

کارست.

مقدمه

واژه کارست^۶ برای توصیف نوع خاصی از مناظر روی کره زمین همانند غارها مورد استفاده قرار می‌گیرد و در اثر سیستم آب زیر زمینی بر روی سنگ بستر انحلال‌پذیر همانند سنگ آهک و مرمر، سنگ گچ و هالیت توسعه پیدا می‌کند. فورد و ویلیامز^۷ [۶]. بنابراین در مناطق کارستی اشکال بسیار متنوع از ناهمواری‌ها (فرسایش و رسوبگذاری از ابعاد میکرو تا ماکرو) دیده می‌شود. عوارض طبیعی سه بعدی منحصر به فرد چشم انداز کارست نتیجه اثر متقابل بین زمین شناسی، آب و هوا، توپوگرافی، هیدرولوژی و موجودات زنده در یک مقیاس زمانی طولانی می‌باشد [۶ و ۱۳]. مناطق کارستی حدود ۲۰-۳۰ درصد سطح کره زمین را به خود اختصاص می‌دهد استوکس^۸ و همکاران [۱۶]. بنابراین با توجه به سطح وسیع مناطق کارستی، در حدود ۲۵-۲۰ درصد جمعیت کره زمین از آب‌های این سازندهای کارستی استفاده می‌کنند. فورد و ویلیامز [۶]. پدیده کارست به‌عنوان یک ویژگی زمین‌شناسی مهندسی منحصر به سنگ‌های کربناته، سولفات و کلروره نمی‌باشد. چنین پدیده‌های در سایر سنگ‌های رسوبی مانند کنگلومرا و ماسه سنگ که دارای سیمان کربناته و یا سولفات هستند، نیز مشاهده می‌شود. این پدیده در سنگ‌های بازالتی به دلیل خروج گازها و نیز در توده‌های یخی طی فرآیند ذوب شدن ایجاد می‌گردد که به کارست کاذب معروف است. بسیاری از ویژگی‌های ذاتی سنگ مانند مقاومت در برابر هوازدگی به ترکیب شیمیایی و خصوصیات فیزیکی مربوط می‌شود. قبادی و کریمی^۹ [۸]. ایجاد و گسترش کارست در سنگ‌های انحلال‌پذیر به مقاومت توده سنگ در برابر هوازدگی شیمیایی وابسته است. عامل این هوازدگی انحلال نامیده می‌شود و با شدت‌های متفاوتی عمل می‌کند که شدت آن به شرایط محیطی و خصوصیات توده سنگ بستگی دارد. قبادی و کریمی [۸]. به‌طور کلی، وجود محلول برای انحلال و ایجاد رخساره‌های کارستی لازم است. دو ویژگی عمده مواد محلول که سرعت انحلال آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، انحلال‌پذیری و سرعت ویژه انحلال آن‌ها می‌باشد. انحلال‌پذیری در

تغییرات فصلی بار رسوب انحلالی و تعیین سرعت انحلال‌پذیری سازندهای آهکی (مطالعه موردی: حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد، الشتر و بیرانشهر)

علیرضا سپه‌وند^۱، علی اکبر نظری سامانی^۲، هوشنگ محمدیان^۳، حسن احمدی^۴
و سادات فیض‌نیا^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۵

چکیده

در مطالعه ویژگی‌های سنگ‌های کارستی، امروزه شناخت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سنگ جایگاه خاصی در تحقیقات دارد. با پی بردن به خصوصیات یاد شده می‌توان میزان گسترش کارست را در توده سنگ‌های انحلال‌پذیر مورد ارزیابی قرار داد. در این تحقیق به بررسی تغییرات فصلی بار رسوب انحلالی و تعیین سرعت انحلال‌پذیری سازندهای آهکی در حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد، الشتر و بیرانشهر پرداخته شد. ابتدا با استفاده از دستگاه سیرکولاسیون سرعت انحلال‌پذیری سازندهای مورد مطالعه تعیین شد و در ادامه رسوب انحلالی هر حوزه آبخیز و بار محلول خروجی از حوزه‌های آبخیز تعیین گردید. نتایج نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان ثابت انحلال‌پذیری (k) به ترتیب متعلق به سازندهای آسماری-شهبازان ($1/27 \times 10^{-6}$ متر بر ثانیه) و Omas ($1/027 \times 10^{-6}$ متر بر ثانیه) بود. هم‌چنین نتایج نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین بار انحلالی در عرصه‌های آهکی به ترتیب در حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد و بیرانشهر مشاهده شده است که میزان آن در حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد، الشتر و بیرانشهر به ترتیب برابر ۷۵/۶۱، ۴۷/۵۶ و ۴۴/۴۹ هزار تن در سال بوده است.

کلیدواژه‌ها: استان لرستان، بار محلول، انحلال‌پذیری، XRD

۱- استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان.

۲- نویسنده مسئول و دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۳- پست الکترونیک: aknazari@ut.ac.ir

۴- اداره آبخیزداری و حفاظت خاک، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان لرستان

۵- استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۶- ستاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

6. Karst

7. Ford and Williams

8. Stokes et al

9. Ghobadi and Karami

مفهوم دقیق آن به مقدار ماده‌ای اطلاق می‌گردد که قادر است تحت شرایط تعادلی خاصی از درجه حرارت و فشار در یک حلال، حل شود باغداردخت و همکاران^۱ [۴]. سرعت انحلال‌پذیری مواد معدنی کربناتی چندین برابر بیشتر از مواد معدنی سیلیکاتی می‌باشد ماتسوشی^۲ و همکاران [۱۳]. آهک مهم‌ترین نوع سنگ‌های کارستی می‌باشد و کربنات کلسیم در هر محیطی می‌تواند در اثر رسوب بین دو کوه یا ناهمواری، تشکیل شود فورد و ویلیامز [۶]. کربنات‌ها و سولفات‌ها سریع‌تر از آن‌که تجزیه شوند، حل می‌شوند. البته به جز ناخالصی‌های موجود در کانی‌ها که پس از تجزیه باقی‌مانده‌هایی را برجای می‌گذارند. مهم‌ترین شکل هوازدگی این سنگ‌ها انحلال آن‌ها توسط آب‌های زیر زمینی حاوی دی‌اکسیدکربن است. در نتیجه این عمل به تدریج بر تخلخل سنگ افزوده شده و ممکن است غارها و مجاری بزرگی در آن ایجاد شود مهدوی^۳ [۱۲].

در کل مواد انحلالی متعددی در آب وجود دارند که بعضی از آن‌ها غیر طبیعی بوده و ناشی از ورود فاضلاب‌های شهری و یا سموم و کودهای کشاورزی می‌باشند. مطالعه این مواد مانند نیترات‌ها و نیتريت‌ها می‌تواند سیکل مواد از نظر اکولوژی آب و یا وضعیت آلودگی آب‌ها را مشخص می‌سازد. هم‌چنین، در ژئوشیمی آب‌ها و فرسایش انحلالی، بررسی این مواد جزو ضروریات یک مطالعه است. در بعضی از مناطق، ممکن است وزن مواد حمل شده به صورت انحلال حتی بیشتر از وزن موادی باشد که به‌صورت معلق حمل می‌گردند. از آن‌جایی که میزان انحلال گاز کربنیک در آب در دمای پایین بیشتر است، پدیده کارستیک در مناطق کوهستانی سرد بیشتر دیده می‌شوند. آب‌های این مناطق دارای سختی نسبتاً زیادی است که نتیجه شسته شدن مداوم سنگ‌های آهکی و خروج آن از منطقه می‌باشد مهدوی [۱۲]. در کل، هنگامی که یک سنگ در آب حل می‌شود مواد معدنی مختلف سنگ را به صورت یون یا مولکول از هم پاشیده شده و وارد آب می‌شوند. بنابراین مطالعه مواد محلول به جای سنگ‌دانه‌ها ضرورت دارد فورد و ویلیامز [۶]. بنابراین تعیین سرعت انحلال‌پذیری و بار انحلالی سازنده‌های کارستی در حوزه‌های آبخیز و مناطق کارستی، کمک شایانی به حفظ سیما منطقه و کیفیت آب منطقه خواهد کرد. در این زمینه تحقیقات اندکی در ایران و سایر نقاط جهان انجام شده است که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره شده است. مقصودی و همکاران [۱۱] به پهنه‌بندی شدت انحلال سنگ‌های کربناته در زاگرس جنوبی در حوزه آبخیز سیف‌آباد لاغر پرداختند. در این تحقیق با استفاده از تابع گامای فازی با ضرایب مختلف و نرم‌افزار ArcGIS، نقشه‌های پهنه‌بندی شدت انحلال تهیه شد. نتایج نشان داد که حوزه آبخیز دارای نرخ فرسایشی کم است و بیشینه شدت فرسایش انحلالی کارست در جنوب غربی منطقه و کمینه آن در شمال حوزه آبخیز رخ می‌دهد. لیندنسچمیدت^۴

و همکاران [۱۰] به بررسی بررسی بار محلول و معلق جریان مناطق روستایی دریاچه ویکتوریا در اوگاندا پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که حداقل بار رسوب از زمین‌های غیر کشاورزی خارج می‌شود و حداکثر رسوب از چراگاه‌ها تحویل می‌شود. علاوه بر این، آن‌ها بیان کردند که برای تعیین دقیق ورود بار رسوب و مدیریت دریاچه ویکتوریا به تحقیقات بیش‌تری احتیاج است. سینگ^۵ و همکاران [۱۵] به بررسی تغییرات فصلی املاح محلول و بار رسوب معلق ناشی از ذوب یخ یخچال‌های طبیعی در رودخانه گنکوتری^۶ پرداختند. در این تحقیق، رسوب محلول و معلق در سه فصل پیش موسمی، موسمی و بعد از موسمی محاسبه شد. میانگین غلظت رسوب معلق روزانه برای فصل‌های پیش موسمی، موسمی و پس موسمی به‌ترتیب برابر ۱۷۱۹، ۳۲۸۱ و ۴۴۵ میلی‌گرم بر لیتر بود. در این تحقیق بالاترین مقدار رسوب معلق در فصل موسمی، پیش موسمی و فصل پس موسمی مشاهده شد. نرخ فرسایشی خروج رسوب انحلالی از حوزه آبخیز ناشی از ذوب یخ یخچال‌های طبیعی برای پیش موسمی، موسمی و پس از موسمی به‌ترتیب برابر ۴۲/۲، ۴۶/۵ و ۱۵/۹ تن بر کیلومتر مربع بر سال بود. ضرورت مطالعه بار محلول حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد، بیرانشهر و الشتر به دلایل نماینده زاگرس میانی، حضور سازنده‌های کارستی، بالادست حوزه آبخیز کرخه و اهمیت کیفیت منابع آب بود. لذا در این تحقیق به تحلیل بار انحلالی و تعیین میزان رسوب انحلالی ایستگاه‌های خرم‌آباد، الشتر و بیرانشهر پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز شهرهای خرم‌آباد، الشتر و بیرانشهر از نظر ژئومورفولوژیکی در بخش مرکزی سلسله جبال زاگرس در استان لرستان قرار دارد که خود بخشی از حوزه آبخیز کرخه می‌باشد. حوزه آبخیز شهرهای خرم‌آباد، الشتر و بیرانشهر با مساحت ۳۵۶۲/۱۲ کیلومتر مربع مطابق شکل ۱ بین طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه ۰۴ دقیقه ۰۲ ثانیه تا ۴۸ دقیقه ۵۹ دقیقه ۰۷ ثانیه شرقی و عرض‌های ۳۳ درجه ۱۶ دقیقه ۰۵ ثانیه تا ۳۴ درجه ۰۱ دقیقه ۰۷ ثانیه شمالی قرار دارد. بلندترین نقطه حوزه آبخیز در بخش شمالی با ارتفاع ۳۵۷۸ متر از سطح دریا و پست‌ترین نقطه حوزه آبخیز در بخش غربی، یعنی خروجی حوزه آبخیز با ارتفاع ۱۱۵۸ متر از سطح دریا قرار دارد. میانگین بارندگی سالیانه منطقه بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر و دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد می‌باشد.

تعیین ثابت انحلال‌پذیری و بار محلول

نمونه برداری از سنگ‌های آهکی

در این تحقیق ابتدا با استفاده از نرم‌افزار جی‌ای اس^۷ و گوگل

1. Baghdar dokht et al

2. Matsushi

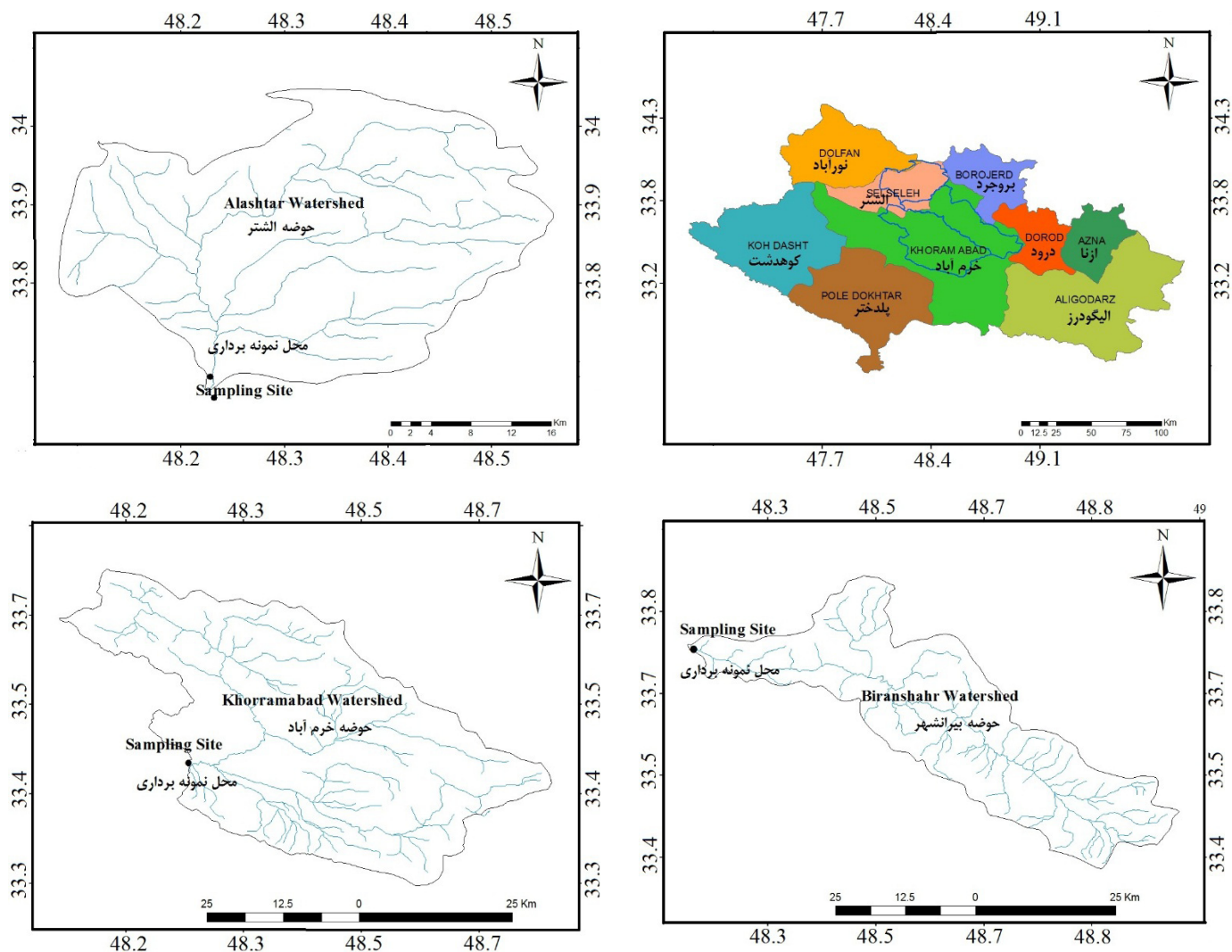
3. Mahdavi

4. Lindenschmidt

5. Singh

6. Gangotri

7. Geographic Information System



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه روی نقشه استان لرستان

Fig 1. Location of the study area in Lorestan province map

۱) رطوبت نمونه سنگ: رطوبت سنگ عبارت از نسبت جرم آب موجود در سنگ به جرم قسمت جامد سنگ می باشد. رطوبت نمونه سنگ به عنوان درصدی از جرم خشک آن بیان می شود و به صورت ۱ تعریف می گردد:

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (1)$$

۲) جرم آب موجود در نمونه سنگ، W_s : جرم خشک نمونه سنگ. جرم مخصوص سنگ (ظاهری): جرم مخصوص سنگ برابر با جرم واحد سنگ تقسیم بر حجم سنگ ضرب در جرم واحد حجم آب می باشد که با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می شود.

$$G_s = \frac{W_s}{V_s - V_w} \quad (2)$$

در این رابطه: G_s وزن مخصوص سنگ (gr/cm^3)، W_s جرم توده سنگ (gr)، V_s حجم توده سنگ (cm^3) و V_w جرم واحد حجم آب می باشد. چون در سیستم متریک جرم واحد حجم آب برابر واحد است، بنابراین جرم مخصوص از نظر عددی برابر با جرم واحد

ارث، طول و عرض جغرافیایی محدوده هر یک از سازندهای کارستی مشخص شد (جدول ۱) و سپس با مراجعه به منطقه و استفاده از جی پی اس^۱ این سازندهای آهکی مشخص شدند و از هر کدام تعداد ۴ نمونه برای تعیین انحلال پذیری تهیه شد. سپس این نمونه ها برای برش و آماده سازی به کارگاه سنگبری انتقال داده شدند.

ویژگی های فیزیکی و شیمیایی سنگ های کارستی

کارستی شدن با ویژگی های فیزیکی و شیمیایی سنگ ارتباط مستقیم دارد. بنابراین یکی از نخستین کارها در مطالعات زمین شناسی مهندسی کارست، تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سنگ می باشد.

الف) خصوصیات فیزیکی نمونه های سنگ آهکی

آزمایشات تعیین خصوصیات فیزیکی نمونه سنگ های آهکی در آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام گرفتند.

1. Global Position System

Table 1. Characteristics of Limestone formations in the study area

مساحت Area	خصوصیات Characteristics	اسم سازند Formation Name	نماد Symbol
1522.2	آهک مرجانی، آهک و مارن Coral limestone, Limestone Marnie	-	OMI
15109.3	آهک رودیست دار و اوریتولین دار limestone with Orbitolina and rudists	واحد چغلوندی Chaghalvandi Unit	KL
8031.4	آهک Limestone	-	MI
11457.9	آهک و مارن به صورت میان لایه‌ای Limestone Marnie	آسماری Asemari	OMas
63045.4	آهک نازک لایه Thin layer of Limestone	واحد چغلوندی Chaghalvandi Unit	K1
4268.6	آهک Limestone	آسماری-شهبازان Asemari-Shahbazan	AS-Sb

در این تحقیق به منظور تعیین ثابت سرعت انحلال پذیری، این نمونه‌ها از دستگاه سیرکولاسیونی شبیه به دستگاهی که قبادی [۷] آن را طراحی کرده، استفاده شده است. این دستگاه در دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران ساخته شد و متشکل از یک مخزن بزرگ به ابعاد ۶۰×۵۰×۵۰ سانتی‌متر، و یک پمپ با توان ۰/۵ اسب بخار، که آب را در مخزن به گردش در می‌آورد (شکل ۳). بعلاوه این دستگاه به یک سیستم مبرد و ترموستات نیز مجهز می‌باشد. جهت ایجاد pH مناسب در مدت سه ماهه انجام آزمایش، از گاز CO₂ استفاده شده است. آزمایش تعیین ثابت سرعت انحلال پذیری نمونه‌ها در سه تیمار انجام گرفت. تیمار اول شاهد، تیمار دوم و سوم با افزایش مقدار دی‌اکسید کربن به ترتیب برابر یک و دو میلی‌گرم بر لیتر انجام شد که روش محاسبه دی‌اکسید کربن در ادامه آمده است.



شکل ۲- نمونه‌های آماده شده برای آزمایش ایکس‌اردی

Fig 2. Preparing of samples for XRD test

حجم می‌باشد ASTM¹ [۳].

۳) تخلخل: تخلخل عبارت است از نسبت حجم فضای خالی به حجم کل سنگ که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\Delta A = \frac{A_2 - A_1}{A_1} \times 100 \quad (3)$$

در این رابطه: n تخلخل سنگ که به صورت درصد بیان می‌گردد، V_g حجم فضای خالی و V_t حجم کل سنگ است. تخلخل می‌تواند به ۱ یا ۱۰۰ درصد نزدیک باشد قبادی [۷].

ب) تعیین خصوصیات شیمیایی نمونه‌های سنگ آهکی

در این تحقیق برای تعیین درصد کانی هر نمونه سنگ آهکی از روش ایکس‌اردی^۲ استفاده شد. این آزمایشات در آزمایشگاه مرکزی دانشکده شیمی دانشگاه پارما ایتالیا انجام گرفتند. هدف از انجام آزمایش ایکس‌اردی تعیین نوع کانی‌ها و ترکیب شیمیایی تشکیل دهنده نمونه‌های معدنی و زمین‌شناسی است. در این آزمایش نمونه‌های سنگ باید به حالت پودر باشد. شکل ۲ نمونه‌های آماده شده برای انجام آزمایش ایکس‌اردی را نشان می‌دهد.

تعیین ثابت سرعت انحلال پذیری

ثابت سرعت انحلال پذیری سنگ‌های آهکی با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\frac{dM}{dt} = KA(C_s - C) \quad (4)$$

که در آن: M جرم حل شده در زمان t، A سطح در معرض تماس با حلال (سطح سنگ به وسیله کاغذ شطرنجی محاسبه شد)، C_s انحلال پذیری ماده (غلظت ثانویه)، C غلظت ماده در محلول (غلظت اولیه) و K ثابت سرعت انحلال می‌باشد [۴، ۶ و ۹].

1. American Society for Testing and Materials

2. Ghobadi

3. X-Ray Diffraction

که در آن: A حجم سود مصرفی بر حسب میلی لیتر، V حجم نمونه (یکسان بودن واحد حجم سود ۰/۰۱ و حجم نمونه الزامی است)، N نرمالیه سود مصرفی، عدد ۴۴ جرم اتمی دی اکسید کربن است.

تعیین بارمحلول منطقه مورد مطالعه

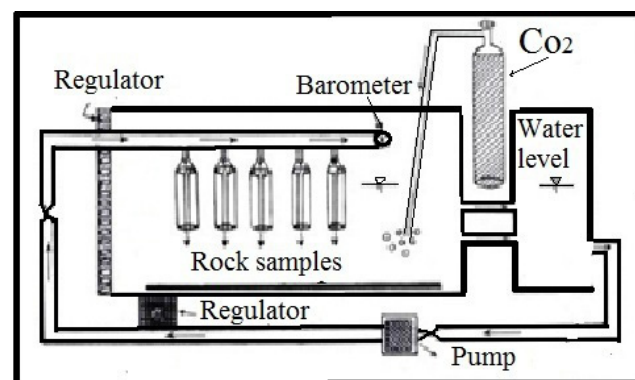
در این تحقیق در خروجی حوضه ها، نمونه برداری آب در یک دوره ۱۲ ماهه (مهر ۱۳۹۳ تا شهریور ۱۳۹۴) و در هر ماه سه مرتبه به صورت زیر انجام شد. برای این منظور، ظروف نمونه برداری از جنس شیشه به حجم یک لیتر تهیه شد که قبل از نمونه برداری بایستی با یک پاک کننده به خوبی شسته شوند. نمونه برداری از جریان اصلی و در عمق حدود پنج سانتی متری از سطح به کف انجام می شود [۵ و ۱]. در ادامه نمونه های گرفته شده جهت بررسی به آزمایشگاه منتقل می شدند. خصوصیات شیمیایی اندازه گیری شده عبارت بودند از: TDS° , EC° , pH° , CO_3° , HCO_3° , Cl° , SO_4° , Ca° , Mg° , Na° , K° . بعد از تعیین خصوصیات شیمیایی نمونه های آب، با داشتن دبی جریان می توان بار محلول رودخانه را تعیین کرد. در این تحقیق بار محلول با استفاده از رابطه ۷ و ۸ به صورت فصلی و سالانه تعیین شد [۶ و ۱۵].

$$D = \frac{\int CQdt}{\int dt} \quad (7)$$

که در آن: D بار محلول (کیلوگرم در روز)، C=غلظت مواد محلول (کیلوگرم در مترمکعب)، $Q=Qt$ رواناب لحظه ای در زمان t (مترمکعب). رابطه ۷ می تواند به صورت تقریبی مطابق رابطه ۸ ارائه شود:

$$D = \frac{\sum^m CiQi}{m} \quad (8)$$

که در آن: i فاصله زمانی است که ممکن است C و Q ثابت باقی بمانند و m تعداد دوره مورد و ویلایم [۶].



شکل ۳- نمای کلی دستگاه سیرکولاسیون قبادی و کربنی [۸]

Fig 3. Overview of the Circulation machine

روش محاسبه دی اکسید کربن محلول در آب

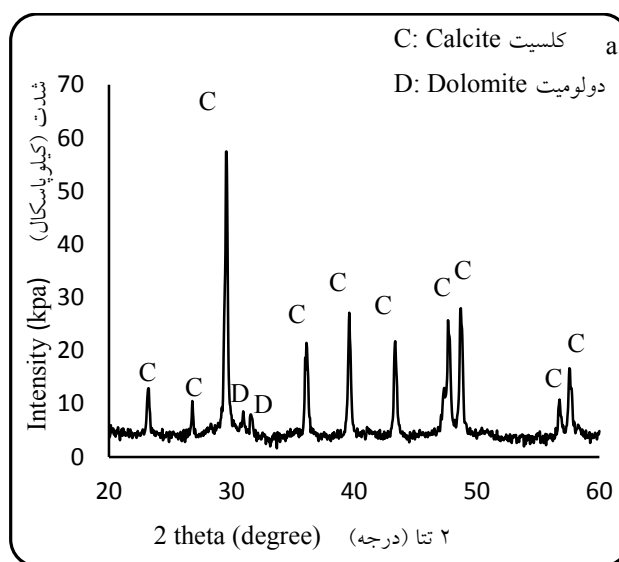
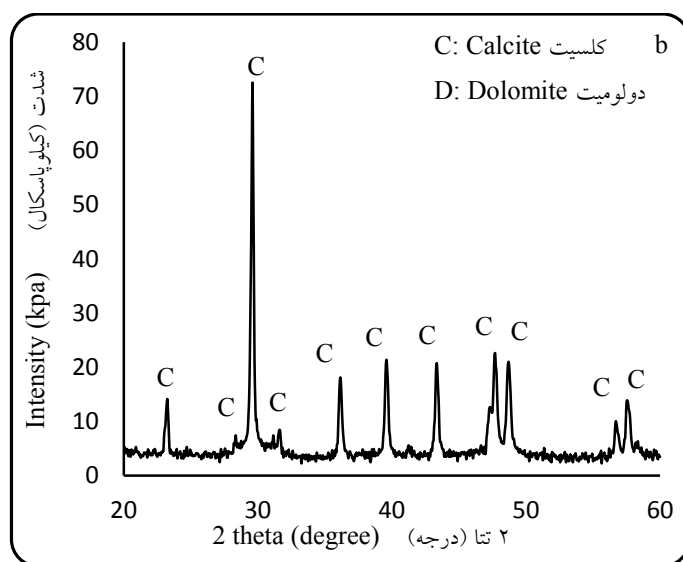
در ابتدا ۱۵ میلی لیتر آب را در داخل بشر می ریزیم و به آن دو تا سه قطره معرف فنل فتالین اضافه می کنیم که یکی از دو حالت زیر بوجود می آید:

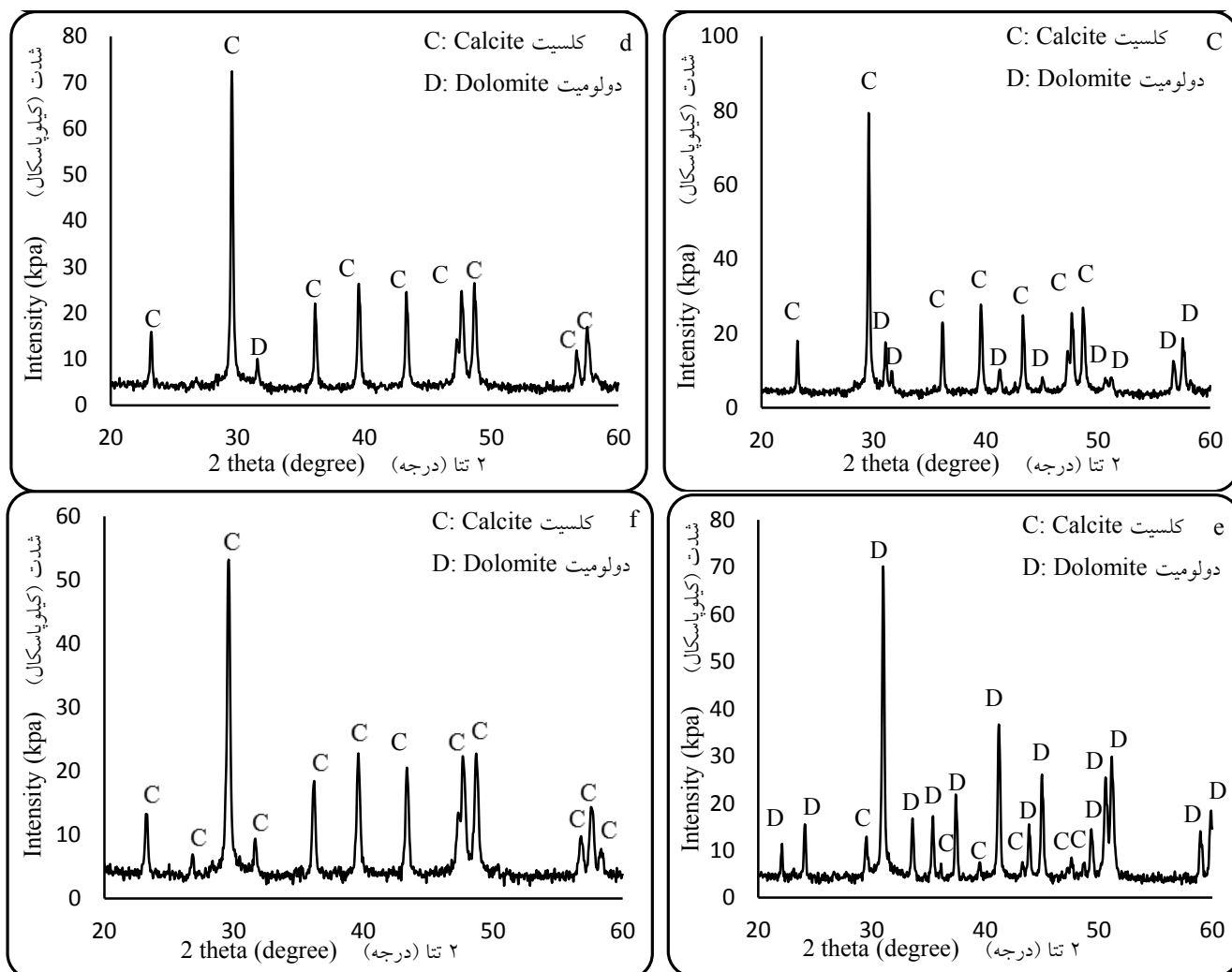
الف: اگر تغییر رنگ ایجاد شد نشان دهنده این است که محلول فاقد دی اکسید کربن است.

ب: اگر تغییر رنگ ایجاد نشد نشان دهنده این است که محلول دارای دی اکسید کربن است. در ادامه به آن سود ۰/۰۱ نرمال (به دلیل دقت زیاد) اضافه می کنیم تا تغییر رنگ مشاهده شود و با استفاده از رابطه زیر میزان دی اکسید کربن نمونه را بر حسب میلی گرم یا میلی اکی والان بر لیتر محاسبه می کنیم.

$$CO_2 = \frac{A \cdot n \cdot 1000 \cdot 44}{V} = \frac{mgr Co_2}{lit} \quad (5)$$

$$CO_2 = \frac{A \cdot n \cdot 1000}{V} = \frac{meq Co_2}{lit} \quad (6)$$





شکل ۴- نتایج XRD برای نمونه سنگ سازندهای a) AS-Sb، b) K1، c) K1، d) MI، e) Omas، f) OMI

Fig 4. The XRD test for rock samples, a) AS-Sb, b) K1, c) K1, d) MI, e) Omas, f) OMI

جدول ۲- درصد کانی‌های اصلی تشکیل دهنده هر نمونه و نوع سنگ نمونه

Table 2. The percentage of main mineral of each sample and the type of sample rock

نمونه/ Sample	K1	Omas	MI	AS-SB	OMI	K1
درصد کلسیت Calcite percentage	64.32	28.48	94.8	94.48	100	100
درصد دولومیت Dolomite percentage	35.68	71.52	5.2	5.52	-	-
نوع سنگ	سنگ کربناته	دولومیت-کلسیتی	سنگ آهکی	سنگ آهکی	سنگ آهکی	سنگ آهکی
Rock type	Carbonate Rock	Dolomite-Calcite	Limestone	Limestone	Limestone	Limestone

مطابق نتایج این نمودارها (شکل ۴) و مقایسه با نمونه ایکس‌اردی کلسیت و دولومیت، درصد کانی‌های هر نمونه در جدول ۲ آورده شده است. جدول ۳ خصوصیات فیزیکی نمونه‌های سنگ مورد آزمایش از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

نتایج

بررسی کانی شناسی نمونه‌های برداشت شده در آزمایشگاه و با استفاده از آزمایش ایکس‌اردی مشخص شد که نتایج در شکل ۴ برای هر نمونه سازندها را نشان داده شده است.

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی نمونه های مورد آزمایش

Table 3. Physical properties of the tested samples

نمونه سنگ Rock Sample	مکان Location	درصد رطوبت Moisture	وزن مخصوص سنگ (ظاهری) Bulk density (gr/cm ³)	درصد تخلخل Porosity
K1	موسیوندی/Mosivandi	0.263	2.73	5.36
Omas	کشتارگاه/Koshtargah	0.046	2.40	1.31
MI	الشتَر/Alashtar	0.118	2.51	0.96
AS-SB	پارسیلون/Parsilon	0.228	2.32	2.10
OMI	آبسرده/Absardeh	0.064	2.38	3.58
KL	سرنمک/Sar Namak	0.028	2.82	1.77

جدول ۴- تعیین ثابت انحلال پذیری نمونه های مورد آزمایش

Table 4. Determination of the coefficient solubility of tested samples

سازند Formation	جرم حل شده در زمان t Solute Weight (kg)	سطح در معرض تماس با حلال Rock Area (m ²)	انحلال پذیری ماده Solubility (kg/m ³)	ثابت سرعت انحلال پذیری solubility rate (m/s)
Omas	0.143×10^{-3}	0.061945	1.303×10^{-3}	1.027×10^{-6}
K1	0.257×10^{-3}	0.05418	2.333×10^{-3}	1.17×10^{-6}
As-Sb	0.24×10^{-3}	0.049741	2.182×10^{-3}	1.27×10^{-6}
KL	0.307×10^{-3}	0.053328	2.788×10^{-3}	1.19×10^{-6}
MI	0.317×10^{-3}	0.051082	2.879×10^{-3}	1.24×10^{-6}
OMI	0.48×10^{-3}	0.053892	4.3364×10^{-3}	1.18×10^{-6}

جدول ۵- وضعیت سرعت انحلال پذیری سنگ های کارستی در شرایط محیط

Table 5. The solubility rate of karstic rocks in environment conditions

سازند Formation	Omas	K1	AS-SB	KL	MI	OMI
سرعت انحلال پذیری solubility rate (kg/day)	7×10^{-6}	13×10^{-6}	12×10^{-6}	15×10^{-6}	16×10^{-6}	24×10^{-6}

تعیین سرعت انحلال پذیری سنگ های کارستی

سرعت انحلال پذیری نمونه های سنگ در شرایط محیط و با افزایش گاز دی اکسید کربن محاسبه شد.

(۱) در شرایط محیط

در ابتدا سرعت انحلال پذیری نمونه های سنگ در شرایط محیط با استفاده از دستگاه سیرکولیشن محاسبه شد که جدول ۵ نتایج را نشان می دهند.

مطابق نتایج جدول ۵ مشخص شد که، سازندهای Omas و OMI به ترتیب با سرعت ۲۴×۱۰^{-۶} و ۷×۱۰^{-۶} دارای بیشترین و کمترین سرعت انحلال پذیری می باشند.

(۲) با افزایش یک میلی گرم بر لیتر دی اکسید کربن

مطابق نتایج جدول ۳، بیشترین و کمترین رطوبت متعلق به نمونه های K1 و KL، بیشترین و کمترین وزن مخصوص به ترتیب متعلق به نمونه های K1 و AS-SB می باشد. علاوه بر این، بیشترین و کمترین تخلخل به ترتیب به نمونه های سنگ K1 و MI تعلق دارد.

تعیین ثابت سرعت انحلال پذیری سازندهای کارستی

ثابت سرعت انحلال پذیری هر یک از نمونه های سازندهای کارستی با استفاده از اندازه گیری میزان سنگ حل شده در طول زمان و سطح نمونه سنگ محاسبه شد.

مطابق نتایج جدول ۴، بیشترین و کمترین میزان ثابت انحلال پذیری (k) به ترتیب متعلق به سازندهای As-Sb و Omas با مقدار $۱/۰۲۷ \times ۱۰^{-۶}$ و $۱/۰۲۷ \times ۱۰^{-۶}$ متر بر ثانیه بود.

جدول ۶- وضعیت سرعت انحلال پذیری سنگ‌های کارستی با افزایش (۰/۰۱۵ میلی اکسیژن بر لیتر) یک میلی گرم بر لیتر دی اکسید کربن

Table 6. The solubility rate of karstic rocks by increasing (0.015 Meg/lit) one milligrams per liter CO₂

Formation سازند	Omas	K1	AS-SB	KL	MI	OMI
سرعت انحلال پذیری solubility rate (kg/day)	31×10 ⁻⁶	40×10 ⁻⁶	42×10 ⁻⁶	42×10 ⁻⁶	43×10 ⁻⁶	75×10 ⁻⁶

جدول ۷- وضعیت سرعت انحلال پذیری سنگ‌های کارستی با افزایش (۰/۰۶ میلی اکسیژن بر لیتر) دو میلی گرم بر لیتر دی اکسید کربن

Table 7. The solubility rate of karstic rocks by increasing (0.06 Meg/lit) two milligrams per liter CO₂

Formation سازند	Omas	K1	AS-SB	KL	MI	OMI
سرعت انحلال پذیری solubility rate (kg/day)	213×10 ⁻⁶	252×10 ⁻⁶	240×10 ⁻⁶	254×10 ⁻⁶	259×10 ⁻⁶	421×10 ⁻⁶

جدول ۸- خصوصیات آماری پارامترهای شیمیایی آب سطحی حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد، الشتر و بیرانشهر

Table 8. Statistical properties of surface water chemical parameters in Khorramabad, Alashtar and Biranshahr

پارامتر Parameter	حوزه آبخیز بیرانشهر Biranshahr Watershed		حوزه آبخیز خرم‌آباد Khorramabad Watershed		حوزه آبخیز الشتر Alashtar Watershed	
	محدوده Range	Mean/±SD میانگین	محدوده Range	Mean/±SD میانگین	محدوده Range	Mean/±SD میانگین
TDS (mg/l)	199-303	268.6±31.9	304-514	398.8±69.1	166-403	276.8±68.8
EC (μS/cm)	312-745	418.2±52.4	475-977	657.8±140.2	311-580	433.6±106.2
pH	7.89-8.39	8.11±0.18	6.52-8.53	7.54±0.66	6.6-8.23	7.65±0.49
CO ₃ (mmol/l)	0.0-0.2	0.05±0.09	0-0.2	0.088±0.164	0-0.5	0.225±0.08
HCO ₃ (mmol/l)	2.3-3.8	3.32±0.48	2.9-6.6	4.65±1.06	2.1-4.3	3.53±0.72
Cl (mmol/l)	0.3-0.6	0.4±0.6	0.8-1.9	1.47±0.29	0.1-0.6	0.445±0.13
So ₄ (mmol/l)	0.3-0.44	0.44±0.19	0.02-1.55	0.47±0.51	0.08-0.75	0.326±0.2
Ca (mmol/l)	2.2-3.8	2.8±0.52	2.2-4.5	3.57±0.67	1.1-3.7	2.65±0.89
Mg (mmol/l)	0.4-1.9	1.05±0.47	0.9-3.1	2.11±0.7	0.48-3.44	1.35±0.7
Na (mmol/l)	0.08-0.32	0.22±0.08	0.18-1.7	0.76±0.59	0.03-0.78	0.22±0.2
K (mmol/l)	0.01-0.09	0.02±0.02	0.02-1.13	0.195±0.29	0.0-0.15	0.04±0.04

می‌باشند.

خصوصیات آماری پارامترهای کیفیت آب سطحی حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد، الشتر و بیرانشهر در جدول ۸ آورده شده است.

مطابق نتایج جدول ۸ مشخص شد که برای همه پارامترهای مورد بررسی بیش‌ترین میانگین و انحراف معیار در حوزه آبخیز بیرانشهر مشاهده شده است. علاوه بر این محدوده تغییرات بار محلول بالاست که کم‌ترین مقدار در فصل تابستان و بیش‌ترین مقدار در فصل پاییز و زمستان مشاهده شده است.

نتایج جدول ۹ میزان بار خروجی هر کانیون‌ها و آنیون‌ها را نشان می‌دهد. مطابق این نتایج در حوزه آبخیز خرم‌آباد در همه فصل‌ها بیش‌ترین و کم‌ترین آنیون خروجی به ترتیب HCO₃ و CO₃ می‌باشند که به ترتیب در ماه‌های زمستان و تابستان مشاهده شده است. در

در مرحله دوم، با افزایش یک میلی گرم گاز دی‌اکسید کربن در لیتر آب، سرعت انحلال پذیری نمونه‌های سنگ محاسبه شد. جدول ۶ نتایج این بخش را نشان می‌دهند.

نتایج نشان داد که (جدول ۶)، سازندهای OMI و Omas به ترتیب با سرعت ۷۵×۱۰^{-۶} و ۳۱×۱۰^{-۶} دارای بیش‌ترین و کم‌ترین سرعت انحلال پذیری می‌باشند.

(۳) با افزایش دو میلی گرم بر لیتر دی‌اکسید کربن

در مرحله سوم، میزان دو میلی گرم بر لیتر گاز دی اکسید کربن به دستگاه سیرکولیشن تزریق شد و سرعت انحلال‌پذیری نمونه‌های سنگ تعیین شد. نتایج این بخش در جدول ۷ نشان داده شده‌اند.

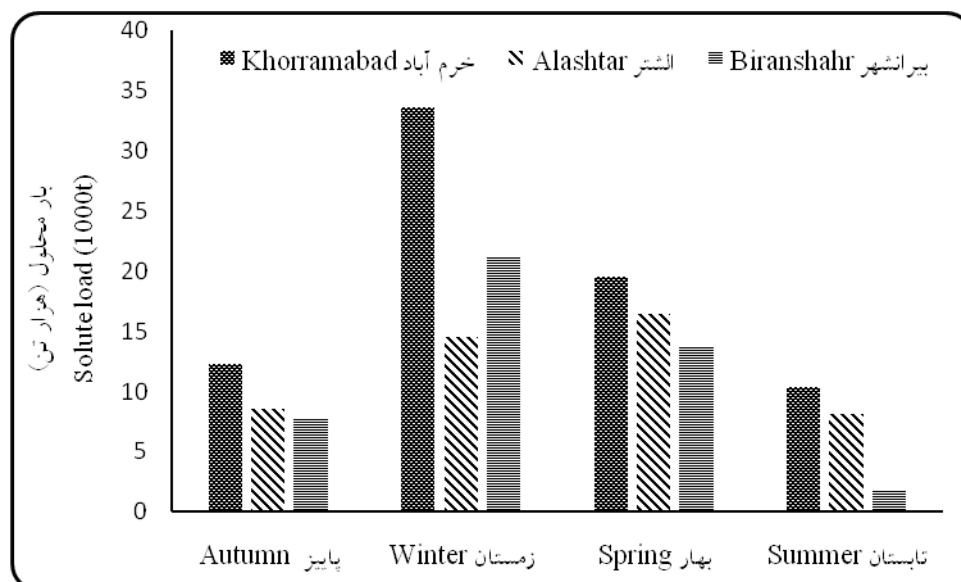
مطابق آن، سازندهای OMI و Omas به ترتیب با سرعت ۲۱۳×۱۰^{-۶} و ۲۱۳×۱۰^{-۶} دارای بیش‌ترین و کم‌ترین سرعت انحلال‌پذیری

جدول ۹- نرخ بار انحلالی حوزه‌های آبخیز بیرانشهر، خرم‌آباد و الشتر بر اساس مساحت سازندهای کارستی (کیلوگرم بر هکتار در روز)
Table 9. Rate of solute load in Khorramabad, Alashtar and Biranshahr watersheds based on area of karstic formation (kg/ha/day)

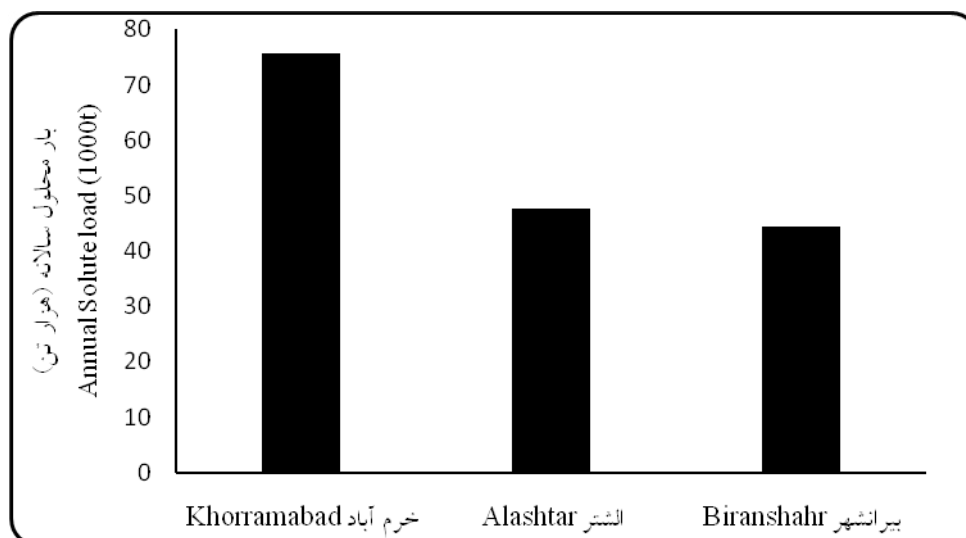
پارامتر Parameter	حوزه آبخیز بیرانشهر Biranshahr Watershed				حوزه آبخیز خرم‌آباد Khorramabad Watershed				حوزه آبخیز الشتر Alashtar Watershed			
	پاییز Autumn	زمستان Winter	بهار Spring	تابستان Summer	پاییز Autumn	زمستان Winter	بهار Spring	تابستان Summer	پاییز Autumn	زمستان Winter	بهار Spring	تابستان Summer
	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer
CO ₃	0.06	0.02	0.13	0.017	0.094	0.25	0.147	0.072	0.365	0.66	1.03	0.397
HCO ₃	1.28	3.5	2.11	0.276	2.21	5.34	3.63	1.83	6.79	11.87	12.64	6.77
Cl	0.08	0.26	0.19	0.018	0.417	1.2	0.611	0.29	0.36	0.977	1.02	0.52
So ₄	0.18	0.54	0.266	0.041	0.316	1.64	0.26	0.24	0.64	2.16	2.37	0.47
Ca	0.72	1.71	1.12	0.175	1.07	2.94	1.8	0.89	2.43	6.65	7.06	3.27
Mg	0.14	0.57	0.324	0.02	0.426	1.1	0.64	0.26	1.43	1.44	1.56	0.98
Na	0.039	0.077	0.04	0.007	0.137	0.41	0.154	0.123	0.067	0.35	0.41	0.157
K	0.01	0.024	0.005	0.0009	0.049	0.073	0.044	0.103	0.01	0.1	0.09	0.03

الشتر و بیرانشهر را نشان می‌دهد. مطابق این نتایج بیشترین بار انحلالی در فصل زمستان و در حوزه آبخیز خرم‌آباد و کمترین بار انحلالی در حوزه آبخیز بیرانشهر و در فصل تابستان مشاهده شده است. هم‌چنین نتایج شکل ۶ میزان بار انحلالی سالانه حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد، الشتر و بیرانشهر را نشان می‌دهد. مطابق این نتایج بیشترین و کمترین بار انحلالی به‌ترتیب در حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد و بیرانشهر مشاهده شده است، که میزان آن در حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد، الشتر و بیرانشهر به‌ترتیب برابر ۷۵/۶۱، ۴۷/۵۶ و ۴۴/۴۹ هزار تن بوده است.

همین حوزه آبخیز در همه فصل‌ها بیشترین و کمترین کاتیون خروجی به‌ترتیب Ca و K در فصل‌های زمستان و تابستان بوده‌اند. در حوزه آبخیز الشتر در همه فصل‌ها بیشترین و کمترین آنیون خروجی به‌ترتیب HCO₃ و CO₃ می‌باشند که به‌ترتیب در ماه‌های بهار و پاییز با میزان ۱۲/۶۴ و ۰/۳۶۵ کیلوگرم بر هکتار در روز بوده است. در همین حوزه آبخیز در همه فصل‌ها بیشترین و کمترین کاتیون خروجی به‌ترتیب Ca و K در فصل‌های زمستان و تابستان بوده‌اند. علاوه بر این بیشترین و کمترین آنیون و کاتیون خروجی از حوزه بیرانشهر مانند حوزه آبخیز خرم‌آباد بوده است. نتایج شکل ۵ میزان بار انحلالی فصلی حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد،



شکل ۵- کل بار محلول فصلی خروجی در هر سه حوزه آبخیز
Fig 5. Total of solute load output from three watersheds



شکل ۶- کل بار محلول سالانه خروجی در هر سه حوزه آبخیز

Fig 6. Annual of solute load output

این تعیین سرعت انحلال پذیری نمونه‌ها نشان داد که سازندهای OMI و Omas به ترتیب با سرعت 24×10^{-6} و 7×10^{-6} کیلوگرم بر روز، دارای بیشترین و کمترین سرعت انحلال پذیری می‌باشند. بنابراین مشخص شد که سازندهای که دارای درصد بیش‌تری اکسید کلسیم نسبت به اکسید منیزیم باشند توانایی بیش‌تری برای کارستی شدن دارا هستند. از نظر ترکیب کانی‌شناسی، هرچه کانی کلسیت بیش‌تر باشد نشان دهنده درجه خلوص سنگ‌های کربناته است و باعث توسعه کارست می‌شود. هم‌چنین نتایج نشان داد که با افزایش میزان CO_2 ، سرعت انحلال‌پذیری به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد که این نتایج با نتایج تحقیق فورد و ویلیامز [۶] هم‌خوانی دارد. مطابق این نتایج در بخش اول یعنی افزایش افزایش یک میلی‌گرم بر لیتر CO_2 ، سرعت انحلال‌پذیری تقریباً به‌طور میانگین $3/2$ برابر شده است و در بخش دوم با افزایش دو میلی‌گرم بر لیتر CO_2 ، سرعت انحلال‌پذیری تقریباً به‌طور میانگین $20/07$ برابر شده است. مطابق این نتایج مشخص شد که با افزایش میزان دی‌اکسیدکربن، سازندهای آهکی دچار بیش‌ترین تخریب می‌شوند. در واقع کارستیفیکاسیون حساسترین فرآیند شکل‌زایی به تغییرات محیط است.

بار محلول منطقه مورد مطالعه

میزان بار خروجی کانیون‌ها و آنیون‌ها نشان داد که در حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد، الشتر و بیرانشهر بیش‌ترین و کم‌ترین آنیون به ترتیب HCO_3 و CO_3 ، و بیش‌ترین و کم‌ترین کاتیون به ترتیب Ca و K می‌باشد. در حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد و بیرانشهر در همه فصل‌ها بیش‌ترین و کم‌ترین آنیون خروجی به ترتیب HCO_3 و CO_3 می‌باشند که به ترتیب در ماه‌های زمستان و تابستان مشاهده شده است و در همه فصل‌ها بیش‌ترین و کم‌ترین کاتیون خروجی به ترتیب Ca و K در فصل‌های زمستان و تابستان بوده‌اند. در حوزه آبخیز الشتر در همه فصل‌ها بیش‌ترین و کم‌ترین آنیون خروجی به ترتیب در

بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعات زمین‌شناسی مهندسی کارست علاوه بر انجام بررسی‌های صحرایی با استفاده از آزمایش‌های متداول در تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سنگ بکر و بهره‌گیری از نتایج حاصله می‌توان میزان گسترش کارست را در محل مورد ارزیابی قرار داد. عموماً، یکی از عوامل موثر در انحلال سنگ آهک درصد خلوص آن است که با افزایش درصد اکسید کلسیم و کاهش میزان اکسید منیزیم نتیجه‌گیری می‌شود و سنگ آهک دارای اکسید کلسیم به میزان بیش از ۵۰ درصد قابلیت انحلال زیادتری دارد [۶ و ۸]. بر اساس آزمایش ایکس‌اردی انجام شده، نمونه‌های سنگ آهک نشان داد که در نمونه‌های سازندهای OMI، $As-Sb$ ، KI و MI بیش‌تر از ۵۰ درصد اکسید کلسیم دارند و نوع سنگ نمونه KI کربناته و در بقیه نمونه‌ها نوع سنگ آهکی می‌باشد زیرا بالای ۹۰ درصد کلسیت می‌باشند. نتایج همین آزمایش‌ها روی نمونه سازند OMas نشان داد که دارای $28/47$ درصد کلسیت و حدود ۷۱ درصد دولومیت می‌باشد که نشان‌دهنده نوع سنگ دولومیت-کلسیتی می‌باشد. با توجه به این نتایج انتظار می‌رود سنگ‌های کربناته سازندهای مورد مطالعه انحلال‌پذیری بیش‌تری داشته باشند که این نتایج در بخش تعیین انحلال‌پذیری نمونه‌های سنگ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تعیین ثابت سرعت انحلال‌پذیری سازندهای کارستی نشان داد که بیش‌ترین میزان ثابت انحلال‌پذیری (k) متعلق به سازند $As-Sb$ با مقدار $1/27 \times 10^{-6}$ متر بر ثانیه و کم‌ترین مقدار آن متعلق به سازند Omas با مقدار $1/027 \times 10^{-6}$ متر بر ثانیه بود که این نتایج تأیید کننده بخش قبلی می‌باشد و بر این اساس بیش‌ترین ثابت انحلال‌پذیری متعلق به نمونه سنگ‌های آهکی و کم‌ترین ثابت انحلال‌پذیری متعلق به نمونه سنگ دولومیتی بود زیرا با افزایش میزان دولومیت سنگ قابلیت انحلال‌پذیری کاهش می‌یابد فورد و ویلیامز [۶]. علاوه بر

کارست شدگی منجر به وجود آمدن ناهمواری‌های کارستی (دولین، هوم، دره کارستی،...) شده است.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل انجام طرح پژوهشی با عنوان "طبقه‌بندی کمی ناهمواری‌ها و تعیین سایش انحلالی و بار محلول در حوزه‌های آبخیز کارستی (مطالعه موردی: استان لرستان)" (کد طرح: ۹۳۰۳۸۰۳۱) می‌باشد که اعتبار آن از سوی صندوق حمایت از پژوهش‌گران و فناوران کشور تامین گردیده است. لذا بدین وسیله از آن سازمان تشکر قدردانی می‌نمایم.

منابع

1. Abedi-Koupai, J. Nasri, Z. Talebi, Kh. Mamanpoush, A. and Mousavi S.F. 2012. Investigation of Zayandehrud Water Pollution by Diazinon and its Assimilative Capacity, Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 15 (56): 1-19. (In Persian)
2. Al-Ansari, N.A. AL-Sinawi, G.T. and Jamil, A.K. 2015. Suspended and solute loads on the Lower Diyala River, M.s thesis, University of Baghdad, College of Science, Department of Geology.
3. ASTM, 1999. Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass (D 2216 – 98), AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Reprinted from the Annual Book of ASTM Standards, 5pp.
4. Baghdar dokht, Z. Hidari, M. Ghobadi, M.H. and Shafei, A. 2006. Study of karst formations solubility in Kangir Dam site, 4th Iranian Conference on Geology Engineering and Environment, 621-637. (In Persian)
5. Datta, K.D. and Subramanian, V. 1997. Nature of solute loads in the rivers of the Bengal drainage basin, Bangladesh, Journal of Hydrology, 198: 196–208.
6. Ford, D.C. and Williams, P.W. 2007. Karst geomorphology and hydrology. 2nd ed. John Wiley & Sons, Chichester, U.K.
7. Ghobadi, M.H., 2008: Karst geology engineering, Bu-Ali Sina University Press, 320 pp. (In Persian)
8. Ghobadi, M.H. and Karami R. 2006. The necessity to pay attention to the physical and chemical properties of carbonate rocks in Karst engineering geology studies, 4th Iranian Conference on Geology Engineering and Environment, 34-44. (In Persian)
9. Khanlarei, Gh.R. 1990. Understanding the Factors Influencing the Karstification of limestone in Kaboodar Ahang, Master of Science's Thesis, Engineering Geology, Tarbiat Modarres University. (In Persian)
10. Lindenschmidt, K.E. Suhr, M. Magumba, M.K. Hecky, R.E. and Bugenyi, W.B. 1988. Loading of solute and suspended solids from rural catchment areas flowing into Lake Victoria in Uganda, Water Resources, 32(9): 2776-2786.

فصل‌های بهار و پاییز بوده است. در همین حوزه آبخیز در همه فصل‌ها بیش‌ترین و کم‌ترین کاتیون خروجی در فصل‌های زمستان و تابستان بوده‌اند. مطابق این نتایج در بین کاتیون‌ها و آنیون‌ها، HCO_3 دارای بیش‌ترین میزان می‌باشد که این نشان از کارستی بودن منطقه دارند. نتایج میزان بار انحلالی فصلی حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد، الشتر و بیرانشهر نشان داد که بیش‌ترین بار انحلالی در فصل زمستان و در حوزه آبخیز خرم‌آباد و کم‌ترین بار انحلالی در حوزه آبخیز بیرانشهر و در فصل تابستان مشاهده شده است. فصل تابستان در حوزه آبخیز بیرانشهر به دلیل میزان کم دبی جریان خروجی از منطقه دارای کم‌ترین بار محلول است زیرا در این حوزه آبخیز بیشتر جریان آب در رودخانه به مصرف کشاورزی می‌رسد. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان بار انحلالی سالانه حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد، الشتر و بیرانشهر به ترتیب در حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد و بیرانشهر مشاهده شده است که میزان آن در حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد، الشتر و بیرانشهر به ترتیب برابر $۷۵/۶۱$ ، $۴۷/۵۶$ و $۴۴/۴۹$ هزار تن بوده است. بیش‌ترین مقدار بار محلول در زمان‌های با جریان حداکثر مشاهده شده است. علاوه بر این بار محلول با دره‌های کارستی پرشیب و سازندهای کارستی منطقه در ارتباط است. این نتایج با نتایج سینگ و همکاران [۱۵]. همخوانی دارد. سینگ و همکاران [۱۵] در منطقه مرکزی هیمالیا با لیتولوژی سنگ‌های کربناته، در برخی ماه‌ها میزان بار انحلالی را تا ۵۰ تن بر کیلومتر مربع تعیین کردند. الانساری و همکاران [۲] بیان داشتند که در منطقه مورد تحقیق، نرخ بار انحلالی بیش از دو تن بر هکتار است. رزونکا و بوسزنسکی [۱۴] نرخ بار انحلالی در حوزه آبخیز کوهستان ثودتی با لیتولوژی سنگ مرمر را $۷۵/۸$ تن در هکتار گزارش دادند.

به‌طور کلی کارستی شدن عموماً در سنگ‌های رسوبی بیوژنیک، شیمیایی و بیوشیمیایی و اغلب در سنگ‌های کربناته همانند آهک و دولومیت رخ می‌دهد و بسیاری از ویژگی‌های ذاتی سنگ مانند مقاومت در برابر هوازدگی به ترکیب شیمیایی و خصوصیات فیزیکی مربوط می‌شود. ایجاد و گسترش کارست در سنگ‌های انحلال پذیر به مقاومت توده سنگ در برابر هوازدگی فیزیکی و شیمیایی وابسته است که شرایط محیطی مانند میزان سرما، ترکیب شیمیایی آب و خصوصیات توده سنگ مثل میزان تخلخل و ترکیب شیمیایی ماده سنگ از عوامل مهم در فرآیند کارستی شدن سنگ‌ها محسوب می‌شوند. تغییرات در میزان نرخ انحلال کارست می‌تواند اساساً ناشی از فعالیت فرآیندهای انحلال کربنات و هم‌چنین سیستم‌های زهکش سطحی و زیرسطحی اراضی کربناته باشد. بر اساس مقدار ثابت سرعت انحلال سنگ‌های آهکی، منطقه بیانگر سرعت بالای انحلال‌پذیری سنگ‌های مذکور است. هم‌چنین با توجه به مستقیم بودن رابطه بین دبی جریان و میزان رسوب انحلالی خروجی از حوزه‌های آبخیز، می‌توان بیان کرد که این مناطق جزء مناطق و حوزه‌های آبخیز کارستی محسوب می‌شوند. منطقه مورد مطالعه با توجه به وجود سازندهای آهکی و با توجه به شرایط مناسب

15. Singh, V.B. Ramanathan, A.L. Pottakkal, J.G. and Kumar, M. 2014. Seasonal variation of the solute and suspended sediment load in Gangotri glacier meltwater, central Himalaya, India, *Journal of Asian Earth Sciences*, 79: 224–234.
16. Stokes, T. Griffiths, P. and Ramsey, C. 2010. Karst Geomorphology, Hydrology and Management. Chapter 11 of Pike, R.G., T.E. Redding, R.D. Moore, R.D. Winker and K.D. Bladon (editors). *Compendium of forest hydrology and geomorphology in British Columbia*. B.C. Min. For. Range, Forest Science Program, Victoria, B.C. and FORREX Forum for Research and Extension in Natural Resources, Kamloops, B.C. *Land Management Handbook*. 66. Available online at: www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Lmh/Lmh66.htm.
11. Maghsoudi, M. Akhavan, H. Mahdian Mahforouzi, M. and Ashournejad, Q. 2015. Zonation of the Intensity of Carbonaceous Rocks in Southern Zagros (Case Study: Seif Abad-e-Laghar Basin), *Physical Geography Research Quarterly*, 47(1): 105-124.
12. Mahdavi, M., 2007: *Applied hydrology*, Tehran University Press, 357 pp. (In Persian)
13. Matsushi, Y. Sasa, K. Takahashi, T. Sueki, K. Nagashima, Y. and Matsukura, Y. 2010. Denudation rates of carbonate pinnacles in Japanese karst areas: Estimates from cosmogenic ^{36}Cl in calcite, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 1205–1208.
14. Rzonca, B. and Buczynski, S. 2013. Intense karst denudation in a crystalline basin with a small share of carbonate rocks, *Catena*, 107: 154–164.

Seasonal Variation of the Solute and Determine the Solubility of Limestone Formations

A. Sepahvand¹, A. Nazari Samani², H. Mohammadian³, H. Ahmadi⁴ and S. Feiznia⁵

Received: 14-02-2019 Accepted: 16-07-2019

Abstract

Study of karstic rocks properties, understanding the chemical and physical properties have a special place in recent researches. By understanding of the properties mentioned such as Bulk density, Porosity, coefficient of solubility, solubility rate ... can be evaluated for karst development in the soluble rocks. The purpose of this study is the assessment of seasonal variations of the solute and solubility of karstic formations in Khorramabad, Alashtar and Biranshahr. To do so, circulation technique, as a commonly used method was applied to determine the amount of solubility. Also, the solute load was determined. The result showed that the maximum and minimum solubility (k) of Asmari-Shabazan and Omas formations can be 1.27×10^{-6} and 1.02×10^{-6} m s⁻¹ respectively. Also result shown that Khorramabad and Biranshahr watersheds have a maximum and minimum solute load, respectively. In this regard, annual solute load were estimated to be around 75.61×10^3 , 47.56×10^3 and 44.49×10^3 tons/year in Khorramabad, Alashtar and Biranshahr watersheds respectively.

Keywords: Lorestan province, solute load, solubility, XRD, Karst.

-
1. Department of Range and Watershed Management Engineering, Lorestan University.
 2. Corresponding author and Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions Natural Resources Faculty, University College of Agriculture and Natural Resources (UCANR), University of Tehran. Email: aknazari@ut.ac.ir
 3. Department of Watershed Management and Soil Conservation, Natural Resources and Watershed Management of Lorestan Province.
 4. Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions Natural Resources Faculty, University College of Agriculture and Natural Resources (UCANR), University of Tehran.
 5. Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions Natural Resources Faculty, University College of Agriculture and Natural Resources (UCANR), University of Tehran.