housing and Urban Development Research Center (BHRC), Tehran, Iran

²Research Expert, Geotechnical Eng. Department, Road, Housing and Urban Development Research Center (BHRC), Tehran, Iran

³Associated Professor, Department of Engineering Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2019 May 07

Accepted: 2020 August 10

Abstract

Sedimentary rocks are the most common rocks exposed on the Earth's surface and most of the civil structures are located on them, so the identification of these rocks have great importance. This recognition is more important in destructive environments such as beaches. One of the most important factor on the engineering parameter results is the age of sedimentary rocks. In this study, beside the evaluation and field study of breakwaters in the southern and northern coasts of Iran, lithological and structural characteristics of materials were studied. Also, the purpose of this study was to determine and evaluate the engineering properties of stone materials based on engineering experiments to help evaluate durability and compare them with the results of field evaluation of actual rock performance. But the most important part of studies is to evaluate the effect of rock ages on the results and performance of these materials. The results show that materials with a siliceous composition such as sandstone compared to carbonate materials are the same in geological age. Also, increasing the age of rock materials (from Pleistocene to Cretaceous) causes an increase in rock density (from 1.59 to 2.45 g/cm³), reduced porosity (from 44.7 to 0.41%) and water absorption (from 29.6 to 0.21%), increase in strength parameters including increase in uniaxial compressive strength (from 5 to 111.19 MPa), increase in point load test (from 1.2 to 5.12 MPa) and increase in tensile strength (from 0.10 to 16.56 MPa) and decrease in durability due to abrasion, impact and chemical processes, including decrease in impact value (from 54.30 to 10.94%), increase in slake durability index (from 82.10 to 99.44%), a decrease in soundness (from 28.50 to 0.038 %) and a decrease in Los Angeles abrasion test (from 71.57 to 22.67%).

Keywords: Breakwater, Geological age, Rock durability, Physical test, Mechanical test, Durability test .

For Persian Version see pages 187 to 198

*Corresponding author: I. Rahmani; E-mail: I.Rahmani@bhrc.ac.ir