

بررسی تاثیر تعداد و زمان سیکل‌ها بر روی رفتار دوام‌پذیری ماسه سنگ‌های سازند آغاچاری در جنوب استان خوزستان

محمدحسین قبادی^۱، مجتبی حیدری^۱، بهروز رفیعی^۱، ساجدالدین موسوی^{۲*}

۱- اعضای هیات علمی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲- دانشجوی دکتری زمین شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

sajed_ms@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق به منظور مطالعه رفتار دوام‌پذیری ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری، ۱۲ نمونه ماسه سنگ از جنوب استان خوزستان انتخاب گردید. ویژگی‌های سنگ شناسی و خصوصیات فیزیکی آنها تعیین شدند. همچنین، با هدف شناخت رفتار دوام‌پذیری این سنگ‌ها در درازمدت، آزمایش دوام‌وارفتگی در ۱۵ سیکل و چهار سیکل زمانی ۱۰، ۲۵، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه انجام شد. نتایج این پژوهش مبین آن است که دوام‌پذیری ماسه سنگ‌های مورد آزمایش با خصوصیات فیزیکی و سنگ شناسی آنها در ارتباط است. به طوری که نمونه‌هایی که از سیمان شدگی بیش تر و تخلخل کمتر برخوردار هستند، شاخص دوام‌وارفتگی بزرگ تر دارند. همچنین، با افزایش تعداد سیکل‌های تر و خشک شدگی شاخص دوام‌وارفتگی در نمونه‌های ماسه سنگی ضعیف به شدت کاهش می‌یابد. نتایج آنالیزهای رگرسیونی نیز نشان داد که با افزایش زمان هر سیکل، شاخص دوام‌وارفتگی این سنگ‌ها با پیروی از توابع خطی، نمایی، لگاریتمی و توانی کاهش می‌یابند. بنابراین، به منظور ارزیابی و مدل‌سازی رفتار دوام‌پذیری سنگ‌ها در درازمدت، انجام آزمایش دوام‌وارفتگی با زمان‌های مختلف و در بیش از دو سیکل، می‌تواند مفید باشند. همچنین، با توجه به زمان کم مورد نیاز جهت انجام آزمایش دوام‌وارفتگی با زمان‌های مختلف، این روش می‌تواند در الویت قرار گیرد.

کلمات کلیدی: دوام‌وارفتگی، ماسه سنگ، سازند آغاچاری، تعداد سیکل، زمان سیکل.

۱- مقدمه

دوام سنگ‌ها به خصوص ماسه‌سنگ‌های ضعیف معرف میزان پایداری آنها در برابر تخریب ناشی از فرآیندهای هوازدگی فیزیکی و شیمیایی است. این عامل در طراحی روش آب بندی محل سدهای مخزنی، ارزیابی پایداری شیب‌های سنگی و دیواره چاه‌های نفت و نیز آگاهی از میزان تخریب‌پذیری مصالح مورد استفاده در موج شکن‌ها، ساختمان‌ها و بناهای تاریخی نقش مهمی به عهده دارد (موسوی، س. و همکاران، ۱۳۸۴؛ Ghobadi, M.H. and Mousavi, S., 2012). دوام این سنگ‌ها تحت تاثیر ترکیب کانی شناسی، نوع بافت، نوع و درصد سیمان، تخلخل، توزیع اندازه ذرات، نفوذپذیری و حضور ناپیوستگی‌ها می‌باشد (Bell, F.G., 2000).

دوام سنگ‌ها را می‌توان با استفاده از آزمایش دوام‌وارفتگی با دو سیکل تر و خشک شدگی تعیین نمود. با این وجود، زمان استغراق ۱۰ دقیقه در هر سیکل این آزمایش، برای اشباع و ارزیابی تاثیر آب بر روی رفتار بسیاری از سنگ‌ها کافی نمی‌باشد (Ergule, Z.A. and Ulusay, R., 2009). به منظور برطرف نمودن این مشکل، محققان بسیاری این آزمایش را در بیش از دو سیکل یا با زمان‌های بیش از ۱۰ دقیقه انجام داده‌اند. در سال ۱۹۸۸ آزمایش دوام‌وارفتگی در سه سیکل پیشنهاد گردید (Taylor, R.K., 1988). نتایج این تحقیق نشان داد که آزمایش دوام‌وارفتگی در سه سیکل با رفتار طبیعی سنگ‌ها در برابر هوازدگی انطباق

بیش تری دارد. هم چنین، انجام آزمایش دوام وارفتگی در چهار سیکل بر روی سنگ های ضعیف و سنگ های رسی ترکیه گزارش گردید (Gokceoglu, C., et al., 2000). در سال ۲۰۰۲ نیز این آزمایش در ۱۰ سیکل بر روی سنگ های رسوبی و پیروکلاستیک ژاپن انجام شد (Dhakal, G., et al., 2002). هم چنین، نتایج آزمایش دوام وارفتگی در ۱۵ سیکل بر روی دو نمونه ماسه سنگ آغاچاری نشان داد که با افزایش تعداد سیکل های تر و خشک شدگی، شاخص دوام این سنگ ها به شدت کاهش می یابد. (Ghobadi, M.H. and Mousavi, S., 2012). از سوی دیگر، این آزمایش با زمان های بیش از ۱۰ دقیقه نیز انجام شده است. (Hopkins, T.C. and Deen, R.C., 1984؛ Bryson, L.S., et al. 2012). بنابراین، نتایج این پژوهش ها نشان می دهند که آزمایش دوام وارفتگی در دو سیکل قادر به ارزیابی مناسب رفتار سنگ ها در برابر هوازگی نمی باشند.

ماسه سنگ های سازند آغاچاری در بخش های زیادی از جنوب استان خوزستان رخنمون دارند. این سنگ ها پی سنگ برخی از سازه ها بوده و به عنوان مصالح ساختمانی بطور گسترده مورد استفاده قرار می گیرند. با این وجود، این سنگ ها به دلیل تحمل دیناز کم و سیمان شدگی پایین، مقاومت کمی در برابر فرآیندهای هوازگی دارند. به همین دلیل در این تحقیق سعی شده است با استفاده از آزمایش دوام وارفتگی، رفتار این سنگ ها در برابر فرآیندهای هوازگی شبیه سازی شود.

۲- مواد و روش ها

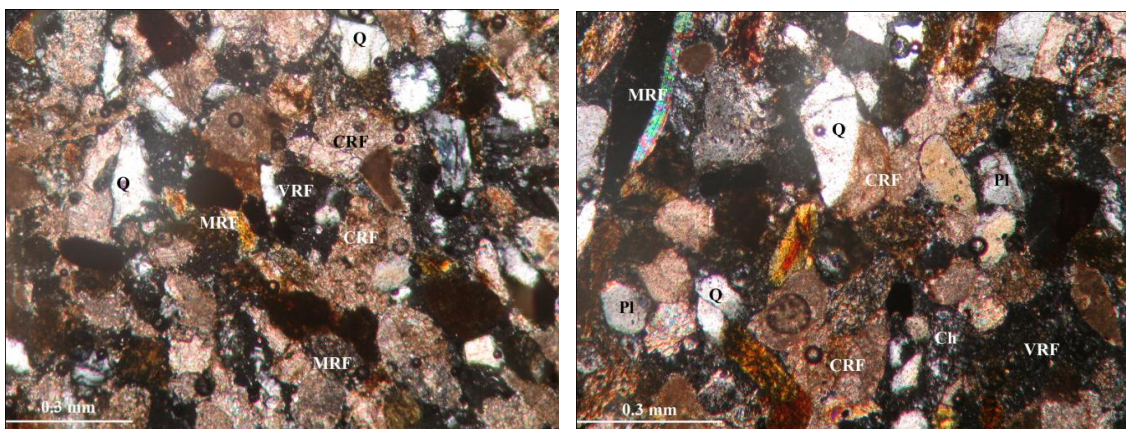
به منظور انجام این تحقیق ماسه سنگ های غیرهوازده از ۱۲ محل در جنوب استان خوزستان جمع آوری شده است (شکل ۱). در مرحله نخست، ویژگی های سنگ شناسی نمونه ها با تهیه مقاطع نازک از آنها در زیر میکروسکوپ پلاریزان مطالعه شد. هم چنین، خصوصیات فیزیکی و دوام وارفتگی این ماسه سنگ ها تعیین گردید.



شکل ۱ - موقعیت محل های نمونه برداری (■) از ماسه سنگ های آغاچاری (نقشه برگرفته از سایت www.ostan-khuz.ir).

۱-۲- ویژگی های سنگ شناسی

نتایج بررسی مقاطع نازک ماسه سنگ های آغاچاری نشان داد که از خرده سنگ های کربناته (۷۶%-۵۱)، خرده سنگ های آتشفشانی (۳۳%-۰)، خرده سنگ های دگرگونی (۱۷%-۰)، کوارتز (۱۶%-۲)، چرت (۱۰%-۱)، کانی های تیره (۱۰%-۱) و فلدسپات- (۹%-۰) تشکیل شده اند (شکل ۲). اجزا فرعی نظیر میکا، خرده سنگ های گلی و ژپس نیز در برخی از نمونه ها قابل مشاهده است. تمام ماسه سنگ های یاد شده به استثنا ماسه سنگ سه راه تپه اهواز (ولک آرنایت)، از نوع کالک لیتارنایت می باشند (Folk, R.L., 1974). نمونه های مشرحات، سه راه تپه، حصیرآباد، حمیدیه، سوسنگرد و ام الدبس دانه تکیه گاهی و فاقد سیمان می باشند. سایر نمونه ها به استثنا نمونه رگ سفید (ژپس)، دارای سیمان از نوع کلسیتی هستند. دانه های تشکیل دهنده این ماسه سنگ ها نیمه گرد شده تا زویه دار بوده و از جورشدگی متوسط تا بد برخوردار می باشند.



ب

الف

شکل ۲- نمونه هایی از مقاطع نازک ماسه سنگ های آغاچاری. الف) نمونه سه راه تپه اهواز و ب) نمونه ام الدبس. در این شکل ها CRF: خرده سنگ کربناته، VRF: خرده سنگ آتشفشانی، MRF: خرده سنگ دگرگونی، Q: کوارتز و Ch: چرت می باشند.

۲-۲- خصوصیات فیزیکی

خصوصیات فیزیکی ماسه سنگ ها نظیر دانسیته خشک، دانسیته اشباع، جذب آب، تخلخل و چگالی ویژه مطابق استاندارد ISRM تعیین شده اند (Brown, E.T., 1981). جدول (۱) نتایج خصوصیات فیزیکی ماسه سنگ های مورد بررسی را نشان می دهد. دانسیته خشک و اشباع این سنگ ها به ترتیب بین ۱/۷۳ تا ۲/۴۱ و ۱/۹۸ تا ۲/۴۶ گرم بر سانتی متر مکعب متغیر است. هم چنین، نمونه های OD و AJ-1 به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار درصد تخلخل و جذب آب را به خود اختصاص داده اند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی ماسه سنگ‌های سازند آغاچاری در استان خوزستان.

نام نمونه	نشانه	درصد تخلخل	درصد جذب آب	دانشیته ذرات جامد	دانشیته خشک (g/cm ³)	دانشیته اشباع (g/cm ³)
رگ سفید	RG	۱۸/۳۵	۶/۵	۲/۷۲	۲/۲۲	۲/۴
پازنان-۱	PZ-1	۵/۷۴	۰/۸۶	۲/۴۸	۲/۳۳	۲/۳۹
پازنان-۲	PZ-2	۱۲/۵۱	۳/۹۸	۲/۵۱	۲/۲	۲/۳۲
آغاچاری-۱	AJ-1	۵/۰۵	۰/۷۹	۲/۵۴	۲/۴۱	۲/۴۶
آغاچاری-۲	AJ-2	۱۴/۰۵	۵/۷۷	۲/۴۶	۲/۱۱	۲/۲۶
مشرحات	MSH	۱۴/۹۴	۶/۱۴	۲/۴۴	۲/۰۸	۲/۲۳
کریک کمپ	CR	۲۳/۶۶	۱۱/۶۵	۲/۳۸	۱/۸۲	۲/۰۶
سه راه تپه	TP	۲۳/۱۷	۱۲/۴۸	۲/۴۲	۱/۸۶	۲/۰۹
حصیرآباد	HSA	۱۹/۸۲	۹/۱	۲/۳۹	۱/۹۲	۲/۱۱
حمیدیه	HA	۲۴/۸۹	۱۳/۷۳	۲/۴۱	۱/۸۱	۲/۰۶
سوسنگرد	SG	۲۴/۲۲	۱۳/۴۸	۲/۳۷	۱/۸	۲/۰۴
ام الدبس	OD	۲۵/۲۷	۱۴/۵۸	۲/۳۲	۱/۷۳	۱/۹۸

۲-۳- دوام وارفتگی

به منظور بررسی اثر تعداد و زمان سیکل‌ها بر روی دوام وارفتگی ماسه سنگ‌های مورد مطالعه، دو گروه کلوخه سنگی مختلف از هر نوع سنگ تهیه شد. کلوخه‌های گروه اول، با هدف ارزیابی اثر تعداد سیکل‌ها در ۱۵ سیکل تر و خشک شدگی مورد آزمایش قرار گرفته‌اند (جدول ۲). اما کلوخه‌های گروه دوم به منظور آگاهی از میزان حساسیت نمونه‌ها به آب، در چهار سیکل با زمان‌های ۱۰، ۲۵، ۶۰ و ۱۲۰ ارزیابی شده‌اند (جدول ۳). به‌طور کلی، آزمایش شاخص دوام وارفتگی به استثنای تعداد و زمان سیکل‌ها، براساس استاندارد ISRM انجام شده است (Brown, E.T., 1981).

جدول ۲- نتایج آزمایش دوام رفتگی در ۱۵ سیکل بر روی ماسه سنگ‌های مورد آزمایش.

نام نمونه	Id ₁ (%)	Id ₂ (%)	Id ₃ (%)	Id ₄ (%)	Id ₅ (%)	Id ₆ (%)	Id ₇ (%)	Id ₈ (%)	Id ₉ (%)	Id ₁₀ (%)	Id ₁₁ (%)	Id ₁₂ (%)	Id ₁₃ (%)	Id ₁₄ (%)	Id ₁₅ (%)
رگ سفید	۹۳/۲۵	۷۱/۳۴	۶۱/۰۶	۲۹/۸۵	۱۳/۹۱	۴	۰/۵۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
پازنان-۱	۹۹/۷۴	۹۹/۵۸	۹۹/۳۹	۹۹/۲۱	۹۹/۰۵	۹۹/۹۳	۹۸/۷۷	۹۸/۶۱	۹۸/۵۱	۹۸/۳۲	۹۸/۱۸	۹۸/۰۶	۹۷/۹۲	۹۷/۸	۹۷/۷
پازنان-۲	۹۹/۰۱	۹۸/۳۱	۹۷/۵۳	۹۶/۷۲	۹۶/۱۲	۹۵/۴۵	۹۴/۶۹	۹۳/۹۴	۹۳/۳	۹۲/۶	۹۱/۳۱	۹۱/۲۳	۹۰/۴۹	۸۹/۷۶	۸۹/۰۸
آغاچاری-۱	۹۹/۷۶	۹۹/۵۶	۹۹/۳۳	۹۹/۱۳	۹۹/۹۳	۹۸/۷۴	۹۸/۵۸	۹۸/۴۲	۹۸/۳۳	۹۸/۰۷	۹۷/۹۱	۹۷/۷۸	۹۷/۶	۹۷/۴۳	۹۷/۲۷
آغاچاری-۲	۹۸/۴۹	۹۷/۱۸	۹۵/۸۸	۹۴/۵۷	۹۳/۲۷	۹۲/۱۷	۹۱/۱۱	۹۰/۰۹	۸۹/۱۱	۸۸/۰۵	۸۷/۱	۸۶/۲۹	۸۵/۱	۸۴/۱۳	۸۲/۹۸
مشرحات	۹۷/۷۱	۹۶/۰۱	۹۴/۳۴	۹۲/۹۶	۹۱/۶۷	۹۰/۴۹	۸۹/۲۶	۸۸/۲۶	۸۷/۳۰	۸۶/۳۲	۸۵/۱۴	۸۴/۱۹	۸۳/۲۱	۸۲/۳۲	۸۱/۶۳
کریک کمپ	۹۱/۴۹	۸۴/۴۱	۷۷/۲۸	۷۰/۹۱	۶۵/۱۴	۵۹/۵۳	۵۵/۳۶	۵۰/۸۹	۴۷/۴۹	۴۴/۴۸	۴۱/۶۵	۳۸/۸۵	۳۶/۵۹	۳۴/۸۲	۳۳/۱۴
سه راه تپه	۷۱/۶۳	۵۴/۹۷	۴۵/۸۶	۴۰/۸۹	۳۶/۲۴	۳۱/۷۲	۲۷/۴۳	۲۴/۳۵	۲۲/۷۵	۲۱/۳۸	۲۰/۳۵	۱۹/۳۶	۱۸/۲۵	۱۷/۴۲	۱۶/۶۶
حصیرآباد	۹۴/۹۶	۸۹/۶۵	۸۴/۱۵	۷۹	۷۳/۶۴	۶۹/۱۳	۶۴/۵۷	۵۹/۸۳	۵۵/۷۶	۵۱/۷۶	۴۸/۱۲	۴۴/۷۹	۴۱/۳۱	۳۸/۵۳	۳۵/۹۱
حمیدیه	۸۴/۴۹	۶۸/۷۲	۵۶/۷۴	۴۸/۱۹	۴۱/۶۲	۳۶/۹۴	۳۳/۴۱	۳۰/۰۱	۲۷/۴۷	۲۵/۰۷	۲۳/۳۵	۲۱/۶۵	۲۰/۰۳	۱۸/۷	۱۷/۶۶
سوسنگرد	۳۴/۳۱	۲۴/۴	۱۷/۰۳	۱۴/۰۹	۱۲/۵۶	۱۰/۸۴	۹/۵۲	۷/۹۹	۶/۷۶	۵/۰۷	۴/۹۲	۱/۶۴	۱/۲۷	۱/۱۳	۰/۴۴
ام الدبس	۱۳/۵۴	۸/۹۶	۸/۷۶	۸/۵۹	۸/۳۹	۸/۲۸	۸/۱۲	۷/۷۸	۷/۳۲	۶/۷۶	۵/۷۵	۵/۱۷	۴/۸۹	۴/۷۱	۴/۵۱

جدول ۳- نتایج آزمایش دوام رفتگی در چهار سیکل با زمان های مختلف پروری ماسه سنگ های آغا جاری.

نام نمونه	رنگ سفید	۱-پازتازن	۲-پازتازن	۱-آغا جاری	۲-آغا جاری	ششحات	کربت کمپ	بند راه پی	حصیر آلود	حصیدیه	سوسنگود	ام الدبس
Id _{10min} (%)	۸۰/۲۱	۹۹/۶۵	۹۹/۰۱	۹۹/۷۳	۹۸/۴۵	۹۶/۶۵	۹۰/۸۰	۶۲/۳۵	۹۵/۱۱	۸۳/۵۷	۳۰/۸۰	۳۷/۵۷
Id _{25 min} (%)	۲۴/۷۶	۹۹/۲۵	۹۶/۸۴	۹۹/۲۰	۹۵/۴۷	۹۲/۳۲	۷۱/۹۶	۳۷/۵۸	۸۲/۷۸	۵۷/۵۱	۱۱/۵۹	۲۹/۰۳
Id _{60min} (%)	۷/۴۸	۹۸/۲۶	۹۲/۱۶	۹۸/۰۰	۸۹/۴۵	۸۴/۱۶	۴۵/۰۸	۲۰/۰۲	۵۵/۴۴	۲۹/۷۳	۲/۷۸	۲۱/۸۱
Id _{120min} (%)	۲/۴۴	۹۶/۶۷	۸۳/۹۲	۹۵/۹۴	۷۸/۸۱	۷۱/۸۳	۲۴/۱۱	۹/۸۴	۲۷/۲۸	۱۲/۴۲	۰	۱۶/۸۸

۳- نتایج و بحث

نتایج آزمایش های دوام وارفتگی ماسه سنگ های مورد مطالعه در ۱۵ سیکل، در جدول (۳) ارایه شده اند. بر این اساس، شاخص دوام وارفتگی در سیکل دوم برای ماسه سنگ های آغا جاری از ۸/۹۶ تا ۹۹/۵۸ درصد متغیر است که در رده خیلی کم تا خیلی زیاد قرار می گیرند (Johnson, R.B. and DeGraff, J.V., 1988). مطابق این جدول، نمونه های AJ-1 و OD به ترتیب بیش ترین و کم ترین مقدار شاخص دوام وارفتگی در سیکل دوم را به خود اختصاص داده اند. این موضوع ناشی از تخلخل بیش تر ماسه سنگ ام الدبس نسبت به دیگر ماسه سنگ ها می باشد. بدین معنا که با افزایش تخلخل، آب بیش تری می تواند به درون سنگ نفوذ کند و در نتیجه فرآیند انحلال خرده سنگ های آهکی موجود در ماسه سنگ افزایش می یابد. این پدیده که با کاهش دانسیته ماسه سنگ ها همراه است، به کاهش دوام سنگ منجر می شود (Ghobadi, M.H. and Mousavi, S., 2012).

با افزایش تعداد سیکل های تر و خشک شدگی رفتار دوام پذیری ماسه سنگ های مورد مطالعه تغییر می کند. به طوری که نمونه رگ سفید در سیکل هشتم کاملاً تخریب گردید (جدول ۲ و شکل ۳). تخریب این ماسه سنگ ناشی از وجود سیمان ژئوسی در ترکیب آن می باشد. در طی مرحله خشک شدن نمونه ها در آون (در دمای ۱۰۵ °C) ژئوس به ایندیریت تبدیل می شود، اما مجدداً در مرحله ترشدگی ایندیریت به ژئوس تبدیل شده که افزایش حجم کلی سنگ را در پی دارد (Ford, D. C. and Williams, P., 1989). این افزایش حجم دانه های سنگ را تحت تنش قرار داده، که نتیجه آن جدایش ذرات سنگ از یکدیگر و تخریب سنگ می باشد.

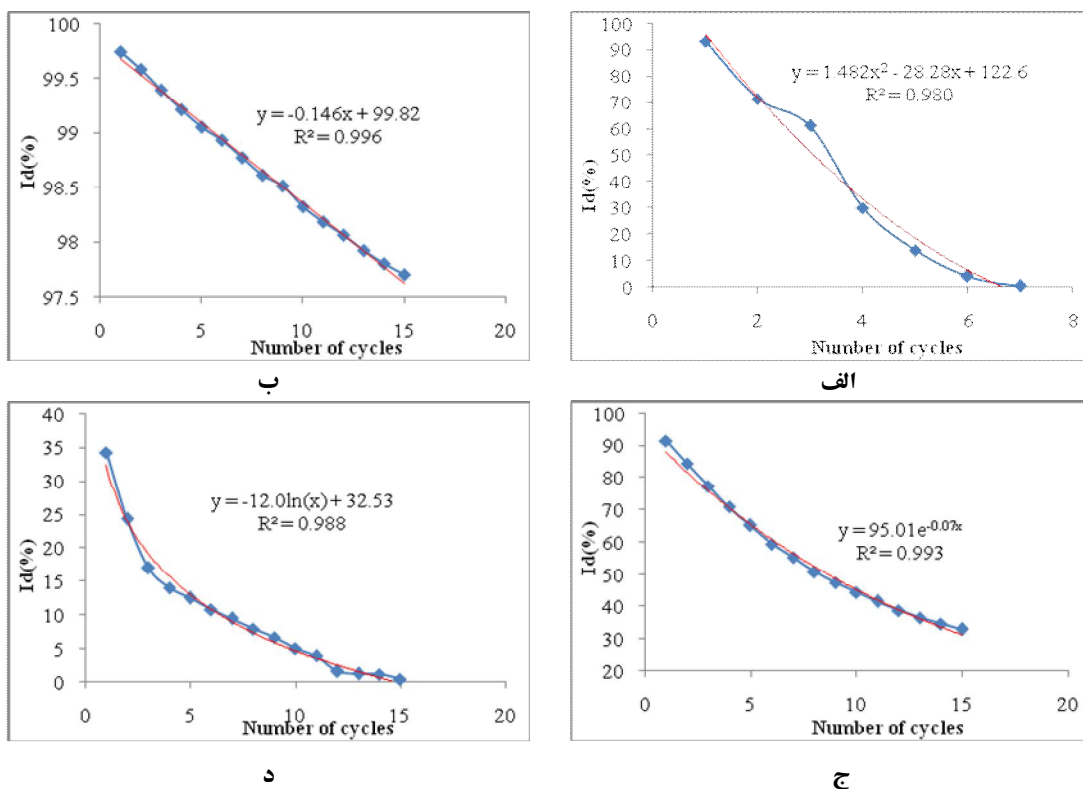


ب

الف

شکل ۳- نمونه هایی از کلوخه های سنگی قبل و بعد از آزمایش دوام وارفتگی. الف) ماسه سنگ PZ-1 و ب) نمونه RG.

هم چنین، اگرچه بعد از سیکل دوم نمونه AJ-1 بیشترین شاخص دوام وارفنگی را داشته است، اما پس از 15 سیکل تر و خشک شدن نمونه PZ-1 بیشترین شاخص دوام وارفنگی را به خود اختصاص می دهد (شکل 3 و جدول 2). نتایج آزمایش دوام وارفنگی در 15 سیکل بر روی ماسه سنگ های آغاچاری مبین آن است که شاخص دوام وارفنگی با تبعیت از توابع درجه دوم- (نمونه RG)، خطی (PZ-1، PZ-2، AJ-1، AJ-2، MSH و CR)، نمایی (HSA و CR) و لگاریتمی (سایر نمونه ها) کاهش می یابد (شکل 4).



شکل 4- نمودار رابطه بین شاخص دوام و تعداد سیکل های تر و خشک شدگی. الف) نمونه رگ سفید ب) نمونه پازنان-1 ج) نمونه کريت کمپ د) نمونه سوستگرد.

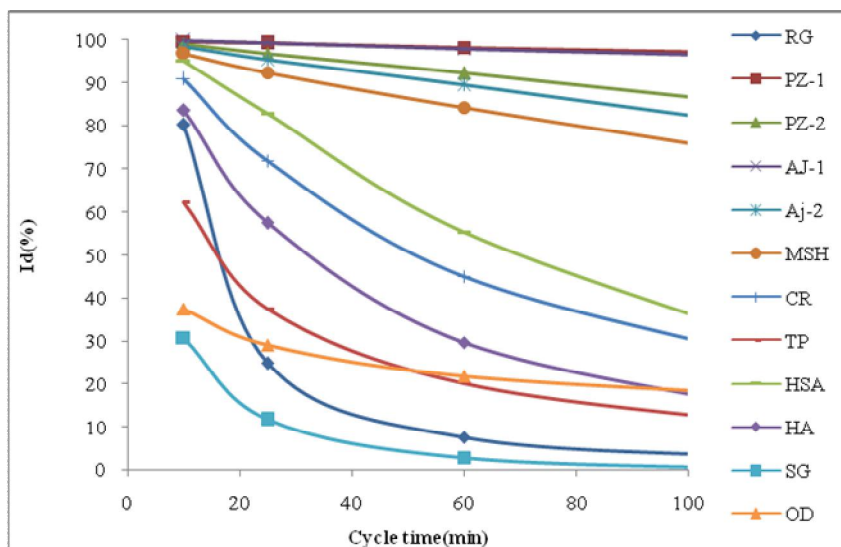
این امر به دلیل آن است که وقتی سیکل های تر و خشک شدگی افزایش می یابند، تضعیف پیوندهای بین دانه ای و در نتیجه تخریب سنگ راحت تر صورت می گیرد. بنابراین، مجموعه ای از سیکل های مکرر خشک و ترشدگی به افزایش تخریب کانی های کربناته کمک می کند (Gockeoglu, C., et al., 2000).

از سوی دیگر، با افزایش زمان اشباع نمونه های ماسه سنگی، شاخص دوام وارفنگی آنها کاهش می یابد (جدول 3). در چنین شرایطی نمونه OD در طی سیکل چهارم کاملاً تخریب شد، اما نمونه PZ-1 بیشترین مقاومت را از خود نشان داده است (شکل 5). زیرا که افزایش زمان اشباع نمونه، انحلال بیش تر خرده سنگ های کربناته و نیز سیمان کلسیتی و ژپسی را به همراه دارد. این فرآیند منجر به کاهش اتصال بین ذرات تشکیل دهنده سنگ شده، که افت دوام و تخریب سنگ را در پی خواهد داشت. براساس آنالیزهای رگرسیونی انجام شده ارتباط بین شاخص دوام وارفنگی و سیکل های زمانی برای ماسه سنگ های آغاچاری به صورت

توابع توانی (نمونه‌های RG و TP)، نمایی (نمونه‌های SG، OD و HA)، لگاریتمی (نمونه‌های HSA و CR) و خطی (سایر نمونه‌ها) می‌باشد (شکل ۶).



شکل ۵ - نمونه‌هایی از کلوخه‌های سنگی قبل و بعد از آزمایش دوام وارفتگی با زمان‌های مختلف. الف) ماسه سنگ PZ-1 و ب) - نمونه SG.



شکل ۶ - نمودار رابطه بین شاخص دوام وارفتگی با سیکل‌های زمان برای ماسه سنگ‌های مورد مطالعه.

۴- نتیجه گیری

دوام وارفتگی از ویژگی‌های مهم زمین شناسی مهندسی ماسه سنگ‌های ضعیف و دارای سیمان شدگی کم می‌باشد. این نوع سنگ‌ها می‌توانند مشکلاتی را برای سازه‌هایی که بر روی این سنگ‌ها بنا شده یا از آنها ساخته شده، ایجاد نمایند. در این تحقیق دوام ماسه سنگ‌های سازند آغاچاری در جنوب استان خوزستان با در نظر گرفتن افزایش تعداد و زمان سیکل‌ها مورد مطالعه قرار

گرفته است. ماسه سنگ‌های مورد مطالعه درصدهای کانی و سیمان متفاوتی دارند. به طوری که این ماسه سنگ‌ها به انواع کالک لیتارنایت و ولک آرنایت تقسیم می‌گردند. نتایج آزمایش‌های دوام وارفنگی در سیکل دوم نمایان‌گر آن است که ماسه سنگ‌های مورد مطالعه دوام خیلی کم تا خیلی زیاد دارند. هم‌چنین، تفاوت در ترکیب کانی شناسی و خصوصیات فیزیکی این ماسه سنگ‌ها، به بروز رفتار دوام پذیری متفاوت در آنها منجر شده است. به طوری که نمونه‌های ماسه سنگی که از سیمان شدگی کمتر و درصد تخلخل بالاتری برخوردار هستند، دوام کم‌تری را نشان می‌دهند. نتایج آنالیزهای رگرسیونی نشان داد که با افزایش تعداد سیکل‌ها شاخص دوام وارفنگی با پیروی از توابع درجه دوم، خطی، نمایی و لگاریتمی کاهش می‌یابد. در چنین شرایطی نمونه‌هایی که در سیکل دوم در برابر هوازدهی مقاوم ارزیابی شدند، پس از سیکل هفتم کاملاً تخریب شده‌اند. هم‌چنین، نتایج آزمایش‌های دوام وارفنگی در سیکل‌های با زمان‌های مختلف مبین آن است که شاخص دوام با تبعیت از روابط خطی، نمایی، لگاریتمی و توانی کاهش می‌یابد. از این رو با توجه به نتایج بدست آمده، انجام آزمایش دوام وارفنگی با زمان‌های مختلف و در بیش از دو سیکل، می‌تواند رفتار دوام پذیری سنگ‌ها را بهتر شبیه‌سازی نمایند.

منابع

موسوی س.، قبادی م.ج.، حیدری م.، (۱۳۸۴). "ارزیابی عوامل موثر بر دوام و شکستگی مارن‌های ساختمانی سد خیرآباد در استان خوزستان"، بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین.

- Bell, F.G. (2000). "Engineering properties of soils and rocks", Academic Division of Unwin Hyman Ltd.
- Brown E.T. (1981). "Rock characterization testing & monitoring ISRM suggested methods", Pergamon Press.
- Bryson, L.S., Gomez-Gutierrez, I.C. and Hopkins, T.C. (2012). "Development of a new durability index for compacted shale", *Engineering Geology*, Vol. 139-140, pp. 66-75.
- Dhakal G., Yoneda T., Kato M., Kaneko K. (2002). "Slake durability and mineralogical properties of some pyroclastic and sedimentary rocks", *Engineering Geology*, Vol. 65, pp. 31-45.
- Erguler, Z.A. and Ulusay, R. (2009). "Assessment of physical disintegration characteristics of clay-bearing rocks: disintegration index test and a new durability classification chart", *Engineering Geology*, Vol. 105, pp. 11-19.
- Folk R.L. (1974). "Petrology of Sedimentary Rocks", Hemphill Publ. Comp., Austin.
- Ford, D. C. and Williams, P. W. (1989). "Karst geomorphology and hydrology", Unwin Hyman.
- Ghobadi, M.H. and Mousavi, S. (2012). "The effect of pH and salty solutions on durability of sandstones of the Aghajari Formation in Khouzestan province, southwest of Iran", *Arabian journal of geosciences*, doi: 10.1007/s12517-012-0741-0.
- Gokceoglu C., Ulusay R., Sonmez H. (2000). "Factor affecting the durability of selected weak and clay bearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles", *Engineering Geology*, Vol. 57, pp. 215-237.
- Hopkins, T.C., Deen, R.C. (1984). "Identification of Shales", *ASTM Geotechnical Testing Journal*, Vol. 7 (1), pp. 10-18.
- Johnson R.B., DeGraff J.V. (1988). "Principles of engineering geology", Wiley, New York.
- Taylor, R.K. (1988). "Coal Measures mudrocks: composition, classification and weathering processes", *Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrogeology*, Vol. 21, pp. 85-99.