



## Geochemical and petrographic study of common minerals in the Taftan volcanic Rocks

H. Biabangard<sup>1</sup>, A. Moradian<sup>2</sup>

1- Department of Geology, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran

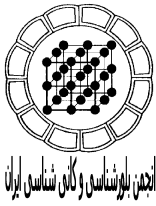
2- Department of Geology, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

Email: h.biabangard@yahoo.com

(Received: 23/6/2008, in revised form: 20/12/2008)

**Abstract:** Taftan volcano, is located in about 100 Km South to Southeast of Zahedan, Sistan and Baluchestan province in southeast of Iran. On geological point of view, it is located at the end of Nehbandan-Khash flysch and North Makran structural zones. Field, petrographic and geochemical studies from different samples of rocks show that the volcano mostly composed of andesitic and dacitic rocks. These rocks have no variety in mineralogy and mainly composed of plagioclase, biotite, hornblende and pyroxene minerals. Microanalyses on these minerals show that plagioclases are common minerals with reversal, oscillatory and normal zoning and are andesine to labradorite in chemical composition. Plagioclases have 57.2 to 60.2 wt% Silica contents in composition. These mineral shows variation in composition from the core to rim that is correlative with the microscopic evidence and may be resulted by changes in magma composition accompanied with pressure changes during the ascent of magma, magma mixing and variation in water pressure in magma. Structural formulae indicate that amphiboles, micas and pyroxenes minerals are magnesiohornblende, biotite, diopside and hypsthene composition, respectively.

**Keywords:** Taftan, Sistan and Baluchestan, Makran, Microanalyses.



## بررسی سنگ‌شناختی و ژئوشیمیائی کانی‌های اصلی سازنده سنگ‌های آتشفشانی تفتان

حبیب الله بیابان گرد<sup>۱</sup>، عباس مرادیان<sup>۲</sup>

۱- دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی.

۲- دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی.

پست الکترونیکی: [h.biabangard@yahoo.com](mailto:h.biabangard@yahoo.com)

(دریافت مقاله: ۸۷/۶/۲۷، نسخه نهایی: ۸۷/۹/۳۰)

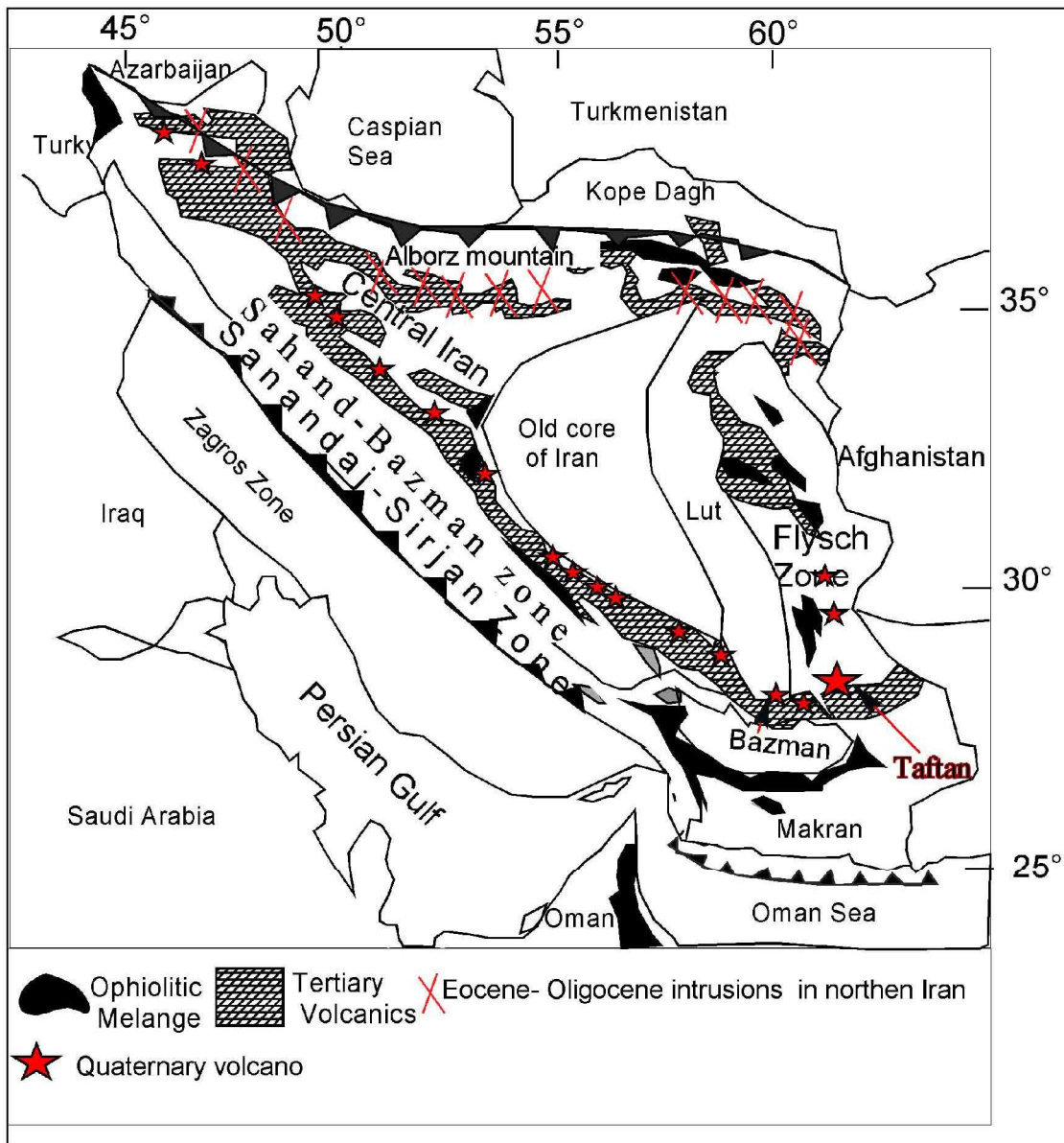
**چکیده:** کوه آتشفشان تفتان در جنوب خاوری ایران، استان سیستان و بلوچستان، و به فاصله حدود یکصد کیلومتری جنوب و جنوب خاوری شهر زاهدان قرار دارد. از دیدگاه زمین‌شناسی این آتشفشان در انتهای زون ساختاری فلیش نهبدان - خاش و شمال زون مکران واقع شده است. بررسی‌های صحرایی، سنگ‌شناختی، و ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که سنگ‌های این آتشفشان اغلب دارای ترکیب آندزیتی تا داسیتی‌اند. سنگ‌های این آتشفشان تنوع کانیایی زیادی ندارد و معمولاً از کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز، کوارتز، بیوتیت، هورنبلند، و پیروکسن تشکیل شده‌اند. ریزپدازه‌های انجام شده روی کانی‌های این سنگ‌ها نشان می‌دهد که پلاژیوکلازها فراوان، اغلب دارای منطقه‌بندی وارون، نرمال و نوسانی بوده و گستره ترکیبی آن‌ها از آندزین تا لابرادوریت است. مقادیر اکسید سیلیسیم آن‌ها معمولاً از ۵۷/۲ تا ۶۰/۲ درصد وزنی متغیر است. تغییرات ترکیبی پلاژیوکلازها از مرکز تا حاشیه کاملاً مشهود و مطابق با شواهد میکروسکوپی آن‌ها بوده که احتمالاً حاصل عواملی چون تغییر ترکیب شیمیایی ماگما توام با تغییرات فشار، اختلاط ماگمایی و تغییرات فشار بخار آب در این آتشفشان است. فرمول ساختاری آمفیبول‌ها، میکاها و پیروکسن‌های موجود در سنگ‌های این آتشفشان نشان می‌دهد که ترکیب آن‌ها غالباً بترتیب هورنبلندمنیزیم‌دار، بیوتیت، هیپرستن، و دیوپسید است.

**واژه‌های کلیدی:** تفتان، سیستان و بلوچستان، مکران، ریزپدازش.

### مقدمه

توپوگرافی، نپ‌های افیولیتی و تهنشست‌های مجموعه گوه‌های افزایشی این کمربند توسط [۳-۸] بیانی از فعال بودن این زون به ویژه در زمان کرتاسه به بعد است. بررسی‌های سنگ‌شناختی ارزنده‌ای توسط [۹-۱۱] بر روی آتشفشان تفتان انجام شده است، ولی سنگ‌های آتشفشانی تفتان دارای سرشتی آهکی-قلیایی با ترکیب آندزیتی تا داسیتی‌اند. کانی‌های اصلی سازنده این سنگ‌ها عبارتند از پلاژیوکلاز، کوارتز، بیوتیت، هورنبلند، و پیروکسن، که دارای سرشتی‌ها و ویژگی‌های خاصی بوده که ما را برآن داشت تا ریزپدازه‌های بر روی آن‌ها به شرح زیر انجام دهیم.

ایران دارای فعالیت‌های گسترده آتشفشانی در طول زمان بوده است که از جمله آن‌ها فعالیت‌های آتشفشانی کرتاسه تا کواترنری است که از ترکیه تا بلوچستان پاکستان ادامه دارد [۱] و سبب تشکیل آتشفشان‌های جوان کواترنری چون آرات در ترکیه (هم مرز ایران در شمال باختری)، سهند، سبلان، دماوند، بزمن، تفتان در ایران، و کوه سلطان در پاکستان (هم-مرز ایران در جنوب خاوری) شده‌اند. در تقسیم‌بندی [۲] آتشفشان تفتان در کمربند فعال زمین‌ساختی مکران قرار می‌گیرد (شکل ۱). بررسی‌های گسترده انجام شده روی



شکل ۱. موقعیت زون‌های ساختاری مهم ایران همراه با گسترش توده‌های نفوذی، خروجی و موقعیت آتشفشان تفتان [اقتباس از ۳،۲].

**ریخت شناسی آتشفشان تفتان**

تفتان یک آتشفشان مرکب لایه‌ای (استراتو ولکان) است. ارتفاع تقریبی آن ۴۰۵۰ متر از تراز دریا و ۲۰۰۰ متر از زمین پیرامون است، و مساحتی در حدود ۱۳۰۰۰ km<sup>2</sup> را می‌پوشاند. بهترین راه دسترسی به این آتشفشان مسیر جاده آسفالت زاهدان-خاش است. این آتشفشان دارای قله‌های متعددی بنام‌های چهل تن، زیارت، مادر کوه، و نرکوه است. قله چهل تن (تفتان فعلی) در مجموع دارای پنج دهانه است که از دو دهانه آن بخار

و گازهای گوگردی پیوسته در فوران است. ساختار اصلی آتشفشان تفتان شامل دو کوه (نرکوه و مادرکوه) است که با بخش زین مانند باریک به هم پیوند خورده‌اند. قله جنوب خاوری تا اندازه‌ای شکل مخروطی خود را حفظ کرده و به وسیله جریان گدازه‌ای ضخیم و جوان پوشیده شده است. خروج گازهای فومرولی [فوران گازها] از دهانه این آتشفشان و چشمه‌های آب گرم پیرامون، بیانی از جوان بودن آن است (شکل ۲).



شکل ۲ دورنمایی از ریخت شناسی کوه آتشفشانی تفتان (مادر کوه و نر کوه).

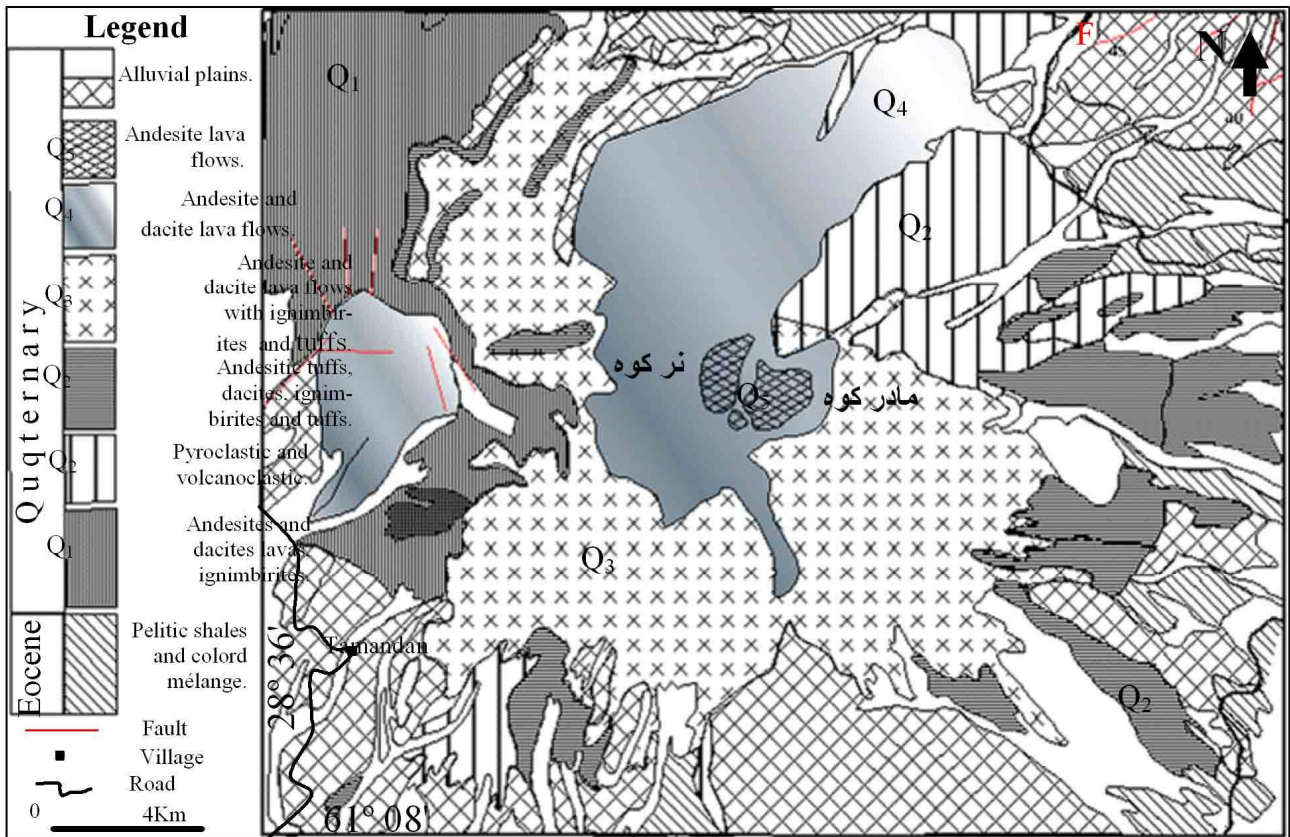
آنچه مشخص است حجم بیشتر این واحدها را توفهای دگرسان اسیدی تا حدواسط با دگرسانی بیشتر آرژیلیکی تشکیل می‌دهند (واحد  $Q_2$ ). به دنبال واحدهای اخیر سنگ-های آذر آواری با پراکندگی و ضخامت‌های متفاوت از توفهای آندزیتی، لاپیلی توف، آگلومرا، ایگنیمبریت و گدازه پی‌درپی هم قرار می‌گیرند (واحد  $Q_3$ ). آغاز این واحد نیز با برش‌های آتشفشانی بوده که نشانه انفجاری بودن فعالیت آتشفشانی است. در این واحد مجموعه‌ای از برش‌ها تهنشست‌ها و لاهار وجود دارند که روی آن‌ها قطعات و جریان‌های گدازه قرار گرفته‌اند. این گدازه‌ها به صورت متناوب با آذرآواری‌ها قرار دارند (شکل ۴ ب). در این واحد ستیغ‌های سوزنی دیده می‌شوند که بیشتر از برش گدازه و آگلومرا تشکیل شده‌اند. در این میان تهنشست‌های آذرین فوران یافته و تهنشست‌های فرسایشی نیز به فراوانی یافت می‌شوند. روی این واحد جریانی از گدازه گسترده و ضخیمی قرار گرفته و روی همه آن‌ها پومیس‌های داسیتی به صورت منطقه‌ای قرار گرفته‌اند (واحد  $Q_4$ ). در لابلای این مجموعه جریان‌های بزرگی از ایگنیمبریت به چشم می‌خورد. جریان‌های گدازه‌ای آندزیتی که به صورت محدود پیرامون دهانه اصلی آتشفشان دیده می‌شوند به عنوان آخرین فازهای خروجی آتشفشان تفتان به حساب می‌آیند (واحد  $Q_5$ ). واحدهای بسا فعالیت آتشفشان بیشتر شامل دگرسانی و جابه‌جایی‌های قطعه‌های آتشفشانی‌اند، و زون‌های دگرسان شده تفتان که از گسترش نسبی بسیار بالایی برخوردارند در اغلب مجموعه‌های آتشفشانی به چشم می‌خورند. حجم بیشتر واحدهای دگرسان را توف‌هایی با ترکیب اسیدی تا حد واسط تشکیل می‌دهند.

### زمین‌شناسی عمومی تفتان

در یک نگاه کلی می‌توان رخساره‌های سنگی این آتشفشان را در سه گروه سنگ‌های قدیمی‌تر از فعالیت‌های آتشفشانی تفتان، سنگ‌های حاصل از فعالیت‌های تفتان و سنگ‌های پس از فعالیت تفتان تقسیم بندی کرد.

گروه نخست پی سنگ آتشفشان بوده و بیشتر از سنگ‌های تهنشستی چون ماسه سنگ، شیل، سنگ آهک، گریواک، مارن (رخساره فلیش)، آمیزه‌های رنگین شامل سنگ‌های اولترامافیک (پریدوتیت‌ها)، بازیک (گابروها و بازالت‌ها)، آهک‌های پلاژیک، رادیولاریت، و به مقدار کمتر مجموعه سنگ‌های دگرگون (متاگریواک‌ها، فیلیت‌ها، اسلیت‌ها و شیست‌ها) تشکیل شده‌اند (شکل ۳).

گروه دوم یعنی محصولات آتشفشانی تفتان، بیشتر از سنگ‌های آذرآواری‌اند که در تناوب با آن‌ها جریان‌های گدازه-ای نیز به فراوانی دیده می‌شوند. علاوه بر این، حجم زیادی از ساختار آتشفشان تفتان را گدازه‌های ایگنیمبریتی و توف‌ها به خود اختصاص داده‌اند، این سنگ‌ها را می‌توان به چندین واحد تقسیم‌بندی کرد. نخست سنگ‌های آذرآواری و جریان‌های گدازه‌ای که به طور مستقیم روی واحدهای گروه نخست قرار گرفته‌اند (شکل ۴ الف) و مرز آن‌ها با مجموعه‌های زیرین در اغلب نقاط به خوبی دیده می‌شود. در قاعده این واحد، رخساره-های آذرآواری بیشتر به صورت برش، ایگنیمبریت، جریان‌های پومیس و خاکستر با ضخامت‌های متفاوت هستند (شکل ۳ واحد  $Q_1$ ). این مجموعه در اغلب نقاط، واحدهای توفی به رنگ-های مختلف زرد، سرخ، کرم، و روشن دنبال می‌شود و به دلیل دگرسانی فراورده‌های آتشفشانی تفتان تشخیص این واحدها از مجموعه‌های گدازه‌ای و آذر آواری چندان آسان نیست. ولی



شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی کوه آتشفشانی تفتان (اقتباس از [۲۸] با تغییرات اساسی).



شکل ۴ الف) مرز ته‌نشست‌های فلیش (درقاعده) و آذرآواری‌های تفتان (در بالا) درحوالی روستای نارون. ب) توالی جریان‌های گدازه‌ای و سنگ‌های آذرآواری تفتان حوالی روستای تمندان.

دقت بسیار بالا تجزیه و با نمونه‌های تجزیه شده قبلی از آتشفشان تفتان که با پرتو X فلورسان ریگاکو ( Rigaku XRF 327) در دانشگاه آکیتای ژاپن انجام شده بود [۱۲] مقایسه و درستی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. برای بررسی ژئوشیمی کانی‌های اصلی تفتان، با توجه به امکانات محدود،

**روش بررسی**

پس از بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی نمونه‌های سنگی جمع‌آوری شده، با توجه به امکانات موجود، تعداد ۴۰ نمونه سنگی برای آنالیز عناصر اصلی سازنده آن‌ها با دستگاه ICP در شرکت ALS Chemex به کانادا ارسال شدند. این نمونه‌ها با

کروندوم، ارتوکلاز، ولاستونیت، روتیل، اسپیکولاریت، رودئیت، کرومیت، واکسیدنیکل بوده‌اند. قطر پرتو الکترونی استفاده شده در این بررسی‌ها در حدود ۵ میکرون بوده است. نتایج آنالیز نمونه‌های سنگی، ریزپردازشگر و فرمول ساختاری به ترتیب در جدول‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ آورده شده‌اند. فرمول کانی‌ها برای پلاژیوکلاز هشت، پیروکسن شش، بیوتیت و آمفیبول برمبنای بیست و سه اکسیژن محاسبه شدند.

تعداد ۴ نمونه سنگی با شماره‌های TSM-137، TSM-139، TSS-49 و TSM-152 برای آنالیز کمی کانی‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن (ارتو و کلینوپیروکسن)، آمفیبول، بیوتیت، و تیتانومگنتیت انتخاب شد. ریز پردازش با یک ابر پردازشگر خودکار مدل JXA-8600 با ولتاژ شتاب دهنده ۲۰ کیلووات و جریان ۱۰ نانوآمپر در مرکز تحقیقات و فراوری مواد معدنی ایران صورت گرفت. استانداردهای استفاده شده، آلیت، پریکلاز،

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی اکسیدهای عناصر اصلی با دستگاه ICP-MS (Wt%)

SampleNo.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	BaO	LOI	Total
TSH-176	۶۲٫۷	۱۶٫۱۲	۴٫۷۵	۵٫۱۳	۲٫۲۸	۲٫۹۵	۲٫۹۲	۰٫۱	۰٫۶۷	۰٫۰۷	۰٫۱۹	۰٫۰۶	۰٫۰۸	۲٫۱۵	۱۰۰
TSH-181	۵۳٫۴	۱۷٫۴۵	۷٫۲۱	۷٫۹۷	۴٫۳۲	۲٫۵۹	۱٫۷۲	۰٫۱	۰٫۹۹	۰٫۱۰	۰٫۲۳	۰٫۰۹	۰٫۰۴	۳٫۳۵	۹۹٫۵
TSH-182	۶۲٫۱	۱۵٫۶۴	۴٫۴۴	۸٫۸۲	۱٫۹۷	۲٫۷۴	۲٫۹۸	۰٫۰۲	۰٫۶۳	۰٫۰۷	۰٫۱۸	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۳٫۱۳	۹۹٫۸
TSH-183	۶۱٫۱	۱۶٫۶۵	۴٫۹۱	۵٫۵۹	۲٫۶۱	۲٫۹۵	۲٫۸۲	۰٫۱	۰٫۷۵	۰٫۰۸	۰٫۲۲	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۱٫۸۰	۹۹٫۶
TSH-185	۵۷٫۵	۱۶٫۸۵	۶٫۵۵	۷٫۸۴	۳٫۴۷	۳٫۱۰	۱٫۹۹	۰٫۰۲	۰٫۹۷	۰٫۱۱	۰٫۲۴	۰٫۰۶	۰٫۰۵	۱٫۰۶	۹۹٫۸
TSM-92	۵۸٫۵۰	۱۷٫۷۰	۵٫۴۵	۵٫۹۳	۲٫۴۸	۳٫۲۴	۲٫۴۳	۰٫۱	۰٫۶۸	۰٫۰۷	۰٫۲۰	۰٫۰۸	۰٫۰۶	۱٫۳۷	۹۸٫۲
TSM-93	۵۸٫۴۰	۱۷٫۴۵	۵٫۶۲	۶٫۶۱	۳٫۰۵	۳٫۱۷	۱٫۸۶	۰٫۱	۰٫۷۰	۰٫۱۰	۰٫۲۴	۰٫۱۱	۰٫۰۶	۱٫۰۳	۹۸٫۴
TSM-102	۵۷٫۰۰	۱۶٫۵۵	۵٫۹۷	۷٫۰۲	۲٫۹۷	۲٫۹۶	۲٫۵۰	۰٫۱	۰٫۷۸	۰٫۱۵	۰٫۲۲	۰٫۱۱	۰٫۰۷	۲٫۲۸	۹۸٫۶
TSM-106	۶۱٫۳۰	۱۶٫۳۰	۴٫۸۵	۴٫۹۴	۱٫۸۰	۲٫۹۷	۲٫۹۰	۰٫۱	۰٫۶۷	۰٫۱۰	۰٫۲۶	۰٫۰۸	۰٫۰۷	۲٫۹۸	۹۹٫۲
TSM-111	۵۹٫۹۰	۱۷٫۱۵	۴٫۹۹	۶٫۳۵	۱٫۰۹	۳٫۸۸	۲٫۴۸	۰٫۱	۰٫۸۶	۰٫۰۹	۰٫۳۶	۰٫۱۰	۰٫۰۷	۲٫۹۰	۱۰۰
TSM-112	۶۲٫۰۰	۱۷٫۱۵	۵٫۲۸	۵٫۷۸	۲٫۶۰	۳٫۷۷	۲٫۳۷	۰٫۱	۰٫۷۵	۰٫۰۸	۰٫۲۷	۰٫۰۸	۰٫۰۶	۱٫۳۳	۹۹٫۷
TSM-115	۶۱٫۱۰	۱۷٫۵۰	۴٫۰۳	۵٫۷۷	۲٫۴۹	۳٫۲۹	۲٫۱۵	۰٫۱	۰٫۶۵	۰٫۰۷	۰٫۲۱	۰٫۰۶	۰٫۰۵	۲٫۶۹	۱۰۰
TSM-116	۵۷٫۷۰	۱۷٫۴۰	۵٫۹۸	۶٫۹۱	۳٫۶۶	۳٫۴۳	۱٫۹۹	۰٫۱	۱٫۰۱	۰٫۰۹	۰٫۳۷	۰٫۱۴	۰٫۰۵	۰٫۸۷	۹۹٫۶
TSM-118	۶۳٫۴۰	۱۶٫۳۰	۴٫۵۷	۵٫۰۸	۲٫۴۵	۳٫۷۶	۲٫۳۱	۰٫۱	۰٫۶۱	۰٫۰۸	۰٫۱۳	۰٫۰۶	۰٫۰۵	۲٫۴۱	۱۰۰
TSM-126	۶۱٫۳۰	۱۷٫۲۰	۴٫۲۳	۵٫۴۳	۱٫۹۸	۳٫۶۳	۲٫۱۳	۰٫۱	۰٫۶۱	۰٫۰۶	۰٫۲۲	۰٫۰۶	۰٫۰۵	۲٫۷۸	۹۹٫۶
TSM-127	۵۱٫۷۱	۱۷٫۷۰	۶٫۸۳	۷٫۳۵	۳٫۸۸	۳٫۴۵	۱٫۲۱	۰٫۰۲	۰٫۸۷	۰٫۱۰	۰٫۲۷	۰٫۰۷	۰٫۰۴	۴٫۷۳	۹۸٫۲
TSM-128	۵۰٫۱۱	۱۷٫۷۵	۷٫۱۵	۹٫۶۰	۴٫۷۲	۳٫۴۲	۱٫۲۶	۰٫۰۲	۰٫۹۳	۰٫۱۳	۰٫۳۲	۰٫۰۹	۰٫۰۴	۴٫۰۲	۹۹٫۶
TSM-129	۶۲٫۸۰	۱۶٫۵۰	۴٫۱۰	۴٫۸۵	۲٫۱۰	۳٫۷۲	۲٫۳۴	۰٫۱	۰٫۵۹	۰٫۰۶	۰٫۲۰	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۱٫۱۵	۹۸٫۵
TSM-130	۵۹٫۴۰	۱۷٫۵۵	۵٫۴۷	۶٫۱۹	۴٫۸۷	۳٫۸۰	۱٫۸۲	۰٫۱	۰٫۵۳	۰٫۱۰	۰٫۲۷	۰٫۰۷	۰٫۰۴	۰٫۷۶	۹۹٫۱
TSM-132	۶۶٫۷۰	۱۶٫۳۰	۴٫۶۲	۵٫۱۲	۲٫۵۴	۳٫۶۴	۲٫۳۲	۰٫۱	۰٫۵۹	۰٫۰۹	۰٫۲۰	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۱٫۲۴	۹۸٫۵
TSM-137	۶۱٫۷۰	۱۷٫۱۵	۴٫۸۰	۵٫۶۸	۲٫۶۴	۳٫۷۱	۲٫۱۸	۰٫۱	۰٫۶۴	۰٫۰۸	۰٫۲۱	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۱٫۱۲	۱۰۰
TSM-139	۶۱٫۷۰	۱۷	۴٫۶۸	۵٫۶۱	۲٫۶۴	۳٫۷۷	۲٫۰۵	۰٫۱	۰٫۶۲	۰٫۰۸	۰٫۲۰	۰٫۰۶	۰٫۰۵	۰٫۹۴	۹۹٫۴
TSM-142	۶۱٫۶۰	۱۶٫۴۵	۴٫۷۷	۵٫۳۰	۲٫۵۰	۳٫۷۱	۲٫۴۴	۰٫۱	۰٫۶۸	۰٫۰۸	۰٫۲۴	۰٫۰۷	۰٫۰۶	۱٫۳۶	۹۹٫۳
TSM-152	۵۷٫۷۰	۱۶٫۴۵	۶٫۲۰	۷٫۴۰	۴٫۷۲	۳٫۳۵	۱٫۶۵	۰٫۰۲	۰٫۷۷	۰٫۱۰	۰٫۲۱	۰٫۰۹	۰٫۰۳	۰٫۶۱	۹۹٫۳
TSM-153	۵۸٫۰۰	۱۶٫۹۰	۵٫۶۷	۶٫۱۷	۳٫۴۱	۳٫۸۰	۲٫۰۹	۰٫۱	۰٫۹۰	۰٫۰۹	۰٫۳۸	۰٫۰۹	۰٫۰۳	۰٫۹۸	۹۸٫۶
TSS-12	۶۳٫۴۰	۱۶٫۷۰	۴٫۶۴	۵٫۲۴	۲٫۳۹	۳٫۷۸	۲٫۳۸	۰٫۱	۰٫۶۲	۰٫۰۸	۰٫۲۲	۰٫۰۶	۰٫۰۵	۰٫۳۶	۹۹٫۹
TSS-28	۵۹٫۴۰	۱۷٫۰۵	۵٫۶۱	۶٫۷۲	۳٫۳۰	۳٫۷۰	۲٫۲۸	۰٫۱	۰٫۹۳	۰٫۰۹	۰٫۳۵	۰٫۱۲	۰٫۰۵	۰٫۴۱	۱۰۰
TSS-51	۶۱٫۴۰	۱۸٫۰۵	۵٫۲۸	۵٫۱۴	۰٫۹۶	۳٫۵۷	۱٫۹۶	۰٫۱	۰٫۶۹	۰٫۰۴	۰٫۲۳	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۲٫۲۶	۹۹٫۷
TSS-56	۶۱٫۴۰	۱۷٫۶۰	۵٫۲۶	۵٫۶۴	۲٫۵۳	۳٫۶۸	۱٫۹۸	۰٫۱	۰٫۷۴	۰٫۰۹	۰٫۲۲	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۵۱	۱۰۰
TSS-49	۵۸٫۷۰	۱۸٫۴۰	۶٫۵۲	۶٫۶۶	۳٫۴۳	۳٫۳۹	۱٫۴۶	۰٫۱	۰٫۸۱	۰٫۱۰	۰٫۲۱	۰٫۰۸	۰٫۰۴	۰٫۲۰	۱۰۰
TSS-70	۶۲٫۰۰	۱۷٫۵۰	۵٫۱۵	۵٫۸۹	۲٫۴۲	۳٫۶۳	۱٫۸۵	۰٫۱	۰٫۶۶	۰٫۰۹	۰٫۱۹	۰٫۰۸	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۹۹٫۶
TSS-71	۵۸٫۷۰	۱۸٫۲۰	۶٫۳۴	۶٫۹۷	۳٫۴۴	۳٫۷۵	۱٫۴۶	۰٫۱	۰٫۷۹	۰٫۰۱	۰٫۱۸	۰٫۰۷	۰٫۰۴	۰٫۲۷	۱۰۰
TSS-73	۶۱٫۹۰	۶۱٫۵۵	۴٫۷۳	۵٫۵۶	۲٫۳۶	۳٫۷۳	۲٫۳۶	۰٫۱	۰٫۶۰	۰٫۰۹	۰٫۲۲	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۱٫۴۰	۹۹٫۷
TSS-82	۶۰٫۳۰	۱۷٫۶۰	۵٫۳۴	۶٫۲۹	۳٫۰۳	۳٫۷۳	۱٫۸۵	۰٫۱	۰٫۷۹	۰٫۰۶	۰٫۲۴	۰٫۱۱	۰٫۰۴	۰٫۵۶	۱۰۰
TSS-86	۴۹٫۸۰	۱۷٫۳۰	۷٫۹۳	۹٫۶۲	۵٫۶۹	۳٫۱۴	۱٫۲۱	۰٫۰۳	۰٫۹۸	۰٫۱۳	۰٫۳۶	۰٫۸۳	۰٫۱۸	۰٫۹۰	۱۰۰
TST-6	۶۲٫۵۰	۱۶٫۳۰	۴٫۵۱	۵٫۲۴	۲٫۳۲	۳٫۷۸	۲٫۳۳	۰٫۱	۰٫۵۵	۰٫۰۸	۰٫۲۰	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۶۰	۹۸٫۵
TST-7	۶۳٫۱۰	۱۶٫۴۰	۴٫۴۹	۵٫۲۳	۲٫۲۶	۳٫۷۹	۲٫۳۶	۰٫۱	۰٫۵۴	۰٫۰۸	۰٫۲۱	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۶۸	۹۹٫۳
TST-11	۶۳٫۵۰	۱۶٫۳۰	۴٫۴۹	۵٫۱۶	۲٫۲۶	۳٫۸۱	۲٫۳۹	۰٫۱	۰٫۵۵	۰٫۰۸	۰٫۲۲	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۶۰	۹۹٫۵
TST-13	۵۶٫۹۰	۱۷٫۳۵	۶٫۱۸	۷٫۰۵	۳٫۴۹	۳٫۶۴	۱٫۷۳	۰٫۱	۰٫۷۵	۰٫۰۹	۰٫۲۳	۰٫۱۱	۰٫۰۴	۰٫۷۳	۹۸٫۳
TST-27	۵۹٫۲۰	۱۶٫۵۵	۵٫۸۵	۷٫۱۳	۳٫۹۱	۳٫۵۵	۱٫۷۶	۰٫۱	۰٫۶۹	۰٫۰۹	۰٫۲۲	۰٫۱۰	۰٫۰۴	۰٫۸۷	۱۰۰

جدول ۲ آنالیز شیمیایی پلاژیوکلازهای موجود در سنگ‌های آتشفشانی تفتان.

Sample	PI-1	PI-2	PI-3	PI-4	PI-5	PI-6	PI-7	PI-1	PI-2	PI-3	PI-4	PI-5
<b>Oxides</b>	<b>Core TSM-152 Rim</b>							<b>Core TSM-152 Rim</b>				
SiO <sub>2</sub>	۶۰٫۲۰	۵۴٫۹۰	۵۲٫۱۷	۵۲٫۱۷	۵۳٫۳۵	۵۲٫۷۶	۵۳٫۰۲	۵۸٫۱۷	۵۶٫۴۶	۵۷٫۸۵	۵۸٫۷۵	۵۸٫۷۸
TiO <sub>2</sub>	۰٫۱۳	۰٫۱۰	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۰۴	۰٫۰۱	۰٫۰۶	۰	۰٫۰۳	۰	۰	۰
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲۳٫۱۶	۲۸٫۰۳	۲۸٫۸۱	۲۸٫۹۵	۲۷٫۸۳	۲۹٫۰۴	۲۸٫۳۰	۲۶٫۰۶	۲۷٫۰۶	۲۶٫۴۸	۲۶٫۲۷	۲۵٫۹۲
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰٫۶۱	۰٫۷۵	۰٫۶۹	۰٫۷۰	۰٫۷۸	۰٫۸۳	۰٫۸۲	۰٫۱۹	۰٫۲۰	۰٫۱۴	۰٫۲۵	۰٫۱۸
CaO	۵٫۹۲	۱۱٫۰۵	۱۲٫۳۷	۱۲٫۲۱	۱۱٫۲۲	۱۲٫۲۴	۱۱٫۶۹	۸٫۴۲	۹٫۶۱	۸٫۲۱	۸٫۱۵	۷٫۹۵
Na <sub>2</sub> O	۷٫۱۴	۵٫۴۷	۴٫۵۱	۴٫۶۲	۵٫۱۹	۴٫۶۰	۴٫۹۵	۶٫۸۲	۶٫۳۶	۶٫۷۰	۶٫۸۸	۷٫۲۲
K <sub>2</sub> O	۲٫۰۳	۰٫۳۰	۰٫۲۷	۰٫۲۸	۰٫۳۸	۰٫۲۷	۰٫۲۷	۰٫۶۲	۰٫۴۳	۰٫۵۹	۰٫۶۳	۰٫۶۰
<b>Total</b>	۹۹٫۱۹	۱۰۰٫۶۰	۹۸٫۸۸	۹۹٫۰۱	۹۸٫۷۷	۹۹٫۷۵	۹۹٫۱۰	۱۰۰٫۰۴	۱۰۰٫۱۵	۹۹٫۹۸	۱۰۰٫۰۹	۱۰۰٫۰۶
Si	۲٫۴۷	۲٫۴۰	۲٫۴۰	۲٫۴۵	۲٫۴۱	۲٫۴۳	۱٫۲۴	۲٫۵۴	۲٫۶۰	۲٫۶۱	۲٫۶۲	۲٫۶۳
Al	۱٫۲۴	۱٫۴۹	۱٫۵۶	۱٫۵۷	۱٫۵۱	۱٫۵۶	۱٫۵۳	۱٫۳۸	۱٫۴۴	۱٫۴۰	۱٫۳۸	۱٫۳۶
Fe+3	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱
Ca	۰٫۲۹	۰٫۵۳	۰٫۶۱	۰٫۶۰	۰٫۵۵	۰٫۶۰	۰٫۵۷	۰٫۴۰	۰٫۴۶	۰٫۳۹	۰٫۳۹	۰٫۳۸
Na	۰٫۶۳	۰٫۴۸	۰٫۴۰	۰٫۴۱	۰٫۴۶	۰٫۴۱	۰٫۴۴	۰٫۵۹	۰٫۵۵	۰٫۵۸	۰٫۵۹	۰٫۶۲
K	۰٫۱۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۳
Na+Ca	۰٫۹۱	۱٫۰۱	۱٫۰۱	۱٫۰۱	۱٫۰۲	۱٫۰۱	۰٫۵۷	۱٫۰۰	۱٫۰۲	۰٫۹۸	۰٫۹۸	۱٫۰۰
%Ab	۶۸٫۵۹	۴۷٫۲۴	۳۹٫۷۳	۴۰٫۶۲	۴۵٫۵۵	۴۰٫۴۶	۷۶٫۴۸	۵۹٫۴۶	۵۴٫۴۹	۵۹٫۶۲	۶۰٫۴۴	۶۲٫۱۸
%An	۳۱٫۴۱	۵۲٫۷۶	۶۰٫۲۷	۵۹٫۳۸	۵۴٫۴۵	۵۹٫۵۴	۲۳٫۵۲	۴۰٫۵۴	۴۵٫۵۱	۴۰٫۳۸	۳۹٫۵۶	۳۷٫۸۲

ادامه جدول ۲

PI-1	PI-2	PI-3	PI-4	PI-5	PI-6	PI-7	PI-8	PI-1	PI-2	PI-3	PI-4	PI-5	PI-1	PI-2	PI-3	PI-4	PI-5
<b>Core TSM-137 Rim</b>								<b>Core TSM-139 Rim</b>					<b>Core TSS-49 Rim</b>				
۵۷٫۰	۵۶٫۹۲	۵۳٫۸۵	۵۷٫۹۲	۵۶٫۶۶	۵۸٫۵۷	۵۶٫۴۳	۴۹٫۸۴	۵۷٫۹۷	۵۷٫۸۰	۵۷٫۲۰	۵۷٫۳۹	۵۷٫۵۵	۵۷٫۴۴	۵۷٫۴۲	۵۷٫۱۸	۵۹٫۰۴	۵۸٫۶۴
۰	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰	۰٫۰۳	۰	۰٫۰۴	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰	۰٫۰۴	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۷	۰	۰
۲۶٫۵۱	۲۶٫۹۸	۲۸٫۲۵	۲۵٫۸۵	۲۶٫۴۵	۲۵٫۵۲	۲۷٫۴۲	۳۱٫۰۹	۲۵٫۵۹	۲۶٫۸۱	۲۶٫۰۵	۲۶٫۲۰	۲۶٫۰۳	۲۶٫۸۵	۲۷٫۰۸	۲۶٫۷۴	۲۵٫۸۱	۲۶٫۱۵
۰٫۲۸	۰٫۳۳	۰٫۳۱	۰٫۲۸	۰٫۲۸	۰٫۳۳	۰٫۲۶	۰٫۵۳	۰٫۲۶	۰٫۲۶	۰٫۲۱	۰٫۲۴	۰٫۲۱	۰٫۱۹	۰٫۲۲	۰٫۲۳	۰٫۲۴	۰٫۲۶
۸٫۶۸	۹٫۱۰	۱۰٫۸۵	۸٫۱۳	۸٫۴۸	۷٫۴۴	۹٫۷۶	۱۴٫۲۸	۸٫۰۱	۵٫۲۸	۸٫۳۶	۸٫۲۴	۸٫۱۴	۰٫۰۹	۸٫۸۱	۸٫۹۵	۷٫۷۰	۸٫۱۲
۶٫۶۲	۶٫۴۱	۵٫۴۹	۷٫۰۹	۶٫۶۷	۷٫۲۱	۶٫۱۶	۳٫۶۵	۶٫۹۴	۶٫۶۸	۶٫۶۳	۶٫۷۶	۶٫۷۱	۶٫۵۲	۶٫۵۲	۶٫۵۳	۷٫۰۴	۶٫۷۸
۰٫۶۲	۰٫۵۹	۰٫۴۳	۰٫۶۸	۰٫۶۳	۰٫۸۳	۰٫۵۶	۰٫۱۶	۰٫۷۶	۰٫۷۳	۰٫۶۶	۰٫۶۷	۰٫۶۹	۰٫۶۱	۰٫۵۸	۰٫۶۳	۰٫۷۰	۰٫۸۰
۹۹٫۷۱	۹۹٫۷۱	۹۹٫۲۱	۹۹٫۳۲	۹۹٫۹۱	۹۹٫۹۴	۱۰۰٫۷۲	۹۹٫۵۵	۹۹٫۵۴	۹۹٫۹۲	۹۹٫۵۱	۹۹٫۴۹	۹۹٫۳۲	۱۰۰٫۰۷	۱۰۰٫۶۵	۱۰۰٫۳۴	۹۹٫۹۰	۱۰۰٫۷۴
۲٫۵۵	۲٫۴۶	۲٫۶۰	۲٫۵۷	۲٫۶۳	۲٫۵۳	۱٫۲۷	۱٫۲۳	۲٫۶۰	۲٫۵۹	۲٫۵۹	۲٫۶۰	۲٫۶۱	۲٫۵۷	۲٫۵۷	۲٫۶۵	۲٫۶۱	۲٫۶۳
۱٫۴۱	۱٫۴۴	۱٫۵۲	۱٫۳۸	۱٫۴۱	۱٫۳۵	۱٫۴۵	۱٫۶۸	۱٫۳۶	۱٫۳۹	۱٫۳۹	۱٫۴۰	۱٫۳۹	۱٫۴۱	۱٫۴۳	۱٫۴۱	۱٫۳۳	۱٫۳۷
۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱
۰٫۴۲	۰٫۴۴	۰٫۵۳	۰٫۳۹	۰٫۴۱	۰٫۳۶	۰٫۴۷	۰٫۷۰	۰٫۳۹	۰٫۴۰	۰٫۴۱	۰٫۴۰	۰٫۳۹	۰٫۴۴	۰٫۴۲	۰٫۴۳	۰٫۳۷	۰٫۳۹
۰٫۵۸	۰٫۵۶	۰٫۴۹	۰٫۶۲	۰٫۵۹	۰٫۶۳	۰٫۵۴	۰٫۳۲	۰٫۶۱	۰٫۵۸	۰٫۵۸	۰٫۵۹	۰٫۵۶	۰٫۵۶	۰٫۵۷	۰٫۵۷	۰٫۶۱	۰٫۵۹
۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۵
۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۲	۱٫۰۲	۱٫۰۰	۰٫۹۹	۱٫۰۰	۱٫۰۳	۰٫۹۹	۰٫۹۸	۰٫۹۹	۰٫۹۹	۰٫۹۸	۱٫۰۰	۰٫۹۹	۱٫۰۰	۰٫۹۸	۰٫۹۷
۵۷٫۹۸	۵۶٫۰۴	۴۷٫۷۸	۶۱٫۲۱	۵۸٫۷۴	۶۳٫۷	۵۳٫۳۲	۳۱٫۶۰	۶۱٫۰۷	۵۹٫۳۶	۵۸٫۹۳	۵۹٫۷۲	۵۹٫۸۶	۵۹٫۰۰	۵۷٫۵۷	۵۷٫۰۰	۶۲٫۲۴	۶۰٫۸۲
۴۲٫۰۲	۴۳٫۹۶	۵۲٫۲۲	۳۸٫۷۹	۴۱٫۲۶	۳۶٫۳۰	۴۶٫۶۸	۶۸٫۴۰	۳۸٫۹۳	۴۰٫۶۴	۴۱٫۰۷	۴۰٫۲۸	۴۰٫۱۴	۴۴٫۰۰	۴۲٫۴۲	۴۲٫۰۰	۳۷٫۷۶	۳۹٫۱۸

جدول ۳ آنالیز شیمیایی آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی تفتان.

Sample	AM-1	AM-2	AM-3	AM-4	AM-5		AM-1	AM-2	AM-3	AM-4	AM-5	
Oxides	Core					Rim		TSM-139				
	Core					Rim		TSM-139				
SiO <sub>2</sub>	۴۸,۱۲	۴۵,۶۵	۴۵,۸۶	۴۸,۰۷	۴۵,۹۲		۴۴,۷۶	۴۶,۳۱	۴۴,۱۵	۴۲,۴۳	۴۶,۵۵	
TiO <sub>2</sub>	۱,۶۹	۱,۹۰	۱,۶۲	۱,۴۲	۱,۸۸		۲,۰۲	۱,۸۰	۲,۲۴	۲,۳۷	۱,۹۰	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۶,۸۵	۸,۱۵	۸,۱۱	۷,۰۵	۸,۰۵		۱۰,۰۲	۸,۵۵	۱۰,۷۱	۱۰,۷۸	۸,۰۵	
FeO	۱۲,۳۲	۱۳,۱۳	۱۳,۸۰	۱۲,۶۵	۱۵,۲۰		۱۳,۶۱	۱۲,۸۳	۱۳,۸۴	۱۳,۶۸	۱۲,۴۶	
MnO	۰,۴۷	۰,۴۳	۰,۴۸	۰,۳۸	۰,۴۴		۰,۳۲	۰,۲۶	۰,۳۲	۰,۴۰	۰,۳۶	
MgO	۱۵,۴۶	۱۴,۴۲	۱۴,۴۹	۱۵,۶۳	۱۴,۵۶		۱۳,۴۱	۱۴,۸۴	۱۳,۲۹	۱۳,۲۷	۱۴,۸۵	
CaO	۱۱,۱۵	۱۱,۴۴	۱۱,۰۴	۱۱,۰۸	۱۱,۲۸		۱۱,۲۸	۱۱,۴۰	۱۱,۲۴	۱۱,۵۰	۱۱,۳۸	
Na <sub>2</sub> O	۱,۴۹	۱,۷۱	۱,۸۷	۱,۴۴	۱,۶۲		۱,۷۷	۱,۷۵	۱,۹۱	۱,۴۶	۱,۴۳	
K <sub>2</sub> O	۰,۶۸	۰,۸۰	۰,۹۲	۰,۶۱	۰,۸۶		۱,۱۷	۰,۹۴	۱,۱۲	۱,۱۲	۰,۹۲	
H <sub>2</sub> O	۲,۱۶	۲,۱۳	۲,۱۳	۲,۱۶	۲,۱۳		۲,۱۳	۲,۱۵	۲,۱۴	۲,۱۱	۲,۱۴	
Total	۱۰۰,۳۸	۱۰۰,۰۶	۱۰۰,۳۰	۱۰۰,۴۹	۹۹,۹۳		۱۰۰,۴۹	۱۰۰,۸۳	۱۰۰,۹۶	۹۹,۱۲	۱۰۰,۰۴	
Si	۶,۹۷	۷,۰۵	۷,۰۴	۷,۲۷	۷,۰۶		۶,۵۷	۷,۰۳	۶,۷۵	۶,۶۹	۷,۱۱	
Al	۱,۰۳	۰,۹۵	۰,۹۶	۰,۷۳	۰,۹۴		۱,۴۳	۰,۹۷	۱,۲۵	۱,۳۱	۰,۸۹	
T-site	۸	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰		۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰	
Al	۰,۱۴	۰,۵۲	۰,۵۱	۰,۵۳	۰,۵۱		۰,۳۰	۰,۵۶	۰,۶۹	۰,۶۶	۰,۵۵	
Ti	۰,۱۸	۰,۲۲	۰,۱۹	۰,۱۶	۰,۲۲		۰,۲۲	۰,۲۱	۰,۲۶	۰,۲۸	۰,۲۲	
Fe	۱,۴۹	۱,۶۸	۱,۷۷	۱,۶۰	۱,۷۰		۱,۶۷	۱,۶۳	۱,۷۷	۱,۷۷	۱,۵۶	
Mn	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۰۵	۰,۰۶		۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۵	
Mg	۳,۳۴	۳,۳۰	۳,۳۲	۳,۵۲	۳,۳۲		۲,۹۳	۳,۳۶	۳,۰۳	۳,۰۶	۳,۳۸	
O-site	۵,۲۱	۵,۷۸	۵,۸۵	۵,۸۷	۵,۸۲		۵,۱۶	۵,۷۹	۵,۷۹	۵,۸۲	۵,۷۹	
Ca	۱,۷۳	۱,۸۸	۱,۸۲	۱,۸۰	۱,۸۶		۱,۷۷	۱,۸۵	۱,۸۴	۱,۹۱	۱,۸۶	
Na	۰,۴۲	۰,۵۱	۰,۵۶	۰,۴۲	۰,۴۸		۰,۵۰	۰,۵۲	۰,۵۷	۰,۴۴	۰,۴۲	
K	۰,۱۲	۰,۱۶	۰,۱۸	۰,۱۲	۰,۱۷		۰,۲۲	۰,۱۸	۰,۲۲	۰,۲۲	۰,۱۸	
A-site	۲,۲۷	۲,۵۵	۲,۵۵	۲,۳۴	۲,۵۱		۲,۵۰	۲,۵۵	۲,۶۲	۲,۵۷	۲,۴۶	
OH	۲,۰۹	۲,۱۸	۲,۱۸	۲,۱۸	۲,۱۸		۲,۰۹	۲,۱۸	۲,۱۸	۲,۱۸	۲,۱۸	

جدول ۴ آنالیز شیمیایی کانی‌های بیوتیت و پیروکسن موجود در سنگ‌های آتشفشانی تفتان.

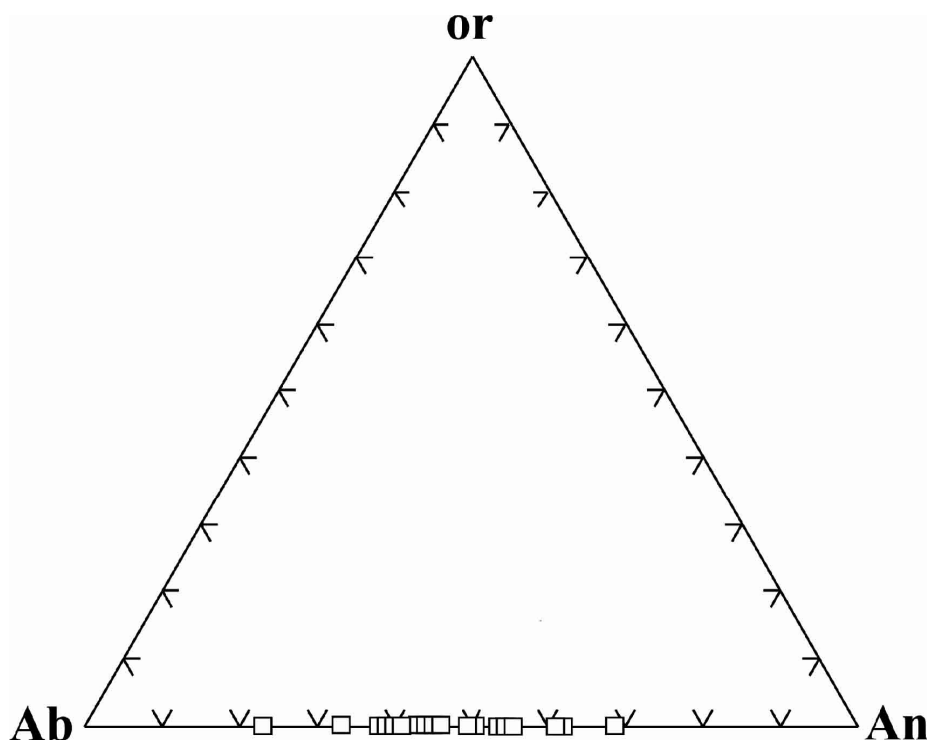
Sample	Bi-1	Bi-2	Bi-3	Bi-4	Bi-5		OPX-1	OPX-2	OPX-3	OPX-4	CPX-1	CPX-2	
Oxides	Core					Rim		TSM-152				TSM-152	
	Core					Rim		TSM-152				TSM-152	
SiO <sub>2</sub>	۰,۹۳۸	۳,۸۱۵	۳,۷۹۴	۳,۷۶۷	۳,۸۰۸		۵۳,۴۳	۵۳,۹۹	۵۲,۸۵	۵۴,۳۴	۵۰,۶۳	۴۸,۳۱	
TiO <sub>2</sub>	۴,۷۲	۳,۹۴	۳,۸۸	۴,۱۳	۳,۸۶		۰,۰۵	۰,۱۹	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۸۹	۱,۲۳	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۴,۱۳	۱۴,۲۱	۱۴,۱۲	۱۴,۰۶	۱۴,۱۱		۰,۵۹	۰	۰	۰,۰۹	۳,۶۸	۵,۲۴	
FeO	۱۳,۶۳	۱۴,۰۳	۱۴,۱۸	۱۳,۹۱	۱۳,۶۵		۲۰,۲۸	۲۰,۲۳	۲۰,۲۳	۱۹,۳۴	۸,۹۴	۸,۹۲	
MnO	۰,۱۲	۰,۱۰	۰,۱۱	۰,۱۵	۰,۱۶		۰,۸۳	۰,۹۴	۰,۸۶	۰,۸۱	۰,۲۷	۰,۲۲	
MgO	۱۳,۷۲	۱۵,۱۷	۱۴,۸۲	۱۴,۹۷	۱۵,۱۶		۲۴,۶۶	۲۴,۳۳	۲۵,۱۳	۲۵,۲۱	۱۵,۱۰	۱۴,۵۷	
CaO	۰,۱۹	۰,۰۳	۰,۰۶	۰,۰۵	۰,۰۳		۰,۸۲	۰,۸۸	۰,۸۷	۰,۸۸	۲,۰۶۵	۲,۰۷۴	
Na <sub>2</sub> O	۰,۶۳	۰,۹۰	۰,۷۰	۰,۵۵	۰,۵۲		۰,۰۰۹	۰,۰۰۴	۰,۰۵۸	۰,۰۲۵	۰,۴۸	۰,۵۰	
K <sub>2</sub> O	۹,۵۲	۹,۶۱	۹,۶۹	۹,۷۲	۹,۵۲		۰	۰,۰۱۳	۰,۰۱۲	۰	۰,۰۱	۰,۰۱	
H <sub>2</sub> O	۴,۴۱	۴,۴۶	۴,۴۳	۴,۲۵	۴,۲۴		-	-	-	-	-	-	
Total	۹۹,۱۷	۱۰۰,۵۸	۹۹,۹۳	۹۹,۷۷	۹۹,۶۵		۱۰۰,۶۱	۱۰۰,۵۸	۱۰۰,۰۱	۱۰۰,۷۵	۱۰۰,۷۹	۹۹,۷۴	
Si	۵,۶۵	۶,۱۵	۶,۱۷	۶,۱۴	۶,۱۹		۱,۹۶	۱,۹۸	۱,۹۶	۱,۹۸	۱,۸۸	۱,۸۱	
Al	۲,۳۵	۱,۸۵	۱,۸۳	۱,۸۶	۱,۸۱		۰,۰۳	۰	۰	۰	۰,۱۶	۰,۲۳	
T-site	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰	۸,۰۰		۱,۹۹	۱,۹۸	۱,۹۶	۱,۹۸	۲,۰۴	۲,۰۴	
Al	۰,۱۲	۰,۸۵	۰,۸۷	۰,۸۴	۰,۸۹		-	-	-	-	-	-	
Ti	۰,۵۳	۰,۴۸	۰,۴۷	۰,۵۱	۰,۴۷		-	۰,۰۱	۰	۰	۰,۰۲	۰,۰۳	
Fe	۱,۶۹	۱,۸۹	۱,۹۳	۱,۹۰	۱,۸۶		۰,۶۲	۰,۶۲	۰,۶۳	۰,۵۹	۰,۲۸	۰,۲۸	
Mn	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲		۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۱	
Mg	۳,۰۳	۳,۶۵	۳,۵۹	۳,۶۴	۳,۶۷		۱,۳۵	۱,۳۳	۱,۳۹	۱,۳۷	۰,۸۳	۰,۸۲	
O-site	۵,۳۸	۶,۸۸	۶,۸۸	۶,۹۰	۶,۶۱		-	-	-	-	-	-	
Ca	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱		۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۸۲	۰,۸۳	
Na	۰,۱۸	۰,۲۸	۰,۲۲	۰,۱۸	۰,۱۶		۰	۰	۰	۰	۰,۰۳	۰,۰۴	
K	۱,۸۰	۱,۹۸	۲,۰۱	۲,۰۲	۱,۹۷		۰	۰	۰	۰	۰	۰	
A-site	۲,۰۲	۲,۲۶	۲,۲۴	۲,۲۱	۲,۱۴	En	۰,۶۷۵	۰,۶۷	۰,۶۸	۰,۶۸	۰,۴۳	۰,۴۲	
OH	۴,۳۶	۴,۸۰	۴,۸۰	۴,۶۲	۴,۶۰	Fs	۰,۳۱	۰,۳۱	۰,۳۰	۰,۳۰	۰,۱۴۵	۰,۱۴۵	
Mg#	۰,۶۴	۰,۶۶	۰,۶۵	۰,۶۶	۰,۶۶	Wo	۰,۰۱۵	۰,۰۱۵	۰,۰۱۵	۰,۰۱۵	۰,۴۲	۰,۴۳	



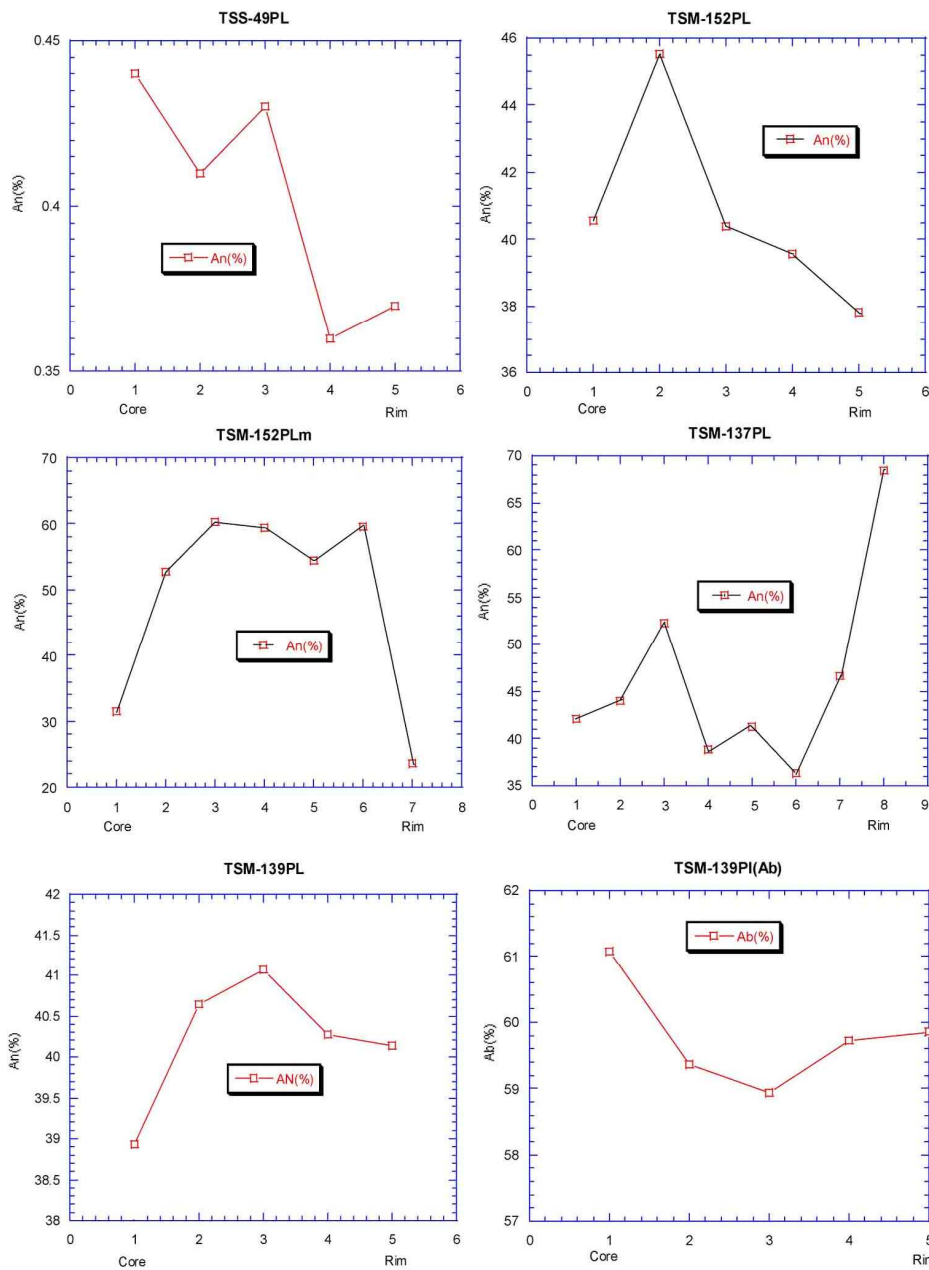
## شیمی کانی‌ها

پلاژیوکلاز: بلورهای پلاژیوکلاز حدود ۷۵ درصد بلورهای سنگ‌های آتشفشانی تفتان را تشکیل می‌دهند و جزء اصلی-ترین کانی‌های تشکیل دهنده آن‌ها به شمار می‌روند. این کانی‌ها در سنگ‌های آتشفشانی تفتان دارای منطقه‌بندی بوده و نسل‌های متفاوتی از تبلور را نشان می‌دهند به طوری که در بسیاری موارد در حاشیه پلاژیوکلازهای قدیمی تشکیل نسل جدیدتری را داده‌اند. مقدار اکسید سیلیسیم در نمونه‌های تجزیه شده این کانی‌ها از ۵۷٫۲ درصد تا ۶۰٫۲ درصد وزنی تغییر می‌کند که ارتباط آن با اکسید آلومنیوم معکوس است. نتایج ریزپردازی الکترونی پلاژیوکلازهای سنگ‌های آتشفشانی تفتان در جدول ۲ آورده شده‌اند. به منظور نامگذاری آن‌ها از نمودار آلبیت-آنورتیت و ارتوز استفاده شده است. بنابراین رده-بندی (شکل ۵)، کلیه پلاژیوکلازهای تجزیه شده در گستره آندزین تا لابرادور قرار می‌گیرند. مسلماً اگر نمونه‌های بیشتری آنالیز شوند گستره گستره‌تری از پلاژیوکلازهای تفتان به دست خواهد آمد. تغییرات مقادیر کلسیم از مرکز تا حاشیه این بلورها

در شکل ۶ دیده می‌شوند. در این شکل پیداست که کانی‌های پلاژیوکلاز موجود در سنگ‌های تفتان گرچه بی‌نظمی و نوسان-هایی در ترکیب از لحاظ مقادیر سدیم و کلسیم نشان می‌دهند، ولی از مرکز به کرانه درشت بلورهای پلاژیوکلاز، معمولاً مقدار آنورتیت افزایش نشان می‌دهد (جدول ۲). میکروولیت‌های پلاژیوکلاز موجود در خمیره آندزیت‌ها، نسبت به درشت بلورهای این کانی در همان سنگ، از آنورتیت غنی‌ترند (شکل ۶). درشت بلورهای پلاژیوکلاز موجود در سنگ‌های آتشفشانی تفتان معمولاً دارای منطقه‌بندی معکوس و کمتر نوسانی و نرمال هستند. بی‌نظمی و نوسان در ترکیب شیمیایی پلاژیوکلازها معمولاً بیانگر تشکیل آن‌ها در شرایط نامتعادل است، و معمولاً ناشی از تغییرات فشار [۱۴، ۱۳]، اختلاط ماگمایی و یا فروتافت سریع ماگما [۱۶، ۱۵] هستند. ولی به نظر می‌رسد که تغییرات ترکیب شیمیایی پلاژیوکلازهای موجود در سنگ‌های آتشفشانی تفتان بیشتر در اثر تغییر ترکیب شیمیایی ماگما توام با تغییرات فشار و اختلاط ماگمایی به وجود آمده باشند.



شکل ۵ ترکیب شیمیایی پلاژیوکلازهای موجود در سنگ‌های آتشفشانی تفتان.



شکل ۶ تغییرات ترکیبی ریزپردازش پلاژیوکلازهای موجود در سنگ‌های آندزیتی آتشفشانی تفتان (نمونه TSM-152PLm میکرولیت پلاژیوکلاز می‌باشد).

باشد ترکیب شیمیایی پلاژیوکلاز به سمت قطب غنی از آنورتیت می‌گراید. نتیجه این امر حل شدن پلاژیوکلاز و بدنبال آن رشد پلاژیوکلاز کلسیم‌دار، ایجاد پوشش‌های غبارآلود (شکل ۷ الف) در نتیجه تغییر ترکیب پلاژیوکلازهاست. یکی از عواملی که میزان تاثیر فشار را در تغییر ترکیب شیمیایی پلاژیوکلازها به خوبی نشان می‌دهد مقدار آب موجود در ماگماست. در حالت کلی حضور آب همراه با کاهش فشار لیتواستاتیک سبب کاهش چسبندگی ماگما و به دنبال آن سقوط منحنی‌های

### تغییر ترکیب شیمیایی ماگما توام با تغییرات فشار

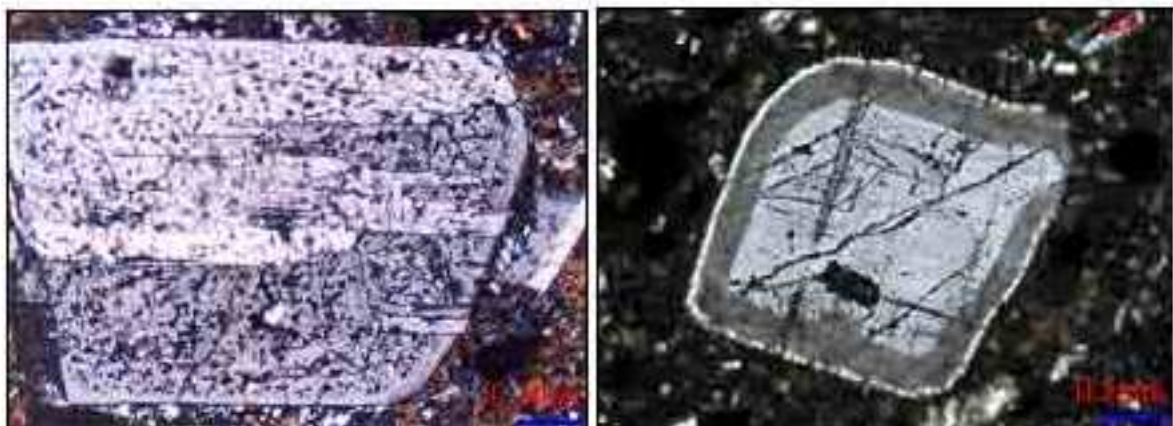
نوسان‌های فشار به ویژه فشار بخار آب در ماگماهای آهکی-قلیایی مناطق آتشفشانی امری کاملاً عادی و معمول است. با کاهش فشار و خروج سریع بخارها، شیب منحنی انجماد پلاژیوکلاز منفی است که باعث انحلال و ایجاد نوسان‌های ترکیبی در ترکیب پلاژیوکلازها می‌شود. [۱۷] نشان داده‌اند که در یک سیستم تک‌دما، معمولاً با افزایش فشار بخار آب منحنی انجماد پایین آمده و در صورتی که سرعت سرد شدن آهسته

(شکل ۷ب) به خوبی مشهود است.

[۱۸] منطقه‌بندی ترکیبی یا نوسانی بلورهای پلاژیوکلاز را نتیجه تغییر ناگهانی درصد آنورتیت به سمت خارج بلور و تغییرات تدریجی درصد آنورتیت پلاژیوکلازها می‌دانند. ولی در پلاژیوکلازهای سنگ‌های آتشفشانی تفتان به نظر می‌رسد منطقه‌بندی ترکیبی، نتیجه تغییرات ناگهانی در شرایط دینامیکی تبلور، نوسانات فشار بخار آب و اختلاط ماگمایی باشد. افزایش میزان بخارهای ماگمایی در شرایط آتشفشانی در کرانه‌های این بلورها سبب پایین آمدن منحنی‌های انجماد و سیلان و در نتیجه حل شدن سریعتر آن‌ها شده است. درشت بلورهای پلاژیوکلاز سنگ‌های آتشفشانی تفتان الگوی پیچیده منطقه‌بندی ترکیبی، تحلیل، واکنش با ماگما، و خردشدگی را نشان می‌دهند. این الگوها شواهدی از یک سرگذشت تحولی را در بردارند که به نظر می‌رسد. الف) درشت بلورهای پلاژیوکلاز در یک آشیانه ماگمایی در عمق پایین تبلور حاصل کرده باشند، شاید شکل‌دار، درشت بودن، و نبودن منطقه‌بندی در دسته‌ای از این بلورها به این دلیل باشد. ب) همگام با انتقال ماگما به اعماق کمتر، حل شدن و تحلیل در این بلورها صورت گرفته و بافت غربالی در آن‌ها به وجود آمده است (شکل ۷ب). ج) در فشارهای پایین‌تر (نزدیک به سطح) پلاژیوکلازها با پلاژیوکلازی با ترکیب مشابه با پلاژیوکلازهای خمیره پوشانده می‌شود) در هنگام فوران ماگمای بدام افتاده در بخش‌های حل شده یافته پلاژیوکلازها زمینه خردشدگی آن‌ها را فراهم می‌کند.

انجماد و سیلان و حل شدن و حل شدن بلورها، سهولت صعود ماگما به سطح زمین و نهایتاً افزایش نرخ انتشار می‌شود [۱۷]. میزان آب در ماگماهای سازنده کوه آتشفشانی تفتان نسبتاً بالاست، دلیل آن حضور فراوان کانی‌های آبدار اولیه نظیر بیوتیت و هورنبلند در اغلب سنگ‌های سازنده این آتشفشان است. لذا به نظر می‌رسد که تغییرات فشار بخار آب همگام با کاهش فشار لیتواستاتیک در تشکیل بافت‌های حل شونده و به دنبال آن نوسان‌های ترکیبی پلاژیوکلازها نقش داشته‌اند.

دو نوع درشت بلور پلاژیوکلاز، حل شونده و ناعحل شونده در سنگ‌های تفتان حضور دارند. درشت بلورهای حل شده در مقایسه با درشت بلورهای ناعحل شونده معمولاً منطقه‌بندی بیشتری را نشان می‌دهند. همه درشت بلورها در مقایسه با ریز بلورهای پلاژیوکلاز خمیره، حل شوندگی و منطقه‌بندی بیشتری دارند. علیرغم همپوشنی بین ترکیب این دو دسته از کانی‌های پلاژیوکلاز، غالب ریز بلورهای پلاژیوکلاز ترکیب کلسیم‌دارتری نشان می‌دهند (جدول ۲) که نشان می‌دهد پلاژیوکلازهای حل شده احتمالاً در اعماق بیشتری از ماگما تبلور یافته‌اند و سپس در مراحل بعدی فوران ماگمایی در اثر تغییرات فشار و سایر عوامل انحلال، ساختار منطقه‌ای گرفته‌اند. چنانچه درشت بلورهای پلاژیوکلاز پس از تشکیل در دمای بالاتر از دمای سیلان قرار بگیرند در این صورت حل شده و بافت‌های نامتعادل به ویژه بافت غربالی پیدا می‌کنند (که این حالت در سنگ‌های مناطق آتشفشانی فراوان رخ می‌دهد). این وضعیت در درشت بلورهای پلاژیوکلاز سنگ‌های تفتان



شکل ۷ الف) شکل‌گیری پوشش‌های غبارآلود پیرامون پلاژیوکلازهای سنگ‌های داسیتی تفتان. ب) بافت انحلالی (غربالی) در درشت بلورهای پلاژیوکلاز سنگ‌های آندزیتی تفتان.

## اختلاط ماگمایی

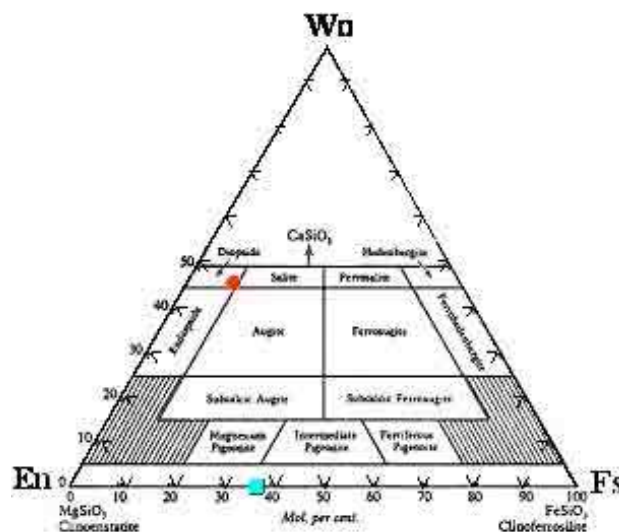
به اعتقاد [۱۹] منطقه‌بندی نوسانی و سپس منطقه‌بندی معمولی در بلورهای پلاژیوکلاز می‌تواند در اثر تغییر ترکیب ماگما در مراحل مختلف رشد بلور حاصل شود، به عبارتی در نتیجه رشد پلاژیوکلاز بعدی روی بلور پلاژیوکلاز، در ماگمای در حال تغییر شیمیایی، منطقه‌بندی نوسانی شکل می‌گیرد، زیرا در این شرایط، بلور به بخش‌هایی که دارای ترکیب کلسیم-دارتری هستند منتقل شده و در نتیجه پلاژیوکلاز کلسیم‌دارتر روی بلور قبلی رشد می‌کند. از طرفی چون ماگما به علت اختلاط ماگمایی در حال تغییر ترکیب شیمیایی است بنابراین بلور پلاژیوکلاز وقتی به بخش‌های سدیم‌دارتر ماگما می‌رسد پلاژیوکلاز سدیم‌دار روی آن رشد می‌کند. این چرخه چندین بار تکرار می‌شود و در نتیجه بلور پلاژیوکلاز با منطقه‌بندی نوسانی شکل می‌گیرد، و سپس زمانی که ماگما به تعادل شیمیایی و دینامیکی رسید این روند تبلور به گونه‌ای پیش می‌رود که ترکیب ماگما سدیم‌دارتر می‌شود و پلاژیوکلاز سدیم‌دار تر قبلی را پوشش می‌دهد و در نتیجه هسته بلور پلاژیوکلاز با منطقه‌بندی نوسانی با حاشیه‌ای با منطقه‌بندی معمولی تشکیل می‌شود. در شکل ۶ تغییرات آلبیت و آنورتیت در یک نمونه پلاژیوکلاز نمونه TSM-139 از مرکز (نقطه ۱) تا کرانه (نقطه ۵) نشان داده شده است. چنانکه مشاهده می‌شود از نقطه ۳ تا نقطه ۵ در صد آلبیت افزایش، ولی درصد آنورتیت کاهش می‌یابد و یک منطقه‌بندی معمولی را به نمایش می‌گذارد که می‌تواند نشان دهنده تعادل شیمیایی و دینامیکی

ماگما طی رویداد اختلاط ماگمایی باشد. [۱۸، ۱۹] معتقدند که طی اختلاط ماگمایی، در اثر تفاوت دمای بین ماگمای اسیدی و بازی، بلور پلاژیوکلاز دستخوش ضربه گرمایی شده و کرانه‌ها و بخش‌های درونی آن ذوب می‌شوند، بخش‌های ذوب شده به علت نداشتن زمان کافی برای تبلور، به صورت شیشه در آمده و سپس بخش‌های خورده شده با ماگما، کلسیم‌دارتر می‌شوند، و به این ترتیب بخش‌های خورده شده کرانه‌ها با رشد پلاژیوکلاز کلسیم‌دار تر، پلاژیوکلاز سدیم‌دار تر را می‌پوشاند.

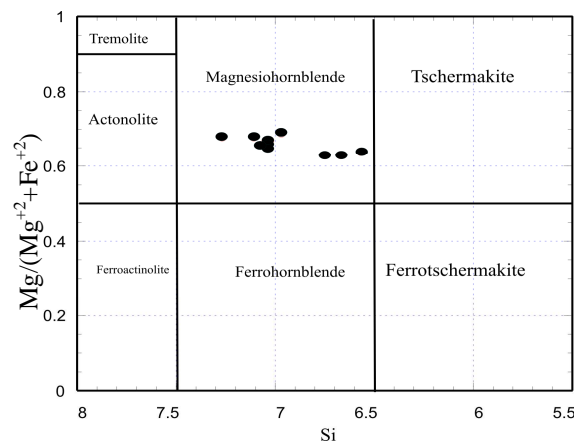
پیروکسن‌ها: نتایج ریزپردازش الکترونی پیروکسن‌های سنگ‌های آتشفشانی تفتان در جدول ۴ آورده شده‌اند. به منظور نامگذاری پیروکسن‌ها از نمودار ولاستونیت-انستاتیت و فروسیلیت استفاده شد [۲۰]. بر این رده‌بندی (شکل ۸) کلیه پیروکسن‌های تجزیه شده در دو گروه ارتوپيروکسن‌ها معمولاً (هیپرستن) و کلینو پیروکسن‌ها (دیوپسید) قرار می‌گیرند.

آمفیبول‌ها: نتایج حاصل از تجزیه ریز پردازش الکترونی آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی تفتان در جدول ۳ آورده شده‌اند. به منظور نامگذاری آن‌ها از رده‌بندی [۲۱] استفاده شد. بنابر این رده‌بندی (شکل ۹)، کلیه آمفیبول‌های تجزیه شده سنگ‌های آتشفشانی تفتان در گستره مگنزیوهورنبلند قرار می‌گیرند.

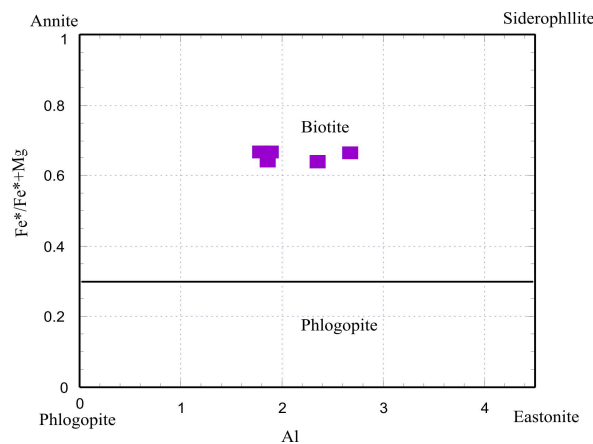
بیوتیت‌ها: ریز کاوش الکترونی بیوتیت‌های سنگ‌های آتشفشانی تفتان در جدول ۴ آورده شده است. به منظور نامگذاری بیوتیت‌ها از رده‌بندی [۲۲] استفاده شد. بنابر این رده‌بندی (شکل ۱۰)، کلیه میکاها از نوع بیوتیت هستند.



شکل ۸ ترکیب شیمیایی پیروکسن‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی تفتان [۲۰].



شکل ۹ ترکیب شیمیایی آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی تفتان در رده‌بندی [۲۱].

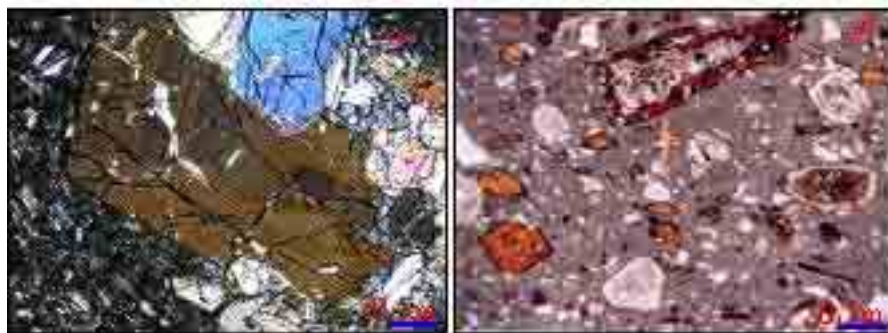


شکل ۱۰ ترکیب شیمیایی بیوتیت‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی تفتان در رده‌بندی [۲۲].

عمومی جدایش بلوری است. شواهدی چون حل شدن کرانه بلورها، تشکیل اکسیدهای آهن در راستای رخ‌های پیروکسن، خرد و گرد شدن آن‌ها، موید کاهش فشار و تغییرات ناشی در محیط تشکیل این کانی‌هاست.

به طور کلی هر یک از حالت‌های اخیر در این کانی‌ها می‌تواند معلول عواملی چون تغییر ترکیب شیمیایی ماگما توام با تغییرات فشار و اختلاط ماگمایی باشد. پر واضح است که به دلیل جایگیری ماگمای آتشفشان تفتان نزدیک به سطح زمین و متعاقباً خروج آن، زمینه را برای تغییر در روند تبلور، جابه‌جایی در منحنی‌های انجماد و سیلان، انحلال و حتی اکسایش این کانی‌های فراهم کرده است. نرخ این تغییرات درجات مختلفی را در سوختگی‌های این کانی‌ها ایجاد کرده است. پایین آمدن سریع فشار بخار آب در شرایط آتشفشانی باعث ناشفافی این کانی‌ها شده، به گونه‌ای که گاهی باعث پراکنده شدن آن‌ها، حتی پر شدن کل بلور با این ماده کدر شده است.

در غالب سنگ‌های آتشفشانی تفتان کانی‌های آبدار بیوتیت و هورنبلند حضور دارند. این دو کانی که معمولاً به صورت شکل دار تا نیمه شکل‌دار و به صورت درشت بلور با میانگین اندازه ۱ تا ۰.۵ میلی‌متر و به صورت میکرولیتی درخمیره حضور دارند، سوختگی و ناشفافی با شدت‌های متفاوت را نشان می‌دهند (شکل ۱۱ الف). که گاهی دارای هم رشدی با یکدیگرند. غالباً بیوتیت‌ها و هورنبلندها اولیه اند زیرا شواهدی چون عدم همراهی اکسایش در کرانه‌های خرد شده بیوتیت، حضور ماگنتیت در درشت بلورها (بوژه درکانی فلسیک چون پلاژیوکلاز) و عدم حضور ماگنتیت به مقدار قابل توجهی درخمیره (بیانی از عدم شرایط اکسایش) در سنگ‌های آتشفشانی تفتان دیده می‌شود. پیروکسن‌ها علی‌رغم دارا بودن دمای بالای تشکیل، از فرایندهای نامتعادل محیط تشکیل متأثر شده‌اند که برخی سوخته، اکسیده، گرد و منطقه بندی شده‌اند (شکل ۱۱ ب). براساس تجزیه شیمیایی از مرکز و کرانه این پیروکسن، مرکز آن‌ها از منیزیم غنی‌تر است که این همان روند

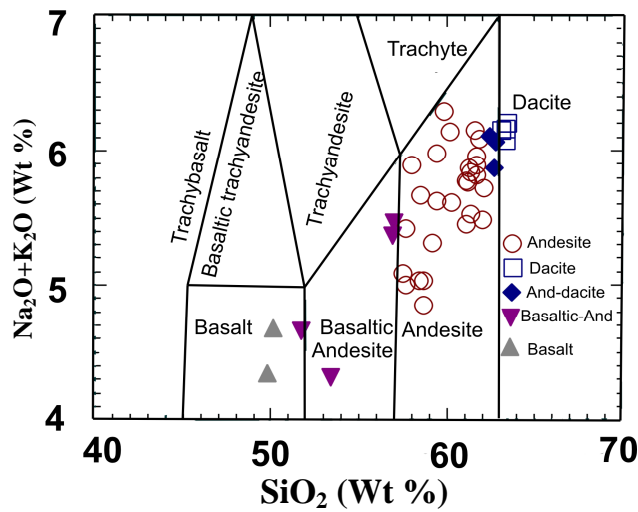


شکل ۱۱ الف) کدری [ناشفافی] متفاوت کانی‌های بیوتیت و هورنبلند در سنگ‌های داسیتی تفتان. ب) بلورهای درشت بیروکسن با منطقه‌بندی آشکار و سوختگی در آندزی بازالت‌های تفتان.

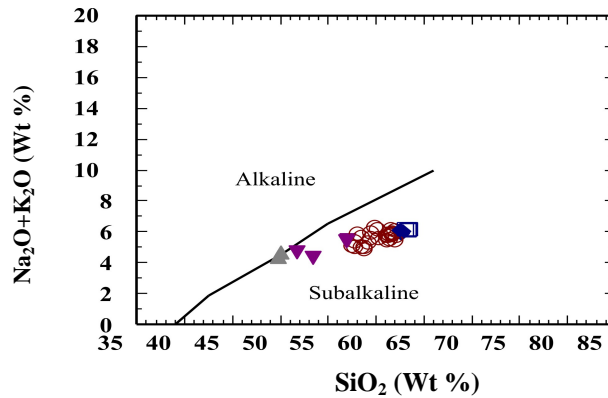
### موارد کاربرد شیمی سنگ و کانی

تجزیه شیمیایی سنگ‌های کوه آتشفشانی تفتان در جدول ۱ نشان می‌دهد که مقدار اکسید سیلیسیم موجود در آن‌ها به طور متوسط در حد ۵۹٫۷۷ است. همچنین نامگذاری سنگ‌ها براساس رده بندی ارائه شده توسط [۲۳] (مجموعه قلیایی نسبت به اکسید سیلیسیم، TAS) صورت گرفته است (شکل ۱۲). معلوم شد که سنگ‌هایی با ترکیب آندزیتی و داسیتی فراوان‌ترین سازنده‌های این آتشفشانند می‌باشد. این حجم فراوان از سنگ‌های اسیدی در یک آتشفشان احتمال واقع شدن آن را در یک منطقه فرورانشی حاشیه قاره نشان می‌دهد. از طرفی در نمودار سیلیس - قلیا شکل ۱۳ اغلب سنگ‌های این آتشفشان در گستره آهکی - قلیایی قرار می‌گیرند [۲۴]. بررسی شیمی همه کانی‌های آمفیبول موجود در سنگ‌های آتشفشانی تفتان با داشتن  $Mg/(Mg+Fe) > 0.6$  در زیرگروه آمفیبول‌های منیزیهورنبلند قرار می‌گیرند. در این گروه مقدار Al پایین و Mg نسبتاً بالا و  $SiO_2$  پایین است. متوسط  $Na_2O$  در این کانی‌ها بیشتر از  $K_2O$  است (جدول ۳). بنا بر اعتقاد [۲۵] از فاکتورهای  $MgO$ ،  $FeO$  و  $TiO_2$  در آمفیبول‌ها به عنوان ضریب جدایش می‌توان استفاده کرده. اگر فاکتور  $MgO$  در کانی‌های آمفیبول موجود در سنگ‌های آذرین بین ۲ تا ۱۰ باشد جدایش آن‌ها از یک ماگمای با دمای بالای (۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد) صورت گرفته است، و اگر مقدار آن بالاتر از ۱۰ باشد جدایش در دماهای پایین (۸۰۰ درجه سانتی‌گراد) انجام شده است که این ضریب جدایش در هورنبلندهای تفتان بین ۸٫۵ تا ۱۳٫۴ است که نشان می‌دهد جدایش آن‌ها در شرایط دمایی پایین صورت گرفته است. چنانچه ضریب جدایش  $FeO$  مابین ۲ تا ۶ باشد جدایش در دمای پایین صورت گرفته است که در کانی‌های هورنبلند موجود در سنگ‌های تفتان این ضریب در حد ۳٫۳ تا ۵٫۳ است که باز هم نشان می‌دهد که آن‌ها در

دمای پایین جدایش حاصل کرده‌اند. ضریب جدایش  $TiO_2$  آمفیبول‌ها بستگی به فشار دارد که در شرایط پوسته فوقانی، مقدار این ضریب بین ۵ تا ۱۰ در سنگ‌های آتشفشانی، و در سنگ‌های درونی بین ۱ تا ۵ [۲۵] است در سنگ‌های تفتان این نسبت بین ۲ تا ۴٫۷ تغییر می‌کند که نشان می‌دهد تبلور در یک ماگمای در حال صعود و یا آشیانه ماگمایی نزدیک به سطح انجام شده است. نتایج حاصل از تجزیه شیمی بلورهای بیوتیت موجود در سنگ‌های تفتان نشان می‌دهد که آن‌ها با داشتن  $Al > 1.79$  و  $Fe/(Fe+Mg) > 0.6$  در گستره بیوتیت با اندکی تمایل به سمت قطب آنیت واقع می‌شوند، و معمولاً دارای پتاسیم نسبتاً بالا هستند (جدول ۴) که این امر نشان می‌دهد بیوتیت‌ها اغلب تازه‌اند. شیمی کانی‌های بیروکسن نشان می‌دهد که مرکز آن‌ها معمولاً نسبت به حاشیه از منیزیم غنی‌ترند (جدول ۴). این امر با روند عمومی جدایش بلورین سازگار است. شیمی نمونه‌های پلاژیوکلاز نشان می‌دهد که آن‌ها اغلب دارای منطقه‌بندی معکوس، نرمال و نوسانی بوده (جدول ۲) و گستره ترکیبی آن‌ها از آندزین تا لابرادوریت است. منطقه‌بندی معکوس در بلورهای پلاژیوکلاز نشان می‌دهد که تبلور شیمیایی آن‌ها به طور کامل پیش نرفته است و می‌توان گفت که در محیط نامتعادل شکل گرفته‌اند. این تغییرات در کانی‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی معمولاً ناشی از شرایط سردایش سریع تبلور است [۲۶]. به اعتقاد [۲۷] منطقه بندی نوسانی در پلاژیوکلازها احتمالاً ناشی از تغییرات رشد، حل شدن و واکنش باشد که همه آن‌ها حاصل تغییرات ترکیب شیمیایی ماگما، دمای و فشار است. چنین تغییراتی در ترکیب شیمیایی کانی‌های اصلی سازنده تفتان حاصل عواملی چون نوسان‌های فشار بخار آب، تغییر ترکیب شیمیایی ماگما همراه با کاهش فشار، و در برخی موارد در نتیجه اختلاط ماگمایی حاصل شده است.



شکل ۱۲ نامگذاری سنگ‌های آتشفشانی تفتان بر اساس نمودار  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  در مقابل  $\text{SiO}_2$  [اقتباس از ۲۳].



شکل ۱۳ موقعیت سنگ‌های آتشفشانی تفتان در نمودار  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  نسبت به  $\text{SiO}_2$  [اقتباس از ۲۴].

بیوتیت است. این کانی‌ها شواهدی چون شدت‌های متفاوت سوختگی و ناشفافی توام با پراکندگی کانی در خمیره، نشر و پراکندگی اکسایش‌های آهن در موقعیت‌های مختلف بلوری، هم‌رشدی، حل شدن و به ندرت منطقه‌بندی نشان می‌دهند که همه این موارد نشانی از نامتعادل بودن محیط تشکیل آن‌هاست. پیروکسن‌ها معمولاً "ارتو پیروکسن (هیپرستن) و کلینوپيروکسن (دیوپسید) هستند و دارای شواهدی چون حل شدن در کرانه‌های بلورها، اکسایش و گرد شدن است که در این کانی‌ها نیز متاثر از فرایندهای مشابه قبلی است.

#### مراجع

- [1] Glennie K. W., "Cretaceous tectonic evolution of Arabia eastern plate margin of two oceanic, in Middle East models of Jurassic/Cretaceous carbonates systems", (2000) 414.  
 [2] Stocklin J., "Structural history and tectonic of Iran", a review, American Association of

#### برداشت

شواهد و بررسی‌های میکروسکوپی همراه با بررسی‌های انجام شده بر روی سنگ‌ها و کانی‌های انتخابی سنگ‌های آتشفشانی تفتان، نشان می‌دهند که ترکیب اغلب سنگ‌های آتشفشانی کوه تفتان آندزیتی و داسیتی و به مقدار کمتر آندزی بازالتی‌اند، غالب آن‌ها کانی‌شناختی ساده‌ای داشته و از کانی‌های پلاژیوکلاز، بیوتیت، هورنبلند و پیروکسن ساخته شده‌اند. در سنگ‌های بررسی شده تفتان (داسیت‌ها و آندزیت‌ها) پلاژیوکلازها بیشتر از نوع آندزین هستند. به طور معمول منطقه‌بندی، ساختارهای حل شده و پوشش‌های غبارآلود دارند که معمولاً معلول شرایط تشکیل این کانی‌ها در شرایط کاملاً نامتعادل، همچون نوسان‌های ناشی از حضور ماگما‌های همزمان، قرارگیری در شرایط نزدیک به سطح زمین، ناآرام بودن محیط تشکیل کانی‌ها، اکسایش و تغییرات ترکیب شیمیایی ماگماهاست. آمفیبول‌ها از نظر ترکیب شیمیایی در گستره هورنبلند منیزیم‌دار قرار می‌گیرند و میکای معمول نیز

- [16] Kuo L. C., Kirkpatrick R. J., "Pre-eruptive history of phryic basalts from DSDP Legs 45-46: Evidences from morphology and Zoning patterns in plagioclase", *Contr. Mine. Petr.* 79 (1982) 13-27.
- [17] Tatsumi Y., "Melting experiments on a high magnesium andesite", *Earth. Planet. Sci. Lett* 84 (1981) 357-65.
- [18] Shelly D., "Igneous and metamorphic rocks under the microscope", Chapman and Hall. (1993).
- [19] Baxter S., Feely M., "Magma mixing and mingling textures in granitoids: examples from the Galway granite, Connemara, Ireland", *Mineralogy and Petrology* 79 (2002) 63-74.
- [20] Poldervaart A., Hess H.H., "Nomenclature of clinopyroxine in the system  $CaMgSi_2O_6$ - $CaFeSi_2O_6$ - $Mg_2SiO_6$ - $Fe_2SiO_6$ ", *J. Geol.* V, 59 (1951) 472-476.
- [21] Leak B. E., Woolley A. R., Birch W. C., Gilbert M. C., Grice J. D., Hawthorne F. C., Kato A., Kisch H. J., Krivovicher V. G., Linthout K., Laird J., Mandarino J., "Nomenclature of amphiboles", Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association (1997) 295-321.
- [22] Speer J. A., "Mica in igneous rocks", In: Micas, Bailey S. W. (ed; Mineralogical Society of American Review in Mineralogy 13 (1984) 299-356.
- [23] Le Bas M. J., Le Maitre R. W., Streckeisen Zanehin B., "A Chemical classification of volcanic rocks based on the Total alkali-silica content", *J. Petrol.* 27 (1986) 745-750.
- [24] Irvine N., Bargar W. R. A., "Agued to chemical classification of the common volcanic rocks", *Canadian Journal of Earth Science.* (1971) 8 523-548.
- [25] Cawthorn A. G., "Some chemical controls on igneous amphibole compositions", *Geochemical et Cosmochimica Acta* 49 (1979) 1319-1328.
- [26] Embey-Isztin A., Dowens h., James D.E., Upton B.G. J., Dobosi G., Ingram G. A., Harmon R. S., Scharbert H. G., "The petrogenesis of Pliocene alkaline volcanic rocks from the Pannonian Basin, eastern Central Europe", *Journal of Petrology* 34 (1993) 317-343.
- [27] Pearce T. H., Kolisnik A. M., "Observation of plagioclase zoning using interference imaging", *Earth Science Reviews* 29 (1990) 9-26.
- [۲۸] مهرپر تو م.، و پادیر ف.، "شرح نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ تفتان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۲).
- Petroleum Geologists Bulletin. 52 (1968) 1229-1258.
- [3] Berberian F., Berberian M., "Late Cretaceous and early Miocene plutonic activity in northeast Makran and central Iran", *J. Geol. Soci. London.* 39 (1982) 605-614.
- [4] Michard A., Goffe B., Saddiqui O., Oberhansh R., Wendt A. S., "Late Cretaceous exhumation of the Oman Blueschist and Eclogite", A two stages extensional Mechanism. *Terra Nova* 6 (1994) 404-413.
- [5] Ravaut P, A. L., Yahyaey A., Bayer R., Lesquer A., "Repose isostatique en Oman", *C. R. Acad. Sci. Paris.* 317 (1999) 463-470.
- [6] McNutt M. K., Diament M., Kogan M. G., "Variations of elastic plate thickness at continental crust", *J. Geophys. Res.* 93 (1988) 8825-883.
- [7] Glennie K. W., Boeuf M. G. A., Hugues Clark M. W. M., Dystuart M., Pilaar W. F. H., Reinhardt B. M., "Late Cretaceous nappe in Oman mountains and their geologic education", *Bull. Am. Ass. Pet. Geol.* 57 (1973) 5-27.
- [8] Nicolas A., "Structural of Ophiolites and dynamic of Oceanic lithosphere petrology and structural Geology", 4. Kluwer. Dordrecht. (1988) 367.
- [9] Ganssar A., "Catalogue of the active Volcanous and solfatara fields of Iran", *Intern. Assoc. Volcanology. Catalogue of the Active Volcanoes of the World, Pt.17- Appendix, P.7-20.* (1966).
- [۱۰] معین وزیری ح.، "دیباچه‌ای بر ماگماتیسم در ایران"، انتشارات دانشگاه تربیت معلم، ۴۴۰ صفحه (۱۳۷۵).
- [۱۱] معین وزیری ح. و سبحانی ا.، "آشفشان تفتان"، انتشارات دانشگاه تربیت معلم، ۳۰ صفحه (۱۳۵۷).
- [۱۲] بومری م.، بیابانگرد ح.، خطیب م.، گرگیج م.، "ژئوشیمی، پتروگرافی و نحوه تشکیل آشفشان تفتان، جنوب شرقی ایران"، طرح بین دانشگاه سیستان و بلوچستان و دانشگاه بیرجند، ۱۱۸ صفحه (۱۳۸۲).
- [13] Nelson S. T., Montana A., "Sieve textured plajoclase in voleanic rocks produced by rapid decompression", *American Mineralogist* 77 (1992) 1242-1249.
- [14] Nelson S. T., Montana A., "Plajoclase vesoption textures as a consequamces of the rapid isothermal decompression of magmas". VCEL abstracts, New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources. *Bull.* (1989) 202.
- [15] Dungan M.D., Rhoders J.M., "Residual glasses and melt inclusions in basalts from DSDP Legs 45 and 46: Evidence for magma mixing", *Contri. Min. Pet.* 67 (1979) 417-431.