# بررسي زمين شناسي و كاني شناسي توف‌هاي زئوليتي شده منطقه اردكان

**جواد قانعي اردكاني* , بتول تقي پور** و صديقه تقي پور ***

* گروه زمين شناسي دانشگاه پيام نور تفت

**دانشجوي دكتري دانشگاه اصفهان، عضو هيئت علمي جهاد دانشگاهي واحد صنعتي اصفهان

***دانشجوي كارشناسي ارشد دانشگاه اصفهان



## چكيده

منطقه مورد مطالعه در نوار ماگماتيسم سنوزوئيک ايران مركزي در شمال غرب اردكان واقع شده است. عمده واحدهاي سنگي منطقه را ولكانيكهاي ائوسن شامل آندزيت, تراكيت, داسيت و سنگ‌هاي آذرآواري وابسته تشكيل مي‌دهند. بر اساس مطالعات صحرايي و كاني شناسي و آناليزهاي دستگاهي (XRF, XRD, TG, DTG) بر روي توف‌هاي زئوليتي شده مشخص شد كه تركيب شيميايي توفها اسيدي است و كاني اصلي زئوليت در آنها كلينوپتيلوليت است. ساير كاني‌هاي مشاهده شده شامل مونت موريلونيت + كوارتز + مسكوويت + بيوتيت مي‌باشند. مطالعات ژئوشيميايي نشان داده است كه تركيب توف‌هاي زئوليتي مشابه توف‌هاي زئوليتي شده است و بنابراين زئوليت منطقه از نوع زئوليت‌هاي رسوبي و سيستم‌هاي هيدورولوژي بسته است. همچنين بر اساس نتايج ژئوشيمايي ميزان Rb, Sr در اين توف‌ها بيشتر از حد طبيعي است كه به دليل خاصيت جذب زئوليتها براي اين عناصر مي‌باشد. طبيعت ماگماي سازنده از نوع كالكوآلكالن شناسايي شده است. طبيعت ماگماي سازنده توفها كالكوآلكالن تشخيص داده شده است.

**واژه‌هاي كليدي:** ماگماتيسم, ايران مركزي, اردكان, زئوليت و كلينوپتيلوليت

# Investigation of Mineralogy and Geology of Zeolitic Tuffs in Ardakan Area

**J. Ghanei,* B. Taghipour**, Se. Taghipour *****

*** Department of Geology, Payame Noor University, (Taft Beanch)**

** Ph.D Condidate of Petrology, Geology Department,Faculty of science, Isfahan University Geology
***MS.C Student of petrology, Geology Department, Faculty of science, Isfahan University

**Abstract**

The studied area is located in Cenozoic Magmatic Belt of Central Iran. The main constituents rocks are Eocene volcanic including: andesite, trachite, dacite and related pyroclastics. Field studies, mineralogy and result of analytical data (DTG, TG, XRD and XRF) have shown that the clinoptilolite is the main zeolite component of acid altered tuffs. Quartz, muscovite, biotite are minor minerals in the zeolitic tuffs. A closed hydrologic system is probably has formed this sedimentary type zeolite deposit, because the chemical composition of fresh tuffs are similar to zeolitic tuffs. On the base of geochemical data absorption behavior of zeolites in zeolitic tuffs are responsible to anomaly of Ba and Sr in the rocks. Volcanic rocks are originated from calc-alkaline type magma.

**Keywords:** Magmatism, Central Iran, Ardakan, Zeolite, Clinoptilolite



**مقدمه**

منطقه مورد نظر در استان يزد، در جنوب غرب شهرستان اردكان و در محدوده بين عرض‌هاي جغرافيايي ′ ۲۵ ° ۳۲ تا ′۱۰ ° ۳۲ شمالي و طول‌هاي جغرافيايي ′ ۵۵ ° ۵۳ - ′۴۰ ° ۵۳ شرقي واقع شده است. اين منطقه ازسمت شمال به جاده آسفالته اردكان – نائين، از سمت شرق و جنوب شرق به اردكان و از سمت جنوب غرب به ارتفاعات عقدا مربوط مي‌شود. منطقه مورد مطالعه در ۲۰ كيلومتري اردكان واقع شده و روستاي ارجنان, عطر آباد, مزارع پاكنده و ميرزا حكيم از نزديكترين آبادي‌هاي موجود در منطقه است. هدف از اين مقاله مطالعه بر تشكيلات آتشفشاني دگرسان شده مي‌باشد. در منطقه ارجنان توف‌ها تبديل به زئوليت شده اند. زئوليت‌ها آلومينوسيليكاتهاي آبداري هستند كه ساختمان شبكه اي مولكولي داشته و از واحدهاي $SiO_4$ , $AlO_4$ تشكيل شده است. تشكيل آنها در محيط‌هاي مختلف زمين شناسي از قبيل زونهاي آلتراسيون، هيدروترمال، رسوبات عميق كف دريا، محيط‌هاي دياژنز تدفيني و درياچه‌هاي آلكالن مي‌باشد(Mumpton, 1999).

از انواع زئوليت هايي كه در سنگ‌هاي رسوبي تشكيل مي‌شوند مي‌توان به آنالسيم، شابازيت، كلينوپتيلوليت، اريونيت، فرريت و هيولانديت اشاره كرد (Gottardia, 1985). اين زئوليت‌ها در اغلب محيط‌ها فراوان و تغييرات قابل ملاحظه اي در نسبت Si/Al و ميزان كاتيون‌ها دارند، از نظر پتانسيل اقتصادي، كاني‌هاي شابازيت، اريونيت، موردنيت، فيليپسيت و كلينوپتيلوليت اهميت ويژه اي دارند. اين كاني‌ها در طبيعت فراوان هستند و داراي خصوصيت تبادل يوني، توانايي جذب و ذخيره مولكولي مي‌باشند. كاتيون‌هاي كلسيم، سديم و پتاسيم در اين كاني‌ها فراوان بوده است و نسبت اين كاتيون‌ها از يك گونه به گونه ديگر متفاوت است و عموما تقسيم بندي آنها بر اساس نوع اين كاتيون‌ها صورت مي گيرد(عطاپور، ۱۳۷۸).

كلينوپتيلوليــت يكــي از فراوانتــرين و پركــاربردترين زئوليــت‌هــاي رسـوبي در ايـران اسـت. ايـن كـاني در سنگ‌هاي رسوبي معمولا به صورت صفحات شكل دار و به طول چندين ميكرون و با ضخامت ۱-۲ ميكرون ديـده مـي‌شـود. اغلـب بلورهـاي كلينوپتيلوليـت داراي تقـارن منوكلينيك و به صورت جعبه اي شكل هستند، كه همراه با هيولانديت در رگـه‌هـا و حفـرات سـنگ‌هـاي بـازالتي مشاهده مي‌شوند (Jillet, 1995).

كلينوپتيلوليت در سنگ‌هاي رسوبي بـه صـورت بـي شكل يافت مي‌شوند. كلينوپتيلوليـت بـه دليـل دارا بـودن خاصيت كاتاليزوري، ساختمان مولكولي بـاز و خاصـيت تبادل كاتيوني كاربردهاي بسيار زيـادي را در صـنعت بـه خود اختصاص داده است كه از انواع آن مي‌توان به موارد زير اشاره كرد:

- كاربرد در كشاورزي كه براي بهبود خاك، تهيه خوراك حيوانات و همچنين در حشره كش‌ها مورد اسـتفاده قـرار مي‌گيرد (Holmes, 1999).
- كاربرد در جذب فلزات سنگين.
- خاصيت تبادل يوني كلينوپتيلوليت كـه نـه تنهـا باعـث انتقال يونها در خاك مي‌گردد بلكه مي‌تواند در نگهـداري يون‌ها در خاک و اضافه كـردن آنهـا بـه زنجيـره غـذايي كمك مي‌نمايد. به صورتي كه ايـن كـاني باعـث كـاهش انتقال فلزات سنگين از قبيل Pb, Ca, Zn, Cu از خـاك بـه گياه مي‌شود. به همين دليل اضافه كردن كلينوپتيلوليت‌هـا در محيطهاي پـرورش آبزيـان باعـث خـروج يـون‌هـاي آمونيوم كه يكي از مسموميت- زداترين يون هايي اسـت كه غلظت كم آن در محيطهاي آبي خطرناك مي‌باشد.
- كاربردهـاي اكتـشافي: مطالعـات نـشان داده اسـت كـه تـوف‌هـاي كلينوپتيلوليـت دار منطقـه اي از ژاپـن سـبب جذب اورانيوم محيط شده و در بعـضي از قـسمت‌هـاي اين سنگ‌ها تا ۹۰% اورانيوم وجود دارد. مطالعات مزبـور مشخص مي‌نمايد كه زئوليت‌هاي طبيعي بـراي خـروج و تغليظ اورانيوم و يون‌هاي ديگر در معادن مس و اورانيوم مورد استفاده قرار مي‌گيرد (Holmes, 1999).

## روش مطالعه

در ايـن مقالـه پـس از مطالعـات صـحرايي و نمونـه بـــرداري، مطالعـــات ســـنگ شناســـي بـــا اســـتفاده از ميكروسكوپ پلاريـزان مـدل $BH_2$ صـورت گرفـت. آب سازنده ضروري زئوليت‌هاي طبيعي است، با افزايش دمـا مولكولهاي آب از شبكه زئوليتها خارج مـي‌شـود. مقـدار آب خارج شده و نيز دماي خروج آن براي هـر زئوليـت مقدار ويژه اي است. لذا بررسي رفتـار گرمـاي نمونـه ([1] TG, [2] DTG) توسط دستگاه مدل 990TA ساخت شـركت Point انجام شد. در اين آزمايش نمونه‌هـاي پـودر شـده ۱۰۰ ميلي گرمـي بـا آهنـگ گرمـايش $10^\circ C$ تـا $800^\circ C$ تحت اتمسفر نيتروژن با جرياني معـادل ml/min ۵۰ گرمـا داده شدند و منحني‌هاي تغيير وزن در اثر گرمـا بـه طـور خودكار ثبت شدند. نمونـه‌هـاي زئوليـت دار كـه توسـط روش‌هاي TG , DTG شناسايي شدند اسيد شويي ضعيف شدند تا ناخالصي‌هـاي كربناتـه آنهـا جـدا گـردد سـپس مطالعـات ژئوشـيميايي XRF, XRD بـر نمونـه‌هـا انجـام گرفت. مطالعـات ژئوشـيمي XRF توسـط دسـتگاه مـدل PW2400-PHILIPS بـا اسـتفاده از اسـتاندارد Less انجـام شده است, يكـي از مهمتـرين روشـهاي تعيـين سـاختار بلورين زئوليتهـا پـراش سـنجي پـودري پرتـو X (XRD)

1. Thermal Gravimetry : وزن سنجي حرارتي
2. Differential Thermal Gravimetry: وزن سنجي حرارتي مشتقي

است که در این پژوهش این بررسیها توسط دستگاه مـدل PW2400-PHILIPS در شرکت کیان طیف انجـام گردیـد. براي دستیابي به شیمي کـاني کلینوپتیلولیـت از برشـهاي نازک صیقل یافته استفاده شده است. در این خـصوص از آنالیزهـــــاي WDS (Wavelength- Dispersive Spectrometer) دستگاه EPMA مـدل Cameca SX -50 در دانـشگاه اکلاهامـا سـیتي امریکـا (توسـط دکتـر محمـود خلیلي) استفاده شده است.

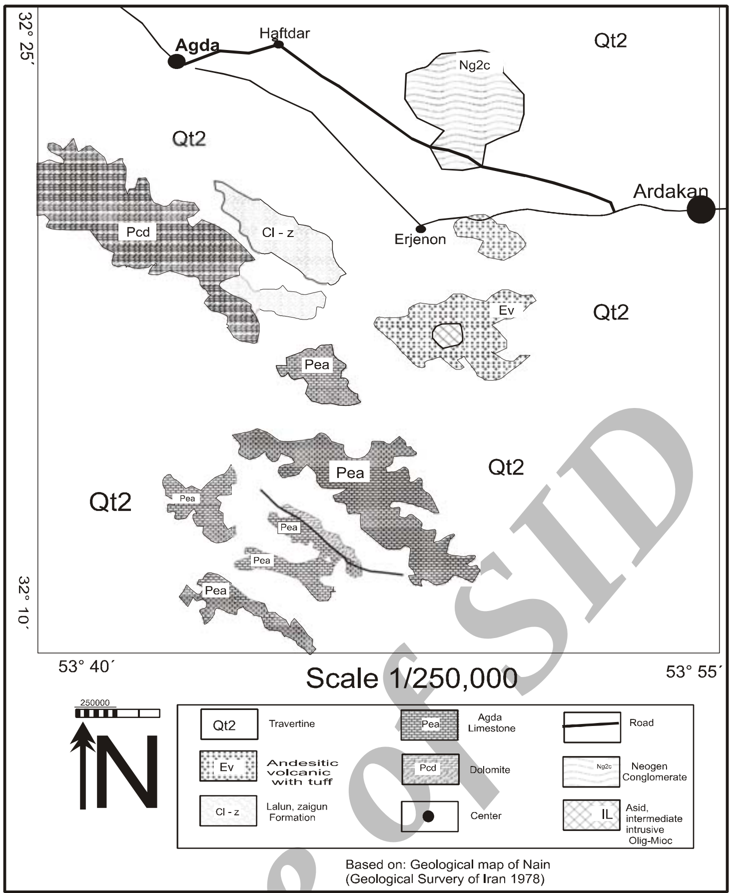
## زمین شناسي عمومي

بر اساس تقسیم بندي ساختماني ایران محدوده مـورد مطالعه در زون ساختاري ایران مرکزي است که در نقـشه زمـین شناسـي ۱:۲۵۰۰۰۰ نـائین قـرار دارد ( نقـشه ۱). واحدهاي سنگي موجود داراي لیتولوژي متنوعي اسـت و شامل سنگ‌هاي رسـوبي، آذریـن و دگرگـوني اسـت. از لحاظ چینه شناسي قدیمي ترین واحدهاي سنگي مربـوط به سازند کهر به سن پرکامبرین اسـت کـه در ایـن چهـار گوش ازگسترش کمي برخوردار است. مجموعه رسوبي- آتشفشاني و سنگ‌هاي کربناتـه–دولـومیتي سـري ریـزو، تـشکیلات بـاروت، آهـک عقـدا، تـشکیلات مـیلا، رخساره‌هاي سنگي دونین–کربونیفر شـامل ماسـه سـنگ فخر آباد سازند پادها و شیشتو همچنین آهکهاي کرتاسـه ازدیگر واحـدهاي رسـوبي منطقـه اسـت. از سـنگ‌هـاي آذرین نیز مي‌توان به توده‌هاي نفوذي اسیدي و بازیک بـا ترکیب گرانیت تا گابرو و سنگ‌هاي خروجي بـا ترکیـب ریوداسیت، داسیت و آندزیت اشاره کرد.

## سنگ شناسي و کاني شناسي

سنگهاي آتشفشاني بخش عمده رخنمون منطقه مـورد مطالعه را تشکیل مي‌دهد و بـه صـورت تپـه ماهوریهـاي کوچک و بزرگ مـي‌باشـد. مطالعـات پتروگرافـي نـشان مي‌دهد کـه آنـدزیت، تراکیـت، داسـیت و ریوداسـیت و سـنگ‌هـاي آذرآواري (تـوف هـا) از جملـه واحـدهـاي تشکیل دهنده منطقه مورد مطالعه مي‌باشد.

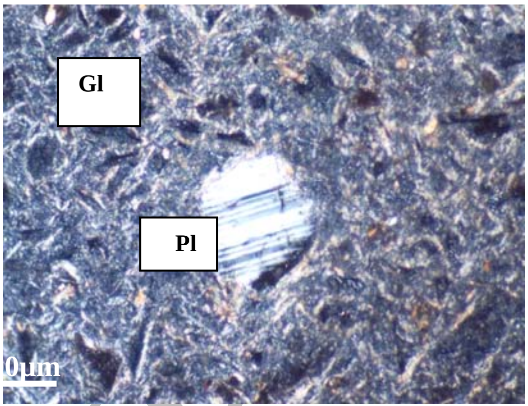
سنگ‌هاي آنـدزیتي بـه سـه گـروه آنـدزیت، کـوارتز



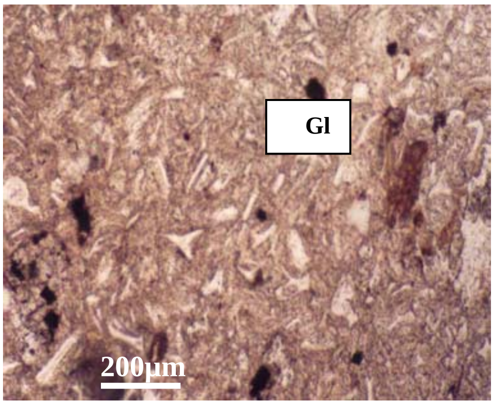

**نقشه ۱- نقشه زمين شناسي کمربند ولکانيکي سنوزوئيک و نمايش محدوده مورد مطالعه(منطقه اردکان)(اقتباس از نقشه ۲۵۰۰۰۰/ ۱ نائين) .**

آندزيت و آندزيت‌هاي دو پيروکسن دار رده بنـدي شـده که آندزيت‌هاي دو پيروکـسن دار فقـط در شـمال معـدن مهرجودلا گسترش بسيار کم به صورت دايـک رخنمـون دارند. کاني‌هاي اصلي تشکيل دهنـده آنـدزيت‌هـا شـامل پلاژيوکلاز، آمفيبول، آلکـالي فلدسـپار اسـت. کـوارتز، آپاتيت، بيوتيـت و کـاني‌هـاي ثانويـه کلـسيت، اپيـدوت،

**شكل ۱- توف‌هاي زئوليتي شده(Zeolitc tuff)، زئوليت‌ها به رنگ سفيد تا كرمي داخل توف‌ها قرار گرفته اند.**




**شكل ۲- فنو كريست پلاژيوكلاز(Pl) در زمينه شيشه‌هاي زئوليتي شده(Gl) و كاني‌هاي رسي نيز در داخل زمينه پراكنده است.**




**شكل ۳ - قطعات شيشه به اشكال مختلف جناغي، كشيده و بي شكل داخل زمينه شيشه اي(Glass shard) و كاني‌هاي دانه ريز.**

كوارتز، سريسيت و كاني‌هاي رسي كاني‌هاي فرعيمي باشد. بافت اين آندزيت‌ها پورفيري گلومروپورفيري است.

توف‌هاي شيشه اي زئوليتي شده از واحدهاي ديگر تشكيل دهنده سنگ‌هاي منطقه مي‌باشند. اين توفها به رنگ سفيد ديده مي‌شود. دانه ريز، داراي شكستگي صدفي بوده وفشرده مي‌باشند (شكل ۱).

مطالعات پتروگرافي توف‌هاي زئوليتي نشان مي‌دهد كه توف‌ها به طور كامل متشكل از ذرات خاكستر شيشه اي و در بعضي موارد ذرات شفاف و زاويه دار شيشه موسوم به تيغه شيشه اي(Glass shard) را مي‌توان به وضوح در آنها تشخيص داد. شاردها بيش ا ز۵۰% زمينه اين سنگ‌ها را به خود اختصاص داده است . تيغه‌هاي شيشه اي به اشكال جناغي، كروي و كشيده مشاهده شده اند (شكل ۲ و ۳).

از جمله كاني‌هاي تشكيل دهنده توف‌ها مي‌توان به

**جدول ۱- اطلاعات حاصل از خطوط طيفي XRD زئوليت كلينوپتيلوليت منطقه اردكان**

| نمونه منطقه اردكان | | نمونه مرجع (Gottardi, 1985) | |
|---|---|---|---|
| d (A°) | %I / %I° | d (A°) | %I / %I° |
| ۸/۹۸ | ۵۴/۶ | ۸/۹۵ | ۱۰۰ |
| ۷/۹۳ | ۱۹/۳۳ | ۷/۹۳ | ۱۳ |
| ۶/۷۶ | ۱۳ | ۶/۷۸ | ۹ |
| ۵/۲۵ | ۱۵/۵ | ۵/۹۴ | ۳ |
| ۵/۲۵ | ۱۹ | ۵/۵۹ | ۱۵ |
| ۵/۱۱ | ۱۰۰ | ۲/۲۴ | ۱۰ |
| ۳/۹۶ | ۱۸/۵ | ۵/۱۲ | ۱۲ |
| ۴/۲۱ | ۳۸ | ۴/۶۵ | ۱۹ |
| ۳/۳۳ | ۳۵/۵ | ۴/۳۵ | ۵ |
| ۳/۱۰ | ۴۲ | ۳/۹۷ | ۶۱ |
| ۲/۹۷ | ۲۰ | ۳/۹۵ | ۳ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ۲/۷۷ | ۲۰ | ۳/۹۰ | ۴۸ |
| | | ۳/۷۳ | ۶ |
| | | ۳/۴۲ | ۱۸ |
| | | ۳/۳۹ | ۱۲ |
| | | ۳/۱۷ | ۱۶ |
| | | ۲/۹۹ | ۱۸ |
| | | ۲/۹۷ | ۴۷ |
| | | ۲/۷۹ | ۱۶ |
| | | ۲/۷۳ | ۱۶ |

**جدول ۲- نتايج XRF ۹ نمونه توف‌هاي زئوليتي شده از منطقه ارجنان اردكان**

| درصد عنصر | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$% | 75.3 | 73.7 | 68.4 | 74.1 | 73.9 | 74.3 | 75.7 | 62.93 | 64.29 |
| $Al_2O_3$% | 14.5 | 15.5 | 15 | 15.5 | 16.1 | 15.6 | 14.8 | 12.98 | 13.1 |
| $TiO_2$% | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | --- | 0.431 |
| $Na_2O$% | 1.2 | 0.6 | 0.7 | 1.1 | 1.1 | 0.6 | 1.2 | 3.43 | 1.92 |
| $K_2O$% | 1.5 | 1.4 | 2.5 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.6 | 1.44 | 2.17 |
| MgO% | 1.8 | 0.3 | 3.5 | 2.6 | 2.6 | 0.3 | 2.4 | 1.81 | 2.8 |
| CaO% | 1.8 | 2.2 | 4.5 | 2 | 1.7 | 2 | 1.2 | 1.68 | 1.7 |
| $P_2O_5$% | 0.04 | 0.07 | 0.09 | 0.01 | 0.01 | 0.09 | 0.01 | 0.05 | 0.02 |
| MnO% | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | --- | 0.04 |
| $Fe_2O_3$% | 2 | 2.1 | 3.7 | 1.9 | 1.8 | 2.1 | 2.1 | 1.59 | 2.8 |
| $SO_3$ | 0.3 | 0.6 | 0.5 | 0.2 | 0.900 | 0.2 | 0.2 | --- | 0.4 |
| SrO | 0.8 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | --- | 0.3 |
| BaO | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | --- | 0.5 |
| ZrO | 0.430 | 0.37 | 0.35 | 0.42 | 0.25 | 0.38 | 0.39 | --- | 0.37 |
| Cl | 0.36 | --- | 0.6 | --- | 0.22 | --- | --- | --- | 0.09 |
| LOI | 1.29 | 3.87 | 0.82 | 0.54 | 0.8 | 3.06 | - | 12.36 | 10.1 |
| Sum | 99.89 | 99.97 | 99.76 | 99.58 | 99.84 | 99.77 | 99.43 | 98.27 | 99.37 |

**جدول۳- نتايج XRF چهار نمونه ولكانيک‌هاي سالم منطقه ارجنان اردكان .**

| درصد اکسید | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ |
|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$% | 57.92 | 57.31 | 56.84 | 55.66 |
| $TiO_2$ % | 0.46 | 0.46 | 0.13 | 0.17 |
| $Al_2O_3$% | 17.38 | 17.38 | 16.53 | 16.12 |
| $Fe_2O_3$% | 2.82 | 2.82 | 2.38 | 2.57 |
| FeO% | 3.81 | 3.81 | 3.22 | 3.47 |
| MnO% | 0.05 | 0.05 | 0.01 | 0.02 |
| MgO% | 5.76 | 5.76 | 4.86 | 4.41 |
| CaO% | 4.99 | 4.99 | 6.31 | 6.91 |
| $Na_2O$% | 1.86 | 1.86 | 3.07 | 5.19 |
| ادامه جدو ل ۳ | | | | |

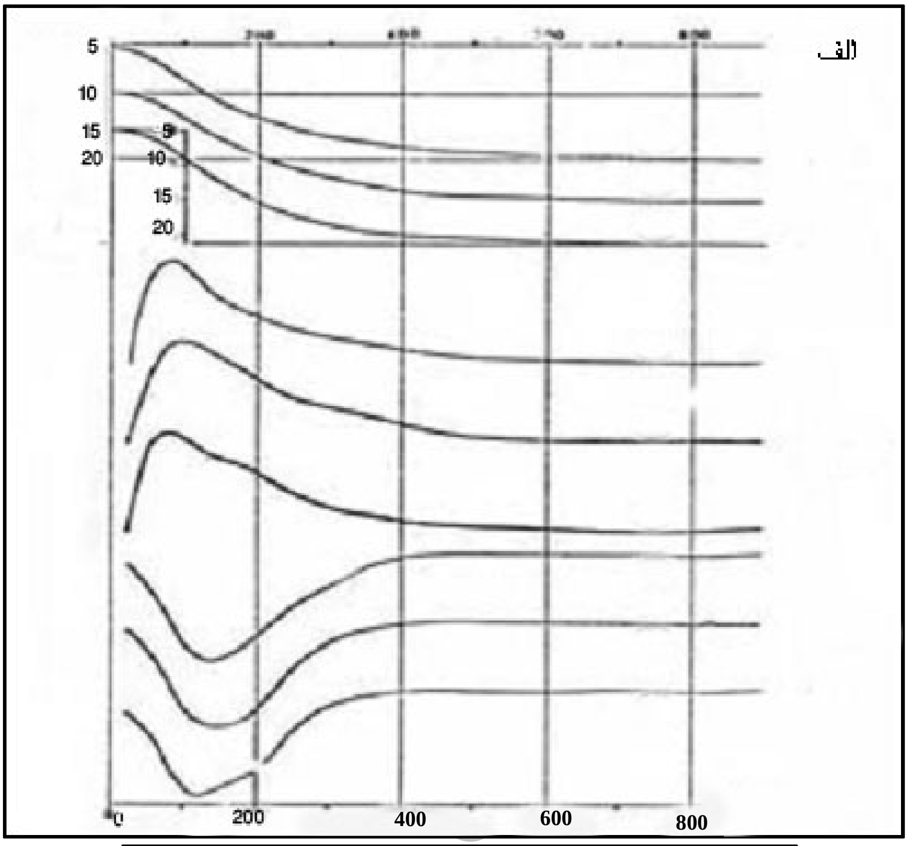
| درصد اکسید | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ |
|---|---|---|---|---|
| $K_2O\%$ | 2.62 | 2.62 | 2.81 | 0.48 |
| $P_2O_{5\%}$ | 0.15 | 0.15 | 0.09 | 0.10 |
| LOI | 1.45 | 1.44 | 1.23 | 1.73 |
| Sum | 96.35 | 96.40 | 96.25 | 95.1 |
| Sr (ppm) | 577 | 577 | 690 | 510 |
| Zr(ppm) | 138 | 138 | 121 | 95 |
| Nb(ppm) | 4 | 4 | 8 | 6 |
| Ba(ppm) | 783 | 783 | 732 | 391 |
| Nd(ppm) | 12 | 12 | 11 | 19 |
| Sm(ppm) | 19 | 19 | 12 | 11 |
| Tb(ppm) | 4.9 | 4.9 | 2.9 | 2.6 |
| Yb(ppm) | 0.75 | 0.75 | 0.34 | 0.18 |
| Ta(ppm) | 0.91 | 0.91 | 0.56 | 0.26 |
| Eu(ppm) | 0.95 | 0.95 | 1.6 | 1.00 |

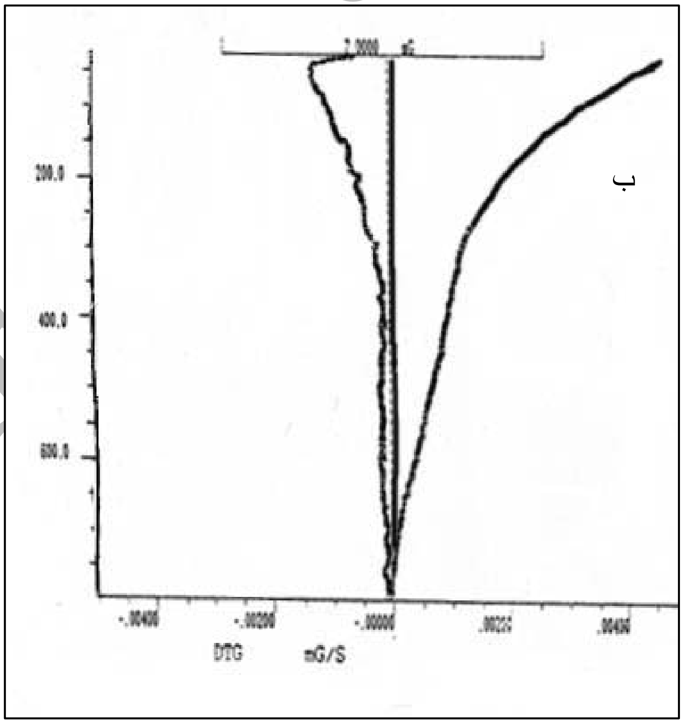
کوارتز، فلدسپار پتاسیم، پلاژیوکلاز، بیوتیت، کلریت و به عنوان کانيهاي فرعي آپاتیت و آمفیبول اشاره نمود. زئولیتها به عنوان کاني اصلي توفها ميباشند. این کاني بسیار دانه ریز بوده و داراي رنگ اینترفرانس آبي تا خاکستري و بدون برجستگي ميباشد. این کاني ازحاشیه جانشین تیغههاي شیشه اي شده است.

**بحث**

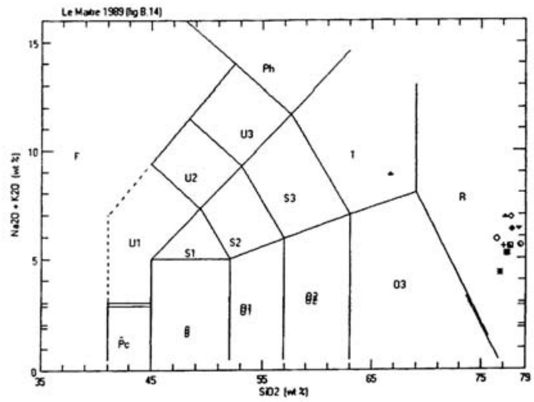
زئولیتها گروهي ازآلومینو سیلیکاتهاي آبدار بوده که ساختمان داربستي داشته و از نوع تکتوسیلیکاتها ميباشند. از نظر ساختماني شبکه این کانيها داراي حفرهها و کانال هايي است که مولکولهاي آب و کاتیونها درآن جاي دارند. یکي از خواص برجسته زئولیتها توانايي آنها در جذب و واجذب آب و کاتیونهاي موجود در کانالها و حفرهها بدون ایجاد تغییرات عمده اي در ساختمان آنها است (Mumpton, 1997). بنابراین دراثر اعمال حرارت آب ساختماني موجود در زئولیتها خارج ميشود بدون اینکه تغییرات عمده اي در ساختمان مولکولي آنها ایجاد شود (Bekkum, 2001).

نتایج آنالیز TG, DTG توفهاي زئولیتي شده منطقه اردکان در **نمودار ۱** نشان داده شده است. در این منحني پیک گرماگیر از۲۸/۷ تا ۲۶۷ و درصد آبدهي ۱۰/۶۱۱ در مقایسه با منحنيهاي استاندارد (Gottardi, 1985) معرف

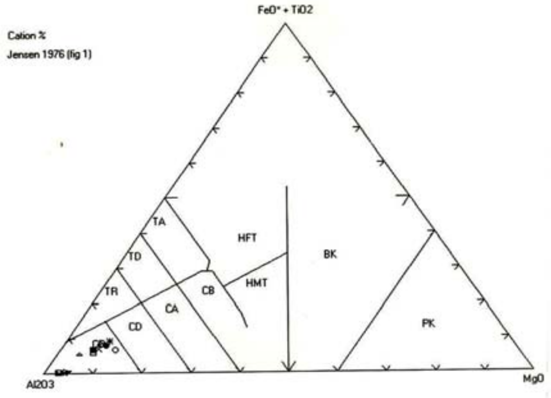



**نمودار ۱ - الف پیک استاندارد زئولیت کلینوپتیلولیت (اقتباس از Gottardi,1985) ب)نمودار TG, DTG از نمونه زئولیت کلینوپتیلولیت اردکان.**




**نمودار۲- آلکالیها در مقابل سیلیس(لومتر،۱۹۸۹).**



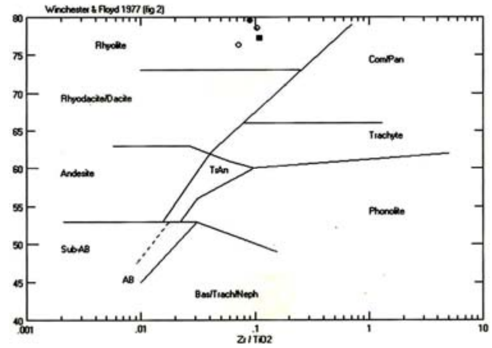

**نمودار۳- نمودار كاتيوني (جنسون، ۱۹۷۶) و موقعيت توف‌هاي زئوليتي و سالم بر روي آن(جنسون، ۱۹۷۶).**

فاز زئوليتي كلينوپتيلوليت مي‌باشد(**نمـودار۱**). مطالعـات پراش اشعه ايكس (XRD) كاني‌هـاي اصلـي تـوف‌هـا را زئوليـت از خـانواده هيولانـديت (Heulandite) بـه نـام كلينوپتيلوليـت (Clinoptilolite) معرفـي كـرده اسـت در مطالعات پراش سنجي (XRD) موقعيت خطوط بر حسب (d) و شدت آنها با توجه بـه بلنـدترين خـط كـه مقيـاس ۱۰۰ به آن داده شده بود اندازه گيري و الگوي حاصي بـا الگوي مرجع مقايسه شد كـه نتـايج حاصـل بـه صـورت جدول۱ نشان داده شده است.

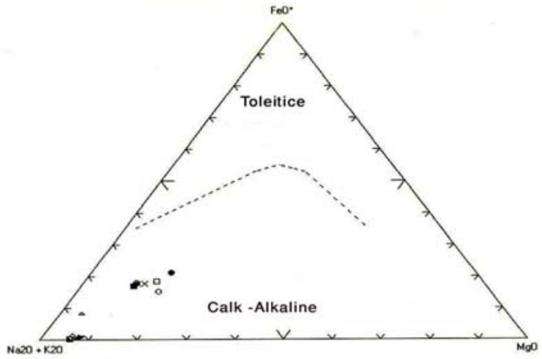
در مطالعــات كلاســيک بــه منظــور طبقــه بنــدي (نامگذاري) و مطالعات پترولـوژيكي شـامل تعيـين نـوع ماگما و موقعيت ژئوتكتونيكي سـنگهاي آذريـن (عناصـر اصلي، جزئي و كمياب) از اين گونـه آنـاليزهـا اسـتفاده مي‌شود. اين مورد براي سنگهاي آتشفـشاني كـه معمـولا ريز دانه و اغلب حاوي شيشه هستند بسيار ضـروري تـر است. آناليز XRF ۹ نمونه از توف‌هاي زئـوليتي شـده در جدول ۲ آورده شده است. همچنين آناليز XRF ۴ نمونـه از سنگ‌هاي سالم(Fresh) منطقه در جـدول۳ ارائـه شـده است.

جهت تقسيم بندي سنگ‌هاي دگرسان شده و سـنگ‌هـاي سـالم و مقايـسه ايـن سـنگ‌هـا ازديـاگرام‌هـاي معمـول پترولوژي استفاده شده است. با توجه به دياگرام $Na_2O + K_2O / SiO_2$ (Le Maiter, 1989) سـنگهاي سـالم و سـنگ‌هـاي دگرسـان شـده هـر دو در محـدوه ريوليـت، ريوداسيت تا داسيت قرار گرفته اند (نمودار۲). با در نظـر گرفتن تحرك عناصر در طي دگرساني و عدم اعتمـاد بـه دياگرام‌هاي آلكالي در مقابل سيليس از ديـاگرام كـاتيوني (Jenson,1976) استفاده شد(نمودار۳). بنياد اين نمودار بـر مبنـاي درصـد كـاتيون‌هـاي $Mg$ ,$Fe^{+3}$ ,$Fe^{+2}$ ,$Ti^{+4}$ ,Al مي‌باشد. از ويژگي‌هاي اين نمودار عدم استفاده از عناصر آلكالن است (زيـرا در طـي زئـوليتي شـدن ايـن عناصـر مهاجرت مي‌كنند). نمونه‌هاي سالم و دگرسـان شـده در محدوده ريوليت تا داسيت قرار مـي‌گيرنـد. بـا توجـه بـه تشابه تركيب شيميايي تـوف‌هـاي زئـوليتي و سـالم ايـن دياگرام ميتوان محيط تشكيل زئوليت‌ها را در ايـن منطقـه يك محيط بسته(Close system) در نظر گرفت.

همچنين استفاده از نمودار $Zr / TiO_2$ ( Winchester & Floyd, 1977) نشان مـي‌دهـد كـه مجموعـه نمونـه‌هـا در




**نمودار۴- دياگرام $SiO_2$در مقابل $Zr/TiO_2$ موقعيت توفهاي سالم و زئوليتي شده(وينچستر و فلويد، ۱۹۹۷).**




**نمودار۵- نمودار مثلثي $Na_2O+K_2O$, MgO, FeO* (ايروين و باراگار،۱۹۷۱)**

**جدول ۴- آناليز مايكروپروب ۱۰ نقطه از توف‌هاي زئوليتي شده**

| Lable | F | Na2O | MgO | Al2O3 | SiO2 | P2O5 | SO3 | Cl | K2O | CaO | TiO2 | MnO | FeO | BaO | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G1 | 0 | 3.63 | 0.3 | 13.6 | 71.83 | 0 | 0 | 0 | 2.58 | 1.52 | 0 | 0.01 | 0.01 | 0 | 93.2 |
| G2 | 0.02 | 3.72 | 0 | 14 | 71.04 | 0 | 0 | 0.02 | 2.4 | 1.5 | 0 | 0 | 0.01 | 0 | 93.1 |
| G3 | 0.14 | 3.73 | 0.3 | 13.9 | 71.13 | 0 | 0 | 0.01 | 2.62 | 1.45 | 0.01 | 0 | 0.03 | 0 | 93.1 |
| G4 | 0.08 | 4.31 | 0.4 | 12.9 | 70.53 | 0 | 0 | 0 | 1.94 | 0.57 | 0.01 | 0 | 0.9 | 0 | 90.8 |
| G5 | 0.11 | 4.05 | 0.6 | 13 | 71.51 | 0 | 0.02 | 0.01 | 1.64 | 0.71 | 0 | 0 | 0.03 | 0 | 91.6 |
| G6 | 0 | 4.69 | 0.5 | 13 | 71.3 | 0 | 0.01 | 0.01 | 1.95 | 0.58 | 0 | 0 | 0.06 | 0 | 92 |
| G7 | 0 | 4.31 | 0.5 | 12.6 | 70.75 | 0 | 0.04 | 0 | 1.85 | 0.53 | 0 | 0 | 0.06 | 0 | 90.9 |
| G8 | 0.09 | 4.04 | 0.5 | 13 | 70.44 | 0 | 0 | 0.02 | 1.66 | 1.13 | 0 | 0 | 0.03 | 0 | 90.9 |
| G9 | 0.11 | 4.02 | 0.5 | 13 | 70.66 | 0 | 0.03 | 0.02 | 1.6 | 1.25 | 0.02 | 0 | 0.03 | 0 | 91.2 |
| G10 | 0 | 4.07 | 0.5 | 12.6 | 70.59 | 0 | 0 | 0.01 | 1.66 | 1.25 | 0.02 | 0.01 | 0.07 | 0 | 90.8 |

محدوده ريوليت قرار مي‌گيرند(نمودار۴). جهت تعيين نوع ماگماي سازنده توف‌هاي زئوليتي شده از نمودار مثلثي MgO ,$Na_2O$ + $K_2O$ ,FeO* ( Irvin & Baragar, 1971) استفاده گرديد(نمودار۵). نمونه‌ها در اين مثلث در محدوه كالكوآلكالن قرار گرفتند. عناصر نادر و كمياب در توف‌هاي منطقه ارجنان بر اساس كندريت نرماليز شده اند(نمودار۶) به توجه به اين نمودار نتايج زير دنبال مي‌شود:

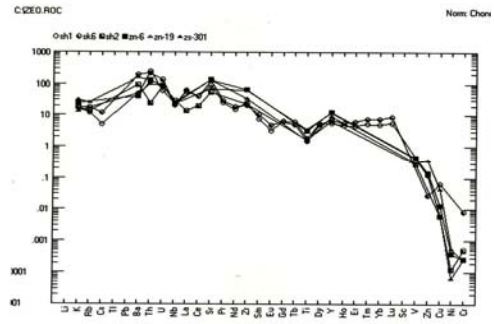
الف) غني شدگي از K, Rb , Ba, Th در اين توف‌ها مشاهده مي‌شود، اين غني شدگي ويژگي سنگهاي ماگمايي كمان‌ها يا قوس‌هاي آتشفشاني است.

ب) آنومالي منفي Nb, Ti نشان دهنده اين است كه سنگ‌ها با محدوده فرورانش و كوهزايي مطابقت دارند.

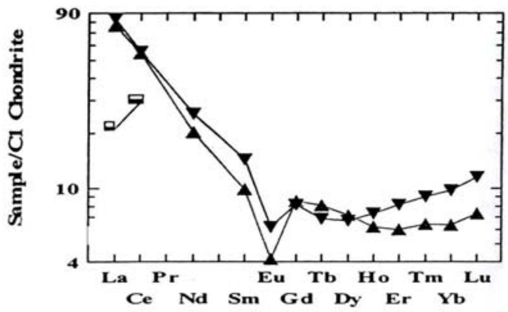
ج) شيب اين نمودار منفي است كه از مشخصات ماگماي كالكوآلكالن ، آلكالن و شوشونيتي است.

د) غني شدگي در Sr, Ba ويژگي توف‌هاي زئوليتي شده است كه توانايي بالايي جهت جذب كاتيون‌هاي Ba, Sr را دارا مي‌باشند.

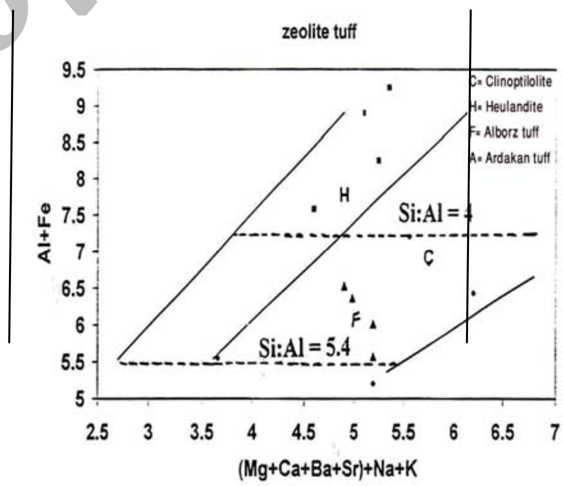
با توجه به دياگرام عناصر نادر خاكي (نمودار۷) در اين سنگها تا اندازه اي تفريق صورت گرفته است، زيرا از عناصر كمياب خاكي سنگين(HREE) فقير و از عناصر كمياب خاكي سبك (LREE) نسبتا غني هستند.



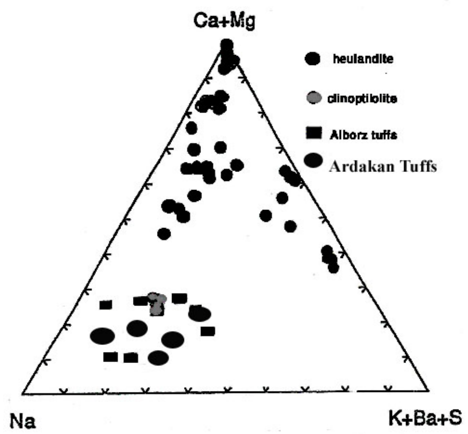
نمودار۶- نمودار عنكبوتي بهنجار سازي شده توف‌هاي زئوليتي فيروزكوه نسبت به كندريت.




نمودار۷- نمودار بهنجار سازي شده عناصر خاكهاي كمياب نسبت به كندريت




نمودار۸- تغييرات Al+Fe در مقابل (Mg+Ca+Ba+Sr) (Boles, 1972).




نمودار۹- گوش Ca+Mg, Na, K+Ba+Sr و موقعيت زئوليت‌هاي منطقه ارجنان اردكان(Benito, 1998).

ب) آنومالي منفي شديد در Eu به دليل پائين بودن كلسيم در اين سنگها مي‌باشد. زيرا Eu در ساختار فلدسپات‌هـاي جايگزين كلسيم مي‌شود(Henderson, 1982).

همچنــين جهــت شناســايي نــوع زئوليــت آنــاليز مايكروپروب بر تعدادي از توف‌ها انجام شـد. تعـداد ۱۰ آناليز از تيغه‌هاي شيشه اي در جدول۴ آورده شده است.

تعيين دقيق نوع زئوليت توسط روشهاي SEM , XRD بسيار مشكل و حتي غير ممكن است. بنابراين با اسـتفاده

از مطالعات مـايكروپروب مـي‌تـوان بـه شناسـايي كمـي عناصر موجـود در تيغـه‌هـاي شيـشه اي و نـوع زئوليـت دست يافت.

كلينوپتيلوليـت و هيولانـديت در يـك خـانواده قـرار دارند، بنابراين تشابهات زيادي در تركيب شيميايي و نوع ساختمان آنها وجود دارد و تفكيك آنها تنها توسط آنـاليز مايكروپروب ميسر است(Mason & Sand, 1960). هرگـاه نسبت Si/Al>4 باشـد كـاني مزبـور كلينوپتيلوليـت اسـت (Boles, 1972). همچنين در اين كاني نسبت كـاتيون‌هـاي تك متغيره به دو متغيره بيـشتر از ۱ مـي‌باشـد( Mason & Sand, 1960). بر اساس دياگرام تغييرات Al+Fe در مقابـل Mg+Ca+Ba+Sr (Boles, 1972) مي‌توان كلينوپتيلوليـت را از هيولانديت متمايز كرد.

در ايـن نمـودار هيولانـديت در بـالاي نمـودار قـرار مي‌گيرد كه نسبت Si/Al كمتر از ۴ است و كلينوپتيلوليـت در پائين نمودار قرار مي‌گيرد كه نسبت Si/Al بيـشتر از ۴ است(نمودار**۸**). جهت مقايسه, توف‌هـاي زئـوليتي شـده منطقـه فيروزكـوه نيـز در ايـن نمـودار نـشان داده شـده است(تقي پور, ۱۳۸۱). توف‌هـاي زئـوليتي شـده منطقـه فيروزكوه در محدوده كلينوپتيلوليت قرار گرفتند. همچنين ديـاگرام مثلثـي K+Ba+Sr ,Na ,Ca+Mg (Benoito, 1998) جهــــت تفكيــــك كلينوپتيلوليــــت از هيولانــــديت مـي‌باشـد(نمـودار ۹) در ايـن ديـاگرام نيـز نمونـه‌هـا در محدوده كلينوپتيوليت قرار گرفته اند.

## نتيجه گيري

با توجه به مطالعات پتروگرافي انجام گرفته در منطقـه ارجنان اردكان سنگ‌هاي غالب اين منطقـه از نـوع تـوف مي‌باشد. زمينه اصلي اين توف‌ها را تيغـه‌هـاي شيـشه اي (Glass shard) تشكيل داده اند. كاني‌هـاي ديگـر از قبيـل پلاژيوكلاز، بيوتيت و آمفيبول در اين سـنگها ديـده شـده كه مقـدار آن بـسيار كـم مـي‌باشـد. مطالعـات آناليزهـاي شيميايي نشان داده است كه تركيب اصـلي ايـن تـوف‌هـا ريوليتي تا داسيتي و گاهي آندزيتي متغيير مي‌باشد. جهت مقايـسه تركيـب شـيميايي تـوف‌هـاي سـالم نـسبت بـه توف‌هاي دگرسان شده تركيب شيميايي آنها توسـط XRF بدست آمده است. مطالعات ژئوشيميايي نشان مي‌دهد كه تركيب سنگ‌هاي سالم و دگرسان در يك محـدوده قـرار دارند, در حقيقت دگرساني در يك سيـستم بـسته اتفـاق افتاده است. آزمايشات XRD نشان مي‌دهد كه كاني غالب دگرساني در توف‌ها زئوليت از نوع كلينوپتيلوليت است.

كاني كلينوپتيلوليت از نـوع زئوليـت‌هـاي صـفحه اي بوده كه مـشابهت زيـادي بـا هيولانـديت دارد. همچنـين آزمايشات مايكروپروب بر تعدادي نمونه‌ها انجام گرفـت كه وجود كلينوپتيلوليت را به عنوان كاني غالـب توفهـاي دگرسان شده تعيين نموده است. مقايسه توفهاي زئـوليتي شده منطقه ارجنـان بـا تـوف‌هـاي زئـوليتي شـده منطقـه فيروزكوه تشابهات زيادي را در تركيـب شـيميايي سـنگ اوليه و نوع دگرساني نشان مي‌دهد. همچنين نوع زئوليت در توفهاي هر دو منطقه از نوع كلينوپتيلوليت مي‌باشد. به نظر مي‌رسد منطقه ارجنان نيـز پتانـسيل اقتـصادي بـسيار خوبي براي معدن كاري دارد.

محيط تشكيل اين زئوليت‌ها نيز يـک محـيط درياچـه اي شور بوده كه با تشكيل توفهـا و بـه دنبـال آن فعـل و انفعالات آبهاي قليـايي حـاوي Na, K در ايـن محـيط و چرخش ايـن آبهـا در يـک سيـستم بـسته زئوليـت‌هـا را تشكيل داده است.

## منابع


۱- تقي پور،ب.، مطالعات زمين شناسي و كـاني شناسـي توف‌هاي زئوليتي شده سـازند كـرج در شـرق تهـران، پايــان نامــه كارشناســي ارشــد، دانــشگاه اصــفهان, ١٩٣صفحه.١٣٨١.

۲- عطاپور، ح.، كـاربرد زئوليـت‌هـاي طبيعـي، فـصلنامه علمي- فرهنگي معادن و فلـزات، شـماره ۶۷، صـفحه ۲۷-۳۵. ۱۳۷۸.

3- H. V., Bekkum, E. M., Flanigen, P. A., Jacobs, J.C., Janson, Introduction to zeolite science and practice, Elsevier, New York, 1062p. (2001).

4- R., Bentio, J. Carcia, Mineralogy, geochemistry and uses of mordenite – bentonite ash-tuff beds of loos Eseullos, Almerio, Spaen, Journal of. Geochemical Exploration, 229-240p. (1998).

5- 2.D, Bish, J . M, Boak, " Clinoptilolite – heulandite nomenclature, Reviews in mineralogy and geochemistry, V. 45, mineralogy society of Am, 255 260p. (1997, 2001).

6- J.R., Boles, Composition, optical properties, cell dimension and thermal stability of some Heulandite group zeolites, Am. Mineral, 57, 1463-1493p. (1992)

7- a, G., Gottardi, i. E, Gall " Natural Zeolite", 711 p. (1985).

8- R l., Hay, Geology of zeolites industrial rocks, mineralogy and geology of zeolites, Reviews in mineralogy, V. 4, min, society of Am, 53- 93p. (1985).

9- D.A, Hollmes, Zeolites, " Industrial minerals and rocks", N.93, 1- 39p. (1999).

10- A, Iijima, Geology of natural zeolites rocks, In, Rees. L.V(edit.) proceeding of fifth international conference on zeolite, Hyden, 103-118p. (1980).

11- T.N. , Irvine, W.R.A., Barragar, "A guide to the classification of the common volcanic rocks, can, Jour. S.C.I., No, p523 – 448. (1971).

12- D., Jillett, N.D. Coombs, Clinoptilolite in the Ashley mudstone, Waihao River section, south Conterbury, New Zealand, vol. 38, 253-256p. (1995).

13- R.W., Lemater, A classification of igneous rocks and glossary of term: Black Well Scientific publications, 195p. (1998).

14- B., Masson, L.B., Sand, Clinoptilolite from Patagonia, the relationship between Clinoptilolite and Heulandite, Am, mineral, 45, 341-350p. (1960).

15- F.A., Mumpton, W .C .Ormsby. Clay mineral, "morphology of Zeolites in sedimentary rocks by scanning electron micros coping, Vol, 24, 1-3p. (1976).

16- I. A., Mumpton. “USCS of natural zeolites in agriculture and industry, vol,96 3463 – 3470p. (1999).