

مطالعه فرآیند انحلال ژئوسیت‌های سازند گچساران در مخزن سد چمشیر

مهدی ترابی‌کاهه* و مجتبی میدری

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، Mehdiatorabikaveh@yahoo.com, Moj.heidari@basu.ac.ir

(* عهده‌دار مکاتبات)

دریافت: ۹۰/۳/۲۱؛ دریافت اصلاح شده: ۹۰/۸/۱۰؛ پذیرش: ۹۰/۸/۲۰؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۰/۱۱/۲۰

چکیده

در این پژوهش بررسی سینتیکی فرآیند انحلال ژئوسیت‌های سازند گچساران در مخزن سد چمشیر انجام شد. ارزیابی سینتیکی انحلال کانی‌ها (ژئوسیت، انیدریت، آهک، و ...) با استفاده از روابط تجربی و داده‌های مربوط به آزمایش انحلال‌پذیری، برای تعیین مقادیر ثابت سرعت انحلال (K) و درجه واکنش (n)، امکان‌پذیر است. پژوهشگران درجه واکنش انحلال ژئوسیت را در طی فرآیند انحلال، مقداری ثابت و معادل ۱ در نظر می‌گیرند. نتایج این پژوهش نشان داد که ژئوسیت‌های سازند گچساران با توجه به ناخالصی‌های آن، در حین انحلال، ابتدا با درجه واکنش بالا حل شده و پس از عبور از C_s (غلظت در زمان تغییر درجه واکنش) درجه واکنش آنها کاهش می‌یابد. مقدار درجه واکنش نیز در طی انحلال از ۰/۱ تا ۱/۸ تغییر می‌یابد. همچنین با افزایش درجه واکنش (n)، مقدار ثابت سرعت انحلال (K) نیز افزایش می‌یابد. با توجه به اهمیت درجه واکنش (n) در سرعت ایجاد مجاری، جهت بررسی نشت آب از محل مخزن سد، فرض ثابت بودن آن اشتباه بوده و تعیین دقیق درجه واکنش (n) نیازمند بررسی سینتیکی فرآیند انحلال ژئوسیت‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سینتیک، انحلال، ژئوسیت، سازند گچساران.

۱- مقدمه

خطی مربوط به انحلال سنگ را می‌توان به صورت رابطه ۱ بیان کرد (Alkattan et al. 1997).

$$R = K \left(1 - \frac{C}{C_{eq}} \right) \quad (1)$$

در این رابطه:

C غلظت یون مورد نظر در محلول، C_{eq} غلظت تعادلی (غلظت در حالت اشباع) آن بر حسب mol/cm^3 ، K ثابت سرعت انحلال بر حسب $\text{mol cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ و R بیانگر نرخ انحلال کانی می‌باشند.

وجود کانی‌های انحلال‌پذیر در محل سازه‌های هیدرولیکی مانند سدها، در طولانی مدت می‌تواند خطر نشت آب از محل مخزن سدها را به همراه داشته باشد. بنابراین تعیین مقدار و سرعت انحلال این کانی‌ها ضروری می‌باشد. فرآیند انحلال کانی‌ها در آب، نقش بسیار مهمی را در ارزیابی سیستم‌های ژئوشیمیایی ایفا می‌کند. بنابراین، برای مشخص شدن ارتباط میان نرخ انحلال و ترکیب شیمیایی آب، ارزیابی انحلال‌پذیری کانی‌ها در آزمایشگاه ضروری است. ساده‌ترین معادله

این رابطه به منظور تعیین ثابت سرعت انحلال K و درجه واکنش n از روش تجربی، که نمودار $\log(R)$ در برابر $\log(1-C/C_{eq})$ رسم می‌گردد استفاده می‌شود. برای این منظور معادله‌های ۱، ۲ و ۳ به صورت خط مستقیم با معادله ۷ رسم می‌شوند:

$$\text{Log}(R) = n \cdot \log\left(1 - \frac{C}{C_{eq}}\right) + \log(k) \quad (7)$$

در این معادله شیب نمودار برابر با درجه واکنش n است. $\log(K)$ از طریق نقطه‌ی تقاطع منحنی با محور $\log(R)$ در $C=0$ به دست می‌آید. برای رابطه ۵، استفاده از این روش دو خط مستقیم را با دو شیب n_1 و n_2 نشان می‌دهد. $\log(Kn_1)$ و $\log(Kn_2)$ توسط برون‌یابی $C=0$ مشخص می‌شوند. این روش باید با دقت بالایی به کار رود زیرا نتیجه آن، به مقدار C_{eq} بسیار وابسته است.

در این پژوهش سعی شد، تا پارامترهای سینتیکی n ، K ، C_s و C_{eq} با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی برای نمونه‌های ژئوسیت (در سه pH ۶/۵، ۷/۲ و ۸/۲) متعلق به سازند گچساران (واقع در مخزن سد چمشیر) محاسبه گردد.

۴- موقعیت، زمین‌شناسی و زمین‌ساخت منطقه

سد چمشیر بر روی رودخانه زهره در ۲۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر دوگنبدان (گچساران)، با مختصات طول شرقی "۳۶° ۵۲' ۵۰" و عرض شمالی "۵۹° ۱۰' ۳۰" قرار گرفته است. این سد از نوع بتنی (قوسی و وزنی)، ارتفاع آن از پی ۵۵ متر و حجم مفید آن ۱/۸ میلیارد متر مکعب می‌باشد (مشعل و همکاران ۱۳۸۹، مهندسین مشاور تهران سحاب- پاراب فارس ۱۳۷۷). مخزن سد چمشیر، در تشکیلات گروه فارس (شامل سازندهای گچساران، میشان و آجاجاری) قرار دارد. قدیمی‌ترین تشکیلات مخزن را رسوبات سازند گچساران که بیشتر قسمت‌های شرقی دریاچه سد را در خود جای داده است تشکیل می‌دهد. در این منطقه بخش‌های ۷ (آهک مارنی نازک لایه، انیدریت ضخیم لایه)، ۵ و ۶ (عموماً شامل مارن‌های الوان، انیدریت قرمز رنگ و نمک) از سازند گچساران در تماس با مخزن می‌باشند (مهندسین مشاور تهران سحاب-پاراب فارس ۱۳۷۷). از نظر تکنیکی نیز منطقه مورد مطالعه در نوار چین‌خورده زاگرس قرار گرفته است. این زون در چین‌خوردگی‌ها، دارای ساختاری ساده است، البته فشردگی‌های ناشی از اعمال نیروهای فشاری تکتونیکی (Compressive) برخی از گسل‌ها و روراندهای کوچک و نسبتاً بزرگ را نیز در این منطقه ایجاد کرده است. گسل چمشیر و روراندهای دژ سلیمان نمونه‌ای از آنها می‌باشند (مهندسین مشاور تهران سحاب-پاراب فارس ۱۳۷۷). تصویر ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

معادله نرخ انحلال، براساس اکتیویته یون مورد نظر (Ion Activity Product, IAP) نیز به صورت رابطه ۲ قابل بیان است (Ford & Williams 2007):

$$R = K \left(1 - \frac{IAP}{K_c}\right) \quad (2)$$

در این رابطه:

K_c ثابت تعادلی یون مورد نظر می‌باشد.

یک معادله تجربی رایج برای محاسبه نرخ انحلال عبارت است از رابطه ۳:

$$R = K_n \left[1 - \frac{C}{C_{eq}}\right]^n \quad (3)$$

در این رابطه:

n نشان دهنده درجه واکنش تجربی است. K_n ثابت سرعت انحلال برای واکنش با درجه n است. این معادله غیرخطی، فعل و انفعال پیچیده‌ای از انتقال و فرایند شیمیایی را در سطح کانی نشان می‌دهد (Lasaga 1998). معادله‌های انحلال کانی‌های کلسیت، مانند آیسلند اسپار (Plummer & Wigley 1976, Plummer et al. 1978, Palmer 1991, Svensson & Dreybrodt 1992, سنگ آهک Eisenlohr et al. 1999)، و ژئوسیت طبیعی (Jeschke et al. 2001) از نوع مرکب می‌باشند. این معادلات یک انتقال از درجه واکنش n_1 به درجه واکنش n_2 را به صورت روابط ۴ و ۵ نشان می‌دهد (Jeschke et al. 2001).

$$R = K_{n_1} \left[1 - \frac{C}{C_{eq}}\right]^{n_1} \quad C \leq C_s \quad \text{برای} \quad (4)$$

$$R = K_{n_2} \left[1 - \frac{C}{C_{eq}}\right]^{n_2} \quad C > C_s \quad \text{برای} \quad (5)$$

در این روابط:

C غلظت کلسیم در محلول، C_{eq} غلظت تعادلی یون کلسیم، و C_s غلظت یون در زمانی است که درجه واکنش به رده بالاتر تغییر می‌کند و K_{n_1} و K_{n_2} به ترتیب بیانگر ثابت سرعت انحلال با درجه واکنش n_1 و n_2 می‌باشند. C_s برای سنگ آهک بین ۰/۷ تا ۰/۹ C_{eq} و برای ژئوسیت حدود ۰/۹۵ C_{eq} می‌باشد (Alkattan et al. 1997).

برای محاسبه نرخ انحلال (R) از رابطه ۶ استفاده می‌شود (Jeschke et al. 2001):

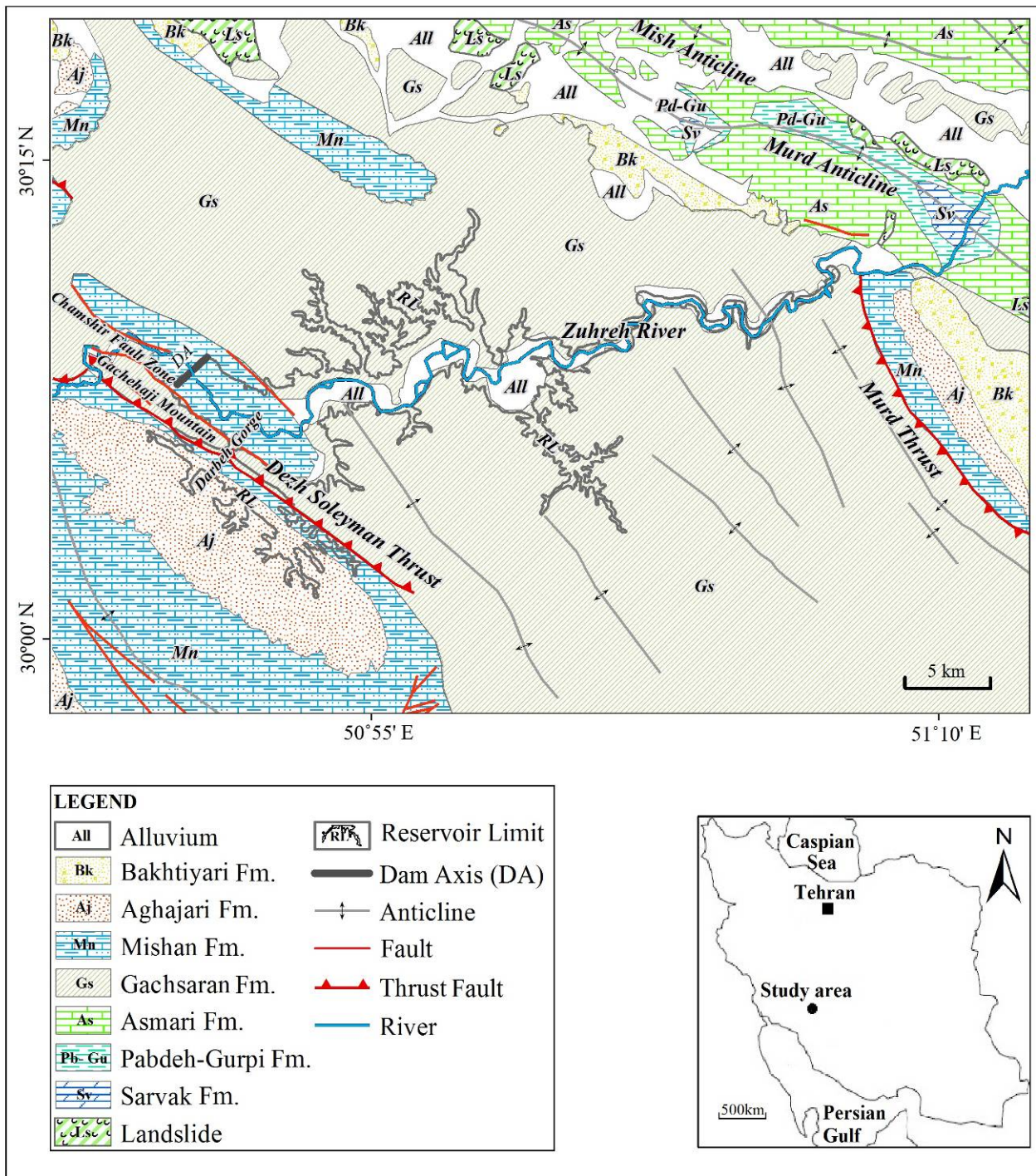
$$R = \frac{V}{A} \cdot \frac{dc}{dt} \quad (6)$$

در این رابطه:

V حجم آب موجود در مخزن و A مساحت نمونه‌ها می‌باشد.

از مهم‌ترین فرسایش‌های آبی در سازند گچساران می‌توان فرسایش شیار، آبراه‌ای و فرسایش به‌شکل هزار دره را نام برد. انحلال، از مشخصه‌های بارز در سازند گچساران می‌باشد (تراپی کاوه ۱۳۸۹). در مطالعات صحرایی منطقه مورد مطالعه، اشکال کارستی شامل کارن‌ها، دولین‌ها، حفره‌ها و چشمه‌های کارستی مشاهده شد.

با توجه به ساختار و لیتولوژی سازند گچساران، نکته قابل توجه، حساسیت این سازند نسبت به تخریب و فرسایش می‌باشد. به علت حالات ژئوسیت و انیدریت در آب و ساختار مارن‌ها، اجزاء تشکیل‌دهنده این سازند تراکم کافی و لازم را جهت مقاومت در برابر عوامل آب و هوایی نداشته و در صورتی که شرایط مساعد باشد، فرسایش خواهند یافت.



تصویر ۱- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه، اصلاح شده نقشه زمین‌شناسی گچساران (Setudenhia & OB-Perry 1966)

شماره نمونه	درصد ژئوسیت (سولفات کلسیم آبدار)
P1	۳۷/۸۰
P2	۳۳/۲۲
P3	۴۲/۳۸
NM1	۴۹/۲۵
NM2	۷۴/۴۳
M1	۲۴/۰۷
M2	۵۷/۲۶
TD1	۷۴/۴۳
TD2	۶۶/۴۱

۳-۲- دستگاه سیرکولاسیون مورد استفاده در آزمایش

پیش از این برای اندازه‌گیری ثابت سرعت انحلال در داخل کشور از دستگاه سیرکولاسیون انحلال‌پذیری ساخته شده توسط قبادی (۱۳۶۶) استفاده می‌شد، ولی به دلیل برخی از کاستی‌هایی که دستگاه مذکور داشت، این دستگاه توسط دوستی (۱۳۸۸) و ترابی‌کاوه (۱۳۸۹) بهسازی شد.

در مدل بهسازی شده، دستگاه سیرکولاسیون (تصویر ۳) رقمی شده و مانع از نوسان اسیدیته مخزن با کنترل اتوماتیک اسیدیته و همچنین ثبت EC آب مخزن گردید. تمامی دیواره‌های مخزن و لوله‌های رابط از جنس پلی‌اتیلن می‌باشند. در این دستگاه از کمترین اتصالات آهنی استفاده شده است، زیرا وجود اتصالات آهنی در مسیر، سبب ورود اکسید آهن به آب داخل مخزن شده که این فرآیند در اسیدیته پایین تشدید می‌شود.

۴- بحث و بررسی

نمودار تغییرات غلظت یون سولفات کلسیم (SO_4) در برابر زمان برای سه سیکل آزمایش انجام شده بر روی نمونه‌های ژئوسیت در تصویر ۴ نشان داده شده است. این آزمایش در فشار گاز CO_2 برابر با ۱ اتمسفر و در دمای آب ۱۰ درجه سانتیگراد انجام شد. غلظت یون سولفات کلسیم در زمان‌های مختلف با استفاده از روش استون مشخص گردید.

با توجه به تصویر ۴، مدت زمان رسیدن محلول به حالت اشباع برای هر سه سیکل حدود ۴۲ تا ۴۴ ساعت می‌باشد. حدود ۶۵ درصد از سولفات کلسیم (با قابلیت انحلال در آب)، تقریباً ۱۰ ساعت بعد از شروع آزمایش، حل گردید. این امر نشان‌دهنده آن است که سرعت

بعد از آبیگری سد، مقدار گرادیان هیدرولیکی در اطراف آن بالا می‌رود، بنابراین می‌توان انتظار داشت که پتانسیل کارستی شدن در منطقه افزایش یابد. این امر می‌تواند سبب بروز خطراتی مانند نشست آب از مخزن سد و همچنین فرونشست در محل ساختگاه و مخزن سد گردد.

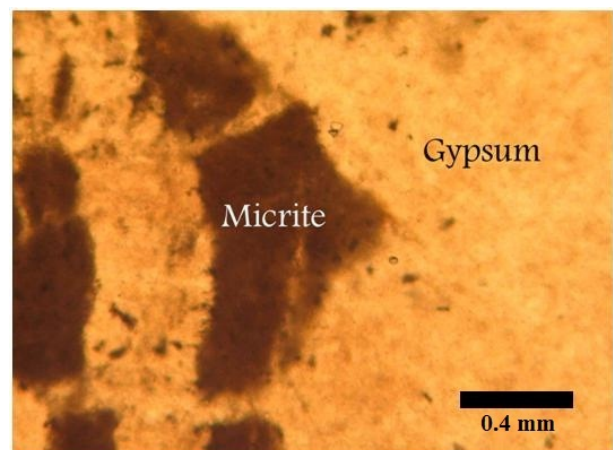
۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- آماده‌سازی نمونه‌ها

از آنجایی که نمونه‌های موجود در نقاط مختلف مخزن سد به لحاظ ظاهری و میزان خلوص ژئوسیت، متفاوت بودند، نمونه‌های اخذ شده (تعداد ۹ بلوک سنگی از ۴ نقطه مختلف مخزن) به گونه‌ای انتخاب شدند که تا حد امکان معرف کل نمونه‌های موجود در منطقه باشند. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک دانشگاه بوعلی سینا، اقدام به مغزه‌گیری از آنها گردید.

برای مطالعه پتروگرافی ژئوسیت‌های منطقه، مقاطع نازک از نمونه‌ها تهیه گردید (تصویر ۲).

بررسی مقاطع نازک نشان داد که ژئوسیت کانی اصلی تشکیل‌دهنده نمونه‌ها می‌باشد. کانی‌های فرعی موجود در سنگ، رگه‌هایی از میکرایت می‌باشند که به طور همزمان با ژئوسیت در یک محیط سبخی رسوب کرده است. اغلب نمونه‌ها دارای سطح غیر هوازده بوده و در بخش‌هایی نیز با تغییر رنگ کمی همراه اند که نشان‌دهنده آغاز فرایند هوازگی در سنگ می‌باشد.



تصویر ۲- مقطع نازک سنگ ژئوسیت مورد مطالعه با بزرگنمایی XPL-4x

برای تعیین درصد ژئوسیت موجود در نمونه‌ها از روش استون استفاده شد (جدول ۱). در هنگام آزمایش، انحلال‌پذیری نمونه‌هایی که دارای خلوص بالاتری بودند (NM2، TD1 و TD2) به صورت میانگین مورد استفاده قرار گرفت.

انحلال در ۱۰ ساعت اولیه آزمایش به مراتب بیشتر از سرعت انحلال تا زمان اشباع شدن می‌باشد. برای محاسبه پارامترهای انحلال‌پذیری نمونه مورد آزمایش که شامل: درجه واکنش‌پذیری (n)، ثابت سرعت انحلال (K) و غلظت یون سولفات کلسیم در زمان تغییر درجه واکنش (C_s) می‌باشد، نمودار log(R) در برابر log(1-C/C_{eq}) برای هر سه سیکل رسم گردید (تصویر ۵) (جدول ۲).

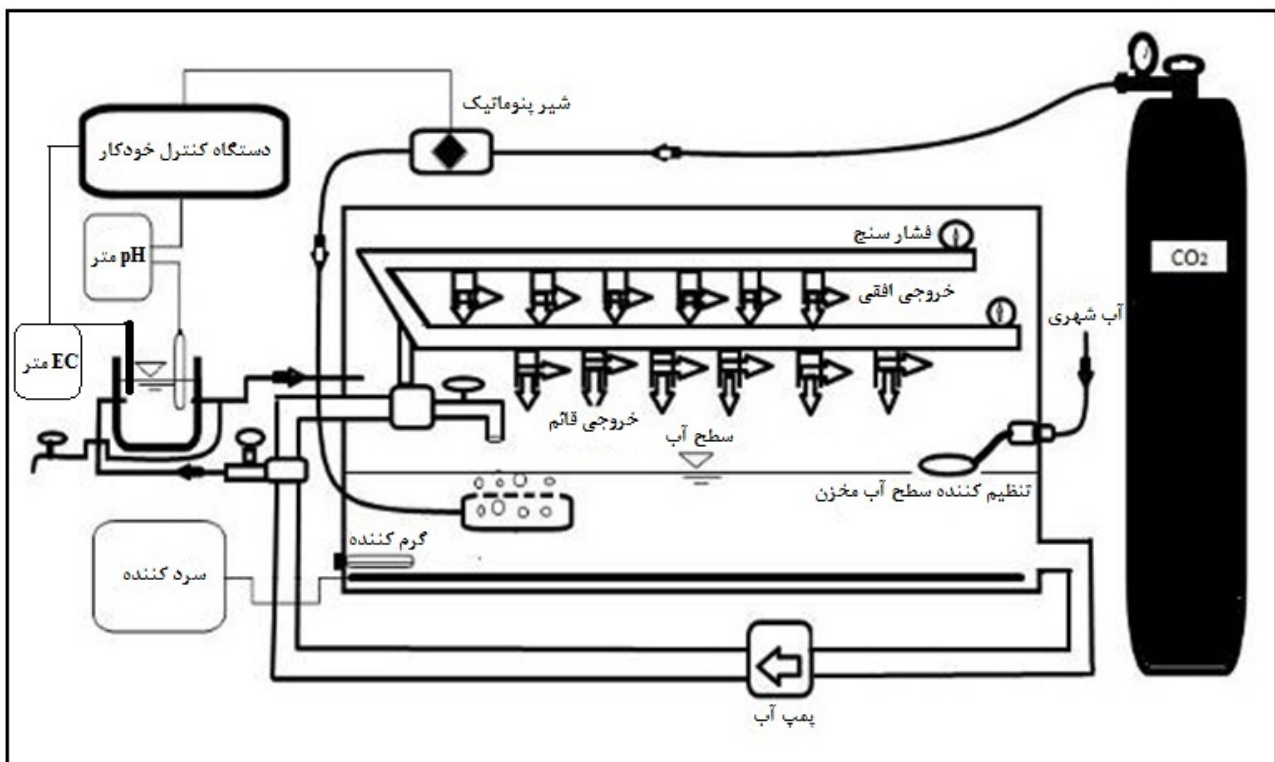
نتایج رسم این نمودارها نشان داد که:

۱- برای سیکل اول (pH=۶/۵)، درجه واکنش معادله انحلال‌پذیری در ابتدا ۱/۱ بوده که با رسیدن غلظت سولفات کلسیم محلول در آب به ۱/۹۸ gr/lit، درجه واکنش به ۰/۱ کاهش یافت (جدول ۲). مقدار ثابت سرعت انحلال نیز در زمان درجه واکنش بالاتر برابر با 0.229×10^{-4} m/sec واکنش پایین تر (0.692×10^{-5} m/sec) است (جدول ۲). در این سیکل، C_s برابر با C_{eq} ۰/۷۲ می‌باشد.

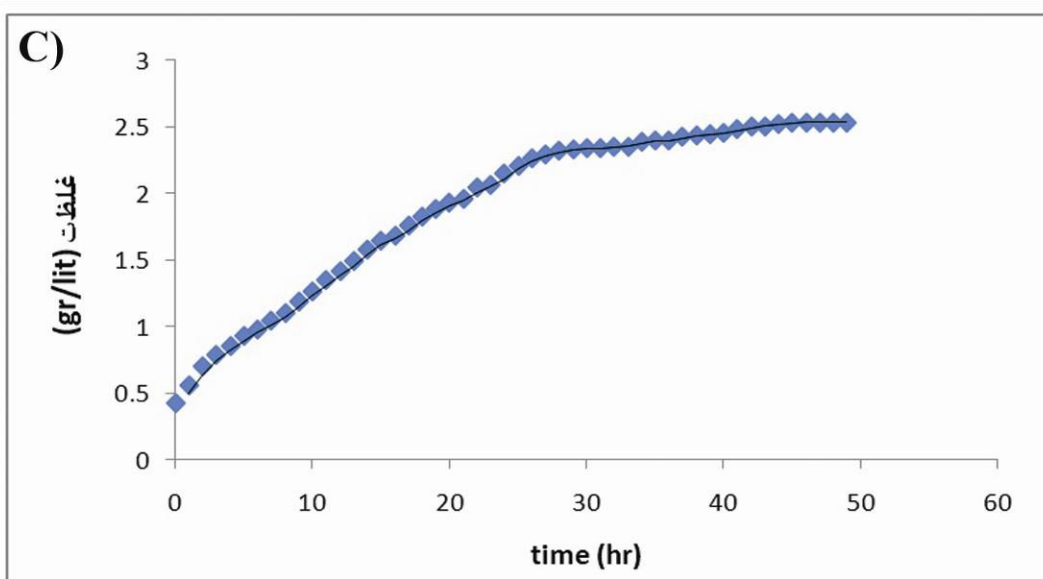
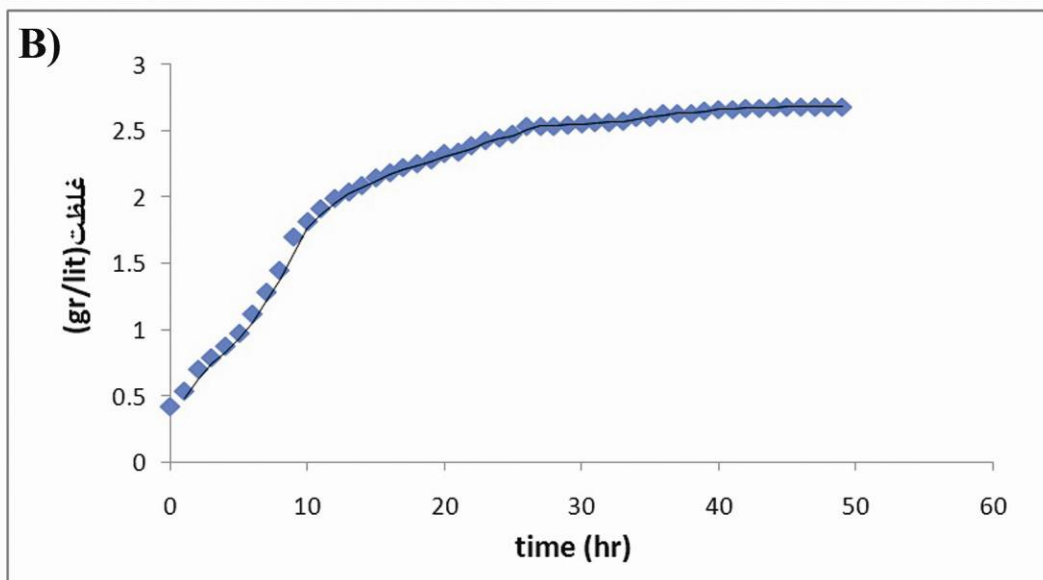
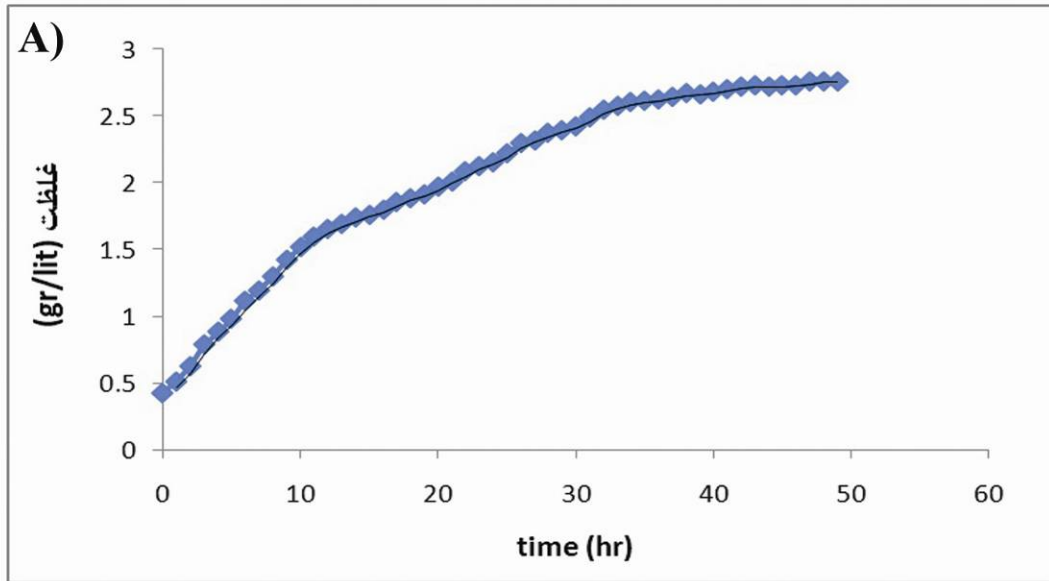
۲- برای سیکل دوم (pH=۷/۲)، درجه واکنش معادله انحلال‌پذیری ابتدا ۰/۳ بوده که با رسیدن غلظت سولفات کلسیم محلول در آب به ۲/۵۳ gr/lit، درجه واکنش به ۰/۱ کاهش یافت (جدول ۲). مقدار ثابت

۳- برای سیکل سوم (pH=۸/۲)، درجه واکنش معادله انحلال‌پذیری ابتدا ۱/۸ بوده که با رسیدن غلظت سولفات کلسیم محلول در آب به ۱/۱۹ gr/lit (یعنی غلظت در زمان تغییر درجه واکنش)، درجه واکنش به ۰/۱۸ کاهش یافت (جدول ۲). مقدار ثابت سرعت انحلال نیز در زمان درجه واکنش بالاتر (0.195×10^{-4} m/sec)، بیشتر از مقدار آن در زمان درجه واکنش پایین تر (0.851×10^{-5} m/sec) است (جدول ۲). در این سیکل، C_s برابر با C_{eq} ۰/۴۷ می‌باشد.

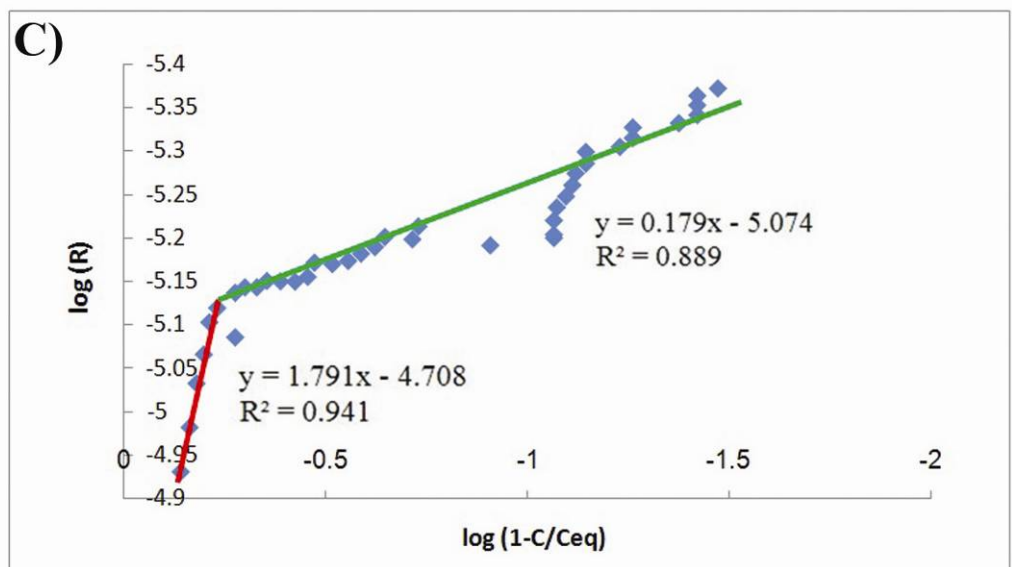
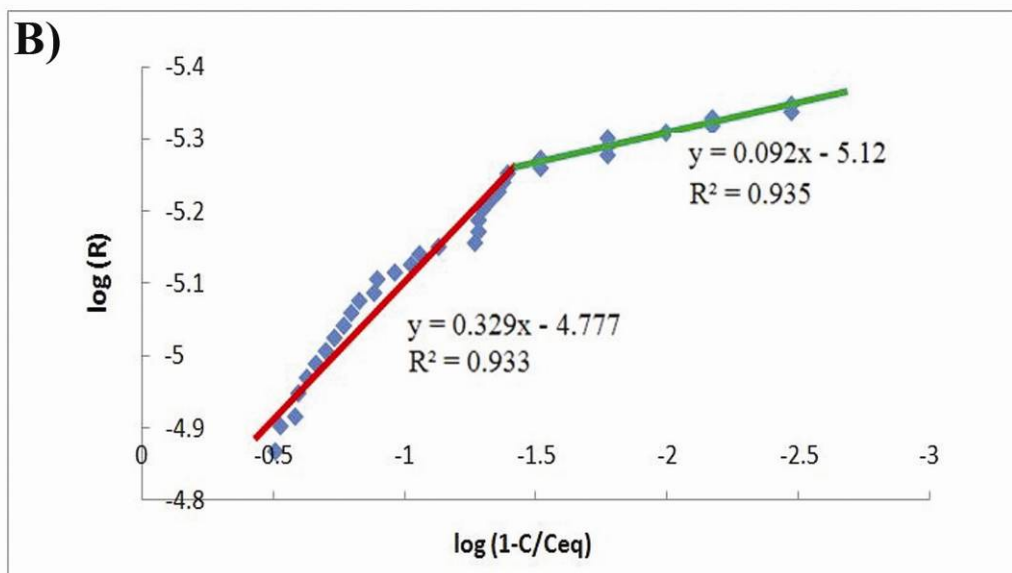
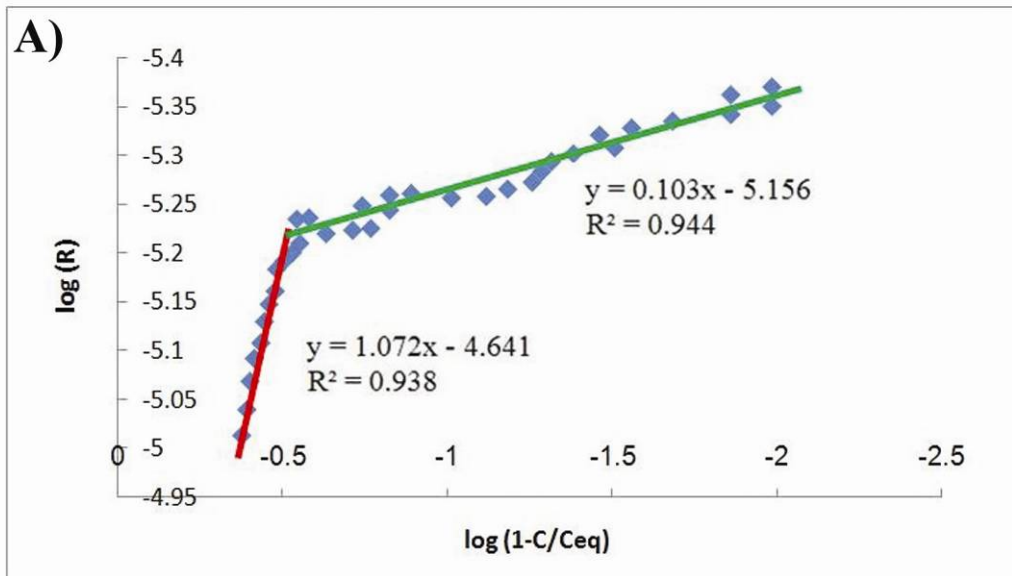
نتایج نشان داد که برخلاف یافته‌های قبلی محققین که درجه واکنش انحلال ژئوسیت را برابر ۱ و در طول مدت زمان انحلال ثابت در نظر می‌گرفتند، درجه واکنش انحلال ژئوسیت از حدود ۰/۱ تا ۱/۸ تغییر می‌کند. مقدار افت درجه واکنش در pH=۷/۲ نسبت به دو pH دیگر کمتر می‌باشد. همچنین در این حالت مقدار C_s به مقدار C_{eq} نزدیک‌تر است. نتایج نشان داد که با افزایش میزان افت درجه واکنش، مقدار تفاوت C_s از C_{eq} بیشتر می‌شود.



تصویر ۳- نمای شماتیکی از دستگاه سیرکولاسیون مورد استفاده در این پژوهش



تصویر ۴- نمودار تغییر غلظت یون سولفات کلسیم در برابر زمان: A) pH=6.5, B) pH=7.2, C) pH=8.2



A) pH=6.5, B) pH=7.2, C) pH=8.2 تصویر ۵- نمودار $\log(R)$ در برابر $\log(1-C/C_{eq})$

جدول ۲- مقادیر پارامترهای انحلال پذیری برای pH های ۶/۵، ۷/۲ و ۸/۲

pH	درجه واکنش اولیه (n ₁)	درجه واکنش ثانویه (n ₂)	Log (K)		ثابت سرعت انحلال (K) (m/sec)		C _{eq} (gr/lit)	C _s (gr/lit)
			n ₁	n ₂	Kn ₁	Kn ₂		
۶/۵	۱/۱	۰/۱	-۴/۶۴	-۵/۱۶	۰/۲۲۹×۱۰-۴	۰/۶۹۲×۱۰-۵	۲/۷۵	۱/۹۸
۷/۲	۰/۳	۰/۱	-۴/۷۸	-۵/۱۲	۰/۱۶۶×۱۰-۴	۰/۷۵۹×۱۰-۵	۲/۶۸	۲/۵۳
۸/۲	۱/۸	۰/۱۸	-۴/۷۱	-۵/۰۷	۰/۱۹۵×۱۰-۴	۰/۸۵۱×۱۰-۵	۲/۵۳	۱/۱۹

۵- نتیجه‌گیری

۱- با توجه به ناخالصی‌های ژئوسیت‌ها، معادله انحلال آن از سینتیک مرکب تبعیت می‌کند (یعنی ممکن است در مدت زمانی از واکنش معادله آن خطی و در مدت زمان دیگر غیر خطی باشد).

۲- ژئوسیت‌ها در حین انحلال، ابتدا با درجه واکنش بالا حل شده و پس از عبور از Cs (غلظت در زمان تغییر درجه واکنش) درجه واکنش آنها کاهش یافت.

۳- در زمانی که انحلال ژئوسیت با n زیادتر صورت می‌گیرد مقدار K نیز افزایش یافته و در حالت تغییر n به درجه کمتر، مقدار K نیز کاهش یافت.

۴- در آزمایش‌های انجام شده، مقدار C_s بین ۰/۴۷ تا ۰/۹۴ C_{eq} به دست آمد.

۵- با افزایش میزان افت درجه واکنش، تفاوت مقدار C_s از C_{eq} نیز بیشتر خواهد بود.

مراجع

تراپی کاوه، م.، ۱۳۸۹، "مطالعه انحلال پذیری سنگ‌های تبخیری سازند گچساران در محل سد چمشیر"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ۱۶۰ ص.

دوستی، م.، ۱۳۸۸، "مطالعه زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌های آهکی شمال و شمال غرب همدان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد"، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ۱۴۶ ص.

شرکت‌های مهندسی مشاور تهران سحاب - پاراب فارس، ۱۳۷۷، "گزارش زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه سد و تاسیسات وابسته به بدنه سد چمشیر"، مطالعات مرحله اول طرح، ۲۳۱ ص.

قبادی، م. ح.، ۱۳۶۶، "مطالعه پدیده انحلال پذیری و تزریق در توده سنگ‌های آهکی لار"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۲۰ ص.

مشعل، م.، صابری، م.، رضا، اسدی، ع. و احسانی، ج.، ۱۳۸۹، "بررسی رابطه تغییرات دبی آب رودخانه چمشیر با شاخص‌های

مورفوتکتونیک در محل احداث سد چمشیر"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، سال ۶ (۴): ۳۱۶-۳۲۲.

Alkattan, M., Oelkers, E. H., Dandurand, J. L. & Schott, J., 1997, "Experimental studies of halite dissolution kinetics: 1. The effect of saturation state and the presence of trace metals", *Chem. Geol.*, Vol. 137: 201-219.

Eisenlohr, L., Meteva, K., Gabrovšek, F. & Dreybrodt, W., 1999, "The inhibiting action of intrinsic impurities in natural calcium carbonate minerals to their dissolution kinetics in aqueous H₂O-CO₂ solutions", *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 63: 989-1002.

Ford, D., Williams, P., 2007, "Karst hydrogeology and geomorphology", *John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England*.

Jeschke, A. A., Vosbeck, K. & Dreybrodt, W., 2001, "Surface controlled dissolution rates of gypsum in aqueous solutions exhibit nonlinear dissolution kinetics", *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol 65: 27-34.

Lasaga, A. C., 1998, "Kinetic theory in the earth sciences", *Princeton Ser. in Geochem., Princeton Univ. Press, Princeton*.

Palmer, A. N., 1991, "The origin and morphology of limestone caves", *Geol. Soc. Amer. Bull.*, Vol. 103: 1-12.

Plummer, L. N. & Wigley, T. M. L., 1976, "The dissolution of calcite in CO₂ saturated solutions at 25 C° and 1 atmosphere total pressure", *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 40: 191-202.

Plummer, L. N., Wigley, T. M. L. & Parkhurst, D. L., 1978, "The kinetics of calcite dissolution in CO₂-water systems at 5 to 60 C° and 0.0 to 1.0 atm CO₂", *Am. J. Sci.*, Vol. 278: 179-216.

Setudehnia, A., OB-Perry, G. T., 1966, "Geological map of Gachsaran", *Iranian Oil Operating Companies (IOOC)*, 1,100,000.

Svensson, U., Dreybrodt, W., 1992, "Dissolution kinetics of natural calcite minerals in CO₂-water systems approaching calcite equilibrium", *Chem. Geol.*, Vol. 100: 129-145.