

## ویژگیهای آنالسیم و شرایط تشکیل آن در سنگهای آتشفشانی ایران

علی درویش زاده  
دانشکده علوم دانشگاه تهران

چکیده: در بعضی از سنگهای آتشفشانی کرتاسه وائوسن ایران مانند اطراف سبلان، باختر میانه، کوههای بزگوش سراب، طالقان، عقدا، و شمال شهر بابک، درشت بلورهایی از آنالسیم سدیک دیده می‌شوند که از نظر اندازه (بطور متوسط ۲۵ سانتیمتر) و فراوانی (۲۰ تا ۳۰ درصد حجم سنگ) جنبه کاملاً استثنایی دارند. درشت بلورهای مزبور شکل دوزنقه و ظاهر لوسیت مانند داشته و رنگ آنها سفید، خاکستری، نخودی و گاهی گلی است. بعضی اوقات چندین درشت بلور از آن به هم پیوسته و به صورت قطعه یکپارچه‌ای در می‌آیند. در مقاطع میکروسکوپی، تمام درشت بلورها دارای حاشیه نازک به رنگ سفیدند که با توجه به رنگ آمیزی مقاطع، از نوع سدیک (آلیت یا نقلین) اند، ولی بخش درونی آنها بیشتر منظره‌ای چرکیده و شبیه حالت کائولینیت در فلدسپات پتاسیک دارد. این آنالسیم‌ها فاقد ماکل مخصوص لوسیت هستند.

بر اساس داده‌های پراش سنجی پرتو X و تجزیه شیمیایی ثابت شده است که نمونه‌های مزبور از نوع آنالسیم سدیم دارند. این کانی در سنگهای آتشفشانی میانی شکل می‌گیرد و غالباً غیر اشباع از سیلیس ولی سرشار از قلیاست. با توجه به اندازه بلورها، آنها را اولیه دانسته و بر اساس فراوانی آنها، باید پذیرفت که شرایط بلوری شدن آنها تا مدتها ادامه داشته است.

از آنجا که آنالسیم کانی آبداری است، لذا تنها در شرایط فشار بخار آب نسبتاً بالا بوجود می‌آید. براساس کارهای آزمایشگاهی هامیلتون ورو [۱] و گوپتاویاگی [۲] می‌توان شرایط تشکیل درشت بلورهای آنالسیم در سنگهای آتشفشانی ایران را چنین خلاصه کرد. در ماده مذاب غیر اشباع از سیلیس، در فشار آب نسبتاً بالا - ۵ تا ۸ کیلوبار - و دمای در حدود ۶۰۰ تا ۶۴۰ درجه سانتیگراد، ممکن است مستقیماً به جای نقلین، آنالسیم به وجود آید، در صورتی که در مایع مذاب غنی از پتاسیم و دمای بالاتر، پسدولوسیت تشکیل می‌شود.

## آنالسیم چیست؟

آنالسیم یا آنالسیت، سیلیکات آبدار سدیم دار به فرمول  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  است، و اصولاً در صورتی که اولیه باشد آن را یک فلدسپاتوئید به حساب می آورند، زیرا در سنگها نقش فلدسپاتوئید مانند نفلین یا لوسیت را بازی می کند. آنالسیم ممکن است اولیه و یا ثانویه باشد.

آنالسیم هایی را اولیه می گویند که مستقیماً از ماگما به وجود آمده باشد. این قبیل آنالسیم ها در ریزمانی هایی که در ایران دیده ایم خود بر دو نوع است:

الف - بلورهای شکل دار ذوزنقه ای به قطر ۵ تا ۵۰ سانتیمتر، بیشتر در حدود ۲ تا ۲٫۵ سانتیمتر، به رنگ سفید، خاکستری، نخودی یا گلی است، و شباهت زیادی به لوسیت دارد، به طوری که قبلاً به آنها لوسیت گفته می شد. این همان نمونه هایی است که بحث این مقاله را تشکیل می دهد (شکل ۱).

ب - بلورهای کوچک غالباً گرد و میلیمتری و یا گاهی مانند بعضی از نفريت های شمال غرب کرمان (قلعه حسن علی) به صورت بلورهای بسیار کوچک، میکروسکوپی همسانگر، به رنگ صورتی یا گلی در متن سنگ دیده می شوند.

آنالسیم های ثانویه، همان انواعی هستند که در درز و شکاف بسیاری از سنگهای آتشفشانی به صورت انبوه های اسفرولیتی وجود دارند. در این حالت جزء گروه زئولیت ها محسوب می شوند و مورد بحث این مقاله نیست.

آنالسیم های مورد مطالعه از نظر ظاهری به شکل ذوزنقه سفید، خاکستری، سبز روشن، نخودی، و گاهی گلی هستند. بلورهای کوچک آن در گدازه ها در حدود میلیمتر و کوچک تر و اصولاً گردند. گاهی چند بلور آن به هم پیوسته و ظاهراً انبوه های تشکیل می دهند که با گدازه های متخلخل به هم می پیوندند. مسئله اخیر با توجه به چگالی کم آنالسیم ممکن است نشانه ای از صعود بلورها به سطح توده های مذاب باشد. برای اثبات آنکه درشت بلورهای مورد بحث از نوع آنالسیم اند سه راه حل وجود دارد که ما از هر سه آنها یاری گرفته ایم.



- ۱- مطالعه مقاطع میکروسکوپی که در آن ماکل مخصوص لوسیت اصلاً دیده نمی شود.
- ۲- بررسی های پراش سنجی پرتو X و مقایسه آن با اعداد استاندارد (جدول ۱).
- ۳- تحلیل شیمیایی نمونه ها و مقایسه آن با تحلیل های شیمیایی استاندارد [۳].



شکل ۱ درشت بلورهای آنالسیم در نقریتهای طالقان، مقیاس طبیعی است. به انکلوژیون های موجود در بلورها توجه شود.

جدول ۱ مقایسه پارامتره  $a_0$  و فواصل شبکه‌ای بلور آنالسیم بزرگوش با اعداد استاندارد [۴،۳]

| (hkl)    | $I/I_1$ | d و Å | d و Å* |
|----------|---------|-------|--------|
| ۲۱۱      | ۸۰      | ۵٫۶۲  | ۵٫۶۱   |
| ۲۲۰      | ۴۰      | ۴٫۸۶  | ۴٫۸۶   |
| ۳۲۱      | ۲۰      | ۳٫۶۷  | ۳٫۶۷   |
| ۴۰۰      | ۱۰۰     | ۳٫۴۴  | ۳٫۴۳   |
| ۳۳۲      | ۸۰      | ۲٫۹۲  | ۲٫۹۲۵  |
| ۴۲۲      | ۲۰      | ۲٫۸۰  | ۲٫۸۰۱  |
| ۴۳۱      | ۵۰      | ۲٫۶۹  | ۲٫۶۹۳  |
| ۵۲۱      | ۵۰      | ۲٫۵۰  | ۲٫۵۰۵  |
| ۴۴۰      | ۳۰      | ۲٫۴۲  | ۲٫۴۲۶  |
| ۶۱۱، ۵۳۲ | ۴۰      | ۲٫۲۲  | ۲٫۲۲۶  |
| ۶۲۰      | ۵       | ۲٫۱۷  | ۲٫۱۶۸  |
| ۶۴۰      | ۵۰      | ۱٫۹۰  | ۱٫۹۰۳  |
| ۶۳۳      | ۴۰      | ۱٫۸۶  | ۱٫۸۵۷  |
| ۷۳۲، ۶۵۱ | ۶۰      | ۱٫۷۴  | ۱٫۷۴۳  |
| ۸۰۰      | ۳۰      | ۱٫۷۱  | ۱٫۷۱۶  |
| ۷۴۱      | ۴۰      | ۱٫۶۸  | ۱٫۶۸۹  |
| ۸۳۱      | ۳۰      | ۱٫۵۹  | ۱٫۵۹۶  |

$$a_0 = ۱۳٫۷۲ \text{ Å}$$

$$\text{Rad. Cok}\alpha = ۱٫۷۸ \text{ Å}$$

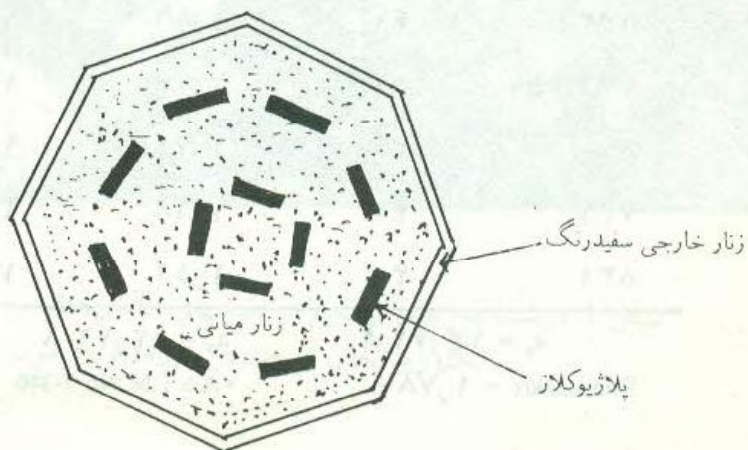
$$a_0 = ۱۳٫۷۲ \text{ Å}$$

\*A.S.T.M No 7-340



شکل ۲ مناطقی که بلورهای آنالسیم در ایران و در ارتباط با سنگهای آتشفشانی دیده شده‌اند.

- درشت بلورها
- بلورهای میکروسکوپی



شکل ۳ مقطع یک بلور آنالسیم ۵/۱ سانتیمتری طالقان و وجود انکلوزیون - پلاژ - یوکلاز ( $A_{H1}=44$ ) به صورت هم مرکز در درون آن. شکل از روی مقطع ترسیم شده است.



مناطق که درشت بلورهای آنالسیم دیده شده‌اند.

مناطق که در آنها تاکنون درشت بلورهای آنالسیم پیدا شده‌اند عبارتند از:

- ۱- در کوههای طالقان (منطقه جویستان) البرز مرکزی، در درون سنگهایی که استالدر آنها را بازانیت خوانده است و از نظر سنی به ائوسن پایانی تعلق دارند [۵].
- ۲- در شمال آذربایجان خاوری، رشته کوههای صلوات (حوالی دشت مغان)، آنالسیم‌ها در سنگهای بلرموریت (Blairmorite) که نوعی نفريت آنالسیم‌دار است گزارش شده‌اند [۶]. سن این سنگها به کرتاسه فوقانی می‌رسد.
- ۳- در کوههای بزگوش (حوالی سراب آذربایجان)، به سن ائوسن میانی، که آنالسیم‌ها در درون بازانیت، موژآریت فلدسپاتوئیددار، دیده شده‌اند [۴].
- ۴- در باختر میانه، ناحیه عجمی، درشت بلورهای با قطر ۱ تا ۲ سانتیمتر. آنالسیم در سنگهای تراکی آندزیت جاگرفته‌اند و متعلق به آخرین فورانهای آتشفشانی ائوسن فوقانی هستند [۷].
- ۵- در جنوب عقدا (بین نائین و یزد)، که آنالسیم‌های بلورین با ابعاد ۲ تا ۳ سانتیمتر در درون سری شوشونیتی ائوسن فوقانی دیده شده‌اند [۸].
- ۶- مطالعه تفصیلی همین ناحیه توسط مرگویل و همکاران [۹]، در قلعه خرگوشی و حوالی کاروانسرای قدیمی این ناحیه ۵ روانه بازی با ترکیب آبساروکیست و شوشونیت گزارش کرده‌اند که با لایه‌های سرخ از هم جدا شده‌اند. در اینجا این بلورها در حدود ۲ سانتیمتر (بطور متوسط) قطر دارند.
- ۷- در ناحیه اهر، درشت بلورهای آنالسیم به سن نئوژن (بطور مشکوک) گزارش شده است.
- ۸- در شمال شهر بابک، درشت بلورهای آنالسیم در ابعاد ۱ تا ۵ سانتیمتر به سن ائوسن فوقانی در درون فنولیت و نفريت‌های این منطقه دیده شده‌اند [۱۰].
- ۹- در شمال باختری کرمان (ناحیه قلعه حسن علی) به سن دوران چهارم، نفريت‌هایی به سن چند هزارساله دیده شده [۱۱] که در آنها بلورهای میکروسکوپی گلی رنگ آنالسیم قابل تشخیص‌اند. خالص نشان کنیم که در کوههای قفقاز کوچک و کوههای آتشفشانی ترکیه، همین نوع بلورها در سنگهایی با ترکیب حد واسط دیده شده‌اند.

با توضیحات بالا، ملاحظه می شود که کانی آنالسیم در زنا‌رهای مختلف آتشفشانی ایران، با سن متفاوت و ترکیب سنگ مادر مختلف، دیده می شود و چنانچه بعداً اشاره خواهد شد، بلوری شدن این درشت بلورها بیش از سایر عوامل به شرایط محیط بلوری شدن وابسته است.

### ویژگیهای میکروسکوپی

در اکثر موارد، به خصوص نمونه های آذربایجان، بلورهای آنالسیم با لایه نازک کاملاً سفید رنگی پوشیده می شود. رنگ آمیزی نمونه نشانه ای از ترکیبات سدیک بدست می دهد که ممکن است از نوع آل بیت یا نفلین باشد. ولی درون بلورها منظره ای چرکین، غالباً گلی رنگ یا سفید کدر و احتمالاً انباشته از کانی های رسی است. هیچگاه بلورهای شفاف آنالسیم پیدا نشده است. در بعضی از مقاطع میکروسکوپی، بلورهای کوچک و گرد آنالسیم به مقدار زیاد و بلورهای پیروکسن از نوع سالت را فرا گرفته اند. این مسئله ممکن است مربوط به وزن حجمی کم بلورهای آنالسیم باشد که در حین صعود، بلورهای پیروکسن را به صورت کف فرا گرفته باشند.

بلورهای آنالسیم فاقد کلیوار و ماکل مخصوص لوسیت و در نور قطبیده همسانگردند. در درون بلورهای آنالسیم غالباً آنکلوزیون هایی از بلورهای پلاژیوکلاز و بیوتیت و گاهی کانیهای کدر و پیروکسن و حتی آپاتیت نیز دیده شده اند. در نمونه های شمال شهر بابک و بزگوش و طالقان پلاژیوکلازها ترکیب آندزین داشته و با پلاژیوکلازهای متن سنگ یکی هستند. به علاوه می توان بلورهای پلاژیوکلاز را به صورت نوارهای هم مرکز در درون درشت بلورهای آنالسیم ملاحظه کرد (شکل ۳) (مانند نمونه های طالقان و شمال شهر بابک). بروس [۱۲]، در ناحیه مون دور فرانسه، وجود آنالسیم را در درون اردانشیت (که نوعی تراکی آندزیت ها ثوئین دار است) گزارش کرده و بنابر نوشته او این درشت بلورهای آنالسیم واجد بلورهای پیروکسن به صورت هم مرکزند. توضیح آنکه در درشت بلورهای آنالسیم شمال شهر بابک بیوتیت های در حال شکل گیری یافت می شود.



از بحث بالا به این نتیجه می‌رسیم که انکلوزیون‌های موجود در بلورهای آنالسیم بستگی به ترکیب محیط مذاب دارد که می‌تواند در شرایطی پلاژیوکلاز و در شرایطی پیروکسن و یا بیوتیت باشند. وجود بلورهای هم مرکز می‌تواند نشانه‌ای از هم رشدی این قبیل انکلوزیون‌ها با بلورهای آنالسیم و یا تبلور دیررس درشت بلورهای آنالسیم نسبت به انکلوزیون موجود در درون آن باشد.

### ترکیب شیمیایی درشت بلورهای آنالسیم ایران

تجزیه شیمیایی ۷ نمونه از آنالسیم‌های مختلف ایران ویژگیهای زیر را بدست می‌دهند: (جدول شماره ۲).

۱- مقایسه ترکیب آنالسیم‌های ایران با انواع استاندارد [۳] نشان می‌دهد که این ترکیبات کم و بیش شبیه هم هستند.

۲- آنالسیم‌های ایران آب نسبتاً زیادی در ترکیب خود دارند که این مسئله با توجه به ترکیب شیمیایی استاندارد، امری طبیعی بنظر می‌رسد.

۳- مقدار سدیم آنالسیم‌های ایران زیاد و حتی در بعضی موارد بیش از حد استاندارد است (نمونه شماره ۷).

۴- در چهار نمونه اول جانشین‌هایی از پتاسیم در درون آنالسیم صورت گرفته است. چنانکه خواهیم دید این مسئله را به گرمای محیط تشکیل و فراوانی یون پتاسیم مربوط می‌دانیم.

۵- مقایسه این ترکیبات با ترکیب شیمیایی لوسیت و پسدولوسیت، در مقدار سدیم و آب موجود در نمونه‌های آنالسیم تفاوت‌هایی را نشان می‌دهد.

۶- وجود ترکیبات غیر عادی مانند آهن و منیزیم در ترکیب شیمیایی آنالسیم با انکلوزیون‌هایی که در شکل (۱) دیده‌ایم در ارتباط است که بعضی، از نوع اکسیدهای کدر و بیوتیت و گاهی پیروکسن‌اند. ضمناً وجود مقداری  $\text{CaO}$  به نسبت غیر عادی و زیادتر از حد استاندارد در نمونه‌های ۱ و ۲ ممکن است به انکلوزیون پلاژیوکلازها در آنالسیم در ارتباط باشد که در مقاطع نازک قابل رویت‌اند (شکل ۳). دیدن و ژمن [۶] در آنالسیم‌های منطقه شمال آذربایجان خاوری، حالات ناپایداری لابرادور، و تبدیل آن به آنالسیم را



خاطر نشان کرده اند.

۷- در نمودار گویا و یا گئی [۲] تمام نمونه ها در زیر خط اشباع Ab-Or قرار می گیرند و به ترکیبات شیمیایی آنالسیم مورد آزمایش این پژوهشگران که در شرایط آزمایشگاه بوجود آمده نزدیک اند.

جدول شماره ۲ تجزیه شیمیایی بعضی از درشت بلورهای آنالسیم ایران

| اکسیدها                        | ۱     | ۲     | ۳     | ۴      | ۵     | ۶     | ۷      |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| SiO <sub>۲</sub>               | ۵۳٫۱۸ | ۵۲٫۷۳ | ۵۵٫۷۶ | ۵۷٫۲۱  | ۵۵٫۶۳ | ۵۷٫۱۸ | ۵۴٫۷۴  |
| Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub> | ۲۱٫۹۵ | ۲۲٫۰۶ | ۲۰٫۹۰ | ۲۱٫۹۵  | ۲۲٫۷۴ | ۲۰٫۵۵ | ۲۲٫۶۳  |
| Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub> | ۱٫۲۹  | ۱٫۵۸  | ۱٫۲۲  | ۰٫۰۷   | ۰٫۹۲  | ۱٫۱۸  | ۰٫۳۲   |
| FeO                            | ۰٫۹۳  | ۰٫۱۴  | ۰٫۱۷  | ۰٫۲۶   | —     | —     | ۰٫۵۷   |
| MgO                            | ۰٫۳۳  | ۰٫۰۸  | ۰٫۳۲  | ۰٫۲۵   | ۰٫۰۸  | ۰٫۰۹  | ۰٫۲۲   |
| CaO                            | ۴٫۴۱  | ۳٫۷۵  | ۰٫۰۲  | ۰٫۰۲   | ۰٫۰۳  | ۰٫۰۳  | ۰٫۰۸   |
| Na <sub>۲</sub> O              | ۷٫۷۳  | ۹٫۹۵  | ۱۰٫۵۳ | ۱۰٫۵۳  | ۱۲٫۵۵ | ۱۱٫۴۶ | ۱۳٫۲۰  |
| K <sub>۲</sub> O               | ۳٫۴۲  | ۱٫۷۷  | ۲٫۱۰  | ۲٫۴۰   | ۰٫۲۶  | ۰٫۲۳  | ۰٫۲۰   |
| TiO <sub>۲</sub>               | ۰٫۲۸  | ۰٫۲۱  | —     | —      | —     | —     | —      |
| MnO                            | ۰٫۰۶  | ۱٫۰۴  | ۰٫۰۸  | ۰٫۰۷   | —     | —     | ۰٫۰۴   |
| H <sub>۲</sub> O               | ۵٫۳۸  | ۷٫۵۸  | ۷٫۳   | ۷٫۸۳   | ۸٫۵۰  | ۸٫۵۰  | ۸٫۰۴   |
| جمع                            | ۹۹٫۵۸ | ۹۹٫۸۹ | ۹۸٫۴۵ | ۱۰۰٫۶۳ | ۹۹٫۷۶ | ۹۹٫۴۹ | ۱۰۰٫۷۶ |

- ۱ و ۲- آنالسیم های درشت بلور، جمع آوری شده از گدازه های نفریتی شمال شهر بابک [۱۰].
- ۳ و ۴- آنالسیم های درشت بلور، جمع آوری شده از گدازه های موزه آریث و بازانیت کوه بزگوش [۴].
- ۵ و ۶- آنالسیم های درشت بلور، جدا شده از گدازه های بلرموریت کوه های صلوات - شمال آذربایجان خاوری [۶].
- ۷- آنالسیم های ناحیه عقدا - قلعه خرگوشی [۸].

### ویزگیهای شیمیایی سنگهای آنالسیم دار ایران

از نظر ژئوشیمیایی، سنگهای آنالسیم دار ایران دارای ویژگیهای زیر هستند:

۱- تمام سنگهای آنالسیم دار به استثنای یک نمونه (متعلق به حوالی کوه عجمی - باختر میانه که ۸۰ درصد کوارتز در نمونه دارد) از نوع غیر اشباع از سیلیس اند و در نورم نفلین ظاهر می سازند.

۲- آب نسبتاً زیادی در ترکیب دارند که این ازدیاد را به وفور آنالسیم های موجود در آن ارتباط داده ایم.

۳- تمام سنگهای آنالسیم دار، در قلمرو قلیایی قرار می گیرند (شکل ۴). به علاوه تمام آنها به جز یک نمونه مشکوک (شماره ۳) جزء سنگهای هیپرالومین محسوب می شوند.

۴- کلیه نمونه ها در نمودار پتاسیم بر حسب سیلیس، سرشار از پتاسیم هستند و تماماً به سری شوشونیت، آبساروکی و یا بازالت پتاسیک تعلق دارند (شکل ۵).

۵- محاسبه ضرایب انجماد (S.I) نمونه ها براساس فرمول کونو [۱۳] نشان داده است که کلیه سنگهای آنالسیم دار ایران مرحله انجماد را پشت سر گذاشته اند و از نظر انجماد جزء انواع میانی اند (جدول شماره ۳). بنابه پیشنهاد کونو، هرگاه عدد مزبور کمتر از ۳۵ باشد نمونه ها انجماد یافته هستند. در کلیه موارد، سنگهای آنالسیم دار، اعداد کمتر از ۳۵ را نشان می دهند و گاهی انجماد مرحله بسیار پیشرفته ای دارد (نمونه ۱)، بعضی فقط اندکی انجماد یافته اند (نمونه های ۳ و ۴)، ولی اکثراً انجماد متوسطی را پشت سر گذاشته اند و به همین دلیل ما آنها را از سنگهای میانی می دانیم.



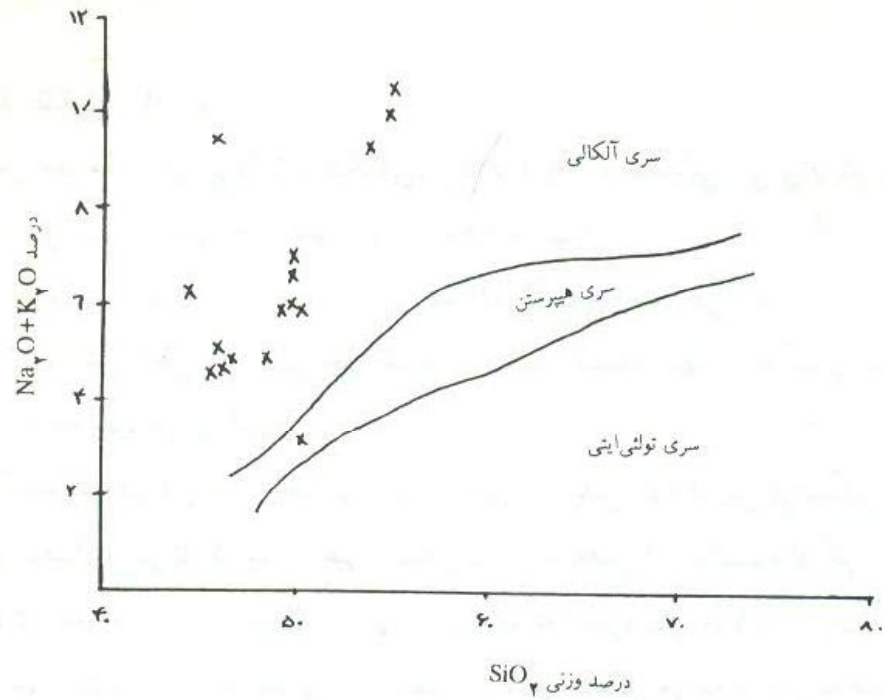
جدول شماره ۳ تجزیه شیمیایی نمونه‌هایی از سنگهای آنالیم دار ایران

| ۱۵    | ۱۴    | ۱۳   | ۱۲    | ۱۱   | ۱۰   | ۹    | ۸     | ۷     | ۶    | ۵    | ۴    | ۳    | ۲    | ۱     | اکسیدها                        |
|-------|-------|------|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|--------------------------------|
| ۴۹    | ۴۹۴۷  | ۴۹۳۰ | ۴۸۸۲  | ۴۶۵۴ | ۴۹۵۵ | ۴۵۷۷ | ۴۶۵۵  | ۴۶۳۰۰ | ۵۰۵۰ | ۵۳۱۵ | ۴۶۳۱ | ۴۶۷۰ | ۵۳۳۰ | ۵۵۹۰  | SiO <sub>2</sub>               |
| ۲۰۶۰  | ۲۰۱۱  | ۲۰۰۸ | ۲۰۷۹  | ۱۷۴۵ | ۱۸۴۴ | ۱۸۶۱ | ۱۶۸۸  | ۱۶۹۱  | ۱۸۶۱ | ۲۰۵۰ | ۱۵۸۰ | ۱۰۵۵ | ۱۸۰۰ | ۱۸۶۰  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| ۵۰۵   | ۴۶۰   | ۴۵۸  | ۵۰۹   | ۵۶   | ۶۹   | ۵۷   | ۵۹    | ۵۳    | ۶۸   | ۴۸۸  | ۴۳۳  | ۹۰۰  | ۴۹۵  | ۵۷۵   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| ۲۰۱   | ۲۷۸   | ۲۶۶  | ۲۴۹   | ۴۰۳  | ۱۵   | ۳۳   | ۳۸    | ۵۲    | ۱۴   | ۰۷۶  | ۲۰۰  | ۲۱۵  | ۰۶۵  | ۰۱۰   | FeO                            |
| ۴۰۶   | ۳۷۰   | ۳۱۳  | ۳۸۵   | ۶۶۶  | ۶۰۰  | ۴۰۰  | ۶۴    | ۶۲    | ۳۳   | ۱۹۶  | ۹۲۵  | ۹۲۵  | ۲۰۰  | ۰۱۰   | MgO                            |
| ۷۷۰   | ۷۷۰   | ۷۵۰  | ۸۹۳   | ۹۳۵  | ۴۴۰  | ۸۸۰  | ۹۵۰   | ۱۰۷   | ۸۳   | ۳۹۳  | ۵۶۸  | ۱۴۰۵ | ۴۶۰  | ۳۷۰   | CaO                            |
| ۳۴۰   | ۴۱۷   | ۳۰۸  | ۴۲۶   | ۴۱۷  | ۳۲۶  | ۳۵۰  | ۵۵۰   | ۳۸۰   | ۳۸۰  | ۵۳۰  | ۵۲۵  | ۰۱۵  | ۴۷۰  | ۴۰۰   | Na <sub>2</sub> O              |
| ۰۸    | ۰۷۹   | ۰۷۱  | ۰۷۲   | ۰۸۹  | ۰۸۰  | ۰۹۰  | ۱۲۰   | ۱۳۰   | ۲۴۰  | ۵۸۰  | ۵۳۵  | ۴۶۰  | ۵۴۵  | ۶۵۰   | K <sub>2</sub> O               |
| ۰۱۵   | ۰۱۶   | ۰۱۵  | ۰۱۹   | ۰۲۱  | ۰۱۵  | ۰۱۹  | ۰۲۵   | ۰۲۵   | ۰۱۷  | ۰۱۰  | ۰۲۵  | ۰۲۵  | ۰۱۵  | ۰۸۰   | TiO <sub>2</sub>               |
| ۰۳۱   | ۰۱۲   | ۰۳۶  | ۰۴    | ۰۳۷  | ۰۷۰  | ۰۷۰  | ۰۶۰   | ۰۵۵   | ۰۶۰  | ۰۷۱  | ۰۱۰  | ۰۲۰  | ۰۸۵  | ۰۶۰   | MnO                            |
| ۰۲۴   | ۱۸۷   |      | ۰۵۸   | ۰۴۴  |      |      |       |       |      |      |      |      |      |       | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  |
|       |       | ۲۹   |       |      | ۴۷۰  | ۴۳۰  | ۳۵۰   | ۲۸۰   | ۳۰۰  | ۱۹۰  | ۳۰۰  | ۰۱۵  | ۳۶۰  | ۲۹۵   | H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  |
| ۲۴۰   | ۰۴۴   |      | ۲۲۵   | ۳۳۵  |      |      |       |       |      |      | ۱۶۵  | ۰۰۵  | ۰۲۰  | ۱۰۵۰  | H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  |
| ۱۰۰۲۶ | ۱۰۰۰۸ | ۹۹۱۸ | ۱۰۰۳۲ | ۹۹۹۷ | ۹۹۷۰ | ۹۹۴۰ | ۱۰۰۲۰ | ۱۰۰۴۰ | ۹۹۹۰ | ۹۹۱۲ | ۹۹۸۰ | ۹۹۳۵ | ۹۹۴۵ | ۱۰۰۱۵ | جمع                            |
| ۲۲۷   | ۲۰۹   | ۱۷۶  | ۲۲۳۰  | ۲۹۰۳ | ۲۸۵  | ۱۹۸  | ۲۹۴   | ۲۸۳   | ۱۸۶  | ۱۲۴  | ۳۴۶  | ۳۴۷  | ۱۱۲  | ۳۶۰   | ضربانجماد S.I                  |

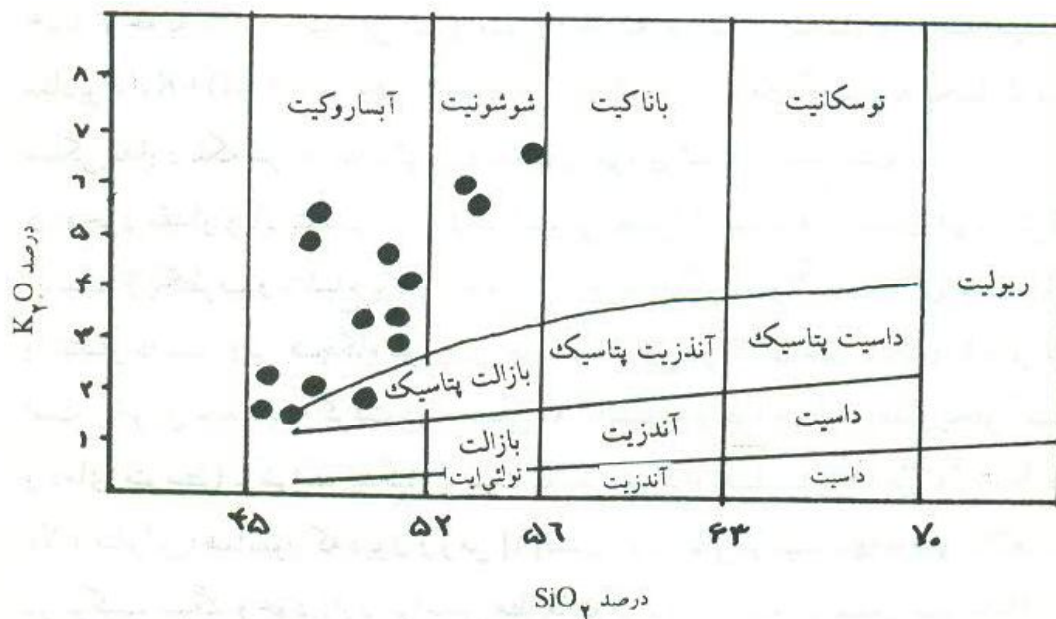
# شرح نمونه‌ها

- ۱- تراکم آندزیت آنالیم دار منطقه عجمی - باختر میانه [۷].
- ۲- فلویت نقری آنالیم دار منطقه عجمی - باختر میانه [۷].
- ۳ و ۴- بلوریت آنالیم دار - سری سه جعفرلو، کوه صلوات - حوالی دشت مغان [۶].

- ۵- موزه آرایت آنالیم دار کوه بزگوش [۴].
- ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰- بازیت های آنالیم دار طالقان - جوسان [۵].
- ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵- آسار و کیت و شوشوبت های جنوب عقدا، تلمه خرگوشی [۸].



شکل ۴ پراکندگی سنگهای آنالسیم دار در نمودار آلکالن بر حسب سیلیس



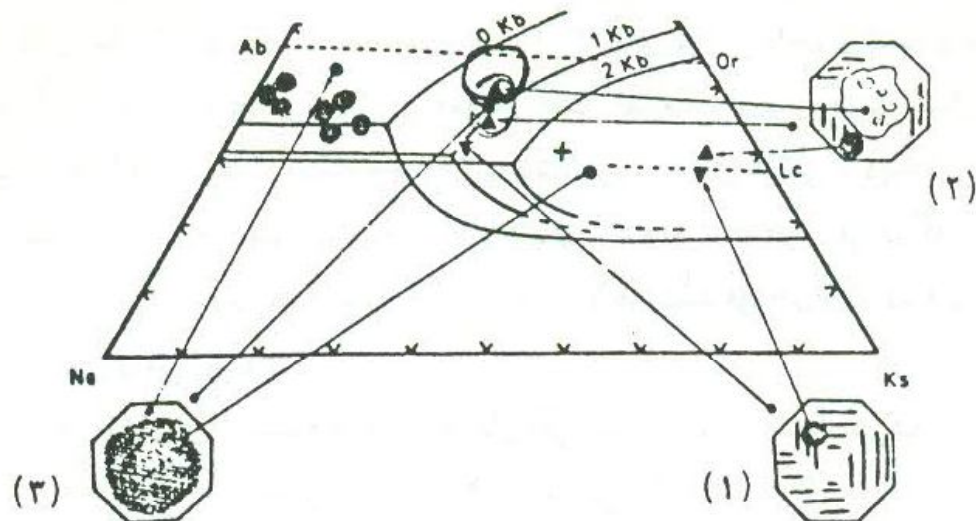
شکل ۵ کلیه سنگها در نمودار پکسریلو و تایلور [۱۴] که اساساً در قلمرو آبساروکیت، شوشونیت و باناکیت قرار می گیرند.



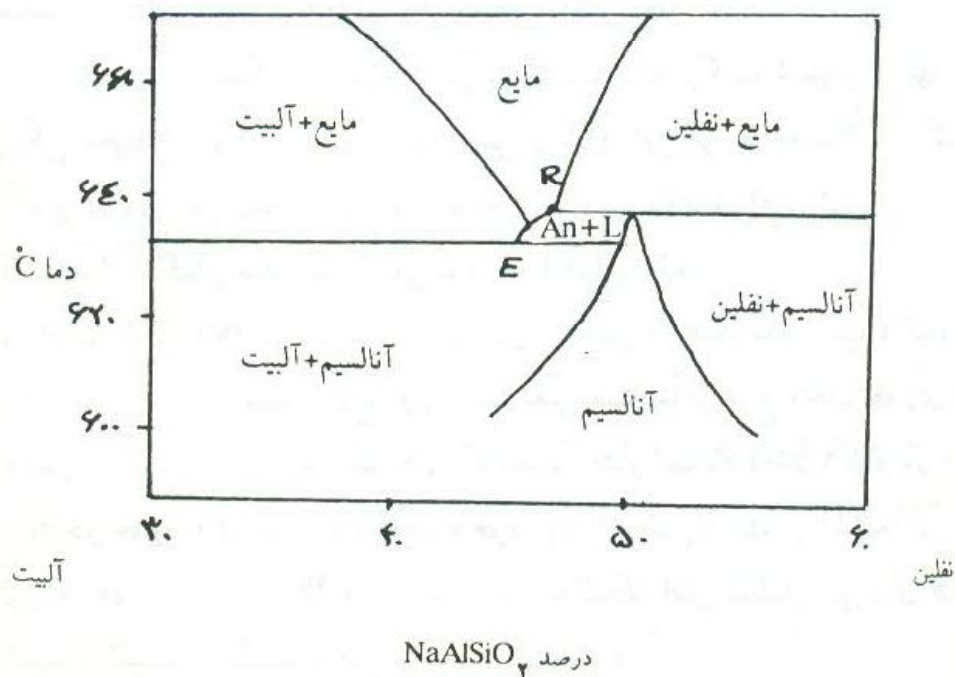
### شرایط تشکیل آنالسیم

براساس مطالعه صحرایی، آزمایشگاهی، و داده‌های ژئوشیمیایی می‌توان شرایط تشکیل درشت بلورهای آنالسیم را به صورت زیر خلاصه نمود:

- ۱- آنالسیم کانی آبداری است لذا در شرایط فشار آب به وجود می‌آید.
- ۲- آنالسیم طبق شکل (۶) کانی غیر اشباع از سیلیس است و تنها در ماگمای غیر اشباع از سیلیس و قلیا بلورین می‌شود.
- ۳- آنالسیم تنها در شرایط آتشفشانی به وجود می‌آید. یعنی بلورها پس از تشکیل باید سریعاً محیط انجماد را ترک کنند، در غیر اینصورت مانند بعضی از آنالسیم‌های کوه بزگوش، یا کوه‌های صلوات (آذربایجان خاوری) به مجموعه اسفرولیتی مرکب از پلاژیوکلازهای اسید، سریست، بیوتیت و بعضی از کانیهای آرژیلی تبدیل می‌شود. این موضوع ممکن است به دو طریق صورت گیرد، یا از فورانهای آتشفشانی یا از کفی از گدازه محتوی آنالسیم که به بخش‌های فوقانی ماگما صعود کرده باشد.
- ۴- با توجه به ترکیب شیمیایی بسیار متنوع (مقایسه ضریبهای انجماد و درصد سیلیس و مقادیر  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) نمونه‌ها، ملاحظه می‌کنیم که بلوری شدن آنالسیم به محیط شیمیایی بستگی ندارد بلکه شرایط فیزیکی از ویژگیهای بلوری شدن آنالسیم است.
- ۵- وجود مقدار زیاد پتاسیم در ترکیب شیمیایی بعضی از سنگ‌ها و فقدان آن در ترکیب آنالسیم از یکطرف و نااشباع بودن از سیلیس از طرف دیگر، اصولاً باید بلوری شدن لوسیت را انتظار داشت. ولی هیچگاه بلورهای لوسیت (به جز در شمال شهر بابک) تشکیل نشده است. بنابراین باید نتیجه گرفت در محیطی که آنالسیم به وجود می‌آید (فشار بخار آب بالا و دمای متوسط) با شرایط تشکیل لوسیت تطبیق نمی‌کند (فشار بسیار ناچیز ولی دما بسیار بالا). بنابراین، همانطور که دیون و ژمن [۶] نشان دادند کانی لوسیت تنها به صورت مجازی در ترکیب سنگ وجود دارد. براساس مطالعات مرادیان [۱۰]، در شمال شهر بابک، پنج فوران مختلف آتشفشانی در طی ائوسن وجود داشته است که در اثر فورانها لوسیت و در بعضی آنالسیم بلوری شده‌اند، و این دو هیچگاه با هم در یک گدازه دیده نمی‌شوند.



شکل ۶ بخش غیر اشباع سیستم سیلیس - نفلین - کالیو فیلیت و محل نمونه‌های آنالسیم ایران در آن با دایره‌های سیاه توپر نشان داده شده است (نمودار گوتتاویاگی [۲] نقل از درویش زاده [۱۵]).



شکل ۷ بخشی از سیستم دوتایی آلایت - نفلین که فازهای مختلف را در ۶ کیلو بار فشار بخار آب نشان می‌دهد. آنالسیم فقط در محدوده کوچک  $An+L$  مستقیماً از مایع مذاب سرشار از سدیم بلورین می‌شود [۱۶].



۶- در شرایطی که آنالسیم به صورت درشت بلور بلورین می شود این کانی از تخریب یا دگرسازی سایر کانیها حاصل نشده است، بلکه از کانیهای بلورین تاخیری است و بلوری شدن آن با بیوتیت و فلدسپات قلیایی همزمان است. مطالعات میکروسکوپی نشان داده است که هرگاه آنالسیم در سنگ وجود داشته باشد هورنبلندهای بازالتی یا دیده نمی شوند یا به شدت تحلیل رفته اند و تنها شبحی از آنها باقی مانده است. به طور کلی در گدازه های غیر اشباع از سیلیس و در فشار بخار آب و دماهای بالا هورنبلند قهوه ای و در دماهای پایین آنالسیم بلوری می شود [۱۶].

۷- استالدر [۵] برای آنالسیم های منطقه طالقان دگر ریختی زیر را پیشنهاد می کند:



ولی این مسئله نمی تواند در مورد تمام آنالسیم های ایران صادق باشد، زیرا اولاً در بعضی از سنگهای آنالسیم دار مقدار MgO بسیار ناچیز است. بنابراین اولاً شرایط بلوری شدن کانی اولیون و یا پیروکسن فراهم نیست، ثانیاً مقدار آنالسیم در سنگ آنچنان زیاد است که پاسخگوی تشکیل آنالسیم به طریق دگر ریختی را نمی دهد.

۸- قبلاً گفته ایم در تشکیل آنالسیم نه سن دخالت دارد نه ترکیب شیمیایی، تنها شرایط فیزیکی محیط است که آنالسیم می تواند بلوری شود. این شرایط احتمالاً در آشیانه های ماگمایی ثانوی (در نیمه راه پوسته به سطح زمین) می تواند فراهم شود. در این حالت آنالسیم ها از ماگمای میانی بلوری می شوند نه ماگمای اولیه.

۹- براساس شکل (۷)، در سیستم دوتایی آلیت، نفلین در فشار بخار آب ۶ کیلو بار، تنها در شرایط R تا E آنالسیم از نوع اولیه است یعنی مستقیماً از مایع مذاب بلوری می شود. براساس این شکل، باید درشت بلورهای آنالسیم در فشار آب بالا (مثلاً ۶ کیلو بار در شکل) و دمای در حدود ۶۳۰ تا ۶۴۰ درجه به وجود آیند. این شرایط تنها در آشیانه های ماگمایی ثانوی فراهم است که در بالا به آن اشاره شد. به کمک این شکل می توان همزیستی آنالسیم + آلیت یا آنالسیم + نفلین را بخوبی توضیح داد.

۱۰- تایلور و مک کنزی [۱۷] مخلوطی از سه ترکیب نفلین، کالیوفیلیت و کوآرتز را (با نسبت تقریبی به ترتیب ۲۵، ۴۵ و ۳۰ درصد که محل نمایش آن در نمودار سیلیس نفلین -

کالیوفیلیت در شکل ۶ با علامت دایره توخالی مشخص است) تا ۸۴۰ درجه سانتیگراد و ۲ کیلو بار فشار آب گرم کردند و سپس آن را در شرایط متفاوت زیر منجمد کردند:

الف - وقتی ظرف محتوی نمونه با هوای فشرده سرد شود بلورهای لوسیت همراه با شیشه و بخار در ظرف بر جا ماند. بلورهای لوسیت دارای تیغه‌های اکسولسیون با ترکیب احتمالی آنالسیم بوده است (حالت ۱، شکل ۶).

ب - اگر فشار و دمای ظرف محتوی نمونه به آرامی پایین آورده شود پس از باز کردن ظرف لوسیت‌های زنار همراه با شیشه و بخار بدست می‌آید و ترکیب زنار خارجی پس‌دولوسیت بوده است (شماره ۲ در شکل ۶).

ج - اگر دمای ظرف محتوی نمونه از ۸۴۰ به ۶۳۰ درجه رسانده شود و سپس آن را به مدت ۲ تا ۴ ساعت در شرایط ۶۳۰ درجه سانتیگراد و در ۲ کیلو بار فشار بخار آب قرار دهند، پس از باز کردن ظرف، حاشیه ترکیب آنالسیم داشته (مشابه نمونه‌های مورد مطالعه که با دایره‌های کوچک توپر مشخص شده‌اند) و هسته مخلوطی از لوسیت و آنالسیم بوده است. به این نکته باید توجه داشت که بلوری شدن هسته سرشار از لوسیت، مایع باقیمانده را از آب و سدیم اشباع می‌کند و محیط را برای بلوری شدن آنالسیم فراهم می‌آورد.

با توضیحات بالا و با مقایسه تجزیه شیمیایی نمونه‌ها با کارهای آزمایشگاهی، می‌توان چنین نتیجه گرفت که آنالسیم از ماگمای قلیایی، آبدار غیر اشباع از سیلیس و در دماهای متوسط ۶۲۰-۶۴۰ درجه و فشار بخار آب ۵ کیلو بار به بالا بلوری می‌شود. امروزه با توجه به کارهای آزمایشگاهی به این نتیجه رسیدند که آنالسیم در فشار فاز آبدار ۵ تا ۱۳ کیلو بار و در دمای ۶۰۰ تا ۶۴۰ درجه سانتیگراد به وجود می‌آید. این شرایط در اعماق ۱۵ تا ۲۰ کیلومتری پوسته فراهم است یعنی محلی که ماگمای شوشونیتی در آن هیچگاه نمی‌تواند به وجود آید. حال اگر نمونه‌های پس‌دولوسیت نفیلین دار نواحی کلیبر اهر را که در سنگهای آذرین درونی از نوع سینیت در سنگهای این مناطق به وجود آمده، و عدم حضور آنالسیم درشت بلور در سنگهای سینیتی مزبور که از نظر ترکیب شیمیایی و سن نیز با انواع بزگوش و کوه عجمی باختر میانه تقریباً مشابه‌اند بررسی کنیم به این نتیجه می‌رسیم که اگر سنگهای آنالسیم دار مورد بحث، در شرایط درونی بلوری می‌شدند هیچگاه آنالسیم



نمی شدند.

حضور بخار آب و حالت انفجاری شدید و هیپرآلومین و مقدار تیتان کم در نمونه های مورد مطالعه و با توجه به سن و موقعیت زمین شناسی محل، این فکر را تقویت می کند که باید نمونه های آنالسیم دار ایران در مناطق در حال فرو رانش به وجود آمده باشد که آتشفشانی از نوع شوشونیتی از ویژگی های این قبیل مناطق است. فاز کوهزایی در مرز ائوسن - اولیگوسن ایران، خود ممکن است حاکی از یک فرو راندگی برای پاسخ دقیق به داده های ژئوشیمیایی و ایزوتوپی زیادی نیازمندیم.

## مراجع

- 1- Roux J, Hamilton D L, 1976, Primary igneous analcite, an experimental Study, *J Petro*, 17, 2
- 2- Gupta A K, Yagi K, 1980, petrology and genesis of leucite-bearing rocks, springer verlag 254 pp
- 3- Deer W A, Howie R A, Zussman J, 1963, **Rock forming minerals**, 5vol, John Wiley and sons. Inc.
- ۴- لطفی، م، ۱۳۴۵، «بررسی های زمین شناسی و پترولوژی منطقه شمال- شمال شرق میانه آذربایجان خاوری» رساله فوق لیسانس دانشکده علوم دانشگاه تهران، ۱۲۷ صفحه.
- 5- Stalder P, 1971, "Magnatismes tertiane et Subsecent enter Taleghan et Alamout Elbourz Central (Iran), *Suisse de Min, et Petr*, Vol 51,1,151P.
- 6- Didon J, et Gemain Y A, 1976, Le Sabalan, Volcan Plio - quaternarie de l' Azerbaijan Driental (Iran), étude geologique et Petrographique du l' edifice et Son son environnement régional. **these zeme cycle**, Univ. Sci. et medical de Grenoble, France, 304P
- 7- Lescuyer J L, et Riou R, 1976, Geologie de la region de Mianeh (Azerbaijan). Contribution á l' étude du Volcanisme tertiaire de l' Iran. **These zeme cycle**, uni. de sci. et Medical de Grenoble, France, 233P.
- 8- Amidi S M, 1975, "Contribution á l' étude Strgraphique Petrologique et Petrochimique des rockes Magnaetique de la region Natanz-Nain-Surk". (Iran Center) These uni. sci, et Medical de Grenoble, France, 316P.
- 9- Mergoil J, Cantagrel J M, Bina M, Darvichzadeh A, et Motamed A, 1978, Repport

de mission en Iran. Etude et lever géologique de formations volcanique aé la bordure nord-est du Zagras dans le Secteur, Nain, Esfahan, Ardestan, Kashan, **Trauaux du Dept. de G'eol et Mineral Clermont** Fd. France, 15P.

۱۰- مرادیان شهر بابکی، ع، ۱۳۶۹، «بررسی پترولوژی سنگهای آتشفشانی شمال شهر بابک». رساله فوق لیسانس دانشکده تهران، ۱۶۹ صفحه.

11- Multon D J, 1977 Gale'h Hassan Ali Maars, Central Iran. *Bull. Volcanol.* Vol40, No.3

12- Brousse R, 1960, Minéralogie et Pétrographie des rocks volcaniques du Massif du Mont-Dore (Auvergne), **These Dr. état université de Paris**, France.

13- Kuno H, 1959, "Origin of Cenozoic Petrographic Province of Japan and Surrounding areas. *Bull. Volcanol.* 20, p.37-76

14- Peccerulo A, Taylor S R, 1976, "Geochemistry of Eocene calcalkalin volcanic rocks, *Contr. Mineral Petrol.* 68.

۱۵- درویش زاده، ع، ۱۳۶۷، «پترولوژی تجزیه و کاربردهای آن». انتشارات دانشگاه تهران - شماره ۱۹۵۶، ۵۲۱ صفحه.

16- Darvichzade A, 1971, "Les Amphiboles et les minéraux associés' dans les leves basaltiques du Massif Central Francais. **These. Dr.Spécialité. Clermont**, Ed France, 169P.

17- Taylor S R, Mekenie S D, 1975, "The Application of trace Element Data to Problems in Petrology. *Phys. Chem. Earth* 6, 133-213.