

ارزیابی رفتار تخریب پذیری ماسه سنگ‌های سازند آغاچاری در شرایط دوام دینامیکی و استاتیکی

محمدحسین قبادی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

ساجدالدین موسوی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

مجتبی حیدری

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

بهرروز رفیعی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۶

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۱۰

Sajed_ms@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش، ترکیب کانی‌شناسی، ویژگی‌های فیزیکی و شاخص دوام دینامیکی و استاتیکی ۲۲ نمونه ماسه‌سنگ سازند آغاچاری در استان خوزستان به‌منظور ارزیابی تخریب‌پذیری آنها بررسی شده است. آزمایش دوام دینامیکی در ۱۵ سیکل و چهار مرحله زمانی مختلف بر روی این نمونه‌ها انجام شد. هم‌چنین، آزمایش دوام استاتیکی در یک دوره ۴۲ روزه در آب مقطر و محلول سولفات سدیم اشباع صورت گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تخریب‌پذیری ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه با نوع و مقدار سیمان و نیز درصد تخلخل آنها در ارتباط است. به طوری که با افزایش درصد سیمان و کاهش درصد تخلخل تخریب‌پذیری این ماسه‌سنگ‌ها کاهش می‌یابد. در آزمایش‌های دوام استاتیکی بیشترین تخریب در محلول‌های سولفات سدیم حاصل شد. نتایج این تحقیق نشان داد که عمده ماسه‌سنگ‌های رخنمون یافته در بخش‌های جنوبی در مقایسه با ماسه‌سنگ‌های شمال استان از سیمان‌شدگی کمتر و قابلیت تخریب‌پذیری بالاتری برخوردارند. بنابراین، توصیه می‌شود استفاده از آنها به‌عنوان مصالح ساختمانی محدود گردد.

کلمات کلیدی: تخریب‌پذیری، ماسه سنگ، سازند آغاچاری، دوام دینامیکی، دوام استاتیکی

مقدمه

وارفتگی در دو سیکل قادر به پیش بینی مناسب رفتار سنگ‌ها در برابر عامل هوازگی نخواهد بود. به همین دلیل محققان بسیاری تلاش نموده‌اند تا با انجام این آزمایش در سیکل‌های سه، چهار، پنج، ۱۰ و ۱۵ تایی این ضعف‌ها را برطرف نمایند (Moon, 1995) و (Dhokal et al., 2000) و (Gokceoglu et al., 2002) و (Ghobadiand Mousavi, 2012). هم‌چنین، برخی دیگر افزایش زمان هر سیکل را برای رفع این مشکل پیشنهاد نموده‌اند. در این راستا، به منظور ارزیابی دوام‌پذیری شیل‌ها این آزمایش در چهار سیکل با زمان‌های ۱۰، ۲۵، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه انجام شده است (Hopkins and Deen, 1984) و (Bryson et al., 2012). نتایج این تحقیق‌ها نشان دادند که این روش در مقایسه با روش دوام وارفتگی دو سیکلی روش مناسبی برای ارزیابی دوام شیل‌ها می‌باشد.

ماسه سنگ‌های سازند آغاچاری در جنوب و جنوب غرب کشور به ویژه استان خوزستان از رخنمون وسیعی برخوردارند. این سنگ‌ها شالوده بسیاری از ساختمان‌ها در شهرهای استان را شکل داده است و به‌طور گسترده به عنوان منابع قرضه سنگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. سیمان‌شدگی ضعیف این ماسه سنگ‌ها به‌خصوص در بخش‌های جنوبی استان افزایش هوازگی و بروز مشکلات سازه‌ای را به‌همراه داشته است.

از این‌رو، در این تحقیق سعی شده است با استفاده از روش‌های مختلف دوام دینامیکی و استاتیکی، تخریب‌پذیری و قابلیت هوازگی این سنگ‌ها و نیز عوامل موثر بر رفتار آنها در برابر عوامل مخرب هوازگی تعیین گردد. از سوی دیگر، کوشش‌هایی جهت تعیین قابلیت هوازگی سنگ‌ها به‌خصوص سنگ‌های ضعیف با

ماسه سنگ‌ها به دلیل در دسترس بودن به‌طور وسیع در احداث ساختمان‌ها، معابد و مجسمه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Stuck et al., 2013). این سنگ‌ها به دلیل تنوع در ترکیب کانی‌شناسی و ویژگی‌های بافتی و نیز خصوصیات فیزیکی متفاوت مستعد هوازگی و تخریب هستند. تخریب و تغییر خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی ماسه سنگ‌ها در اثر عوامل هوازگی، می‌تواند به کاهش عمر مفید سازه‌های مهندسی بینجامد. به‌طور کلی، میزان مقاومت این سنگ‌ها در برابر هوازگی تحت تاثیر ترکیب کانی‌شناسی، نوع و درصد سیمان، تخلخل، توزیع اندازه ذرات، نفوذپذیری و حضور سطوح ضعیف می‌باشد (Bell, 2000).

قابلیت هوازگی سنگ‌ها در برابر تخریب فیزیکی و تجزیه شیمیایی با استفاده از پارامتر دوام مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. شناسایی مقاومت سنگ‌ها در مقابل تخریب کوتاه مدت ناشی از عوامل هوازگی، اساس این پارامتر می‌باشد. این ویژگی مهندسی را می‌توان با استفاده از روش‌های دینامیکی و استاتیکی تعیین نمود. مهم‌ترین روش دوام دینامیکی آزمایش دوام وارفتگی است که در دو سیکل پیشنهاد شده است (Franklin and Chandra, 1972). با این وجود، ناکافی بودن زمان ۱۰ دقیقه در هر سیکل این آزمایش برای اشباع بسیاری از سنگ‌ها، تخریب مکانیکی در اثر برخورد قطعات سنگ به یکدیگر و برخورد با جداره استوانه و نیز عدم مشابَهت با شرایط هوازگی طبیعی و ... از معایب این آزمایش می‌باشد (Erguler and Ulusay, 2009). از این‌رو، آزمایش دوام

گرفته‌اند (جدول ۳). اما کلوخه‌های گروه دوم با هدف آگاهی از میزان حساسیت نمونه‌ها به آب، در چهار سیکل با زمان‌های ۱۰، ۲۵، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه ارزیابی شده‌اند (جدول ۴). به‌طور کلی، آزمایش شاخص دوام وارفتگی به استثنای تعداد و زمان سیکل‌ها، براساس استاندارد ISRM انجام شده است (Brown, 1981).

دوام استاتیکی

در این روش از نمونه‌های مغزه سنگی با قطر NX و طول ۵ سانتیمتر استفاده شده است. نمونه‌ها پس از خشک شدن در آون و توزین، در بشرهای ۱۰۰۰ سی‌سی قرار داده شده و تا ۲۰ میلیمتری بالای هر نمونه از محلول پر شده است. به منظور بررسی اثر محیط بر روی تخریب‌پذیری ماسه سنگ‌های مورد مطالعه، از محلول‌های آب مقطر (محلول شاهد) و سولفات سدیم اشباع استفاده شده است. تغییرات ظاهری نمونه‌ها در فواصل زمانی ۱ دقیقه، ۳۰ دقیقه، ۱ ساعت، ۲ ساعت و ۲۴ ساعت مورد بررسی قرار گرفته‌اند. جهت ایجاد شرایط واقعی‌تر (هوازگی درازمدت) و نزدیک‌تر به وضعیت طبیعی نمونه‌های ماسه سنگی در طی آزمایش ۲۴ ساعت در محلول قرار داده شده و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد خشک شده‌اند. پس از این مرحله نمونه‌ها توزین شده‌اند. این روند در فاصله ۴۸ ساعت، ۹۶ ساعت، یک هفته و دو مرحله دو هفته‌ای و جمعاً به مدت ۴۲ روز انجام شده و میزان افت وزنی نمونه‌ها پس از هر مرحله تعیین شده است (جدول ۵).

بحث

نتایج آزمایش دوام وارفتگی ماسه سنگ‌های مورد آزمایش در ۱۵ سیکل در جدول (۳) ارائه شده است. این ماسه سنگ‌ها براساس شاخص دوام وارفتگی در سیکل دوم در رده خیلی پایین تا خیلی زیاد قرار می‌گیرند (Gamble, 1971). بر این اساس، کم‌ترین شاخص دوام وارفتگی در سیکل دوم به مقدار ۸/۹۶ درصد به نمونه ام‌ال‌دبس تعلق داشته است. این موضوع به دلیل فقدان سیمان در ماسه سنگ ام‌ال‌دبس و درصد تخلخل زیاد این سنگ می‌باشد. با افزایش تخلخل، آب بیشتری می‌تواند به درون سنگ نفوذ کند و در نتیجه فرآیند انحلال خرده سنگ‌های آهکی موجود در این ماسه سنگ افزایش می‌یابد. این پدیده که با کاهش دانسیته ماسه سنگ‌ها همراه است، به کاهش دوام سنگ منجر می‌شود (Ghobadi and Mousavi, 2012) و قبادی و همکاران، (۱۳۹۲).

نمونه‌هایی از نتایج شاخص دوام وارفتگی در مقابل تعداد سیکل‌های تر و خشک‌شدگی در شکل (۳) نشان داده شده است. با افزایش تعداد سیکل‌های تر و خشک‌شدگی، شاخص دوام ماسه سنگ‌های دارای سیمان شدگی کمتر از ۳ درصد با پیروی از توابع نمایی و لگاریتمی ($R^2=0/881-0/998$) کاهش می‌یابد. این ماسه سنگ‌ها بیش‌ترین تخریب را در ۵ سیکل اول از خود نشان می‌دهند، اما در ادامه با افزایش تعداد سیکل‌های تر و خشک‌شدگی افت شاخص دوام وارفتگی با آهنگ ثابت ادامه می‌یابد (شکل‌های ۳ الف و ب). در این وضعیت شاخص دوام وارفتگی ماسه سنگ‌های با سیمان ۳ درصد و بیشتر (به استثنای نمونه رگ سفید) با پیروی از رابطه خطی و با آهنگ ثابت کاهش می‌یابند (شکل‌های ۳ ج و د).

اگرچه نمونه رگ سفید بعد از سیکل دوم در رده با دوام متوسط ارزیابی شده است، اما با افزایش تعداد سیکل‌های تر و خشک‌شدگی شاخص دوام وارفتگی آن با پیروی از تابع درجه دوم به‌شدت کاهش می‌یابد. این ماسه سنگ در طی سیکل هشتم کاملاً تخریب و متلاشی گردید. این موضوع می‌تواند ناشی از حضور سیمان ژئوپسی در ترکیب سنگ باشد. بدین معنا که با افزایش تعداد سیکل‌ها، ژئوپسی طی مرحله خشک‌شدگی آب خود را از دست داده و تبدیل به انیدریت می‌شود. در

استفاده از دوام استاتیکی انجام گرفته است. به همین منظور، روش وارفتگی آزاد (Jar slake) برای طبقه‌بندی مصالح شیلی مورد استفاده در خاکریزها رایج گردید (Wood and Deo, 1975). همچنین، با استفاده از نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۴ تا ۶ سانتیمتر و قرار دادن آنها در بشرهای ۵۰۰ میلی‌لیتری شاخص شکستگی سنگ‌های رسی جاوه اندونزی تعیین شد (Sudisun et al., 2005). با انتخاب نمونه‌های منشوری ماسه سنگ با ابعاد $4 \times 2/5 \times 2/5$ و قرار دادن آنها در محلول‌های نمک سولفات سدیم ۱۴ درصد (وزنی)، میزان تخریب‌پذیری ماسه سنگ‌های اسپانیا مورد ارزیابی قرار گرفت (Benavente et al., 2001). از سوی دیگر، ارتباط بین دوام دینامیکی و استاتیکی با ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌های شیلی، گل‌سنگی و ماسه سنگی سازند آغاچاری در اهواز مورد بررسی قرار گرفت (قبادی، ۱۳۸۰). وی به منظور ارزیابی دوام استاتیکی، نمونه‌های سنگی را در بشرهای ۱۰۰۰ سی‌سی پر از آب قرار داده و تغییرات وزنی و ظاهری آنها را در فواصل زمانی یک دقیقه تا شش ماه بررسی نمود. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که روش دوام استاتیکی با شرایط هوازگی طبیعی انطباق بیش‌تری دارد.

مواد و روش‌ها

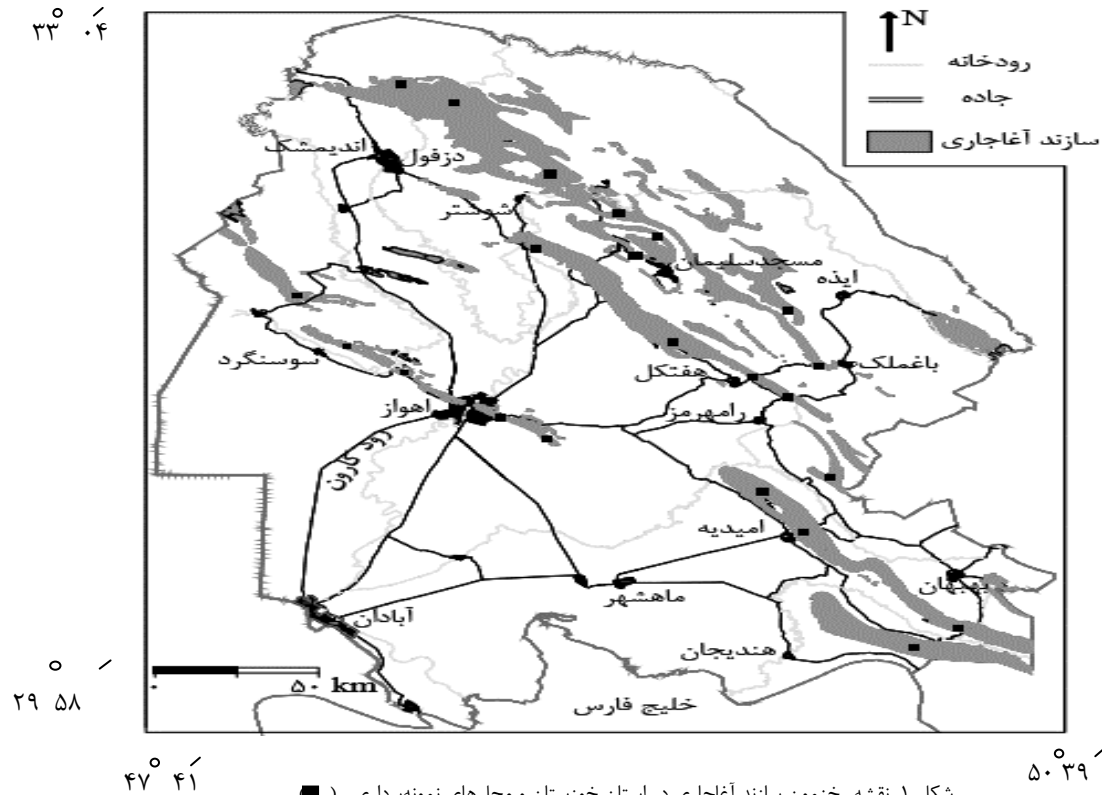
به منظور انجام آزمایشات ۲۲ بلوک ماسه سنگ غیرهوازده از سراسر استان خوزستان انتخاب و در آزمایشگاه مغزه‌گیری شدند (شکل ۱). در مرحله نخست، ویژگی‌های سنگ‌شناسی نمونه‌ها مطالعه گردید، سپس خصوصیات فیزیکی آنها مطابق استاندارد ISRM (Brown, 1981) تعیین شده‌اند (جدول ۱). همچنین، با هدف ارزیابی تخریب‌پذیری ماسه سنگ‌های یادشده آزمایش‌های دوام دینامیکی و استاتیکی بر روی این ماسه سنگ‌ها انجام شد.

ویژگی‌های سنگ‌شناسی

شناسایی ترکیب کانی‌شناسی و ویژگی‌های بافتی ماسه سنگ‌ها با استفاده از مقاطع نازک نقش مهمی در توجیه روند تخریب پذیری آنها ایفا می‌نمایند. این ویژگی‌ها خصوصیات پتروفیزیکی و رفتار این سنگ‌ها را در طی هوازگی و تخریب تحت کنترل دارند (Ruedrich et al., 2011). بررسی مقاطع نازک ماسه سنگ‌های سازند آغاچاری مبین آن است که این سنگ‌ها از خرده سنگ‌های کربناته (۷۶٪-۲۸)، خرده سنگ‌های آتشفشانی (۳۳٪-۰)، خرده سنگ‌های دگرگونی (۱۷٪-۰)، کوارتز (۲۰٪-۲)، چرت (۱۰٪-۰)، کانی‌های تیره (۱۰٪-۱) و فلدسپات (۹٪-۰) تشکیل شده‌اند (شکل ۲ و جدول ۲). اجزای فرعی نظیر مسکویت، خرده سنگ‌های گلی و ژئوپس نیز در برخی از نمونه‌ها قابل مشاهده است. میانگین اندازه ذرات ماسه سنگ‌های یادشده بین ۰/۱۸ تا ۰/۸۶ میلی‌متر متغیر است. تمام ماسه سنگ‌های یادشده به استثنای ماسه سنگ سه راه تپه اهواز (ولک آرنایت)، از نوع کالک لیتارنایت می‌باشند (Folk, 1974). نمونه‌های سه‌راه تپه، حمیدیه، سوسنگرد و ام‌ال‌دبس دانه تکیه‌گاهی و فاقد سیمان می‌باشند. سایر نمونه‌ها به استثنای نمونه رگ سفید (دارای ۱۱ درصد سیمان ژئوپسی است)، دارای سیمان کلسیتی (۱ تا ۲۳ درصد) هستند. دانه‌های تشکیل دهنده این ماسه سنگ‌ها نیمه گرد شده تا زوایه‌دار بوده و از جورشدگی متوسط تا بد برخوردار می‌باشند.

دوام دینامیکی

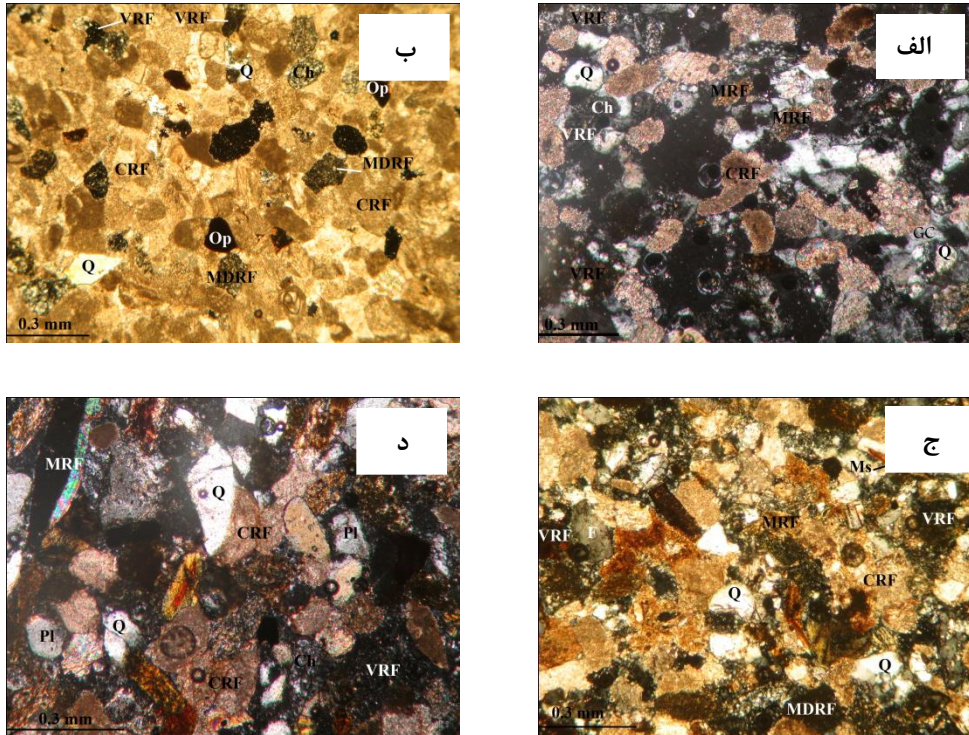
در این تحقیق با تهیه دو گروه کلوخه سنگی مختلف از هر سنگ، شناخت اثر تعداد و زمان سیکل‌ها بر روی دوام وارفتگی ماسه سنگ‌های مورد مطالعه مدنظر قرار گرفت. کلوخه‌های گروه اول به منظور ارزیابی اثر افزایش تعداد سیکل‌های تر و خشک‌شدگی بر روی دوام‌پذیری ماسه سنگ‌های مورد آزمایش و نیز پیش‌بینی رفتار درازمدت آنها در طی فرآیند هوازگی، در ۱۵ سیکل مورد آزمایش قرار



شکل ۱. نقشه رخنمون سازند آغاچاری در استان خوزستان و محل‌های نمونه‌برداری (■)

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

نمونه	نشانه	درصد تخلخل	درصد جذب آب	دانسیته خشک (kN/m^3)	دانسیته اشباع (kN/m^3)
رگ سفید	RG	۱۸/۳۵	۶/۵	۲۱/۷۸	۲۳/۵۴
پازنان	PZ-1	۵/۷۴	۰/۸۶	۲۲/۸۶	۲۳/۴۴
آغاچاری-۱	AJ-1	۵/۰۵	۰/۷۹	۲۳/۶۴	۲۴/۱۳
آغاچاری-۲	AJ-2	۱۴/۰۵	۵/۷۷	۲۰/۷۰	۲۲/۱۷
مشرحات	MSH	۱۴/۹۴	۶/۱۴	۲۰/۴۰	۲۱/۸۸
سه‌راه تپه اهواز	TP	۲۳/۱۷	۱۲/۴۸	۱/۸۶	۲۰/۵۰
حمیدیه	HA	۲۴/۸۹	۱۳/۷۳	۱۸/۲۵	۲۰/۲۱
سوسنگرد	SG	۲۴/۲۲	۱۳/۴۸	۱۷/۶۶	۲۰/۰۱
ام‌الدبس	OD	۲۵/۲۷	۱۴/۵۸	۱۶/۹۷	۱۹/۴۲
کرنج	KN	۶/۸۲	۱/۶۸	۲۳/۶۴	۲۴/۳۳
رودزرد	RD	۵/۳۹	۰/۷۹	۲۳/۴۴	۲۳/۹۴
هفتکل	HF	۴/۱۹	۱/۳۷	۲۴/۰۳	۲۴/۴۳
نفت سفید	NF	۵/۸۹	۰/۷۵	۲۴/۳۳	۲۴/۹۲
تک تکاب	TT	۱۷/۵۹	۷/۵۳	۱۹/۵۲	۲۱/۳۸
باغملک	BMK	۴/۲۹	۰/۶۷	۲۳/۸۴	۲۴/۳۳
باغ انار	BGA	۴/۵۳	۱/۸۲	۲۴/۳۳	۲۴/۸۲
مسجد سلیمان	MIS	۵/۵۲	۲/۶۹	۲۲/۷۶	۲۳/۵۴
گدارلندر	GDL	۴/۵۶	۰/۴۹	۲۴/۶۲	۲۵/۱۱
لالی	LA	۴/۴۷	۰/۴۹	۲۴/۳۳	۲۴/۸۲
گتوند	GU	۴/۲۵	۰/۹۱	۲۴/۶۲	۲۵/۰۱
بازارگه	BZ	۸/۸۳	۲/۴۹	۲۳/۴۴	۲۴/۲۳
بالارود	BL	۵/۳۷	۲/۱۷	۲۴/۲۳	۲۴/۷۲



شکل ۲. تصاویر مقاطع میکروسکوپی برخی ماسه سنگ‌های آغاچاری (الف) رگ سفید (ب) باغملک (ج) ام الدبیس، (د) سه راه تپه اهواز، (CRF): خرده سنگ کربناته، (VRF): خرده سنگ آتشفشانی، (MRF): خرده سنگ دگرگونی، (MDRF): خرده سنگ گلی، (Q): کوارتز، (Ch): چرت، (PI): پلازیوکلاز، (Op): کانی تیره، (GC): سیمان ژیبسی و (Ms): مسکویت).

جدول ۲. خصوصیات کانی شناسی ماسه سنگ‌های مورد مطالعه.

نمونه	درصد اجزا تشکیل دهنده												
	خرده سنگ کربناته	خرده سنگ آتشفشانی	خرده سنگ شیبسی	خرده سنگ گلی	خرده سنگ	کوارتز	چرت	فلدسپات	مسکویت	ژیبس	تیره	کانی‌های ژیبسی	کلیستی
رگ سفید	۵۵	-	۱	-	-	۱۳	۶	۹	-	-	۵	۱۱	-
پازنان	۷۰	-	-	-	-	۲	۱۰	-	-	-	۴	-	۱۳
آغاچاری-۱	۷۱	۱۳	-	-	-	۲	۳	۱	-	-	۵	-	۵
آغاچاری-۲	۳۵	۱۸	۱۷	-	-	۱۶	۵	۵	۱	-	۱	-	۴
مشرحات	۷۱	۱۰	-	-	-	۵	۹	۱	-	۱	۲	-	۱
سه راه تپه اهواز	۲۸	۳۳	۱۴	-	-	۱۴	۲	۳	-	-	۷	دانه تکیه گاهی	-
حمیدیه	۷۶	۳	-	۴	-	۵	۱	۱	-	-	۱۰		-
سوسنگرد	۶۱	۱۲	۱۲	-	-	۷	۱	۲	-	-	۵		-
ام الدبیس	۵۱	۷	۸	-	-	۲۰	۳	۵	۱	-	۵		-
کرنج	۶۴	۴	-	-	-	۶	-	-	-	-	۶	-	۲۳
رودزرد	۴۵	۱۵	۱	۲	-	۱۸	۴	۱	-	-	۲	-	۱۱
هفتکل	۵۶	۱۵	-	۲	-	۱۰	۷	۱	-	-	۳	-	۶
نفت سفید	۶۳	۱۲	۲	-	-	۱۰	-	۱	-	-	۵	-	۷
تک تکاب	۶۰	۴	۱	۸	-	۵	۱۰	-	-	-	۵	-	۱
باغملک	۷۰	۳	-	۲	-	۳	۴	-	-	-	۳	-	۱۵
باغ انار	۷۰	۳	۱	۱	-	۱۰	۲	۳	-	-	۳	-	۷
مسجد سلیمان	۴۷	۸	۳	-	-	۱۵	۴	۲	۱	-	۲	-	۱۸

ادامه جدول ۲. خصوصیات کانی شناسی ماسه سنگ‌های مورد مطالعه.

نمونه	درصد اجزا تشکیل دهنده											درصد سیمان
	کربناته	خرد سنگ آتشفشانی	خرد سنگ شیبستی	خرد سنگ گلی	کوارتز	چون	فلدسپات	مسکویت	ژپس	تیره	کانی های ژپسی	
گدارلندر	۵۵	۱۱	۱	-	۱۳	۵	۴	-	-	۲	-	۹
لالی	۳۴	۱۵	۳	-	۱۸	۵	۳	-	-	۴	-	۱۸
گتوند	۴۰	۱۵	۳	-	۱۵	۴	۳	-	-	۵	-	۱۶
بازارگه	۶۳	۲	۲	-	۹	۴	۳	-	-	۷	-	۱۰
بالارود	۵۳	۶	۵	-	۱۰	۳	۱	-	-	۵	-	۱۷

جدول ۳. نتایج شاخص دوام وارفتگی ماسه سنگ‌های آجاجاری در استان خوزستان برای ۱۵ سیکل.

ID15	ID14	ID13	ID12	ID11	ID10	ID9	ID8	ID7	ID6	ID5	ID4	ID3	ID2	ID1	نمونه
درصد															
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۵۱	۴	۱۳/۹۱	۲۹/۸۵	۶۱/۰۶	۷۱/۳۴	۹۳/۲۵	رگ سفید
۹۷/۷	۹۷/۸	۹۷/۹۲	۹۸/۰۶	۹۸/۱۸	۹۸/۳۲	۹۸/۵۱	۹۸/۶۱	۹۸/۷۷	۹۸/۹۳	۹۹/۰۵	۹۹/۲۱	۹۹/۳۹	۹۹/۵۸	۹۹/۷۴	پازنان
۹۷/۲۷	۹۷/۴۳	۹۷/۶	۹۷/۷۸	۹۷/۹۱	۹۸/۰۷	۹۸/۳۳	۹۸/۴۲	۹۸/۵۸	۹۸/۷۴	۹۸/۹۳	۹۹/۱۳	۹۹/۳۳	۹۹/۵۶	۹۹/۷۶	آجاجاری-۱
۸۲/۹۸	۸۴/۱۳	۸۵/۱	۸۶/۲۹	۸۷/۱	۸۸/۰۵	۸۹/۱۱	۹۰/۰۹	۹۱/۱۱	۹۲/۱۷	۹۳/۲۷	۹۴/۵۷	۹۵/۸۸	۹۷/۱۸	۹۸/۴۹	آجاجاری-۲
۸۱/۶۳	۸۲/۳۲	۸۳/۲۱	۸۴/۱۹	۸۵/۱۴	۸۶/۳۲	۸۷/۳۰	۸۸/۲۶	۸۹/۲۶	۹۰/۴۹	۹۱/۶۷	۹۲/۹۶	۹۴/۳۴	۹۶/۰۱	۹۷/۷۱	مشرحات
۱۶/۶۶	۱۷/۴۲	۱۸/۲۵	۱۹/۳۶	۲۰/۳۵	۲۱/۳۸	۲۲/۷۵	۲۴/۳۵	۲۷/۴۳	۳۱/۷۲	۳۶/۲۴	۴۰/۸۹	۴۵/۸۶	۵۴/۹۷	۷۱/۶۳	تیه
۱۷/۶۶	۱۸/۷	۲۰/۰۳	۲۱/۶۵	۲۲/۳۵	۲۵/۰۷	۲۷/۴۷	۳۰/۰۱	۳۳/۴۱	۳۶/۹۴	۴۱/۶۲	۴۸/۱۹	۵۶/۷۴	۶۸/۷۲	۸۴/۴۹	حمیدیه
۰/۴۴	۱/۱۳	۱/۲۷	۱/۶۴	۳/۹۲	۵/۰۷	۶/۷۶	۷/۹۹	۹/۵۲	۱۰/۸۴	۱۲/۵۶	۱۴/۰۹	۱۷/۰۳	۲۴/۴	۳۴/۳۱	سوسنگرد
۴/۵۱	۴/۷۱	۴/۸۹	۵/۱۷	۵/۷۵	۶/۷۶	۷/۳۲	۷/۷۸	۸/۱۲	۸/۲۸	۸/۳۹	۸/۵۹	۸/۷۶	۸/۹۶	۱۳/۵۴	ام الدبس
۹۵/۴۱	۹۵/۷۲	۹۵/۹۲	۹۶/۲۲	۹۶/۴۷	۹۶/۷۷	۹۷/۰۴	۹۷/۲۸	۹۷/۵۶	۹۷/۸۵	۹۸/۱۳	۹۸/۴۲	۹۸/۷۶	۹۹/۱۳	۹۹/۴۹	کرنج
۹۶/۷۳	۹۶/۸۹	۹۷/۰۶	۹۷/۲۴	۹۷/۴۲	۹۷/۵۶	۹۷/۷۶	۹۷/۹۸	۹۸/۱۸	۹۸/۳۹	۹۸/۵۷	۹۸/۷۹	۹۹/۰۶	۹۹/۳۳	۹۹/۶	رودزرد
۹۶/۷۲	۹۶/۸۵	۹۷	۹۷/۱۵	۹۷/۲۹	۹۷/۵	۹۷/۶۸	۹۷/۸۶	۹۸/۰۵	۹۸/۲۳	۹۸/۴۲	۹۸/۶	۹۸/۸۴	۹۹/۱	۹۹/۵۹	هفتکل
۹۶/۱	۹۶/۳۳	۹۶/۴۸	۹۶/۷۷	۹۶/۹۸	۹۷/۱۷	۹۷/۴۸	۹۷/۷	۹۷/۹۵	۹۸/۲۲	۹۸/۴۱	۹۸/۶۸	۹۹	۹۹/۳۷	۹۹/۶۴	نفت سفید
۷۰/۵۸	۷۱/۷۹	۷۳/۰۸	۷۴/۸۴	۷۶/۵۳	۷۸/۴۹	۸۰/۱۱	۸۱/۶۴	۸۳/۷۳	۸۵/۷۴	۸۷/۷۹	۸۹/۷۹	۹۱/۸۴	۹۴/۳	۹۷/۰۷	تک تکاب
۹۸/۴۱	۹۸/۵۳	۹۸/۶	۹۸/۷۳	۹۸/۷۹	۹۸/۸۸	۹۸/۹۷	۹۹/۰۵	۹۹/۱۸	۹۹/۲۹	۹۹/۳۸	۹۹/۴۸	۹۹/۶۱	۹۹/۷۸	۹۹/۸۷	باغملک
۹۶/۴۳	۹۶/۶۵	۹۶/۸۱	۹۷/۰۵	۹۷/۲۱	۹۷/۴	۹۷/۶۵	۹۷/۸۵	۹۸/۰۷	۹۸/۳۵	۹۸/۵۶	۹۸/۷۸	۹۹/۰۵	۹۹/۳۸	۹۹/۶۴	باغ انار
۹۴/۵۴	۹۴/۸۰	۹۵/۱۱	۹۵/۴۳	۹۵/۶۵	۹۵/۹۲	۹۶/۴۲	۹۶/۷۲	۹۷/۲۱	۹۷/۵۵	۹۷/۸۸	۹۸/۲۶	۹۸/۶۲	۹۹/۰۵	۹۹/۴۱	مسجد سلیمان
۹۷/۱۹	۹۷/۳۱	۹۷/۴۵	۹۷/۵۹	۹۷/۷۱	۹۷/۸۳	۹۷/۹۹	۹۸/۱۰	۹۸/۳۲	۹۸/۵۴	۹۸/۶۶	۹۸/۸۲	۹۹/۰۲	۹۹/۳۰	۹۹/۶۶	گدارلندر
۹۸/۱	۹۸/۱۹	۹۸/۲۷	۹۸/۴۰	۹۸/۴۷	۹۸/۵۶	۹۸/۶۷	۹۸/۷۳	۹۸/۸۸	۹۸/۹۹	۹۹/۳۰	۹۹/۴۳	۹۹/۵۴	۹۹/۷۲	۹۹/۸۳	لالی
۹۸/۱۶	۹۸/۲۷	۹۸/۳۷	۹۸/۴۸	۹۸/۵۶	۹۸/۶۷	۹۸/۷۷	۹۸/۸۷	۹۸/۹۸	۹۹/۱۳	۹۹/۲۳	۹۹/۳۷	۹۹/۵۰	۹۹/۶۹	۹۹/۷۹	گتوند
۸۹/۴۳	۹۰/۰۳	۹۰/۵۹	۹۱/۳۱	۹۱/۸۰	۹۲/۴۳	۹۳/۲۴	۹۳/۸۵	۹۴/۶۱	۹۵/۳۴	۹۵/۹۳	۹۶/۵۸	۹۷/۴۶	۹۸/۲۵	۹۹/۱۳	بازارگه
۹۷/۴۲	۹۷/۵۶	۹۷/۶۶	۹۷/۸۱	۹۷/۹۱	۹۸/۰۸	۹۸/۲	۹۸/۳۵	۹۸/۵۵	۹۸/۷۴	۹۸/۹۷	۹۹/۱۳	۹۹/۳۰	۹۹/۵۷	۹۹/۷۵	بالارود

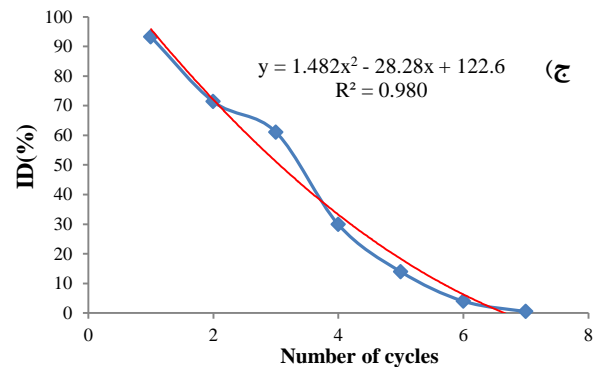
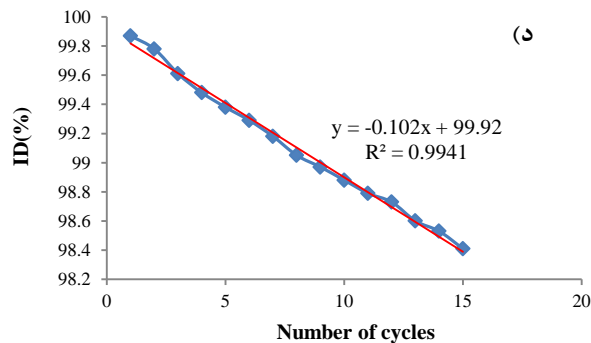
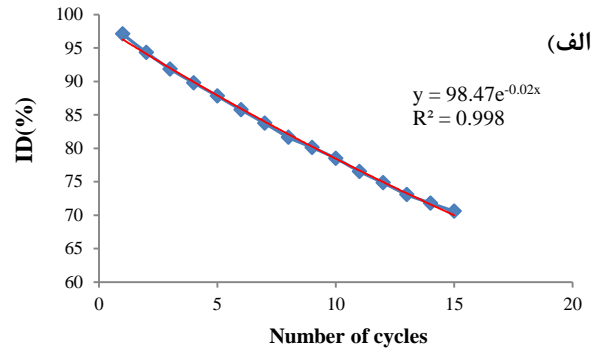
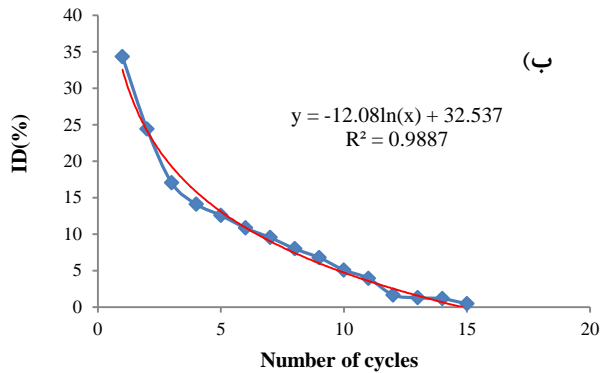
جدول ۴. نتایج شاخص دوام وارفتگی ماسه سنگ‌های آجاری در استان خوزستان برای سیکل‌های با زمان‌های متفاوت.

نمونه	درصد				نمونه	درصد			
	ID _{120 min}	ID _{60 min}	ID _{25 min}	ID _{10 min}		ID _{120 min}	ID _{60 min}	ID _{25 min}	ID _{10 min}
رگ سفید	۲/۴۴	۷/۴۸	۲۴/۷۶	۸۰/۲۱	هفتکل	۹۶/۴۶	۹۸/۰۴	۹۹/۱	۹۹/۵۷
پازنان	۹۶/۶۷	۹۸/۲۶	۹۹/۲۵	۹۹/۶۵	نفت سفید	۵۹/۵۰	۷۷/۸۷	۹۰/۷۰	۹۷/۰۷
آجاری-۱	۹۵/۹۴	۹۸/۰۰	۹۹/۲۰	۹۹/۷۳	تک تکاب	۹۷/۹۶	۹۸/۹۴	۹۹/۵۲	۹۹/۷۷
آجاری-۲	۷۸/۸۱	۸۹/۴۵	۹۵/۴۷	۹۸/۴۵	باغملک	۹۴/۷۷	۹۷/۳۶	۹۸/۸۵	۹۹/۴۹
مشرحات	۷۱/۸۳	۸۴/۱۶	۹۲/۳۲	۹۶/۶۵	باغ انار	۹۳/۹۰	۹۶/۹۲	۹۸/۶۶	۹۹/۴۸
سه راه تپه	۹/۸۴	۲۰/۰۲	۳۷/۵۸	۶۲/۳۵	مسجد سلیمان	۹۵/۶۵	۹۷/۷۹	۹۸/۹۵	۹۹/۵۶
حمیدیه	۱۲/۴۲	۲۹/۷۳	۵۷/۵۱	۸۳/۵۷	گدارلندر	۹۷/۶۱	۹۸/۸۴	۹۹/۴۵	۹۹/۷۸
سوسنگرد	۰	۲/۷۸	۱۱/۵۹	۳۰/۸۰	لالی	۹۷/۴۱	۹۸/۷۹	۹۹/۴۵	۹۹/۷۶
ام الدبیس	۱۶/۸۸	۲۱/۸۱	۲۹/۰۳	۳۷/۵۷	گتوند	۸۶/۷۴	۹۳/۶۵	۹۷/۴۹	۹۸/۹۹
کرنج	۹۳/۳۴	۹۶/۷۵	۹۸/۵۴	۹۹/۴۰	بازارگه	۹۶/۱۲	۹۸/۰۶	۹۹/۰۷	۹۹/۶۴
رودزرد	۹۵/۶۵	۹۷/۸۶	۹۸/۸۷	۹۹/۵۱	بالارود				

جدول ۵. نتایج درصد افت وزنی ماسه سنگ‌های مورد آزمایش در آب مقطر (DW) و سولفات سدیم اشباع (NSS) پس از ۴۲ روز آزمایش دوام استاتیکی

نمونه	درصد افت وزنی پس از											
	۲۴ ساعت		۳ روز		۷ روز		۱۴ روز		۲۸ روز		۴۲ روز	
	NSS	DW	NSS	DW	NSS	DW	NSS	DW	NSS	DW	NSS	DW
رگ سفید	+۰/۵۶ ^o	-۰/۱۵۰۹ ^o	-۰/۳۸۰	-۲/۵۹۸	-۴/۳۸۹	-۱/۵۷۰	-۵/۶۲۱	-۷/۱۴۰	-۵/۶۳۷	-۱۹/۶۲۲	-۱۹/۶۲۲	تخریب
پازنان	+۰/۱۵۰	-۰/۰۱۳	+۰/۳۰۰	-۰/۰۳۹	+۰/۳۷۰	-۰/۰۳۹	+۰/۳۲۰	-۰/۰۳۹	+۰/۲۲۰	-۰/۰۹۵	-۰/۰۱۰	تخریب
آجاری-۱	+۰/۱۰۰	-۰/۰۱۸	+۰/۲۲۰	-۰/۰۱۸	+۰/۳۳۰	-۰/۰۳۶	+۰/۱۴۰	-۰/۰۳۶	+۰/۰۴۰	-۰/۰۳۶	-۰/۰۳۱۰	تخریب
آجاری-۲	+۰/۵۱۰	-۰/۰۴۱	+۰/۵۸۰	-۰/۰۸۶	-۰/۱۶۳	-۰/۱۶۲	-۳/۱۴۰	-۰/۱۹۶	-۶/۲۶۰	-۰/۳۳۵	-۹/۰۱۰	تخریب
مشرحات	+۰/۶۳۰	-۰/۰۴۷	+۰/۴۱۰	-۰/۰۶۴	-۰/۰۸۱	-۱/۱۵۰	-۲/۵۹۰	-۰/۱۲	-۵/۵۳۰	-۰/۱۹۷	-۷/۴۵۰	تخریب
سه راه تپه	+۰/۷۹۰	-۰/۰۱۶۸	-۰/۵۷۰	-۰/۲۵۸	-۰/۴۴۳	-۴/۳۲۰	-۰/۵۷۷	-۹/۰۳۰	-۰/۶۶۱	-۰/۸۰۱	-۲۳/۳۳۰	تخریب
حمیدیه	+۰/۷۸۰	-۰/۰۱۰۰	-۰/۱۶۵	-۰/۱۶۵	-۰/۱۹۵	-۴/۴۱۰	-۶/۵۶۰	-۰/۳۴۹	-۰/۴۷۹	-۰/۷۰۴	-۱۶/۴۰۰	تخریب
سوسنگرد	+۰/۸۲۰	-۰/۰۸۲۴	-۰/۹۹۴	-۱/۱۸۶	-۱/۴۵۹	-۱۵/۰۷۰	-۲/۰۳۵	تخریب	-۲/۶۶۰	-۳/۴۱۹	تخریب	تخریب
ام الدبیس	+۰/۶۸۰	-۰/۰۱۷۸	-۴/۶۷۰	-۰/۲۷۶	-۰/۷۷۰	تخریب	-۰/۸۹۳	تخریب	۱/۲۶۳	تخریب	۱/۹۴۹	تخریب
کرنج	+۰/۱۹۰	-۰/۰۳۱	+۰/۲۹۰	-۰/۰۳۸	-۰/۰۴۸	+۰/۲۷۰	-۰/۰۵۹	-۰/۱۱۰	-۰/۰۶۵	-۰/۱۱۷	-۰/۹۹۰	تخریب
رودزرد	+۰/۲۲۰	-۰/۰۱۵	+۰/۳۲۰	-۰/۰۲۹	-۰/۰۴۰	+۰/۲۸۰	-۰/۰۴۸	-۰/۱۵۰	-۰/۰۷۷	-۰/۱۱۴	-۱/۵۱۰	تخریب
هفتکل	+۰/۱۱۰	-۰/۰۳۵	+۰/۲۳۰	-۰/۰۳۹	-۰/۰۴۶	+۰/۲۲۰	-۰/۰۵۳	+۰/۱۸۰	-۰/۰۶۰	+۰/۱۲۰	-۰/۱۴۰	تخریب
نفت سفید	+۰/۰۱۰	۰/۰۰۰	+۰/۲۴۰	-۰/۰۰۷	-۰/۰۶۹	+۰/۲۶۰	-۰/۰۷۳	+۰/۰۳۰	-۰/۰۷۶	-۰/۰۷۶	-۰/۰۶۶۰	تخریب
تک تکاب	+۰/۵۸۰	-۰/۰۵۳	+۰/۸۳۰	-۰/۰۷۱	-۱/۱۱۵	-۱/۸۹۰	-۰/۱۶۸	-۶/۰۴۰	-۰/۲۱۷	-۰/۳۰۶	-۱۶/۲۱۰	تخریب
باغملک	+۰/۱۴۰	۰/۰۰۰	+۰/۲۴۰	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۶	+۰/۳۵۰	۰/۰۰۶	+۰/۱۵۰	۰/۰۱۶	+۰/۰۹۰	-۰/۰۳۱۰	تخریب
باغ انار	+۰/۰۴۰	۰/۰۰۰	+۰/۲۶۰	-۰/۰۱۴	-۰/۰۴۶	+۰/۳۲۰	-۰/۰۶۱	+۰/۰۴۰	-۰/۰۶۱	-۰/۰۶۸	-۰/۰۵۵۰	تخریب
مسجد سلیمان	+۰/۱۳۰	-۰/۰۱۹	+۰/۲۵۰	-۰/۰۳۴	-۰/۰۵۳	+۰/۱۷۰	-۰/۰۹۴	-۰/۰۶۰	-۰/۱۲۴	-۰/۳۷۰	-۰/۰۷۳۰	تخریب
گدارلندر	+۰/۰۷۰	-۰/۰۱۷	+۰/۲۴۰	-۰/۰۲۷	-۰/۰۵۸	+۰/۳۲۰	-۰/۰۵۸	+۰/۱۴۰	-۰/۰۷۲	-۰/۱۰۷	-۰/۰۲۴۰	تخریب
لالی	+۰/۰۰۳	-۰/۰۰۳	+۰/۰۰۷	-۰/۰۰۳	-۰/۰۱۷	+۰/۱۳۰	-۰/۰۱۷	+۰/۱۵۰	-۰/۰۱۷	+۰/۲۹۰	+۰/۱۶۰	تخریب
گتوند	+۰/۱۰۰	۰/۰۰۰	+۰/۲۰۰	-۰/۰۳۱	-۰/۰۳۶	+۰/۲۶۰	-۰/۰۴۳	+۰/۱۰۰	-۰/۰۶۸	-۰/۱۳۰	-۰/۰۸۴۰	تخریب
بازارگه	+۰/۱۹۰	-۰/۰۱۴	+۰/۵۶۰	-۰/۰۳۸	-۰/۰۴۵	+۰/۰۳۰	-۰/۰۷۴	-۰/۰۶۵۰	-۰/۱۱۹	-۲/۱۰۰	-۳/۶۸۰	تخریب
بالارود	+۰/۱۲۰	-۰/۰۰۳	+۰/۲۲۰	-۰/۰۲۷	-۰/۰۴۱	+۰/۲۷۰	-۰/۰۴۱	-۰/۰۵۰	-۰/۰۴۴	-۰/۰۳۰۰	-۰/۱۰۰۰	تخریب

*علامت‌های + و - به ترتیب به معنای افزایش و کاهش درصد وزن می‌باشد.



شکل ۳. نمودار تعداد سیکل‌های تر و خشک‌شدگی در مقابل شاخص دوام برخی نمونه‌های ماسه سنگ آغاچاری. الف) تک تکاب، ب) سوسنگرد، ج) رگ سفید، د) باغملک.

هم‌چنین، تخریب‌پذیری نمونه‌های ماسه سنگی با استفاده از محلول‌های سولفات سدیم اشباع و آب مقطر (محلول شاهد) در مدت ۴۲ روز با آزمایش دوام استاتیکی مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۵). روند افت وزنی برخی از نمونه‌ها در آب مقطر در شکل (۶) آورده شده است. نمونه‌های رگ سفید و لالی پس از طی دوره ۴۲ روزه در محلول آب مقطر، به ترتیب بیشترین و کمترین درصد افت وزنی به میزان ۱۹/۶۲۲ و ۰/۰۱۷ درصد را داشته‌اند. گسترش ترک‌های دایره‌ای و شعاعی در ساختار ماسه سنگ رگ سفید عامل افزایش افت وزنی و تخریب این ماسه سنگ بوده است. این موضوع ناشی از وجود سیمان ژئوسی در ترکیب سنگ می‌باشد که با تبدیل به انیدریت و بالعکس موجب گسترش تنش‌های کششی و ترک در سنگ می‌گردد (شکل ۷).

با این حال، بیشترین تخریب ماسه سنگ‌های سازند آغاچاری در دوام استاتیکی با محلول سولفات سدیم اشباع رخ داده است (جدول ۵). به‌طوری‌که در این بازه زمانی نمونه‌های ام الدبس، سوسنگرد و رگ سفید به ترتیب بعد از ۱۴، ۷ و ۲۸ روز کاملاً متلاشی شدند. در این حالت بیش‌ترین مقاومت در برابر تخریب را نمونه ماسه سنگ لالی از خود نشان داده است (شکل ۸).

به‌طور نسبی، نمونه‌های ماسه سنگی که از تخلخل بیش‌تری برخوردار بوده و دارای لایه‌بندی بوده‌اند، بیش‌ترین تخریب را متحمل شده‌اند. زیرا که در این سنگ‌ها نمک بیش‌تری در حفرات سنگ وارد و متبلور شده و در نتیجه تنش‌های بزرگ‌تری به فابریک سنگ اعمال می‌گردد (ذلولی و همکاران، ۱۳۹۳). از سوی دیگر، ماسه سنگ‌های به شدت متخلخل مقاومت کششی کمتری دارند و در برابر

ادامه انیدریت ایجاد شده در مرحله ترشدگی آگیری کرده و مجدداً به ژئوپس تبدیل می‌گردد. تکرار چنین فرآیندی منجر به تضعیف ساختار سنگ و نیز گسترش تنش‌های کششی در سنگ شده که در نهایت تخریب آن را در پی دارد (شکل ۴ الف). اما حضور سیمان کربناته در سایر ماسه‌سنگ‌ها مانند نمونه باغملک موجب شده است تا این سنگ‌ها تخریب کمتری را متحمل شوند (شکل ۴ ب).

در جدول (۴) نتایج آزمایش دوام‌ورفتگی در سیکل‌های زمانی مختلف نشان داده شده است. در این آزمایش نیز بیش‌ترین مقاومت در برابر تخریب را نمونه‌های دارای سیمان ۳ درصد و بیش‌تر از خود نشان داده‌اند. نمونه باغملک بیش‌ترین مقاومت در برابر تخریب را پس از چهار سیکل زمانی مختلف به‌خود اختصاص داده است. نمونه ماسه سنگ سوسنگرد در طی سیکل چهارم کاملاً تخریب گردید (شکل ۵ الف). این موضوع به دلیل آن است که با افزایش زمان استغراق کلوخه‌های سنگی، انحلال خرده سنگ‌های آهکی در محل تماس با یکدیگر تشدید می‌شود که باعث کاهش تماس و اتصال دانه‌های سنگ با یکدیگر می‌شود. چنین فرآیندی حرکت و جایجایی دانه‌ها در ساختار سنگ را تسهیل نموده که منجر به تخریب سنگ می‌گردد (Stuck et al., 2013). با این وجود، نمونه ماسه سنگ رگ سفید اگرچه افت قابل ملاحظه‌ای در شاخص دوام‌ورفتگی از خود نشان داده است، اما در انتهای سیکل چهارم کاملاً تخریب نشد (شکل ۵ ب). زیرا در این روش تضعیف ساختار سنگ در اثر تبدیل ژئوپس به انیدریت و بالعکس، به دلیل کاهش تعداد سیکل‌های خشک شدگی و ترشدگی از شدت کمتری برخوردار می‌باشد. در نتیجه شدت تخریب و افت وزنی سنگ کاهش پیدا می‌کند.



(ب)

(الف)

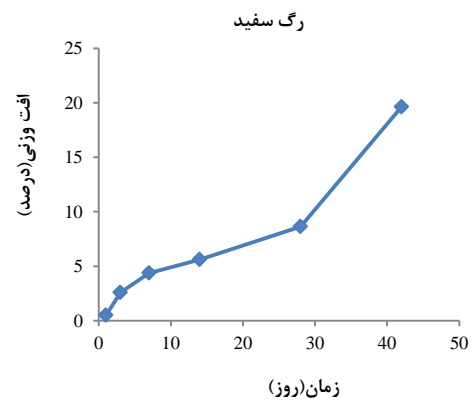
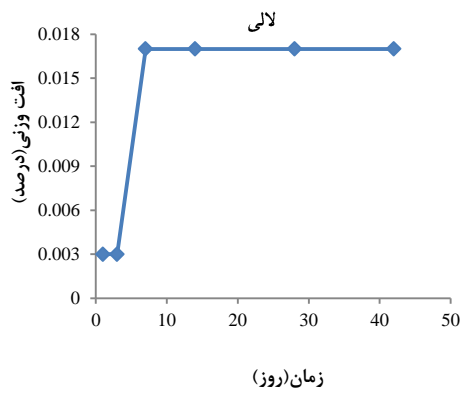
شکل ۴. نمونه‌هایی از کلوخه‌های ماسه سنگی قبل و بعد از آزمایش دوام وارفتگی در ۱۵ سیکل (الف) رگ سفید، (ب) باغملک.



(ب)

(الف)

شکل ۵. نمونه‌هایی از کلوخه‌های ماسه سنگی قبل و بعد از آزمایش دوام وارفتگی با سیکل‌های زمانی مختلف (الف) سوسنگرد: این نمونه در انتهای سیکل آخر کاملاً تخریب شد، (ب) رگ سفید.



شکل ۶. تغییرات وزنی نمونه‌های ماسه سنگی رگ سفید و لالی در طی آزمایش دوام استاتیکی در آب مقطر.



شکل ۷. تغییرات ظاهری ماسه سنگ رگ سفید در طی آزمایش دوام استاتیکی در آب مقطر. (الف) قبل از آزمایش، (ب) در انتهای روز ۲۸، (ج) انتهای روز ۴۲.



شکل ۸. نمونه‌هایی از تغییرات ظاهری ماسه سنگ‌های آغاچاری در طی آزمایش دوام استاتیکی در محلول سولفات سدیم. (الف) نمونه رگ سفید پس از ۲۸ روز، (ب) نمونه سوسنگرد بعد از ۱۴ روز، (ج) نمونه ام‌الدیس پس از ۷ روز، (د) نمونه لالی پس از ۴۲ روز.

۳- بخش اعظم افت شاخص دوام وارفتگی نمونه‌های ماسه سنگی با سیمان‌شدگی کمتر از ۳ درصد، در ۵ سیکل اول رخ می‌دهد. در ادامه با افزایش بیشتر تعداد سیکل‌های تر و خشک‌شدگی شاخص دوام‌وارفتگی با آهنگ ثابت کاهش می‌یابد. بنابراین، انجام این آزمایش در بیش از ۵ سیکل بر روی نمونه‌های ماسه سنگی با خصوصیات فیزیکی و سنگ‌شناسی مشابه توصیه نمی‌شود.

۴- نتایج شاخص دوام وارفتگی با سیکل‌های زمانی مختلف مبین آن است که نمونه‌های ماسه‌سنگ متخلخل و با سیمان‌شدگی کمتر از ۳ درصد و نیز نمونه رگ سفید بیشترین حساسیت را نسبت به آب داشته‌اند. این موضوع ناشی از تشدید انحلال خرده سنگ‌های آهکی و سیمان متصل کننده دانه‌ها بوده است.

۵- از میان ماسه سنگ‌های مورد آزمایش نمونه‌های دارای تخلخل بالا، بیشترین تخریب را در برابر محلول‌های سولفات سدیم از خود نشان داده‌اند. به طوری که سه نمونه ام‌الدبس، سوسنگرد و رگ سفید با وجود تخلخل زیاد در این آزمایش کاملاً تخریب شده‌اند.

۶- در محلول‌های سولفات سدیم، ماسه سنگ‌های دارای تخلخل بالا با جدا شدن دانه‌های ماسه از سنگ تخریب می‌شوند. اما ماسه سنگ‌های با تخلخل کم در امتداد سطوح لامینه و به صورت پوسته پوسته شدن تخریب می‌گردند.

بنابراین، با توجه به مقاومت کم ماسه سنگ‌های آغاچاری در تاقدیس‌های مستقر در مرز زاگرس چین خورده و دشت خوزستان، توصیه می‌شود که استفاده از این سنگ‌ها در پروژه‌های عمرانی و ساختمانی محدود گردد. همچنین، با توجه به معایب آزمایش دوام وارفتگی با تعداد زیاد سیکل‌های تر و خشک‌شدگی، استفاده از آزمایش‌های دوام استاتیکی و دوام وارفتگی با سیکل‌های زمانی مختلف می‌تواند جایگزین مناسب‌تری برای ارزیابی رفتار دوام‌پذیری و تخریب‌پذیری سنگ‌ها به خصوص سنگ‌های ضعیف در درازمدت باشند.

تنش‌های ناشی از تبلور و آبدگیری نمک‌ها از خود مقاومت کمتری نشان می‌دهند. بنابراین، زمانی که نیروهای اعمال شده بیش‌تر از مقاومت کششی سنگ باشند، آسیب‌پذیری سنگ بیش‌تر خواهد شد (Ruedrich and Siegesmund, 2007). به طور کلی، تخریب ایجاد شده در طی این فرآیند در ماسه سنگ‌های آغاچاری را می‌توان به انواع ماسه زایی، پوسته پوسته شدن و ترکیبی از هر دو طبقه بندی نمود (شکل ۹). نمونه‌های ماسه سنگی دارای تخلخل بالا معمولاً در آون به سرعت خشک شده و به هنگام قرارگیری مجدد در محلول سولفات سدیم، با جدا شدن دانه‌های ماسه از سنگ دچار تخریب می‌شوند (شکل ۹ الف). در مقابل، نمونه‌های دارای تخلخل کم به آرامی در آون خشک شده و با استغراق مجدد در محلول یادشده در امتداد سطوح لامینه دچار پوسته پوسته شدن می‌شدند (شکل ۹ ب).

نتیجه‌گیری

قابلیت تخریب‌پذیری ماسه‌سنگ‌ها یکی از ویژگی‌های مهم زمین‌شناسی مهندسی آنها می‌باشد. تعیین این ویژگی به هنگام استفاده در سازه‌های مهندسی و ارزیابی عمر مفید آنها اجتناب‌ناپذیر است. به منظور بررسی وضعیت تخریب‌پذیری ماسه سنگ‌های سازند آغاچاری ۲۲ نمونه از سراسر استان خوزستان تحت آزمایش‌های دوام استاتیکی و دینامیکی قرار گرفتند. نتایج حاصله به شرح زیر می‌باشند:

۱- براساس نتایج حاصل از آزمایش‌های دوام دینامیکی و استاتیکی، نمونه‌های ماسه سنگ باغملک و لالی بیشترین مقاومت را در برابر تخریب و هوازگی داشته‌اند. کمترین مقاومت در برابر تخریب به نمونه‌های رگ سفید، ام‌الدبس و سوسنگرد تعلق داشته است.

۲- شاخص دوام وارفتگی ماسه سنگ‌های با سیمان کمتر از ۳ درصد با افزایش تعداد سیکل‌های تر و خشک‌شدگی، با پیروی از توابع نمایی و لگاریتمی کاهش می‌یابد. در حالیکه، برای ماسه سنگ‌های با سیمان کلسیتی ۳ درصد و بیشتر شاخص دوام وارفتگی به صورت خطی کاهش می‌یابد. اما این روند برای ماسه سنگ رگ سفید با ۱۱ درصد سیمان ژپسی به صورت تابع درجه دوم می‌باشد.



شکل ۹. نمایش تخریب‌های ایجاد شده در ماسه سنگ‌های مورد مطالعه در طی آزمایش دوام استاتیکی در محلول سولفات سدیم. الف) تخریب به صورت دانه‌های ماسه در نمونه تک تکاب، ب) تخریب به صورت دانه‌های ماسه و پوسته پوسته شدن در نمونه سه راه تپه اهواز.

منابع

- قبادی، م.ح.، ۱۳۸۰، ارتباط دوام دینامیکی و استاتیکی سنگ با ترکیب کانی شناسی، اولین کنفرانس مکانیک سنگ ایران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۱۱۷-۱۰۹.
- قبادی، م.ح.، حیدری، م.، رفیعی، ب.، موسوی، س.، آریافر، ن.، ۱۳۹۲، مطالعه خصوصیات ژئوتکنیکی ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری در شرق و جنوب شرق اهواز، مجله زمین-شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۸، ص ۳۳-۲۱.
- ذلولی، ا.، خامه‌چیان، م.، نیکودل، م.، ۱۳۹۳، ارزیابی مقاومت فشاری تک‌محوری نمونه‌هایی از تراورتن‌ها در مقابل تبلور نمک با استفاده از مدل تابع زوال، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۲، ص ۲۴-۱۴.
- Bell.F.G., 2000, Engineering properties of soils and rocks, Acadmic Division of Unwin Hyman Ltd.
- Benavente.D., Garcia Aadel Cura.M.A., Bernabeu.A., Ordonez.S., 2001, Quantification of salt weathering in porous stones using an experimental continuous partial immersion method. Engineering Geology, Vol: 59, p: 313-325.
- Brown.E.T., 1981, Rock characterization testing & monitoring ISRM suggested methods, Pergaman press.
- Bryson.L.S., Gomez-Gutierrez.I.C., Hopkins.T.C., 2012, Development of a new durability index for compacted shale, Engineering Geology, Vol: 139-140, p: 66-75.
- Dhaka.G., Yoneda.T., Kato.M., Kaneko.K., 2002, Slake durability and mineralogical properties of some pyroclastic and sedimentary rocks, Engineering Geology, Vol: 65, p:31-45.
- Erguler.Z.A., 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, p:11-19.
- Folk.R.L., 1974, Petrology of sedimentary rocks, Hemphill, Austin, Texas.
- Franklin.J.A., Chandra.R., 1972, The slake-durability test, International journal of rock mechanics and mining sciences, Vol: 9, p:325-341.
- Gamble.J.C., 1971, Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rocks, Ph.D. thesis, geology, university of Illinois, Urbana.
- Ghobadi.M.H., Mousavi.S., 2012, The effect of pH and salty solutions on durability of sandstones of the Aghajari Formation in Khuzestan province, southwest of Iran, Arabian journal of geosciences, Vol: 7, p: 641-653.
- 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, p:215-237.
- Hopkins.T.C., Deen.R.C., 1984, Identification of Shales, ASTM Geotechnical Testing Journal, Vol: 7, No: 1, p:10-18.
- Moon. V.G., 1995, Textural and microstructural influences on the durability of Waikato Coal measures mudrocks, Quarterly journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Vol: 28, p:303-312.
- Ruedrich.J., Siegesmund.S., 2007, Salt and ice crystallization in porous sandstones, Environmental Earth Sciences, Vol: 52, p:225-249.
- Ruedrich.J., Bartelsen.T., Dohrmann.R., Siegesmund.S., 2011, Moisture expansion as a deterioration factor for sandstone used in buildings, Environmental Earth Sciences, Vol: 63, p:1545-1564.
- Sadisun.I.A., Shimida.H., Ichinose.M., Matsui.K., 2005, Study on the physical disintegration characteristics of Subang claystone subjected to a modified slaking index test, Geotechnical and Geological Engineering, Vol: 23, p:199-218.
- Stuck.S., Koch.R., Siegesmund.S., 2013, Petrographical and petrophysical properties of sandstones: statistical analysis as an approach to predict material behaviour and construction suitability, Environmental Earth Sciences, Vol:69, p: 1299-1332.
- Wood.L.E., Deo.P., 1975, A suggested system for classifying shale materials for embankments, Bulletin of International Association Engineering Geology, Vol:12, p: 39-55.