فصلنامهٔ کواترنری ایران (علمی- پژوهشی)، دورهٔ ۳، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۶
ص ۱۵۵-۱۷۳

رابطهٔ بین محیط تجمع سنگدانه‌های طبیعی کواترنر با مقاومت در برابر تخریب ناشی از تبلور نمک سولفات سدیم

کاظم بهرامی؛ دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی کاربردی، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، ایران
سید محمود فاطمی‌عقدا*؛ دانشیار، گروه زمین‌شناسی کاربردی، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، ایران
علی نورزاد؛ دانشیار، گروه ژئوتکنیک، دانشکدهٔ مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
مهدی تلخابلو؛ استادیار، گروه زمین‌شناسی کاربردی، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۵

چکیده

مقاومت سنگدانه‌ها در برابر تخریب ناشی از تبلور سولفات سدیم علاوه‌بر ویژگی‌های سنگ‌شناسی ممکن است متأثر از محیط تجمع سنگدانه‌ها باشد. در این تحقیق دو محیط واریزه‌ای و رودخانه‌ای در دو منطقهٔ دماوند با سنگ‌های آتشفشانی و منطقهٔ دیره با سنگ‌های آهکی بررسی شده است. انتخاب محیط‌های مورد بررسی در هر منطقه به‌گونه‌ای بوده است که هر دو محیط از نظر سنگ‌شناسی شرایط مشابهی داشته باشد و تفاوت سنگ‌شناسی در این محیط‌ها ناچیز باشد. ویژگی‌های تخلخل، درصد جذب آب، درصد سنگدانه‌های دارای ریزترک و مقاومت در برابر تبلور سولفات سدیم در نمونه‌های برداشت‌شده بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که میزان تخلخل، درصد جذب آب و ریزترک در محیط‌های رودخانه‌ای نسبت به محیط واریزه‌ای بسیار کمتر است که ممکن است ناشی از فرایند حمل و سایش بیشتر ذرات در محیط‌های رودخانه‌ای باشد. میزان افت وزنی آزمایش ساندنس در سنگدانه‌های برداشت‌شده از محیط رودخانه‌ای کمتر از محیط واریزه‌ای است. این تفاوت متأثر از اندازهٔ ذرات نیز است. در منطقهٔ دیره برای سنگدانه‌های درشت میزان افت وزنی نمونه‌های رودخانه‌ای حدود ۵ درصد نمونه‌های واریزه‌ای است، در حالی که برای سنگدانه‌ای ریز (۶۰۰ تا ۳۰۰ میکرون) این تفاوت حدود ۳۸ درصد است. این وضعیت در منطقهٔ دماوند نیز وجود دارد، اما به‌علت پایین‌تربودن درصد ریزترک شدت اختلاف کمتر است، به‌گونه‌ای که سنگدانه‌های رودخانه‌ای درشت حدود ۲۱ درصد و سنگدانه‌های ریز حدود ۶۵ درصد میزان افت وزنی سنگدانه‌های واریزه‌ای است.

کلیدواژه‌ها: **دوام سنگدانه، رسوبات کواترنر، ساندنس، محیط‌های زمین‌شناسی.**

مقدمه

رسوبات تجمع‌یافته در کواترنر از مهم‌ترین منابع تأمین شن و ماسهٔ طبیعی است. آبرفت‌ها، واریزه‌ها و رودخانه‌ها از مهم‌ترین محیط‌های کواترنری است که می‌توان از رسوبات تجمع‌یافته در آن‌ها به‌عنوان سنگدانه استفاده کرد. با وجود این، هر محیط رسوبی دارای ویژگی‌های خاص خود و رسوبات تجمع‌یافته در آن‌ها متفاوت است. سنگدانه‌ها جزو پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی است و تأثیرات زیادی در کارکرد و عمر پروژه‌ها دارد، اما به‌علت قیمت پایین‌تر نسبت به سایر مصالح ساختمانی، کمتر به آن توجه شده و کمتر بررسی شده است.

* نویسندهٔ مسئول: تلفن: ۰۲۱ ۸۸۳۲۹۲۲۰ Email: fatemi@khu.ac.ir

تبلور نمک‌های محلول در سنگ‌ها و سنگدانه‌های متخلخل یکی از دلایل زوال آن‌ها در طبیعت و هوازدگی سنگ‌های ساختمانی و دیگر سازه‌های مهندسی است (کاسماتکا و ویلسون، ۲۰۱۶؛ رودریچ و سیگسموند، ۲۰۰۷؛ ایوانز، ۱۹۷۰).

اسپینوزا مارزل و شیرر (۲۰۰۸) تبلور بلورهای نمک سولفات سدیم را بررسی کردند و دریافتند که فشار تبلور بلورهای نمک در حال رشد در فضای محصور از مهم‌ترین پارامترهای ایجاد آسیب در سنگ و آجر است. استاگ و همکاران (۲۰۱۱) مناسب‌بودن سنگ‌های ساختمانی مختلف را با تأکید بر هوازدگی نمک بررسی کردند. آن‌ها پارامترهای ترکیب کانی‌شناسی، مقاومت سنگ و توزیع اندازهٔ منافذ سنگ را پارامترهای تعیین‌کننده در این نوع هوازدگی معرفی کردند.

در محیط‌هایی که سولفات سدیم در آب یا آب‌های زیرزمینی در ارتباط با بتن یا به‌طورکلی سنگدانه‌ها اشباع از سولفات سدیم باشد، هنگام خشک‌شدن سنگدانه‌ها، بلورهای هیدراتهٔ سولفات سدیم در خلل‌وفرج سنگدانه‌ها شکل می‌گیرد و شروع به رشد می‌کند. این امر موجب ایجاد فشار درونی و خردشدن سنگدانه‌ها می‌شود (الکساندر و میندس، ۲۰۰۵). در واقع، این فرایند مشابه یخزدگی عمل می‌کند. در فرایند تبلور سولفات سدیم فشار ناشی از رشد بلورهای آن خیلی بیش از یخزدگی است. هر چرخهٔ تر و خشک‌شدن سنگدانه‌ها با آب‌های اشباع از سولفات سدیم تقریباً معادل ۵ تا ۱۰ برابر سیکل‌های یخزدگی–آب‌شدگی در سنگدانه‌ها تخریب ایجاد می‌کند (استاندارد شمارهٔ ۴۴۹؛ رحیمی، ۱۳۹۱).

به‌منظور بررسی میزان تخریب ناشی از تبلور سولفات سدیم از آزمایش ساندنس یا تحلیل در سولفات سدیم اشباع استفاده می‌شود. این آزمایش روی ذرات ماسه و شن انجام می‌شود. از نتایج این آزمایش می‌توان در تخمین بلندمدت مقاومت در برابر یخزدگی و آب‌شدگی سنگدانه‌ها استفاده کرد (اسمیت و کولیس، ۲۰۰۱؛ بکتاس و همکاران، ۲۰۱۶). سازوکار تخریب ناشی از سولفات سدیم شبیه به فرایند یخزدگی سنگدانه است. افزایش حجم ناشی از رشد بلورهای سوزنی سولفات سدیم باعث تخریب سنگدانه‌ها می‌شود. میزان تخریب سنگدانه‌ها در اثر تبلور سولفات سدیم ممکن است متأثر از نوع سنگ و ویژگی‌های بافتی سنگ‌ها باشد (جمشیدی، ۱۳۸۸؛ بناونته و همکاران، ۲۰۰۴؛ ۲۰۰۷؛ زدف و همکاران، ۲۰۰۷). هوازدگی و دگرسانی سنگدانه‌ها نیز تأثیر زیادی در ساندنس آن‌ها دارد (اسمیت و کولیس، ۲۰۰۱).

وجود ریزترک در سنگ‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی، به‌خصوص مقاومت در برابر یخزدگی– آب‌شدگی آن‌ها تأثیرگذار است (آلمیدا و همکاران، ۱۹۹۸). ریزترک‌ها در واقع سطوح ضعیفی است که بر تخریب ناشی از یخزدگی–آب‌شدگی و ساندنس سولفات سدیم تأثیرگذار است. توسعه و بازشدن ناپیوستگی‌ها، ریزترک‌ها و لایه‌بندی‌های موجود در سنگ‌های رسوبی عامل اصلی تخریب در فرایند یخزدگی و ساندنس است (نیکولسون و نیکولسون، ۲۰۰۰؛ توماچوت و جینت، ۲۰۰۲). بنابراین، در بررسی نتایج آزمایش‌های تبلور سولفات سدیم به اثر ریزترک‌ها نیز باید توجه داشت.

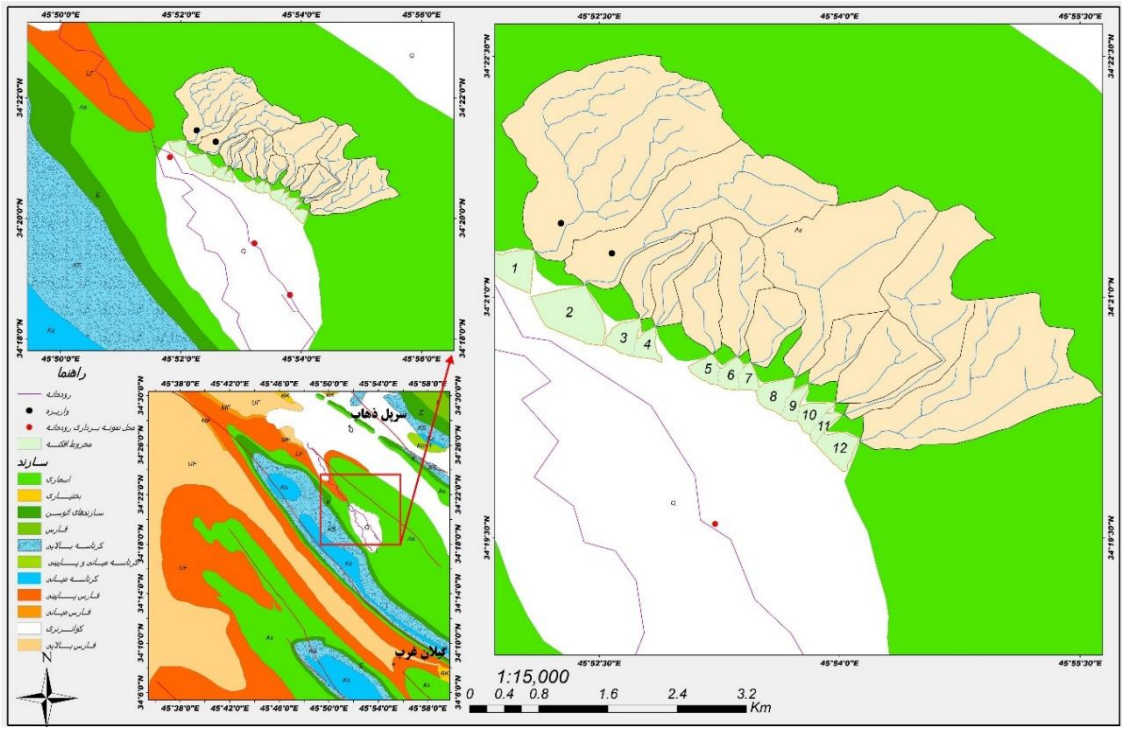
با وجود مطالعات انجام‌شده در زمینهٔ تأثیر ویژگی‌های سنگ‌شناسی در میزان تخریب ناشی از تبلور نمک سولفات سدیم در زمینهٔ ارتباط بین محیط تجمع رسوبات کواترنری و کیفیت سنگدانه‌ها تحقیقات منسجمی انجام نشده است. هدف این پژوهش نیز بررسی میزان تخریب ناشی از تبلور سولفات سدیم در محیط‌های کواترنری (رودخانه‌ای و واریزه‌ای) است.

مناطق مورد مطالعه

نمونه‌برداری از رسوبات کواترنری تجمع‌یافته در دو منطقهٔ شمال‌غربی دشت دیره واقع در غرب استان کرمانشاه (سنگ‌های آهک آسماری) و منطقهٔ جبههٔ شمالی دماوند (سنگ‌های آتشفشانی) انجام شده است.

منطقهٔ دیره واقع در حد فاصل بین شهرستان‌های گیلان‌غرب و سرپل‌ذهاب است. پوشش اصلی این منطقه از نظر چینه‌شناسی و زمین‌شناسی متشکل از سازند آسماری و رسوبات آبرفتی کواترنر است. مناطق کوهستانی عمدتاً متشکل از سازند آسماری است. مناطق پست و ناودیسی را عمدتاً رسوبات کواترنری حاصل هوازدگی و فرسایش سازند آسماری در ارتفاعات پوشانده است. در بعضی مناطق، به‌خصوص قسمت‌های شمال‌غربی حوزه که خارج از محدودهٔ نمونه‌برداری واقع شده است، به‌صورت بسیار محدود و جزئی برون‌زدهایی از سازندهای گروه فارس دیده می‌شود که عمدتاً به‌علت ضخامت کم، انحلال‌پذیری و فرسایش‌پذیری بسیار بالا، رخنمون‌ها بسیار ناچیز است. از نظر اقلیمی، دارای

آب‌وهوایی نسبتاً خشک تا مدیترانه‌ای و دارای زمستان‌هایی ملایم و تابستان‌های گرم است (کریمی و همکاران، ۲۰۰۵). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه و محل‌های نمونه‌برداری

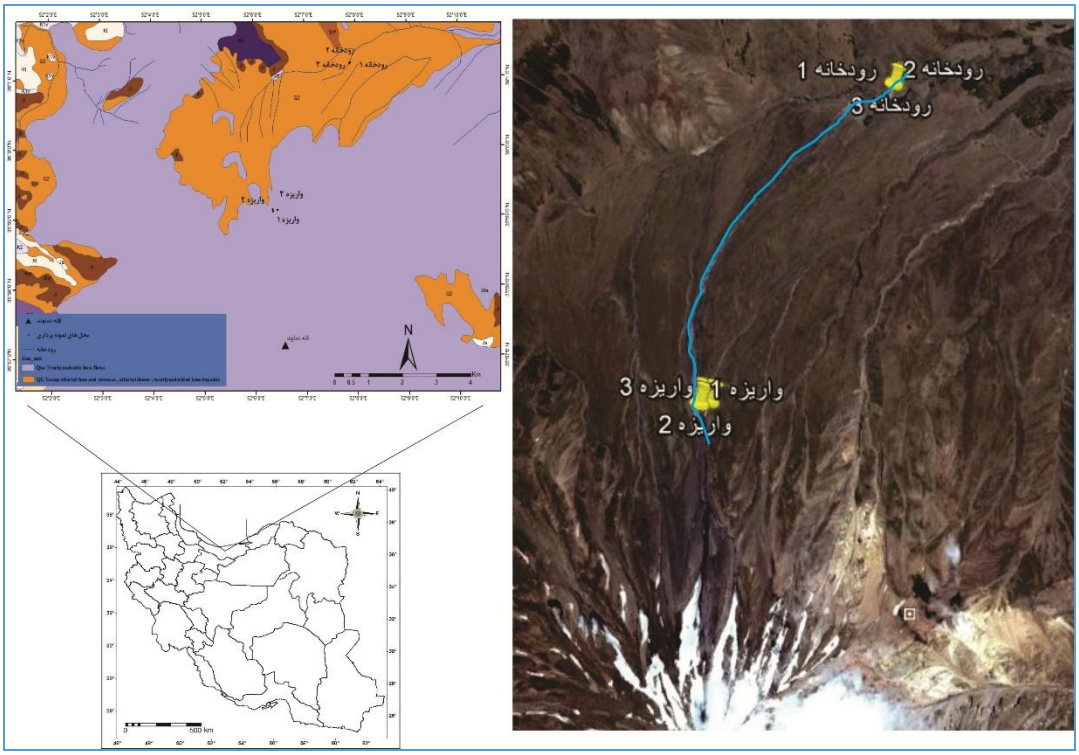
این منطقه از نظر تقسیم‌بندی‌های زمین‌ساختی جزو زاگرس چین‌خورده است. مجموعهٔ بسیار زیاد و منظمی از سیستم‌های شکستگی و گسل در این منطقه، به‌خصوص در ارتفاعات، دیده می‌شود. شواهد فعال‌بودن این منطقه از نظر تکتونیکی وجود دارد (بهرامی، ۲۰۱۳). منطقهٔ مورد مطالعه از نظر ژئومورفولوژیکی متشکل از واحدهای کوهستان و رسوبات کواترنر (واریزه‌ها، مخروط‌افکنه‌ها، دشت‌های سیلابی و رودخانه) است. واحد کوهستان تقریباً به‌طور کامل متشکل از سازند آسماری و منشأ رسوبات موجود در واریزه‌ها، مخروط‌افکنه‌ها، دشت‌های سیلابی و رودخانه‌ای است. واریزه‌ها تغذیه‌کنندهٔ رسوبات مخروط‌افکنه‌هاست و رسوبات موجود در محیط رودخانه‌ای نیز از مخروط‌افکنه‌ها تغذیه می‌شود. بنابراین، می‌توان گفت محیط‌های مختلف از نظر سنگ‌شناسی وابسته به‌هم و از نظر محل تغذیهٔ رسوبات دارای سنگ‌شناسی مشابهی است.

دومین محدودهٔ انتخاب‌شده در این تحقیق جبههٔ شمالی قلهٔ دماوند و جنوب‌غرب روستای نانـدل است. سنگدانه‌های موجود در این منطقه عمدتاً حاصل هوازدگی و فرسایش سنگ‌های سردشده از گدازه‌های آتشفشانی قلهٔ دماوند است. آتشفشان جوان دماوند در دوران چهارم زمین‌شناسی فعالیت خود را آغاز کرد. تناوب فازهای گدازه‌ای و انفجاری کواترنر، مخروط‌آتشفشانی به ارتفاع ۵۶۷۰ متر از سطح دریا به‌وجود آورده است که این مخروط خود از زمین‌های اطراف حدود ۱۶۰۰ تا ۲۰۰۰ متر بالاتر است (امامی، ۱۳۶۸؛ انتظام و مهرنوش، ۱۳۴۹). دماوند آتشفشان نوع مختلط است که در آن مواد آذرآواری نسبت به مواد خروجی اهمیت خیلی کمتری دارد. با گذشت زمان ردیف مواد خروجی این آتشفشان از نوع بازیک به سمت ترکیبی اسیدی گراییده است. تراکی اندزیت‌ها و تراکیت‌ها قسمت عمدهٔ این آتشفشان را می‌سازند. در این بین تراکیت‌ها و تراکی آندزیت‌های هورنبلند یا هیپرستن‌دار درصد بیشتری از سنگ‌ها را به خود اختصاص می‌دهد. رنگ سنگ‌های آتشفشانی دماوند بستگی خاصی با مقدار شیشهٔ موجود در زمینهٔ سنگ دارد و سنگ‌های دارای شیشهٔ بیشتر، تیره‌تر و نمونه‌های با شیشهٔ کمتر یا فاقد شیشه غالباً زمینهٔ میکروفلسی روشن‌تر دارد.

میانگین بارندگی در منطقهٔ اطراف کوه دماوند حدود ۴۳۰ میلی‌متر در سال است. در منطقهٔ دماوند بارندگی‌های

شدید در اواخر بهار و اوایل تابستان رخ می‌دهد و باعث وقوع سیلاب‌های مهم می‌گردد. در مجموع ۸۰ درصد بارندگی‌ها در شش ماههٔ آذر تا اردیبهشت اتفاق می‌افتد (مقیم، ۱۳۸۱).

نمونه‌برداری از دو محیط واریزه‌ای و رودخانه‌ای انجام شده است. محیط‌های انتخاب‌شده در این تحقیق در امتداد هم قرارگرفته‌اند، به‌گونه‌ای که واریزهٔ انتخاب‌شده در بالادست مخروط‌افکنه قراردارد و محیط‌های مخروط‌افکنه‌ای نیز تغذیه‌کنندهٔ رسوبات رودخانه‌ای است. بنابراین، می‌توان گفت سنگدانه‌های موجود در محیط‌های مختلف از نظر سنگ‌منشأ مشابه همدیگر و عامل متغیر در آن‌ها فرایندهایی حاکم بر آن‌هاست. شکل ۲ محدودهٔ مورد مطالعه در منطقهٔ دماوند، محیط‌های زمین‌شناسی مختلف و محل‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.



شکل ۲. موقعیت محیط‌های زمین‌شناسی مختلف و محل نمونه‌برداری از سنگدانه‌ها

مواد و روش‌ها

با توجه به اینکه ویژگی‌های سنگ‌شناسی در مقاومت سنگدانه‌ها در برابر سایش نقش بسیار مهمی دارد، برای بررسی رابطهٔ بین میزان تخریب ناشی از تبلور سولفات سدیم و محیط‌های (واریزه و رودخانه) تجمع سنگدانه‌ها باید واریزه‌ها و رودخانه‌هایی را انتخاب کرد که ویژگی‌های سنگ‌شناسی مشابهی دارند. بنابراین، نخستین مرحله در این پژوهش یافتن محدودهٔ وسیعی است که از سنگ‌های مشابه یا یک سازند تشکیل شده است و این محیط‌ها در آن وجود دارد. مناطق پوشیده از سنگ‌های رسوبی با توجه به گسترش جانبی خیلی زیادی که دارند، برای این هدف مناسب‌ترند. در واقع، در این مناطق ممکن است گسترهٔ زیادی از سطح زمین با سازند پوشیده شده باشد. با وجود این، در توده‌های آذرین با گسترش وسیع می‌توان چنین محیط‌های را تشخیص داد.

برای سنگ‌های رسوبی، محدودهٔ شهرستان‌های گیلان‌غرب و سرپل‌ذهاب انتخاب شده است. بخش زیادی از پوشش این منطقه متشکل از سازند آسماری است. نخست، با استفاده از تصاویر ماهواره و نقشه‌های زمین‌شناسی، منطقهٔ مورد نظر برای یافتن محیط‌های رودخانه‌ای، مخروط‌افکنه‌ای و واریزه‌ای دارای حوزهٔ تغذیه‌کنندهٔ رسوب مشابه بررسی شد. در نهایت، سه محل رودخانه‌ای و دو واریزه در محدودهٔ شمال‌غرب دشت دیره برای این پژوهش انتخاب شد. محیط‌های انتخاب‌شده در امتداد همدیگر قراردارند، به‌گونه‌ای که رسوبات موجود در واریزه از طریق کانال‌های

مخروط‌افکنه به درون رودخانه ریخته می‌شود. بنابراین، حوزهٔ تغذیه‌کنندهٔ رسوب در محیط‌های انتخاب‌شده از نظر سنگ‌شناسی مشابه هم است. مهم‌ترین متغیر در آن‌ها شدت و نوع فرایندهای زمین‌شناسی حاکم بر این محیط‌ها مثل هوازدگی و انتقال رسوبات است.

برای سنگ‌های آذرین نیز تودهٔ آتشفشانی دماوند انتخاب شد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی و بازدیدهای میدانی دقیق، دو محیط واریزه‌ای و رودخانه‌ای در محدودهٔ جبههٔ شمالی قلهٔ دماوند انتخاب شد. این محیط‌ها در امتداد همدیگر قرارگرفته‌اند. در بالاترین قسمت، محیط واریزه‌ای واقع شده است که خود تغذیه‌کنندهٔ رسوبات موجود در مخروط‌افکنه است. مخروط‌افکنه نیز به چشمه‌ای دائمی (محیط رودخانه‌ای) ختم می‌شود. بنابراین، در این منطقه نیز به‌طور کلی می‌توان گفت که حوزهٔ بالادست یا تغذیه‌کنندهٔ رسوب در محیط واریزه‌ای و رودخانه‌ای مشابه است.

آزمایش‌های درصد تخلخل، درصد جذب آب و ساندنس مطابق با استاندارد ASTM D2216-10, 1990، ASTM D2216 -10, 1990 و ASTM C 88-99a روی نمونه‌های برداشت‌شده از محیط‌های مختلف انجام شد. در آزمایش ساندنس سولفات بعد از تکرار پنج سیکل چرخهٔ اشباع و خشک‌شدن، میزان افت وزنی با استفاده از الک‌های مشخصی اندازه‌گیری می‌شود. الک‌های مورد استفاده در این استاندارد نظم مشخصی ندارد و گاه از یک الک برای به‌دست‌آوردن میزان افت وزنی دو اندازهٔ متفاوت از سنگدانه‌ها استفاده می‌شود. در این حالت مقایسهٔ میزان تخریب ایجادشده در سنگدانه‌های با اندازه‌های مختلف مشکل و نادرست است. بدین منظور، برای به‌دست‌آورن میزان افت وزنی، از الک پایینی مربوط به هر محدوده از اندازهٔ سنگدانه‌ها و مطابق با جدول ۱ استفاده شد.

جدول ۱. الک‌های مورد استفاده در تعیین افت وزنی ناشی از ساندنس سولفات

محدودهٔ اندازهٔ سنگدانه‌ها	37.5-25 mm	25-19 mm	19- 12.5 mm	12.5-9.5 mm	9.5-4.75 mm	4.75-2.36 (no 8) mm	No8-no16	No16-no30	No30-no50
الک استاندارد برای تعیین افت وزنی	16 mm	16 mm	8mm	8 mm	4 mm	No 8	No 16	No 30	No 50
الک مورد استفاده در این پژوهش برای تعین افت وزنی	25 mm	19 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	No 8	No 16	No 30	No 50

همچنین، درصد سنگدانه‌های دارای ریزترک نیز در نمونه‌های برداشت‌شده بررسی شد. به‌منظور بررسی درزه‌داری سنگدانه‌ها، نخست از محیط‌های رودخانه‌ای و واریزه‌ای مورد مطالعه نمونه‌برداری در سه اندازهٔ مختلف ۲۵–۳۷/۵، ۱۹–۲۵ و ۱۲/۵–۱۶ میلی‌متر انجام شد. نمونه‌های برداشت‌شده در منطقهٔ دیره شامل ۱۵۰ سنگدانه از هر محل نمونه‌برداری (۵۰ سنگدانه برای هر اندازهٔ مختلف) و در منطقهٔ دماوند شامل ۳۰۰ سنگدانه از هر محل نمونه‌برداری است. نحوهٔ برداشت نمونه‌ها بعد از الک‌کردن به‌صورت چهار قسمت‌کردن و به‌صورت تصادفی بوده است (ASTM C 702-98, 2003). بررسی درزه‌داری سنگدانه‌ها با چشم غیرمسلح و بر اساس تعداد سنگدانه‌های دارای درزه از کل سنگدانه‌ها انجام شده است.

در نهایت، نتایج آزمایش‌های به‌دست‌آمده تجزیه‌وتحلیل و به‌صورت قیاسی روابط بین محیط‌های زمین‌شناسی مختلف با مقاومت سایشی سنگدانه‌ها بررسی شد.

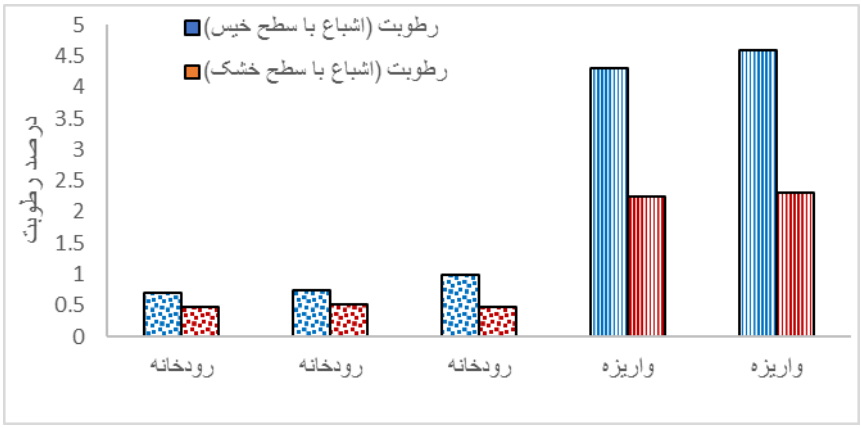
نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی

الف) رطوبت

در این پژوهش رطوبت در حالت اشباع با سطح خیس و سطح خشک برای سنگدانه‌های برداشت‌شده از محیط‌های مختلف در منطقهٔ شمال‌غرب دیره برای سنگدانه‌های در اندازهٔ ۴٫۷۵–۳۷/۵ میلی‌متر مطابق با استاندارد ASTM

D2216 - 10, 1990 به‌دست آمده است. شکل ۳ میزان رطوبت سنگدانه‌ها در حالت اشباع با سطح خیس و حالت اشباع با سطح خشک را در دو محیط واریزه‌ای و رودخانه‌ای واقع در محدودهٔ شمال‌غرب دشت دیره نشان می‌دهد.

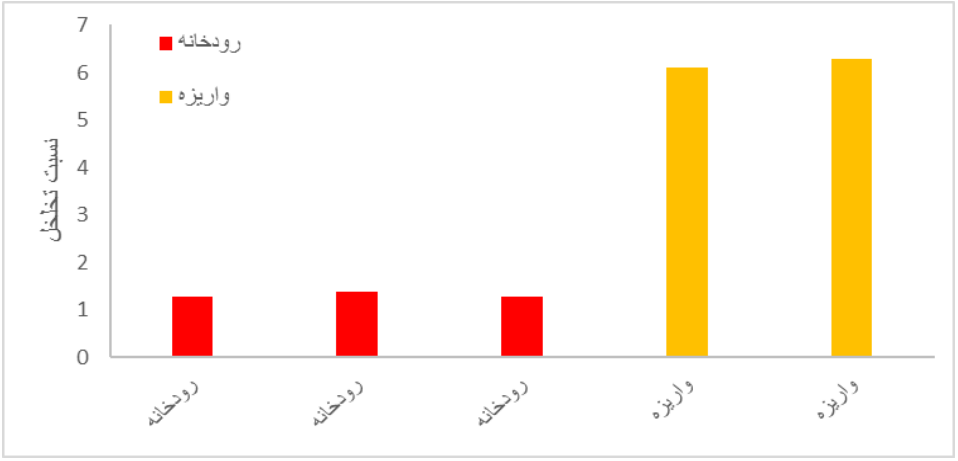


شکل ۳. ارتباط رطوبت در سنگدانه‌های برداشت‌شده از محیط‌های مختلف زمین‌شناسی

نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که درصد رطوبت سنگدانه‌های برداشت‌شده، چه در حالت اشباع با سطح خیس و چه در حالت اشباع با سطح خشک در محیط‌های رودخانه‌ای کمتر از واریزه‌ای است. رطوبت اشباع با سطح خشک متأثر از فضاهای خالی درون سنگدانه‌هاست و رطوبت حالت اشباع با سطح خیس متأثر از تخلخل داخلی و سطحی سنگدانه‌هاست. تخلخل سطحی سنگدانه‌ها ممکن است متأثر از فرایندهای هوازدگی باشد که باعث ایجاد بافت سطحی متخلخل در سطح سنگدانه‌ها می‌شود. در محیط‌های رودخانه‌ای به‌علت فرایند طولانی حمل‌ونقل، سطوح هوازده از بین می‌رود و تخلخل سطحی سنگدانه‌ها کاهش می‌یابد. در نتیجه، رطوبت سطحی آن‌ها کاهش می‌یابد. اما تفاوت در رطوبت اشباع با سطح خشک در محیط‌های مختلف نشان می‌دهد علاوه‌بر هوازدگی سطحی، تخلخل داخلی سنگدانه‌ها نیز متفاوت است. در بررسی این موضوع باید به مسائلی از جمله وجود ریزترک‌های موجود در سنگدانه‌ها اشاره کرد.

ب) تخلخل

در این پژوهش نسبت تخلخل ظاهری سنگدانه‌های برداشت‌شده از محیط‌های مختلف در منطقهٔ دیره برای سنگدانه‌های در اندازهٔ ۴/۷۵–۳۷/۵ میلی‌متر مطابق با استاندارد ASTM D2216 - 10, 1990 به‌دست آمده است. نتایج به‌دست آمده در این زمینه (شکل ۳) نشان می‌دهد که میزان تخلخل در سنگدانه‌های تجمع‌یافته در محیط‌های رودخانه‌ای کمتر از محیط‌های واریزه‌ای است. میزان تخلخل در محیط‌های رودخانه‌ای کمتر از ۲ درصد است، در حالی که در محیط‌های واریزه‌ای تا بیش از ۶ درصد نیز به‌دست آمده است. این نتایج در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل۴. نسبت تخلخل در محیط‌های مختلف زمین‌شناسی

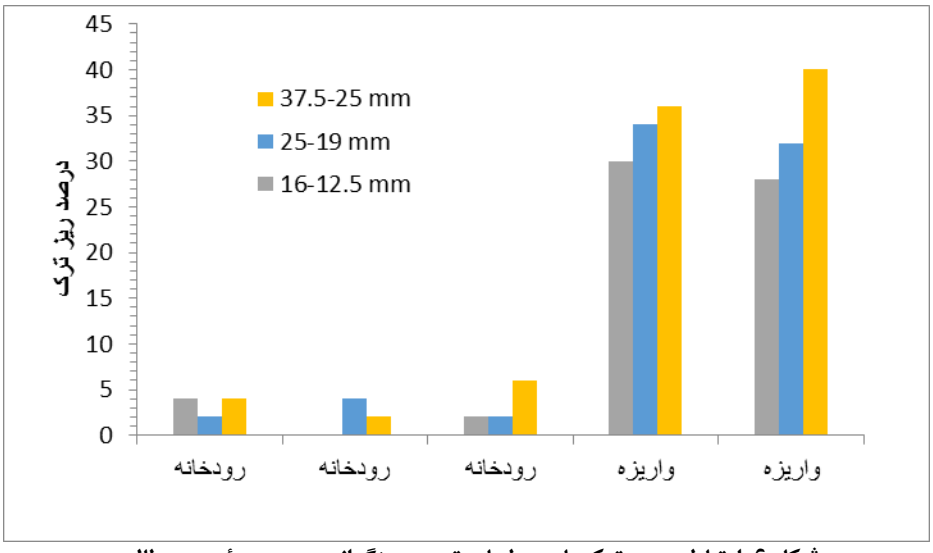
ج) ریزترک‌ها

ریزترک‌ها سطوح ضعیفی است که به‌صورت اولیه در سنگ‌ها وجود دارد یا تحت تأثیر عوامل مختلفی همچون تکتونیک در سنگ ایجاد می‌شود. شکل ۵ نمونه‌هایی از ترک‌های مشاهده‌شده در سنگ‌های آهکی منطقهٔ دیره را نشان می‌دهد.

شکل ۵. نمونه‌هایی از ریزترک در سنگدانه‌ها

منطقهٔ دیره

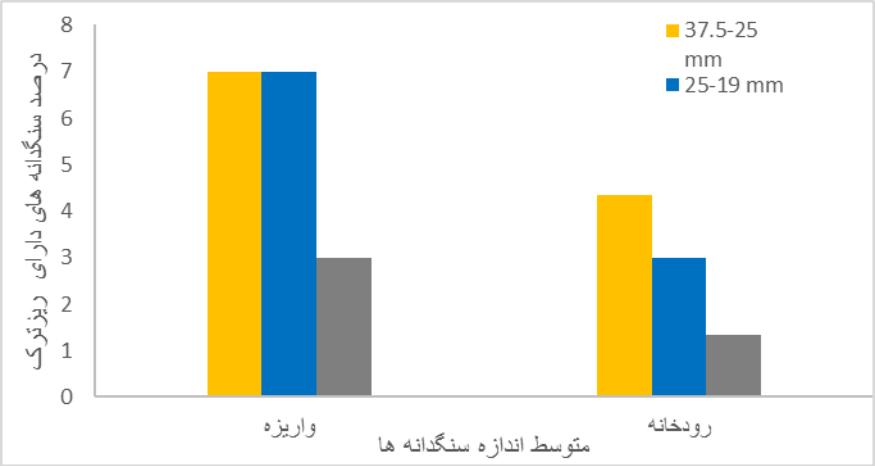
به‌منظور بررسی ارتباط درصد سنگدانه‌های دارای ریزترک با محیط‌های مختلف تجمع آن‌ها، نمونه‌برداری از سه محل رودخانه‌ای و دو واریزه انجام شد. هر نمونه شامل ۱۵۰ سنگدانه در سه اندازهٔ ۳۷/۵–۲۵، ۲۵–۱۹ و ۱۹–۱۲/۵ میلی‌متر (هر اندازه ۵۰ سنگدانه) است. شکل ۶ نتایج به‌دست‌آمده برای ترک‌های موجود در سنگدانه و ارتباط آن با محیط‌های مختلف را نشان می‌دهد. اختلاف بین میزان سنگدانه‌های دارای ریزترک در محیط‌های رودخانه‌ای با واریزه‌ای بسیار زیاد است. در محیط‌های رودخانه‌ای حدود ۵ درصد از سنگدانه‌های مورد بررسی ریزترک دارد، درحالی‌که در محیط‌های واریزه‌ای حدود ۳۵ درصد از سنگدانه دارای ریزترک است.



شکل ۶. ارتباط درصد ترک با محیط‌های تجمع سنگدانه در محدودهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ دماوند

به‌منظور بررسی ارزیابی درصد سنگدانه‌های دارای ریزترک در محیط‌های مختلف در منطقهٔ دماوند، از دو محیط رودخانه‌ای و واریزه‌ای نمونه‌برداری صورت گرفت و به‌صورت چشمی درصد سنگدانه‌های دارای ریزترک مشخص شد. هر نمونه شامل ۳۰۰ سنگدانه و در سه اندازهٔ مختلف ۲۵–۳۷/۵، ۱۹–۲۵ و ۱۲/۵–۱۶ میلی‌متر (هر اندازه ۱۰۰ سنگدانه) است. شکل ۷ میانگین نتایج سه نمونهٔ بررسی‌شده برای هر محیط را نشان می‌دهد. اختلاف بین سنگدانه‌های دارای درزه در محیط‌های مختلف در منطقهٔ دماوند نسبت به منطقهٔ دیره بسیار کمتر است. نکتهٔ دیگری که باید مورد توجه قرارگیرد درصد پایین ریزترک در تمام محیط‌های بررسی‌شده در منطقهٔ دماوند نسبت به منطقهٔ دیره است.



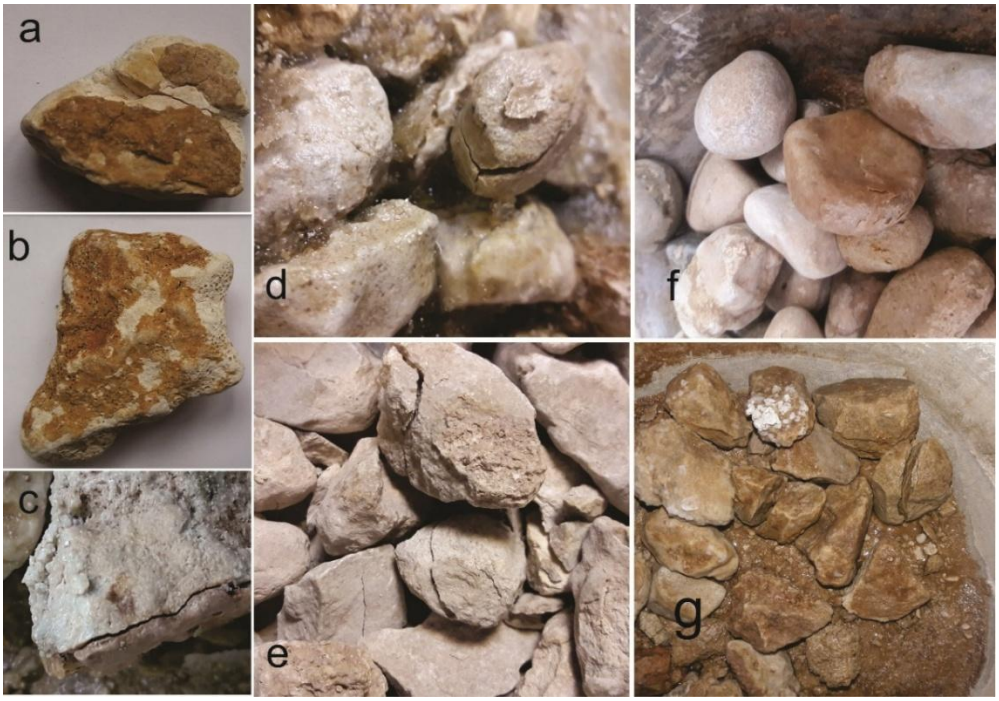
شکل ۷. میانگین درصد سنگدانه‌های دارای ریزترک در همهٔ نمونه‌های برداشت‌شده از هر محیط

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد ویژگی‌های فیزیکی سنگدانه‌ها (در این تحقیق، شامل تخلخل، درصد جذب آب و شدت درزه‌داری) در دو محیط رودخانه‌ای و واریزه‌ای با یکدیگر متفاوت است. با توجه به اینکه در انتخاب محیط‌های رودخانه‌ای و واریزه‌ای به‌گونه‌ای عمل شده است که محل تغذیهٔ رسوب در آن‌ها از نظر سنگ‌شناسی مشابه هم و تفاوت‌های سنگ‌شناسی به مقدار بسیار ناچیزی بر ویژگی‌های سنگدانه‌ها اثرگذار باشد، عامل اصلی تفاوت در ویژگی‌های فیزیکی سنگدانه‌ها فرایندهای زمین‌شناسی است. در محیط‌های رودخانه‌ای، حمل سنگدانه‌ها با آب و به‌صورت غلتیدن ذرات در بستر رودخانه انجام می‌شود. فرایند انتقال سنگدانه‌ها باعث برخورد و ساییده‌شدن ذرات به همدیگر می‌شود. برخورد ذرات با یکدیگر باعث شکسته‌شدن سنگدانه‌ها از محل ریزترک‌ها می‌شود و با شکسته‌شدن ذرات، شدت درزه‌داری آن‌ها کاهش می‌یابد. ساییده‌شدن سنگدانه‌ها به همدیگر و به بستر رودخانه نیز باعث حذف بخش‌های سست و هوازدهٔ سطحی می‌گردد. این تغییرات باعث کاهش تخلخل، درصد جذب آب و کاهش ریزترک‌های موجود در سنگدانه‌ها می‌گردد.

در محیط‌های واریزه‌ای نوع حرکت ذرات عمدتاً توده‌ای و لغزشی است و عامل اصلی انتقال ذرات نیروی ثقل است. در این محیط‌ها، میزان انتقال ذرات بسیار کمتر است و بخش‌های سست، هوازده و سطوح ضعیف ریزترک درون سنگدانه‌ها باقی می‌ماند. این وضعیت باعث می‌شود که سنگدانه‌های تجمع‌یافته در محیط‌های واریزه‌ای دارای تخلخل، درصد جذب آب و میزان ریزترک بیشتری باشد.

آزمایش ساندنس سولفات سدیم

فرایند تبلور سولفات سدیم به‌طرق مختلفی باعث تخریب سنگدانه‌ها می‌شود. کنده‌شدن پوسته‌های هوازده و متخلخل سطح سنگ، تخریب ناشی از فشار تبلور درون حفرات سنگ و شکستن سنگ در امتداد ریزترک‌ها از مهم‌ترین سازوکارهای تخریب سنگدانه‌هاست. در شکل ۸ نمونه‌هایی از سنگدانه‌های تخریب‌شدهٔ ناشی از تبلور سولفات سدیم مشاهده‌شده در این تحقیق نشان داده شده است.



شکل ۸. تخریب سنگدانه‌ها ناشی از تبلور سولفات سدیم a) توسعهٔ ریزترک‌ها و تخریب قسمت‌های هوازدهٔ سطحی سنگدانه‌ها، b) تخریب بخش‌های سست و هوازدهٔ سطحی سنگدانه‌ها، c) کنده‌شدن بخش‌های سست و هوازدهٔ سطحی سنگدانه‌ها، d و e) تخریب و شکسته‌شدن سنگدانه‌ها در طول ریزترک‌های موجود، f) تخریب پوستهٔ نازک و سطحی سنگدانه‌های رودخانه‌ای (میزان تخریب بسیار کم است)، g) تخریب شدید سنگدانه‌های برداشت‌شده از محیط‌های واریزه‌ای

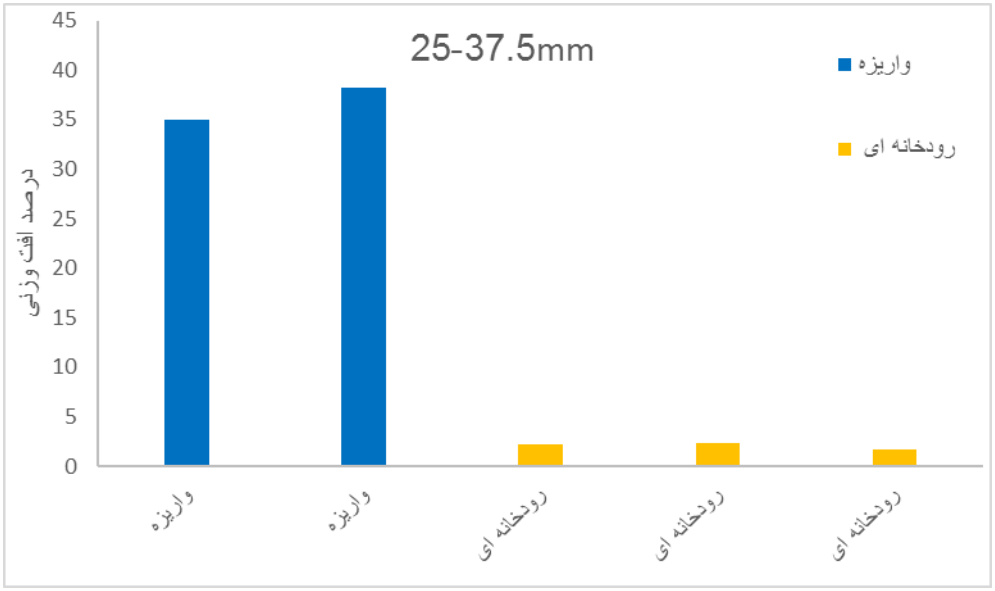
منطقهٔ شمال‌غرب دشت دیره

آزمایش ساندنس مطابق با استاندارد ASTM C 88- 99a روی سه نمونهٔ رودخانه‌ای و دو نمونهٔ واریزه‌ای انجام شده است. به‌منظور افزایش دقت نتایج این آزمایش‌ها از هر محل و برای هر اندازهٔ مختلف دو نمونه تهیه و میانگین دو نتیجهٔ آزمایش ساندنس، افت وزنی ناشی از ساندنس ارائه شده است.

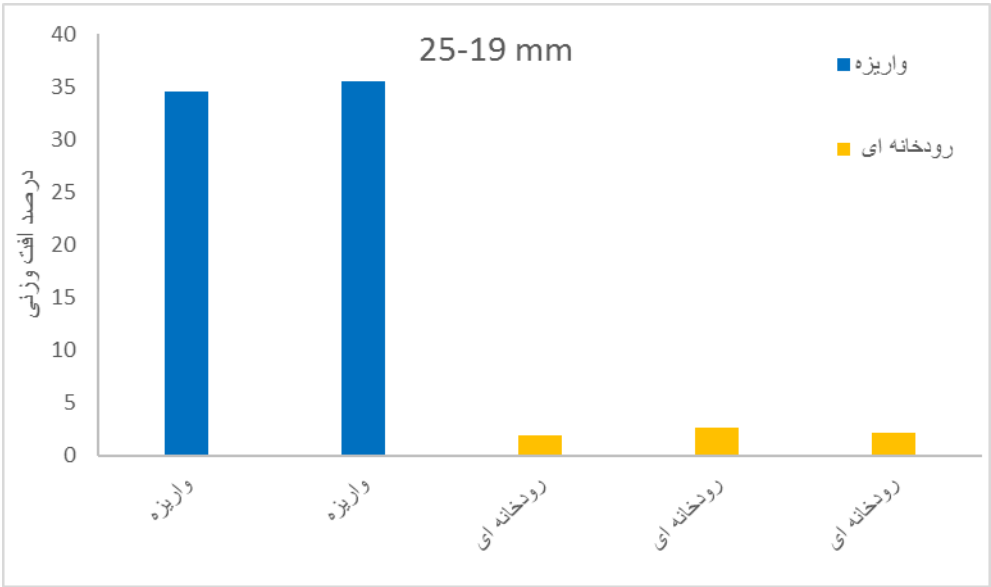
شکل ۹ تا ۱۷ ارتباط میزان افت وزنی ناشی از آزمایش ساندنس را با محیط‌های رودخانه‌ای و واریزه‌ای نشان می‌دهد. بیشترین میزان افت وزنی در محیط‌های واریزه‌ای و کمترین میزان افت وزنی در محیط‌های رودخانه‌ای دیده می‌شود. میزان اختلاف بین افت وزنی ناشی از ساندنس در محیط‌های رودخانه و واریزه‌ای در سنگدانه‌های درشت‌تر بیشتر است و با کاهش اندازهٔ سنگدانه میزان اختلاف کاهش می‌یابد. در سنگدانه‌های با اندازهٔ ۳۷/۵ تا ۲۵ میلی‌متر میزان افت وزنی سنگدانه‌های تجمع‌یافته در محیط‌های رودخانه‌ای حدود ۵ درصد محیط‌های واریزه‌ای است، درحالی‌که در سنگدانه‌های با اندازهٔ ۶۰۰ تا ۳۰۰ میکرون میزان افت وزنی محیط‌های رودخانه‌ای حدود ۳۸ درصد محیط‌های واریزه‌ای است.

فرایند تبلور سولفات سدیم شبیه به یخ‌زدگی است با این تفاوت که در فرایند یخ‌زدگی افزایش حجم ناشی از یخ‌زدگی آب باعث تخریب سنگدانه‌ها می‌شود، اما در فرایند تبلور سولفات سدیم افزایش حجم و رشد بلورهای سوزنی سولفات سدیم باعث تخریب سنگدانه‌ها می‌گردد. در بررسی تفاوت‌های بین میزان افت وزنی ناشی از ساندنس در محیط‌های رودخانه‌ای و واریزه‌ای باید درصد جذب آب و شدت درزه‌داری سنگدانه‌ها را بررسی کرد، چرا که وجود ریزترک‌ها و تخلخل باعث می‌شود که محلول سولفات سدیم به‌راحتی به درون سنگ نفوذ کند و با تبلور بلورهای سوزنی سولفات سدیم فشار زیادی به درون سنگ وارد شود. این فشار داخلی باعث تخریب و خردشدگی سنگدانه می‌گردد. بنابراین، تفاوت در میزان ریزترک‌ها و تخلخل موجود در سنگدانه‌ها باعث تفاوت در میزان افت وزنی ناشی از تبلور سولفات سدیم می‌گردد. نتایج ارائه‌شده در شکل ۴ و ۶ تا ۸ نیز نشان می‌دهد که درصد سنگدانه‌های دارای ریزترک و

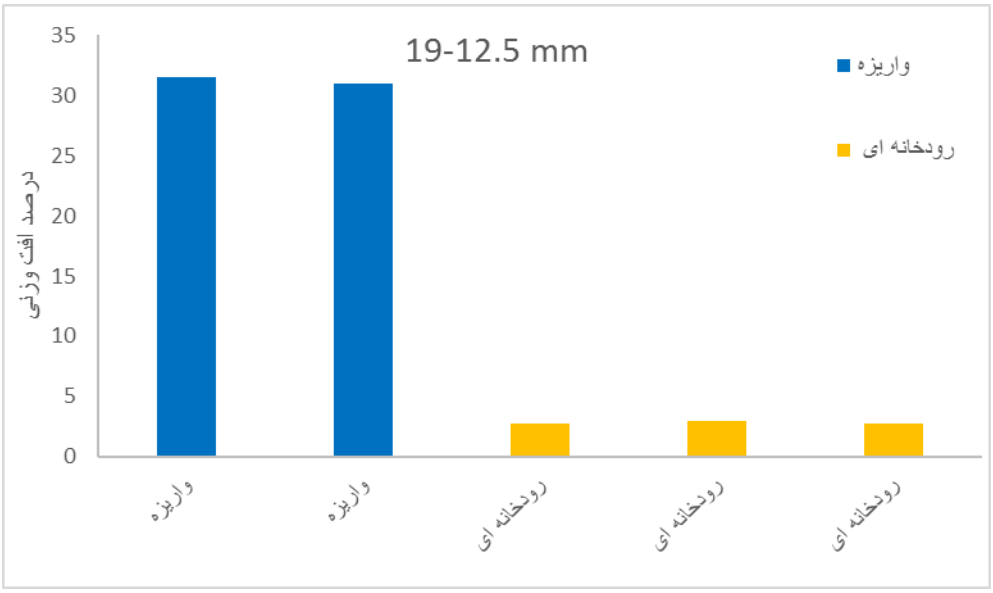
درصد جذب آب در سنگدانه‌های تجمع‌یافته در محیط‌های رودخانه بسیار کمتر از محیط‌هـای واریـزه‌ای اسـت. بنـابراین، عامل اصلی تفاوت در میزان افت وزنی ناشی از تبلور سولفات سدیم در دو محیط رودخانه‌ای و واریزه‌ای، تفاوت در میزان ریزترک‌ها و درصد جذب آب است.



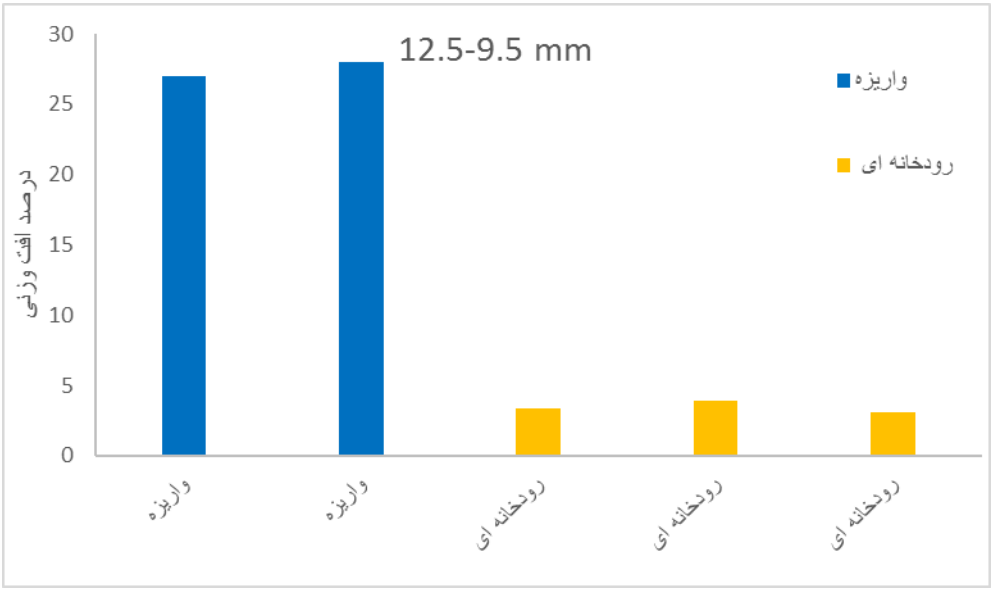
شکل ۹. ارتباط محیط‌های زمین‌شناسی مختلف با میزان افت وزنی ناشی از پنج سیکل ساندنس سولفات سدیم سنگدانه‌های با اندازهٔ ۳۷٫۵-۲۵mm



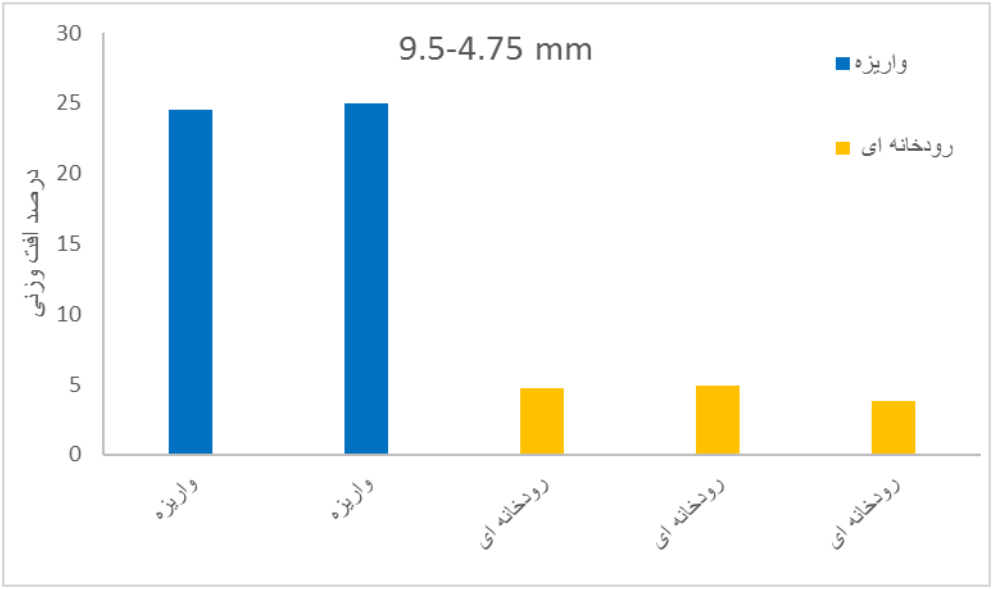
شکل ۱۰. ارتباط محیط‌های زمین‌شناسی مختلف با میزان افت وزنی ناشی از پنج سیکل ساندنس سولفات سدیم سنگدانه‌های با اندازهٔ ۲۵-۱۹mm



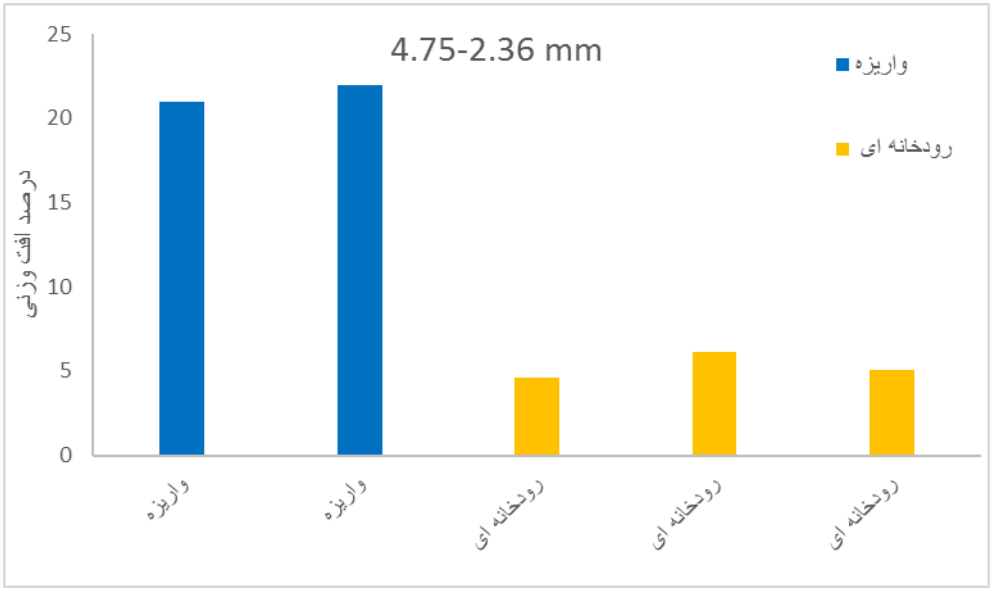
شکل ۱۱. ارتباط محیط‌های زمین‌شناسی مختلف با میزان افت وزنی ناشی از پنج سیکل ساندنس سولفات سدیم سنگدانه‌های با اندازهٔ ۱۹-۱۲,۵mm



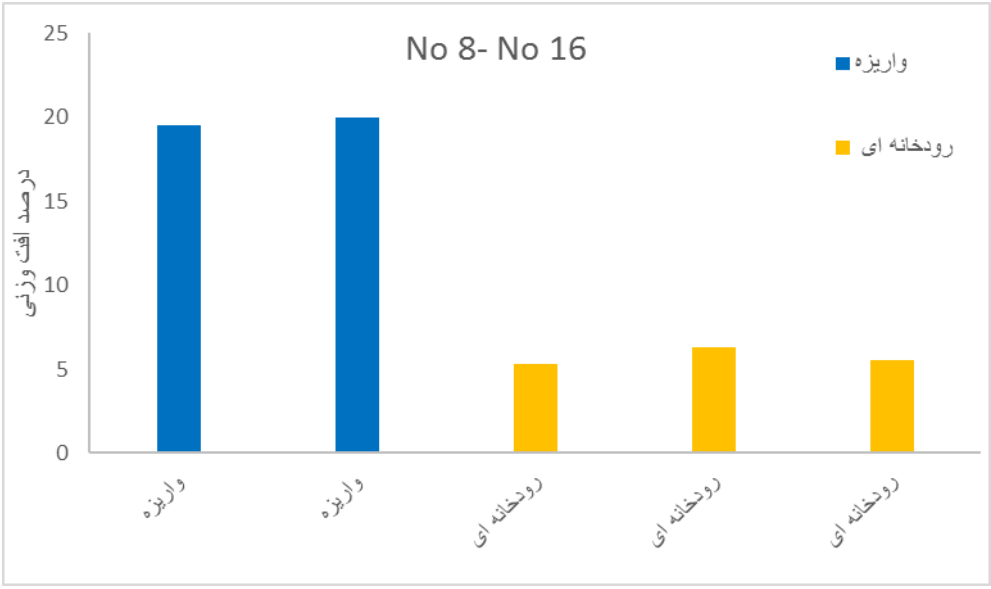
شکل ۱۲. ارتباط محیط‌های زمین‌شناسی مختلف با میزان افت وزنی ناشی از پنج سیکل ساندنس سولفات سدیم سنگدانه‌های با اندازهٔ ۱۲,۵-۹,۵mm



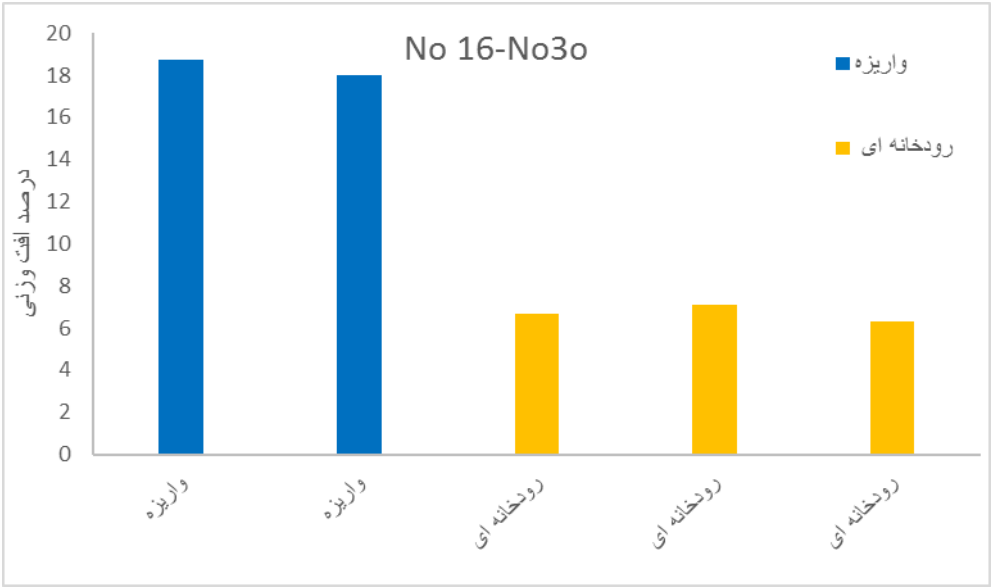
شکل ۱۳. ارتباط محیط‌های زمین‌شناسی مختلف با میزان افت وزنی ناشی از پنج سیکل ساندنس سولفات سدیم سنگدانه‌های با اندازهٔ ۹٫۵-۴٫۷۵mm



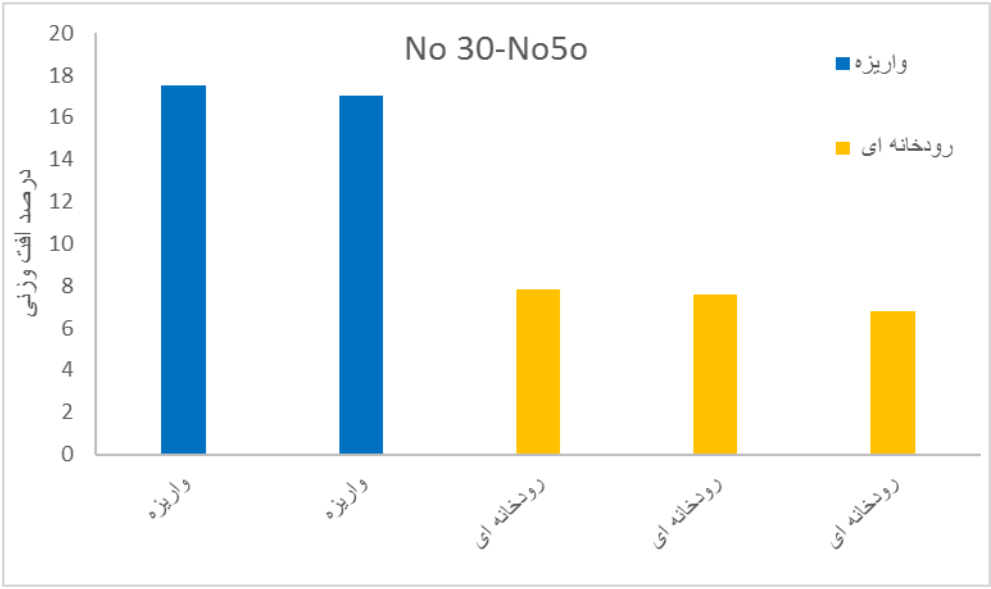
شکل ۱۴. ارتباط محیط‌های زمین‌شناسی مختلف با میزان افت وزنی ناشی از پنج سیکل ساندنس سولفات سدیم سنگدانه‌های با اندازهٔ ۴٫۷۵-۲٫۳۶mm



شکل ۱۵. ارتباط محیط‌های زمین‌شناسی مختلف با میزان افت وزنی ناشی از پنج سیکل ساندنس سولفات سدیم سنگدانه‌های با اندازهٔ No8-No16



شکل ۱۶. ارتباط محیط‌های زمین‌شناسی مختلف با میزان افت وزنی ناشی از پنج سیکل ساندنس سولفات سدیم سنگدانه‌های با اندازهٔ No 16-No30

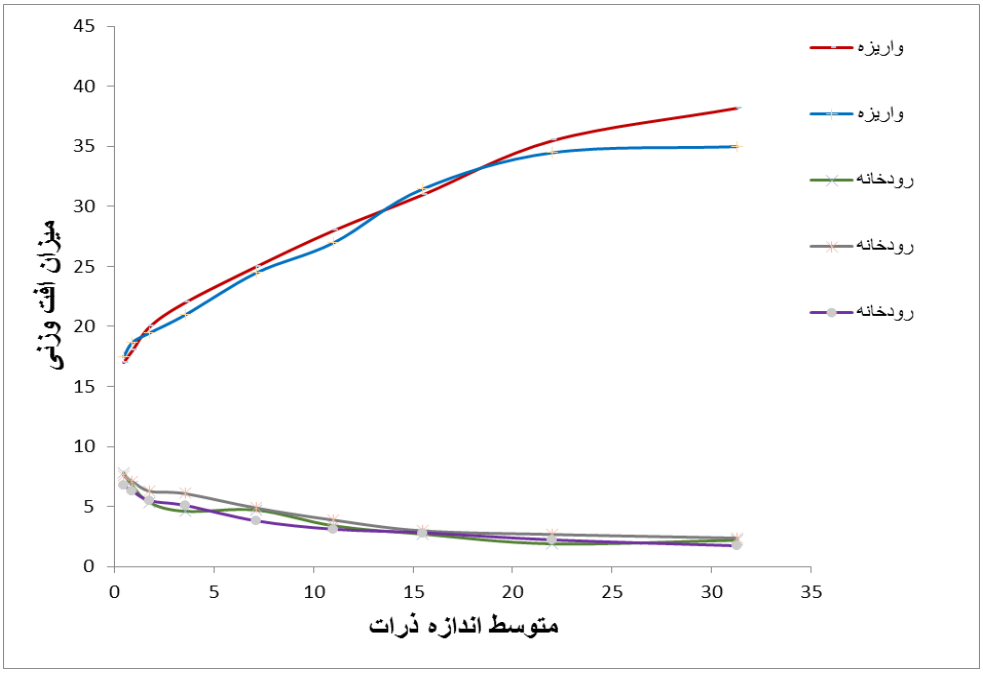


شکل ۱۷. ارتباط محیط‌های زمین‌شناسی مختلف با میزان افت وزنی ناشی از پنج سیکل ساندنس سولفات سدیم سنگدانه‌های با اندازهٔ No30-No50

اندازهٔ سنگدانه‌ها نیز در شدت تخریب ناشی از ساندنس سولفات سدیم مؤثر است. اندازهٔ سنگدانه‌ها از دو طریق میزان افت وزنی ناشی از تبلور سولفات سدیم را کنترل می‌کند. نخست اینکه افزایش اندازهٔ سنگدانه‌ها امکان وجود ناپیوستگی و ریزترک را در سنگدانه افزایش می‌دهد و امکان شکسته‌شدن سنگدانه‌ها در طول صفحات ناپیوستگی و درزه‌ها افزایش می‌یابد. تأثیر دوم این است که با افزایش اندازهٔ سنگدانه‌ها نسبت سطح به حجم سنگدانه‌ها کاهش می‌یابد؛ در نتیجه، تخریب سطحی ناشی از تبلور کاهش می‌یابد. بنابراین، اندازهٔ ذرات دو تأثیر متفاوت بر میزان افت وزنی سنگدانه‌ها خواهد داشت. در این تحقیق ارتباط اندازهٔ سنگدانه‌ها با میزان افت وزنی ناشی آزمایش ساندنس سولفات سدیم بررسی شده است. شکل ۱۸ ارتباط اندازهٔ سنگدانه‌ها با افت وزنی ناشی از ساندنس سولفات سدیم در منطقهٔ دیره را نشان می‌دهد.

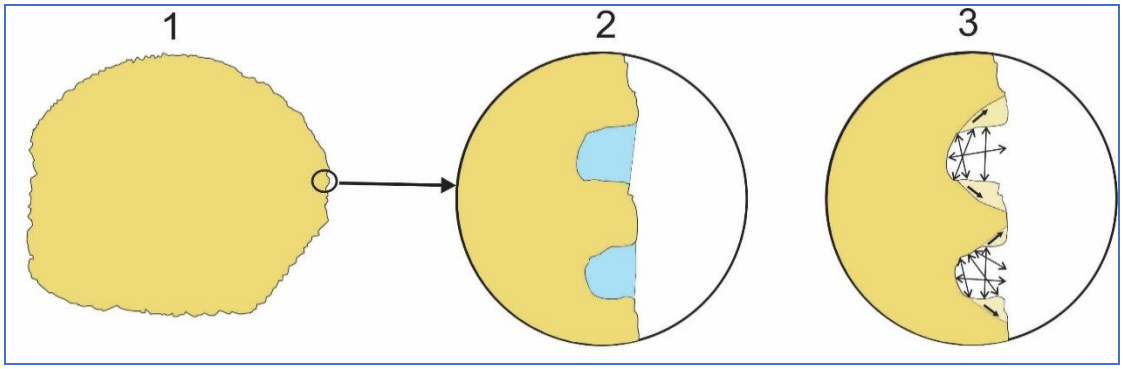
نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد تأثیر اندازهٔ ذرات در دو محیط واریزه‌ای و رودخانه‌ای متفاوت است. در محیط‌های واریزه‌ای با افزایش اندازهٔ ذرات میزان افت وزنی به‌شدت افزایش می‌یابد، در حالی که در محیط‌های رودخانه‌ای با افزایش اندازهٔ ذرات میزان افت وزنی کاهش می‌یابد. در بررسی علت این امر باید گفت که در محیط‌های واریزه‌ای به‌علت درصد زیاد ریزترکی که درون سنگدانه‌ها وجود دارد عامل اصلی کنترل‌کنندهٔ میزان تخریب سنگدانه‌ها، شدت درزه‌داری آن‌هاست که با افزایش اندازهٔ ذرات شدت درزه‌داری نیز افزایش می‌یابد. در این شرایط تأثیر افزایش نسبت سطح به حجم در مقابل تأثیر ریزترک‌ها بسیار کمتر است و عامل اصلی کنترل‌کنندهٔ میزان افت وزنی سنگدانه‌ها شدت درزه‌داری و تخلخل آن‌هاست.

در محیط‌های رودخانه‌ای درصد سنگدانه‌های دارای ریزترک بسیار کم است و ریزترک‌ها در تخریب ناشی از تبلور سولفات سدیم نقش زیادی ندارد. در چنین شرایطی هر چقدر سنگدانه‌ها ریزتر باشد، نسبت سطح به حجم بیشتر است و سولفات سدیم در سطح بیشتری بر سنگدانه اثر می‌کند و باعث تخریب بیشتری نسبت به سنگدانه‌های درشت می‌شود. در این محیط‌ها نیز با افزایش اندازهٔ ذرات درصد ریزترک افزایش می‌یابد، اما تأثیر ریزترک در میزان افت وزنی به‌علت پایین‌بودن میزان ریزترک‌ها بسیار کمتر است. بنابراین، به‌طور کلی می‌توان گفت در محیط‌های رودخانه‌ای ریزترک‌ها نقش مهمی در میزان افت وزنی ناشی تبلور سولفات سدیم ندارد و نسبت سطح به حجم که با اندازهٔ افزایش ذرات کاهش می‌یابد کنترل‌کنندهٔ میزان تخریب ناشی از تبلور سولفات سدیم است.



شکل ۱۸. ارتباط اندازهٔ سنگدانه‌های برداشت‌شده از مخروط‌افکنه‌های مختلف با میزان افت وزنی ناشی از ساندنس سولفات سدیم

رشد بلورهای سوزنی سولفات سدیم حتی باعث تخریب حفرات بازسطحی می‌شود، چرا که در حالتی کـه بلـورهـا عمود بر دو دیوارهٔ حفره رشد کند، باعث ایجاد فشار به سطح حفره می‌شود و به تخریب حفره‌های باز می‌انجامد. در شکل ۱۹ سازوکار تخریب ناشی از تبلور سولفات سدیم در حفرات باز و سطحی سنگدانه‌ها نشان داده شده است.

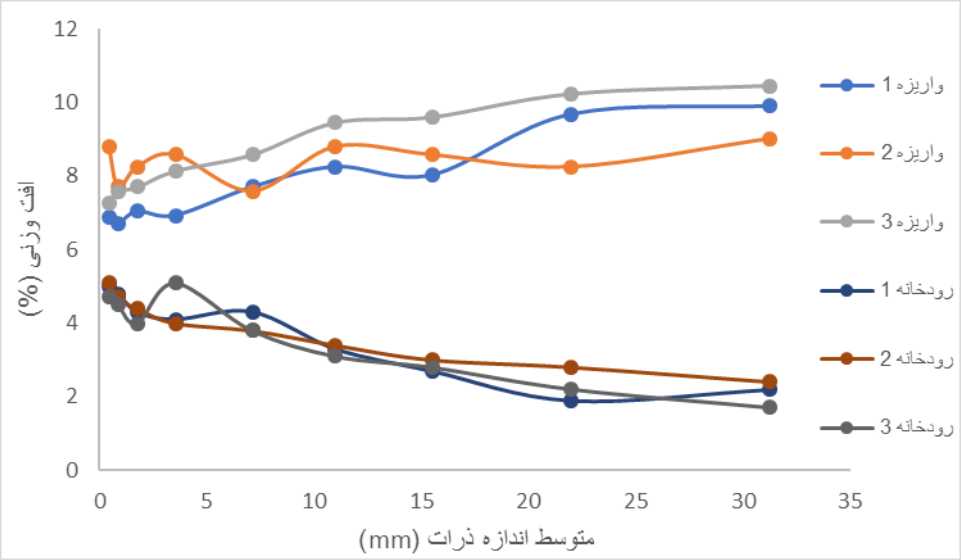


شکل ۱۹. فرایند تبلور سولفات سدیم در حفرات باز سطحی

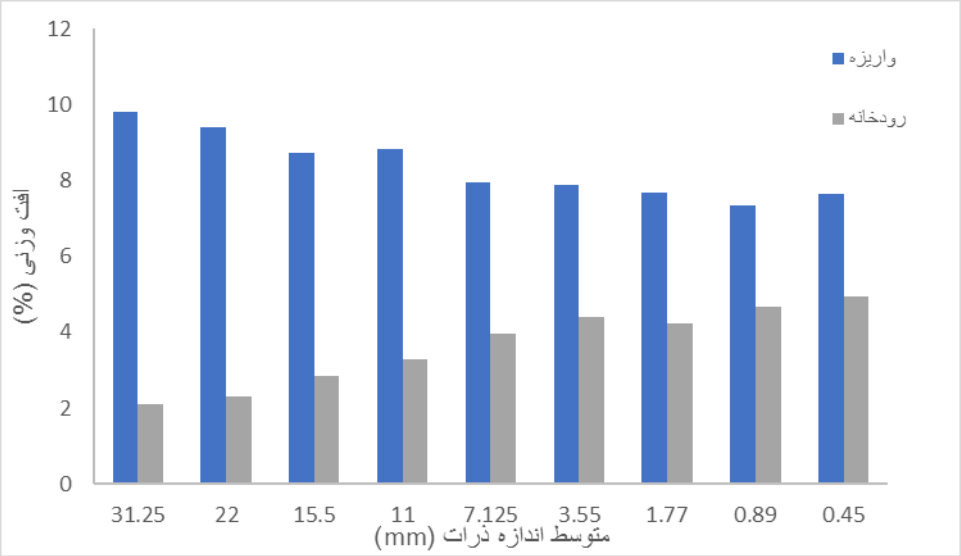
همان‌طور که در شکل ۱۹ مشخص است، بلورهای سوزنی سولفات سدیم در همهٔ جهات رشد دارد و باعث ایجـاد فشار به سطوح داخلی حفرات می‌شود. این فشار قسمت‌های حاشیه‌ای حفرات را تخریب مـی‌کنـد. بنـابراین، بـا افـزایش نسبت سطح به حجم سنگدانه‌ها (کاهش اندازهٔ سنگدانه‌ها) تبلور سولفات سدیم باعث تخریـب بیشـتری در سـنگدانه‌هـا می‌شود.

منطقهٔ دماوند

شکل ۲۰ و ۲۱ نتایج آزمایش‌های ساندنس روی نمونه‌های برداشت‌شـده از دو محـیط واریـزه‌ای و رودخانـه‌ای را نشـان می‌دهد.

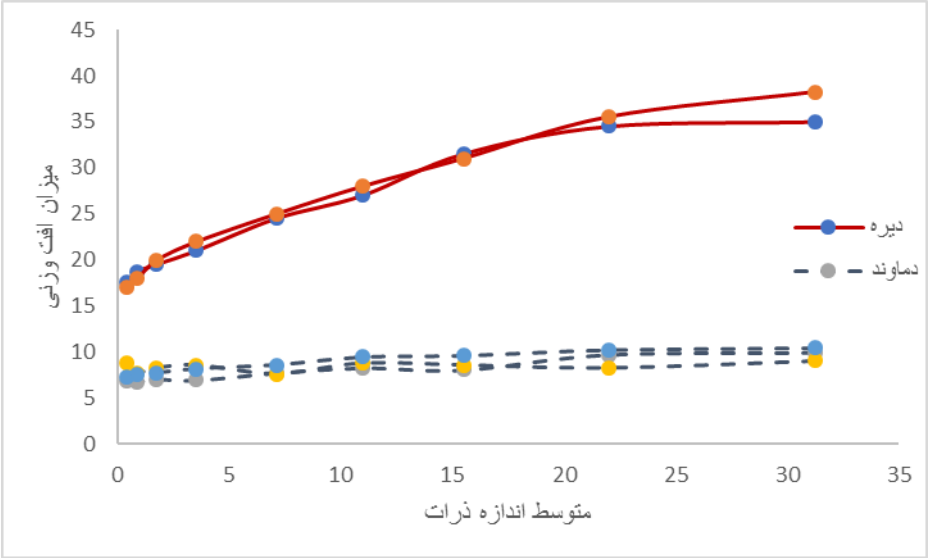


شکل ۲۰. ارتباط میزان افت وزنی ناشی از تبلور سولفات سدیم با محیط‌های مختلف و اندازهٔ ذرات



شکل ۲۱. میانگین میزان افت وزنی سه آزمایش ساندنس در اندازه‌های مختلف

میزان افت وزنی ناشی از ساندنس در سنگدانه‌های منطقهٔ دماوند در مقایسه با سنگدانه‌های منطقهٔ دیره بسیار کمتر است، اما میزان افت وزنی در محیط‌های رودخانه‌ای و واریزه‌ای همچون منطقهٔ دیره متفاوت است. سنگدانه‌های تجمع‌یافته در محیط‌های واریزه‌ای بیشترین میزان افت وزنی و سنگدانه‌های تجمع‌یافته در محیط‌های رودخانه‌ای کمترین میزان افت وزنی را دارد. در این منطقه نیز در محیط‌های رودخانه‌ای با افزایش اندازهٔ سنگدانه‌ها میزان افت وزنی ناشی از تبلور سولفات سدیم کاهش می‌یابد، ولی در محیط‌های واریزه‌ای وضعیت کاملاً متفاوت است و با افزایش اندازهٔ سنگدانه میزان افت وزنی افزایش می‌یابد. با وجود این، مقایسهٔ روند افزایش میزان افت وزنی سنگدانه‌های واریزه‌ای در دو منطقهٔ دماوند و دیره نشان می‌دهد که شدت افزایش میزان افت وزنی با افزایش اندازهٔ ذرات در منطقهٔ دماوند بسیار کمتر از منطقهٔ دیره است. این وضعیت در شکل ۲۲ نشان داده شده است. این موضوع ممکن است به‌علت درصد بسیار کمتر سنگدانه‌های دارای درزه در این منطقه باشد.



شکل ۲۲. مقایسهٔ افزایش میزان افت وزنی با افزایش اندازهٔ ذرات در محیط‌های واریزه‌ای در دو منطقهٔ دیره و دماوند

نتیجه‌گیری

سنگدانه‌های تجمع‌یافته در محیط‌های مختلف کواترنر به‌علت تفاوت در فرایندهای متحمل در زمان تجمع و بعد از آن دارای ویژگی‌های متفاوتی است. به‌منظور بررسی این موضوع رسوبات کواترنری تجمع‌یافته در دو محیط واریزه‌ای و رودخانه‌ای بررسی شد. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که سنگدانه‌های تجمع‌یافته در محیط‌های رودخانه‌ای نسبت محیط‌های واریزه‌ای دارای تخلخل، درصد جذب آب و میزان ریزترک بسیار کمتری است. این تفاوت‌ها ناشی از فرایندهای زمین‌شناسی است که بر محیط‌های رودخانه‌ای و واریزه‌ای حاکم است. در محیط‌های رودخانه‌ای ذرات مسافت بسیار زیادی حمل می‌شود و نوع حرکت آن‌ها بیشتر به‌صورت غلتیدن و تحت تأثیر آب است. حرکت ذرات باعث برخورد سنگدانه‌ها به همدیگر می‌شود. سنگدانه‌ها از محل سست‌ترین سطوح درون خود که ریزترک‌هاست شکسته می‌شود. شکست سنگدانه‌ها باعث کاهش میزان ریزترک درون آن‌ها می‌شود. همچنین، سایش سنگدانه‌ها در بستر رودخانه باعث حذف قسمت‌های سست و هوازدهٔ سنگدانه‌ها می‌شود. در محیط‌های واریزه‌ای نوع حرکت سنگدانه به‌صورت توده‌ای و لغزشی است و مسافت حمل ذرات نسبت به محیط‌های رودخانه‌ای بسیار کوتاه‌تر است و ریزترک‌ها و بخش‌های هوازدهٔ درون سنگدانه‌ها باقی می‌ماند. این عامل، علت اصلی تفاوت در میزان افت وزنی سنگدانه‌های برداشت‌شده از محیط‌های مختلف است.

میزان افت وزنی سنگدانه‌های برداشت‌شده از محیط‌های رودخانه‌ای در دو منطقهٔ دیره و دماوند کمتر از نمونه‌های برداشت‌شده از محیط‌های واریزه‌ای است. میزان افت وزنی سنگدانه‌ها متأثر از اندازهٔ ذرات است. در محیط رودخانه‌ای منطقهٔ دیره، میزان افت وزنی سنگدانه‌هایی با اندازهٔ ۲۵–۳۷/۵ میلی‌متر تنها ۵ درصد میزان افت وزنی سنگدانه‌های برداشت‌شده از محیط‌های واریزه‌ای است، در حالی که در ریزترین سنگدانه‌های مورد مطالعه با اندازهٔ ۶۰۰ تا ۳۰۰ میکرون میزان افت وزنی نمونه‌های برداشت‌شده از محیط‌های رودخانه‌ای حدود ۳۸ درصد محیط‌های واریزه‌ای است. این وضعیت در سنگدانه‌های برداشت‌شده از منطقهٔ دماوند نیز حاکم است، اما شدت اختلاف بین آن‌ها کمتر است. میزان افت وزنی سنگدانه‌های برداشت‌شده از محیط‌های رودخانه‌ای در سنگدانه‌های درشت حدود ۲۱ درصد و در سنگدانه‌های ریز حدود ۶۵ درصد محیط‌های واریزه‌ای است.

در محیط‌های رودخانه‌ای با افزایش اندازهٔ ذرات میزان افت وزنی سنگدانه‌ها کاهش می‌یابد، اما در محیط‌های واریزه‌ای با افزایش اندازهٔ ذرات میزان افت وزنی نیز افزایش می‌یابد. در محیط‌های رودخانه‌ای به‌علت پایین‌بودن میزان درزه‌داری، ریزترک‌ها نقش زیادی در تخریب ناشی از تبلور سولفات سدیم ندارد. در سنگدانه‌های ریز نسبت سطح به حجم بیش از سنگدانه‌های درشت است و تخریب ناشی از تبلور سولفات سدیم در سطح بیشتری از سنگدانه‌ها ایجاد

می‌شود. بنابراین، با افزایش اندازهٔ سنگدانه‌ها میزان تخریب به‌علت کاهش نسبت سطح به حجم کاهش می‌یابد. در محیط‌های واریزه‌ای شدت درزه‌داری سنگدانه‌ها بسیار بیشتر است و ریزترک‌ها مهم‌ترین عامل در تخریب ناشی از تبلور سولفات سدیم است. با افزایش اندازهٔ سنگدانه‌ها، میزان ریزترک و میزان تخریب سنگدانه‌ها افزایش می‌یابد. در این شرایط تأثیر نسبت سطح به حجم در مقایسه با تأثیر ریزترک‌ها بسیار کمتر است.

شدت افزایش میزان افت وزنی با بزرگ‌ترشدن اندازهٔ سنگدانه‌ها در دو منطقهٔ دماوند و دیره متفاوت است. در واریزه‌های منطقهٔ دیره، با افزایش اندازهٔ سنگدانه‌ها، میزان افت وزنی حدود ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد، در حالی که در منطقهٔ دماوند این افزایش حدود ۲۰ درصد است. این تفاوت ناشی از پایین‌تربودن درصد ریزترک‌های موجود در سنگدانه‌های منطقهٔ دماوند است.

منابع

استاندارد ملی ایران، شمارهٔ ۸۴۴۷ (۱۳۸۴). سنگدانه- تعیین مقاومت سنگدانه‌های درشت‌دانه در مقابل سایش و ضربه در دستگاه لوس آنجلس- روش آزمون. مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

استاندارد ملی ایران، شمارهٔ ۴۴۹ (۱۳۸۹). سنگدانه- سلامت سنگدانه‌ها با استفاده از محلول سولفات سدیم یا منیزیم- روش آزمون. مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

امامی، م.ه (۱۳۶۸). آتشفشان دماوند و فعالیت‌های احتمالی آن. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

انتظام، ع. و مهرنوش، م. (۱۳۴۹). زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی دماوند و اطراف آن (البرز مرکزی-ایران). آلن باخ، پتر. سازمان زمین‌شناسی کشور.

جمشیدی، ا. (۱۳۸۸). بررسی پارامترهای مهندسی نمونه‌هایی از سنگ‌های ساختمانی در چرخه‌های مختلف ذوب و انجماد آب. پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

رحیمی، ح. (۱۳۹۱). مصالح ساختمانی. جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران.

مقیم، ع. (۱۳۸۱). کوهنوردی در ایران. تهران، انتشارات روزنه.

Alexander, M. and Mindess, S. (2005). Aggregate in concrete. Taylor & Francis.

Almeida, L.C.R., Marques, E.A.G., Vargas Jr. E.A. and Barros, W.T. (1998). Characterization and utilization of tensile strength and toughness of granitic and gneissic rocks of Rio de Janeiro City—a proposal for optimizing rock blasting processes. In: Moore, D.P, Hungr, O. (Eds.), Proc. 8th Int. Cong. of IAEG, vol. 1. Balkema, Vancouver: 351-357.

ASTM C 702-98 (2003). Standard practice for reducing samples of aggregate to testing size. Annual Book of ASTM Standards, vol. 04.02.

ASTM C 88-99a (1999). Standard test method for soundness of aggregates by use of sodium sulfate or magnesium sulfate.

ASTM D2216-10 (1990). Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass. Annual Book of ASTM Standards, vol. 04.08, Philadelphia, PA.

Bahrami, S. (2013). Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danehkhoshk anticline, Zagros, Iran. Geomorphology, 180-181, 217-230.

Bektas, F., Cai, W. and Wang, K. (2016). Aggregate freezing-thawing performance using the Iowa Pore Index. Center for Transportation Research and Education, Iowa State University.

Benavente, D., Martinez-Martinez, J., Garcia del Cura, M.A. and Can averas, M.A. (2007). The influence of petrophysical properties on the salt weathering of porous building rocks. Environmental Geology, 52: 215-224.

Benavente, D., García del Cura, M.A., Fort, R. and Ordóñez, S. (2004). Durability estimation of porous building stones from pore structure and strength. Engineering Geology, 74: 113-127.

Emami, M.H. (1989). Damavand Volcano and its probable activities. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran. [in Persian]

Entezam, A. and Mehrnosh, A. (1970). Geology and petrology of Damavand and its Neighborhood. Peter Allenbach, P., Geological Survey and Mineral Exploration of Iran. [in Persian]

Espinosa Marzal, R.M. and Scherer, G.W. (2008). Crystallization of sodium sulfate salts in limestone. Environ. Geol., 56: 605-621.

Evans, I.S. (1970). Salt crystallization and rock weathering: A review. Revue Geomorphologie Dynamique, 19: 153-177.

Iranian National Standard, No. 8447 (2005). Aggregate- determination of coarse aggregates resistance to abrasion and impact in Los Angeles Machine. Test way: Institute of Standards & Industrial Research of Iran. [in Persian]

Jamshidi, A. (2009). Evaluation of engineering parameters of some construction materials in different freeze-thaw cycles. MSc Thesis. Tarbiat Modares University. [in Persian]

Karimi, H., Raeisi, E. and Bakalowicz, M. (2005). Characterizing the main karst aquifers of the Alvand basin, Northwest of Zagros, Iran, by a hydrogeochemical approach. Hydrogeology Journal, 13: 787-799.

Kosmatka, S.H. and Wilson, M.L. (2016). Design and control of concrete mixtures. 16th edition, Portland Cement Association.

Moghim, A. (2002). Mountain climbing in Iran. Rowzaneh Publications. [in Persian]

Nicholson, D.T. and Nicholson, F.H. (2000). Physical deterioration of sedimentary rocks subjected to experimental freezing and thawing. Earth Surface Process and Landform, 25:1295-1307.

Rahimi, H. (2012). Construction Materials. Vol. 1. University of Tehran Press. [in Persian]

Ruedrich, J. and Siegesmund, S. (2007). Salt and ice crystallization in porous sandstones. Environmental Geology, 52: 225-249.

Smith, M.R. and Collis, L. (2001). Aggregates: sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes (third edition). The Geological Society London. 339 p.

Stuck, H., Siegesmund, S. and Rudrich, J. (2011). Weathering behavior and construction suitability of dimension stones from the Drei Gleichen area (Thuringia, Germany). Environ. Earth. Sci., 63: 1763-1786.

Thomachot, C. and Jeanette, D. (2002). Evolution of the petrophysical properties of two types of Alsatian sandstone subjected to simulated freeze-thaw conditions. In: Siegesmund S, Weiss T, Vollbrecht A (eds) Natural Stone, Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies. Geological Society, London, Special Publication No. 205: 19-32.

Zedef, V., Kocak, K., Doyen, A., Ozsen, H. and Kekec, B. (2007). Effect of salt crystallization on stones of historical buildings and monuments, Konya, Central Turkey. Building and Environment, 42: 1453-1457.