

مطالعه بنتونیتها و زئولیت‌های منطقه معلمان (جنوب دامغان)، با نگاهی به کانسار بنتونیت سوسن‌وار و زئولیت گندی

نوشته: دکتر حسین مهدیزاده شهری*، دکتر محمدصادق ربانی**،

دکتر کمال الدین بازرگانی گیلانی*** و علی اکبر ایراجیان****

The Study of Bentonites and Zeolites from Moalleman Area (South of Damghan), Sosanvar Bentonite and Gandi Zeolite Deposits

By: Dr. H. Mehdizadeh Shahri* , Dr. M.S. Rabbani**,

Dr. K. Bazargani Guilani*** & A.A. Irajian****

چکیده

منطقه مورد مطالعه در محدوده معلمان، در جنوب باختر چارگوش ترود، در طول جغرافیایی $30^{\circ} 54'$ تا $39^{\circ} 54'$ خاوری و عرض $18^{\circ} 35'$ تا $21^{\circ} 35'$ شمالی و از نظر تقسیم بندی ساختاری - رسوبی، در محدوده گودالها قرار گرفته است. در بخش شمالی این منطقه، سازند معادل کرج از روستای سوسن‌وار تا جنوب معدن کائولن گندی رخنمون خوبی دارد. از نظر سنگ‌شناسی، این سازند دارای شیل، مارن، ماسه‌سنگ، سنگ آهک، دولوستون، رادیولاریت، توفیت، زئولیت و بنتونیت بوده و سن سازند آن در این منطقه، لوتسین (اوسن میانی) است. مطالعات بر روی انواع، ترکیب، و محیط تشکیل لایه‌های بنتونیتی و زئولیتی کانسار بنتونیت سوسن‌وار و زئولیت گندی انجام شده است. با توجه به بررسی‌های به عمل آمده و نتایج حاصل، شیشه آتشفشانی (و شارد‌های) به وجود آورنده بنتونیتها و زئولیتها، اسیدی (ریولیتی تا داسیتی) و سری ماگمایی تشکیل دهنده آنها قلیایی است. تبدیل شیشه به بنتونیت و زئولیت، در شرایط دیاژنزی، در یک محیط کم ژرفای دریایی، مانند لاگون رخ داده است. در طی دیاژنز، بنتونیتها منیزیم و کلسیم و زئولیتها سدیم و پتاسیم بیشتری جذب کرده‌اند. نوع رس بنتونیتها، اسمکتیت (بدلیت) و از نوع وایومینگ، و نوع زئولیتها، کلینوپتیلولیت سدیم‌دار است.

کلید واژه‌ها: بنتونیت، تیپ وایومینگ، زئولیت، کلینوپتیلولیت، بدلیت، معادل سازند کرج، منطقه معلمان

Abstract

The study area with coordination of $54^{\circ} 30'$ to $54^{\circ} 39'$ E and $35^{\circ} 18'$ to $35^{\circ} 21'$ N is located in Moalleman area, in the south west of Torud Quadrangle. In the structural-sedimentary zoning, this area belongs to depression parts. In the north part of the area, equivalent of the Karaj Formation crops out from Sosanvar village to the south of Gandi kaolinite deposit. This formation is composed lithologically of shale, marl, sandstone, limestone, dolostone, radiolarite, tuffite, zeolite, and bentonite with the age of Lutetian (Middle Eocene). This paper has been focused on the types, composition, and environment of bentonite and zeolite layers of Sosanvar bentonite and Gandi zeolite formation.

According to these investigations the bentonites and zeolites have been formed from acidic volcanic glass (ryolitic and dacitic) and their magmatic series is alkaline.

Conversion of glass to bentonite and zeolite has occurred under diagenetic conditions in shallow sea water (e.g. lagoon). In diagenetic conditions, the bentonites have absorbed magnesium and calcium and zeolites absorbed sodium and potassium. The clay form of this Wyoming-type bentonite is smectite (bedellite) and zeolites are Na-clinoptilolite type.

Key words: Bentonite, Wyoming-type, Zeolite, Clinoptilolite, Bedelite, Equivalent of Karaj Fm., Moalleman area.

۱-۱- مقدمه

منطقه مورد مطالعه در محدوده معلمان، در جنوب باختری چارگوش ترو، در طول جغرافیایی $30^{\circ} 54'$ تا $39^{\circ} 54'$ خاوری و عرض $18^{\circ} 35'$ تا $21^{\circ} 35'$ شمالی قرار گرفته (شکل ۱-الف) و از نظر تقسیم بندی ساختاری -رسوبی (نبوی، ۱۳۵۵)، در محدوده گودالها قرار دارد (شکل ۱-ب). این مقاله برای اولین بار به بررسی دو کانسار بتونیت سوسن وار (شکل ۲-الف) و زئولیت گندی (شکل ۲-ب) از نظر انواع، محیط و ترکیب آنها می‌پردازد. این کانسارها به ترتیب در ۱۲۵ و ۱۴۵ کیلومتری جنوب دامغان (جاده ترو) واقع شده‌اند. اینها در واقع بخشی از سازند معادل کرج با ترکیب، شیل، مارن، میکریت، میکریت پرمیزیم، میکریت پلاژیک، سنگ آهک، دولوستون، رادیولاریت، توفیت، زئولیت، و بتونیت بوده (شکل ۳) و سن این سازند با توجه به فسیل *Globigerina Senni*، لوتسین (اوسن میانی) است. در این تحقیق از مقاطع نازک برای سنگ‌نگاری و از تجزیه به روشهای XRD، XRF و شیمی تر برای بررسیهای ژئوشیمیایی استفاده شده است. پیش از شروع بحث، مطالب کوتاهی در مورد بتونیت و زئولیت نوع کلینوپتیلولیت و نحوه رده‌بندی آن، یاد آور می‌شود:

۱-۲- بتونیت

بتونیت سنگی است که بخش اعظم آن را کانیهای رسی (ذرات ریز با ابعاد کمتر از 2μ) تشکیل داده‌اند (بازرگانی و ربانی، ۱۳۸۳). به بتونیتها اسامی دیگری همچون مونتوریلونیت‌های سدیم و کلسیم دار، رس مونتوریلونیتی، رس اسمکتیتی، ... داده‌اند (Hora, 1998). از نظر ویژگیهای زمین‌شناسی، لایه‌های رسی غنی از مونتوریلونیت - بدلیت‌اند که عمدتاً همراه با شیلها، ماسه‌سنگها و مارنها دیده می‌شوند. این سنگها، عموماً نشان دهنده محیطهای دریایی کم ژرفا و یا دریاچه‌ای (آب شیرین) هستند (Hora, 1998). محیط تشکیل آنها، آبهای کم ژرفا و کم انرژی، و هوای معتدل است. عموماً دارای تپ سنگ میزبان آرژیلیتی، گل‌سنگ، سیلستون، ماسه‌سنگ، توف، آگلومرا، ایگنیمبریت، مارن هستند. از نظر مدل رسوب‌گذاری، دارای ستبراهای چند سانتی متری تا چند صد متری‌اند (Hora, 1998)، در محیطهای جزایر کمانی عموماً عدسی شکلند. در نمونه دستی، سفید، زرد، سبز زیتونی، قهوه‌ای و آبی بوده و در رخنمونهایشان ظاهر Popcorn دارند (شکل ۴-الف). باطله‌های همراه اینها فلدسپار، کوارتز، کلسیت، زئولیت، ژپس، سیلیس اپالی، کریستوبالیت و شیشه آتشفشانی دگرسان نشده است.

۱-۳- زئولیت

زئولیتها، جزو آلومینوسیلیکاتهای آبدار هستند. هرکدام از چهاروجهیهای آنها دارای چهار اتم اکسیژن بوده که یکی از دو کاتیون Si یا Al را در برمی‌گیرند و به صورت $[\text{SiO}_4]^{4-}$ و $[\text{AlO}_4]^{5-}$ درمی‌آیند. این ساختار چهاروجهی دارای حفره‌های بازی به شکل روزنه و کانال است، که در آنها ملکولهای آب و کاتیونهای خارجی (که بیشتر در حال تبادل با یکدیگرند) جای می‌گیرند (Coombs et al., 1997).

به طور کلی، قواعد مربوط به تقسیم‌بندی کلینوپتیلولیت، بر مبنای مقاله Coombs et al. (1997) در زیر آورده می‌شود:

۱- هر چند کانیهای زئولیت رانمی توان تنها بر اساس نسبت Si/Al رده‌بندی کرد، ولی در تشخیص بین هولاندیت و کلینوپتیلولیت که دارای طیف XRD غیر قابل تمیزی از یکدیگر هستند، معیار پذیرفته شده، نسبت Si/Al آنهاست. هولاندیت و کلینوپتیلولیت به ترتیب دارای نسبت $\text{Si/Al} < 4$ و $\text{Si/Al} \geq 4$ است.

۲- نمونه‌های یک سری (گروه) از کانیهای زئولیتی، دارای کاتیونهای خارج شبکه‌ای مختلف هستند، کاتیون غالب آنها، به صورت پیشوند به نام آنها متصل می‌شوند. این پیشوند به عنوان یک نماد شیمیایی عمل می‌کند. برای مثال، کلینوپتیلولیت‌های موجود در منطقه مورد مطالعه که سدیم بیشتری دارند، به صورت Na-Clinoptilolite نوشته می‌شوند.

۳- یک رده‌بندی نیز بر اساس نسبت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ وجود دارد (de Pablo-Galan et al., 1996). در این رده بندی کلینوپتیلولیت در نسبت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ بین 4.91-7.14 متبلور می‌شود.

۱-۳-۱- کلینوپتیلولیت (Clinoptilolite): شامل یک سری کانیهای زئولیتی با علامت اختصاری HEU است. اولین بار (Schaller 1923, 1932) آن را تعریف کرد. محل تپ آن در سنگهای بازی خاور کوه هودا در ایالت وایومینگ امریکا است. نام آن از Ptilo گرفته شده که در زبان یونانی اشاره به طبیعت کرکی و رشته‌ای ریز آن کانی دارد. محتوای کاتیونی آن بسیار متغیر بوده و از میان کاتیونهای مختلف Ca, Na, K با فراوانی زیاد در آنها شناخته شده است. در برخی از نمونه‌های آنها Sr, Ba, Mg نیز فراوانند. در این سری ممکن است که Fe^{2+} , Fe^{3+} نیز یافت شوند. در تجزیه‌ای که Pirsson (1980) انجام داد، K فراوان‌ترین کاتیون است. در این زئولیت نسبت کاتیونهای یک ظرفیتی به دو ظرفیتی بیشتر از ۱ است (Coombs et al., 1997) بنابراین K-Clinoptilolite را به عنوان نمونه گونه تپ این سری برگزیدند. $T_{\text{Si}}(\text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}))$ آن دارای محدوده 0.80-0.84 است (Coombs et al., 1997).

فرمول استاندارد کلینوپتیلولیت به صورت زیر است (Coombs et al., 1997):



۱-۵-۲ - شواهد میکروسکوپی

در مقطع سوسنوار، در لایه‌های بتونیتی، میان لایه‌های میکریته پر منیزیم (نشان دهنده محیط رسوب‌گذاری آرام و تبخیری) دیده می‌شود. اما بررسی‌های بیشتر نشان داد که قطعات فسیلی همچون قطعه خارپوست و خار اسفنج در این میکریته‌ها دیده می‌شوند. این قطعات خود نشان دهنده محیط‌های دریایی است، برخی از مقاطع، میکریته‌های کف زی (با شوری نرمال) هستند، که نشان دهنده محیط بسیار کم ژرفا می‌باشند.

۱-۶-۶ - تفسیر XRD لایه‌های بتونیتی و زئولیتی

کانی‌هایی که در ۱۱ نمودار XRD (با استفاده از دستگاه زیمنس مدل D-500 با پرتو $\text{CuK}\alpha$) تهیه شده از کانسار سوسنوار و گندی مشاهده می‌شوند، در جدول ۱ آورده شده است.

۱-۶-۱ - تفسیر XRD لایه‌های بتونیتی کانسار بتونیت سوسنوار

با توجه به اینکه بتونیتها ترکیبی از رس اسمکتیتی و چند کانی دیگر هستند، برای تشخیص نوع کانی رسی و کانی‌های همراه آنها و روابط بین اسمکتیت دی اکتاهداری و زئولیت نوع کلینوپتیلولیت موجود در کانسار سوسنوار از این روش استفاده شد. چنانچه بخواهیم این تجزیه را بیشتر کنکاش کنیم، باید قله نمودارهای با زاویه ۲۰ یکسان را در سنگهای مختلف، با هم در نظر گرفته و روند تغییراتی آنها را دنبال کنیم.

در نیمرخ سوسنوار، بر روی ۷ نمونه بتونیتی این تفسیر صورت گرفت (شکل ۵). همان طور که مشاهده می‌شود، اصلی‌ترین پیکهای مربوط به اسمکتیتها در فواصل لایه‌ای $d(001)$ نمودار XRD، در زاویه ۲۰ بین ۶ تا ۹ درجه و فواصل لایه‌ای $d(060)$ در زاویه ۲۰، ۶۲ تا ۶۳ درجه دیده می‌شوند (شکل ۶). هنگامی که این تجزیه بر روی نمونه خشک آنها انجام می‌شود (XRD به سه روش بر روی اسمکتیتها صورت می‌گیرد (بر روی نمونه خشک، در اتیلن گلیکول، در ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد))، اعداد پیک آنها برای $d(001)$ بالای ۱۰ (۱۱.۸۵، ۱۱.۵۳، ۱۱.۴۷، ۱۱.۷۴؛ شکل ۶) بوده و برای $d(060)$ حدود ۱/۴۹ تا ۱/۵۰ (بازرگانی و ربانی، ۱۳۸۳) می‌باشد. از نمونه 100SO تا 140SO این اعداد عبارتند از: 1.496، 1.496، 1.494، 1.498، 1.496، 1.497 (شکل ۶). یک استثنا در مورد نمونه 133SO وجود دارد و آن نداشتن رس در $d(001)$ است. این نبود ممکن است در اثر دو احتمال به وجود آمده باشد: یکی این که کلینوپتیلولیت به جای اسمکتیت رشد کرده

۱-۴-۱ - سنگ‌نگاری زئولیت‌های سازند معادل کرج در منطقه معلمان

از زئولیت‌های موجود در مقطع گندی مقطع نازک تهیه و سنگ‌نگاری آن بررسی شد.

زئولیتها در نمونه دستی خاکستری و سبز رنگ است. اینها دارای زمینه شیشه‌ای (شارد) هستند، که بیشتر آنها به کلینوپتیلولیت تبدیل شده‌اند، ولی شکل شاردها کاملاً حفظ شده است (شکل ۴-ب). البته به نظر می‌رسد هنوز بخشهایی از شاردهای سالم با فراوانی بسیار کم در این سنگها یافت می‌شوند (شکل ۴-پ). چنانچه بخواهیم تجمعها را براساس جدول مقایسه‌ای برآورد نماییم (Folk et al., 1970)، این زئولیت حدود ۹۰٪ کلینوپتیلولیت، ۴٪ کوآرتز بی شکل، ۴٪ میکریته داشته و بقیه را فلدسپار و پلاژیوکلاز نیمه خودریخت و کانی‌های تیره تشکیل می‌دهند (شکل ۴-ج). بافت این سنگها جهت یافته است (شکل ۴-ب). مقداری چرت (کروی شکل) به همراه کوآرتزها دیده می‌شود که یا تحت فرایند شیشه‌زدایی شاردها و یا تحت تأثیر انحلال سیلیسهای موجود در محیط به وجود آمده‌اند (شکل ۴-د). تقریباً تمام اجزای سنگی در زئولیت‌ها، به وسیله کلینوپتیلولیت جایگزین شده‌اند (شکل ۴-ج). میکریته‌ها جانشین مقداری از کوآرتز و پلاژیوکلاز شده‌اند (شکل ۴-ح). فسیلیهایی همچون رادیولر نیز همراه این زئولیتها دیده می‌شود (شکل ۴-خ).

۱-۵-۵ - محیط رسوبی

۱-۵-۱ - شواهد صحرایی

از جمله ساختهای دیده شده در این توالی، می‌توان به لغزشها اشاره کرد. این ساخت نشان دهنده محیط شیب قاره است که در منطقه مورد بحث در بین لایه‌های بتونیتی دیده می‌شود. در بین لایه‌های مختلف سنگهای مارنی این توالی، علاوه بر ژیسهای رشته‌ای که آنها را قطع کرده‌اند، بلورهای شفاف ژیس نیز یافت می‌شود، که به موازات لایه‌بندی قرار گرفته‌اند، این کانی‌ها، نشان دهنده محیط‌های کم ژرفا و تبخیری‌اند. به علاوه، لایه‌های عدسی شکل و ضخیم بتونیتی عموماً محیط‌های کم ژرفا را معرفی می‌کند (Hora, 1998). در کل از شواهد صحرایی چنین بر می‌آید: با توجه به ضخامت عدسیهای بتونیتی، حضور نمک و ژیس به موازات لایه‌بندی در لایه‌های زیر بتونیتها و حضور دولوستون که نشان دهنده ژرفای کم و محیط تبخیری است، لذا بتونیتها، به احتمال زیاد در محیط‌های کم ژرفا و

که هنوز در حال تبدیل می‌باشد. ارتفاع این پیکها زیاد بوده و نشان‌دهنده این است که بلورهای کلینوپتیلولیت به خوبی متبلور شده‌اند. چنانچه زاویه 2θ ، 22.82 را در تمام نمونه‌ها دنبال کنیم، از نمونه 7GA تا C15GA به ترتیب دارای اعداد 3.957, 3.969, 3.959 می‌باشند. این پیکها نیز پیکهای ایده‌آل کلینوپتیلولیت هستند. در کل تمام پیکها در نمونه‌های تجزیه شده در کانسار زئولیت گندی مربوط به کلینوپتیلولیت می‌باشند، به استثنای نمونه C15GA که کمی کلرید سدیم (هالیت، پیکهای با اعداد 1.994, 2.815) دارند. البته کمی کلسیت در نمونه‌ها دیده می‌شوند.

۱-۷- تجزیه شیمی‌تر

برای انتخاب نمونه‌ها، دو نمونه که با تفسیر XRD، وجود رس در آنها قطعی شده بود، مورد آزمایش شیمی‌تر قرار گرفتند (البته بر روی رس جداسازی شده). هدف، به دست آوردن اکسیدهای عناصر اصلی، در رس نمونه می‌باشد. ۲ تجزیه بر روی کانسار زئولیت گندی و لایه بنتونیت یخاب (ادامه لایه ضخیم بنتونیت سوسن وار) انجام شد (جدول ۲). رسهای جداسازی شده بسیار خالص‌تر از بنتونیتها هستند.

برای تشخیص انواع این رسها با استفاده از تجزیه شیمی‌تر، از Si کمک شایانی نمی‌توان گرفت، شاخص اینها عناصر دیگری مانند Al (مهم‌ترین)، K، Fe، Mg و در مراتب بعدی Na و Ca می‌باشند (Velde, 1992). بنابراین، نمونه‌ها اسمکتیت بوده (با توجه به داده‌های XRD)، و از نوع بدلیت هستند.

۱-۸- تفسیر XRF لایه‌های بنتونیتی و زئولیتی

از ۹ نمونه، شامل چهار زئولیت تقریباً خالص (7GA, C₁15GA, C₂15GA) برای (B15GA)، از گندی و پنج بنتونیت از مقطع سوسن وار و یخاب، برای به دست آوردن ترکیب عمومی کلینوپتیلولیت و بنتونیت موجود در این سازند، استفاده شد. اکسیدهای عناصر اصلی و کمیاب آنها در جدول ۳ آورده شده است. با انتقال این داده‌ها در نمودارهای مختلف، نتایج زیر به دست می‌آید: با پیاده کردن عناصر اصلی در نمودار (AFM) Al₂O₃-FeO-MgO تغییرات ترکیب بنتونیتها و زئولیتها را می‌توان مورد بررسی قرار داد (Berry, 1999). همان‌طور که در نمودار AFM مشخص است (شکل ۸-الف)، تمام بنتونیتها و زئولیتها در قطب Al₂O₃ قرار گرفته‌اند. این بدین معناست که، در درجه اول، از شیشه (شارد) سیلیسی به وجود آمده‌اند و در درجه دوم، در طی دیاژنز کمی Fe⁺² در زئولیت‌های حاصل از بنتونیتها، جانشین Mg⁺² در مکانهای هشت وجهی شده است.

و در این راستا سیلیس آزاد شده است. این همزیستی کلینوپتیلولیت و سیلیس در نمونه 133SO در زاویه 2θ ، 22.82 به خوبی قابل مشاهده است. این خود دلیلی بر تبدیل اسمکتیت به کلینوپتیلولیت در خلال دیاژنز می‌باشد. یا این که کلینوپتیلولیت روی اسمکتیت را در فاصله مذکور پوشانده باشد. اما پیکهای بعدی که در زاویه 2θ ، ۹ تا ۴۵ درجه بیشترین فراوانی را دارند، کلینوپتیلولیت‌های همراه بنتونیتها هستند. اصلی‌ترین پیک‌های این کانی در زاویه‌های 2θ ، 9.88, 11.19, 17.36, 22.36, 22.49, 22.71, 22.82, 26.04, 28.16 دیده می‌شوند (Treacy et al., 2001; Bayliss et al., 1980). چنانچه زاویه 2θ ، 22.82 را در تمام نمونه‌ها دنبال کنیم (شکل ۵)، از نمونه 100SO تا 140SO به ترتیب دارای اعداد 3.969, 3.928, 3.982 تا 4.046, 3.875) 3.982, 3.998, 4.036 می‌باشند. از این میان، اعداد داخل پرانتز مربوط به یک نمونه است. چنانچه به این اعداد دقت کنید، متوجه این مطلب می‌شوید که: در نمونه‌های 100SO, 131SO, 132SO اعداد مربوط به کلینوپتیلولیت هستند. ولی در نمونه 133SO علاوه بر پیک کلینوپتیلولیت، اپال نیز متبلور شده است. بدین خاطر در این نمونه در زاویه 2θ یاد شده، دو پیک (اعداد داخل پرانتز) مشاهده می‌شود. همان‌طور که در ادامه مشاهده می‌شود در نمونه‌های بالاتر، اعداد 3.982, 3.998, 4.036 دیده می‌شود. یعنی هر چه به اعماق دفن کمتر نزدیک می‌شویم، اپال جای کلینوپتیلولیت را می‌گیرد. در زاویه 2θ ، 9.88 نیز پیک مربوط به کلینوپتیلولیت مشاهده می‌شود (شکل ۶). کانیهای دیگری مانند کلسیت در نمونه‌ها دیده می‌شود.

۲-۶-۱- تفسیر XRD لایه‌های زئولیتی کانسار زئولیت گندی

در نیمرخ گندی، بر روی ۳ نمونه زئولیتی این تفسیر صورت گرفت (شکل ۶). اصلی‌ترین پیکهای مربوط به کلینوپتیلولیت در نمودار XRD، در زاویه‌های 2θ ، 9.88, 11.19, 17.36, 22.36, 22.49, 22.71, 22.82, 26.04, 28.16 دیده می‌شوند (Treacy et al., 2001; Bayliss et al., 1980). نمونه‌های تجزیه شده در کانسار زئولیت گندی (7 GA, B15GA, C15GA) در $d(001)$ یا بدون رس بوده و یا رس بسیار کمی دارند (شکل ۷). یکی از زاویه‌های اصلی ظهور کلینوپتیلولیت در تجزیه XRD، زاویه 2θ ، 9.88 است. همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود، در زاویه یاد شده، در این تجزیه‌ها به ترتیب از پایین به بالا دارای اعداد، 8.961, 8.942, 8.961 هستند. دو عدد اول سمت راست نشان دهنده تبلور کامل کلینوپتیلولیت از اسمکتیت است ولی پیک سوم، هنوز به ساختار ایده‌آل کلینوپتیلولیت نرسیده و هنوز اسمکتیت کاملاً به زئولیت تبدیل نشده است. همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود، تنها تجزیه‌ای که رس نشان می‌دهد، همین نمونه (C15GA) است

می‌شود، حدود ۳۵٪ در بتونیتها تا ۸۰٪ در زئولیتها، کاتیونهای پتاسیم و سدیم جانشین کلسیم و منیزیم شده‌اند. البته یکی از زئولیتها غنی شدگی از کلسیم نشان می‌دهد (مربع توخالی، 7GA) که دلیل آن جانشینی کمی میکریته در زئولیتهاست. این امر در مقطع نازک این سنگ به وضوح دیده می‌شود (مقطع شماره 7GA، شکل ۴-ح). از نمودار دو متغیره $(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - (\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ می‌توان برای به دست آوردن فراوانی عناصر و کاتیونهای مختلف در زئولیتها و بتونیتها استفاده کرد (Tsolis-Katagas & C. Katagas, 1989).

بارسم داده‌های مختلف مربوط به بتونیتها و زئولیتها در این نمودار (شکل ۹-الف) نتایج زیر به دست می‌آید: همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ از میزان $(\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ کاسته می‌شود. در واقع، یک شیب منفی بین آنها برقرار است. بنابر آنچه که در این نمودار مشاهده می‌شود، زئولیتها بیشترین مقدار $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ و کمترین مقدار $(\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ را دارند و بتونیتها، برعکس. این بدین معناست که بتونیتها بیشترین آلومینیم و زئولیتها بیشترین سدیم را دارند. در واقع در طول دیاژنز و با افزایش عمق، سیلیسیم، منیزیم و کلسیم از محیط خارج و بر میزان سدیم آن افزوده شده است.

برای تعیین نوع شیشه (شارد) به وجود آورنده بتونیتها، می‌توان از نمودار $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ (Christidis & Dunham, 1997)، نمودار $\text{FeO} + \text{TiO}_2$ ، Al_2O_3 ، MgO (Jensen, 1976؛ شکل ۹-ج) و نمودار مثلثی AFM (Irvine & Baragar, 1971؛ شکل ۹-د) استفاده کرد.

با رسم داده‌های مربوط به بتونیتها در نمودار (شکل ۹-ب)، شیب به وجود آمده برای بتونیتها، مثبت و برای زئولیتها، منفی است. پس شیشه‌های (شاردهای) به وجود آورنده بتونیتها، اسیدی و برای زئولیتها بازی تر بوده‌اند (Christidis & Dunham, 1997).

چنانچه از نمودارهای جنسن و ایروین-باراگار استفاده کنیم، سری ماگمایی به وجود آورنده این شیشه‌های آتشفشانی را نشان می‌دهد (شکلای ۹-ج، د).

همان‌طور که در شکلای ۹-ج، د مشخص است، شیشه (و شاردهای) به وجود آورنده بتونیتها و کلینوپتیلولیتها ریولیتی تا داسیتی و کالک آلکالن هستند. ولی به علت متحرک تر بودن پتاسیم نسبت به سدیم و با توجه به اینکه بتونیتها و زئولیتها، سدیم را بیشتر، از آب دریا جذب می‌کنند و با توجه به باقی ماندن پتاسیم تا مقادیر ۱/۵۶، ۱/۵۱، ۱/۵۵ و ... (به جدول ۳ رجوع شود) به نظر می‌رسد که شیشه تشکیل دهنده این بتونیتها و زئولیتها دارای پتاسیم بیشتری از این میزان بوده و در واقع ماگمای تشکیل دهنده اینها احتمالاً قلیایی بوده است. دقت در نمودار ایروین-باراگار، نشان می‌دهد که در بتونیتها (مثلثها

با پیاده کردن اکسید کاتیونهای مختلف در نمودارهای مثلثی، می‌توان روند پارائزنی را در بتونیتها و زئولیتها بررسی کرد (Noh & Boles, 1989; Tsolis-Katagas & C. Katagas, 1989; Bowers & Burns, 1990; de Pablo-Galan & de Chavez-Garcfa, 1996; Ghiara, Petti, Franco, Lonis, Luxoro & Gnazzo, 1999; Christidis, 2001).

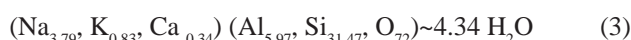
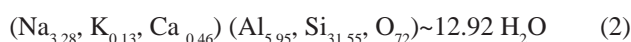
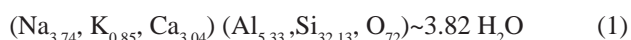
با پیاده کردن اکسید کاتیونهای موجود در بتونیتها و زئولیتها منطقه مورد مطالعه (شکل ۸-ب)، نتایج زیر به دست آمد: شیمی بتونیتها و زئولیتها احتمالاً بازتاب کننده فعالیت شیمیایی یونهای سیالات منفذی در زمان تشکیل آنها می‌باشند (Noh & Boles, 1989). بنابراین، موازنه شیمیایی کاتیونهای موجود در بتونیتها، زئولیتها و سیالات منفذی در خلال زئولیتزایی را می‌توان با نمودار بالا بررسی کرد.

در نمودار $(\text{CaO} + \text{MgO}) - \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$ ، یک روند خطی بین بتونیتها و زئولیتها دیده می‌شود. در طول این خط، به سمت زئولیتها، با افزایش Na_2O و ثابت بودن میزان K_2O از مقادیر CaO و MgO کاسته شده است. روند مذکور نشان دهنده این است که: اول: زئولیتها موجود در منطقه، قلیایی و از نوع سدیم دار هستند. دوم: بتونیتها و زئولیتها احتمالاً از شیشه آتشفشانی با ترکیب مشابه به وجود آمده‌اند، سوم: در طول دیاژنز، بتونیتها به زئولیتها تبدیل شده و چهارم: کاتیون های سدیم در طی دیاژنز از ۲۰٪ در بتونیتها تا ۷۰٪ در زئولیتها جای کاتیونهای منیزیم و کلسیم را گرفته‌اند. این امر، در منطقه طبیعی است، در درون لایه‌های بتونیتی-زئولیتی، لایه‌ها و عدسیهایی از میکریته و دولوستون دیده می‌شود (به ستون چینه‌شناسی منطقه مراجعه شود) که احتمالاً در طی دیاژنز منیزیم و کلسیم موجود در شیشه سیلیسی و در مراحل بعدی در بتونیتها و زئولیتها، کمک به تشکیل آنها کرده است. همان‌طور که در شکل ۸-ب مشخص است، چنانچه به عمق دفن شدگی بتونیتها توجه کنیم، با افزایش ژرفای دفن (از مثلث خاکستری به سمت مربع سبز)، به مقدار $\text{MgO} + \text{CaO}$ افزوده می‌شود. این روند نشان دهنده تمایل بتونیتها به جذب منیزیم و کلسیم و زئولیت به جذب سدیم و پتاسیم است.

اما برای اطلاع از درصد جانشینی کاتیونها نسبت به یکدیگر، می‌توان از نمودار مثلثی $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{CaO} - \text{MgO}$ استفاده کرد. با رسم داده‌های مربوط به منطقه مورد مطالعه بر روی این نمودار (شکل ۸-ج)، نتایج زیر به دست می‌آید: کاتیونهای پتاسیم و سدیم، اصلترین کاتیونها در اسمکتیتها و کلینوپتیلولیتها بوده و بیشترین تبادل کاتیونی را دارند (Coombs et al., 1997). با این توصیف، لازم است درصد جانشینی این کاتیونها، پیرو تکمیل توضیحات داده شده در مورد شکل ۸-ب، ذکر شود. همان‌طور که در شکل ۸-ج دیده

از روی داده‌های درصد اکسیدهای عناصر اصلی زئولیت (جدول ۳)، می‌توان به درصد عناصر تشکیل دهنده آنها رسید. با توجه به این مطلب نتایج به دست آمده به صورت زیر است (جدول ۴):

چنانچه این اعداد به دست آمده را در فرمول استاندارد زئولیت (Coombs et al., 1997) قرار دهیم، فرمول کلینوپتیلولیت‌های موجود در منطقه، با دقت نسبتاً بالا حاصل می‌شود.



به ترتیب از 1 تا 3، فرمول‌ها مربوط به 7GA ، $\text{B}15\text{GA}$ ، $\text{C}15\text{GA}$ می‌باشند. همان‌طور که مشخص شده است، این زئولیت‌ها از نوع کلینوپتیلولیت سدیم‌دار می‌باشند.

تشکر و قدردانی

از آقایان دکتر دانشیان (دانشگاه تربیت معلم، برای کمک به تعیین سن سازند مورد مطالعه)، مهندس برقی (دانشگاه تهران، به خاطر انجام تجزیه XRD بر روی بتونیتها و زئولیتها)، دکتر داوودیان (شرکت کیان طیف زاگرس برای انجام تجزیه XRF)، دکتر مهاری (دانشگاه آزاد شاهرود، برای کمکهای سنگ‌شناسی)، دکتر فرقانی (دانشگاه آزاد شاهرود، برای کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی)، و دکتر طاهری (دانشگاه صنعتی شاهرود، برای کمکهای فسیل‌شناسی) کمال تشکر و قدردانی را داریم.

و مربع توپر خاکستری) با افزایش عمق دفن شدگی (از مثلث خاکستری به سمت مثلث سبز) از میزان قلیاییها کاسته و بر میزان MgO و FeO افزوده می‌شود.

از نمودارهای رده‌بندی عمومی سنگها، می‌توان برای تشخیص نوع شیشه به وجود آورنده بتونیتها و زئولیتها کمک گرفت (Berry, 1999).

با رسم داده‌های مربوط به زئولیتها و بتونیتها منطقه مورد مطالعه در نمودارهای رده‌بندی سنگها (شکل ۹-م، ه)، بتونیتها و زئولیتها منطقه مورد مطالعه، در محدوده ریولیتی، داسیتی تا تراکیتی قرار گرفته‌اند. ولی چنانچه تمام نمودارهای مختلف در ارتباط با نوع شیشه تشکیل دهنده بازنگری شود، چنین به نظر می‌رسد که نوع شیشه به وجود آورنده زئولیتها و بتونیتها، اسیدی بوده است (ریولیتی تا داسیتی).

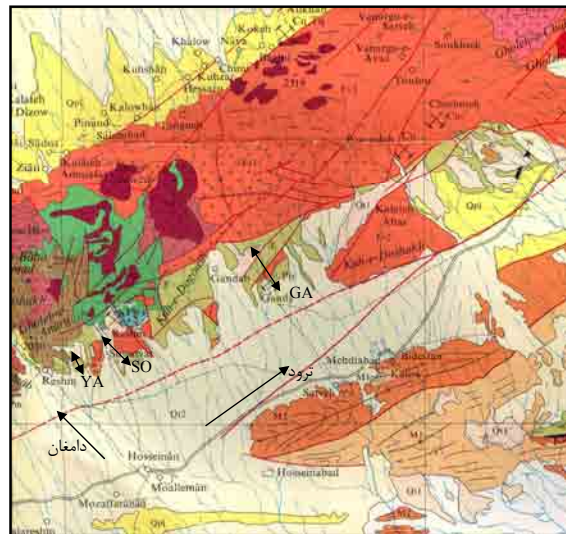
با توجه به دلایل فسیلی و سنگ‌شناسی که برای دریایی بودن سازند مورد بررسی عنوان شد (رجوع به بخش ۵-۱). از جمله می‌توان به حضور فسیل رادیولر، خار اسفنج و میکریت کفزی و پلاژیک و... اشاره کرد که خاص محیط دریایی هستند. ولی علاوه بر اینها، با نمودارهای عنکبوتی نیز می‌توان این قضیه را اثبات کرد.

در نمودار عنکبوتی با بررسی بی‌هنجاری Ce ، می‌توان در مورد دگرسانی بتونیتها و زئولیتها بحث کرد (Berry, 1999; White et al. 1985).

همانطور که در نمودار عنکبوتی مشاهده می‌شود (شکل ۹-ی)، تمام بتونیتها دارای بی‌هنجاری مثبت Ce هستند. بنابراین، حاصل دگرسانی شیشه‌های (شاردهای) سیلیسی در محیط دیاژنزی (دریایی) می‌باشند. در واقع این بتونیتها، سریم را از آب دریا جذب کرده‌اند. نمونه‌های زئولیتی، این بی‌هنجاری مثبت را نشان نمی‌دهند. با توجه به مطالعات (Berry 1999) شاید آهن موجود در اینها مانع از جذب سریم شده باشد.



ب



الف

شکل ۱- الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه و راهها و مقاطع پیموده شده در چارگوش (۲۵۰۰۰۰: ۱) ترود. راهها با پیکان یک جهت و موقعیت مقاطع با پیکان دوجته مشخص شده است. (یخاب: YA، سوسنوار: SO، گندی: GA).
 ب) تقسیم بندی ساختاری - رسوبی (نبوی، ۱۳۵۵) و موقعیت منطقه مورد مطالعه.

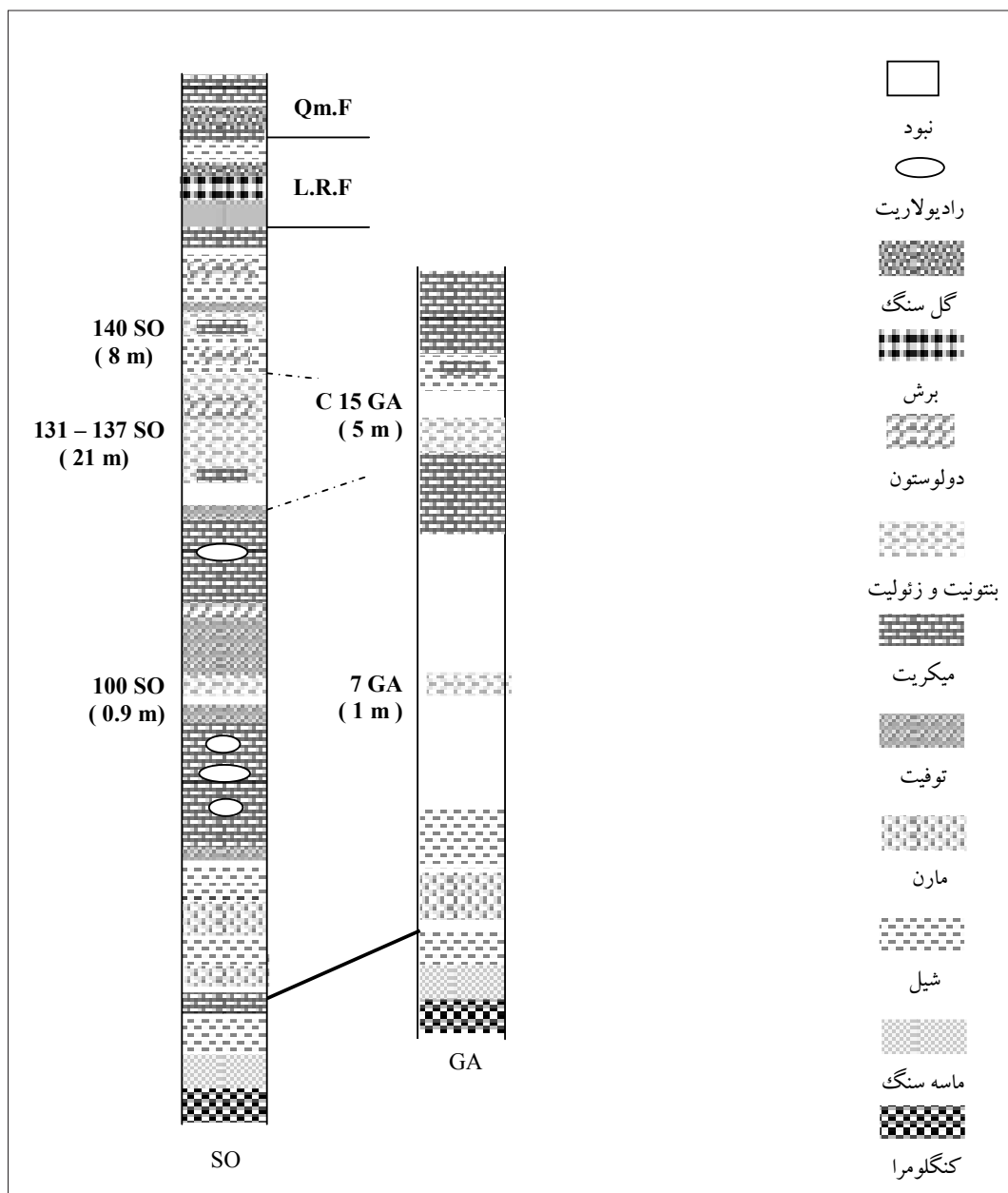


ب

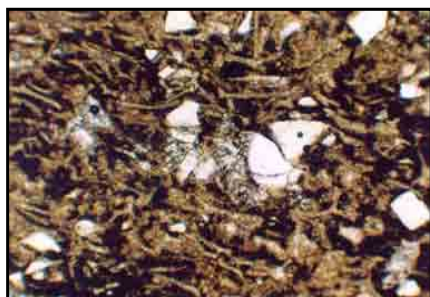


الف

شکل ۲- الف) نمایی از کانسار بتونیت سوسن وار
 ب) کانسار زئولیت گندی.



شکل ۳- ستون چینه‌شناسی سازند معادل کرج و تطابق سنگ چینه‌شناسی آن.
 شماره‌های موجود در سمت چپ نیمرخ سوسن وار (SO) و گندی (GA)، در متن استفاده شده است.
 ستونها بدون مقیاس هستند. اعداد داخل پرانتز، ستبرای لایه‌ها هستند.



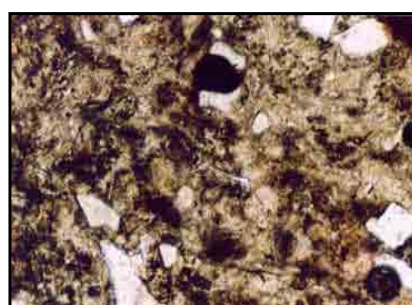
ب



الف



ج



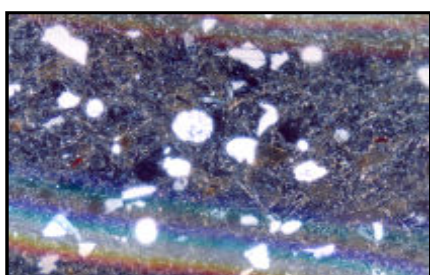
پ



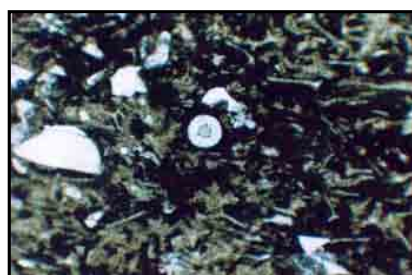
ح



چ

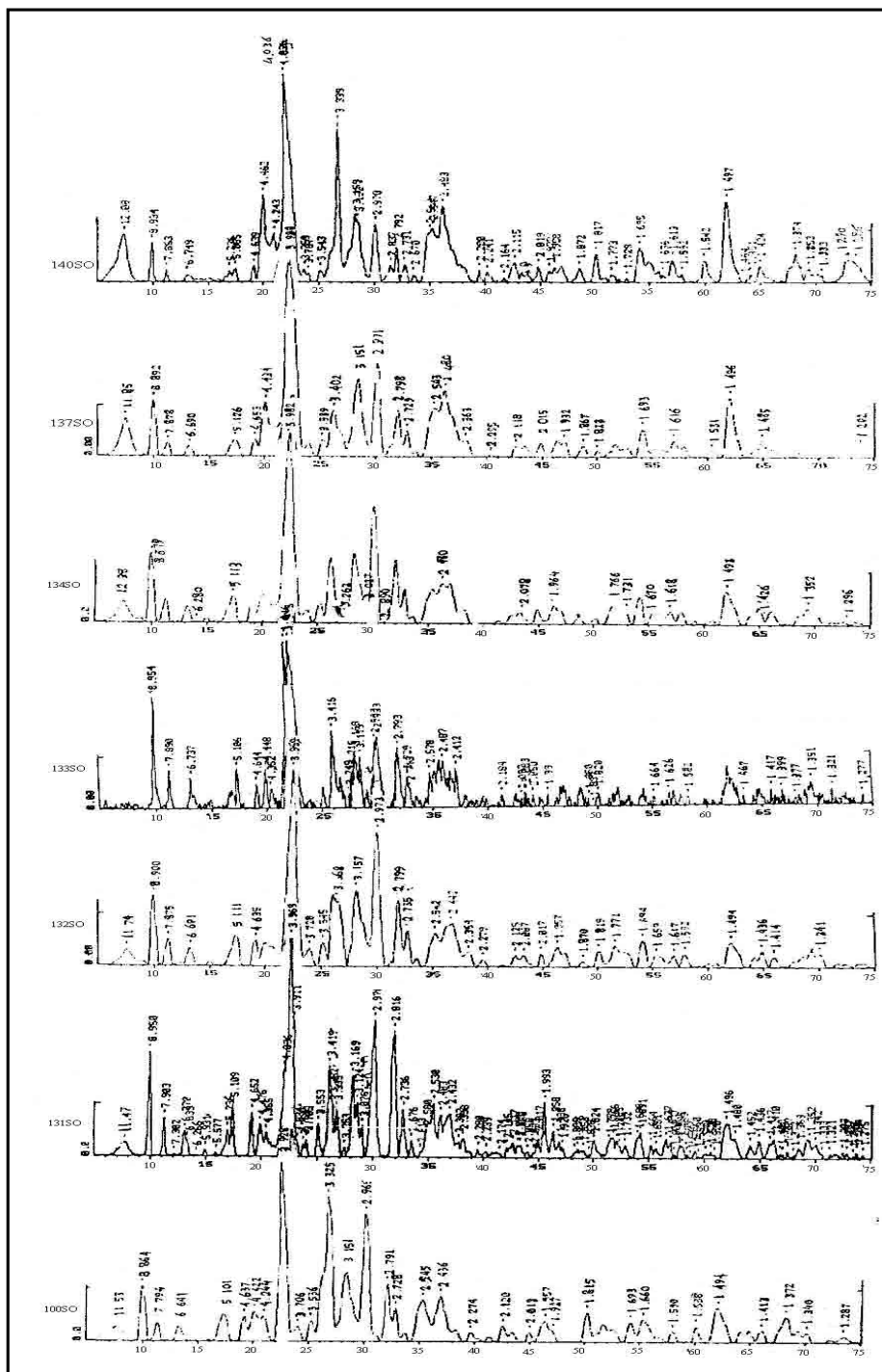


د

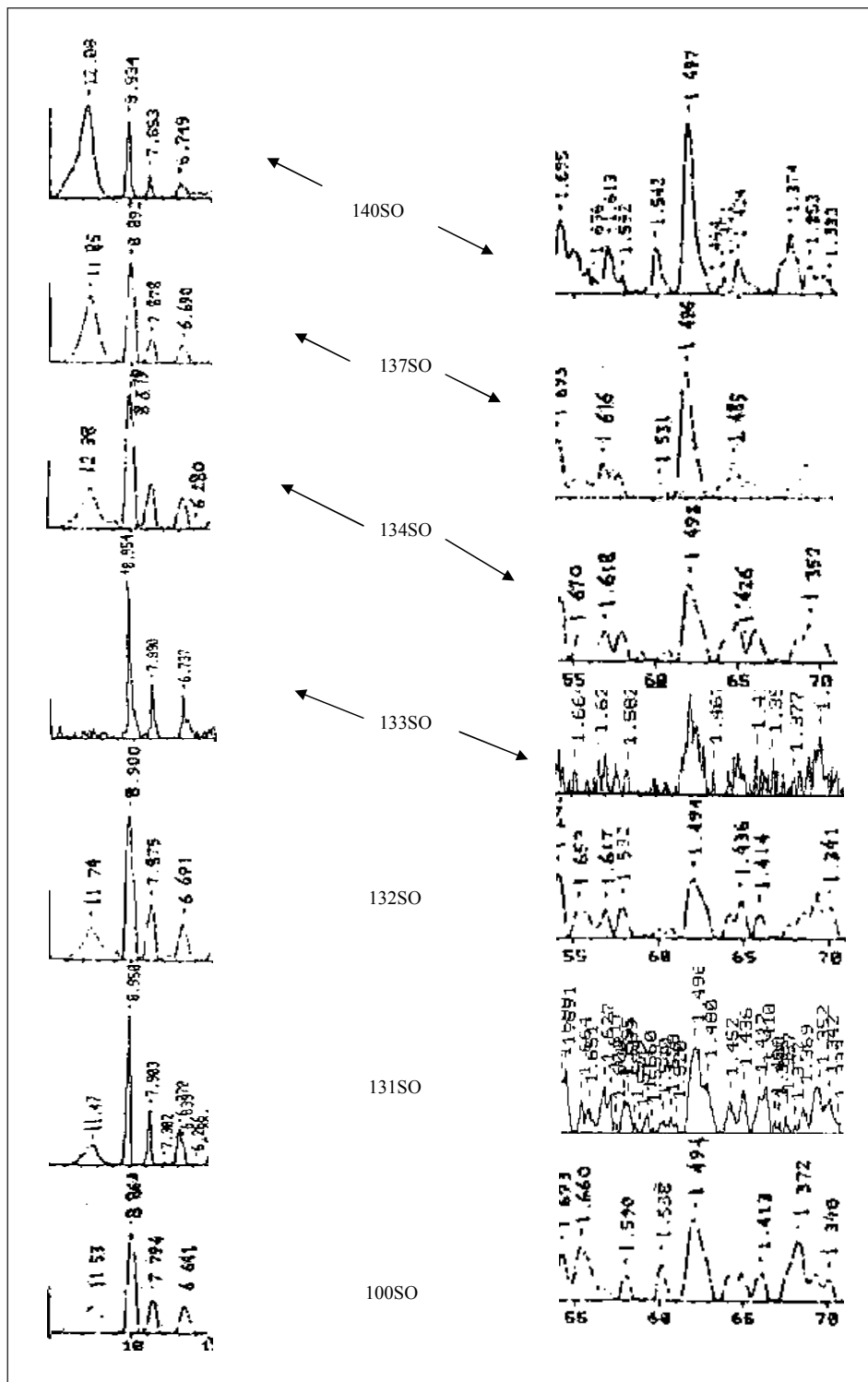


خ

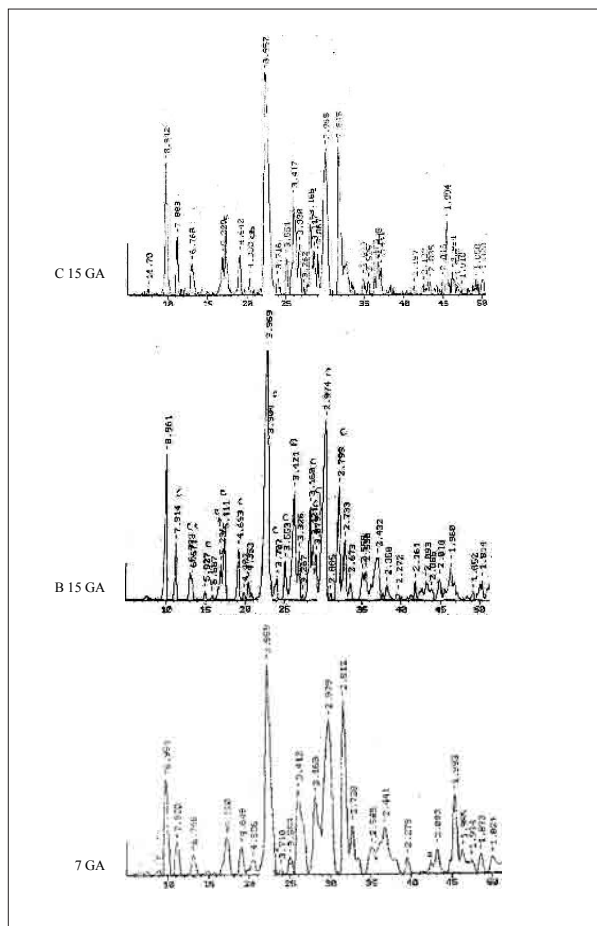
شکل ۴- الف) عدسی میکریتی و بافت پاپ کورن در بتونیتها. دره سوسن وار، نگاه به باختر.
 ب) شارد‌های شیشه‌ای سیلیسی که به کلینوپتیلولیت تبدیل شده ولی شکل شارد‌ها حفظ شده است. بافت جهت یافته سنگ در این عکس مشخص است، بزرگنمایی $3/2 \times 10$ ، PPL. پ) نمونه‌ای از شارد سالم در زئولیتها، بزرگنمایی $3/2 \times 10$ ، XPL. ج) حضور کانی تیره در زئولیتها، بزرگنمایی $3/2 \times 10$ ، PPL. چ) نمونه‌ای از کوارتز که از اطراف توسط کلینوپتیلولیت در حال جانشینی است، بزرگنمایی $3/2 \times 10$ ، PPL. ح) تعدادی از کوارتزها و پلاژیوکلازها توسط میکریت جانشین شده‌اند. بزرگنمایی $3/2 \times 10$ ، PPL. خ) فسیل رادیولر در زئولیتها، بزرگنمایی $3/2 \times 10$ ، PPL. د) چرت‌های کروی شکل که احتمالاً حاصل آزاد شدن سیلیس در طی تبدیل شیشه آتشفشانی به زئولیت است، بزرگنمایی $3/2 \times 10$ ، XPL.



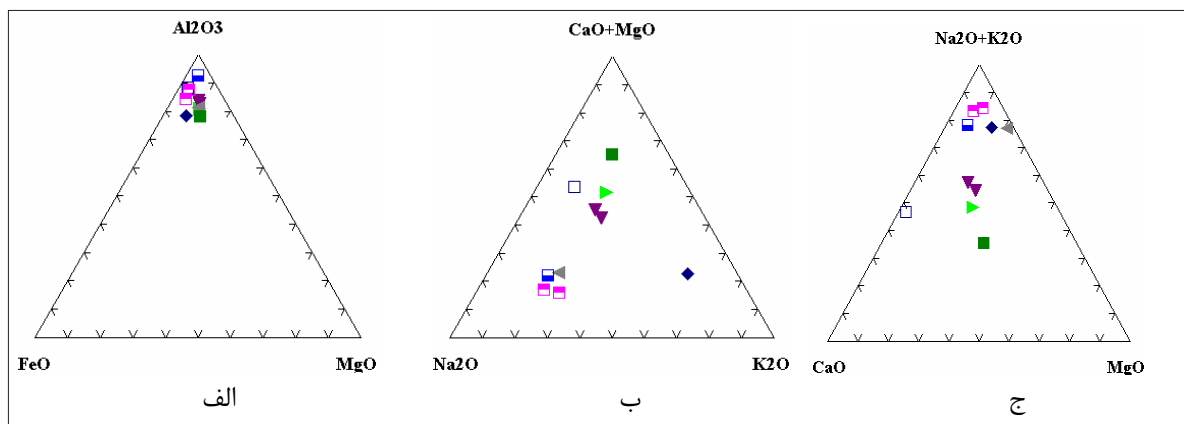
شکل ۵- پیکهای XRD در بتونیته‌های نیمرخ سوسن وار (S O).



شکل ۶- پیکهای مربوط به اسمکتیت و کلینوپتیلولیت. شماره نمونه‌ها در وسط مشخص شده است.



شکل ۷- پیک های XRD در زئولیت های نیمرخ گندی (GA).

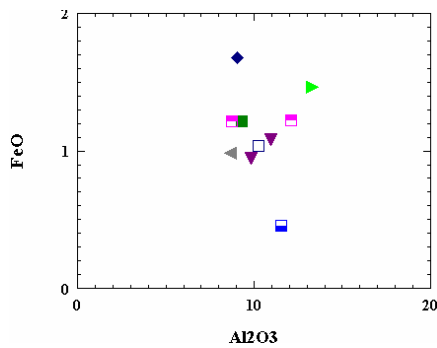


شکل ۸- الف) زئولیت ها و بتونیت ها در نمودار مثلثی AFM.

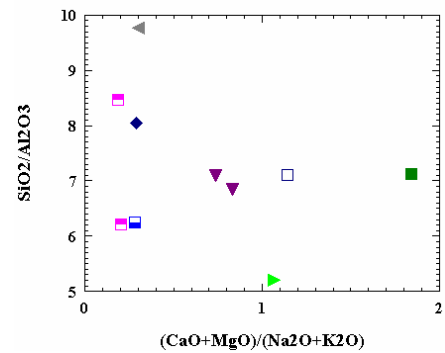
ب و ج) نمودارهای مثلثی، نشان دهنده تفاوت فراوانی اکسید کاتیون ها در بتونیت ها و زئولیت ها.

علائم در شکلها به قرار زیر می باشند:

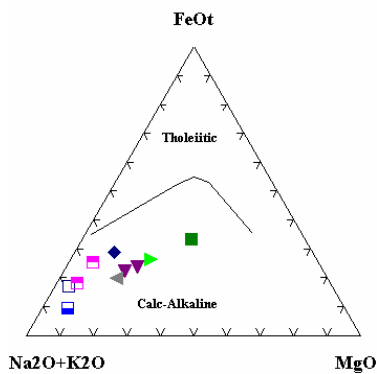




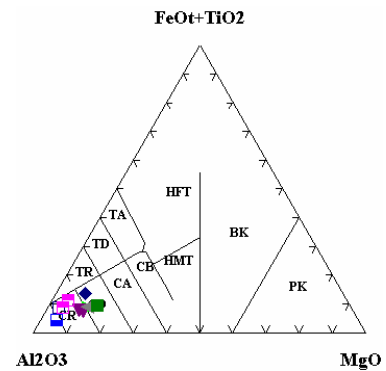
ب.



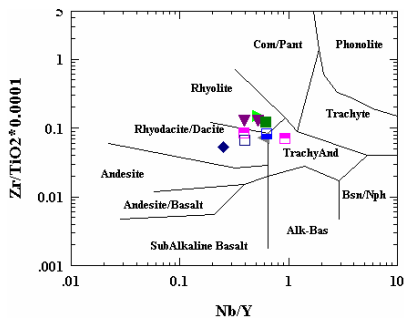
الف



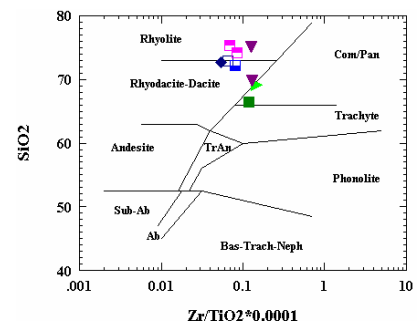
د



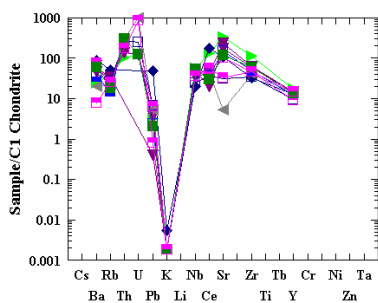
ج



ه



م



ی

شکل ۹- (علائم مشابه شکل ۸)
 الف) نمودار دومتغیره $SiO_2/Al_2O_3/(CaO+MgO)/(Na_2O+K_2O)$
 ب) نمودار دومتغیره Al_2O_3/FeO
 ج) نمودار مثلثی (Jensen, 1976).
 د) نمودار مثلثی (Irvine & Baragar, 1971)
 م، ه) رده‌بندی عمومی سنگها، (Winchester & Floyd (1977).
 ی) نمودار عتکبوتی که داده‌ها در آن به کندریت هنجار شده‌اند.

جدول ۱- کانیه‌های موجود در XRD نمونه‌های سوسن وار (SO)، یخاب (YA)، گندی (GA)

هالیت	اپال	کلسیت	اسمکتیت	کلینوپتیلولیت
C 17 YA	*	*	*	*
100 SO	*	*	*	*
131 SO	*	*	*	*
132 SO	*	*	*	*
133 SO	*	*	*	*
134 SO	*	*	*	*
137 SO	*	*	*	*
140 SO	*	*	*	*
7 GA	*	*	*	*
B 15 GA	*	*	*	*
C 15 GA	*	*	*	*

جدول ۲- تجزیه‌های شیمی تر رس‌های منطقه گندی و یخاب

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI
C15GA	56.5	27.5	2.8	1.3	1.5	4.07	1.8	4.96
C17YA	61.36	19	3.93	6.5	0.55	2.45	0.57	8.2

جدول ۳- تجزیه XRF نمونه‌های بتونیت و زئولیت

Sample	Unit	7 GA	B15GA	C1 15GA	C2 15GA	C17YA	100SO	131SO	137SO	140SO
SiO ₂	%	72.85	72.08	75.31	74.05	66.32	69.1	69.76	75.05	84.32
TiO ₂	%	0.2	0.23	0.25	0.21	0.19	0.29	0.19	0.18	0.21
Al ₂ O ₃	%	10.26	11.55	12.13	8.76	9.31	13.27	9.83	10.96	8.62
Fe ₂ O ₃	%	0.24	0.13	0.28	0.27	0.27	0.34	0.22	0.28	0.23
FeO	%	1.03	0.45	1.22	1.21	1.21	1.46	0.95	1.08	0.98
MnO	%	0.04								
MgO	%	0.33	0.5	0.52	0.43	1.43	1.64	0.95	1.19	1.03
CaO	%	6.43	0.97	0.76	0.3	1.28	1.91	1.33	1.32	0.11
Na ₂ O	%	4.38	3.88	4.69	2.68	0.73	1.78	1.72	1.79	2.69
K ₂ O	%	1.51	0.23	1.56	1.19	0.74	1.55	1.37	1.23	1.08
P ₂ O ₅	%	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03
L.O.I	%	2.6	8.85	3.12	10.74	18.36	8.47	13.56	6.82	0.59
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	%	7.10	6.24	6.21	6.88					
S	ppm	165	10	12	13	12	12	15	11	95
Rb	ppm	61	35	47	60	43	87	80	81	54
Sr	ppm	223	1109	758	240	869	2473	1754	1268	38
V	ppm	23	24	26	26	23	29	21	24	28
W	ppm	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Y	ppm	15	19	14	23	21	27	23	23	22
Zr	ppm	133	186	176	178	227	428	245	229	152
Zn	ppm	46	144	63	68	147	64	43	33	23
Mo	ppm	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ba	ppm	95	85	186	19	140	59	139	114	49
Ce	ppm	22	23	21	35	18	81	26	12	27
Co	ppm	1	1	2	4	1	6	4	1	4
Cr	ppm	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cu	ppm	1	1	1	1	1	1	2	1	1
Nb	ppm	6	12	13	9	13	14	15	12	13
Ni	ppm	1	2	1	1	1	6	1	9	1
Pb	ppm	17	6	16	2	5	8	9	1	13
U	ppm	2	1	1	7	1	1	1	4	8
Th	ppm	8	9	9	5	9	3	4	7	9

جدول ۴- درصد عناصر اصلی زئولیت به دست آمده از داده‌های XRF

	Unit	7 GA	B15GA	115GA
Si	%	32.13	31.55	31.47
Ti	%	0.07	0.07	0.08
Al	%	5.33	5.95	5.97
Fe ³⁺	%	0.08	0.04	0.09
Fe ²⁺	%	0.38	0.16	0.42
Mn	%	0.015		
Mg	%	0.22	0.33	0.33
Ca	%	3.04	0.46	0.34
Na	%	3.74	3.28	3.79
K	%	0.85	0.13	0.83
P	%	0.01	0.009	0.009
H ₂ O	%	3.82	12.92	4.34
T _{Si}		0.85	0.84	0.84
Si/Al	%	6.02	5.3	5.27

کتابنگاری

بازرگانی گیلانی، ک.، ربانی، م. ص.، ۱۳۸۳- کانی شناسی، مشخصات شیمیایی و ژئیتیکی بنتونیت رسوبات ائوسن منطقه افتر، باختر سمنان. مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، شماره دوم، سال دوازدهم (در دست چاپ).

نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین شناسی کشور. ۱۰۹ ص.

References

- Alberti, A., 1975- Sodium-rich dachiardite from Alpe disiusi, Italy. *Contrib. Mineral. Petrol.* 49, 63-66.
- Armbruster, T., 1993- Dehydration mechanism of clinoptilolite and heulandite: single-crystal X-ray study of Na-poor, Ca-, K-, Mg-rich clinoptilolite at 100K. *Am. Mineral.* 78, 260-264.
- Bayliss, P., Berry, L.G., Mrose, M.E. & Smitu, D. K., 1980- Mineral powder diffraction file. JGPD, 1107 P.
- Berry, R., 1999- Eocene and Oligocene Otay-type Waxy Bentonites of San Diego Country and Baja California: Chemistry, mineralogy, petrology and plate tectonic implications. *Clays and Clay Minerals*, 47, 70-83.
- Bowers, T.S. & Burns, R.G., 1990- Activity diagrams for clinoptilolite: Susceptibility of this zeolite to further diagenetic reactions. *Am Mineralogist*, 75, 601-619.
- Christidis, G.E. & Dunham, A.C., 1997- Compositional Clay Minerals, 32, 253-270. variations in smectites: Part I. Altration of acidic precursors. A case study from Milos Island, Greece. *Clay Minerals*, 32, 253-270.
- Christidis, G.E., 2001- Formation and growth of smectites in bentonites: A case study from Kimolos Island, Aegean, Greece. *Clays and Clay Minerals*, 49, 204-215.
- Coombs, D.S. et al., 1997- Recommended nomenclature for zeolite minerals. *The Canadian Mineralogist*, 35, 1571-1606.

- de Pablo-Galan, L. & de Chavez-Garcfa, M., 1996- Diagenesis of Oligocene vitric tuffs to zeolites, Mexican Volcanic Belt. *Clays and Clay Minerals*, 44, 324-338.
- Folk, R.L., Andrews, P.B. & Lewis, D.W., 1970- Dentrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *NZJ. Geol. Geophys.* 13, 937-968.
- Ghiara, M.R., Petti, C., Franco, E., Lonis, R., Luxoro, S. & Gnazzo, L., 1999- Occurrence of clinoptilolite and mordenite in Tertiary calc-alkaline pyroclastites from Sardinia (Italy). *Clays and Clay Minerals*, 47, 319-328.
- Hora, Z. D., 1998- Bentonite. *British Columbia Geological Survey Branch*. 1-3.
- Irvine, T.N. & Baragar, W.R.A., 1971- A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8, 523-548.
- Moore, D.M. & Reynolds, R.C., 1997- X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. 2nd ed, Oxford Univ Pr.
- Noh, J.H. & Boles, J.R., 1989- Diagenetic alteration of Perlite in the Guryongpo Area, Republic of Korea. *Clays and Clay Minerals*, 37, 47-58.
- Ogihara, S., 2000- Composition of clinoptilolite formed from volcanic glass during burial diagenesis. *Clays and Clay Minerals*, 48, 106-110.
- Pirsson, L.V., 1980- On mordenite. *Am. J. Sci.* 140, 232-237.
- Schaller, W.T., 1923- Ptilolite and related zeolites. In *proc. Society* (E. T. Wherry, ed). *Am. Mineral.* 8, 93-94.
- Schaller, W.T., 1932- The Mordenite-Ptilolite group; Clinoptilolite a new species. *Am. Mineral.* 17, 128-134.
- Sudo, T. & Shimoda, S., 1978- Clay and clay minerals of Japan. Elsevier, 326 P.
- Treacy, M.M.J. & Higgins, J.B., 2001- Collection of simulated XRD powder patterns for zeolites. Elsevier, 379 P.
- Tsolis-Katagas, P. & Katagas, C., 1989- Zeolites in pre-caldera pyroclastic rocks of the Santorini Volcanic, Aegean Sea, Greece. *Clays and Clay Minerals*, 37, 497-510.
- Velde, B., 1992- Introduction to clay minerals. Chapman & Hall, 198 P.
- White, M. et al., 1985- Isotope and trace element geochemistry of sediments from the Barbados Ridge Demerara Plain region, Atlantic Ocean. *Geochim Cosmochim Acta*, 49, 1875-1886.
- Winchester, J.A. & Floyd, P.A., 1977- Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.*, 20, 325-343.

* گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

** گروه شیمی، دانشگاه تهران، ایران

*** گروه زمین شناسی، دانشگاه تهران، ایران

**** شرکت ملی حفاری، اهواز، ایران

*Department of Geology, Faculty of Geoscience, Shahrood University of Technology, Iran.

**Department of Chemistry, Tehran University, Iran.

***Department of Geology Tehran University, Iran.

****National Iranian Drilling Company, Ahvaz, Iran.