

## شواهد کانی‌شناسی پدیده اختلاط ماگمایی در سنگ‌های آتشفشانی گنبد سورک غرب استان یزد

شهرزاد شرافت\*، ایرج نوربهبشت\*\* و محمود خلیلی\*\*

\* دانشجوی دکتری زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان

\*\* گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان

### چکیده

گنبد بزرگ سورک بخشی از سنگ‌های پلیوکواترنر نوار ماگمایی ارومیه - دختر ایران مرکزی است که در غرب استان یزد قرار دارد. گنبد مزبور در منطقه با مورفولوژی برجسته رخنمون دارد. این گنبد از سنگ‌های ولکانیک و پیروکلاستیک تشکیل شده است. پختگی کنگلومرای نئوزن پیشین توسط این گنبد، تعلق آن را به پلیوکواترنر ثابت می‌کند. عمده سنگ‌های این توده ولکانیک از جنس ریولیت و داسیت می‌باشند. این سنگ‌های پیروکلاستیک دارای آنکلاوهای تیره رنگ و گرد شده‌اند. حضور پلاژیوکلازهای گرد شده، غبارآلود، تحلیل رفته و غربالی با نوسانات ترکیبی شدید، رشد فلدسپات جدید در حاشیه پلاژیوکلازهای غربالی و گردشگی واضح کوارتزا در این سنگ‌ها، به عنوان شواهد پدیده اختلاط ماگمایی در نظر گرفته می‌شود. اوپاسیتی شدن بیوتیت‌ها و آمفیبول‌ها نشان از بالا بودن فوگاسیته اکسیژن و فشار بخار آب در زمان تشکیل سنگ دارد. بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی، سرشت ماگمای سازنده این سنگ‌ها اسیدی، کالکوالکالن و اشباع از آلومین است.

واژه‌های کلیدی: نوار ماگمایی ارومیه - دختر، آنکلاو، اختلاط ماگمایی، بافت غربالی.

### Mineralogical Evidence for Magma Mingling in Surk Dome Volcanic Rocks (West of Yazd Province)

**Sh. Sherafat\*, I. Nour Behesht\*\* and M. Khalili\*\***  
**\* Ph.D student the University of Isfahan**  
**\*\* Geology Department, the University of Isfahan**

**Abstract**

The surk huge dome is a part of Plio-Quaternary Uromieh-Dokhtar Magmatic Belt lying in the west of Yazd province. The studied dome is exposed as an high elevated morphology. It consists of volcanic and pyroclastic rocks. Thermal metamorphism of Neogene conglomerate by the dome proved that the dome belongs to the Plio-Quaternary period. The lithology of the Surk dome is mainly dacite and rhyolite. The studied pyroclastic rocks have dark and rounded enclaves. The presence of rounded, dusty, absorbed and sieved plagioclases with abruptly zoning, new feldspar growth around the sieved plagioclase and rounded quartz in these rocks can be taken as evidences of magma mingling event. Opacitization of biotite and hornblende show that PH<sub>2</sub>O and fO<sub>2</sub> during rock formation were high. Based on geochemical data, the parent magma is mainly acidic, calc-alkaline and metaluminous in nature.

**Keywords:** Uromieh-Dokhtar Magmatic Belt, Enclaves, Magma mixing, Sieved texture.

**مقدمه**

ولکانیک متاثر شده و تعلق این سنگها به زمان پلیوکواترنر را نشان می دهد. گنبد سورک حاصل تزریق مداوم فورانهای ولکانیک و پیروکلاستیک در چندین مرحله است.

در این گنبد انواع سنگهای ولکانیک شامل برش پایه و جریانهای گدازه مشاهده می شود. سنگهای گنبد سورک از جنس داسیت و ریوداسیت بوده و عمده کانیهای غالب آن پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت، کوارتز و سانیدین می باشند.

کانیهای سنگهای آتشفشانی می توانند حوادث صورت گرفته ضمن تبلور سنگ را منعکس کنند. در سنگهای گنبد سورک، شواهد متعدد اختلاط ماگمایی در کانیهای پلاژیوکلاز و کوارتز ثبت شده اند. این شواهد کانی شناختی شامل وجود بافت غربالی، رشد حاشیه های نوظهور، تحلیل رفتگی و گرد شدگی، نوسانات شدید ترکیبی و وجود حاشیه غبارآلود در

اغلب نواحی ایران در زمان سنوزوئیک میزبان فعالیت آتشفشانی شدیدی بوده که نتیجه تاثیر ماگمازایی فرورانش حاشیه قاره ای است. در ایران مرکزی این فعالیت بصورت رشته کوههایی از آذربایجان (سهند و سبلان) تا بزمان و تفتان در بلوچستان ادامه دارد و به نام کمر بند آتشفشانی ارومیه - دختر مشهور است (خسروتهرانی، ۱۳۸۴). بخشی از این سنگها بصورت گنبد های ولکانیک و انواع دیگر سنگ های آتشفشانی در محدوده غرب و جنوب غرب استان یزد برونزد دارد (سلطانی رفیعی، ۱۳۷۶).

یکی از بزرگترین و مهمترین آنها گنبد سورک به سن پلیوکواترنر است که نشانگر تداوم فعالیت های زمین ساختی دوران سنوزوئیک تا این زمان می باشد. رسوبات کنگلومرای نئوژن پیشین در محل تماس با این توده

و در راستای گسل ناین - سورک بیرونزد دارد (شرافت، ۱۳۷۶). این باریکه افیولیتی مخلوط درهمی از سنگ‌های اولترابازیک، بازیک، رادیولاریت و آهکهای پلاژیک است. پس از آن گدازه‌های ریولیتی تا آندزیتی و سنگ‌های آذرآواری به سن ائوسن زیرین می‌باشند که در قسمت‌های غربی گنبد و بندرت در تماس مستقیم با آن قرار دارند. عمده سنگ‌هایی که در مجاورت مستقیم با سنگ‌های گنبد سورک قرار گرفته اند ماسه سنگ، مارن ماسه ای و کنگلومرا به سن نئوژن پیشین است که در نتیجه مجاورت با توده متاثر شده اند و آثار پختگی آنها بوضوح قابل مشاهده است.

کنگلومرای نئوژن بالایی در فواصل دورتر از گنبد قرار دارند. کنگلومرای نئوژن پسین با سخت شدگی کم و لایه بندی ضعیف روی کنگلومرا و ماسه سنگ نئوژن پیشین قرار دارد. جنبش‌های تکتونیکی پس از نئوژن پیشین موجب بالا آمدن ماگمایی شده که درون ولکانیکهای پالئوسن و کنگلومرای نئوژن پیشین بصورت گنبد (گنبد سورک) نفوذ کرده است (عمیدی، ۱۹۸۹).

بر پایه شواهد صحرایی موجود در منطقه سورک (وجود آثار پختگی روی رسوبات کنگلومرایی نئوژن پیشین در تماس مستقیم با سنگ‌های ولکانیک)، تعلق این سنگها به پلیوکواترنه محرز است. مخروط افکنه‌های آبرفتی، دشت‌های سیلابی و پادگانه‌های جوان متعلق به کواترنه بویژه در شرق و شمال گنبد گسترش وسیعی دارند و جوانترین تشکیلات منطقه را بوجود آورده‌اند (تصویر ۱).

پلاژیوکلاز و تشکیل کوارتزهای گردشده با حواشی واکنشی، خلیج خوردگی و نیز تجمعات کوارتزهای جدا از زمینه می‌باشند.

### روش مطالعه

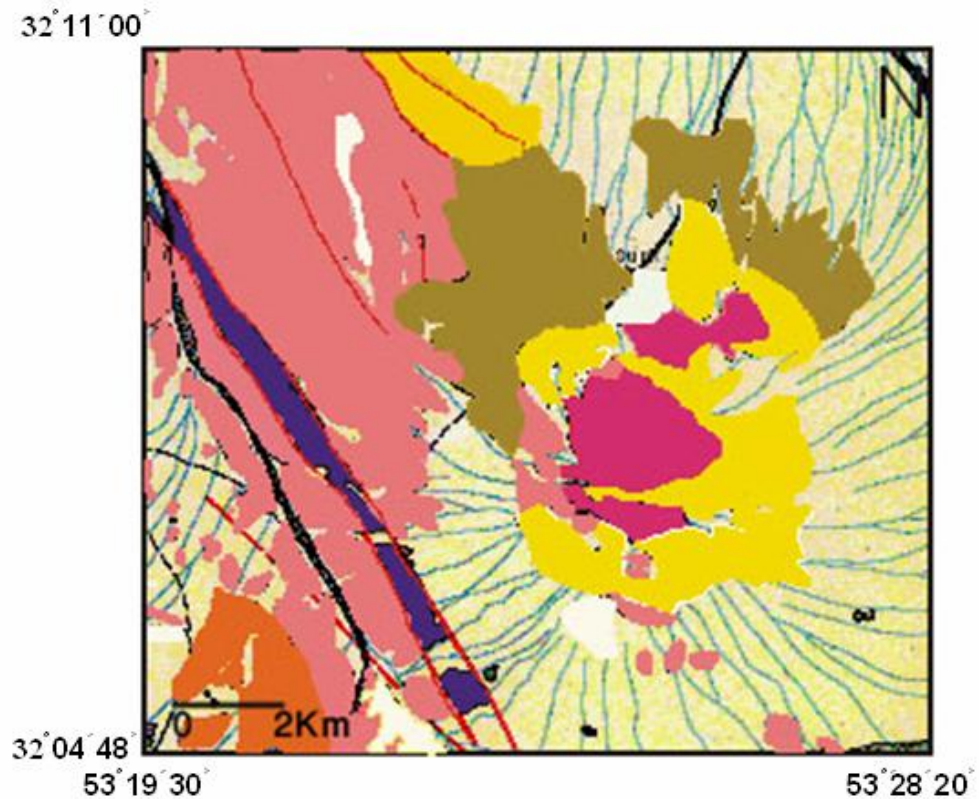
برای مطالعه سنگ‌های ولکانیک منطقه پس از مشخص شدن پراکندگی و روابط صحرایی موجود اقدام به نمونه برداریهای متعدد گردید. پس از مطالعات دقیق در مقیاس ماکروسکوپی، نمونه‌های متفاوت جهت تهیه مقاطع میکروسکوپی انتخاب شده و با مطالعه برش‌های نازک و مشاهده روابط و کانیهای نامتعادل، اقدام به آنالیز مایکروپروب کانیها شد.

آنالیز مایکروپروب نمونه‌ها در شرایط ۲۰ کیلوولت توسط دستگاه CAMECA SX50 در دانشگاه اوکلاهامای آمریکا انجام گرفت. آنالیزهای شیمیایی نمونه های سنگ کل ((Whole rock نیز توسط روش ICP-MS در کشور کانادا انجام شده است.

### زمین‌شناسی عمومی

منطقه سورک واقع در غرب استان یزد و شرق باتلاق گاوخونی از نظر تقسیمات زمین‌شناسی ایران، در زون ایران مرکزی قرار دارد. برای مطالعات زمین‌شناسی محدوده می‌توان از چهارگوش زمین‌شناسی سرو بالا (عمیدی، ۱۹۸۹) استفاده کرد.

قدیمی ترین سازندهای موجود در منطقه که در غرب گنبد سورک دیده می‌شود نوار باریک افیولیتی به سن مزوزوئیک است که در امتداد شمالغرب - جنوبشرق



- بادزن آبرفتی، دشت سیلابی - کواترنر
- کنگلومرا - نئوژن بالایی
- ریولیت گنبد سورک
- ماسه سنگ، مارن ماسه ای، کنگلومرا - نئوژن زیرین
- گدازه های آندزیتی و سنگهای آذرآواری - ائوسن بالایی
- گدازه های ریولیتی تا آندزیتی - ائوسن زیرین
- مجموعه افیولیتی شامل آهک، رادیولاریت، گابرو و پریدوتیت - کرتاسه

تصویر ۱: نقشه زمین شناسی ساده شده منطقه (اقتباس از چهارگوش سروبالا با تغییرات - عمیدی، ۱۹۸۹)

مختلف (تصویر ۲) را نشان می دهد. وجود درزه های انقباضی ناشی از سردشدگی اشکال منشوری را بوجود می آورد که بمقدار فراوان در منطقه مشاهده می شوند.

### پetroگرافی و شیمی کانی ها

وضعیت ظاهری گنبد سورک، تزریق مداوم فورانهای ولکانیک و پیروکلاستیک در مراحل

کوارتز و سانیدین است. در مقاطع میکروسکوپی، بیشتر نمونه‌ها دارای بافت هیالوپورفیری، میکرولیتی پورفیری، گلوپورفیری و فلسیتی هستند.

درشت بلورهای موجود در سنگ عبارتند از: پلاژیوکلاز، آمفیبول، بیوتیت، سانیدین و بمقدار کم کوارتز که در زمینه‌ای میکروکریستالین تا شیشه‌ای قرار گرفته‌اند.

فونوکریست غالب سنگ، پلاژیوکلاز است که مقدار مودال آن بین ۱۵ تا ۲۵٪ متغیر است. این کانی بصورت میکرولیت نیز در زمینه سنگ دیده می‌شود. میانگین ترکیب پلاژیوکلازهای موجود در سنگهای ولکانیک بیشتر در محدوده الیگوکلاز تا آندزین قرار می‌گیرد (ترکیب An 25-36 در مرکز و An 40-46 در حاشیه‌ها). درشت بلورهای پلاژیوکلاز عمدتاً به دو صورت دیده می‌شود:

الف- پلاژیوکلازهای شکلدار تا نیمه شکلدار، شفاف و گوشه دار

ب- بلورهای پلاژیوکلاز با بافتهای غربالی، حواشی غبارآلود و زوناسیون با تغییرات ترکیب شدید. گاهی بلور پلاژیوکلاز غربالی شده توسط فلدسپات جدید احاطه شده است (تصویر ۸). تغییر ترکیب بلور پلاژیوکلاز و زونینگ نوسانی آن به گونه‌ای شدید است که تفاوت درصد آنورتیت دو بخش مجاور هم در یک بلور تا ۱۶٪ می‌رسد (جدول ۱).

گاهی این درزه‌ها کاملاً انحدار هستند که این ویژگی نشاندهنده حرکت گنبد هنگام سرد شدن است (تصویر ۳).

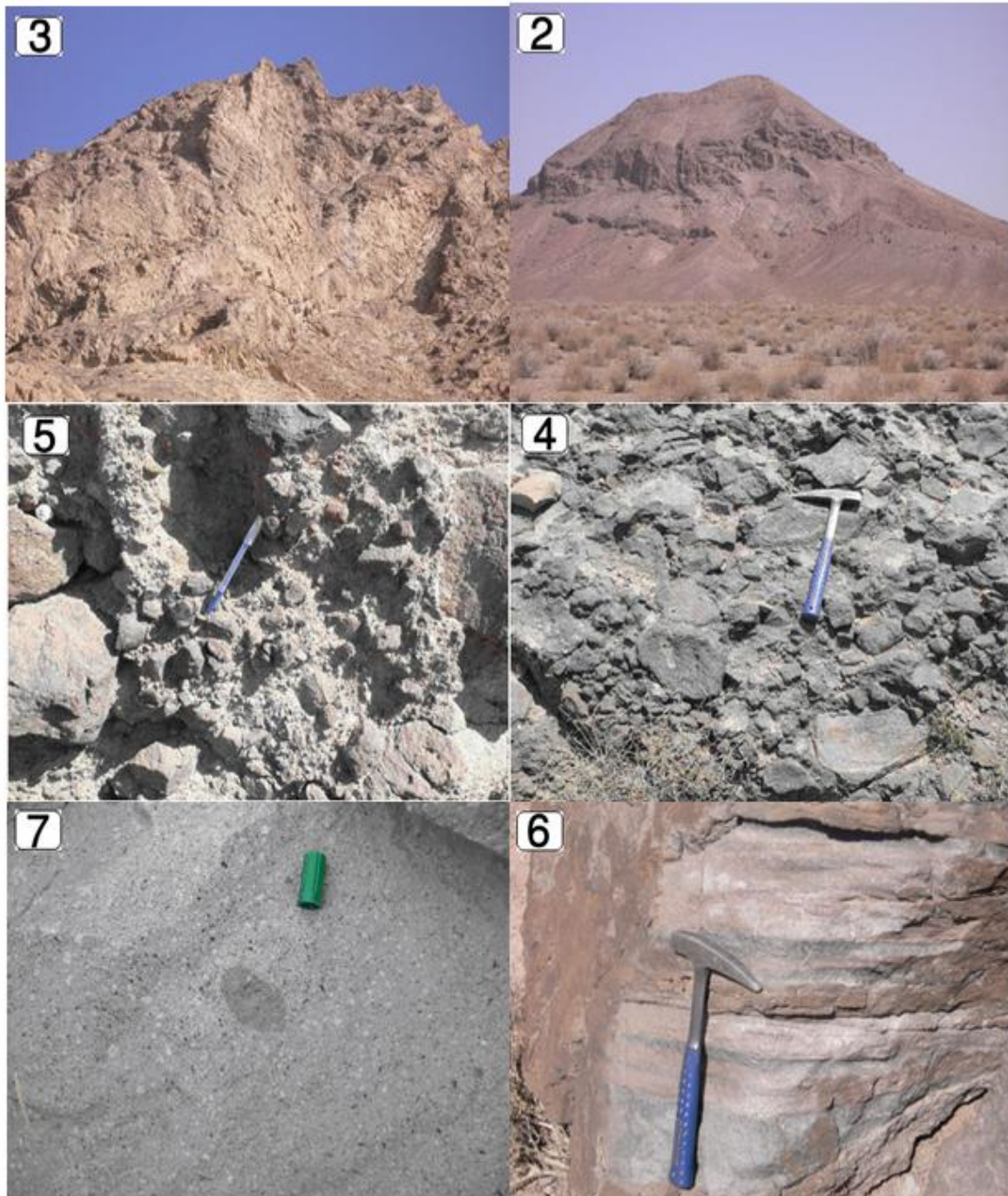
در بخش‌هایی از گنبد، برشهای پایه بخوبی توسعه یافته‌اند. علاوه بر آن پیروکلاستیت و گدازه نیز دیده می‌شود. برش‌های پایه (Basal breccia) که در بخشهای زیرین توده دیده می‌شوند دارای قطعات زاویه دار و سخت شده لیتیک هستند (تصویر ۴).

پیروکلاستیت‌ها با رنگ روشن از قطعات ریز و درشت بلور و قطعات لیتیک در زمینه‌ای شیشه‌ای تشکیل شده‌اند (تصویر ۵).

اندازه قطعات موجود در پیروکلاستیتها که گرد تا نیمه گرد، عمدتاً شیشه‌ای و گاهی تمام بلورین هستند، از ابعاد سانتی متر تا حد تک بلور متغیر است. تک بلورهای موجود در پیروکلاستیتها بیشتر شکسته شده و عمدتاً از جنس پلاژیوکلاز می‌باشند. گاهی در حاشیه گنبد، توده‌هایی با حالت نواری و تناوبی از رنگهای روشن و تیره (Flow banding) دیده می‌شود (تصویر ۶).

آن طور که از شواهد میکروسکوپی برمی‌آید بخشهای تیره تر واجد مقادیر زیادی شیشه می‌باشند. گدازه‌های سازنده این گنبد، دارای رنگهای خاکستری روشن تا تیره، ساخته‌های حفره‌ای و متراکم و در بعضی موارد قطعات انکلاو تیره و گرد می‌باشند (تصویر ۷).

جنس این گدازه‌ها بیشتر داسیت و ریولیت بوده و عمده کانیهای غالب آن پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت،



تصویر ۲: نمای عمومی گنبد سورک تصویر ۳: درزه‌های انحنادار و نحوه رشد گنبد.  
تصویر ۴: برش‌های پایه تصویر ۵: پیروکلاستیت‌ها.  
تصویر ۶: حالت نواری در سنگ **Flow Banding** . تصویر ۷: انکلاو تیره رنگ گرد.

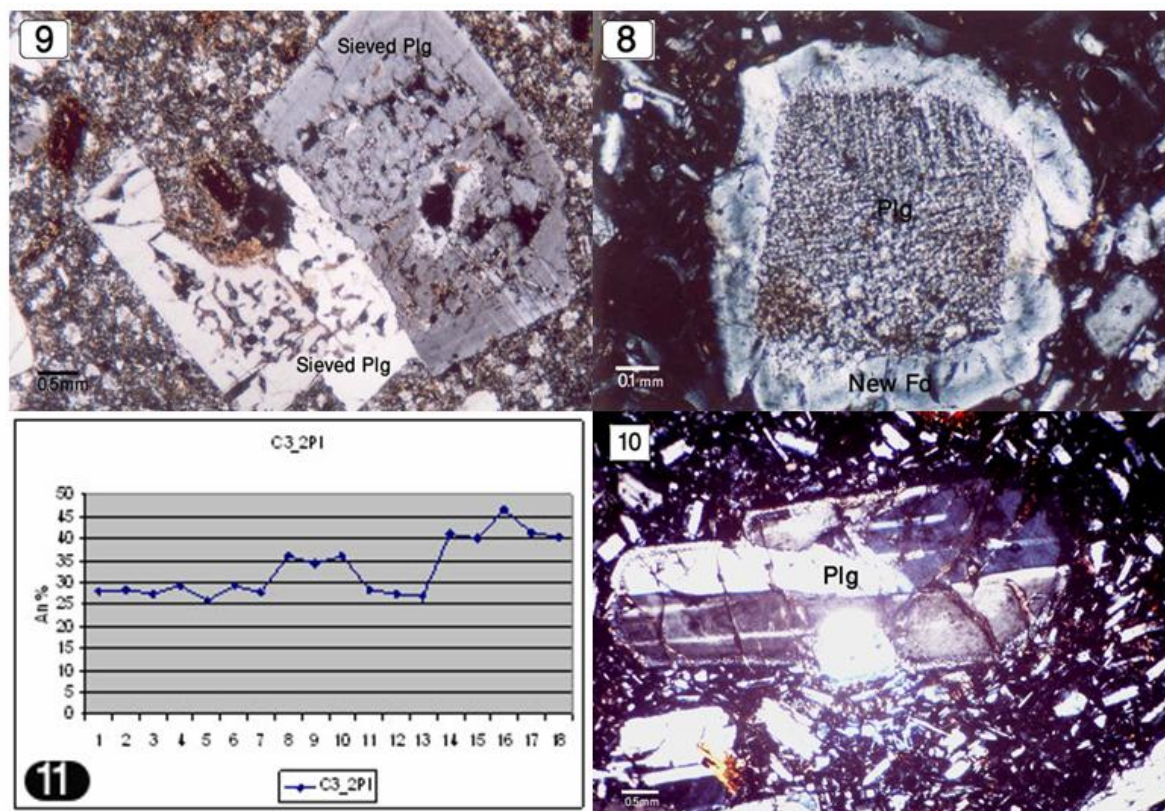


جدول ۱: آنالیز مایکروپروب یک نمونه کانی پلاژیوکلاز

شماره نقطه	C3-4PI-1 core	C3-4PI-2 core	C3-4PI-3 rim	C3-4PI-4 rim	C3-4PI-5 rim
SiO <sub>2</sub>	۶۰/۸۳	۶۱/۲۹	۵۶/۹۵	۵۶/۷۵	۵۶/۴۶
TiO <sub>2</sub>	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲۴/۲۰	۲۳/۹۷	۲۶/۸۲	۲۷/۰۶	۲۶/۹۶
FeO*	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۴۱
MnO	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳
MgO	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱
CaO	۵/۶۵	۵/۱۹	۸/۵۷	۸/۶۰	۸/۴۴
SrO	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۱۷
BaO	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۱۰
Na <sub>2</sub> O	۷/۷۲	۷/۷۵	۶/۴۲	۶/۳۸	۶/۵۵
K <sub>2</sub> O	۰/۹۷	۱/۲۴	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۲
Total	۹۹/۸۶	۹۹/۷۶	۹۹/۹۴	۱۰۰/۰۳	۹۹/۸۰
Ab%	۶۷/۲	۶۷/۸	۵۵/۷	۵۵/۵	۵۶/۵
Or%	۵/۶	۷/۲	۳/۲	۳/۱	۳/۰
An%	۲۷/۲	۲۵/۱	۴۱/۱	۴۱/۴	۴۰/۴

جدول شماره ۲: آنالیز مایکروپروب کانی پلاژیوکلاز (اصطلاح dpl برای اشاره به حاشیه غبارآلود است)

شماره نقطه	C3-2PI-1	C3-2PI-2	C3-2PI-3	C3-2PI-4	C3-2PI-5	C3-2PI-6	C3-2PI-7	C3-2PI-8	C3-2PI-9
SiO <sub>2</sub>	۵۹/۶۹	۶۰/۲۵	۶۰/۶۹	۵۹/۶۲	۶۰/۵۸*	۵۹/۸۵	۶۰/۷۵	۵۸/۱۹	۵۸/۲۰
TiO <sub>2</sub>	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲۶/۵۰	۲۶/۶۳*	۲۶/۶۶	۲۶/۵۵	۲۶/۶۱	۲۶/۸۰	۲۶/۴۵	۲۶/۱۹	۲۵/۸۸
FeO*	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۱
MnO	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰
MgO	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰
CaO	۵/۷۳	۵/۷۲	۵/۷۵	۵/۷۱	۵/۶۳	۵/۷۷	۵/۶۰	۵/۶۵	۵/۶۸
SrO	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۵
BaO	۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Na <sub>2</sub> O	۷/۷۵	۷/۷۸	۷/۸۰	۷/۷۶	۷/۶۳	۷/۷۶	۷/۶۹	۷/۶۱	۷/۵۸
K <sub>2</sub> O	۰/۵۶	۰/۵۸	۰/۶۱	۰/۶۳	۰/۶۶	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۵
Total	۹۹/۷۱	۱۰۰/۳۸	۱۰۰/۶۴	۹۹/۶۷	۹۹/۹۱	۹۹/۸۷	۱۰۰/۲۶	۹۹/۲۰	۹۹/۵۴
Ab%	۶۷/۰	۶۶/۵	۶۷/۲	۶۶/۳	۶۶/۷	۶۶/۵	۶۷/۰	۶۶/۴	۶۶/۱
Or%	۵/۶	۶/۵	۵/۳	۶/۳	۶/۳	۶/۶	۵/۶	۶/۵	۶/۴
An%	۲۷/۰	۲۷/۲	۲۷/۱	۲۷/۰	۲۷/۰	۲۷/۱	۲۷/۴	۲۷/۰	۲۷/۵
شماره نقطه	C3-2PI-10	C3-2PI-11	C3-2PI-12	C3-2PI-13	C3-dPI-4	C3-dPI-15	C3-dPI-16	C3-2PI-17	C3-dPI-18
SiO <sub>2</sub>	۵۸/۱۹	۶۰/۲۷	۶۰/۶۶	۶۱/۶*	۵۹/۶۱	۵۹/۶۳	۵۹/۴*	۵۸/۱۹	۵۹/۵۶
TiO <sub>2</sub>	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۴
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲۶/۱۳	۲۶/۶۱	۲۶/۶۵	۲۶/۶۱	۲۶/۵۱	۲۶/۶۳	۲۶/۷۵	۲۶/۶۳	۲۶/۶۷
FeO*	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۳۰	۰/۲۷	۰/۳۴
MnO	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳
MgO	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
CaO	۵/۶۱	۵/۶۷	۵/۶۶	۵/۶۳	۵/۶۶	۵/۶۸	۵/۶۵	۵/۶۵	۵/۶۰
SrO	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۵
BaO	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Na <sub>2</sub> O	۷/۶۵	۷/۶۱	۷/۶۶	۷/۶۰	۷/۵۶	۷/۵۰	۷/۶۷	۷/۶۴	۷/۶۰
K <sub>2</sub> O	۰/۵۵	۰/۶۲	۰/۶۵	۰/۶*	۰/۶۰	۰/۶۵	۰/۶۶	۰/۶۳	۰/۶۳
Total	۱۰۰/۲۶	۱۰۰/۶۱	۹۹/۶۳	۱۰۰/۰۴	۱۰۰/۱۰	۹۹/۶۹	۹۹/۶۲	۱۰۰/۱۰	۹۹/۸۵
Ab%	۶۶/۵	۶۶/۱	۶۶/۱	۶۶/۰	۶۶/۴	۶۶/۳	۶۶/۱	۶۶/۵	۶۶/۵
Or%	۶/۱	۶/۲	۶/۳	۵/۲	۶/۶	۶/۶	۶/۲	۶/۰	۶/۲
An%	۲۶/۰	۲۶/۵	۲۶/۴	۲۶/۴	۲۶/۰	۲۶/۰	۲۶/۵	۲۶/۵	۲۶/۲



تصویر ۸: پلاژیوکلاز غربالی با حاشیه جدید. تصویر ۹: بلورهای پلاژیوکلاز خورده شده. تصویر ۱۰: حاشیه غبارآلود پلاژیوکلاز تصویر ۱۱: دیاگرام درصد آنورتیت کانی پلاژیوکلاز (آنالیز میکروپروب جدول شماره ۲)

گذارند. وجود بافتهای غربالی و حاشیه های غبارآلود Dungan and Rhodes, 1978; Tsuchiyama, (1985)، حضور بلورهای پلاژیوکلاز گرد شده و خلیجی (Stimac and Pearce, 1992)، همراهی پلاژیوکلازهای عادی و غربالی در سنگ (Stimac and Pearce, 1992; Venzeky and Rutherford, 1997) و تفاوت شدید ترکیبی مرکز و حاشیه پلاژیوکلاز (Stamatopoulou-Seymour et al. 1990) از شواهد اختلاط ماگمایی محسوب می شوند. کانی پلاژیوکلاز به مجموعه ای از سریسیست، اپیدوت، کلریت و کربنات تبدیل شده است.

کانی هورنبلند اغلب شکلدار تا نیمه شکلدار، دارای دو دسته رخ، گاهی ماکله و دارای حواشی کاملاً اوپاسیتی شده است. این کانی بندرت سالم بوده و عمدتاً

خوردگی های شیمیایی که در فنوکریستال های پلاژیوکلاز بوفور مشاهده می شود گاهی به کانی شکل آمیبی و گرد شده داده است (تصویر ۹). برخی از پلاژیوکلازها، دارای حواشی غبارآلود (Dusty rim) هستند. آن طور که از آنالیزهای میکروپروب (جدول ۲) بر می آید مقدار آنورتیت درصد پلاژیوکلاز در بخش غبارآلود به ۴۶٪ می رسد در حالی که این مقدار در بخش مجاور حاشیه (بخش مرکز) حدود ۲۶٪ است (تصویر ۱۱). انواع دیگری از پلاژیوکلازهای موجود در سنگ دارای بافتهای غربالی (Sieved) هستند. پلاژیوکلازهای غربالی حاوی مخلوطی از پلاژیوکلاز و شیشه می باشند. بنا به نظر محققان، پلاژیوکلازهای یک سنگ می توانند شواهدی از پدیده اختلاط را به نمایش



فوگاسیته اکسیژن و فشار بخار آب ضمن تشکیل این کانی‌ها و از دست رفتن آب حین فوران ماگما (Best et al, 2001) است. کانی‌های آبدار هورنبلند و بیوتیت در شرایط بدون آب پس از فوران و سرد شدن ماگما ناپایدارند و به مجموعه‌ای ریزدانه متشکل از فازهای بدون آب اکسیدهای آهن و تیتان، پیروکسن منیزیم دار و فلدسپات تبدیل می‌شوند (Best, 1982).

کوارتز اغلب دارای فرم گرد شده و خلیج خوردگی و گاهی حاشیه واکنشی می‌باشد (تصویر ۱۶). در برخی موارد کوارتزها بصورت مجتمع با حاشیه ای مشخص از زمینه سنگ جدا شده اند (تصویر ۱۷). وجود مجموعه ای از کوارتزهای ریز با حاشیه کاملاً مجزا از زمینه و نیز اشکال گرد شده و دارای خلیج خوردگی نمایانگر واکنش ماگما با فنوکریست است. گاهی اپیدوت ثانوی بصورت پراکنده در این سنگها دیده می‌شود. سانیدین بندرت بصورت درشت بلور بوده وعمدتاً در اندازه های ریز در زمینه سنگ وجود دارد.

به مجموعه‌ای از کانی‌های اوپاک و کانی‌های ریز دانه از جمله کلریت تجزیه شده است. با توجه به آنالیز مایکروپروب هورنبلندها، مقدار نسبت منیزیم به مجموع منیزیم بعلاوه آهن ( $Mg\# = Mg/Mg+Fe$ ) از مرکز به سمت حاشیه افزایش می‌یابد (تصاویر ۱۲ تا ۱۴)، این نسبت در بخش اوپاسیتی شده بالاتر از بخش داخلی کانی است (جدول ۳). مقدار آمفیبولهای موجود در سنگ بمراتب کمتر از بیوتیت است. کانی بیوتیت اغلب شکلدار، دارای حواشی سوخته شده و پلئوکروئیسم قوی است. وجود کلریت و نیز مقدار زیادی کانی اوپاک که بموازات رخ‌های بیوتیت‌ها جمع شده نمایانگر تجزیه بیوتیت است. آنالیز مایکروپروب نمونه کانی بیوتیت برخلاف کانی هورنبلند، نمایانگر کاهش مقدار منیزیم به مجموع منیزیم بعلاوه آهن ( $Mg/Mg+Fe$ ) از مرکز به سمت حاشیه است (جدول ۴).

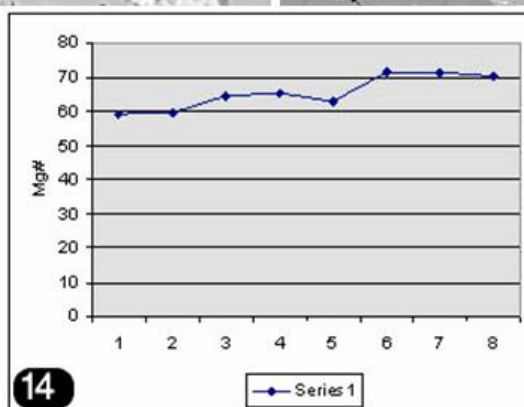
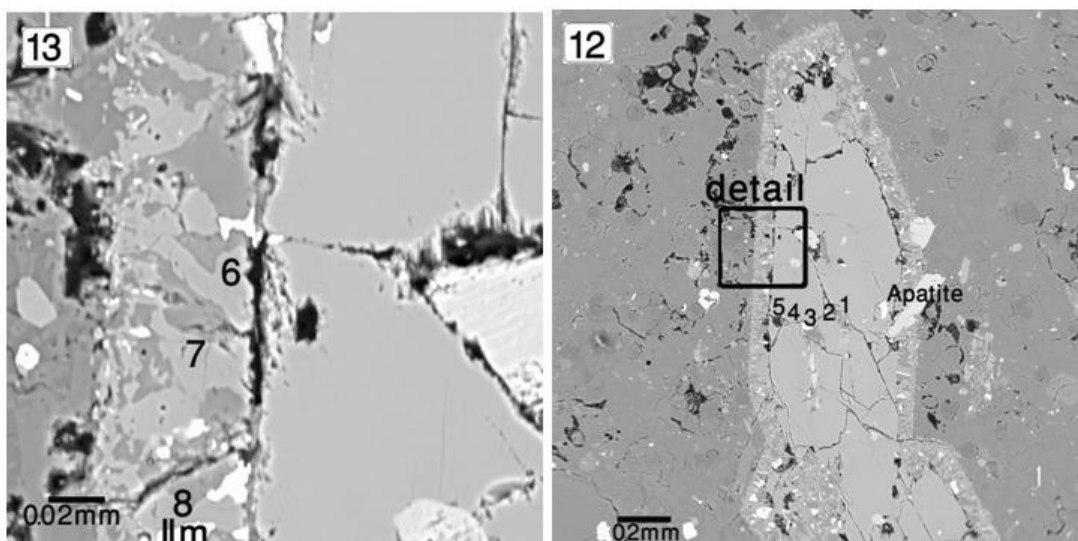
اوپاسیتی شدن بیوتیت و آمفیبول (آسیابان‌ها و همکار، ۱۳۸۴) که از حاشیه‌ها شروع شده و گاهی تا بخش‌هایی مرکزی پیشرفت می‌کند نشان‌دهنده بالا بودن

جدول شماره ۳: آنالیز مایکروپروب یک نمونه کانی هورنبلند

شماره نقطه	C3-3Hbl-1	C3-3Hbl-2	C3-3Hbl-3	C3-3Hbl-4	C3-3Hbl-5	C3-3Hbl-6 rim	C3-3Hbl-7 rim	C3-3Hbl-8 rim
SiO <sub>2</sub>	۴۲/۸۵	۴۲/۴۹	۴۲/۶۷	۴۳/۵۳	۴۳/۱۳	۵۲/۹۷	۵۳/۳۶	۵۳/۵۵
TiO <sub>2</sub>	۱/۹۵	۱/۹۹	۲/۴۸	۲/۴۶	۲/۲۹	۰/۴۱	۰/۲۹	۰/۲۲
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۱/۷۲	۱۱/۶۶	۱۱/۶۹	۱۱/۳۷	۱۱/۲۵	۱/۱۰	۱/۲۵	۱/۷۰
FeO*	۱۵/۳۲	۱۵/۰۸	۱۳/۴۱	۱۳/۲۵	۱۴/۱۴	۱۴/۲۵	۱۴/۱۷	۱۴/۲۶
MnO	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۶۰	۰/۶۱	۰/۵۷
MgO	۱۲/۵۱	۱۲/۵۰	۱۳/۵۷	۱۳/۹۲	۱۳/۵۱	۲۵/۷۰	۲۵/۴۲	۲۴/۳۷
CaO	۱۰/۶۶	۱۰/۷۴	۱۰/۷۸	۱۰/۸۴	۱۰/۴۴	۰/۹۴	۰/۸۸	۱/۰۹
SrO	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳
BaO	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Na <sub>2</sub> O	۲/۱۶	۲/۱۳	۲/۱۷	۲/۲۳	۲/۱۸	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۱۲
K <sub>2</sub> O	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۷۸	۰/۷۴	۰/۸۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲
F	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۳۱	۰/۲۱	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۹
Cl	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱
Total	۹۸/۴۰	۹۷/۸۲	۹۸/۱۰	۹۸/۷۶	۹۸/۰۵	۱۰۰/۰۰	۹۹/۹۹	۱۰۰/۰۰

جدول شماره ۴: آنالیز مایکروپروب یک نمونه کانی بیوتیت

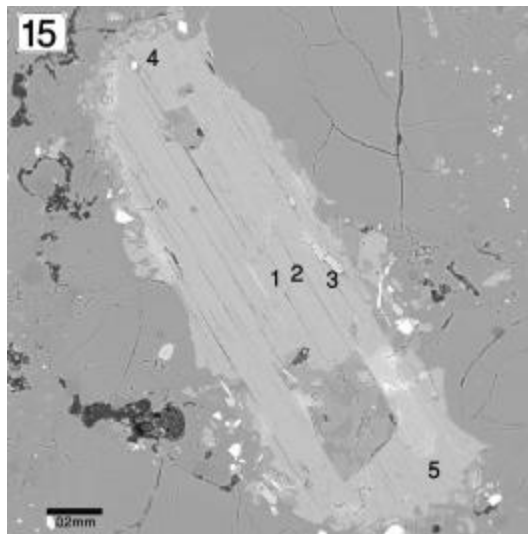
شماره نقطه	C3-1Bt-1	C3-1Bt-2	C3-1Bt-3	C3-1Bt-4	C3-1Bt-5
SiO <sub>2</sub>	۳۶/۷۱	۳۶/۳۲	۳۶/۵۵	۳۷/۰۳	۳۶/۷۵
TiO <sub>2</sub>	۴/۳۵	۴/۴۰	۴/۲۹	۴/۴۳	۴/۶۲
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۵/۰۰	۱۵/۰۶	۱۴/۸۷	۱۴/۷۴	۱۴/۶۷
FeO*	۱۴/۳۴	۱۵/۰۳	۱۵/۰۹	۱۳/۹۹	۱۳/۷۱
MnO	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۸
MgO	۱۵/۸۴	۱۵/۰۰	۱۵/۰۰	۱۵/۹۹	۱۶/۱۵
CaO	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۳
SrO	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۲
BaO	۱/۰۶	۰/۹۲	۰/۸۳	۰/۷۸	۰/۸۳
Na <sub>2</sub> O	۰/۵۹	۰/۶۶	۰/۷۲	۰/۶۶	۰/۷۰
K <sub>2</sub> O	۸/۶۳	۸/۵۰	۸/۵۲	۸/۵۳	۸/۶۱
F	۱/۳۲	۰/۴۷	۱/۳۰	۱/۷۰	۱/۸۴
Cl	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۲۱
Total	۹۷/۵۹	۹۷/۰۳	۹۶/۹۳	۹۷/۳۷	۹۷/۳۸



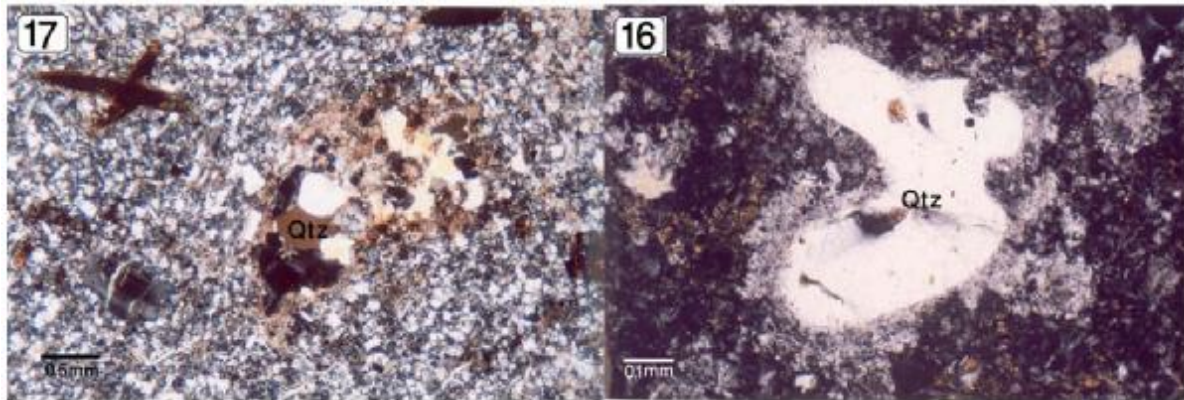
تصویر ۱۲: تصویر مایکروپروب نمونه کانی آمفیبول

تصویر ۱۳: تصویر با بزرگنمایی بیشتر از حاشیه کانی آمفیبول

تصویر ۱۴: دیاگرام نسبت منیزیوم به مجموع منیزیوم بعلاوه آهن (Mg#)



تصویر ۱۵: تصویر میکروپروب نمونه کانی بیوتیت



تصویر ۱۶: کوارتز گردشده آمیبی با حاشیه واکنشی تصویر ۱۷: کوارتز با حاشیه جدا شده از زمینه

#### بحث

بهنجار سازی سنگ‌های منطقه سورک با کندریت (تصویر ۲۳) و گوشته اولیه (تصویر ۲۵) نمایانگر غنی شدگی بیشتر از عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین است. نتایج بهنجار سازی با سنگهای پوسته زیرین (تصویر ۲۶) و میانگین پوسته (تصویر ۲۴) بیشترین مشابهت را با سنگهای پوسته زیرین به نمایش می‌گذارد و مختصر ناهنجاری نسبت به پوسته زیرین را می‌توان به اختلاط نسبت داد. گرچه در نمونه دستی و آنالیزهای شیمیایی کل سنگ (whole rock) پدیده اختلاط ماگما بوضوح دیده

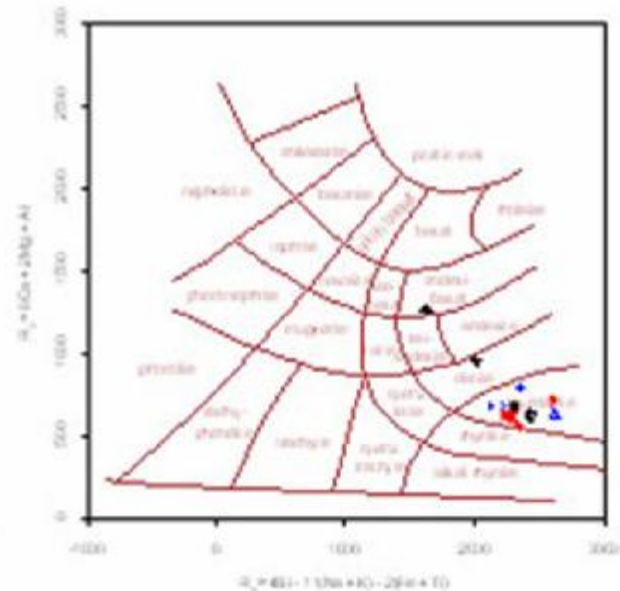
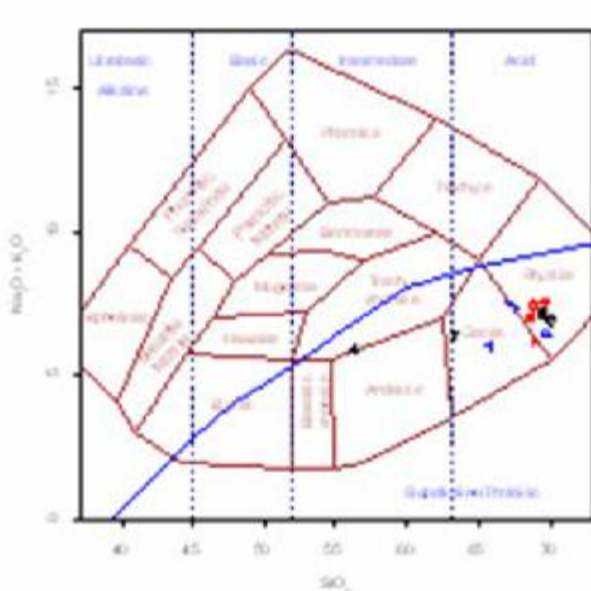
داده های شیمی کانیهای مختلف از قبیل حضور کانیهای پلاژیوکلاز با بافتهای غربالی، حواشی غبارآلود، خوردگی های خلیجی شیمیایی و حواشی نوظهور در کنار پلاژیوکلازهای عادی، اندیشه وقوع پدیده اختلاط ماگمایی به عنوان یک پدیده مهم در تحول ماگمای سازنده گنبد سورک را به ذهن می‌آورد. برپایه آنالیزهای ژئوشیمیایی (جداول ۵ و ۶) سنگهای منطقه سورک از دسته داسیت و ریولیت (تصاویر ۱۸، ۱۹ و ۲۱) بوده و ساب آکالن و متالومینوس (تصویر ۲۰) هستند.

حضور حاشیه‌های نوظهور بازیگتر اطراف پلاژیوکلازهای قدیمی و نیز وجود حواشی واکنشی در اطراف کوارتزهای گرد شده با خلیج خوردگی مبین این نظریه است. بنظر می‌رسد این سنگ‌ها از ذوب بخشی پوسته زیرین در یک رژیم کششی تحت تاثیر فعالیت جوان گسل بزرگ ناین - سورک تشکیل شده‌اند.

نمی‌شود ولی چنانکه از شواهد میکروسکوپی و بویژه شیمی کانی‌ها بر می‌آید پدیده اختلاط در تحول ماگما کاملا دخیل بوده است. بنظر می‌رسد ماگماهای تزریق شونده در اتاقک ماگمایی دارای تفاوت ترکیب بوده‌اند بطوریکه فوران‌های ابتدایی اسیدی و فوران‌های بعدی بازیگترند. وجود ترکیبات بازیگتر (با درصد آنورتیت بالاتر) در حاشیه غبارآلود پلاژیوکلازهای گرد شده،

جدول ۵: تجزیه شیمیایی نمونه سنگهای منطقه به روش ICP-MS (عناصر اصلی)

ELEMENT	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI	Total
SAMPLEC	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
A-10	67.27	15.46	3.69	0.86	3.07	4.18	3.27	0.42	0.18	0.04	0.002	1.3	99.74
C-1	67.81	14.89	3.02	0.93	3.23	3.97	3.39	0.39	0.17	0.04	0.003	2.1	99.74
AB-4	69.73	14.98	2.18	1.04	2.8	3.75	2.7	0.31	0.11	0.02	0.001	2.4	99.82
BA-1	65.85	15.91	3.91	0.86	4.17	4.18	1.9	0.31	0.17	0.07	0.002	2.4	99.74
ER-4	70.08	15.24	2.64	0.45	2.84	4.49	2.44	0.34	0.14	0.04	0.001	1.1	99.8
ER-5	70.08	15.33	2.57	0.45	2.84	4.49	2.42	0.34	0.13	0.04	0.001	1.1	99.8
ER-7	69.39	14.97	2.85	0.57	3.24	4.58	2.61	0.32	0.12	0.03	0.001	1.1	99.78
SE-4	68.53	15.21	2.7	0.61	2.71	5.03	2.01	0.3	0.1	0.03	0.001	2.7	99.94
GA-22	63.4	16.06	4.96	1.37	5.37	4.64	1.78	0.45	0.21	0.09	0.002	1.4	99.73
GA-7	56.27	17.49	7.95	2.51	7.42	4.34	1.57	0.63	0.36	0.14	0.003	1	99.68
OS-1	69.78	13.98	2.53	0.84	2.27	3.81	3.61	0.31	0.15	0.04	0.003	2.5	99.9
OS-10	68.87	14.8	2.5	0.79	2.75	4.04	3.39	0.33	0.19	0.04	0.001	2.5	99.99
SH-9	69.03	15.3	2.74	0.8	3.44	3.75	2.45	0.3	0.1	0.02	0.002	1.8	99.83



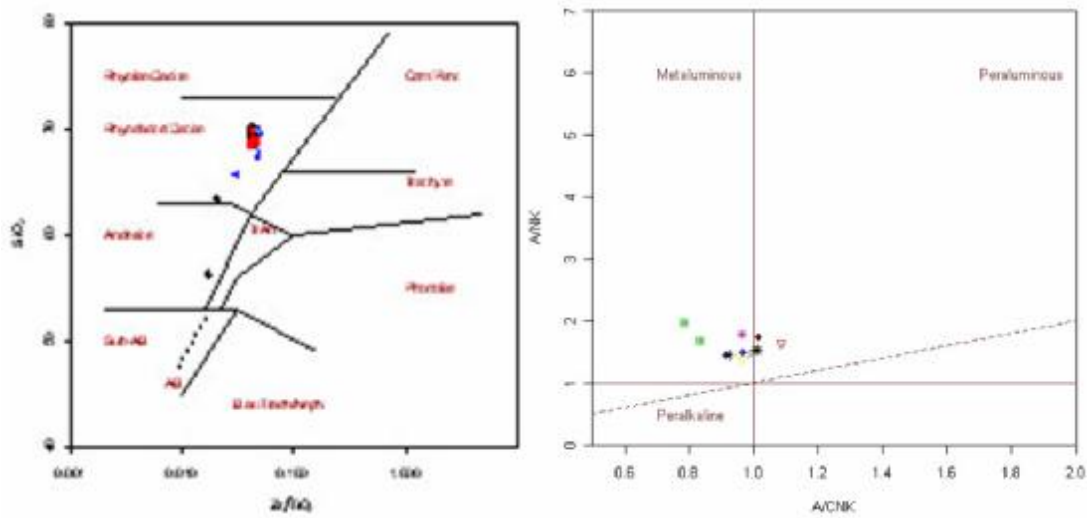
تصویر ۱۸: دیاگرام R1-R2 از تصویر ۱۹: دیاگرام TAS از Cox et al, 1979

De La Roche et al, 1980

جدول ۶: تجزیه شیمیایی نمونه سنگهای منطقه به روش ICP-MS (عناصر اثری)

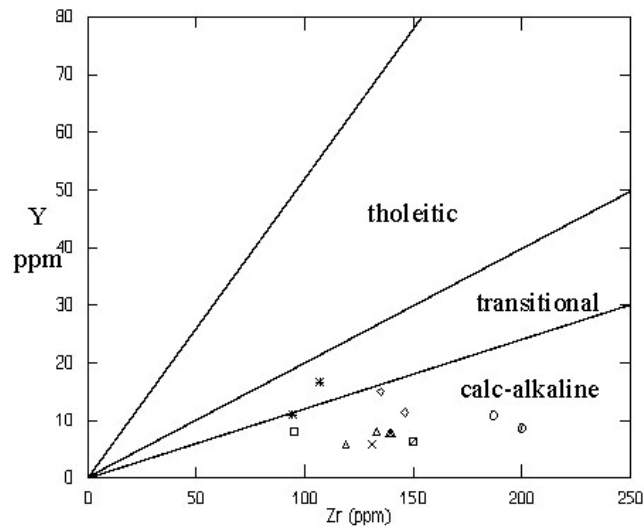
ELEMENT	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Au	Hg	Tl	Se	Ba
SAMPLES	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm
A-10	1.3	25.3	121.7	116	8.6	2.9	0.1	0.5	0.2	0.1	18.4	<.01	<.1	<.5	1115.9
AB-4	0.9	13.7	13.8	94	5.4	5.9	0.1	0.3	0.2	0.2	25.6	<.01	0.1	<.5	649.6
BA-1	1.4	30	14	88	8.1	2.4	0.1	0.5	0.2	0.4	63	<.01	<.1	<.5	730.5
C-1	0.7	24.5	23.6	92	7	3	<.1	0.5	0.2	0.3	42	<.01	<.1	<.5	1095.5
ER-4	1	21.1	11.5	99	5.4	1	<.1	0.3	0.1	0.2	28.3	<.01	<.1	<.5	684.6
ER-5	0.9	20.7	10.7	96	5.1	1.3	<.1	0.3	0.1	0.2	34.6	<.01	<.1	<.5	700.6
ER-7	1.2	33.9	37.9	161	6.4	2.6	0.1	0.5	0.1	0.3	50.3	<.01	<.1	<.5	711
GA-22	1.6	35	190.2	128	8.9	3.4	0.1	1	0.2	0.2	20.4	<.01	<.1	<.5	686.5
GA-7	1.4	49.3	47	225	12	5	0.1	0.7	0.2	0.4	67	<.01	<.1	<.5	737.6
OS-1	0.7	16.9	29.3	198	9.4	1.9	0.1	0.5	0.1	0.5	64.3	0.01	0.1	4.6	609.9
OS-10	0.7	12.5	18.1	83	5.8	1.4	0.1	0.3	0.1	0.2	36.3	0.01	0.1	<.5	784.8
SE-4	0.7	27	39.7	116	6.4	2	<.1	0.5	0.1	0.2	42.1	0.01	<.1	<.5	720.5
SH-9	1	22	35.3	239	7.4	1.5	0.1	0.6	<.1	0.4	80.9	0.01	<.1	<.5	589.6
ELEMENT	Be	Co	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr
SAMPLES	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
A-10	2	5.2	3	19.9	4.8	18.8	96.4	3	571.5	1	22.4	5.4	40	1.2	199.9
AB-4	1	3.4	2.5	19.1	4	7.8	82.9	2	487	0.7	9.2	3.2	29	0.8	149.6
BA-1	1	6.6	1.4	18.7	2.8	3.7	34.2	2	868	0.4	5.6	1.8	45	0.7	94.5
C-1	2	6.1	4.8	19.2	5.2	16.9	112.3	3	558.4	1.1	26.1	6.4	37	2.7	187.3
ER-4	1	5	1	20	3.8	3.9	44.2	2	565.7	0.3	5.9	1.9	31	0.6	139.5
ER-5	1	5	1.1	20.7	3.9	3.9	44.9	1	575.3	0.3	6.7	1.9	31	0.6	139.3
ER-7	1	4.3	1	20.2	3.7	4	47.4	2	575.3	0.4	6.2	2.1	33	0.7	133.3
GA-22	1	8.2	1.7	17.5	2.8	4.2	38.3	2	854.2	0.4	7.5	2.3	74	1.4	94.4
GA-7	1	15.9	2.6	21.2	3	5	38.3	3	1056.7	0.6	7.3	2.6	155	5.7	106.8
OS-1	3	4.2	7.6	17.8	4.6	18.4	130.8	4	375.4	1.7	20.4	9.8	201	15.8	291.1
OS-10	2	4.2	6	18.2	3.9	15.9	116.9	2	482.5	1.4	18.7	7.8	30	1.9	135.3
SE-4	2	4	1.5	20.4	3.6	4.2	42.4	2	755.9	0.3	5.6	2.2	29	1.6	145.5
SH-9	2	4.8	2.2	19	3.8	5.5	72.7	3	511.2	0.6	8.7	2.2	31	0.8	119.3
ELEMENT	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
SAMPLES	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
A-10	8.7	61.6	100.5	9.04	26.9	3.9	1.09	2.51	0.33	1.76	0.25	0.75	0.11	0.82	0.1
AB-4	6.4	30.1	51.2	4.84	16	2.4	0.72	1.62	0.22	1.13	0.17	0.52	0.07	0.56	0.08
BA-1	8.1	20.7	40.3	4.36	16.6	2.8	0.85	2	0.27	1.24	0.23	0.71	0.12	0.68	0.11
C-1	10.9	58	94.7	8.55	27.8	3.6	0.93	2.51	0.41	1.89	0.34	0.88	0.15	0.9	0.15
ER-4	7.8	22.8	41.7	4.57	15.1	2.6	0.73	1.75	0.25	1.25	0.22	0.62	0.09	0.61	0.09
ER-5	7.8	23	42.2	4.42	15.3	2.4	0.79	1.86	0.27	1.34	0.27	0.67	0.07	0.62	0.08
ER-7	8	23.5	43.5	4.62	16.2	2.7	0.71	1.93	0.31	1.43	0.31	0.66	0.1	0.78	0.1
GA-22	10.9	19.8	37.1	4.15	15.7	2.9	0.83	2.03	0.33	1.82	0.32	0.97	0.15	1.06	0.16
GA-7	16.6	23.3	47	5.61	23.3	4.2	1.33	3.28	0.5	2.77	0.6	1.73	0.23	1.5	0.22
OS-1	34.4	12.9	29.1	3.42	13.8	3.1	0.9	2.88	0.52	3.18	0.63	1.86	0.3	1.85	0.29
OS-10	15	31.8	56.6	5.98	20.8	3.5	0.76	2.72	0.46	2.63	0.48	1.42	0.25	1.45	0.23
SE-4	11.4	39.3	67.3	6.79	22.7	3.7	0.82	2.55	0.37	1.97	0.38	0.99	0.18	1.02	0.14
SH-9	5.9	23.1	42	4.67	16.8	2.8	0.74	1.75	0.23	1.16	0.17	0.49	0.09	0.42	0.06



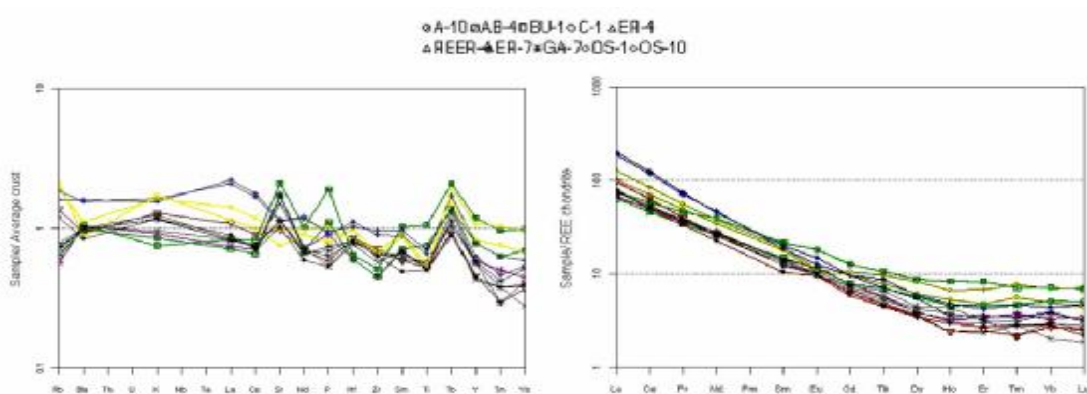


تصویر ۲۰: دیاگرام A/CNK در مقابل A/NK از تصویر ۲۱: دیاگرام Zr/TiO<sub>2</sub> در مقابل SiO<sub>2</sub> از

Shand, 1943 Winchester & Floyd, 1977



تصویر ۲۲: دیاگرام ایتریوم در مقابل زیرکونیوم از McLean and Barrett, 1993



تصویر ۲۳: بهنجار سازی نمونه ها با کدریت تصویر ۲۴: بهنجار سازی نمونه ها با میانگین پوسته



Deposits with a Chapter on Meteorite, Newyork, John Wiley & Sons; (1943).

16- K., Stamatelopoulou-Seymour, D., Vlassopoulos, T.H., Pearce, C., Rice, The record of magma chamber processes in plagioclase phenocrysts at Thera volcano, Aegean volcanic Arc, Greece. *Contrib. Mineral. Petrol.* 104, 73–84; (1990).

17- J.A., Stimac, T.H., Pearce, Textural evidence of mafic–felsic magma interaction in dacite lavas, Clear Lake, California. *Am. Mineral.* 77, 795–809; (1992).

18- A., Tsuchiyama, Dissolution kinetics of plagioclase in the melt of the system diopside- albite- anorthite ang origin of dusty plagioclase in andesites, *Contrib. Mineral. |Petrol.* Vol. 89, pp. 1-16; (1985).

19- D.Y., Venezky, M.J., Rutherford, Preeruption conditions and timing of dacite–andesite magma mixing in the 2.2 ka eruption at Mount Rainier. *J. Geophys. Res.* 102, 20069– 20086; (1997).

20- J.A., Winchester, P.A., Floyd, Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, vol.20, pp.325-343; (1977).

8- M.G., Best, E.H., Christiansen, *Igneous petrology*, Blackwell, 458p; (2001).

9- B.L., Brown, J.C., Eichelberger, L.C., Patio, T.Z., Vogel. K., Uto. and H., Hoshizumi, Magma mingling as indicated by texture and Sr/Ba ratios of plagioclase phenocrysts from Unzen volcano, SW Japan., *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v.154, p.103-116; (2006).

10- K.G., Cox, J.D., Bell, and R.J., Pankhurst, *The Interpretation of Igneous Rocks.*, "George Allen and Unwin, London";(1979).

11- H., De La Roch, J., Leterrier, p., Grandclaude, & M., Marchal A classification of Volcanic and Plutonic rocks using R1-R2 diagram and major element analysis – its relationships and current nomenclature, *Chemical Geology* 29, 180-210;(1980).

12- M.A., Dungan, J.M., Rhodes, Residual glasses and melt inclusions in basalts from DSDP Legs 45 and 46: evidence for magma mixing. *Contrib. Mineral. Petrol.* 67, 417–431; (1978).

13- G.G., Kuscu, and P.A. Floyd, Mineral compositional and textural evidence for magma mingling in the Saraykent volcanics, *Lithos*, v. 56, 2-3, p. 207-230; (2001).

14- W.H., McLean, T.J., Barrett, Lithochemical techniques using immobile elements. *Journal of Geochemical Exploration* 48,109-133; (1993).

15- S.J., Shand, *Eruptive Rocks, Their genesis, Composition, Classification and their relation to Ore*