

پتانسیل کارست‌زایی در سنگ‌های کربناته (مورد مطالعاتی سازند آسماری، جنوب غرب ایران)

محمد فتح‌الهی^{۱*}، محمدرضا نیکودل^۲، ملشالله خامه‌چیان^۳

۱- استادیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم پایه، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳- استاد گروه زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: m.fathollahy@uok.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۷/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۹/۲۶

چکیده

از آنجایی که تمام سازه‌های مهندسی در ارتباط مستقیم با زمین هستند بنابراین لازم است که خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه این سازه‌ها مورد بررسی قرار گیرد. سازه‌های آبی از جمله این سازه‌ها هستند که به علت حضور آب و واکنش بین آب و زمین اهمیت این مطالعات بیشتر می‌شود. سازه‌های آبی بنا شده بر روی سنگ‌های انحلال‌پذیر ممکن است با گسترش و توسعه درز و شکاف‌ها و ایجاد کارست در معرض خطر قرار گیرند. در این نوشتار سعی شده است پتانسیل انحلال و کارست‌زایی سنگ آهک در سرعت آب و دمای متفاوت، با توجه به اندازه اولیه درزه‌ها بررسی شود. روش ارزیابی بر اساس کارهای آزمایشگاهی و روی نمونه‌هایی از مغزه سنگ‌های سازند آسماری، در استان چهارمحال و بختیاری انجام شده است. تحقیقات نشان می‌دهد عوامل مختلفی در چگونگی رفتار درزه‌ها در مقابل جریان آب تأثیر دارند که می‌توان به میزان باز شدگی اولیه درزه‌ها، سرعت جریان، دما، اسیدیته و ... اشاره کرد. در این تحقیق سرعت انحلال درزه‌ها در مقابل جریان آب با باز شدگی‌های متفاوت و در دماهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمایش‌ها نشان‌دهنده رابطه مستقیم بین کاهش دما و افزایش میزان انحلال و رابطه غیرمستقیم بین افزایش میزان باز شدگی و اندازه اولیه دهانه درزه می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد باز شدن و بسته شدن درزه در مقابل عبور جریان آب با شرایط یکسان تحت تأثیر سرعت آب و میزان باز شدگی آن‌ها می‌باشد بطوریکه درزه با باز شدگی ۰/۳ میلی‌متر در سرعت بالا باز شدگی و در سرعت پایین پر شدگی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: انحلال‌پذیری، سنگ کربناته، سازند آسماری، درزه کارست‌زایی.

مقدمه

همان‌طور که میدانیم سازه‌های مهندسی در ارتباط مستقیم با زمین هستند لذا لازم است خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه سازه بررسی شود. اهمیت مطالعات در مورد سازه‌های آبی که روی سنگ‌های انحلال‌پذیر احداث می‌شوند دو چندان می‌شود چرا که انحلال کانی‌های حل‌شونده موجود در پی آن‌ها سبب بروز مشکلاتی مانند افزایش و گسترش درز و شکاف‌ها، عدم کارایی سیستم آب‌بندی، نشست و نهایتاً ناپایداری سازه می‌شود.

چنین مطالعاتی از دیرباز مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است. مطالعات مربوط به انحلال ژپس و انیدریت در پی سازه‌های هیدرولیکی و روش‌های تئوری و تجربی جهت محاسبه انحلال ژپس و انیدریت توسط جیمز و همکاران ارائه شده است (۱۹۷۸)، همچنین جیمز و همکاران (۱۹۸۰) انحلال کانی‌های کربنات کلسیم و هالیت را مورد بررسی قرار داده‌اند. در ادامه جیمز و همکاران (۱۹۸۱) ثابت سرعت انحلال را برای ۱۰ نمونه سنگ محاسبه کردند. در سال ۱۹۸۵ مدلی به منظور بررسی سنگ‌های انحلال‌پذیر مجاور با لایه‌های تراوا ارائه شده است (جیمز و لوپتون ۱۹۸۵). مطالعات مربوط به

مغزه سنگ‌های آهکی برداشت شده از سازند آسماری، مورد بررسی قرار گرفته است.

همچنین در این تحقیق رفتار درزه با بازشدگی ثبت در دماهای مختلف، و بازشدگی و پرشدگی درزه با بازشدگی ثبت در مقابل سرعت مختلف ارزیابی شده است. مطالعات صورت گرفته بر روی نمونه‌ها، در شرایط آزمایشگاهی بوده است، اگر چه شرایط آزمایشگاهی با شرایط طبیعی کاملاً یکسان نمی‌باشد ولی دستیابی به چگونگی رفتار درزه‌ها در برابر جریان آب به طراح این امکان را خواهد داد که با پیش-بینی رفتار سنگ‌ها، با در نظر گرفتن ضریب ایمنی مناسب، طراحی را با تنبیر و درایت بیشتری انجام دهد.

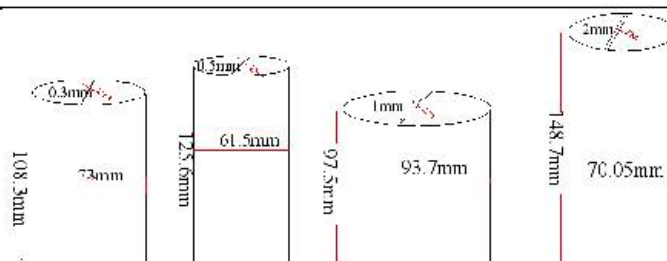
روش تحقیق

در این مطالعات پس از بررسی صحرایی ساختگاه سد مورد مطالعه، مغزه‌های زیر سطحی از سازند آسماری اخذ و به آزمایشگاه منتقل شد. مشخصات این نمونه‌ها در

گسترش درزه‌ها و آبگذری نلشی از انحلال سنگ توسط محقق ایرانی(قبادی، ۱۹۹۷، ۱۳۷۸، ۱۳۶۶) هم مورد بررسی قرار گرفته است و اثر دمای آب بر روی انحلال‌پذیری سنگ‌های کربناته توسط دیگر محقق ایرانی مطالعه شده است(خانلاری، ۱۳۶۸، ۱۹۹۸). در سال ۱۳۶۸ عوامل مؤثر در پدیده انحلال‌پذیری سنگ‌های کربناته ارزیابی شده(صادقی، ۱۳۶۸). همچنین تأثیر ویژگی‌های سنگ‌شناسی بر توسعه عوارض کارستی توسط اشرف و همکاران(۱۳۹۱) و مطالعات دورسنجی کارست زایی توسط غضنفری و همکاران(۱۳۹۴) و عوامل زمین‌شناسی مؤثر در کارست زایی توسط واروجان و همکاران(۲۰۱۶) و کارست زایی سطحی و زیرسطحی در مناطق خشک توسط شکری و همکاران (۲۰۱۶) انجام شده است. در این تحقیق میزان انحلال درزه‌ها با بازشدگی متفلوت(۳/، ۵/، ۱ و ۲ میلی‌متر) در سه مرحله و تحت دمای متفلوت(۵، ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد) با اسیدپتته ثبت ($PH=6-6.5$) و سرعت ایجاد شده توسط فشار ۴ بار بر روی جدول ۱ و ابعاد نسبی آن‌ها در شکل ۱ آمده است.

جدول ۱- ویژگی‌های نمونه‌های مورد آزمایش.

نمونه	طول نمونه (mm)	قطر نمونه (mm)	وزن واحد حجم خشک (gr/cm ³)	نخلخل %	کلسیم %
۱	۱۰۸/۳	۷۳	۲/۶۲	۲/۱۵	۹۴
۲	۱۲۵/۶	۶۱/۵	۲/۶۶	۰/۷۷	۹۳
۳	۹۷/۵	۹۳/۷	۲/۶۸	۲/۸۶	۸۹
۴	۱۴۸/۷	۷۰/۵	۲/۶۷	۱/۶۶	۸۳



شکل ۱- نمایی شماتیک از نمونه‌های استفاده شده در هر مرحله از آزمایش.

از فسیل آهکی وجود دارد. مطالعات کلسیمتری نشان داده است که این نمونه‌ها از درجه خلوص بالایی برخوردارند.

مطالعات پتروگرافی بر روی نمونه‌ها انجام شد، بر اساس این مطالعات تمام نمونه‌ها آهکی بوده و در برخی از آن‌ها درصدی

میلی‌متر (شکل ۲ ب) در آن‌ها ایجاد گردید و پس از کنار هم قرار دادن مجدد نمونه‌های برش داده شده و بستن آن‌ها به وسیله چسب سنگ و بستهای فازی، بطوریکه بازشدگی مکئیکی نداشته باشند، در داخل دستگاه آزمایش انحلال پذیری (سیرکولاسیون) قرار داده شدند.



ب

همچنین خصوصیات فیزیکی نمونه‌های مورد آزمایش اندازه گیری شد.

به منظور مطالعه گسترش درزه‌ها و افزایش میزان آب‌گذری نسبت به زمان پس از برش طولی معزها (شکل ۲ الف) درزه‌هایی با دهانه ثابت ۰/۲ میلی‌متر، ۰/۵ میلی‌متر، ۱ و ۲

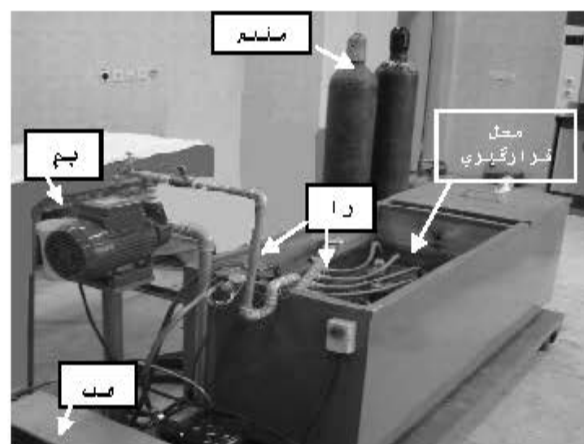


الف

شکل ۲- الف نمایی از نمونه‌های برش داده شده ب: درزه‌های آماده شده جهت انجام آزمایش.

بررسی میزان انحلال درزه‌ها در طی زمان در هر مرحله از آزمایش‌ها، هر ۷ روز یکبار با استفاده از رابطه (۱) میزان بازشدگی اندازه‌گیری شده است. در پایان هر مرحله جهت کنترل داده‌های بدست آمده، بازشدگی محاسبه شده و بازشدگی موجود در نمونه‌ها که با استفاده از ابزار موجود (کولیس) اندازه‌گیری شده کنترل شده است؛ اسپدینه آب در تمام مراحل بین ۶-۶/۵ ثابت نگه داشته شده است. مراحل دیگر این آزمایش‌ها بر روی این نمونه‌ها با پارامترهای ثابت ولی دمای مختلف انجام گرفته است. در شکل ۳ تمایی از دستگاه انحلال‌پذیری نشان داده شده است.

دستگاه انحلال‌پذیری از دو مخزن بزرگ و کوچک، مبرد، منبع گاز CO_2 ، پمپ و لوله‌های رابط تشکیل شده است. در ابتدا و قبل از شروع آزمایش، درزه‌هایی با بازشدگی مذکور ایجاد و در مقابل آب خروجی از لوله‌های دستگاه که دارای سرعت ایجاد شده تحت فشار ۴ بار می‌باشند قرار گرفت. آب مورد استفاده در این آزمایش آب رودخانه خرسان بوده است. آب خروجی از لوله‌های دستگاه به وسیله رابط‌های موجود به درزه‌های ایجاد شده در نمونه‌ها هدایت و از طرف مقابل درزه وارد مخزن می‌شد. سرعت ایجاد شده در نمونه‌ها در خروجی نمونه‌ها با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد. هر مرحله از آزمایش‌ها (تحت هر دما) ۲۱ روز به طول انجامیده است. جهت



شکل ۳- نمایی از دستگاه انحلال پذیری.

محاسبات مربوطه نشان داد شده است. با توجه به نتایج پدست آمده، تمام درزه‌ها افزایش آلودگی از خود نشان می دهند (شکل ۴).

رابطه (۱)

$$Q = V.A.t$$

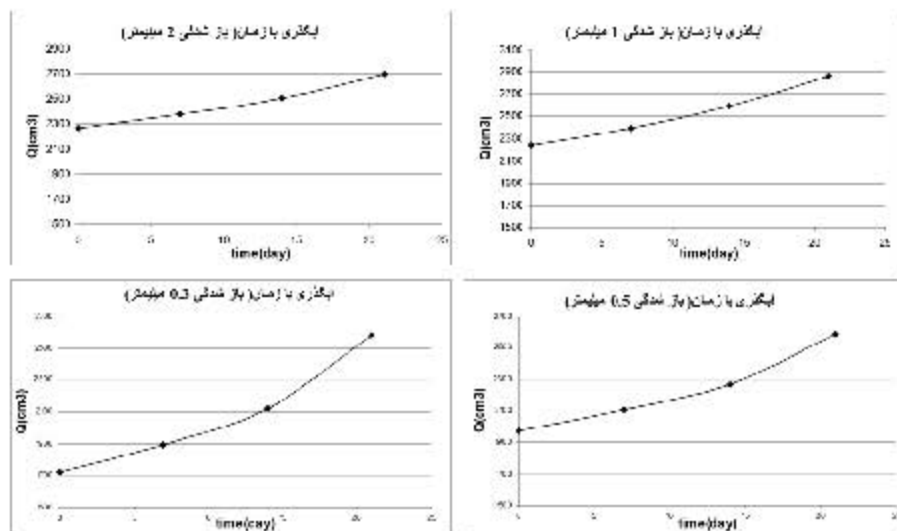
در تمام آزمایش‌ها با مشخص بودن اندازه اولیه درزه و مقدار دی، سرعت آب در ابتدای آزمایش در خروجی نمونه‌ها اندازه گیری شده است. با مشخص بودن سرعت و مقدار دی در مراحل بعدی میزان بازشدگی محاسبه شده است.

بررسی میزان بازشدگی درزه در دمای ۱۵ درجه:

آزمایش تحت سرعت ایجاد شده با فشار ثابت ۴ بار از میان درزه‌ها و در یک سیکل بسته انجام شده است. با تزریق گاز CO_2 اسیدیته آب بین ۶-۶/۵ و دمای آب بین ۱۴-۱۶ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه داشته شد. جهت محاسبه میزان بازشدگی درزه‌ها هر ۷ روز یک بار از درزه‌ها دی گرفته شده و مطابق رابطه (۱) میزان بازشدگی آن‌ها پدست آمده است. در

جدول ۲- اندازه‌گیری آلودگی نمونه با بازشدگی در مرحله اول.

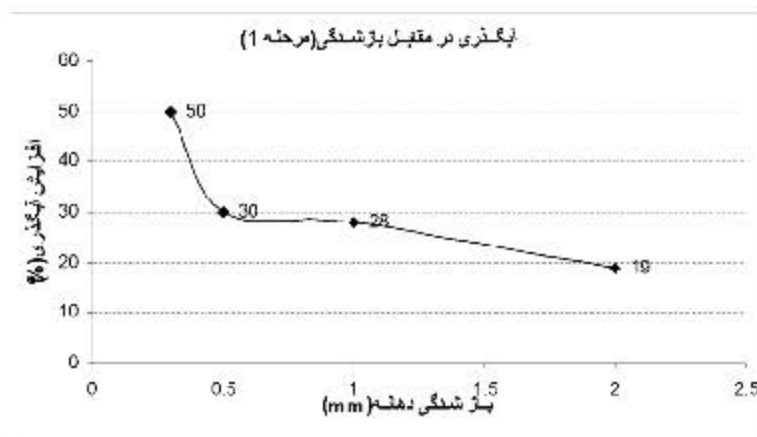
افزایش بازشدگی %	دما ($^{\circ}C$)	دوره اندازه‌گیری (روز)				زمان (s)	بازشدگی اولیه
		۷	۱۴	۲۱	۲۸		
۵	۱۵	۳۹۲۶	۳۹۲۶	۳۹۲۶	۳۹۲۶	سرعت (cm/s)	۱۳mm
		۱۷۲	۱۸۹۱	۲۱۲	۲۵۷۹	دی (cm ³)	
		۱۳	۱۳۳	۱۳۷	۱۴۵	بازشدگی (cm)	
۳	۱۵	۳۲۳/۵۷	۳۲۳/۵۷	۳۲۳/۵۷	۳۲۳/۵۷	سرعت (cm/s)	۱۵mm
		۱۹۷۵	۲۱۹۳	۲۲۶۸	۲۵۸۶	دی (cm ³)	
		۱۵	۱۵۳	۱۵۷	۱۶۵	بازشدگی (cm)	
۲۸	۱۵	۱۱۹/۵۳	۱۱۹/۵۳	۱۱۹/۵۳	۱۱۹/۵۳	سرعت (cm/s)	۱mm
		۲۲۴۵	۲۳۹۷	۲۵۹۸	۲۸۶۷	دی (cm ³)	
		۱۱	۱۱۷	۱۱۶	۱۱۲۸	بازشدگی (cm)	
۱۹	۱۵	۸/۴۹	۸/۴۹	۸/۴۹	۸/۴۹	سرعت (cm/s)	۲mm
		۲۲۷	۲۳۸۳	۲۵۸	۲۷	دی (cm ³)	
		۱۲	۱۲۱	۱۲۲۱	۱۲۳۸	بازشدگی (cm)	



شکل ۴- افزایش آبگذری درزه‌ها با زمان.

با فرض خطی بودن جریان این امر می‌تواند علل متفاوتی داشته باشد که می‌توان به سرعت اولیه و ظرفیت درزه جهت انتقال آب اشاره کرد.

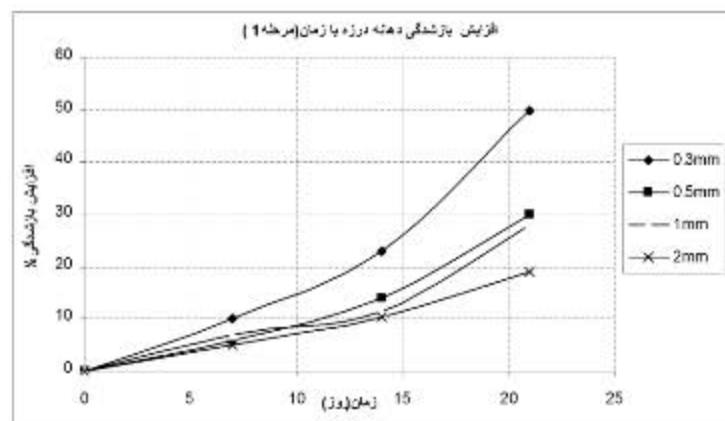
مطالعات نشان می‌دهد که هرچه اندازه اولیه دهانه نمونه کوچک‌تر باشد درصد بازشدگی بیشتر خواهد بود (شکل ۵). این روند در تمام نمونه‌ها دیده می‌شود؛ اگر چه نرخ آن‌ها متفاوت می‌باشد.



شکل ۵- افزایش آبگذری در مقابل بازشدگی اولیه.

که در شکل ۶ دیده می‌شود درزه‌هایی که دارای اندازه اولیه کمتری هستند میزان رشد بیشتری نشان می‌دهند.

میزان افزایش بازشدگی نمونه‌ها در مقابل جریان تحت تأثیر اندازه اولیه آن‌ها بوده بطوریکه هرچه اندازه اولیه درزه‌ها کوچک‌تر باشد مقدار بازشدگی بیشتر خواهد بود. همان‌طور



شکل ۶- رشد درزها با بازشدگی متفاوت در طول زمان.

سرعت آب عبوری از نمونه‌ها بیشتر باشد افزایش آب‌گذری نیز بیشتر خواهد شد (فتح‌اللهی و همکاران، ۱۳۸۶).

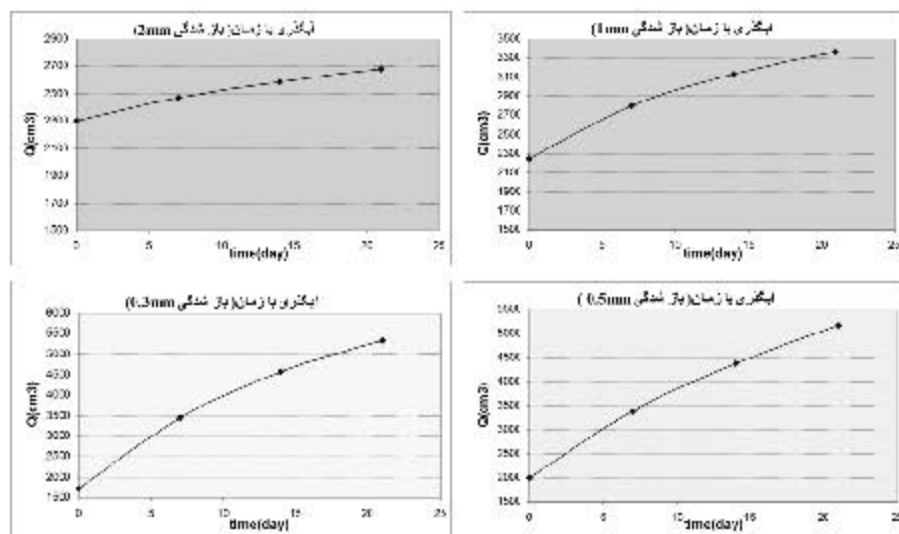
پرسی میزان انحلال درزه در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد مرحله دوم آزمایش‌ها با دمای ۱۰ درجه، $PH = 6-6.5$ و فشار ۴ بار در مدت ۲۱ روز انجام گردید. جهت محاسبه میزان انحلال درزها هر ۷ روز یک بار از درزها دبی گرفته شد و مطابق رابطه ۱ میزان بازشدگی آن‌ها بدست آمده است. در

دبی خروجی شیرهای منتهی به نمونه‌ها دارای مقدار تقریباً یکسانی می‌باشند و می‌توان سرعت خروجی آن‌ها را تقریباً یکسان در نظر گرفت. با استفاده از رابطه (۱) و اندازه مشخص اولیه دهته درزها، سرعت آب خروجی اندازه‌گیری شد. محاسبات نشان‌دهنده سرعت متفاوت برای نمونه‌های مختلف می‌باشد بطوریکه درزهای با دهته کوچک‌تر دارای سرعت بیشتری می‌باشند. تحلیل‌ها بیانگر این مسئله است که هرچه جدول ۳ محاسبات مربوطه و در شکل ۷ تعبیرات آب‌گذری درزها نشان داده شده است.

جدول ۳- اندازه‌گیری آب‌گذری نمونه‌ها در مرحله دوم.

انحلال بازشدگی %	دما (°C)	دوره اندازه‌گیری (روز)				زمان (s)		
		۲۱	۱۴	۷	۰	۲۰		
۲۱۰	۱۰	۲۹۲۶	۲۹۲۶	۲۹۲۶	۲۹۲۶	۲۰	سرعت (cm/s)	۲mm
		۵۳۳۰	۴۵۸۵	۳۴۳۹	۱۷۲۰	۲۰	دبی (cm ³)	
		۰.۰۹۳	۰.۰۸	۰.۰۶	۰.۰۳	۲۰	بازشدگی (cm)	
۱۱۰	۱۰	۲۲۳۵۷	۲۲۳۵۷	۲۲۳۵۷	۲۲۳۵۷	۲۰	سرعت (cm/s)	۱.۵mm
		۵۱۷۳	۴۳۷۸	۳۳۸۲	۱۹۹۰	۲۰	دبی (cm ³)	
		۰.۰۱۳	۰.۰۱۱	۰.۰۰۸۵	۰.۰۰۵	۲۰	بازشدگی (cm)	
۵۰	۱۰	۱۱۹۵۳	۱۱۹۵۳	۱۱۹۵۳	۱۱۹۵۳	۲۰	سرعت (cm/s)	۱mm
		۳۳۶۰	۳۱۶۳	۲۸۰۰	۲۲۴۰	۲۰	دبی (cm ³)	
		۰.۰۱۵	۰.۰۱۴	۰.۰۱۲۵	۰.۰۱	۲۰	بازشدگی (cm)	
۱۶.۵	۱۰	۸۱۵	۸۱۵	۸۱۵	۸۱۵	۲۰	سرعت (cm/s)	۰.۵mm
		۲۶۷۷	۲۵۸۵	۲۴۷۰	۲۳۰۰	۲۰	دبی (cm ³)	
		۰.۰۳۳	۰.۰۳۵	۰.۰۳۱۵	۰.۰۲	۲۰	بازشدگی (cm)	

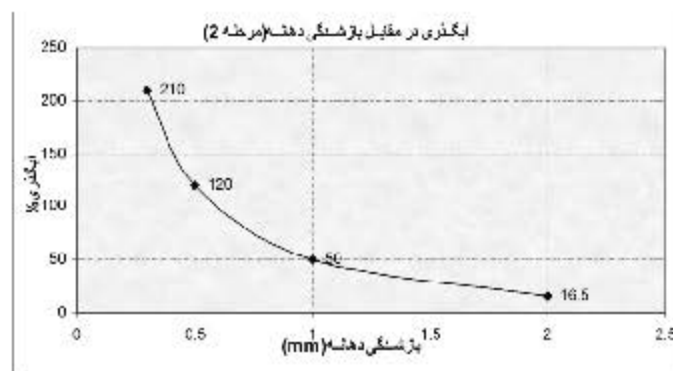
بازشدگی اولیه



شکل ۷- افزایش آبیگری درزه‌ها با زمان در مرحله دوم آزمایش‌ها (دمای ۱۰ درجه).

آبیگری نشان می‌دهند. هرچه اندازه اولیه درزه‌ها کمتر باشد میزان افزایش آبیگری بیشتر است (شکل ۸).

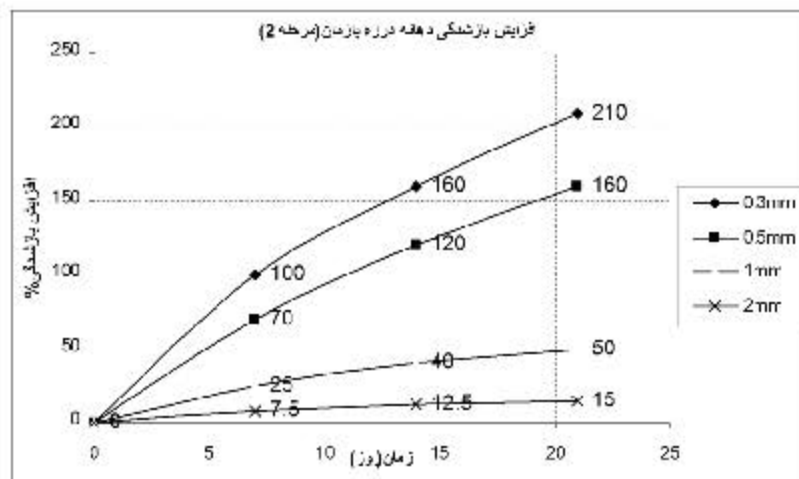
نتایج آزمایش‌ها در مرحله دوم مشابه مرحله اول، اما با نرخ متفاوت می‌باشد چنانچه مشاهده می‌شود تمام درزه‌ها افزایش



شکل ۸- افزایش آبیگری درزه‌ها در مقابل بازشدگی اولیه آن‌ها.

تأثیر دما در یک بازه دمای مشخص (۱۰ تا ۱۵ درجه) بر روی انحلال پذیری آهک باشد. بررسی میزان انحلال درزه در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد مرحله سوم آزمایش‌ها با دمای ۵ درجه سانتی‌گراد، $PH = 6-6.5$ و فشار ۴ بار در مدت ۲۱ روز انجام شده است. نتایج مربوط به این مرحله در جدول و شکل ۱۰ ارائه شده است. مربوطه در جدول ۴ آمده است.

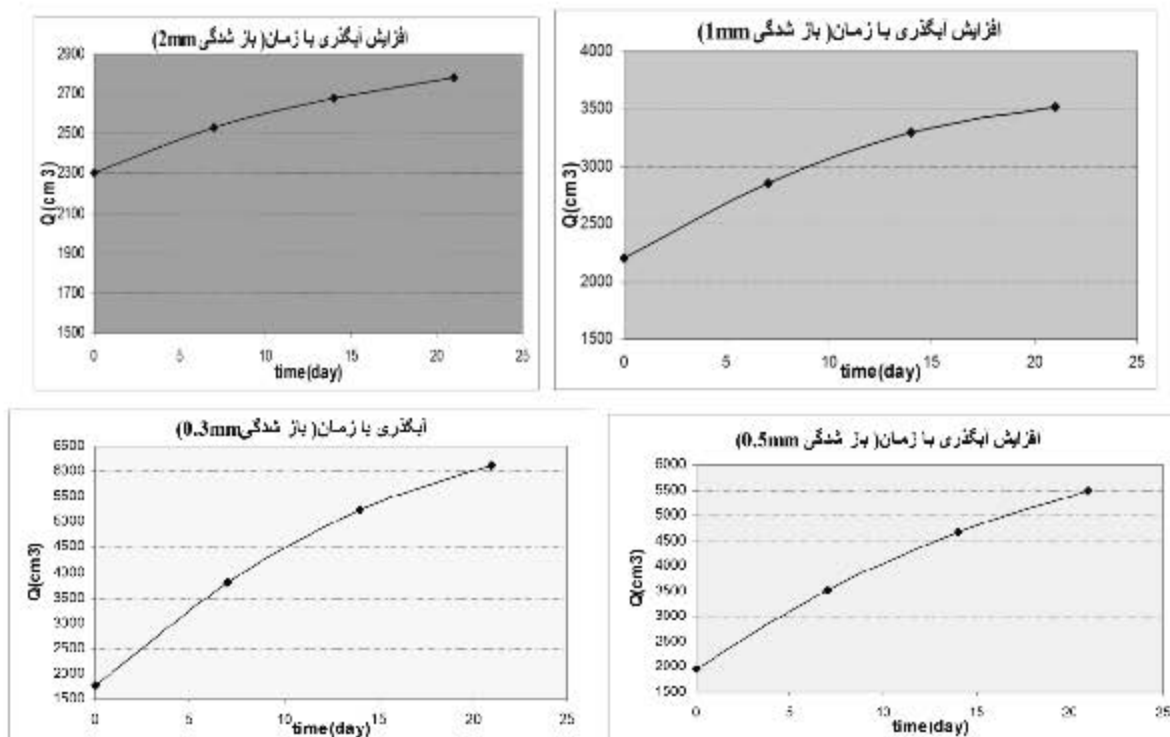
میزان رشد درزه‌ها در مقابل جریان، تحت تأثیر بازشدگی اولیه آن‌ها می‌باشد بطوریکه هرچه اندازه اولیه درزه‌ها کوچک‌تر باشد درزه‌ها با نرخ بیشتری باز خواهند شد (شکل ۹). با مقایسه نتایج بدست آمده از مرحله اول و دوم دیده می‌شود با کاهش ۵ درجه سانتی‌گراد دما، میزان افزایش آبیگری در نمونه‌های مشابه قابل توجه می‌باشد که می‌تواند نشان‌دهنده



شکل ۹- افزایش بازشدگی دوره‌های مختلف در طول زمان.

جدول ۴- اندازه‌گیری آب‌گذری نمونه‌ها در مرحله سوم.

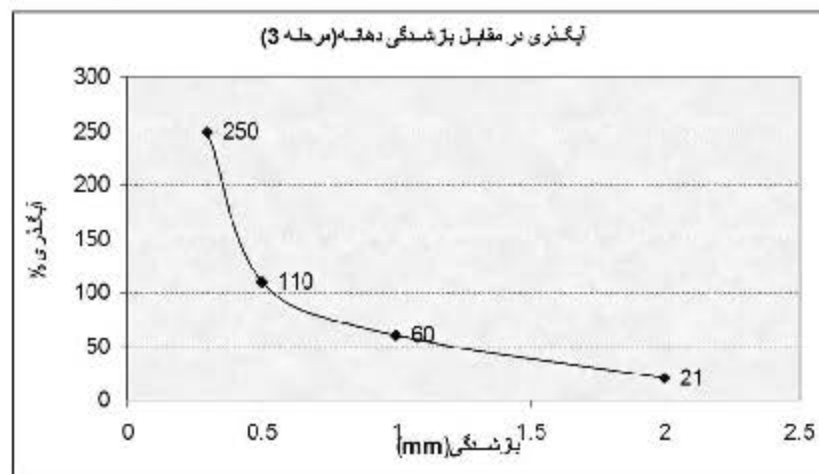
دما ($^{\circ}C$)	افزایش بازشدگی %	دوره اندازه‌گیری (روز)				زمان (s)	
		۲۱	۱۴	۷	۰		
۲۵۰	۵	۳۹۹۵	۳۹۹۵	۳۹۹۵	۳۹۹۵	سرعت (cm/s)	۲۵mm
		۶۱۲۵	۵۲۵۰	۳۷۹۰	۱۷۵۰	دبی (cm^3)	
		۰/۱۰۵	۰/۰۹	۰/۰۶۵	۰/۰۳	بازشدگی (cm)	
۱۲۰	۵	۳۱۷	۳۱۷	۳۱۷	۳۱۷	سرعت (cm/s)	۱۵mm
		۶۱۲۴	۴۶۷۹	۳۷۹۱	۱۹۵۰	دبی (cm^3)	
		۰/۱۱۵	۰/۱۲	۰/۰۹۷	۰/۰۵	بازشدگی (cm)	
۶۰	۵	۱۱۷۴	۱۱۷۴	۱۱۷۴	۱۱۷۴	سرعت (cm/s)	۱mm
		۳۵۲۰	۳۳۰۰	۲۸۶۰	۲۲۰۰	دبی (cm^3)	
		۰/۱۱۶	۰/۱۱۵	۰/۱۱۲	۰/۱	بازشدگی (cm)	
۲۱	۵	۸۱۵	۸۱۵	۸۱۵	۸۱۵	سرعت (cm/s)	۲mm
		۲۷۸۰	۲۶۷۷	۲۵۲۸	۲۳۰۰	دبی (cm^3)	
		۰/۲۴۲	۰/۲۳۲	۰/۲۲	۰/۲	بازشدگی (cm)	



شکل ۱۰- افزایش آبگذری درزه‌ها با زمان در مرحله سوم آزمایش‌ها (دمای ۵ درجه سانتی‌گراد).

درجه و سرعت کم (26 cm/s) نشان داد که درزه‌های ۰/۵ تا ۲ میلی‌متر دارای افزایش بازشدگی ۲ تا ۱۰ درصد می‌باشند. همچنین مطالعات خلاری (1368) در دمای ۵-۰ درجه و pH ۶/۵-۶ نشان داد که درزه‌های ۱ تا ۲/۵ میلی‌متری دارای افزایش ۱۶ تا ۱- درصد می‌باشند.

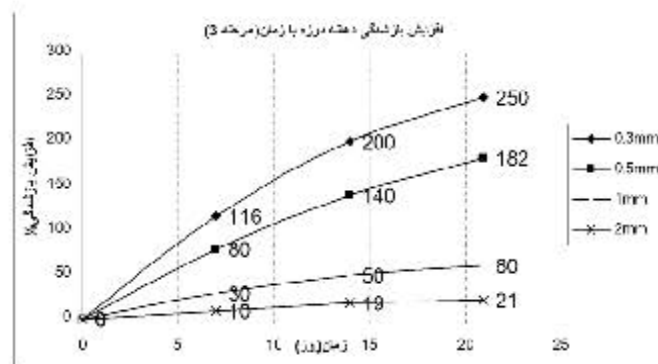
نتایج آزمایش‌ها در مرحله سوم مشابه مراحل قبلی، اما با نرخ متفاوت می‌باشد چنانچه مشاهده می‌شود در تمام مراحل درزه‌ها افزایش آبگذری نشان می‌دهند. هرچه اندازه اولیه درزه‌ها کمتر باشد میزان افزایش آبگذری بیشتر است (شکل ۱۱). مطالعات انجام شده توسط قبادی (1366)، در دمای ۵



شکل ۱۱- افزایش آبگذری درزه‌ها در مقابل بازشدگی اولیه آن‌ها.

همان‌طور که در مراحل قبلی هم مشاهده شد میزان رشد درزه‌ها تحت تأثیر بازشدگی اولیه آن‌ها می‌باشد بطوریکه بود (شکل ۱۲).

هرچه اندازه اولیه آن‌ها کمتر باشد رشد آن‌ها بیشتر خواهد بود (شکل ۱۲).

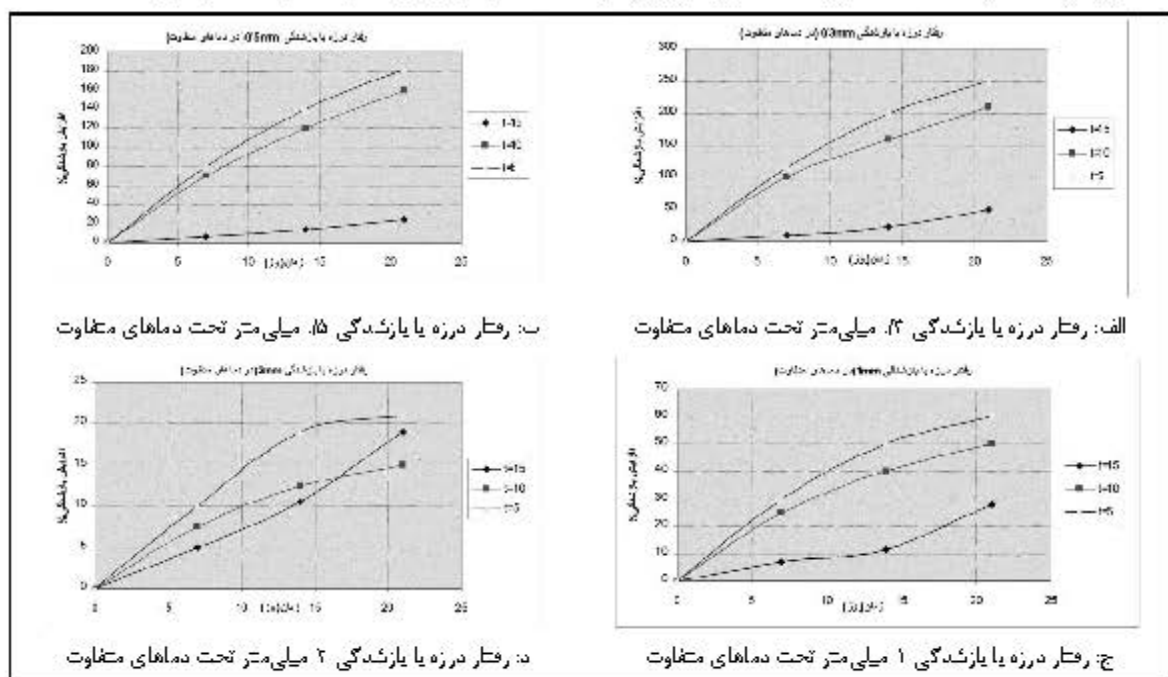


شکل ۱۲- افزایش پلازندگی درزها در طول زمان در دمای ۵ درجه سانتی گراد.

شکل ۱۳ زیر نشان داده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده درزها با باززدگی مشخص تحت شرایط یکسان در دمای پایین‌تر باززدگی بیشتری نشان می‌دهند.

تأثیر دما بر میزان باززدگی

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که رفتار یک درزه با باززدگی مشخص در دماهای مختلف، متفاوت است. این موضوع در

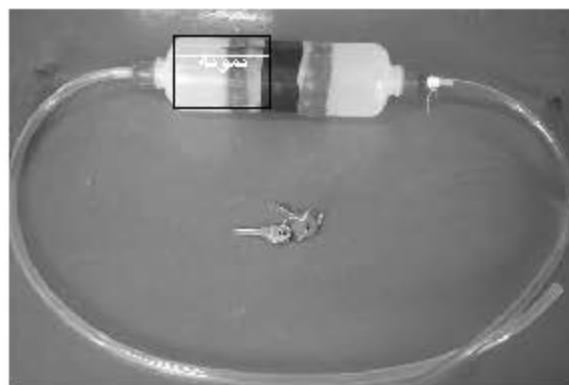


شکل ۱۳- رفتار درزه با باززدگی اولیه متفاوت در دماهای مختلف.

آزمایش آبیگذری با سرعت کم

به منظور بررسی رفتار درزه‌های با باززدگی کم در مقابل سرعت جریان پایین یک نمونه با باززدگی ۰/۳ میلی‌متر آماده گردید (شکل ۱۴). در این آزمایش جریانی با سرعت ۲۸/۵۷ سانتیمتر بر ثانیه ایجاد و در یک سیکل بسته به مدت ۴۵ روز از درزه ایجاد شده گذر داده شد. آب مورد استفاده به حجم سه لیتر از آب محل سد و آزمایش تحت دمای محیط آزمایشگاه انجام شده است. در

جدول ۵ مشخصات نمونه و شرایط آزمایش آمده است.

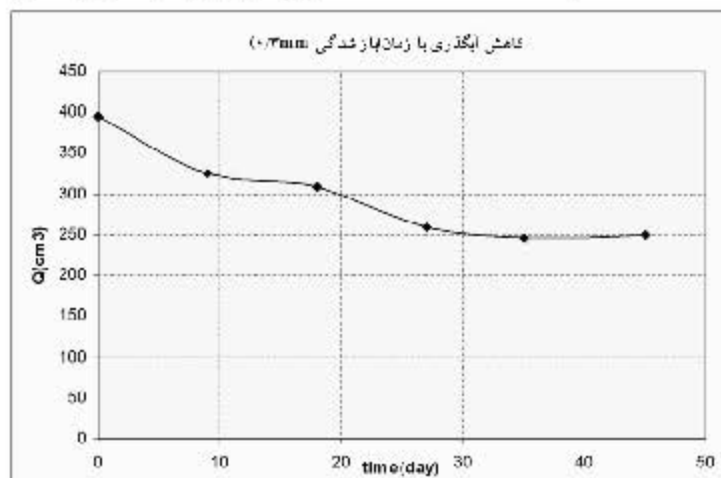


شکل ۱۴- آماده‌سازی نمونه جهت انجام آزمایش با سرعت کم در درزه با بازشدگی ۰/۳ میلی‌متر.

جدول ۵- مشخصات نمونه و شرایط آزمایش در آزمایش آبگذری با سرعت پایین.

نمونه	اندازه بازشدگی (mm)	سرعت جریان (cm/s)	طول نمونه (mm)	قطر نمونه (mm)	زمان آزمایش (روز)	دمای آزمایش (°C)
۱	۰.۳	۲۸/۲۷	۱۰۰	۷۰	۴۵	۲۵

نتایج نشان می‌دهد که نمونه مذکور بعد از گذشت ۴۵ روز، قیادی (۱۳۶۶) نشان داد که در سرعت cm/s ۲۶، درزه ۰/۳ میلی‌متری پس از ۲۰ روز مسدود شد. ۳۹ درصد کاهش آبگذری داشته است (شکل ۱۵). مطالعات



شکل ۱۵- رفتار درزه با بازشدگی کم در مقابل جریان آب.

درزه (بازشدگی و پرشدگی) تأثیر داشته باشد که از مهمترین آن‌ها می‌توان به سرعت جریان، بازشدگی اولیه، دما و غیره اشاره کرد. همان‌طور که در این تحقیق مشاهده گردید درزه با بازشدگی ۰/۳ میلی‌متر در مقابل سرعت جریان‌های مختلف می‌تواند دو رفتار متفاوت یعنی بازشدگی و پرشدگی نشان

همان‌طور که در شکل دیده می‌شود درزه با بازشدگی ۰/۳ میلی‌متر با گذشت زمان کاهش آبگذری نشان می‌دهد. رسوب مواد معالق موجود در آب از طرفی و کاهش قدرت خوردگی آب در مقایسه با سرعت زیاد، می‌تواند از عوامل مؤثر در کاهش آبگذری باشد. عوامل متعددی وجود دارند که می‌تواند بر رفتار

۵ درجه به ترتیب ۳۰٪، ۱۱۰٪ و ۱۲۰٪، درزه ۱ میلی متری ۲۸٪، ۵۰٪ و ۶۰٪ و درزه ۲ میلی متری ۱۹٪، ۱۶/۵٪ و ۲۱٪. افزایش آبگذری نشان می دهد. با توجه به اطلاعات ارائه شده درزه ۰/۳ میلی متری تحت سرعت بالای جریان افزایش آبگذری و با سرعت پایین و تحت دمای آزمایشگاه در مقابل سرعت جریان کم رفتار پرتاز پرتازگی از خود نشان می دهد و این رفتار برای شرایط آزمایش ذکر شده ۳۹٪ در طول ۴۵ روز می باشد.

منابع

- اشرف، ط.، میراب شبستری، غ.، اعتباری، ب.، ۱۳۹۲. بررسی تأثیر ویژگی های سنگ شناسی بر توسعه عوارض کارستی در واحدهای سنگی کربناته رشته کوه شتری، شرق ایران. نشریه رخساره های رسوبی، ۱۶(۱)، ۱-۱۸.
- خانلری، غ.، ۱۳۶۸. شناخت عوامل مؤثر در گسترش پدیده کارستی شدن سنگ های کربناته کبوترآهنگ - علیصدر. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس. ۲۷۴ ص.
- صادقی، ح.، ۱۳۶۸. شناخت عوامل مؤثر در گسترش پدیده انحلال پذیری سنگ های کربناته فارس - سد کوار. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس. ۳۰۴ ص.
- غضنفری، پ.، بختیاری، م.، جلالی، ن.، ۱۳۹۴. کارست زایی سنگ های کربناته با بهره گیری از GIS و RS در منطقه الموت، شمال قزوین. فصلنامه کوانترنی ایران، دوره ۱، شماره ۴، ۳۵۲-۳۳۹.
- فتح اللهی، م.، و همکاران، ۱۳۸۶. بررسی اثر بازشدگی دهانه درزه ها بر روی میزان انحلال پذیری. یازدهمین همایش زمین شناسی ایران، شهر یور، مشهد.
- قبادی، م.، ح.، ۱۳۶۶. مطالعه پدیده انحلال و تزریق در توده سنگ های آهکی لار. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس. ۲۳۱ ص.
- قبادی، م.، ح.، ۱۳۷۸. عوامل کنترل کننده انحلال در سنگ های کربناته. مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۵.

دهد. از آنجایی که درزه با بازشدگی مذکور در دماهای متفاوت در مقابل جریان با نرخ متفاوتی باز می شود انتظار می رود که دما در بازشدگی و پرتازگی هم مؤثر باشد.

نتیجه گیری:

گسترش وسیع سنگ های کربناته ایجاب می نماید که قبل از اقدام به احداث سازه های آبی میزان انحلال پذیری سنگ های ساختمانی مورد توجه قرار گیرد؛ با اطلاع از نحوه انحلال می توان تدابیر لازم و احتیاط لازم را در طراحی انجام داد. اهمیت این تحقیق در این است که در تحقیقات قبلی رفتار درزه ها در مقابل عبور جریان در سرعت جریان پایین انجام شده است در حالی که در این تحقیق رفتار درزه ها در سرعت بالای جریان که می تواند در شرایط مشابه با ساختمانی سدهای بلند ایجاد شود صورت گرفته است. در تحقیق انجام شده مطالعات مربوط به گسترش درزه ها و آبگذری نشان داد که تحت شرایط آزمایش (فشار ۴ بار، $PH=6-6/5$ و دمای ۵ تا ۱۵ درجه) تمام درزه ها بازتر خواهند شد. در دمای ۱۵ درجه درزه ۰/۳ میلی متری به ۰/۴۵ میلی متر، درزه ۰/۵ میلی متری به ۰/۶۵ میلی متر، درزه ۱ میلی متری به ۱/۲۸ میلی متر و درزه ۲ میلی متری به ۲/۳۸ میلی متر تبدیل شد. تحت دمای ۱۰ درجه درزه ۰/۳ میلی متری به ۰/۹۷ میلی متر، درزه ۰/۵ میلی متری به ۱/۳ میلی متر، درزه ۱ میلی متری به ۱/۵ میلی متر و درزه ۲ میلی متر به ۲/۳۳ میلی متر تبدیل شد. و در مرحله سوم یعنی تحت دمای ۵ درجه سانتی گراد درزه ۰/۳ میلی متری به ۱/۰۵ میلی متر، درزه ۰/۵ میلی متری به ۱/۴۵ میلی متر، درزه ۱ میلی متری به ۱/۶ میلی متر و درزه ۲ میلی متری به ۲/۴۲ میلی متر تبدیل شد. همچنین نتایج آزمایش ها نشان می دهند که درزه ها در درجه حرارت پایین تر تحت شرایط یکسان میزان بازشدگی بیشتری از خود نشان می دهند؛ بطوریکه درزه با بازشدگی ۰/۳ میلی متر در دمای ۱۵ درجه ۵۰٪، در دمای ۱۰ درجه ۲۱۰٪ و در دمای ۵ درجه ۲۵۰٪، درزه با بازشدگی ۰/۵ میلی متر در دماهای ۱۵، ۱۰ و

- international Association of Engineering Geology, Vol. 24, 19-25.
- James, A. N., Lupton, A.r.r.1985. Further studies of the dissolution of soluble rocks. *Geotechnic*, 205-210.
- Khanlari, G. r. 1998. The effect of water temperature on solubility of carbonaceous rocks. 8th International IAEG Congress. Vancouver Canada, 2193-2197.
- Shokri, M., Ashjari, J. and Karami, Gh. 2016. Surface and subsurface karstification of aquifers in arid regions: the case study of Cheshme –Ali Spring, NE Iran. *Journal of cave and karst studies*, 78(1), 25-35.
- Varoujan, K., Ayda, D., Nadir, A. and Sven, K. 2016. Factors controlling the karstification process in the Fatha formation in Iraq. *Journal of earth science and geotechnical engineering*, 6(3), 147-162.
- قبادی، م. ح.، ۱۳۸۶. زمین‌شناسی مهندسی کارست. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا(همدان). ۳۰۴ ص.
- Ghobadi, M.H. 1997. The influence of joints on solubility on carbonaceous rocks. *International Symposium Engineering Geology Environment*, Athens, Greece, 127- 131.
- James, A. N. and Lupton, A. R. R. 1978. Gypsum and anhydrite in foundation of hydraulic structure. *Geotechnique*, Vol. 28, 249-272.
- James, A. N. and Kirkpatrick, I. M. 1980. Design of foundation of dams containing soluble rocks and soils. *Quarterly Jurnal Engineering Geology*, Vol. 13, 189-198.
- James,A. N. and Binnie and partners, 1981. Solution parameters of carbonate rocks, *Bulletin of*