

## ماهیت ژئوشیمیایی ولکانیسم ائوسن در شمال منطقه انارک (شمال شرق استان اصفهان)

محمد سیاری، ایرج نوربهشت و قدرت ترابی

گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان

### چکیده

سنگ های آتشفشانی با ترکیب داسیتی، آندزیتی تا آندزی بازالتی به سن ائوسن در شمال منطقه انارک به صورت توده های کوچک و پراکنده رخنمون دارند. رخنمون این سنگ ها عمدتاً از روند گسل های منطقه تبعیت می کند. بررسی های زمین دماسنجی زوج فنوکریست های در تعادل آمفیبول و پلاژیوکلاز نشان می دهد که دمای تبلور این فنوکریست ها در حدود ۸۳۵ تا ۹۲۵ درجه سانتی گراد می باشد. نتایج بارومتري آمفیبول ها بر اساس مقدار Al موجود در آنها نشان می دهد که فنوکریست های آمفیبول در سنگ های آتشفشانی مورد مطالعه در محدوده فشار ۶/۱۹ تا ۸/۶۲ کیلو بار متبلور شده اند. بر اساس روند ژئوشیمی این سنگ ها در نمودار های هارکر و همچنین نمودار های عنکبوتی عناصر نادر خاکی ولکانیسم ائوسن در شمال منطقه انارک با دو سری متمایز مشخص می شود. بر اساس نمودار های تفکیک سری های ماگمایی، این دو سری، ویژگی های سری های انتقالی را دارا می باشند و تمایل به سری شوشونیتی را نشان می دهند. نا هماهنگی و تغییرات زیاد در غلظت برخی عناصر نظیر K، Ce، Th و Ta نقش آرایش و اختلاط ماگمایی را در تکامل ولکانیسم ائوسن در شمال منطقه انارک مشخص می نماید.

واژه های کلیدی: ژئوشیمی، سنگ های آتشفشانی، ائوسن، انارک.

## Geochemical Signature of Eocene Volcanism in the North of the Anarak Area (NE of Isfahan Province)

M. Sayari, I. Noorbehesht and GH. Torabi

## Geology Department, the University of Isfahan

### Abstract

Eocene volcanic rocks with andesite, andesibasalt to dacite composition in north of the Anarak area are exposed as small and scattered masses. Exposures of these rocks mainly follow the faults direction. Geothermometry studies of even equilibrated amphibole-plagioclase phenocrysts indicate that crystallization temperature of these phenocrysts ranges between 835°C to 925°C. Results of amphiboles barometry on the base of Al content shows that amphibole phenocrysts in these volcanic rocks had been crystallized in pressure of about 6.19-8.62 Kbar. On the basis of calculated pressure, magma chamber of these rocks have occurred about 30km in depth. The geochemistry trends in the Harker and spider diagrams for rare earth elements, Eocene volcanism in north of Anarak area is specified with two distinctive magmatic series. In terms of magmatic series segregation diagrams, these two series have transitional characteristics and tend to be shoshonitic type. Enrichment and depletion in some elements such as Ta, Th, Ce and K is related to the contamination and magma mixing in Eocene volcanism in the north of Anarak area.

**Keywords:** Geochemistry, Volcanic rocks, Eocene, Anarak, Geochemistry.

### مقدمه

فعالیت آتشفشانی ائوسن، یکی از مهمترین پدیده های زمین شناسی ایران در زمان ائوسن است. آثار آن در اغلب مناطق ایران به غیر از زاگرس و کپه داغ به چشم می خورد. در منطقه انارک آثار فعالیت آتشفشانی ائوسن به صورت نک های کوچک، گدازه و گنبد به ابعاد چند متری تا ابعاد چند صد متری با روند تقریبی شرقی - غربی به چشم می خورد که عموماً از روند گسل های منطقه تبعیت می کنند. این ولکانیک ها، در معلی، شمال عشین - زوار، سرخشاد، سفی آباد و درختک رخنمون دارند. ولکانیک های چاه گربه، معلی و سفی آباد قدیمی ترین سنگ های منطقه یعنی شیست ها و افیولیت انارک به سن پرکامبرین [1] و در ناحیه عشین - زوار و سرخشاد، ولکانیک ها افیولیت ملانژ عشین - زوار به سن مزوزوئیک [2] را قطع نموده اند. هدف از ارایه این مقاله شناسایی و تعیین نوع سری ماگمایی مواد سنگ

های آتشفشانی ائوسن در شمال منطقه انارک و همچنین تعیین سنگ منشا ماگما می باشد.

### روش انجام تحقیق

ابتدا بررسی های صحرایی و نمونه برداری در منطقه مورد مطالعه انجام گرفت. سپس نمونه های مناسب جهت تهیه مقاطع نازک و نازک - صیقلی انتخاب شدند، تمامی مقاطع با استفاده از اپکسی رزین تهیه گردیدند. مطالعات پتروگرافی با استفاده از میکروسکپ پلاریزان با نور عبوری مدل BH2 انجام گرفته است. آنالیزهای نقطه ای انجام شده روی کانی ها با استفاده از دستگاه آنالیز الکترون میکروپروپ JEOL مدل XA-8800 با ولتاژ شتابدهنده ۲۰ کیلو ولت و جریان ۱۲ نانو آمپر در دانشگاه کاناواوا ژاپن صورت گرفته است. آنالیز های سنگ کل، با استفاده از روش فعال سازی نوترونی دستگاهی انجام شده است. تفکیک آهن (II) و آهن (III) به منظور محاسبه فرمول ساختاری کانی ها، بر

گرفته است. این منطقه در حاشیه جنوبی دشت کویر (کویر مرکزی)، بین طول های جغرافیایی ۵۳-۵۴ درجه شرقی و عرض های جغرافیایی ۳۳-۳۴ درجه شمالی واقع شده است. منطقه انارک در تقسیمات زون های زمین شناسی ایران در زون ایران مرکزی قرار دارد [5] و [6] شکل ۱ نقشه زمین شناسی کلی منطقه انارک و موقعیت سنگ های مورد مطالعه را نشان می دهد.

اساس روش Droop [3] صورت گرفته است و برای آنالیز سنگ ها به صورت زیر عمل شد:

$$Fe_2O_3 = (KFe_2O_3^*) / (K+1.1)$$

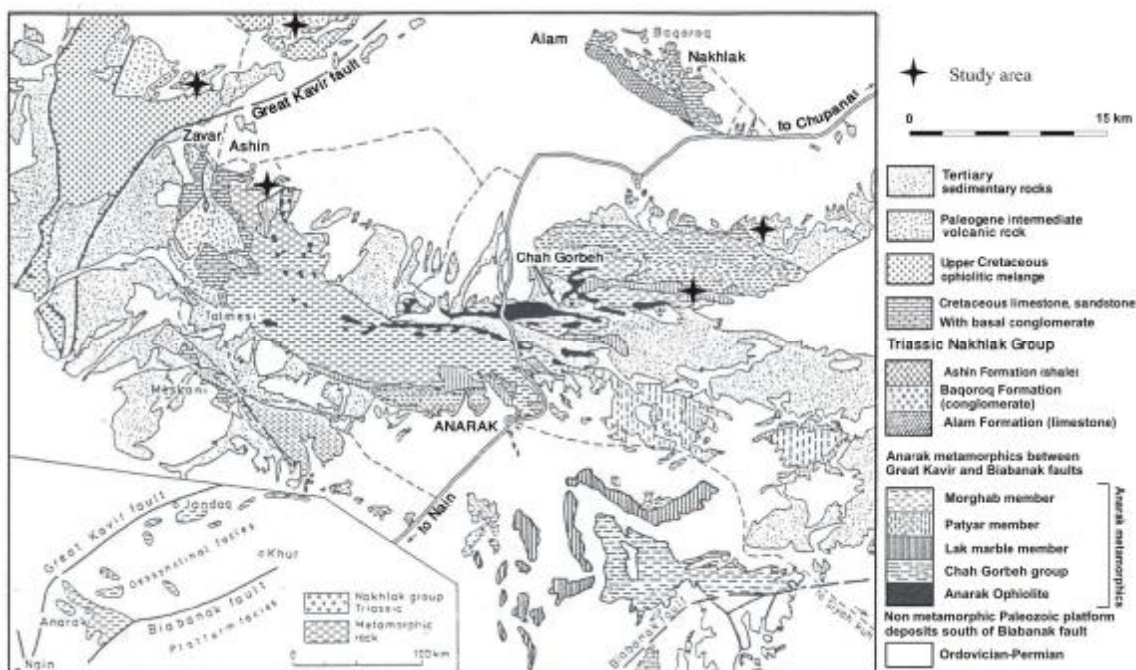
K, نسبت  $Fe_2O_3/FeO$  است که مقدار آن از

روی نمودار مجموع آلکالی بر حسب سیلیس که توسط [4] ارایه شده است محاسبه می شود.

### زمین شناسی عمومی منطقه انارک

منطقه انارک در فاصله ۲۲۰ کیلومتری شمال شرق

اصفهان و ۷۶ کیلومتری شمال شرقی شهرستان ناین قرار



شکل ۱- نقشه زمین شناسی عمومی منطقه انارک [2]

قدیمی ترین سنگ های منطقه انارک، افیولیت انارک (بیشتر سرپانتینیت)، به سن پرکامبرین می باشد. شیست ها و دگرگونه های انارک از نظر سنی نسبت به افیولیت انارک جوان تر هستند [2]. از دوران پالئوزوئیک نیز سازندهای شیرگشت (اردوئین)، نیور (سیلورین)، پادها (دونین زیرین)، دولومیت سیبزار (دونین میانی)، آهک بهرام (دونین بالایی)، شیشتو (دونین بالایی) - کربونifer (دونین بالایی)، سردر (کربونifer)، جمال (پرین) قابل ذکرند

این منطقه خود بخشی از ناحیه چین خورده آلپی (Alpine Folded Region) یا کمر بند چین خورده آلپ - هیمالیا (مدیترانه ای) است. منطقه انارک از نظر، چینه شناسی، آتشفشانی و کانسار سازی بسیار متنوع بوده و از نظر زمین ساختی دارای گذشته پیچیده ای است [7]. در این منطقه سنگ های آتشفشانی ائوسن به صورت پراکنده و مجزا در حوالی معلی، عشین - زوار، سفی آباد و دامنه جنوبی کوه چاه گربه وجود دارند.

سنگ‌های آندزیتی در حوالی عشین، معلی، سفی آباد و چاه گربه حاوی اتنورهلاو هایی هستند که ترکیب کانی شناسی مشابهی با سنگ میزبان‌شان دارا می باشند. کانی های فرعی موجود در این سنگ ها شامل اسفن، آپاتیت و زیرکن است.

۲- داسیت ها و ریولیت ها: این سنگ ها حاوی پلاژیوکلاز، کوارتز و سانیدین هستند. کوارتزها دارای حاشیه واکنشی و پلاژیوکلازها غبار آلودند که نشانی از اختلاط ماگمایی دارند [9]. حالت اسفرولیتی پلاژیوکلازها نیز دلالت بر سرد شدن سریع ماگما دارد [10]. وجود کوارتز با خوردگی خلیجی در این سنگ ها حاکی از کاهش ناگهانی فشار در زمان فوران است [11].

۳- آندزیت های بیوتیت دار: این سنگ ها که فقط در حوالی معلی یافت می شوند، تفاوت عمده ای که با آندزیت های گروه اول دارند وجود بیوتیت در آنها است. این سنگ ها واجد پلاژیوکلاز، بیوتیت و آمفیبول هستند. در این سنگ ها عموماً بیوتیت ها سالم مانده اند در صورتی که آمفیبول ها اغلب به کلریت دگرسان شده اند. برخی از پلاژیوکلازها نیز سریستی شده اند. آپاتیت، اسفن و زیرکن نیز به مقدار کم در این سنگ ها یافت می شود.

بر اساس آنالیزهای مایکروپروب انجام شده، آمفیبول موجود در نمونه ها از نوع منیزیو هاستنگسیت بوده (شکل ۲) و کلینوپیروکسن ها از نوع دیوپسید می باشند (شکل ۳). ترکیب بیوتیت ها نیز نزدیک به سری آنیت - فلوگوپیت می باشد (شکل ۴). فلدسپات های موجود در این سنگ های ولکانیکی شامل فلدسپات های آلکالی و پلاژیوکلاز های حد واسط با ترکیب الیگوکلاز - آندزین می باشد (شکل ۵).

[8] که در بخش‌های جنوب شرقی منطقه وجود دارند. سنگ‌های سازند چاه پلنگ (ژوراسیک - کرتاسه) به صورت بسیار محدود در جنوب معدن متروکه ترکمانی مشاهده می شوند سنگ های ژوراسیک (سازند شمشک) نیز در منطقه وجود دارد [7].

در ناحیه انارک - خور سنگ‌های کرتاسه عمده‌ترین رخنمون سنگ های مزوزوئیک منطقه انارک را تشکیل می دهند. ملانژ افیولیتی عشین - زوار دارای واحدهای سنگی مختلف با سن های متفاوت است. اما آخرین فعالیت ماگمایی آن در اواخر کرتاسه صورت گرفته که چرت های رادیولر و سنگ آهک های پلاژیک کرتاسه بالایی واحدهای سنگی آن را می پوشانند [2]. از دوران سنوزوئیک نیز بیشتر، سازندهای تخریبی در منطقه وجود دارد.

### پetroگرافی و شیمی کانی‌های سنگ‌های آتشفشانی

بر اساس مطالعات پتروگرافی، که از ۹۰ مقطع نازک مربوط به ۲۵ رخنمون از سنگ های آتشفشانی شمال انارک صورت گرفت، این سنگ های آتشفشانی به طور کلی، به سه دسته تقسیم می شوند.

۱- آندزیت ها و آندزی بازالت ها: این سنگ ها عمدتاً از فنوکریست های پلاژیوکلاز، آمفیبول و کمی کلینوپیروکسن که در زمینه ای شیشه ای و میکرو کریستالین از پلاژیوکلاز قرار گرفته اند، تشکیل شده اند. آمفیبول ها خودشکل بوده و تا اندازه ای به کلریت تجزیه شده اند، فلدسپات ها تا اندازه ای به سرسیت و کانی های رسی دگرسان شده اند. فراوانی آمفیبول در این سنگ ها به اندازه ای است که می توان آنها را آمفیبول آندزیت و آمفیبول آندزی بازالت نامید.

نتایج آنالیز مایکروپروب کانی‌ها به همراه محاسبه فرمول ساختاری آنها در جداول ۱ تا ۳ آمده است. برخی از سنگ‌های مورد مطالعه حاوی انکلاو‌هایی می‌باشند. این انکلاو‌ها به وفور در نمونه‌های آتشفشانی عشین- زوار یافت می‌شوند. محل تماس این انکلاو‌ها با سنگ آتشفشانی میزبان کاملاً متعادل بوده و اثری از حاشیه‌های واکنشی دیده نمی‌شود.

این انکلاو‌ها از نظر کانی‌شناسی شباهت زیادی با سنگ میزبان خود دارند، اما از نظر بافتی کاملاً با آنها

متفاوتند. بر اساس بافت می‌توان این انکلاو‌ها را به دو نوع تقسیم نمود. یکی انکلاو‌هایی که دارای بافت گرانولار هستند و دیگری انکلاو‌هایی که دارای جهت‌یافتگی ترجیحی می‌باشند.

در انواع اخیر می‌توان بافت نماتوبلاستیک حاصل از جهت‌یافتگی آمفیبول‌ها را مشاهده نمود. بر اساس مطالعات سنگ‌نگاری، انکلاو‌های نوع اول، دیوریت و میکرو دیوریت هستند و می‌توان گفت از همان ماگمای مولد سنگ‌های آتشفشانی، حاصل شده‌اند.

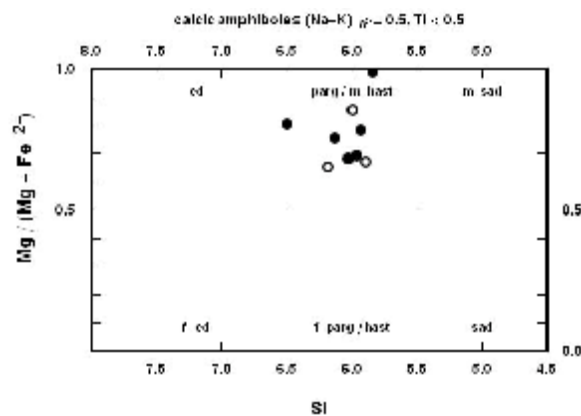
جدول ۱: نتیجه آنالیز مایکروپروب فنوکریست‌های آمفیبول و محاسبه فرمول ساختاری آنها بر اساس ۲۳ اکسیژن ساختاری (اکسیدها بر حسب درصد). علامت \* مربوط به نمونه‌های درون انکلاو‌ها می‌باشد.

اکسیدها	نمونه ۴۹	نمونه ۵۰	نمونه ۵۱	نمونه ۶۰	نمونه ۶۶	نمونه ۷۲	نمونه ۸۴	نمونه ۸۵	نمونه ۸۶	نمونه ۸۸
SiO <sub>2</sub>	۴۷۶۶۹	۴۰/۴۰۷	۴۰/۳۰۶	۴۴/۹۱۳	۴۱/۲۷۲	۴۰/۶۸۰	۴۷/۵۶۶	۴۰/۵۶۶	۴۱/۸۱۷	۳۹/۶۹۳
TiO <sub>2</sub>	۲/۱۶۴	۲/۷۷۷	۲/۱۰۸	۱/۲۵۵	۲/۰۲۷	۲/۰۶۵	۲/۲۵۶	۲/۱۷۸	۲/۲۸۳	۲/۴۲۵
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۲/۵۳۲	۱۲/۹۱۲	۱۲/۷۷۲	۱۱/۳۲۴	۱۳/۲۰۵	۱۲/۷۱۲	۱۷/۸۸۶	۱۳/۵۷۶	۱۲/۱۷۴	۱۲/۹۵۰
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۰۱۹	۰/۰۲۸	۰/۰۳۴	۰/۰۴۲	۰/۰۵۵	۰/۰۰۰	۰/۰۳۲	۰۰۰۰	۰/۰۱۳	۰/۰۰۵
FeO	۱۰/۳۵۶	۱۳/۷۶۶	۱۲/۲۲۵	۱۰/۰۹۴	۹/۸۸۱	۱۴/۵۸۱	۱۶/۶۴۸	۱۳/۹۵۲	۱۲/۶۲۶	۱۴/۵۹۳
MnO	۰/۱۰۵	۰/۳۱۲	۰/۱۴۱	۰/۲۲۲	۰/۱۲۲	۰/۲۵۶	۰/۳۸۳	۰/۲۱۳	۰/۱۹۶	۰/۲۸۵
MgO	۱۴/۸۳۳	۱۲/۰۷۲	۱۳/۳۰۰	۱۴/۷۳۰	۱۵/۱۴۰	۱۱/۸۱۵	۱۱/۵۹۵	۱۲/۰۲۳	۱۳/۵۹۰	۱۱/۴۱۱
CaO	۱۱/۷۳۱	۱۱/۷۴۹	۱۱/۶۱۱	۱۱/۵۸۹	۱۱/۶۹۸	۱۱/۴۵۷	۱۱/۶۰۷	۱۱/۵۰۵	۱۱/۳۰۸	۱۱/۶۹۶
O <sub>2</sub> Na	۲/۵۱۷	۲/۵۳۷	۲/۳۹۵	۱/۹۸۷	۲/۳۲۴	۲/۲۵۹	۲/۲۶۶	۲/۵۲۴	۲/۲۴۳	۲/۵۶۰
O <sub>2</sub> K	۰/۹۷۲	۰/۸۱۹	۰/۸۹۵	۱/۲۲۴	۱/۴۲۳	۷/۶۱۳	۰/۹۵۲	۰/۹۵۴	۰/۸۸۲	۰/۹۵۴
NiO	۰/۰۳۰	۰/۰۱۷	۰۰۰۰	۰/۰۳۱	۰/۰۲۰	۰۰۰۰	۰/۰۰۰	۰۰۰۰	۰۰۰۰	۰/۰۰۰
مجموع	۹۶/۹۲۸	۹۷/۳۹۶	۹۶/۷۸۷	۹۷/۴۱۱	۹۷/۱۷۷	۹۷/۴۳۸	۹۷/۴۶۱	۹۷/۴۹۱	۹۷/۴۳۲	۹۷/۵۷۲
کاتیون‌ها										
Si	۶/۰۹۶	۵/۹۹۷	۵/۹۴۱	۶/۵۰۳	۶/۰۱۳	۶/۰۶۶	۶/۱۸۲	۶/۰۰۲	۶/۱۳۵	۵/۸۹۹
Ti	۰/۲۳۸	۰/۳۱۰	۰/۲۳۴	۰/۱۳۷	۰/۲۲۲	۰/۲۳۲	۰/۲۸۳	۰/۲۴۳	۰/۲۵۲	۰/۲۷۲
Al	۲/۱۶۰	۲/۲۵۸	۲/۳۹۲	۱/۹۳۲	۲/۲۶۸	۲/۲۳۴	۲/۰۸۴	۲/۳۶۸	۲/۱۰۴	۲/۴۴۴
Cr	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
Fe <sup>2+</sup>	۰/۵۶۵	۰/۵۲۱	۰/۷۰۲	۰/۳۸۳	۰/۶۴۱	۰/۵۲۸	۰/۴۵۹	۰/۵۵۸	۰/۶۰۰	۰/۵۸۳
Fe <sup>3+</sup>	۰/۷۰۲	۱/۱۸۸	۰/۸۰۵	۰/۸۳۹	۰/۵۶۳	۱/۲۹۰	۱/۳۶۳	۱/۱۶۸	۰/۹۵۰	۱/۲۳۰
Mn	۰/۰۱۴	۰/۰۳۹	۰/۰۱۷	۰/۰۲۷	۰/۰۱۵	۰/۰۳۳	۰/۰۴۸	۰/۰۲۶	۰/۰۲۵	۰/۰۳۷
Mg	۳/۲۲۴	۲/۶۷۰	۲/۹۲۲	۳/۱۸۰	۳/۲۸۸	۲/۶۲۸	۲/۵۷۲	۲/۶۵۱	۲/۹۷۲	۲/۵۲۸
Ca	۱/۸۳۹	۱/۸۶۸	۱/۸۳۳	۱/۷۹۸	۱/۸۲۶	۱/۸۳۱	۱/۸۵۰	۱/۸۲۵	۱/۷۷۸	۱/۸۶۳
Na	۰/۷۱۵	۰/۷۳۱	۰/۶۸۶	۰/۵۵۹	۰/۶۵۵	۰/۶۵۳	۰/۶۵۵	۰/۷۲۳	۰/۷۲۳	۰/۷۳۸
K	۰/۱۸۱	۰/۱۵۵	۰/۱۶۹	۰/۲۲۵	۰/۲۶۴	۰/۳۰۶	۰/۱۸۰	۰/۱۷۹	۰/۱۶۵	۰/۱۸۰
Ni	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
مجموع	۱۵/۷۵۰	۱۵/۷۴۳	۱۵/۷۰۴	۱۵/۵۹۱	۱۵/۷۶۶	۱۵/۸۰۱	۱۵/۶۸۸	۱۵/۷۴۳	۱۵/۷۰۵	۱۵/۷۷۵

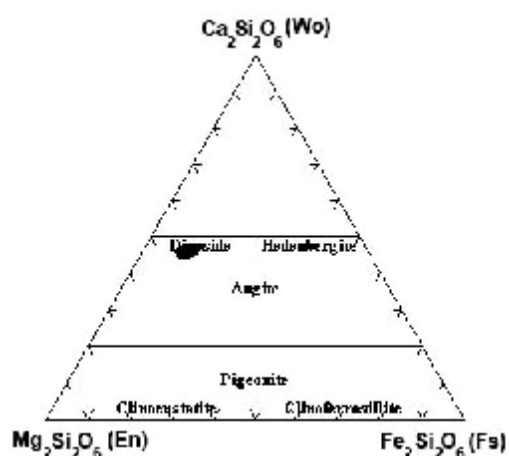


جدول ۳: نتیجه آنالیز میکروپروب بیوتیت‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی (اکسیدها بر حسب درصد وزنی) و محاسبه فرمول ساختاری آنها بر اساس ۲۲ اکسیژن ساختاری (علامت \* مربوط به نمونه‌های درون انکلاو ها می‌باشد).

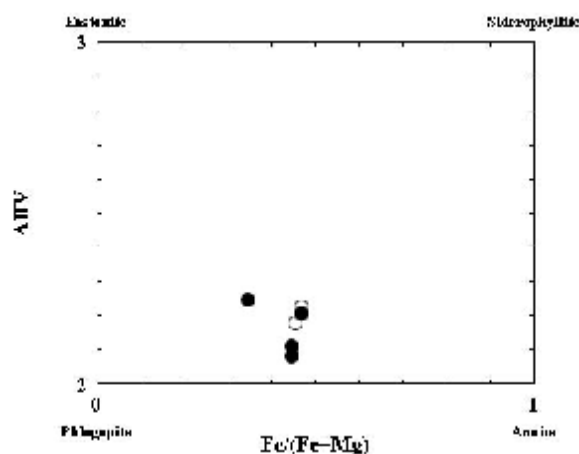
اکسیدها	نمونه ۵۹	نمونه ۷۶	نمونه ۷۷	نمونه ۷۸	نمونه ۸۰	نمونه ۸۱
SiO <sub>2</sub>	۳۶/۷۳۸	۳۷/۵۵۰	۳۷/۴۴۷	۳۶/۴۰۲	۳۶/۲۱۶	۳۶/۵۲۵
TiO <sub>2</sub>	۳/۲۰۲	۳/۱۲۱	۲/۶۶۲	۳/۱۳۲	۲/۹۴۱	۲/۲۹۶
rO <sub>2</sub> Al	۱۵/۷۳۸	۱۲/۹۸۶	۱۵/۴۳۵	۱۵/۳۷۲	۱۵/۵۵۲	۱۵/۹۷۶
rO <sub>2</sub> Cr	۰/۰۵۸	۰/۰۷۴	۰/۰۴۰	۰/۰۰۰	۰/۰۱۳	۰/۰۰۶
FeO	۱۴/۱۳۴	۱۷/۶۷۰	۱۷/۷۴۷	۱۸/۶۷۱	۱۸/۶۳۸	۱۸/۰۳۲
MnO	۰/۱۸۴	۰/۴۲۶	۰/۳۵۳	۰/۳۲۸	۰/۳۱۲	۰/۳۱۷
MgO	۱۴/۹۰۶	۱۲/۲۲۰	۱۲/۴۲۰	۱۱/۸۳۵	۱۱/۸۹۸	۱۲/۱۳۱
CaO	۰/۰۰۰	۰/۰۱۲	۰/۰۰۶	۰/۰۱۷	۰/۰۰۲	۰/۰۴۴
O <sub>2</sub> Na	۰/۳۵۴	۰/۲۱۳	۰/۲۷۷	۰/۳۲۴	۰/۳۰۵	۰/۲۶۵
O <sub>2</sub> K	۹/۴۳۸	۹/۲۵۷	۹/۳۵۳	۹/۳۶۸	۹/۲۹۷	۹/۱۶۱
NiO	۰/۰۳۲	۰/۰۲۵	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۳۷
مجموع	۹۴/۷۸۴	۹۵/۵۵۴	۹۵/۷۵۳	۹۵/۴۴۹	۹۵/۱۷۸	۹۴/۷۹۰
کاتیون‌ها						
Si	۲/۷۵۴	۲/۸۳۱	۲/۸۱۹	۲/۷۷۰	۲/۷۶۳	۲/۷۸۳
Ti	۰/۱۸۰	۰/۱۷۷	۰/۱۵۱	۰/۱۷۹	۰/۱۶۹	۰/۱۳۲
Al	۱/۳۹۰	۱/۳۲۲	۱/۳۷۰	۱/۳۷۹	۱/۳۹۸	۱/۴۳۵
Cr	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
Fe <sup>2+</sup>	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
Fe <sup>3+</sup>	۰/۸۸۶	۱/۱۱۴	۱/۱۱۷	۱/۱۸۸	۱/۱۸۹	۱/۱۴۹
Mn	۰/۰۱۱	۰/۰۲۷	۰/۰۲۲	۰/۰۲۱	۰/۰۲۰	۰/۰۲۱
Mg	۷/۶۶۶	۱/۳۷۴	۱/۳۹۴	۱/۳۴۳	۱/۳۵۳	۱/۳۷۸
Ca	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳
Na	۰/۰۵۱	۰/۰۳۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۷	۰/۰۴۶	۰/۰۴۰
K	۰/۹۰۳	۰/۸۹۱	۰/۸۹۸	۰/۹۱۰	۰/۹۰۵	۰/۸۹۰
Ni	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲
مجموع	۷/۸۴۷	۷/۷۸۴	۷/۸۱۶	۷/۸۳۹	۷/۸۴۴	۷/۸۳۴



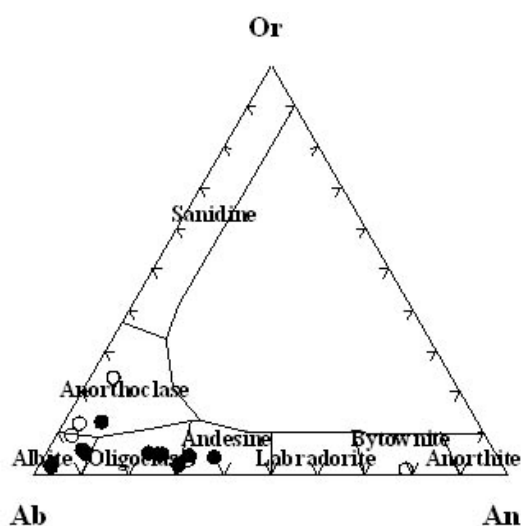
شکل ۲: نمودار تقسیم‌بندی آمفیبول‌های کلسیک [12]، نمونه‌های مورد آنالیز در محدوده منیزوهایستینگسیت قرار دارند (دوایر توپر مربوط به نمونه‌های درون سنگ‌های آتشفشانی و دوایر توخالی مربوط به نمونه‌های درون انکلاو ها می‌باشد).



شکل ۳: نمودار تقسیم پیروکسن‌ها [13] و موقعیت کلینوپیروکسن‌های مورد آنالیز



شکل ۴: ترکیب بیوتیت‌های سنگ‌های آتشفشانی (دوایر توپر) و انکلاوهای آنها (دوایر توخالی) [14].



شکل ۵ نمودار تقسیم‌بندی فلدسپات‌ها [14] و موقعیت فلدسپات‌های مورد آنالیز در سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه (دوایر توپر) و در انورهاوهای همراه (دوایر توخالی).



پوسته و شتاب گرانی زمین ثابت فرض گردد ( $m/s^2$ ) (۹/۸۱) عمق اتاق ماگمایی مولد این سنگ های آتشفشانی در حدود ۳۰ کیلومتری می باشد. بر اساس مطالعات گرانی سنجی که توسط [17] انجام گرفته است، ضخامت پوسته در محدوده مورد مطالعه در حدود ۴۰-۳۵ کیلومتر می باشد. بر اساس مطالب فوق، می توان نتیجه گرفت که اتاق ماگمایی برای نمونه های معلی و عشین در پوسته زیرین قرار داشته است و ماگمای به سطح رسیده مسافت طولانی را طی نموده است.

#### ژئوشیمی

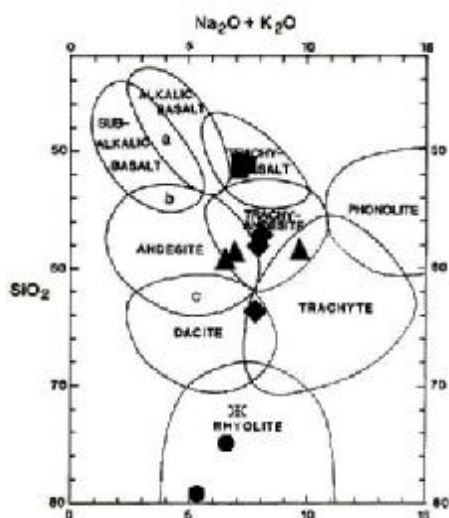
۱۲ نمونه از سنگ های آتشفشانی از رخنمون های مختلف، به روش فعال سازی نوترونی دستگامی (I.N.A.A) در مرکز تحقیقات و تولید سوخت هسته ای اصفهان آنالیز گردیدند. محل های نمونه برداری در جدول ۴ مشخص شده، نتایج آنالیز شیمیایی نمونه ها نیز در جدول ۵ آورده شده است. در شکل ۶ تقسیم بندی و نام گذاری سنگ های مورد مطالعه بر اساس روش Middlemost [18] آورده شده است. همان طور که در شکل نیز مشخص است نمونه ها دو ترکیب عمده را نشان می دهند. یکی نمونه های اسیدی با ترکیب ریولیتی و دیگری سایر نمونه ها با ترکیب تراکی آندزیت و تراکی بازالت.

محاسبات ترمومتری بر اساس زوج فنوکریست های در تعادل آمفیبول - پلاژیوکلاز و با استفاده از کالیبراسیون [15] دمای تبلور این فنوکریست ها را ۸۳۵ تا ۹۲۵ درجه سانتی گراد نشان می دهد. محاسبات بارومتری بر مبنای محتوای آلومینیوم موجود در فنوکریست های آمفیبول بر اساس روش ارایه شده توسط [16] فشار حاکم در زمان تبلور آنها را ۶/۱۹ تا ۸/۶۲ کیلو بار نشان می دهد. بر اساس فشار محاسبه شده، می توان عمق جایگیری ماگما قبل از صعود را تخمین زد. فرض اساسی برای محاسبه عمق جایگیری ماگما در داخل پوسته این است که تبلور آمفیبول ها، که در اینجا مبنای بارومتری هستند، در زمان اقامت ماگما در اتاق ماگمایی صورت گرفته است (یا حداقل بخشی از آنها در زمان اقامت ماگما متبلور شده اند).

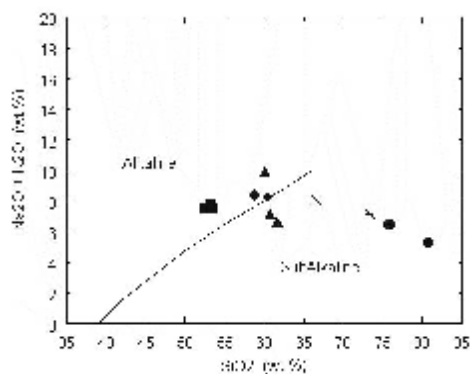
با فرض این که فشار حاکم در زمان تبلور فنوکریست های آمفیبول فشار همه جانبه لیتواستاتیک، ناشی از وزن سنگ های فوقانی بوده، با استفاده از رابطه  $P = \rho \cdot h \cdot g$  می توان عمق (h) را محاسبه نمود. البته فشارهای تکتونیکی نیز تاثیر گذار هستند، با فرض این که اهمیت و اثر آنها در قیاس با فشار لیتواستاتیک ناچیز است، می توان از آن صرف نظر نمود. چگالی (p) سنگ های تشکیل دهنده پوسته قاره ای در حدود  $gr/cm^3$  ۲/۷ می باشد. اگر از افزایش چگالی سنگ ها نسبت به عمق و همچنین کاهش شتاب گرانی با افزایش عمق صرف نظر شود و با تقریب مناسبی چگالی سنگ های

جدول ۴: راهنمای نشانه ها

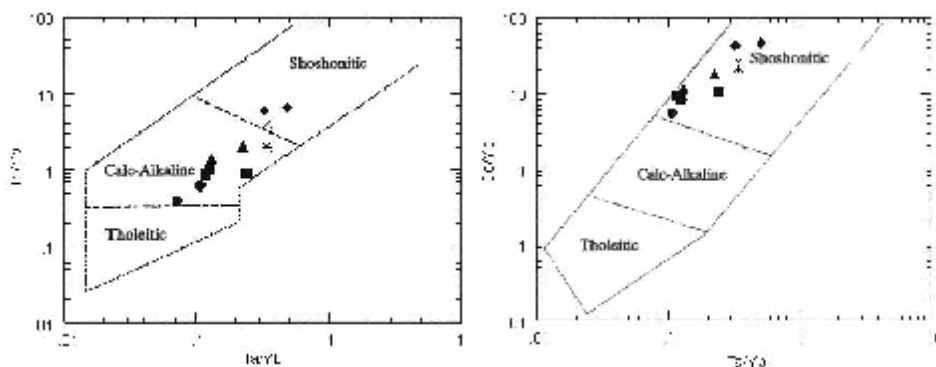
چاه گربه	درختک	سرخشاد	سفی آباد	معلی	عشین	محل نمونه برداری
X	Ж	●	▲	◆	■	نشانه



شکل ۶: نمودار تقسیم‌بندی سنگ‌های آتشفشانی منطقه انارک بر اساس مجموع آلکالی در مقابل سیلیس (Middlemost, 1985)



شکل ۷: نمودار تاس (Total Alkali versus Silica = TAS) [19]



شکل ۸: نمودار تفکیک سنگ‌های آذرین تولییتی، کالک آلکان و شوشونیت‌ها با استفاده از نسبت‌های  $Th/Yb$ ,  $Ta/Yb$  و  $Ce/Yb$  [20]

جدول ۵: نتایج آنالیز شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن شمال انارک

Sample	X31	X25	X22	X7	43	80	81	146	147	150	303	401
Symbol	■	●	■	■	●	+	+	▲	▲	▲	X	Ж
SiO <sub>2</sub>	50.73	79.92	51.35	51.23	74.72	57.91	57.11	59.38	58.99	58.85	63.94	72.38
TiO <sub>2</sub>	0.38	0.22	0.92	1.20	0.33	0.78	1.12	0.53	0.38	0.40	0.35	0.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.44	9.56	16.35	15.67	11.96	15.38	16.39	18.16	18.07	18.60	15.82	14.08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.98	0.50	2.81	2.69	0.60	1.38	1.54	1.52	1.33	1.67	1.23	0.57
FeO	8.52	1.01	8.02	7.69	1.21	3.44	3.86	3.80	3.34	4.18	2.47	1.13
MnO	0.18	0.06	0.17	0.17	0.03	0.11	0.10	0.16	0.17	0.18	0.08	0.02
MgO	4.70	0.94	5.05	5.20	1.63	3.76	3.98	1.98	3.00	2.40	1.66	2.90
CaO	5.26	1.33	4.43	5.22	1.65	5.07	4.83	4.39	4.80	1.88	2.78	0.49
Na <sub>2</sub> O	4.51	5.03	4.85	4.87	6.15	3.56	4.18	4.72	4.88	8.29	4.22	7.06
K <sub>2</sub> O	2.71	0.28	2.40	2.60	0.24	4.36	3.99	1.66	2.05	1.47	3.57	0.01
LOI	2.73	1.06	2.86	2.70	1.35	3.90	2.52	3.31	2.66	1.66	3.64	1.12
Cr	25	2	24	16	8	40	38	117	48	133	194	580
Ni	90	5	90	90	50	70	60	97	47	125	111	331
Co	34	2	32	31	5	19	21	9	7	8	9	8
Sc	24	9	23	22	10	12	13	8	8	6	8	4
V	251	5	241	242	42	142	138	68	64	77	69	17
Zn	130	43	63	102	35	68	86	93	81	86	38	25
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	4.00	4.00	0.30	0.35	0.50	0.40	0.10
In	0.28	0.24	0.21	0.21	0.50	0.80	0.80	0.60	0.60	0.70	0.20	0.50
Sn	150.00	100.00	150.00	160.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	70.00	50.00
W	6.00	7.00	6.00	6.00	7.00	3.00	2.00	1.60	1.50	2.50	1.30	6.57
Mo	2.00	2.00	3.00	5.00	1.00	1.00	2.85	5.21	2.41	4.98	4.76	16.38
As	3.00	59.00	3.00	3.00	6.98	8.44	1.50	1.24	1.64	6.65	2.06	11.00
Sb	0.25	0.62	0.25	0.50	0.16	6.88	0.13	0.43	0.24	0.98	0.37	2.70
Ag	3.0	2.8	3.0	3.0	1.0	2.0	1.5	1.0	2.0	1.0	1.2	1.0
Hg	0.9	0.6	0.8	0.8	0.4	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	1.0
Pb	63	7	63	66	10	123	110	54	43	26	91	12
Cs	2.10	1.25	2.00	2.23	0.30	5.66	1.48	2.29	2.38	0.35	6.11	0.25
Ba	408	758	324	312	0	769	898	2700	1500	750	693	160
Sr	962	90	1100	751	150	764	691	792	706	399	856	212
Ga	16	25	15	14	22	12	25	18	20	25	15	10
Ta	0.91	0.37	0.47	0.45	0.30	0.86	0.76	0.55	0.33	0.36	0.75	0.12
Hf	4.21	3.35	4.33	4.10	3.08	5.66	5.90	2.58	2.88	2.69	6.43	2.07
Zr	350	210	330	340	50	70	60	50	50	65	164	78
Th	3.39	1.31	3.58	3.58	1.74	11.60	13.74	4.94	3.46	3.89	8.82	0.70
U	0.70	0.60	0.70	1.70	0.00	3.85	3.05	1.06	0.56	0.90	2.16	0.60
La	14.00	6.75	15.09	13.36	4.96	38.68	52.11	26.29	15.93	10.57	32.00	2.58
Ce	38.33	13.00	38.14	30.91	15.14	80.50	98.01	43.72	28.94	24.86	57.78	7.36
Nd	17.62	0.00	14.31	13.70	0.00	17.00	36.06	34.65	27.00	35.00	30.00	0.00
Sm	3.73	0.00	3.78	3.77	1.95	4.95	6.00	3.07	2.57	3.00	4.78	0.93
Eu	1.48	0.70	1.43	1.51	0.60	1.65	1.79	1.06	0.93	0.98	1.26	0.34
Gd	7.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tb	0.98	1.01	0.98	1.10	0.75	0.88	0.87	0.70	0.96	0.80	0.55	0.22
Dy	4.58	5.22	4.35	4.12	3.57	4.25	3.83	2.68	3.35	3.83	2.66	0.00
Ho	1.15	1.25	1.10	1.25	1.20	1.00	1.20	0.31	0.00	0.00	0.80	0.17
Tm	0.00	0.57	0.31	0.47	0.41	0.57	0.52	0.62	0.58	0.56	1.12	0.00
Yb	3.77	5.22	4.05	3.60	2.80	1.75	2.32	2.44	2.53	2.77	2.18	0.35
Lu	0.69	0.92	0.70	0.66	0.39	0.38	0.44	0.50	0.50	0.46	0.20	0.06

خاکی سبک نسبت به انواع سنگین تر در ماگمای مولد سنگ‌های آتشفشانی شمال انارک سازگارتر بوده است. عناصر نادر خاکی سبک نسبت به پوسته تهی شدگی داشته ولی نسبت به کندریت و گوشته غنی شدگی نشان می‌دهند. این ویژگی‌ها نشان می‌دهد که ماگما از ذوب بخشی گوشته حاصل شده است، نه پوسته، چراکه ماگمای حاصل از ذوب بخشی، از عناصر ناسازگار غنی می‌شود یعنی غنی شدگی این عناصر در ماگمای حاصل از ذوب بخشی سنگ والد بیشتر از خود سنگ والد است.

از روی نمودارهای عناصر نادر خاکی که نسبت به کندریت یا گوشته نرمالیزه شده اند می‌توان تا حدودی سری‌های ماگمایی را مشخص نمود. در این نمودارها سری‌های آلکالن، کالک آلکالن و شوشونیتی سیر نزولی دارند.

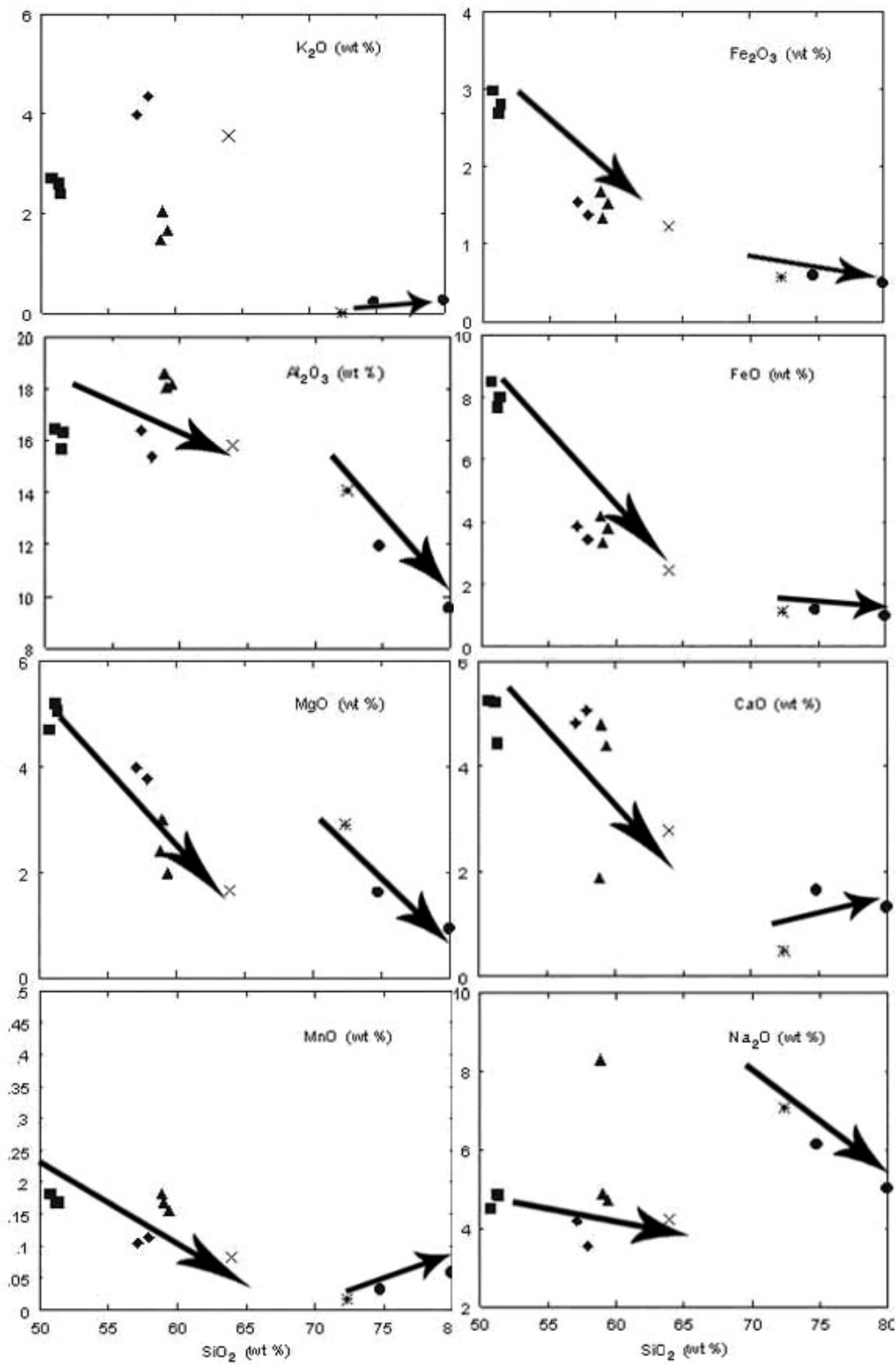
در حالی که سری‌های تولییتی حالت مسطح تا کمی صعودی نشان می‌دهند. بر این اساس، نمونه‌ها روندی مشابه با دسته اول را نشان می‌دهند. در این نمودارها از آنجایی که نمونه‌های اسیدی نسبت نمونه‌های بازیک تر از LREE کمتری برخوردارند می‌توان اظهار نمود که مربوط به یک سری ماگمایی مجزایی هستند. چراکه در یک سری ماگمایی، ترم‌های اسیدی باید از LREE بیشتری نسبت به ترم‌های بازیک برخوردار باشند.

بر اساس نمودار TAS که در شکل ۷ آورده شده است می‌توان دو سری ماگمایی مجزا را از هم تفکیک نمود. بر روی نمودارهای تفکیک سری‌های کالک آلکالن، شوشونیتی و تولییتی (شکل ۸) نمونه‌ها به سری شوشونیتی تمایل نشان می‌دهند. نا هماهنگی نمونه بر روی این دو نمودار، نتیجه اثر اختلاط و آلیش ماگمایی است. این نمودارها نشان می‌دهند که سنگ‌های متعلق به سری شوشونیتی از عناصر Ta, Th و Ce غنی هستند، این غنی شدگی نشان دهنده اشتقاق آنها از یک سنگ منشا غنی شده است.

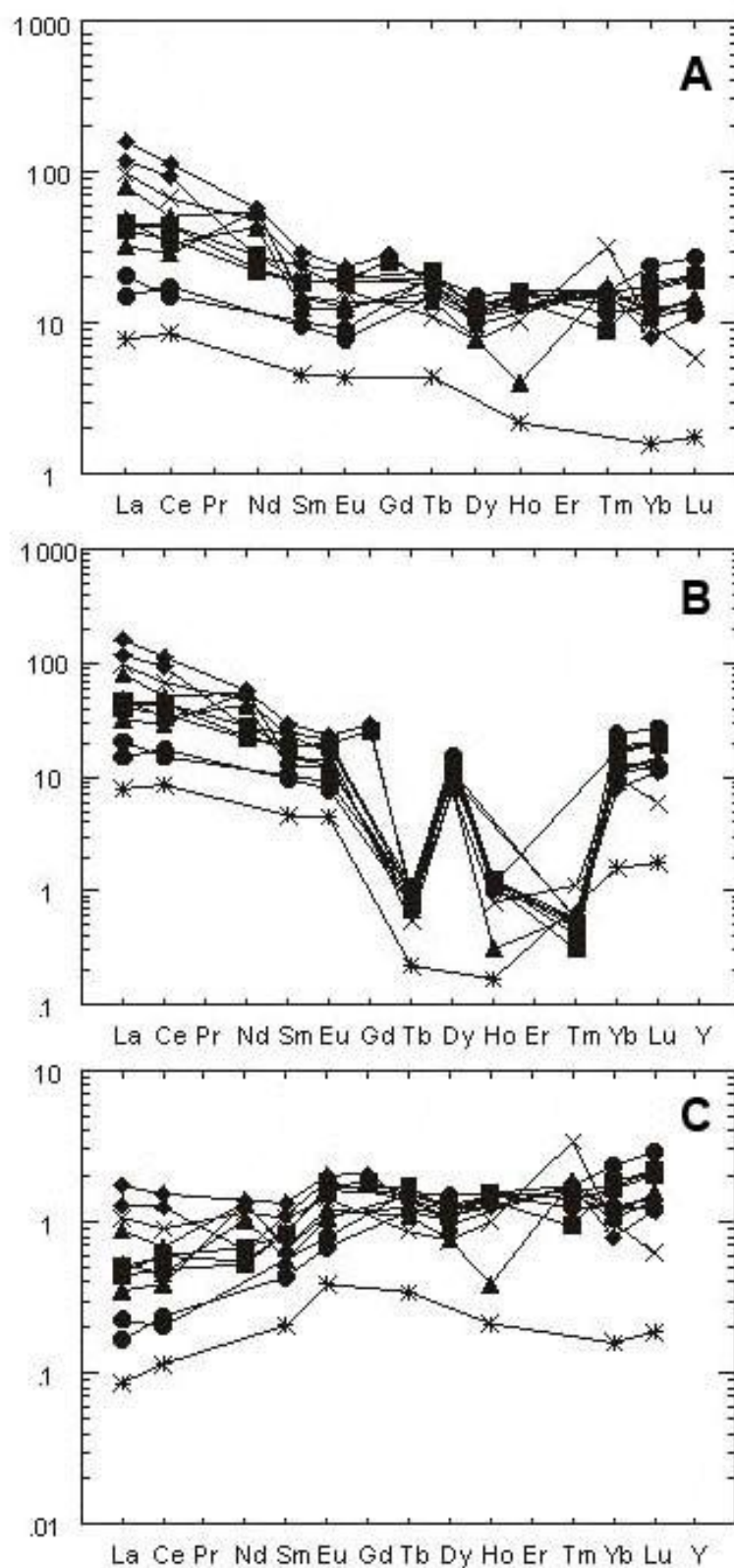
## بحث

بر روی نمودارهای هارکر (شکل ۹) می‌توان دو روند تکامل مختلف را برای سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه تشخیص داد. یکی روندی که سنگ‌های بازیک تا حد واسط نشان می‌دهند (نمونه‌های عشین، معلی و سفی آباد) و دیگری روندی که نمونه‌های اسیدی نشان می‌دهند (نمونه‌های سرخشاد و درختک). این دو روند خطی که در برخی نمودارهای هارکر مشخص است دال بر دو روند تکامل متمایز می‌باشد.

نمودارهای عناصر نادر خاکی که نسبت به گوشته اولیه [21]، کندریت [22] و پوسته [23] نرمالیزه شده اند در شکل ۱۰ آورده شده اند. با توجه به روند نمونه‌ها روی این نمودارها، می‌توان دریافت که عناصر نادر



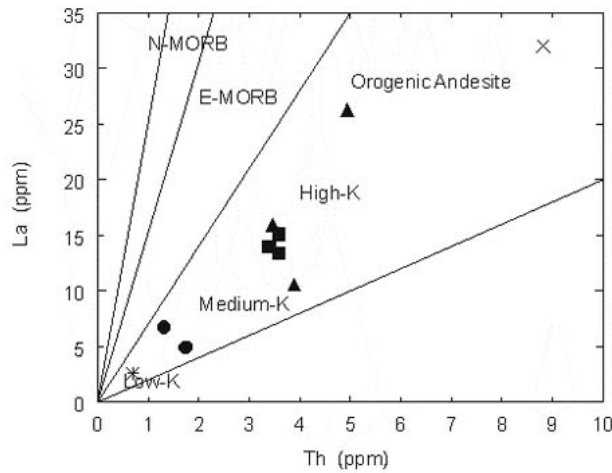
شکل ۹ نمودارهای هارکر (۱۹۰۹) برای اکسیدهای اصلی



شکل ۱۰ نمودار عنکبوتی عناصر نادر خاکی نرمالیز شده با گوشته اولیه (A)، نرمالیز شده با کندریت (B) و نرمالیز شده با پوسته (C).

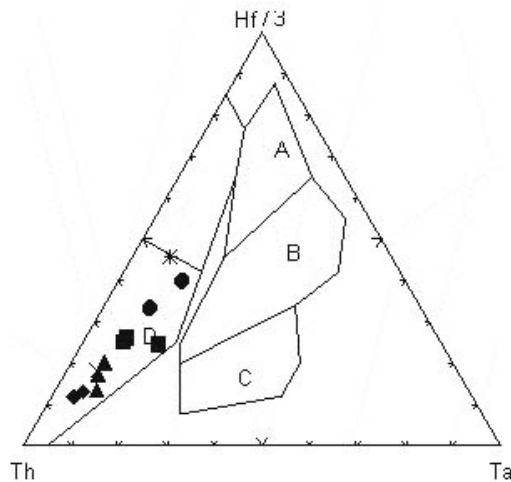
کوهزایی و برخوردزاد را برای نمونه‌ها نشان می‌دهند (شکل‌های ۱۱ و ۱۲).

به منظور تعیین موقعیت تکتونیکی، از نمودارهای [24] و [25] استفاده گردید. این نمودارها ماهیت



شکل ۱۱ نمودار تفکیک آندزیت های کوهزایی از انواع غیر کوهزایی و طبقه بندی آنها

بر اساس محتوای Th و La [24]



شکل ۱۲ تعیین موقعیت تکتونیکی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن شمال انارک [25].

**D: Destructive Margins, C: Within Plate basalt, B: EMORB, A: NMORB**

### نتیجه گیری

ویژگی های سری های انتقالی را دارا می باشند و تمایل به سری شوشونیتی را نشان می دهند. نا هماهنگی و تغییرات زیاد در غلظت برخی عناصر نظیر K, Ce, Th و Ta نقش آرایش و اختلاط ماگمایی را در تکامل ولکانیسم ائوسن در شمال منطقه انارک مشخص می

کند. این دو نوع سری ماگمایی متمایز مشخص می‌شود. این دو سری روی نمودارهای هارکر و عنکبوتی قابل تمایز هستند. بر اساس نمودارهای تفکیک سری‌های ماگمایی، این سریها،

- 11- D.S., Barker Igneous rocks, Englewood cliffs, New jersey, 415; (1983).
- 12- B.E., Leake, A.R., Woolley, C.E.S. Arps, W.D., Birch and et al., Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names, Can. Mineral. Vol.35 219-237; (1997).
- 13- N., Morimoto Nomenclature of pyroxenes, Can. Mineral. Vol.27 143-156; (1989).
- 14- W.A., Deer, R.A., Howie and J., Zussman An Introduction to the Rock Forming Minerals, Longman and Scientific Technical, New York 528; (1966).
- 15- T., Holland and J., Blundy Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole – plagioclase thermometry. Contrib. Mineral. Petrol., Vol.116, 433–447; (1994).
- 16- M.W., Schmidt Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. Contrib. Mineral. Petrol. Vol.110 304-310; (1992).
- 17- G.A., Dehghani and J., Makris The gravity field and crustal structure of Iran, Geol. Surv. Iran, Vol.51, 51-68; (1983).
- 18- Middlemost E.A.K., Magmas and magmatic rocks, Longman, London, (1985) 266.
- 19- T.N., Irvine and W.R.A., Barager A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, Can. Jour. Earth Sci., Vol.8 523-548; (1971).
- 20- D., Muller and D.I., Groves Potassic igneous and associated gold-copper mineralization, Springer, 241; (1977).
- 21- S.S., Sun Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle, Geochim. Cosmoch. Acta. Vol.46 179-192; (1982).
- 22- N., Nakamura Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites, Geochim. Cosmochim. Acta, Vol.38 757-775; (1974).
- 23- S.R., Taylor and S.M., McLennan The composition and evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks. Phil. Trans. R. Soc. Vol.301 381-399; (1981).
- 24- Gill J.B., Orogenic andesites and plate tectonics, Springer-Verlag, Berlin, (1981) 389p.
- 25- D.A., Wood The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province, Earth and Planetary Science Letters, Vol.50 11-30; (1980).

نماید. علت رخداد ولکانیسم ائوسن در شمال منطقه انارک را می توان به فرورانش نئوتتیس و ادامه برخورد قاره ای در زمان ائوسن نسبت داد. بر اساس روند عناصر نادر خاکی، منشا ماگما ذوب بخشی گوشته فوقانی می باشد. شواهد پتروگرافی آمفیبولیت را به عنوان سنگ منشا احتمالی ماگما معرفی می نماید.

## منابع

- ۱- ترابی ق.، پترولوژی افیولیت های منطقه انارک (شمال شرق استان اصفهان)، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۳) ۲۴۰.
- ۲- نبوی م.ح.، دیباچه ای بر زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی، (۱۳۵۵) ۱۰۹.
- ۳- آقائباتی ع.، زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۳) ۵۸۶.
- 4- D., Reyer and S., Mohafez The first contribution of the NIOC-ERAP agreements to knowledge of Iranian geology, Edition techniq, Paris, 58; (1972).
- 5- G.T.R., Droop A general equation for estimating Fe<sup>3+</sup> concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria, Min. Mag. Vol.51 431-435; (1987).
- 6- E.A.K., Middlemost Iron oxidation ratios. norms and the classification of volcanic rocks, Chemical Geology, Vol.77 19-26; (1989).
- 7- J., Stocklin and M.H., Nabavi Tectonic map of Iran, Geol. Surv. Iran; (1973).
- 8- Technoexport, , Geology of the Anarak area (Central Iran), Geological Survey of Iran, report TE/NO. Vol.21 136; (1984).
- 9- M., Mashima Time scale of magma mixing between basalt and dacite estimated for the Saga-Futagoyama volcanic rocks in northwest Kyushu, southwest Japan, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol.131 333-349; (2004).
- 10- G., Lofgren An experimental study of plagioclase crystal morphology, American journal of science, Vol.274 243-273; (1974).