



کانی شناسی و زمین شیمی ذخیره بنتونیت تمینان، جنوب باختر نایین، استان اصفهان

شیرین فتاحی^{۱*}، علی اصغر کلاگری^۱، علی عابدینی^۲، هاشم باقری^۳

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز

۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۳- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان

(دریافت مقاله: ۹۳/۲/۲۵ ، نسخه نهایی: ۹۳/۶/۱)

چکیده: ذخیره بنتونیت تمینان در فاصله‌ی ۲۵ کیلومتری جنوب باختری نایین، استان اصفهان قرار دارد. این ذخیره شکل لایه‌ای و توده‌ای داشته و محصول دگرسانی برش‌های توفی به سن الیگومیوسن است. یافته‌های کانی‌شناسی نشان می‌دهند که مونتموریولونیت، هیولاندیت، کلینوپتیلولیت، کوارتز، آنورتیت، آلبیت، اورتوکلاز، کلسیت، بیدلیت، میکروکلین از کانی‌های مهم سنگ‌ساز این ذخیره هستند. الگوی توزیع REE‌ها بهنجار شده با کندریت، دلالت بر جدایش شدید LREE‌ها از HREE‌ها همراه با رخداد بی-هنجاری منفی Eu طی بنتونیت‌زایی دارند. یافته‌های زمین‌شیمیایی پیشنهاد می‌کنند که فرایندهای تبدیل برش‌های توفی به بنتونیت در این منطقه در یک سیستم باز رخ داده و فرایندهای شستشو و تثبیت، دو فاکتور تنظیم کننده‌ی اصلی در تمرکز اغلب عنصر جزئی و خاکی نادر هستند. با توجه به نتایج به دست آمده، به نظر می‌رسد که pH اسیدی و میزان تغییرات آن، جذب سطحی، ناهمگنی ترکیب سنگ اولیه، تلفیق در ساختار بلور، اختلاف در درجه‌ی همبافت‌شدن با لیگندهای سولفاتی، کلریدی و فلوریدی، درونزادی، تبادلات یونی، تمرکزهای بازماندی و تفاوت در میزان پایداری کانی‌ها در برابر دگرسانی، فاکتورهای کلیدی کنترل کننده‌ی توزیع عنصر طی شکل‌گیری ذخیره بنتونیت تمینان هستند.

واژه‌های کلیدی: بنتونیت؛ کانی‌شناسی؛ توزیع عنصر؛ شستشو و تثبیت؛ تمینان؛ نایین.

مقدمه

الی^۱، ۰^۱، ۵۱^۰ طول شرقی و ۳۲^۰، ۳۶^۰، ۳۱^۰ الی ۳۷^۰، ۴۱^۰ عرض شمالی، در فاصله‌ی ۲۵ کیلومتری جنوب باختری شهرستان نایین، استان اصفهان واقع شده و بخشی از ذخایر بنتونیت زون ایران مرکزی محسوب می‌شود. علیرغم بررسی‌های تفصیلی روی کانی‌شناسی کانسارهای بنتونیت و چگونگی رفتار عنصر اصلی، فرعی، جزئی و بهویژه عنصر خاکی نادر طی بنتونیت‌زایی در نقاط مختلف دنیا [۱، ۲، ۳، ۴]، و نیز ایران [۵، ۶]، تاکنون بررسی جامعی در این خصوص روی ذخیره بنتونیت تمینان انجام نشده است.

ذخایر بنتونیت در ایران زمین بیشتر در ارتباط با فعالیت‌های آتش‌فشانی سنوزوئیک بوده و از لحاظ مکانی به شش منطقه‌ی زمین‌شناختی، (۱) سمنان- ترود، (۲) البرز- آذربایجان، (۳) خاور ایران، (۴) ایران مرکزی، (۵) تفرش- تکاب و (۶) سلسله جبال زاگرس تفکیک شده‌اند [۱]. بنتونیت‌های زون ایران مرکزی بیشتر در استان‌های اصفهان و یزد شناسایی شده‌اند و از نظر سنی به ائوسن تا الیگومیوسن وابسته‌اند [۲]. ذخیره بنتونیت تمینان، به مختصات جغرافیایی "۵۰^۰، ۴۵^۰، ۰۰^۰" نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۵۷۳۷۳۰۸، پست الکترونیکی: shhfatahi1982@yahoo.com

بحث و بررسی زمین‌شناسی

بر اساس رده‌بندی واحدهای زمین‌ساختاری و ساختاری ایران [۷۲]، منطقه‌ی تمیinan بخشی از زون ایران مرکزی را شامل می‌شود (شکل ۱). آشکارترین واحدهای سنگی این منطقه به ترتیب قدیم به جدید عبارتند از سنگ‌های آهکی اوربیتولین دار به همراه واحدهای آتشفسنای اندکی دگرگون شده (کرتاسه زیرین)، کنگلومرای کرمان (ائوسن زیرین)، برش‌های توفی، لیتیک توف و ایگنمبیریت‌ها (ائوسن زیرین)، جریان‌های گدازه‌ای پیروکسن آندزیتی تا بازالتی (ائوسن زیرین)، جریان‌های گدازه‌ای پیروکسن آندزیتی تا بازالتی به همراه برش‌های توفی (الیگومیوسن)، جریان‌های گدازه‌ای داسیتی تا آندزیتی و گدازه‌های کلاستیک (پلیوسن) و رسوب‌های آبرفتی عهد حاضر (کواترنر) [۸] (شکل ۲). از نظر جایگاه زمین‌شناسی، ذخیره‌ی بنتونیتی در این منطقه که مشتمل بر دو رخمنون مجزاست، به دو صورت لایه‌ای و توده‌ای و به رنگ‌های متتنوع سبز، سفید، کرم، سبز روشن، سفید مایل به خاکستری، صورتی و قهوه‌ای زرد در برش‌های توفی الیگومیوسن تکامل و گسترش یافته‌اند. وجود مرز کاملاً تدریجی بین بنتونیت با برش‌های توفی درونگیر و وجود آثاری از برش‌های توفی در بنیان ماده‌ی معدنی از شاخص‌ترین سیماهای زمین‌شناسی این ذخیره محسوب می‌شوند. مهمترین شواهد صحرایی در این منطقه وجود تناوب منظمی از بنتونیت‌ها با برش‌های توفی به رنگ سبز است. کلیه‌ی بنتونیت‌ها سختی پایینی داشته و امکان تشخیص کانی‌ها در مقیاس مزوسکوپی، با توجه به ریز بودن کانی‌های تشکیل دهنده وجود ندارد. مهمترین ویژگی زمین‌شناسی این ذخیره تغییرات شدید رنگ و ضخامت در بخش‌های مختلف است. چین‌خوردگی‌های محلی به همراه لمس صابونی و خاصیت چسبندگی در بنتونیت‌های سبز رنگ، وجود دانه‌های زاویه‌دار تا گرد شده سیاه رنگ چرت در اغلب نمونه‌های بنتونیتی به ابعاد چند میلی‌متر، سطوح شکست صدفی در بنتونیت‌های سفید رنگ، وجود بافت پاکورن (Popcorn texture) در بنتونیت‌های سفید مایل به خاکستری، حضور ریز رگچه‌های سرخ تا نارنجی (اکسیدهای آهن) در بنتونیت‌های قهوه‌ای زرد و کرم و وجود ریز رگچه‌های کلسیتی در اغلب بنتونیت‌ها از دیگر سرشتی‌های برجسته‌ی ریخت‌شناسی این ذخیره‌اند.

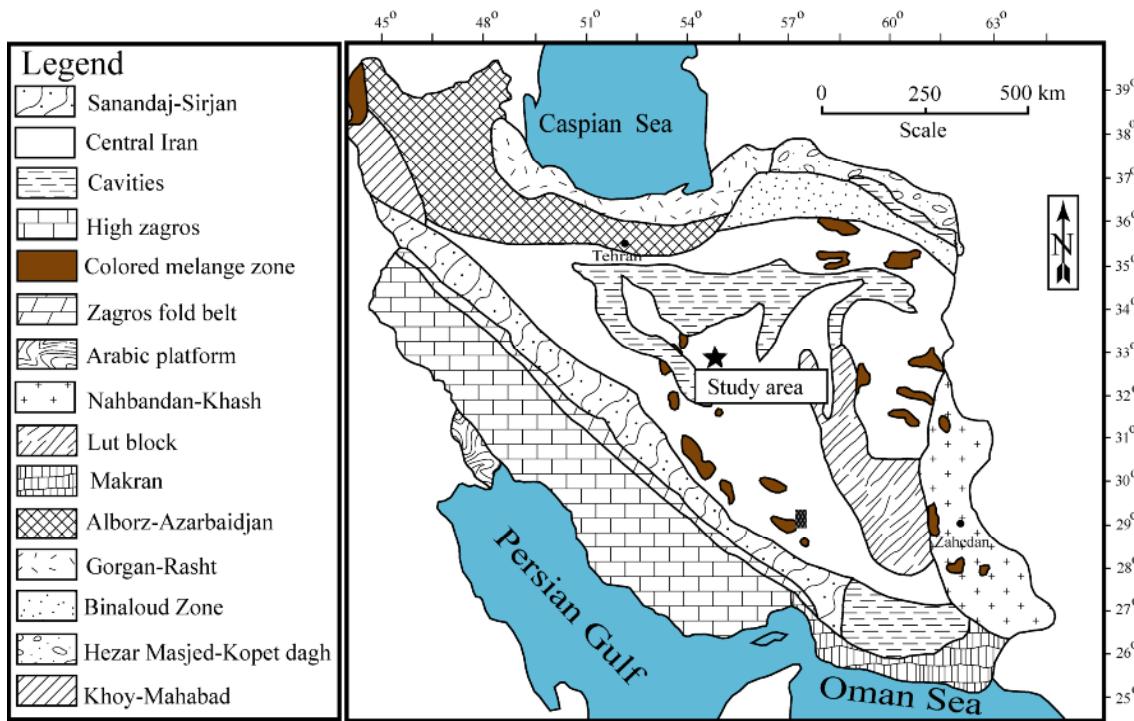
در این مقاله سعی شده است تا اطلاعات نسبتاً جامعی از ویژگی‌های کانی‌شناسی، فاکتورهای کنترل کننده‌ی حرک، توزیع و غنی‌شدگی عناصر اصلی، فرعی، جزئی و خاکی نادر طی بنتونیت‌زایی، و کانی‌های میزان REE‌ها در این ذخیره ارائه شوند.

روش بررسی

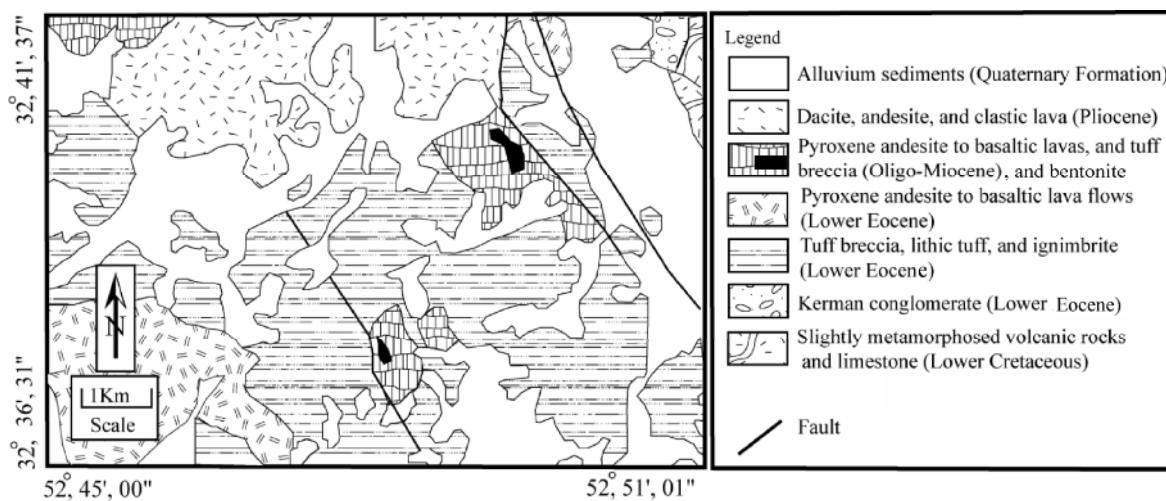
بررسی سنگ‌های بنتونیتی تمیinan و واحدهای سنگی همراه در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده است. در بخش صحرایی، پیمایش‌هایی برای بررسی تشکیلات زمین‌شناسی موجود، شکل ذخیره و چگونگی ارتباط آن با سنگ‌های درونگیر و ویژگی‌های میکروسکوپی و مزوسکوپی انوع گونه‌های بنتونیتی موجود صورت گرفته است. نمونه‌برداری از بنتونیت‌ها بر اساس تغییرات در ویژگی‌های فیزیکی نظیر رنگ، چگالی، سختی و بافت انجام شده است. شناسایی سرشتی‌های اصلی سنگ‌شناسی با تهییه و بررسی سنگ‌نگاشت‌های تعداد ۱۰ مقطع نازک و صیقلی از واحدهای درونگیر در سازمان زمین‌شناسی و بی‌جویی‌های معدنی کشور، و پراش پرتو ایکس (XRD) تعداد سه نمونه‌ی بنتونیتی در آزمایشگاه‌های دانشکده‌ی معدن دانشگاه تهران صورت گرفته است. بررسی‌های کانی‌شناسی تکمیلی به وسیله‌ی میکروسکوپ الکترونی Field Emission- Scanning Electron Microscopy (FE-SEM) در آزمایشگاه فلزنگاری دانشگاه تهران صورت گرفت. همچنین، برای تعیین ترکیب شیمیایی سنگ‌های درونگیر و بنتونیت‌ها و به پیروی از آن بررسی‌های زمین‌شیمیایی، هفت نمونه (شش نمونه بنتونیت و یک نمونه برش Inductively Coupled (ICP-ES) به روش‌های Plasma-Emission Spectroscopy (برای تعیین مقداری عنصر اصلی و فرعی) و Inductively Coupled (ICP-MS) (برای تعیین مقداری عناصر اصلی و فرعی) و Plasma-Mass Spectroscopy (برای تعیین مقداری عناصر جزئی و خاکی نادر) در آزمایشگاه‌های شرکت Acme کشور کانادا آنالیز شده‌اند. مقداری LOI نمونه‌ها بر اساس اختلاف وزن نمونه‌ها پیش و پس گرما دادن به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به وسیله شرکت یاد شده تعیین شده‌اند. نتایج آنالیزهای شیمیایی در جدول (۱) ارائه شده‌اند.

جدول ۱ مقدار عناصر اصلی، فرعی، جزئی، خاکی نادر و LOI در نمونه‌های مورد بررسی به همراه گستره آشکارسازی عناصر و مقدار بی‌هنجری‌های Eu و Ce.

	Detection limit	Tuff Breccia	White Bentonite	Light Green Bentonite	Pink Bentonite	Yellow-Brown Bentonite	Grayish White Bentonite	Green Bentonite
Sample No	-	Bs-1	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
SiO ₂ (wt%)	-, ۰.۱	۶۹,۲۳	۳۸,۷۶	۶۶,۳۱	۵۲,۱۹	۶۶,۳۱	۶۶,۲۲	۵۹,۲۳
Al ₂ O ₃	-, ۰.۱	۱۴,۱۸	۸,۱۴	۱۳,۰۶	۱۱,۷۴	۱۳,۲۷	۱۲,۹۲	۱۴,۸۳
Fe ₂ O ₃	-, ۰.۱	۳,۶۴	۱,۴۹	۲,۲۷	۲,۹۳	۲,۴۲	۵,۰۸	۷,۲۵
CaO	-, ۰.۱	۲,۳۳	۲۲,۵۹	۱,۳۵	۱۲,۱۲	۱,۳۳	۵,۶۵	۶,۱۷
Na ₂ O	-, ۰.۱	۳,۷۷	۱,۶۱	۳,۳۳	۲,۹۹	۳,۰۷	۳,۱۶	۳,۰۴
MgO	-, ۰.۱	۱,۰۹	۱,۶۱	۱,۵۱	۱,۲۵	۱,۶۴	۱,۷۳	۱,۱۴
K ₂ O	-, ۰.۱	۲,۰۳	۰,۹۹	۲,۰۸	۱,۹۲	۲,۰۹	۲,۱۸	۲,۴۲
TiO ₂	-, ۰.۱	۰,۴	۰,۱۲	۰,۲۴	۰,۳۳	۰,۲۵	۰,۵۷	۰,۷۹
MnO	-, ۰.۱	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۰۸	۰,۰۱	۰,۰۹	۰,۱۲
P ₂ O ₅	-, ۰.۱	۰,۱۴	۰,۰۹	۰,۰۵	۰,۱۵	۰,۰۵	۰,۱۲	۰,۴۹
Cr ₂ O ₃	-, ۰.۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۴	۰,۰۰۷	۰,۰۱۷	۰,۰۰۸	۰,۰۱۶	۰,۰۰۹
L.O.I	-	۲,۶	۲۳,۹	۹,۶	۱۲,۶	۹,۶	۶,۱	۴,۲
Sum	-	۹۹,۹۱۱	۹۹,۸۷۴	۹۹,۸۸۷	۹۹,۸۳۷	۹۹,۹۰۱	۹۹,۸۰۶	۹۹,۷۰۹
U (ppm)	-, ۰.۱	۰,۶	۲,۲	۱,۷	۳,۴	۱,۰۰	۲,۲	۵,۳
Th	-, ۰.۲	۱,۴	۳,۹	۴,۷	۴,۳	۴,۷	۶,۶	۸,۴
Ba	-, ۱	۲۶۸	۲۹۶	۱۹۰	۵۴۸	۱۷۰	۶۵۶	۶۷۵
Hf	-, ۰.۱	۱,۲	۱,۴	۲,۵	۲,۲	۲,۴	۲,۵	۲,۵
Co	-, ۰.۲	۸,۱	۵,۲	۵,۰۰	۶,۷	۴,۷	۱۰,۵	۶,۷
Zn	-, ۱	۴۸,۰۰	۱۲,۰۰	۱۸,۰۰	۲۰,۰۰	۱۷,۰۰	۳۵,۰۰	۱۷,۰۰
Nb	-, ۰.۱	۲,۰	۲,۴	۴,۵	۴,۵	۴,۷	۶,۱	۷,۹
Cs	-, ۰.۱	۱,۵	۱,۱	۱,۵	۱,۶	۱,۹	۱,۹	۱,۰۰
Rb	-, ۰.۱	۵۰,۵	۲۸,۱	۵۵,۲	۴۷,۶	۵۵,۰	۶۱,۲	۵۹,۸
V	-, ۸	۸۲,۰۰	۱۷	۳۶,۰۰	۹۳,۰۰	۴۳,۰۰	۱۲۶,۰۰	۱۸۳,۰۰
Y	-, ۰.۱	۱۰,۳	۲۲,۹	۲۱,۰۰	۲۵,۱	۲۰,۲	۱۸,۵	۳۴,۷
Pb	-, ۰.۱	۲,۹	۷,۷	۵,۶	۸,۶	۴,۴	۸,۰۰	۳۸,۸
Zr	-, ۰.۱	۵۳,۷	۴۵,۷	۹۲,۳	۷۳,۲	۷۱,۳	۹۱,۹	۱۱۹,۳
Ni	-, ۱۰	۳۹,۰	۱۲,۱	۱۴,۸	۲۶,۰۰	۱۶,۴	۲۱,۶	۱۱,۳
Sr	-, ۰.۵	۴۱۳,۳	۳۸۶	۳۷۳,۸	۴۹۸,۷	۴۴۵,۹	۴۳۹,۸	۱۱۴۵,۷
Ta	-, ۰.۱	۰,۲	۰,۳	۰,۳	۰,۳	۰,۳	۰,۴	۰,۵
Cu	-, ۰.۱	۱۹,۹	۵,۵	۱۰,۷	۱۳,۶	۸,۶	۱۳,۵	۱۰,۹
La (ppm)	-, ۰.۱	۷,۷	۱۱,۲	۱۴,۴	۱۴,۵	۱۶,۳	۱۸,۲	۲۵,۵
Ce	-, ۰.۱	۱۳,۹	۲۱,۱	۲۹,۲	۲۸,۳	۲۹,۷	۳۳,۲	۴۸,۵
Pr	-, ۰.۰۲	۱,۸۰	۲,۴۵	۳,۴۶	۲,۱۸	۳,۴۷	۳,۹۹	۵,۸۲
Nd	-, ۰.۳	۶,۵	۹,۳	۱۱,۴	۱۲,۷	۱۲,۸	۱۳,۷	۲۲,۴
Sm	-, ۰.۰۵	۱,۶۷	۲,۱۷	۲,۸۸	۲,۶۸	۲,۹۷	۳,۳۶	۵,۱۰
Eu	-, ۰.۰۲	۰,۵۱	۰,۳۱	۰,۴۷	۰,۵۹	۰,۴۹	۰,۷۳	۱,۲۳
Gd	-, ۰.۰۵	۱,۵۹	۲,۲۸	۲,۹۳	۲,۸۶	۲,۰۵	۳,۱۱	۵,۳۱
Tb	-, ۰.۰۱	۰,۲۷	۰,۴۵	۰,۵۴	۰,۵۲	۰,۵۲	۰,۵۰	۰,۸۹
Dy	-, ۰.۰۵	۱,۵۴	۲,۱۳	۲,۳۷	۳,۵۱	۲,۶۳	۳,۱۶	۵,۴۱
Ho	-, ۰.۰۲	۰,۳۷	۰,۶۷	۰,۶۵	۰,۷۶	۰,۶۴	۰,۶۷	۱,۱۰
Er	-, ۰.۰۳	۱,۱۳	۲,۳۱	۲,۲۲	۲,۳۹	۲,۰۶	۱,۹۴	۳,۴۲
Tm	-, ۰.۰۱	۰,۱۹	۰,۴۱	۰,۳۴	۰,۴۳	۰,۳۷	۰,۳۱	۰,۵۲
Yb	-, ۰.۰۵	۱,۳۲	۲,۷۵	۲,۳۷	۲,۶۴	۲,۵۲	۱,۹۷	۳,۱۸
Lu	-, ۰.۰۱	۰,۲۴	۰,۴۷	۰,۳۹	۰,۴۵	۰,۳۹	۰,۳۱	۰,۵۰
E _e /E _u *	-	-, ۰.۹۵	-, ۰.۴۵	-, ۰.۴۹	-, ۰.۶۵	-, ۰.۵۰	-, ۰.۸۰	-, ۰.۷۲
Ce/Ce*	-	-, ۰.۹۵	-, ۱,۰۰	-, ۱,۰۹	-, ۱,۰۰	-, ۰.۹۹	-, ۱,۰۰	-, ۰.۹۹



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی ساختاری ایران [۷] که بر اساس آن منطقه‌ی تمیان (با علامت ستاره) در زون ایران مرکزی قرار دارد.



شکل ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی. برگرفته از [۸] با اندکی تغییرات.

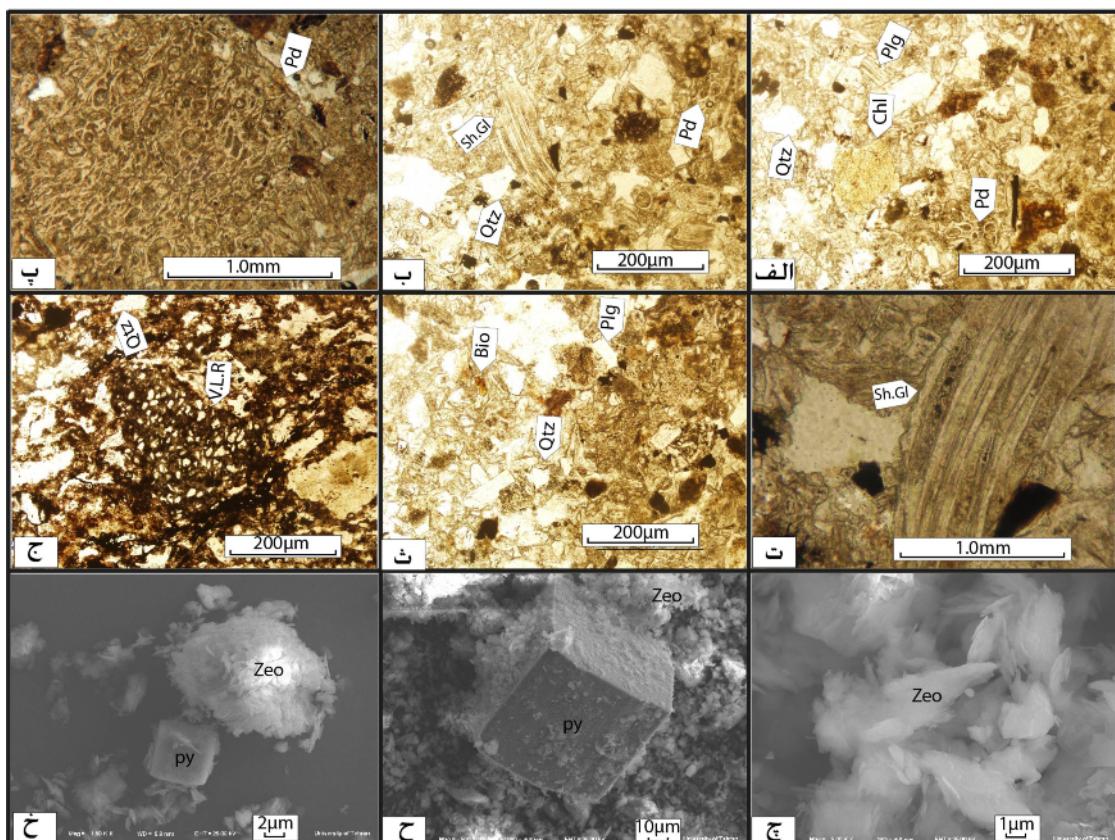
به شکل‌های لایه‌ای و خنجری دیده می‌شوند. علیرغم آرژیلیتی شدن شدید، ساختار حفره‌ای شکل پامیس‌ها حفظ شده است. حفره‌های پامیس‌ها بیشتر به دو شکل گروی و بیضوی قابل مشاهده‌اند. زئولیت‌های صفحه‌ای در این سنگ‌ها بهمیزان قابل ملاحظه‌ای جانشین شاردهای شیشه‌ای و بخش‌های شیشه‌ای پامیس‌ها شده‌اند (شکل ۳ الف، ب، پ و ت). لیتیک‌ها از پلاژیوکلاز و شیشه و به‌مقدار ناچیز از کوارتز تشکیل شده‌اند.

سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی برش‌های توفی و بنتونیت‌ها
بر پایه‌ی بررسی‌های میکروسکوپی، برش‌های آتشفسانی ترکیبی در حد ویتریک لیتیک کریستال توف دارند. این سنگ‌ها بیشتر از شاردهای شیشه‌ای، خردکهای پامیس و به مقدار کمتر از خردمنگ‌های آتشفسانی با ترکیب آندزیت و بلورهای درشت پلاژیوکلاز، کوارتز، بیوتیت و کلریت تشکیل شده‌اند (شکل ۳ الف تا ج). در مقاطع میکروسکوپی، شاردهای شیشه‌ای

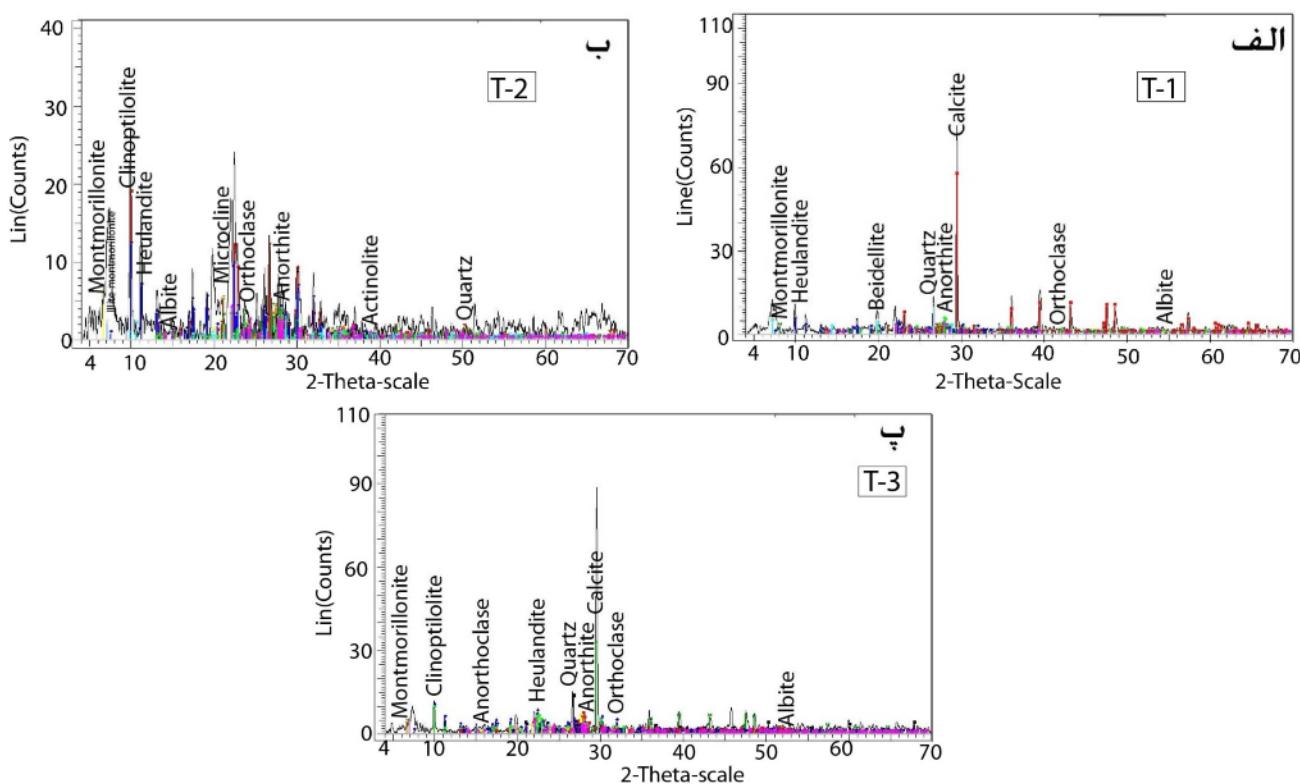
آمفیبول‌های ستونی و بیوتیت‌ها شده است (شکل ۳ الف). در این سنگ‌ها، بیوتیت‌ها به صورت بلورهای قهوه‌ای تیره و شکل‌دار دیده می‌شوند (شکل ۳ ث). همچنین، تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان می‌دهند که زئولیت‌ها (شکل ۳ ج) به همراه پیریت (شکل ۳ ح و خ) در این سنگ‌ها به عنوان کانی‌های فرعی حضور دارند.

آنالیزهای پراش پرتو ایکس (XRD) (شکل ۴ الف، ب و پ) نشان می‌دهند که مونتموریلونیت، هیولاندیت، کلینوپیتولیت، کوارتز، کلسیت، آنورتیت، آلبیت و اورتوکلاز کانی‌های اصلی و بیدلیت، اکتینولیت، میکروکلین و آنورتوکلاز به عنوان کانی‌های فرعی تشکیل دهنده‌ی ذخیره‌ی بنتونیت تمینان هستند.

شیشه‌های آتشفشاری موجود در زمینه‌ی خرده‌سنگ‌ها به صورت بخشی به کانی‌های رسی تجزیه شده‌اند. پلازیوکلازها به دو شکل فنوکریست و میکروفنوکریست در یک زمینه‌ی شیشه‌ای سیاه رنگ مشاهده می‌شوند (شکل ۳ ج). با توجه به بررسی‌های میکروسکوپی، خرده‌سنگ‌ها ترکیبی در حد آندزیت دارند. همچنین بلورهای درشتی مثل پلازیوکلاز، کلریت و بیوتیت (به ترتیب فراوانی) با فراوانی کمتر نسبت به خرده سنگ‌های آتشفشاری و بخش‌های شیشه‌ای در این سنگ‌ها دیده می‌شوند. پلازیوکلازها به صورت شکل دار تا نیمه شکل دار بوده و دارای منطقه‌بندی هستند. آن‌ها اغلب برخلاف پامیس‌ها و شاردهای شیشه‌ای از دگرسانی مصون مانده‌اند (شکل ۳ الف، ب و ث). کوارتزهای درشت بلور در این سنگ‌ها اغلب دارای خاموشی موجی هستند. کلریت نیز در این سنگ‌ها جانشین



شکل ۳ الف) خرده پامیس، کلریت با جانشینی دروغین به جای آمفیبول، پلازیوکلاز شکل دار به صورت فنوکریست با ماکل پلی‌سنتتیک و کوارتز نیمه شکل دار (PPL)، ب) خرده پامیس، شیشه‌ی آتشفشاری با شکل خنجری و کوارتز نیمه شکل دار (PPL)، پ) خرده پامیس که ضمن حفظ حفره‌های کروی خود به طور گسترش به کانی‌های رسی تبدیل شده است (PPL)، ت) شیشه‌ی آتشفشاری با شکل خنجری که به طور گسترش به کانی‌های رسی جانشین شده است (PPL)، ث) کوارتز، پلازیوکلاز شکل دار به صورت فنوکریست و بیوتیت شکل دار (PPL)، ج) کوارتز نیمه شکل دار و خرده‌سنگ آتشفشاری حاوی کوارتز و پلازیوکلاز در برش توفی (PPL)، ح) تصویر SEM از زئولیت، خ) و خ) تصویر SEM از زئولیت و پیریت. علامت اختصاری به کار رفته عبارتند از: پیریت، Py=پیریت، Bio=بیوتیت، Ptg=بیوتیت، Zeo=زئولیت، Qtz=کوارتز، Chl=کلریت، Pd=کلریت، Sh.Gl=شیشه شاره و V.L.R=سنگ لیتیک آتشفشاری (علامت اختصاری کانی‌ها از کریتس [۶] اقتباس شده‌اند).



شکل ۴ نمودارهای پراش پرتو ایکس (XRD) در سه نمونه بنتونیت مورد بررسی.

ترسیم نمودار دو متغیره: نمودار ایزوکون از ترسیم عناصر در یک نمودار لگاریتمی- لگاریتمی ساخته می‌شود. در این روش برای نمایش تغییرات یافته‌های زمین‌شیمیایی نمودارهای دو محوره ترسیم شدند که در آن محور افقی، ترکیب سنگ اولیه و محور قائم، ترکیب برش‌های توفی در محور X و ترکیب میانگین بنتونیت‌ها در محور Y منظور شدند (شکل ۶).

تعیین عناصر غیر متحرک ترسیم خط ایزوکون: در این بررسی، از عناصری مانند Al و Ti که تغییرپذیری اندکی طی فرایندهای دگرسانی از خود نشان می‌دهند [۱۲]، به عنوان عنصر شاخص بی‌تحرک استفاده شد. خط ایزوکون از مبدأ به این عناصر ترسیم شد. عناصری که روی خط ایزوکون یا نزدیک به آن قرار گرفته‌اند، به عنوان عناصر بی‌تحرک در نظر گرفته می‌شوند. عناصری که بالا و پایین خط ایزوکون قرار گرفته‌اند، به ترتیب به عنوان عناصر غنی شده و تهی شده طی بنتونیت‌زایی تلقی شدند (شکل ۶).

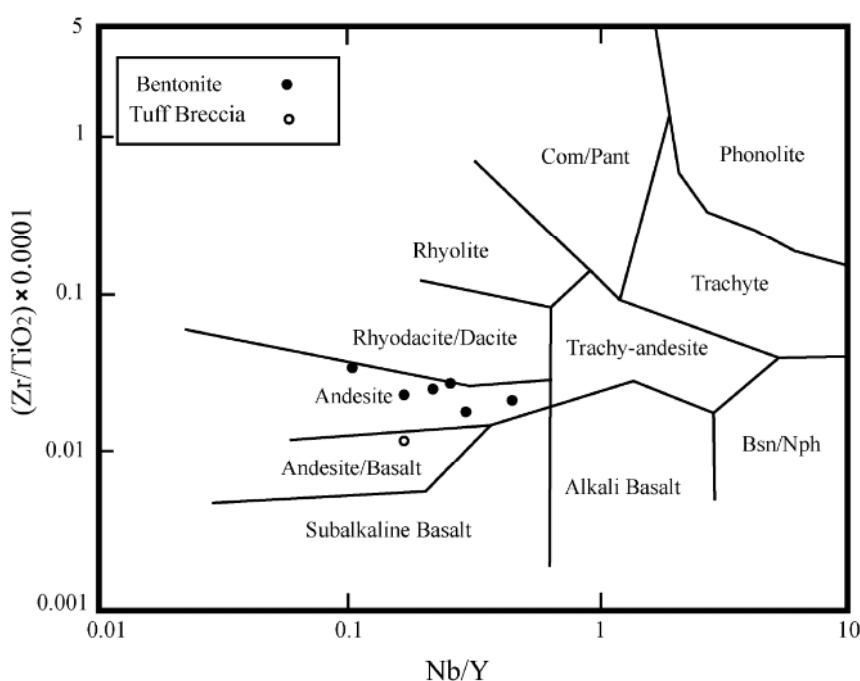
ترکیب ماقمای اولیه سنگ‌های مادر ذخیره بنتونیت نمودارهای عناصر کمیاب و جزیی که برای تعیین ترکیب ماقمای مولد سنگ آذرین به کار برده می‌شوند، می‌توانند برای تعیین خاستگاه و ترکیب ماقمای اولیه سنگ‌های بنتونیتی شده مورد استفاده قرار گیرند [۳]. استفاده انتخابی از عناصر بی‌تحرکی چون Zr، Nb، Y و Ti در این قبیل نمودارها خطای ناشی از اقلاف عنصری در طول دگرسانی به کانی‌های رسی را طی شکل‌گیری ذخایر بنتونیتی به حداقل می‌رساند. با ترسیم یافته‌های وابسته به بنتونیت‌ها و برش‌های توفی در نمودار دو متغیره‌ی Zr/Ti-Nb/Y [۱۰] (شکل ۵) نشان می‌دهد که بنتونیت‌ها همانطور که انتظار می‌رفت دارای ترکیب اولیه‌ای در حد آندزیت هستند.

رفتار عناصر در طی بنتونیت‌زایی
در این بررسی برای نمایش روند تغییرات عناصر اصلی، فرعی، جزئی و خاکی نادر در طی دگرسانی برش‌های توفی به بنتونیت‌ها، از روش ایزوکون [۱۱] و به شرح مراحل زیر استفاده شد:

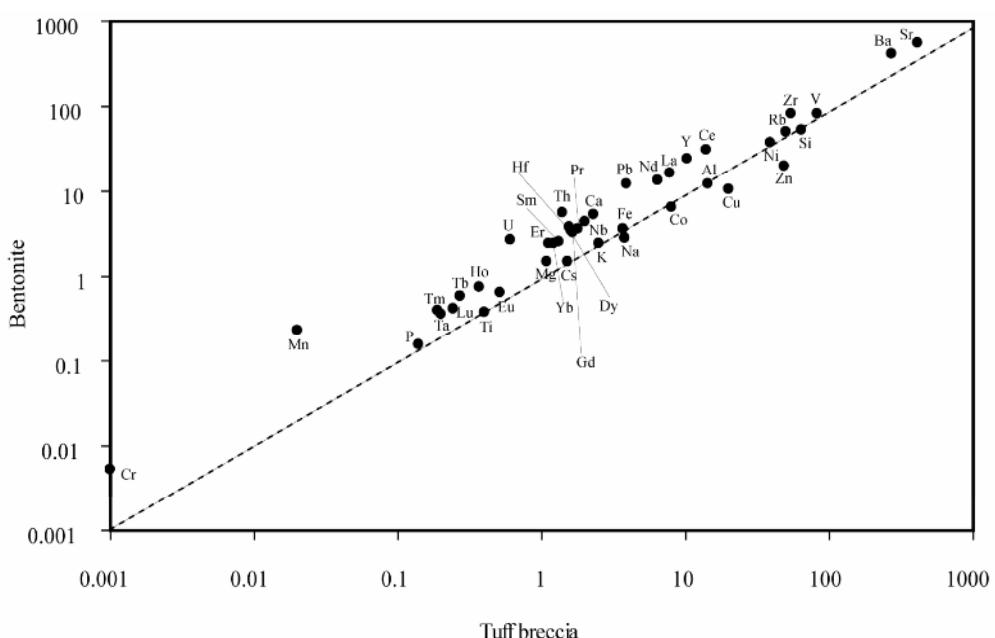
حضور کانی‌های فسفاتی در مقادیر ناچیز در نهشته‌ی بنتونیتی وابسته دانست. Na^+ یون اشغال کننده‌ی بین لایه‌ای در مونت-موریلوبونیت‌ها و یا جایگزین شونده بهجای Ca است [۱۴]. شیشتوشی ضعیف Na_2O در طی بنتونیت‌زایی را می‌توان به این شکل توجیه کرد که شیشه‌های آتشفسانی و پلاژیوکلازها که حامل‌های مهم این عنصر در برش‌های توفی هستند، طی دگرسانی، این اجزای سنگساز به طور بخشی از سیستم خارج شده است [۱۵]. غنی‌شدگی K_2O طی بنتونیت‌زایی را می‌توان Fe_2O_3 به حضور کانی‌ایلیت در ذخیره نسبت داد. غنی‌شدگی Fe_2O_3 طی شکل‌گیری این ذخیره را می‌توان به تثبیت Fe در کانی‌های رسی تلفیق ساختاری و یا به حضور اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن در بنتونیت‌ها نسبت داد [۱۶]. در کل چنین به نظر می‌رسد که غنی‌شدگی برحی از عناصر اصلی و فرعی در این ذخیره با عواملی چون تلفیق ساختاری، دیاژنز، تبادله‌ای یونی و سازوکارهای جذب یا تمرکز فیزیکی در فازهای باقیمانده نامحلول صورت گرفته است. میزان تهی شدگی Na وابسته به درجه‌ی دگرسانی فلدسپارها و مقاومت پایین این کانی‌ها در برابر محلول‌های مسئول بنتونیتی‌شدن است.

عوامل زمین‌شیمیایی موثر در تحرک و غنی‌شدگی عناصر طی بنتونیتی‌شدن در تمینان عناصر اصلی و فرعی

با توجه به نمودار ایزوکون رسم شده (شکل ۶)، اکسیدهای اصلی و فرعی تشکیل دهنده‌ی بنتونیت‌ها را می‌توان از نظر رفتاری به سه دسته تقسیم کرد. دسته‌ی اول شامل اکسیدهایی نظیر SiO_2 بوده که طی بنتونیت‌زایی دستخوش افزایش یا کاهش جرم نشده است. دسته‌ی دوم اکسیدهایی افزایش یا کاهش جرم اندکی داشته است. دسته‌ی سوم شامل اکسیدهایی مانند Na_2O بوده که طی فرایند بنتونیت‌زایی دستخوش افزایش جرم داشته‌اند. با توجه به کانی‌شناسی، افزایش جرم Mg طی تشکیل این ذخیره می‌تواند به‌واسطه‌ی تشکیل اسمکتیت رخ داده باشد. افزایش نسبی محتوای Ca می‌تواند به حضور کلسیت به همراه مونت-موریلوبونیت (به عنوان فاز کانی‌ای اصلی) در ذخیره وابسته باشد. غنی‌شدگی Mn نیز به احتمال زیاد به‌واسطه‌ی حضور این عنصر در موقعیت‌های بین لایه‌ای در مونت-موریلوبونیت‌ها و یا جایگزینی آن بهجای Ca^{2+} های حل شده صورت گرفته است [۱۷]. غنی‌شدگی P_2O_5 در نمونه‌های بنتونیتی را می‌توان به



شکل ۵ موقعیت برش توفی و نمونه‌های بنتونیتی تمینان در نمودار دو متغیره‌ی Nb/Y - Zr/TiO_2 .



شکل ۶ نمودار ایزوکون (اقتباس از [۱۱]) ترسیم شده برای عناصر اصلی، فرعی، جزئی و خاکی نادر که در آن محور X ترکیب برش توفی و محور Y میانگین بنتونیت‌هاست.

نیز بهترتیب به دلیل جانشینی Sr به جای Ca در شبکه‌ی کانی کلسیت و ورود Ba به سیستم به وسیله‌ی گرمابها صورت گرفته است. حاکم بودن شرایط محیطی اکسایش در طی تشکیل بنتونیت‌ها باعث شده است که U^{4+} نامحلول به U^{6+} محلول تبدیل شود. اورانیومی که تحت شرایط اکسیدان احلال می‌یابد می‌تواند به طور بخشی با فازهای حاوی SiO_2 و اکسیدهای ثانویه Fe و Mn جذب و در سیستم ثبت شود [۱۵]. احتمالاً U در طی فرآیند بنتونیت‌زاوی در تمیinan ایچجین رفتار کرده باشد. Pb در ساختار فلدسپارها و در شبکه کانی‌های فرومگنتزین سنگ‌های اولیه حضور داشته‌اند. چنین به نظر می‌رسد که با تخریب کانی‌های فلدسپار، Pb در داخل کانی‌های رسی به طور بخشی باقی مانده است اما عنصر Zn در طی فرآیند بنتونیتی شدن کانی‌های میزبان به طور بخشی از سیستم خارج شده‌است. عنصر Cs از جمله عناصر بزرگ یونی است که معمولاً در ساختار کانی‌ها جایگزین پتاسیم می‌شود [۱۶]. قابلیت جذب انتخابی Cs در ساختار مونتموریلونیت در ارتباط با طول محور C این کانی و بار کاتیون‌های اکتاهدرال توسط ایلیاسون [۱۷] مورد بررسی قرار گرفته است. بنتونیت‌ها به علت داشتن فضای بین لایه‌ای مناسب از پتانسیل خوبی برای جذب این عنصر در طی تکوین

عناصر جزئی

با توجه به نمودار ایزوکون ترسیم شده، چهار حالت مختلف را می‌توان برای تشریح توزیع عناصر جزئی در بنتونیت‌ها بیان کرد (شکل ۶). حالت اول مربوط به عناصری مانند Cu و Zn است که طی بنتونیتی شدن با تهی شدگی همراه شده‌اند. حالت دوم برای عناصری مانند Ba, Sr, U, Th, Rb, Pb, Ta, V, Cs است که در کل، این عناصر طی بنتونیت‌زاوی برش‌های توفی با غنی شدگی همراه شده‌اند. حالت سوم برای عناصری همچون Co و Ni هستند که طی دگرسانی به صورت بی‌تحرک عمل کرده‌اند. حالت چهارم به عناصری چون Zr, Y, Hf و Nb وابسته است که از نظر زمین‌شیمیایی در محیط‌های آبگون به عنوان عناصر نسبتاً بی‌تحرک شاخته شده ولی طی تشکیل و گسترش ذخیره‌ی بنتونیت تمیinan با غنی شدگی نسبی همراه شده‌اند.

Ronod توزیع و غنی شدگی عناصری نظیر Zr, Y, Hf و Nb در این ذخیره نشان می‌دهد که شرایط محیطی نسبتاً مرتبط بازماندی بتوانند در بنتونیت‌ها تمرکز یابند. به نظر می‌رسد غنی شدگی طی بنتونیت‌زاوی به علت جانشینی این عنصر به جای K در ساختار کانی‌های رسی نظیر ایلیت رخ داده است. غنی شدگی Sr و Ba

شدگی LREE‌ها در برخی از نمونه‌ها را فراهم کرده است. به طور معمول، لیگندهایی که در REE‌های پایین با تشکیل کمپلکس می‌دهند و سبب خروج بخشی آن‌ها از سیستم دگرسان می‌شوند عبارتند از سولفات‌ها، کلریدها و فلوریدها می‌باشند. در pH‌های قلیایی، لیگندهای کربناتی می‌توانند به واسطه همبافت شدن با REE‌ها، آن‌ها را از سیستم خارج نمایند [۱۹]. با توجه به آنچه گفته شد، بهنظر می‌رسد که در تشکیل ذخیره‌ی بنتونیت تمیمان، میزان دستریسی به لیگندهای کلریدی، سولفاتی و بهویژه فلوریدی یکی از فاکتورهای مهم در تحرک REE‌ها از سیستم دگرسانی باشد.

تفسیر بی‌هنجاری‌های Ce و Eu

در این برسی برای محاسبه‌ی میزان بی‌هنجاری Eu و Ce از روابط زیر استفاده شد:

$$\text{Eu/Eu}^* = (\text{Eu}_{\text{N}})/\sqrt{\text{Sm}_{\text{N}} \times \text{Gd}_{\text{N}}} \quad [۲۰]$$

$$\text{Ce/Ce}^* = (3\text{Ce}_{\text{N}})/(2\text{La}_{\text{N}} + \text{Nd}_{\text{N}}) \quad [۲۱]$$

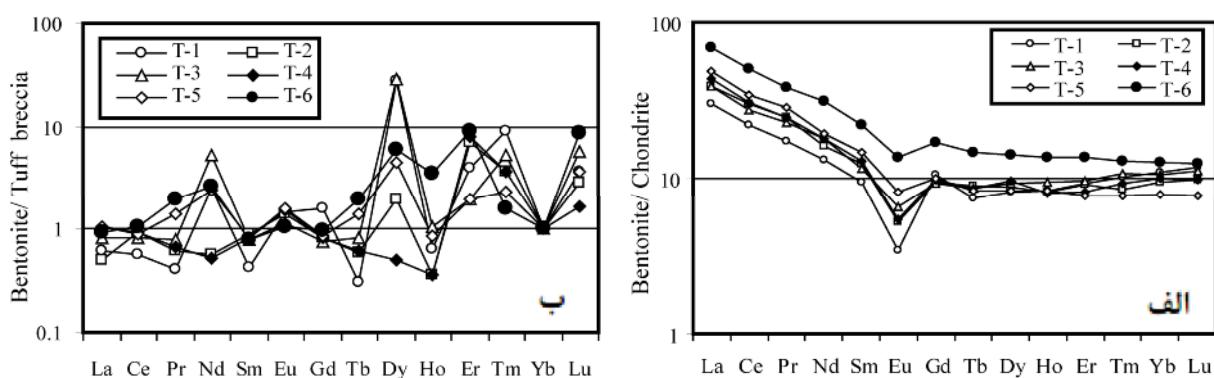
شاخص N بهنجاری ترکیب کندریت [۱۶] را نشان می‌دهد. محاسبات انجام شده نشان می‌دهد که مقادیر بی‌هنجاری Eu در برش توفی در حدود ۰/۹۵ بود که این مقدار در بنتونیت‌ها از ۰/۴۵ الی ۰/۸۰ تغییر می‌کند (جدول ۱). همچنین بی‌هنجاری Ce در برش توفی در حدود ۰/۹۵ بوده و در بنتونیت‌ها مقادیر آن تغییراتی از ۰/۹۹ تا ۳/۰۰ را نشان می‌دهد. به عبارت بهتر مقادیر بی‌هنجاری Eu و Ce طی بنتونیتی شدن به ترتیب روند منفی و مثبت دارد. بررسی‌های انجام شده نشان داد که شعاع یونی Eu²⁺ در حدود ۱/۲۵ Å بوده و تا حدی نزدیک به شعاع یونی Ca²⁺ و Sr²⁺ (۱/۱۳ Å) است. از این رو، Eu می‌تواند جانشینی Ca و Sr در ساختار پلازیوکلاز شود [۲۲، ۲۲]. به نظر می‌رسد که طی دگرسانی پلازیوکلازها، این عنصر به همراه Ca طی مراحل اولیه بنتونیتی شدن برش‌های توفی خارج شده و بی‌هنجاری منفی Eu در نمونه‌ها ایجاد شده است. بی‌هنجاری مثبت Ce طی بنتونیتی شدن به واسطه‌ی تبدیل Ce³⁺ به Ce⁴⁺ نامحلول در شرایط اکسایشی محیط است. با در نظر گرفتن آنچه گفته شد، می‌توان چنین استنباط کرد که تغییرات بی‌هنجاری‌های منفی Eu و مثبت Ce به واسطه‌ی بیشتر درجه‌ی دگرسانی فلذسپارها و تغییر در میزان درجه‌ی اکسایش محیط کنترل شده‌اند.

خود برخوردار هستند. خروج آهن فریک از محیط و جانشینی آلومینیوم به جای سیلیسیم در مونت‌موریلوبونیت نیز سبب ایجاد بار منفی در موقعیت اکتاھدری شده و موجب افزایش جذب Cs می‌شود. به نظر می‌رسد که علاوه بر نقش ارزنده ایلیت در تمرکز بخشی Cs، چنین پدیده‌ای در غنی‌شدگی این عنصر در عناصری نظیر Th، V، و Ta می‌تواند بهدلیل عدم تحرک و تثبیت این سه عنصر بهوسیله کانی‌های رسی صورت گرفته باشد. Co و Ni آزاد شده از دگرسانی کانی‌های مافیک نیز احتمالاً توسط عملکرد فرایندهای جذب سطحی بهوسیله رس-ها در سیستم تثبیت شده‌اند.

عناصر خاکی نادر

رفتار عناصر خاکی نادر طی فرایند بنتونیتی شدن

رفتار REE‌ها در طی دگرسانی برش‌های توفی و تبدیل آن‌ها به بنتونیت‌ها تابعی از ویژگی‌های پروتولیت و شرایط فیزیکوشیمیایی محیط دگرسانی است [۴]. الگوی توزیع REE‌ها بهنجار شده به کندریت [۱۶] در نمونه‌های بنتونیتی LREE‌ها دربررسی دلالت بر جدایش و غنی‌شدگی Eu از HREE‌ها همراه با رخداد بی‌هنجاری‌های منفی شدید Eu در طی بنتونیت‌زایی دارد (شکل ۷ الف). این در حالی است که الگوی توزیع REE‌ها بهنجار شده به ترکیب برش توفی، تحرک و غنی‌شدگی نامنظم را در طی بنتونیت‌زایی آشکار می‌نماید (شکل ۷ ب). از این نمودار می‌توان چند نکته کلیدی برای تنشکیل و توسعه ذخیره بنتونیت تمیمان استخراج نمود. روند توزیع ناموزون REE‌ها در نمونه‌های بنتونیتی می‌تواند دلیلی بر ناهمگنی در ترکیب سنگ اولیه این ذخیره و یا تفاوت در میزان شدت دگرسانی باشد. مضاف بر این، از آنجایی که غلظت pH REE‌ها به طور مستقیم و یا غیر مستقیم توسط تغییرات pH محیط کنترل می‌شود [۱۸]، می‌توان تغییرات در pH محلول-های مسئول بنتونیت‌زایی را یکی از عوامل مهم در تفاوت در میزان تهی شدگی و غنی‌شدگی REE‌ها قلمداد نمود. بررسی-های انجام شده نشان داده است که pH LREE‌ها در H⁺ اسیدی و HREE‌ها در pH قلیایی دچار تحرک می‌شوند [۱۹]. با توجه به تهی شدگی بیشتر LREE‌ها نسبت به HREE‌ها می‌توان چنین متصور شد که pH محلول‌های دگرسان کننده برش‌های توفی اسیدی بوده که موجبات تهی-



شکل ۷ (الف) نمودار عنکبوتی عناصر خاکی نادر بهنجر شده در انواع بنتونیت‌ها نسبت به کندربیت C1 [۱۶] و (ب) نمودار عنکبوتی عناصر خاکی نادر بهنجر شده در انواع بنتونیت‌ها نسبت به بهرش توفی.

REE‌ها در ذخیره‌ی بنتونیتی ایفا کرده‌اند. همبستگی مثبت و متوسط تا قوی بین Fe با REE‌ها به جز Yb و Lu (۰/۸۷-۰/۹۷) (جدول ۲) نشان می‌دهد که اکسیدهای آهن و یا فازهای Fe کانیایی Fe دار نظیر رس‌ها که به‌واسطه‌ی تلفیق ساختاری را در سیستم ثبیت کرده‌اند، نیز می‌توانند در ثبیت بخشی از REE‌های سیستم ایفای نقش کرده باشند. همبستگی مثبت بین عنصر O با اغلب Na₂O LREE‌ها (۰/۴۲-۰/۴۰) نشان می‌دهد برخی از کانی‌های سدیم‌دار مصون مانده از دگرسانی، همچون آلبیت در تمرکز لانتانیدها موثر بوده‌اند. P₂O₅ با REE‌ها همبستگی مثبت و متوسط تا قوی (۰/۵۸-۰/۹۹) نشان می‌دهد. همبستگی‌های یاد شده حکایت از آن دارد که توزیع REE‌ها در بنتونیت‌های مورد بررسی به احتمال زیاد به‌طور بخشی به‌وسیله‌ی کانی‌های فسفاتی کنترل شده است. همبستگی مثبت و شدید بین La, Ce و Nd با P₂O₅ (۰/۸۷-۰/۹۲) می‌تواند دلالت بر حضور احتمالی کانی‌های مونازیت و رابدوفان در این ذخیره باشد [۲۴, ۲۵]. همبستگی مثبت و شدید بین Ce و Zr (۰/۹۲-۰/۹۳) دلالت بر نقش احتمالی کانی-های Zr در تمرکز Ce طی بنتونیت‌زایی دارد (جدول ۲). همبستگی مثبت و متوسط تا قوی بین Y با REE‌ها (۰/۴۸-۰/۹۹)، نشان از رفتار زمین‌شیمیایی مشابه Y با REE‌ها دارد. همبستگی مثبت و شدید بین P₂O₅ با Y (۰/۹۳-۰/۸۹) دلالت بر حضور احتمالی کانی‌های فسفاتی غنی از Y نظیر زینوتایم در بنتونیت‌ها دارد.

کانی‌های میزبان عناصر خاکی نادر
چندین گروه از کانی‌ها به عنوان میزبان REE‌ها در فراورده‌های دگرسان شده معرفی شده‌اند. از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به کانی‌های رسی، کانی‌های فسفاتی ثانویه، اکسیدها و هیدروکسیدهای منگنز و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن اشاره کرد [۲۴]. آنالیزهای XRD انجام شده در این بررسی‌فازهای کانیایی را شناسایی کرده‌اند که فراوانی بالای ۴٪ بوده‌اند. همچنین بررسی‌های SEM به علت کمبود امکانات برای تعداد اندکی از نمونه‌ها، آن هم به صورت مختصر، صورت پذیرفته است. بنابراین این احتمال وجود دارد که فازهای کانیایی دیگری نیز در این نمونه‌های بنتونیتی وجود داشته باشند که به یاری آنالیزهای XRD و SEM شناسایی نشده‌اند. در این بررسی، برای تعیین کانی‌های میزبان احتمالی REE‌ها ضرایب همبستگی پیرسون (۰/۲۱) بین برخی از عناصر اصلی، فرعی و جزئی با REE‌ها محاسبه شدند (جدول ۲). محاسبات ضرایب همبستگی بین Al با REE‌ها نشان داد که این عنصر همبستگی مثبت و متوسط تا قوی با برخی عناصر خاکی نادر دارد. بنابراین، این احتمال وجود دارد که کانی‌های رسی نقش موثری در تمرکز بخشی از REE‌ها در این ذخیره داشته باشند. از سوی دیگر، همبستگی مثبت و شدید بین TiO₂ و REE‌ها (۰/۹۴-۰/۸۹) حکایت از آن دارد که فازهای کانیایی Ti دار به احتمال زیاد نقش مناسبی در تمرکز

جدول ۲ مقادیر ضرایب همبستگی پیرسون [۲۱] بین برخی از عناصر انتخابی در نمونه‌های بنتونیتی مورد بررسی در تمینان.

	Si	Al	Ti	Mn	Na	Fe	P	Th	Y	Zr	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Si	1,00																							
Al	0,86	1,00																						
Ti	0,۳۳	0,۷۱	1,00																					
Mn	-0,۸۹	-0,۷۵	-0,۳۶	1,00																				
Na	0,۹۲	0,۸۸	0,۴۶	-0,۶۷	1,00																			
Fe	0,۳۰	0,۶۹	0,۹۹	-0,۳۵	0,۴۱	1,00																		
P	0,۰۰	0,۴۸	0,۸۴	-0,۰۵	0,۱۱	0,۸۷	1,00																	
Th	0,۳۵	0,۷۱	0,۹۷	-0,۴۸	0,۴۰	0,۹۸	0,۸۴	1,00																
Y	-0,۱۷	0,۳۳	0,۶۲	0,۱۰	0,۰۰	0,۶۵	0,۹۳	0,۶۱	1,00															
Zr	0,۶۳	0,۸۹	0,۸۷	-0,۶۱	0,۷۲	0,۸۶	0,۷۰	0,۸۸	0,۵۳	1,00														
La	0,۴۳	0,۸۱	0,۹۵	-0,۴۸	0,۴۸	0,۹۵	0,۸۷	0,۹۶	0,۴۸	0,۸۹	1,00													
Ce	0,۴۵	0,۸۲	0,۹۳	-0,۵۳	0,۴۹	0,۹۳	0,۸۷	0,۹۶	0,۷۱	0,۹۲	0,۹۹	1,00												
Pr	0,۳۱	0,۸۲	0,۹۴	-0,۵۱	0,۵۰	0,۹۵	0,۸۷	0,۹۶	0,۷۱	0,۹۳	0,۹۹	0,۹۹	1,00											
Nd	0,۱۰	0,۷۴	0,۹۲	-0,۳۵	0,۴۰	0,۹۳	0,۹۴	0,۹۲	0,۸۱	0,۸۵	0,۹۸	0,۹۷	0,۹۷	1,00										
Sm	0,۴۰	0,۷۸	0,۹۳	-0,۴۷	0,۴۴	0,۹۴	0,۸۹	0,۹۶	0,۷۴	0,۹۰	0,۹۹	0,۹۹	0,۹۸	1,00										
Eu	0,۵۲	0,۷۳	0,۹۷	-0,۳۲	0,۴۲	0,۹۷	0,۹۳	0,۹۵	0,۷۷	0,۸۸	0,۹۷	0,۹۶	0,۹۷	0,۹۸	0,۹۷	1,00								
Gd	0,۳۳	0,۷۸	0,۸۹	-0,۴۰	0,۸۹	0,۹۰	0,۹۳	0,۹۱	0,۸۲	0,۸۷	0,۹۷	0,۹۸	0,۹۶	0,۹۹	0,۹۸	0,۹۶	1,00							
Tb	0,۷۶	0,۶۷	0,۸۱	-0,۳۰	0,۳۰	0,۸۴	0,۹۴	0,۸۵	0,۸۹	0,۸۲	0,۹۱	0,۹۳	0,۹۳	0,۹۶	0,۹۵	0,۹۲	0,۹۸	1,00						
Dy	0,۱۷	0,۶۲	0,۷۵	-0,۲۴	0,۲۴	0,۷۸	0,۹۳	0,۷۹	0,۹۲	0,۷۳	0,۸۸	0,۸۹	0,۸۹	0,۹۵	0,۹۱	0,۸۸	0,۹۶	0,۹۸	1,00					
Ho	0,۰۰	0,۴۸	0,۶۴	0,۰۰	0,۱۲	0,۸۲	0,۹۹	0,۷۹	0,۹۶	0,۶۸	0,۸۴	0,۸۴	0,۸۵	0,۹۳	0,۸۸	0,۹۰	0,۹۲	0,۹۵	0,۹۵	1,00				
Er	-0,۱۱	0,۳۶	0,۶۴	-0,۰۴	0,۰۰	0,۶۷	0,۹۴	0,۶۵	0,۹۹	0,۵۸	0,۷۲	0,۷۵	0,۷۵	0,۸۳	0,۷۸	0,۷۹	0,۸۵	0,۹۳	0,۹۷	1,00				
Tm	-0,۳۵	0,۱۳	0,۶۴	0,۰۴	0,۰۰	0,۶۷	0,۹۴	0,۶۵	0,۹۹	0,۵۸	0,۷۲	0,۵۲	0,۵۲	0,۸۳	0,۵۶	0,۶۰	0,۶۷	0,۷۵	0,۸۲	0,۹۲	1,00			
Yb	-0,۳۶	0,۰۴	0,۲۴	0,۲۸	-0,۳۰	0,۲۸	0,۷۱	0,۲۶	0,۸۹	0,۱۷	0,۳۷	0,۴۰	0,۴۰	0,۵۴	0,۴۵	0,۴۳	0,۵۷	0,۶۸	0,۷۷	0,۷۶	0,۸۷	0,۹۶	1,00	
Lu	-0,۵۵	-0,۱۸	0,۰۰	0,۵۰	0,۴۵	0,۱۰	0,۵۸	0,۰۷	0,۸۲	0,۰۰	0,۱۷	0,۱۹	0,۱۹	0,۳۵	0,۲۲	0,۳۷	0,۵۱	0,۵۹	0,۶۴	0,۷۸	0,۹۲	0,۹۶	1,00	

۳- بررسی‌های زمین‌شیمیایی نشان می‌دهند که بنتونیت‌ها دارای ترکیب اولیه آندزیتی هستند.

۴- ضرایب همبستگی بین عناصر نشان می‌دهد که رس‌ها، آلیت، فسفات‌های ثانویه نظیر مونازیت، رابدوفان و زینوتایام، فازهای کانیایی Ti‌دار، Zr‌دار و Fe‌دار میزبانان احتمالی REE‌ها در این ذخیره هستند.

۵- بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که درجه‌ی دگرسانی فلدسپارها به ویژه در مراحل اولیه دگرسانی و تغییر در میزان شدت اکسایش محیط تشکیل به ترتیب مهم‌ترین عوامل کنترل کننده‌ی تغییرات بی‌亨جاری‌های Eu و Ce طی بنتونیت‌زاپی هستند.

قدرتانی

نگارندگان از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه تبریز برخوردار بوده‌اند، لذا شایسته است نهایت سپاس و قدردانی خود را ابراز دارند. نگارندگان همچنین از نظرات و پیشنهادات ارزنده و سازنده داوران محترم مجله سپاسگزاری می‌نمایند.

برداشت مهم‌ترین نتایج حاصل از بررسی‌های کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی ذخیره بنتونیت تمینان از قرار زیرند:

۱- بررسی‌های کانی‌شناسی نشان می‌دهند که مونتموریولونیت، هیولاندیت، کلینوپتیولیت، کوارتز، کلسیت، آنورتیت، آلبیت و اورتوکلاز کانی‌های اصلی و بیدلیت، اکتینولیت، میکروکلین و آنورتوکلاز به عنوان کانی‌های فرعی تشکیل دهنده‌ی ذخیره‌ی بنتونیت تمینان هستند.

۲- این ذخیره از دو رخمنوں جدا از هم تشکیل شده و رفتار عناصر اصلی، فرعی، جزئی و خاکی نادر طی شکل‌گیری این ذخیره تابعی از عواملی چون اختلاف در شدت دگرسانی مواد خاستگاه، دگرسانی فلدسپارها، پامیس‌ها و شارددهای شیشه‌ای، حاکم بودن pH اسیدی و درجه‌ی تغییرات آن، سازوکار جذب، تلفیق ساختاری، درون‌زادی، میزان دسترسی به لیگندهای سولفاتی، کلریدی و فلوریدی، تبادلات یونی، تمرکز فیزیکی، شرایط آب و هوایی مرطوب و تفاوت در میزان پایداری کانی‌ها در برابر دگرسانی بوده و کلیه تغییرات عنصری طی بنتونیتی شدن در یک سیستم باز انجام شده است.

مراجع

- [۱] حجازی م، قربانی م، "بنتونیت- زئولیت"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۷۳) ۱۲۸ ص.
- [۲] قربانی م، "اکتشاف و پی‌جویی بنتونیت‌های ایران و مسائل زمین‌شناسی وابسته به آنها"، رساله کارشناسی ارشد دانشگاه شهرید بهشتی، (۱۳۷۰) ۱۷۳ ص.
- [۳] Hints R., Kirsimäe K., Somelar P., Kallaste T., Kiipli T., "Multiphase Silurian bentonites in the Baltic Palaeobasin", *Sedimentary Geology*, 209 (2008) 69-79.
- [۴] Savage D., Walker C., Arthur R., Rochelle C., Odai C., Takase H., "Alteration of bentonite by hyperalkaline: A review of the role of secondary minerals", *Physics and Chemistry of the Earth*, 32 (2007) 287-297.
- [۵] مهروری ر، نقره‌ئیان م، مکی زاده م، پورنقشبند ع، "بررسی کانی شناسی و ژئوشیمیایی کانسار بنتونیت مهرآباد (شرق اصفهان)"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، سال نوزدهم، شماره ۱ (۱۳۹۰) ص ۱۴-۳.
- [۶] بازرگانی گیلانی ک، ربانی م. ص، "کانی شناسی، مشخصات شیمیایی و تکوینی بنتونیت ته نشست های ائوسن منطقه افتر (غرب سمنان)", مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، سال دوازدهم، شماره ۲ (۱۳۸۳) ص ۱۶۹-۱۸۸.
- [۷] نبوی م ح، "دیباچه ای بر زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۵۵) ۱۰۵ ص.
- [۸] امینی ب، امینی چهرق م، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کجان"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، برگه شماره ۶۵۵۵ (۱۳۸۲).
- [۹] Kretz R., "Symbols for rock-forming minerals", *American Mineralogists*, 68 (1983) 277-279.
- [۱۰] Winchester J. A., Floyd, P. A., "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements", *Chemical Geology* 20 (1977) 325-343.
- [۱۱] Grant J. A., "The isocon diagram-a simple solution to gresens equation for metasomatic alteration", *Economic Geology*, 81 (1976-1982).
- [۱۲] Laviano R., Mongelli G., "Geochemistry and mineralogy as indicators of parental affinity for Cenozoic bentonites: a case study from S. Croce Di Magliano (southern Appennines, Italy)", *Clay Minerals*, 31 (1996) 391-401.
- [۱۳] Muchangos A. C., "The mobility of rare-earth and other elements in process of alteration of rhyolitic rocks to bentonite (Lebombo Volcanic Mountainous Chain, Mozambique)", *Journal of Geochemical Exploration*, 88 (2006) 300-303.
- [۱۴] Munch P., Duplay J., Cocheme J. J., "Alteration of silicic vitric tuffs interbedded in volcanoclastic deposits of the Southern Basin and Range Province, Mexico", *Evidences for Hydrothermal Reactions*, 44 (1996) 49-67.
- [۱۵] Zeilinski R. A., "The mobility of uranium and other elements during alteration of rhyolite ash to montmorillonite: a case study in the Troublesome formation, Colorado, U.S.A", *Chemical Geology* 35 (1982) 185-204.
- [۱۶] Evensen G. R., Hamilton P. J., Onions R. K., "Rare earth abundances in chondritic meteorites", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42 (1978) 1199-1212.
- [۱۷] Eliason J. R., "Montmorillonite exchange equilibria with strontium-sodium-cesium", *American Mineralogists*, 51 (1966) 324-335.
- [۱۸] Goldstein S. J., Jacobsen S. B., "Rare earth element in river waters", *Earth and Planetary Science Letters*, 89 (1988) 35-47.
- [۱۹] Pandarinath K., Dulski P., Torres-Alvarado I. S., Verma S. P., "Element mobility during the hydrothermal alteration of rhyolitic rocks of the los Azufres geothermal field Mexico", *Geothermics*, 37 (2008) 53-72.
- [۲۰] Ma J., Wei G., Xu Y., Long W., Sun W., "Mobilization and re-distribution of major and trace elements during extreme weathering of basalt in Hainan Island, South China", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71 (2007) 3223-3237.
- [۲۱] Rollinson H., "Using geochemical data: evalution, presentation, interpretation", 1993, 352p.
- [۲۲] Sverjensky D. A., "Europium redox eqilibria in aquilibria in aqueous solution", *Earth and Planetary Science Letters*, 67 (1984) 70-78.
- [۲۳] Laufer F., Yariv S., Steinberg M., "The adsorption of quadrivalent Cerium by Kaolinite", *Clay Minerals*, 19 (1984) 137-149.
- [۲۴] Lopez J. M. G., Bauluz B., Nieto C. F., Oliete A. Y., "Factors controlling the trace elements distribution in fine- grained rocks: the Albian Kaolinite- rich deposits of the Oliete Basin(NE Spain)", *Chemical Geology*, 214 (2005) 1-19.
- [۲۵] Aja S. U., "The sorption of rare earth element, Nd to kaolinite at 25°C", *Clays and Clay minerals*, 46 (1998) 103-109.