

Mineralogical and Geochemical studies of Zeolitic tuffites in Damavand-Firuzkoh area, East of Tehran

B. Taghipour¹, M. Noghreyan², M.A. Mackizadeh², A. Ghasemi¹

1- Jahad Daneshgahi, Isfahan university of technology.

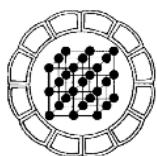
2- Department of Geology, University of Isfahan. Iran 81746-7344.

E-mail: jahad59@sepahan.iut.ac.ir

(received: 28/9/2003, received in revised form: 3/3/2004)

Abstract: This study focused on the upper parts of Karaj Formation in Damavand-Firuzkoh area. Field study indicated that the green tuffites of Karaj Formation in Kilan, Hesarbonyeh, and Zarindasht irregularly altered and changed to zeolite and bentonite. Microscopic studies of zeolitic tuffites have shown that the main components of these tuffites are altered glass shards. The shards changed to zeolites from their margins. In addition to zeolite, clay minerals also changed to glass shards. Scanning Electron Microscopic studies confirmed the change of glass shard to zeolite and clay mineral from their margins. The presence of clinoptilolite and carbonate impurity in vitric altered tuffite are determined by thermal curves tests (TG & DTG). Also, X-ray showed clinoptilolite, cristobalite as major mineral and muscovite, montmorillonite as minor mineral in these tuffites. On the base of XRF and ICP, chemical composition of these tuffites are in the range of acid to intermediate rocks compositions. Chemical composition of altered and unaltered tuffites is unique. Base on the petrological studies, the componential magma of the tuffites is calc alkaline. Spider diagrams indicated the enrichment of K, Ba, Th, Rb, which is characteristic of arc magmatism.

Keywords: *Tuffite, Zeolite, Firuzkoh, Clinoptilolite.*



مطالعات کانی شناسی و ژئوشیمی توفیتهای زئولیتی شده منطقه دماوند - فیروزکوه (شرق تهران)

بتول تقی پور^۱، موسی نقره نیان^۲، محمدعلی مکی زاده^۲، علی قاسمی^۱

۱- جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲- گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان.

پست الکترونیکی: jahad59@sepahan.iut.ac.ir

(دریافت مقاله ۱۳۸۲/۷/۶ ، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۲/۱۲/۱۲)

چکیده: بخش فوقانی سازند کرج در محدوده دماوند- فیروزکوه مطالعه شده است. بررسی های صحرایی نشان می دهد که توفیتهای سبز سازند کرج در مناطق کیلان، حصاربن، و زرین دشت به صورت نامنظم دگرسان و در طی این دگرسانی به زئولیت همراه با بنتونیت تبدیل شده اند. مطالعات سنگ شناسی نشان می دهد که بخش اعظم توفیت ها در زمینه تیغه های شیشه ای (Glass Shard) تشکیل شده است، به طوری که این تیغه ها نیز از حاشیه دگرسان شده اند. مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی نیز تبدیل تیغه های شیشه ای از حاشیه به زئولیت و کانیهای رسی را تأیید می کند. آزمایشات منحنیهای گرمایی (TG، DTG) وجود کانی زئولیتی کلینوپتیلولیت و ناخالصی کربنات را در توفیتهای شیشه ای نشان می دهد. همچنین فازهای اصلی کلینوپتیلولیت، کریستوبالیت و فازهای فرعی مسکویت و مونت موریلونیت با آزمایشهای پراش پرتو X (XRD) در توفیتهای شیشه ای شناسایی شده اند. مطالعات ژئوشیمی انجام شده بر پایه داده های ICP و XRF ترکیب شیمیایی توفیتهای زئولیتی را داسیت تا ریوداسیت تأیید می کند که با ترکیب شیمیایی توفیتهای نادگرسان این منطقه تفاوتی ندارد. همچنین بر پایه این مطالعات ماگمای سازنده توفیتها از نوع کالکوالکالن است. نمودارهای بهنجار شده نیز غنی شدگی از عناصر K, Rb, Ba, Th را نشان می دهد که ویژگی ماگمای کمانها یا قوسهای آتشفشانی است.

واژه‌های کلیدی: توفیت، زئولیت، فیروزکوه، کلینوپتیلولیت.

مقدمه

مناطق مورد مطالعه در ۱۴۰ کیلومتری شرق تهران موقعیت جغرافیایی $۵۲^{\circ}۰۰'$ طول شرقی و $۳۵^{\circ}۳۰'$ عرض شمالی بین دماوند تا فیروزکوه قرار گرفته‌اند. مطالعات در این پژوهش بر بخشی از کمربند آتشفشانی اتوسن البرز (دامغان - کوههای طالش) در شرق و غرب تهران انجام شده که در شکل ۱ مشخص شده است. سنگ میزبان، نهشته‌های آتشفشانی - رسوبی سازند کرج است. حوضه رسوبی این سازند احتمالاً یک محیط فرونشست مربوط به عملکرد فازهای کششی پس از کوهزایی کرتاسه - پالئوسن است [۱]. لیتولوژی سازند شامل توفیت و مارن، همراه با میان لایه‌های شیل به رنگ سبز روشن تا کرم و در مواردی همراه گچ با توده‌های توف و توفیت سبزرنگ دیده شده است.

توفیت‌های سبز بخش فوقانی سازند کرج در بخشهایی دگرسان شده‌اند. ژئولیتی شدن و بنتونیتی شدن محصولات غالب توفیتها هستند [۲]. دگرسانی در این مناطق نظم خاصی نداشته و به صورت انتخابی عمل کرده است، به صورتی که بین واحدهای دگرسان، بخشهای شیشه‌ای سالم دیده می‌شود. همچنین پیروی زونهای بنتونیتی - ژئولیتی از واحدهای گسلی موجود در منطقه نیز از دیگر خصوصیات نواحی دگرسان شده است. مطالعات ژئولیت‌زایی در سه ایستگاه کیلان جنوب شرق دماوند، حصاربن جنوب غرب فیروزکوه، و زرین‌دشت جنوب فیروزکوه صورت گرفته است.



شکل ۱ موقعیت زمین ساختی آتشفشانی دوران سوم و محدوده مورد مطالعه.

روش مطالعه

در این کار پژوهشی پس از مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری، نخست با استفاده از میکروسکوپ نوری مدل BH2 مطالعات سنگ‌شناسی انجام گرفت. برای شناسایی کانیهای ژئولیتی، رسی، و دیگر کانیهای همراه از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Stero Scan S360 ساخت کارخانه کمبریج انگلستان استفاده شد. آنالیز گرمایی DTG, TG^۱ توسط دستگاه مدل 990TA ساخت شرکت DU PONT انجام شد. مطالعات ژئوشیمی ICP-MS توسط دستگاه مدل HP4500+ و بررسیهای XRF و XDR به ترتیب توسط دستگاه مدل PW2400-Philips و PW2400 - Philips در شرکت کیان طیف انجام شد.

زمین‌شناسی عمومی منطقه

فعالیت ماگمایی ائوسن در البرز دارای تنوع و گسترش قابل توجهی است. بخش مهمی از فراورده‌های آتشفشانی ائوسن در البرز شرقی را نهشته‌های آتشفشانی- رسوبی سازند کرج در برمی‌گیرد. در این میان، توفها و توفیتهای سبز رنگ با میان لایه‌های آتشفشانی گسترش وسیعی را به خود اختصاص داده‌اند [۳]. توفیتهای سبز کرج در مناطق کیلان، حصارین و زرین‌دشت تحت تأثیر عوامل مختلف به کانیهای ژئولیتی و رسی تبدیل شده‌اند. ژئولیتی شدن تشکیلات وسیعی را تحت تأثیر قرار داده است. توفیتهای دگرسان کرمی تا سبز کم‌رنگ بوده و دارای شکستگی صدفی هستند.

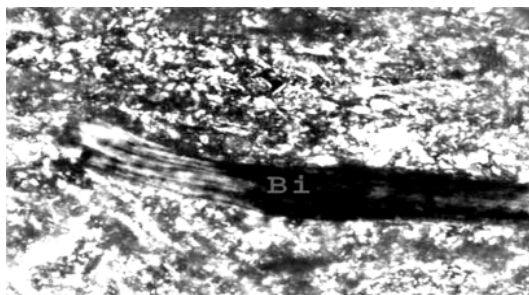
سنگ‌نگاشتی و سنگ‌شناسی

توفیتهای شیشه‌ای ژئولیتی شده با بافت شیشه آواری بخش غالب سنگهای این منطقه را تشکیل داده‌اند. توفیتهای دارای زمینه شیشه‌ای متشکل از تیغه‌های شیشه‌ای^۲ به اشکال مختلف کروی، جناغی و تیغه‌ای دیده شده‌اند [۴]. خرده شیشه‌های آتشفشانی از حاشیه به وسیله ژئولیت جایگزین شده‌اند. از دیگر کانیهای زمینه علاوه بر ژئولیت می‌توان از پلاژیوکلاز به دو صورت خرد شده و یا دارای ماکل پلی‌سنتتیک، ذرات پراکنده کوارتز، فلدسپات پتاسیم به صورت خرد شده و دارای خاموشی موجی، بیوتیت‌های تیغه‌ای اکسیدشده، ذرات پراکنده آمفیبول و کلسیت آمیبی اشاره کرد (شکل ۲ و ۳). از دیگر شواهد دگرسانی در این سنگها وجود آثار فسیلی ژئولیتی شده است. میکروفسیل‌های سیلیسی و رادیولرها می‌توانند منشأ ژئولیت باشند و به صورت درجا‌زا به این کانی تبدیل شوند [۵].

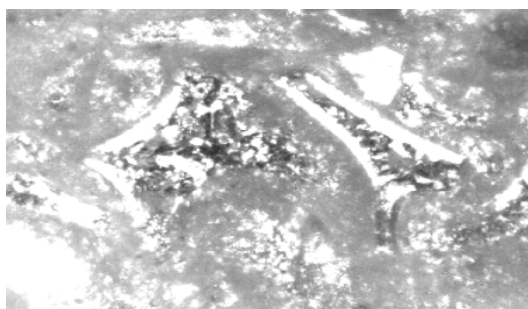
1- گران‌سنجی گرمایی و گران‌سنجی گرمایی افتراقی (Differential Thermal Gravimetry).

2- Glass Slard

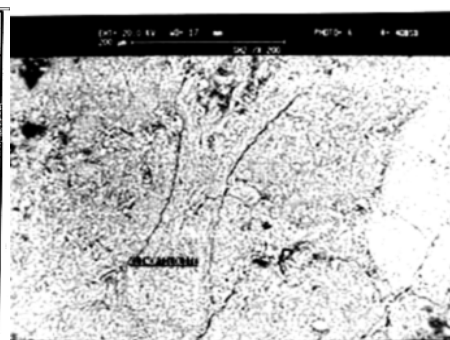
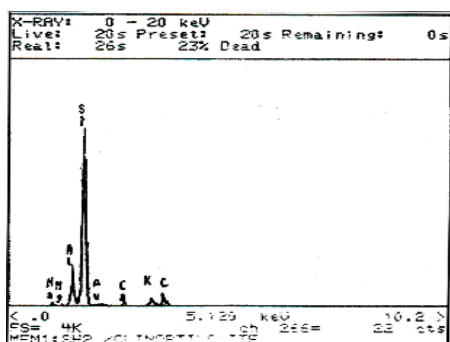
با توجه به ریز دانه بودن توفیتها، برای مطالعه و شناسایی بیشتر کانیهای زئولیتی از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. تصاویر SEM نشان داده است که زمینه توفیت‌های زئولیتی شده منطقه فیروزکوه از قطعات بی‌شکل و ریزدانه‌ای تشکیل شده است. آنالیز کیفی این قطعات نیز نشان می‌دهد که عناصر تشکیل دهنده آنها K, Na, Ca, Al, Si هستند (شکل ۴). با توجه به ترکیب آنالیز شیمیایی احتمالاً این قطعات تیغه‌های شیشه‌ای زئولیتی شده است. همچنین همراه با قطعات زئولیتی شده کانیهای ورقه‌ای شکل رسی نیز دیده می‌شوند. آنالیز نقطه‌ای از این ورقه‌ها با ترکیب شیمیایی کانی رسی مونت موریلونیت مطابقت دارد (شکل ۵).



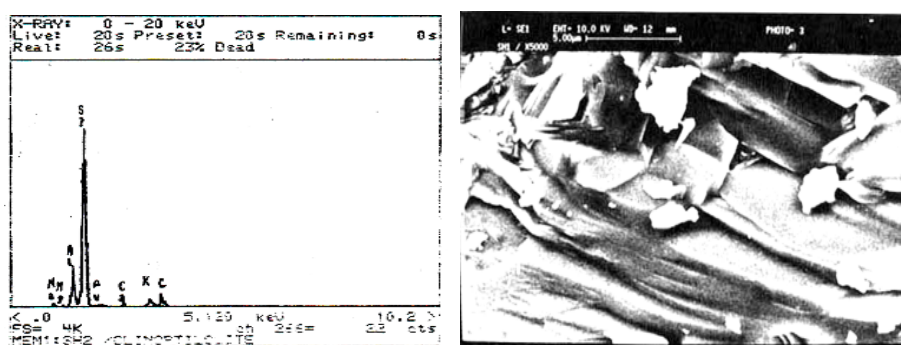
شکل ۲ بیوتیت در زمینه شیشه ای توف زئولیتی شده فیروزکوه.



شکل ۳ تیغه های شیشه ای که از حاشیه زئولیتی شده است.



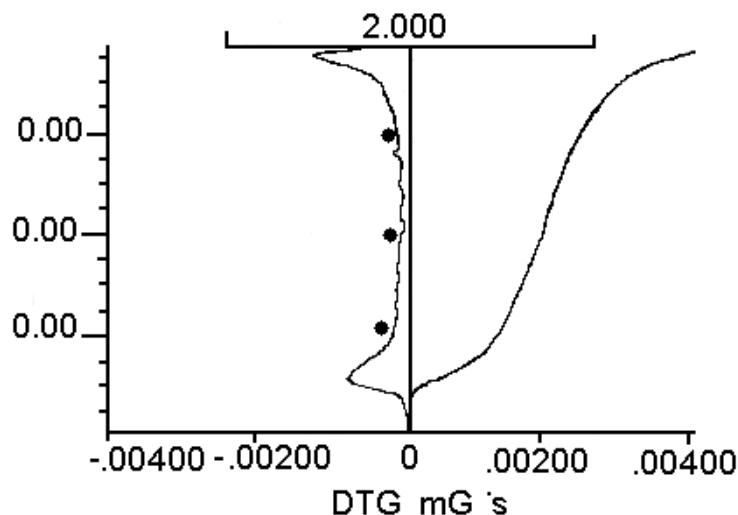
شکل ۴ تصویر SEM تیغه شیشه ای دگرسان شده.



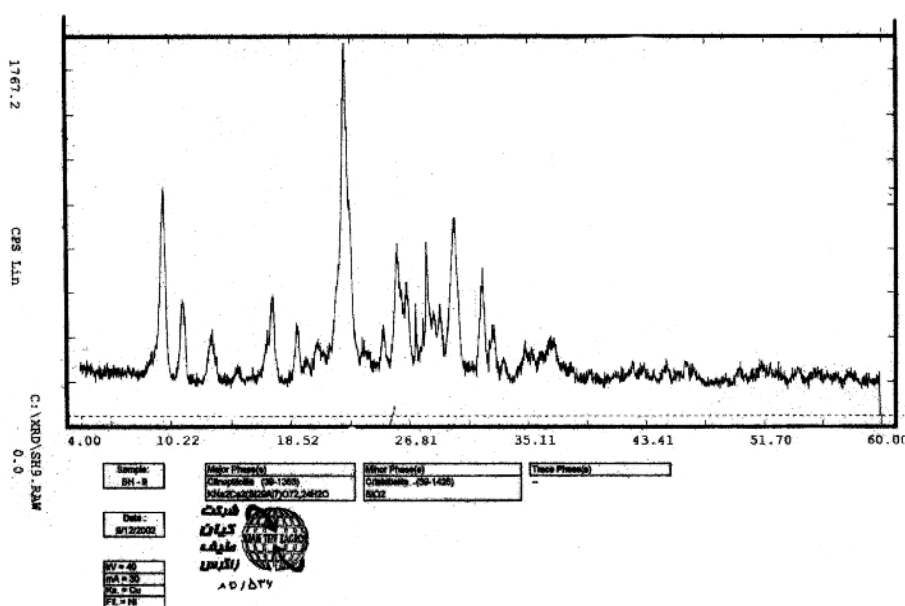
شکل ۵ تصویر SEM به همراه آنالیز نقطه‌ای آن از کانیهای رسی.

ژئولیت‌ها از جمله کانیهای آبداری هستند که در اثر گرما بدون ازهم‌پاشی ساختاری، آب خود را از دست می‌دهند [۶]. در روش گران‌سنجی گرمایی و گران‌سنجی گرمایی افتراقی، این کانیهای آبدار با از دست دادن آب ساختاری خود قله گرمایی ظاهر می‌سازند [۷]. هر قله، سرشتی کانی خاصی است که با توجه به استانداردهای مربوط به فازها شناسایی می‌شوند. قله جذب گرمایی که از 28°C شروع و در 475°C به پایان می‌رسد و با کاهش جرم 11.38% همراه است معرف کانی ژئولیت از نوع کلینوپتیلولیت است. همچنین قله گرماگیری

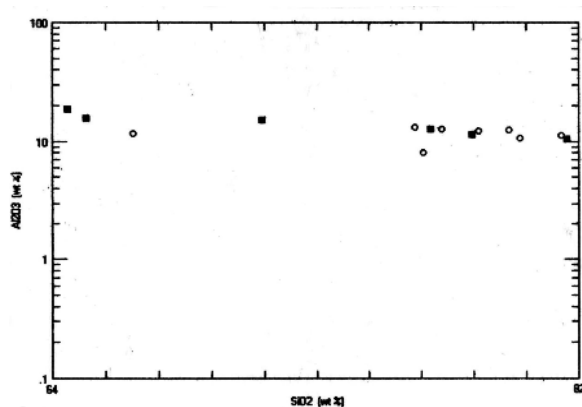
که از 335°C شروع و در 674°C پایان می‌یابد، و با کاهش جرم 3.5052% همراه است، نشان‌دهنده ناخالصی کربنات است (شکل ۶).



شکل ۶ آنالیز گرمایی از توف زئولیتی شده نشان دهنده فاز کلینوپتیلولیت و ناخالصی کربنات. براساس نتایج XRD در شکل ۷، کانیه‌های اصلی توفیتهای زئولیتی فیروزکوه، زئولیت از نوع کلینوپتیلولیت کوارتز و کریستوبالیت است و کانیه‌های فرعی این توفیته‌ها مسکویت و مونت - موریلونیت است. مقایسه توفیتهای سالم و زئولیتی شده منطقه فیروزکوه به وسیله XRF و ICP-MS نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی این سنگها شبیه یکدیگرند (جدولهای ۱ و ۲). شکل ۸، نسبت عناصر مختلف و نیز نسبت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ بر حسب سیلیس را نشان می‌دهد.



شکل ۷ بررسی طرح XRD وجود کانی کلینوپتیلولیت را به عنوان کانی اصلی توف‌های دگرسان شده فیروزکوه تأیید می‌کند.



شکل ۸ مقایسه توفیت‌های سالم (O) و ژئولیتی شده (■).

جدول ۱ نتایج آزمایش‌های ICP توفیت‌های ژئولیتی شده منطقه فیروزکوه.

درصد عنصر اصلی	SK7-2	SK6	SH1	SH4	درصد عنصر اصلی	SK7-2	SK6	SH1	SH4
SiO ₂	۵۸.۸۵	۷۰.۷۰	۶۶.۵۴	۶۶.۵۳	Ge ppm			۰.۸۶	۱.۶۸
Fe ₂ O ₃	۱۰.۲۲	۶.۳۶	۱۱.۴۳	۶.۹۸	Hf ppm			۲.۹۹	۰.۵۷
Al ₂ O ₃	۰.۸۳	۰.۸۶	۱.۲۸	۱.۰۴	Ho ppm			۰.۳۴۹	۰.۶۹
Fe ₂ O ₃	۰.۱۳	<۱.d	<۱.d	۰.۰۵	In ppm			<۱.d	۰.۴۱۲
MgO	۰.۴۱	۰.۶۲	۱.۲۶	۰.۶۰	La ppm			۱۸.۲	<۱.d
CaO	۹.۷۴	۳.۸۷	۱.۲۵	۷.۵۸	Lu ppm			۰.۱۸۵	۱۹.۹

Na ₂ O	۰.۱۶	۱.۲۸	۳.۵۷	۲.۵۰	Mo ppm			۰.۸۴	۰.۲۹۴
K ₂ O	۷.۶۵	۱.۵۱	۱.۵۴	۱.۲۵	Nb ppm			۷.۵۹	۰.۴۰
TiO ₂	۰.۱۳	۰.۱۴	۰.۱۷	۰.۱۹	Nd ppm			۹.۳۸	۶.۸۲
P ₂ O ₅	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۸	۰.۰۵	Ni ppm			<۱.d	۱۱.۹
LOI	۱۱.۵۹	۱۱.۵۲	۱۲.۷۴	۱۳.۱۱	Pb ppm			۹.۸۵	<۱.d
Total	۹۹.۷۸	۹۹.۹	۹۹.۸۶	۹۹.۸۸	Pr ppm			۲.۹۷	۵.۸۳۳
As ppm			۱.۳۴	۱.۲۶	Rb ppm			۳.۶۳	۵.۲۷
Ba ppm			۱.۴۲	۵.۸۲	Sb ppm			۰.۱۴	۰.۲۵
Be ppm			۱.۹۴	<۱.d	Sm ppm			۱.۵۱	۲.۲۱
Bi ppm			۰.۲۰	۰.۱۶	Sn ppm			۰.۹۸	۰.۸۷
Cd ppm			<۱.d	<۱.d	Sr ppm			۹.۶۰	۱۳.۰۵
Ce ppm			۳۳.۴	۳۴.۰	Ta ppm			۰.۷۲	۰.۷۸
Co ppm			<۱.d	<۱.d	Th ppm			۹.۰۵	۸.۰۵
Cr ppm			<۱.d	۲۸.۲	U ppm			۰.۶۴	۱.۴۱
Cs ppm			۱.۲۰	۲.۸۶	V ppm			<۱.d	<۱.d
Cu ppm			<۱.d	۹.۹	W ppm			۱.۰۲	۱.۲۲
Dy ppm			۱.۸۲	۱.۷۰	Y ppm			۱.۰۹	۱۳.۹
Er ppm			۰.۹۸۶	۱.۳۵	Yb ppm			۱.۰۸	۱.۶۶
Eu ppm			۰.۲۴۱	۰.۳۶۰	Zn ppm			۴۹.۸	۱۱.۳
Ga ppm			۹.۹۹	۰.۳۶۰	Zr ppm			۱.۲۲	۱.۰۲
Gd ppm			۱.۷۵	۹.۴۹					

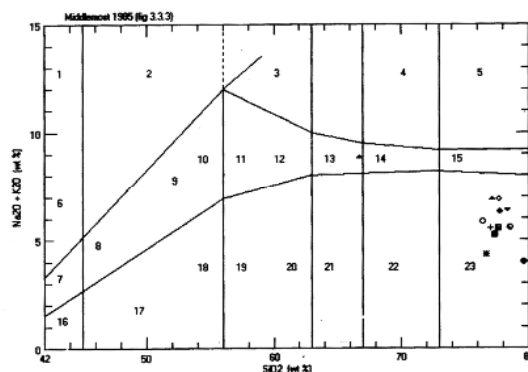
جدول ۲ آزمایش XRF چهار نمونه از توفیت های زئولیتی شده منطقه فیروزکوه.

نمونه	Zn-6	Zn-19	ZS301	Sh2	نمونه	Zn-6	Zn-19	ZS301	Sh2
عنصر					عنصر				
SiO ₂	۷۳.۳۱	۷۵.۱۶	۷۲.۹۹	۷۹.۸۱	V ppm	۳۶	۳۴	۲۵	۲۴
Al ₂ O ₃	۱۱.۵۲	۱۱.۸۴	۱۱.۹۲	۱۱.۰۵	W ppm	۰	۰	۰	۰
Fe ₂ O ₃	۱.۴۶	۱.۴۳	۱.۳۰	۱.۲۲	Y ppm	۲۶	۲۵	۱۹	۱۴
CaO	۰.۶۷	۰.۸۲	۲.۲۳	۰.۶۶	Zr ppm	۳۴۳	۳۲۹	۱۸۱	۱۲۶
Na ₂ O	۲.۹۵	۲.۵۱	۲.۰۲	۲.۵۵	Zn ppm	۶۳	۵۲	۱۵۶	۳۴
MgO	۰.۸۱	۰.۹۹	۰.۷۴	۰.۳۰	Mo ppm	۰	۰	۰	۰
K ₂ O	۲.۲۶	۱.۲۶	۲.۹۳	۱.۷۷	Ba ppm	۱۲۹	۱۵۲	۴۸۹	۳۰۶
TiO ₂	۰.۳۲۸	۰.۳۶۸	۰.۱۶۵	۰.۱۷۸	Co ppm	۱	۶	۲	۱
MnO	۰.۰۰۵	۰.۰۱۲	۰.۰۹۲	۰.۰۰۴	Cu ppm	۲	۱	۷	۱
P ₂ O ₅	۰.۰۳۱	۰.۰۳	۰.۰۳۹	۰.۰۲۳	Nb ppm	۹	۱	۸	۱۱
L.O.I	۵.۸۷	۵.۱۸۰	۵.۱۳	۲.۰۲	Ni ppm	۶	۸	۹	۲
Cl ppm	۵۴۵۷	۲۰۲۹	۸۶۸	۱۲۴	Pb ppm	۱۹	۱۴	۲۶	۱۱
S ppm	۲۱۱	۷۹	۳	۲۰۱	U ppm	۱	۱	۱	۱
Rb ppm	۸۶	۵۰	۸۳	۴۵	Th ppm	۵	۴	۵	۱
Sr ppm	۱۵۰۳	۷۶۸	۱۵۰۰	۶۳۱					

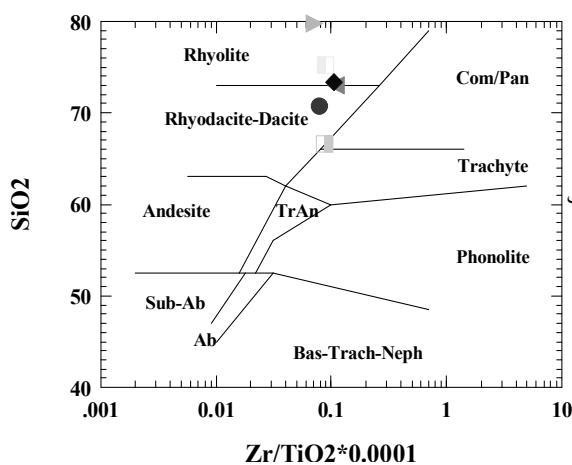
برای نامگذاری توفیت‌های منطقه دماوند- فیروزکوه از نمودار الکالی‌ها بر حسب سیلیس استفاده شد [۸] که در شکل ۹ نشان داده شده است. شکل ۹، ماهیت اسیدی بودن توفیت‌های فیروزکوه، که در محدوده ریولیت قرار دارند، را نشان می‌دهد.

همچنین نمودار SiO₂ در مقابل Zr/TiO₂ در شکل ۱۰ نشان می‌دهد که نمونه‌ها در محدوده ریولیت تا ریوداسیت قرار دارند. این نتیجه تأییدی دیگر بر اسیدی بودن توفیت‌های این منطقه است [۹]. برای تعیین قلمرو ماگمایی از نمودارهای مختلفی استفاده می‌شود، بعضی از

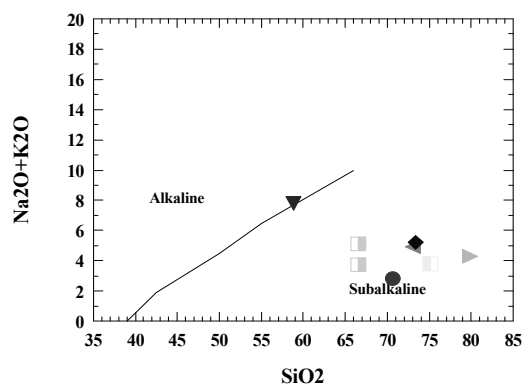
این نمودارها که جهت تعیین نوع ماگما در این پژوهش استفاده شده است به شرح زیر است: در نمودار تغییرات سیلیس به آلکالی که سنگهای آذرین را به دو محدوده آلکالن و ساب آلکالن تقسیم می‌کند [۱۰]، سنگهای منطقه فیروزکوه در محدوده ساب آلکالن قرار دارند. برای بررسی سنگهای ساب آلکالن نیز از نمودار AFM استفاده شده است. این نمودار بر اساس درصدهای جرمی آلکالیهها ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)، اکسیدهای آهن ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$) و اکسید منیزیم (MgO) ترسیم شده است که در این نمودار دگرسانی آتشفشانی فیروزکوه ماهیت کالکوالکالن نشان می‌دهند (شکلهای ۱۱ و ۱۲).



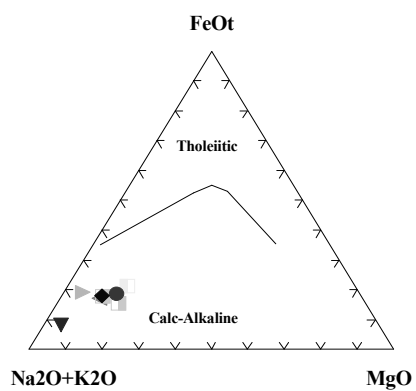
شکل ۹ تغییر آلکالیهها بر حسب سیلیس جهت تقسیم بندی سنگها.



شکل ۱۰ تغییر Zr/TiO_2 بر حسب SiO_2 جهت تقسیم بندی سنگها.



شکل ۱۱

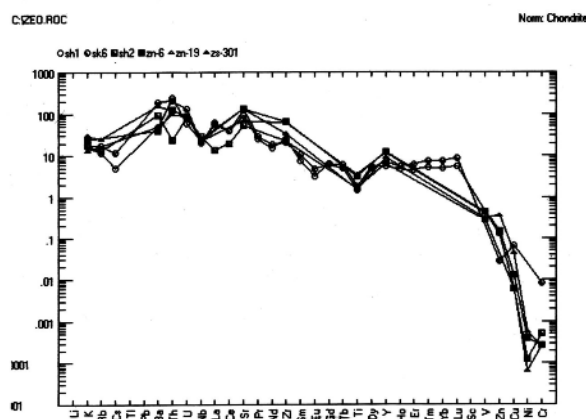


شکل ۱۲

ژئوشیمی

عناصر کمیاب و نادر به دست آمده از آنالیزهای XRF و ICP-MS توفیت‌های ژئولیتی شده، نسبت به کندریت و جبهه اولیه مقایسه شدند (شکل ۱۳). این نمودارهای عنکبوتی، غنی‌شدگی از عناصر K, Rb, Ba و Th را نشان می‌دهند که ویژگی سنگهای ماگمایی کمانها یا قوسهای آتشفشانی است. ناهنجاری منفی Ti و Nb نشان‌دهنده ارتباط این توفیتها با محدوده فرورانش و کوهزایی است. شیب منفی این نمودارها از مشخصات ماگمای کالکوالکالن، آلکالن و

شوشونیتی است. با توجه به جدولهای ۱ و ۲، میزان بالای استرانسیوم مربوط به تشکیل توفیتهای زئولیتی شده در یک محیط قلیایی و یا به دلیل توانائی جذب زیاد توفیتهای زئولیتی شده برای کاتیونهای Sr و Ba بوده است [۱۱ و ۱۲]. زئولیت ایجاد شده طی دگرسانی توفهای منطقه دماوند- فیروزکوه، کلینوپتیلولیت است. کلینوپتیلولیت زئولیتی است که در سنگهایی با ترکیب شیمیایی اسیدی و در مراحل اولیه زئولیتی شدن شکل می‌گیرد [۱۳]. با توجه به اسیدی بودن توفیتهای منطقه دماوند- فیروزکوه می‌توان تشکیل این کانی را انتظار داشت. همچنین نقش میکروفسیل‌های سیلیسی در زئولیت زایی بی‌تأثیر نیست [۱۴].



شکل ۱۳ نمودار پهنجار شده توفیتهای زئولیتی شده.

بحث و برداشت

در کمربند توفیتهای سبز واقع در شرق تهران و در منطقه دماوند- فیروزکوه، بخشی از سازند کرج تحت تأثیر شرایط محیطی دگرسان شده و طی این دگرسانی به زئولیت و کانی‌رسی تبدیل شده است. مطالعات TG، DTG، XRD و SEM نوع کانی زئولیتی را کلینوپتیلولیت و نوع کانی رسی را مونت‌موریلونیت مشخص کرده است. همچنین مطالعات ICP انجام شده بر توفیتهای فیروزکوه نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی توفیتهای سالم و زئولیتی شده تفاوتی ندارد و هر دو نوع سنگ ترکیب ریولیتی دارند. همچنین نمودار AFM نشان می‌دهد که ماگمای این توفیتهای از نوع کالکوالکالن است. برای تشکیل زئولیت‌ها می‌توان تصور کرد که آبهای جوی و زیر زمینی حین عبور از واحدهای نمکی (احتمالاً گنبد‌های نمکی و تشکیلات

ژیپسی موجود در منطقه) ماهیت قلیایی و شور به خود می‌گیرند. تشکیلات گسترده کنگلومرای پلیوسن و پلیوکواترنر نیز مانند یک سفره آب زیر زمینی، این آبها را در خود ذخیره می‌کنند. در چنین محیطی که آبهای قلیایی با سنگهای پیروکلاستیک دارای ترکیب اسیدی واکنش دارند، کانیهای ژئولیتی شکل می‌گیرند.

مراجع

- [۱] امامی م.، "ماگماتیسم در ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۹) صفحه ۶۰۸.
- [۲] قربانی م.، حجازی م.، "زمین‌شناسی ایران، بتونیت - ژئولیت"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۷۹) صفحه ۱۲۸.
- [۳] درویش زاده ع.، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات امیرکبیر تهران (۱۳۸۰) صفحه ۹۰۱.
- [۴] تقی پور ب.، "مطالعات زمین‌شناسی و کانی‌شناسی توفیت‌های ژئولیتی شده سازند کرج در شرق تهران"، منتشر نشده است (۱۳۸۱) صفحه ۱۹۳.
- [5] Hay R.I., "Geology of zeolites in sedimentary rocks: mineralogy and geology of zeolites", Reviews in mineralogy, Min. Soc. of Am. **4** (1985) pp. 53-93.
- [6] Brown M.E., "Introduction to thermal analysis techniques and applications", Chapman & Hall (1989).
- [۷] کاظمیان ح.، "آمایش پسمان‌های رادیواکتیو مایع حاصل از محصولات شکافت اورانیوم طبیعی پرتو عاری از ^{90}Mo و ^{131}Pb بوسیله ژئولیت‌های طبیعی ایران"، پایان نامه دکتري (۱۳۷۸) صفحه ۲۷۷.
- [8] Middelmost E.A.K., "Magma and magmatic rocks: An Introduction 60 Igneous petrology", Longman group, UK (1985) p. 226.
- [9] Le maitre R.W., "A classification of Igneous Rock and Glassoly of term", Black well scientific publication (1998) p. 195.
- [10] Irvine T.N., Barragar W.R.A., "A guide to the classification of the common volcanic rocks", can. Jour. Earth. Science (1971) pp. 523-548.
- [11] Hotmes D.A., "Zeolits, Industrial minerals and rocks" N. 93 (1999) pp.1-59.
- [12] Mumpton F.A., "Uses of natural zeolites in agriculture and industry, Vol. 96, Issu7, P.N.A.S (Proceeding of the national Academy of science of the united states of America) (1999) pp. 3463-3470.
- [13] Esenli F., Eren B., Coban F., "Alteration products of pyroclastic rocks in Thrace, Turkey", mineral deposits (1997) pp. 713-716.
- [14] Gottardia G., and galli E., "Natural zeolite" spring (1985) p. 711.

