

# بررسی سنگ‌شناسی و ژئودینامیک گنبد‌های آتشفشانی و

## نفوذیهای نیمه ژرف جوان منطقه بلده- البرز مرکزی

نوشته: دکتر محمد هاشم امامی\* و محمد نوری زاده\*\*

### Petrology and Geodynamics of Young Domes and other Associated Sub-volcanic Bodies of Baladeh (Central Alborz-Iran)

By: Dr. M.H. Emami\* & M. Noorizadeh\*\*

#### چکیده

گنبد‌ها و توده‌های نفوذی نیمه ژرف بلده- البرز مرکزی با نفوذ در سازند ژوراسیک شمشک به سطح زمین راه یافته‌اند. بیشتر این گنبد‌ها و توده‌ها با ترکیب اسیدی (داسیت، ریوداسیت و ریولیت) به صورت نسبتاً سرد خارج شده‌اند و عوارض سطحی خاص گنبد‌های آتشفشانی در آنها مشهود است. به دلیل وجود الگوهای درزه‌های پوست‌پیزی در کل گنبد و وجود شباهت‌های سنگ‌شناختی، بافتی و زمین‌شیمیایی سطح این گنبد‌ها، شاید بتوان آنها را در زمره گنبد‌های درون‌زاد فرض کرد. بر اساس مدل‌های موجود می‌توان گفت همه این آتشفشانها از یک دایک تغذیه کننده واحد در راستای رودخانه هراز، نشأت گرفته‌اند که در نزدیکی سطح زمین با عبور از مرز دگرشکلی شکننده- شکل پذیر، قطعه قطعه شده‌اند. این قطعات را می‌توان در موقعیتهای ۲ و ۳ واقع در جنوب روستای ولاشید و خاور بلده دنبال کرد. با توجه به داده‌های زمین‌شیمی، بهترین محیط زمین‌ساختی برای این توده‌ها، محیط همگرای برخورد قاره‌ای و پس از کوهزایی است. تبلور بخشی، عامل منحصر به فرد ایجاد سنگ‌های این منطقه نبوده و آغشتگی پوسته‌ای و انتقال گازی با تمرکز قلیاییها در آن دخیل بوده‌اند.

**کلید واژه‌ها:** گنبد‌های آتشفشانی، سنگ‌شناسی، ژئودینامیک، دیاپیرسم آذرین، ریولیت، داسیت، دایک، سیل، البرز مرکزی، بلده

#### Abstract

Young volcanic domes and other associated sub-volcanic bodies of Baladeh (Central Alborz) have reached the surface passing through Shemshak Formation (Jurassic). Most of acidic domes and bodies (dacite, rhyolite, and rhyo-dacite) have extruded relatively cold and possess some surficial features. Petrological, textural, and geochemical similarities all over the surface of these domes indicate that they have an endogenous history. According to modern geodynamic models, all of these volcanic rocks are derived from one feeding dike (along Haraz River) which has been dissected after passing the brittle-ductile boundary. Some of the pieces of dikes can be traced in the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> locations (east of Baladeh village and south of Valashid village). Convergent (collision or post-orogenic) condition is the best scenario for tectonic setting of these bodies based on geochemical data. In addition to partial melting, some other processes such as crustal contamination, gas transfer and to some extent alteration were effective genetic processes. LILE and LREE enrichment patterns indicate low degree of partial melting or end products of fractional crystallization and some crustal contamination (Ba enrichment).

**Keywords:** Volcanic Domes, Petrology, Geodynamics, Igneous Diapirism, Rhyolite, Dacite, Dike, Sill, Central Alborz, Baladeh

#### ۱- کلیات

##### ۱-۱- موقعیت جغرافیایی

دارد (شکل ۱). روستاهای بخش بلده، یوش (زادگاه نیمایوشیج)، ولاشید، تاکر، نیکام ده، نسن و نوج در حاشیه رودخانه هراز واقع هستند که در امتداد جاده خاوری-باختری جاری است. به طور کلی، توده‌های آتشفشانی و نیمه‌نفوذی جوان مورد مطالعه در ۵ موقعیت دسته‌بندی شد:

منطقه بلده، در جنوب استان مازندران، یکی از بخشهای شهرستان نور است که در بین دو جاده هراز و چالوس قرار دارد. این روستا در عرض جغرافیایی ۱۲° ۳۶' شمالی و ۴۸° ۵۱' خاوری در دل رشته کوه البرز مرکزی قرار

توده‌های نمکی و گچی، داپیرهای آذرین را به صورت قارچ گونه و لاکولیتی ایجاد می‌کند و یا به سطح می‌رسد و انواع گنبد‌های خروجی را شکل می‌دهد (Emami, 1973).

### ۱-۳- روش مطالعه

حدود ۱۰۰ نمونه برای تهیه مقاطع میکروسکوپی، به صورت سیستماتیک از پنج موقعیت مورد مطالعه یعنی سه گنبد آتشفشانی و دو دایک و سیل مورد نظر، برداشت شد. از این میان، ۸۰ برش میکروسکوپی، تهیه و مطالعه شد. بر روی ۲۵ نمونه تجزیه ژئوشیمیایی XRF و بر روی دو نمونه از خاکه دگرسانی دو گنبد شماره ۱ و ۴ به منظور بررسی دگرسانی تجزیه XRD انجام شد که مشخص گردید دگرسانی زیادی را تحمل نکرده‌اند و به احتمال مرز خرد شدگی یک ریزگسل بوده است. در حین مطالعه مقاطع میکروسکوپی، حدود ۱۵۰ عکس میکروسکوپی تهیه شد که نشان‌دهنده تنوع بافتی و کانایی موقعیتهای مختلف است. ۷۵ عکس صحرایی نیز بیانگر جلوه‌های ریخت‌شناسی کلی و سیمایهای سطحی گنبد‌ها و نیمه‌نفوذیهای ورقه‌ای است. نمودارهای ژئوشیمیایی نیز با استفاده از نرم‌افزار Minpet 2.0 رسم و تفسیر شد.

### ژئودینامیک جایگیری گنبد‌ها

#### ۱-۲- تعاریف

گنبد (Dome) در آتشفشان‌شناسی به نوعی نفوذی آذرین گفته می‌شود که تحذب رو به بالا دارد (Parker, 1989). داپیر (Diapir) نیز به هر ستون یا پلاگ سنگی گفته می‌شود که در لایه‌های سنگی بالایی نفوذ کرده و در آنها جایگیر شود. فرایند رخنه کردن این توده‌ها نیز داپیریسم (Diapirism) خوانده می‌شود (Waard, 1989). جایگیری (Emplacement) در مفهوم مورد نظر، رسیدن یک توده نفوذی خاص به موقعیت جدید خود است که معمولاً برای سنگهای آذرین نفوذی به کار می‌رود (Whyte, 1989).

#### ۲-۲- داپیریسم آذرین

نیروی محرک داپیریسم، عکس چگالی است (Ramberg, 1967). پس داپیریسم، نوعی فرایند زمین‌ساخت گرانشی است. به طور کلی در انجام داپیریسم، چهار عامل زیر مؤثر است: ۱- وجود یک لایه یا پهنه کم‌چگال نسبت به واحدهای سنگی رویی؛ ۲- خمیرش یا توان جریان بالا در مواد کم‌چگال؛ ۳- وجود یک آشفتنگی یا ناپایداری گرانشی برای تحریک آغاز جریان (نظیر زمین‌ساخت کوهزایی یا فرایندهای دیگر مانند فرسایش، که باعث ایجاد تفاوت توزیع بار ژئودینامیکی واحدهای سنگی رویی می‌گردد)؛ ۴- محل خوشایند داپیریسم جایی است که فشار روباره مواد کم‌چگال، کمترین مقدار باشد (Waard, 1989).

۱- گنبد شماره ۱: واقع در روستای بلده با منظره مشخص و رنگ سفید ریولیتی.

۲- دایک و سیلهای شماره ۲: در جنوب روستای ولشید و در جنوب جاده اصلی بلده.

۳- دایک و تیغه شماره ۳: جنوب موقعیت ۲ تیغه‌های ستر نیمه نفوذی که در برخی نقاط، بروز دارد.

۴- گنبد شماره ۴: بزرگ‌ترین، ناهموارترین و متنوع‌ترین گنبد آتشفشانی مورد بحث در خاور روستای بلده.

۵- گنبد شماره ۵: گنبد تراکیتی و تراکی‌داسیتی واقع در شمال گنبد بلده (شماره ۱).

### ۱-۲- موقعیت زمین‌شناسی

همان گونه که در نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ آمل مشاهده می‌شود، توده‌های آذرین مورد بحث، اعم از آتشفشانی و نیمه‌آتشفشانی با نفوذ در سازند ژوراسیک شمشک، به سطح زمین راه یافته‌اند ولی هیچ‌گاه به دلیل محدودیتهای ساختاری، قادر به نفوذ در سازند لار نشده‌اند. بنابراین باید این توده‌های آتشفشانی، جوان‌تر از ژوراسیک باشند (شکل ۲). با توجه به شباهتهای البرز مرکزی و ایران مرکزی و روابط چینه‌نگاری، به نظر می‌رسد سن این توده‌ها بسیار جوان (به احتمال پلیوسن) باشد.

رشته کوه البرز، حاصل رویدادهای کوهزایی آلی است. فعالیت ماگمایی ائوسن در زمانهای بعدی (الیگوسن پیشین، میوسن میانی و پلیوسن) نیز تداوم یافته است. با این وجود، بین ماگماتیسم پالئوژن و نئوژن، دو تفاوت عمده وجود دارد: اول، شرایط محیطی که بجز در سواحل جنوبی خزر و زون مکران، دریایی کم‌رُفا بوده است، به شرایط قاره‌ای تبدیل می‌شود و دوم، ماگماتیسم نئوژن علاوه بر محدودتر بودن، ساختمانهای آتشفشانی مرکزی را در امتداد زون ارومیه- دختر ایجاد کرده‌اند در حالی که در ائوسن، فعالیتهای شکافی کارساز بوده است (امامی، ۱۳۷۹).

در مورد پلیوسن باید گفت که: یکی از ویژگیهای این زمان، تظاهر ماگماتیسم گنبدی چه به صورت گنبد‌های خروجی و چه گنبد‌های نفوذی (جایگیر شده در اعماق) است. ماگماتیسم گنبدی، کم‌ویش در سایر زمانها نیز وجود دارد، ولی در پلیوسن از تنوع بسیار جالبی برخوردار است و نمونه‌های آن در زون ارومیه- دختر (از جمله چهار گوش قم)، خاور ایران (جنوب بیرجند) و آذربایجان نیز مشاهده می‌شود. سازوکار تشکیل آنها بسیار متنوع و شایان توجه است و شاید ایران‌زمین از این نظر، نمونه کلاسیکی برای جهان باشد. به طور معمول ماگما با گرانیروی بالا، ضمن صعود به سطح زمین و در رویارویی با سنگهای همبر، با توجه به تفاوت گرانیروی بین ماگما و محیط اطراف، گاه در ژرفای کم، با فرایندی مشابه

گنبد های آتشفشانی مورد مطالعه به احتمال زیاد از نوع درون زاد هستند. در مورد دو گنبد روستای بلده (شماره ۱) و گنبد شمال بلده (شماره ۵) که برون زاد به نظر می رسند نیز، نمونه برداریهای سیستماتیک و بررسیهای ژئوشیمیایی، گویای عدم تنوع بخشهای مختلف است که تا حدی بیانگر درون زاد بودن آنهاست. با این وجود، در گنبد های دور دست (مانند گنبد های پن کیسک سیاره زهره) و گنبد های پیش از تاریخ (که شواهد تاریخی فعالیت آنها توسط آدمی ثبت نشده است) به راحتی نمی توان نوع فعالیت را تعیین کرد. گنبد های آتشفشانی بزرگ تر، تاریخچه تحول پیچیده تری دارند، به این صورت که ماگمای جدید از بخش درونی، گنبد را متورم می کنند (رشد درون زاد)، مسیری را تا سطح گنبد می شکند (رشد برون زاد) و آمیزه ای از این دو نوع رشد را نشان می دهد. یک چنین وضعیتی در مورد گنبد شماره ۴ صادق بوده است.

#### ۲-۴- ارتباط ماگماتیسیم گنبدی و ورقه ای

در منطقه بلده، همانند برخی دیگر از مناطق نفوذ گنبد ها، این ساختارهای زمین شناختی با تعدادی ساختارهای ورقه ای مثل گسلها، شکستگیها و اثر دایکها و سیلها مرتبط هستند. در این مناطق، روند جایگیری گنبد ها و نفوذیهای ورقه ای با برون زد خطی، بیانگر جهت گیری دایکهای است که عمود بر جهت کمترین تنش فشارشی اصلی، انتشار یافته اند. شکستگیها، چین خوردگیها و سایر ساختارهای رو و مجاور گنبد ها بیانگر همین امر هستند. این پهنه ها، در واقع قطعه دایکهای هستند که گنبد ها را تغذیه می کنند. به طور کلی، سه شاهد ساختاری مبنی بر وجود و جهت دایکها در زیر خروجیهای سیلیسی وجود دارد: ۱- صف بندی تقریبی دهانه ها و اشکال طولی گنبدی؛ ۲- ترکها و گسلهای اطراف گنبد ها؛ ۳- الگوهای مشخص ساختی و بافتی بر سطح گنبد ها.

بعید است که یک دایک اسیدی بتواند ماگمای مذاب خود را تا فواصل چند هزار سال بین فازهای فورانی مختلف (با توجه به سن آنها) حفظ کند (Wood, 1977; Miller, 1985)، ولی حالت تنش مطلوب جایگیری یک دایک واحد می تواند تا مدتها پابرجا باقی مانده و بر تشکیل دایکهای دیگر نیز تأثیر گذار باشد. این وضعیت تنش به علاوه می تواند در دایکهای در حال صعود، درزهایی را جلوتر از زبانه های آن ایجاد کرده و باعث ایجاد پهنه های موازی شکستگی در اطراف توده نفوذی گردد (Delaney et al., 1986). تریق دوباره ماگما در طول یکی از این پهنه های ضعف واقع در نزدیک یک دایک قدیمی تر می تواند توجیه کننده صف بندیهای موازی دهانه با سنهای مختلف باشد. دایکهای موازی در سمت خاور گنبد های بلده نیز احتمالاً بیانگر سامانه تنش حاکم بر این منطقه در زمان تشکیل هستند. این دایکها و سیلها در جنوب روستای ولاشید به

یکی از مهم ترین عوامل تفاوت توزیع بار ژئودینامیکی، تفاوت گرانروی ماگمای بالارونده و سنگهای همبر است که می تواند ریخت ساختارهای ماگمایی، ژرفای جایگیری توده ماگمایی و دگر شکلی لایه های همبر را کنترل کند (شکل ۳). در برخی شرایط، ماگمایی که به طور بخشی متبلور شده، متحرک است و در این صورت، نفوذ ماگما می تواند ساختاری جریان در سنگهای آذرین حاصل، ایجاد کند. در واقع حرکت یک توده ماگمایی پس از سخت شدن آن توده نفوذی خاتمه می یابد ولی حرکات بعدی زمین ساختی می تواند تا حدی آن توده نفوذی را بار دیگر حرکت داده و به آن امکان جابه جایی دهد (Whyte, 1989). چنین ساختارهای جریان در گنبد های شماره ۱ و ۴ مشهود است (شکل های ۸، ۱۸ و ۱۹).

#### ۲-۳- انواع گنبد

به طور کلی، گنبد های آتشفشانی بر اساس ساز و کار رشد به چهار دسته تقسیم بندی می شوند:

- ۱- گنبد های درون زاد (Endogenous Dome): در این گنبد ها، هر مرحله از ماگما به زیر پوسته قبلی نفوذ کرده و درونی ترین بخش گنبد با آخرین تغذیه ماگما مرتبط است (Villari, 1989).
  - ۲- گنبد های برون زاد (Exogenous Dome): به موجب خروج ماگمای روان تر (دارای گرانروی کمتر) شکل می گیرند (Villari, 1989).
  - ۳- گنبد های ژرف زاد (Hypogenous Dome): بر خلاف گنبد های درون زاد که رشد درونی دارند و تحذب آنها رو به بالا است، در این مورد، رشد گنبد باعث پس زدن لایه های همبر و گاه راندگی لایه های سنگی مجاور می گردد (امامی، ۱۳۶۹).
  - ۴- نهان گنبد ها (Cryptodome): در این نوع، تجمع مواد، درست در زیر زمین صورت می گیرد. این مواد گاه سنگ و خاک رویی را بلند می کنند و یک برجستگی می سازند (Fink & Anderson, 2000).
- انواع مهم در شکل ۴ نشان داده شده اند. بر اساس مدل رامبرگ، تفاوت گرانروی ماگما و سنگ درونگیر نیز بر نوع گنبد مؤثر است (امامی، ۱۳۶۹):
- ۱- تفاوت کم (۱۰<sup>۲</sup> پوین): این ماگما تمایلی به صعود نداشته و گسترش جانبی می یابد و دیابیر می سازد و گاه ساختارهای قارچ گونه، لاکولیتی یا گنبدی تشکیل می دهد. مانند نهان گنبد ها یا برون گنبد ها.
  - ۲- تفاوت زیاد (بیش از ۱۰<sup>۱۰</sup>): این ماگما تمایل زیادی به صعود دارد که باعث گسترش جانبی می گردد. اگر سنگهای همبر، گرانروی بسیار پایین تر از ماگما داشته باشند (مارن و تبخیری)، دگر شکلی لایه های همبر مهم تر است (مانند گنبد های گسترده (Creep Dome)). ماگماهای گرانروتر، گنبد انباشتی (Cumulo Dome) یا تولوئید (Tholoide) ایجاد می کنند و اطراف دهانه انباشته می شوند. گنبد- پیستون تقریباً به صورت سرد شده و به شکل استوانه بیرون می زند.

رخنمون یافته‌اند (جنوب و لاشید) ولی در بخشهای باختری‌تر، تنها گنبد‌های حاصل از آنها به سطح رخنه کرده و دایکها در زیر آنها مخفی مانده‌اند. شکستگیهای صفحه‌ای، مؤثرترین عامل تحریک ماگما در طی مسیر از درون پوسته به سطح می‌باشند ولی پس از ایجاد این مسیر، برای تداوم جریانهای بعدی ماگما، وجود مجراهای لوله‌ای با مقطع دایره‌ای مطلوب‌تر است (Delaney & Pollard, 1981). این فرایند یعنی تبدیل تدریجی فوران شکافی تغذیه شده توسط دایکها (با گسترش جانبی وسیع) به چشمه‌های تغذیه شده توسط دودکشها (با گسترش محدودتر) در هاوایی به طور مشاهده‌ای و در محاسبات به طور نظری مشهود است. همین عامل باعث تبدیل تدریجی دایکهای تغذیه کننده فورانهای شکافی به گنبد‌های آتشفشانی با فوران نقطه‌ای شده است.

مسیرهای جریان می‌توانند در نزدیکی دهانه، قائم و در مناطق پیرامونی، افقی باشند. لایه‌بندیهای جریان با عرض کمتر از 1mm تا 1cm در گدازه‌های سیلیسی معمول هستند و از تمرکز متفاوت میکرولیت‌ها و حبابها تشکیل شده‌اند. منظره این گونه نواربندیهای جریان در چند عکس از روانه‌های گنبد شماره ۱ مشهود است.

اگر همه گدازه‌های جدید به سطح گنبد برسد، سبک رشد را برون‌زاد می‌نامیم، در حالی که اگر پوسته قابل شکستن نباشد، گنبد تنها با تورم یافتن درونی رشد می‌کند که این نحوه رشد را درون‌زاد می‌نامیم. گنبد‌ها ممکن است مجموعه‌ای از هر دو سبک فوران را نشان دهند. همانند نوع روانه‌های مرکب و ساده، نوع زایش درون‌زاد و برون‌زاد نیز در گدازه‌های پیش از تاریخ قابل شناسایی نیستند. برای تبدیل تدریجی رشد درون‌زاد به برون‌زاد، باید تنش کششی در سطح جریان از حد مقاومت کششی پوسته گدازه فراتر رود. عواملی که باعث سرد شدن پوسته می‌شود، مانند بارشهای جوی و دوره قرار بلند مدت بین خروجهای متوالی، می‌توانند برای رشد درون‌زاد مطلوب باشند. در مقابل، عواملی که باعث کشیدگی سطح جریان می‌شوند، مانند آهنگ بالای فوران و شیب تند جریان، باعث تحریک رشد برون‌زاد می‌گردند. این دو سبک رشد نیز باعث تنوع حالات از دست دادن گاز می‌شوند. در طی رشد برون‌زاد، بیشتر ماگمای جدید در معرض هوا قرار می‌گیرد و با حباب‌زایی (Vesiculation)، مواد فرار خود را از دست می‌دهد، در حالی که در رشد درون‌زاد، ماگمای جدید در درون گنبد تحت فشار باقی مانده است و در نتیجه، مقدار بیشتری گاز محلول می‌ماند. ترک خوردگی سریع پوسته گنبد می‌تواند باعث فشار زدایی انفجاری بخش درونی و سپس فعالیت آذرآواری گردد. پس چنین حالات انفجاری در گنبد‌های درون‌زاد بهتر دیده می‌شوند. در برخی موارد، ممکن است دهانه، با انفجار باز شود و یک گودال قیفی شکل ایجاد گردد که در این صورت، ساختارهای کوچک مقیاس تر نزدیک به مرکز جریان، دیگر بیانگر جهت

سطح زمین راه یافته‌اند. در صورت مطالعه تفصیلی، می‌توان از ترکهای مزدوج زمین و ژرفای دهانه‌های انفجاری برای تعیین محدوده تغییرات ژرفای رویه دایکها در طول روند آنها استفاده کرد و ژرفای دایکهای مدفون را تعیین کرد. دایکهای در حال صعود، تنشهای کششی در سطح ایجاد می‌کنند که باعث شکل‌گیری دسته ترکهای مزدوج به موازات روند دایکها می‌گردد که ۲ تا ۳ برابر ژرفای رویه دایکها از هم فاصله دارند (Pollard et al., 1983) (شکل ۵). وضعیت هندسی نفوذیها بیانگر حالت تنش در داخل و اطراف یک توده ماگمایی است. به طور کلی، دایکها به موازات جهت بیشترین فشارش زمین ساختی صف‌بندی می‌شوند. با این وجود تأثیر تنشهای ناحیه‌ای می‌تواند در برخی نقاط با فشار محفظه ماگمایی در هم آمیخته و باعث ایجاد یک الگوی شعاعی شود (Bacon et al., 1980; Bacon, 1985).

قطعه قطعه شدن و چرخش نیز می‌تواند در زمان عبور یک دایک در حال صعود از یک منطقه داغ (با دگرشکلی شکل‌پذیر) به یک منطقه خنک‌تر (با دگرشکلی شکننده) رخ دهد (Reches & Fink, 1988). جریان جانبی دایکها در عرض مرزهای سنگ شناختی نیز می‌تواند باعث قطعه قطعه شدن و تغییر جهت آنها شود (Baer & Reches, 1987). شکستگیهای صفحه‌ای و صاف، مؤثرترین عامل محرک ماگما در طی مسیر خود از پوسته به سطح زمین است. شکل بیضوی قله گنبد‌های سیلیسی نیز یکی از دلایل ارتباط آنها با خطواره‌ها و گسل‌های منطقه است (Fink, 1983) (شکل ۶). وضعیت هندسی دایکهای سیلیسی مدفون را می‌توان از طریق مجموعه متنوعی از ساختارهای حفظ شده در نزدیک یا بر روی سطح خروجیهای سیلیسی استنباط کرد (Fink & Pollard, 1983; Fink, 1985). واضح‌ترین دلیل مبنی بر اینکه گنبد‌ها توسط دایکها تغذیه شده‌اند، وجود یک صف‌بندی کلی در آنها است. مجموعه‌ای از چند گنبد سیلیسی عموماً روندهای خطی یا نردبانی (En-echelon) می‌سازند که تا دهها کیلومتر کشیده می‌شود (شکل ۷). روند گسل‌های منطقه بلده و پیرامون آن، بستر رود هراز (که احتمالاً بر روی یک گسل اصلی جاری است) و صف‌بندی دایکها، سیلها و گنبد‌ها، همگی بیانگر وجود یک نظام تنش خطی در منطقه است که در امتداد خاوری-باختری و در راستای البرز است، ولی اثبات این که آیا شکستگیهای مورد نظر، در ارتباط با دایک تغذیه کننده این نفوذیها هستند، نیازمند انجام مطالعات تفصیلی زمین‌شناسی ساختاری است. در صورتی که این امر اثبات شود و این مطالعات صورت گیرد، می‌توان به این نتیجه دست یافت که یک دایک تغذیه کننده مخفی با عبور از مرز دگرشکلی شکل‌پذیر (عمقی) و شکننده (سطحی) دچار قطعه قطعه شدن گردیده و در انتهای برخی قطعات، گنبد‌هایی ایجاد کرده‌اند و در نقاطی از این منطقه، این دایکها به نزدیک سطح زمین نفوذ کرده و یا در سطح زمین

توده اصلی است و شواهد عدم تعادل در این گنبد عبارت‌اند از فروپاشی کانیه‌های مافییک (مانند هورنبلند) و حواشی خلیجی کوارتز و حواشی واکنشی در برخی فلدسپارها. شیشه زمینه تا حدی متبلور شده است.

**۲- دایک شماره ۲:** این دایک ریوداسیتی تا تراکی داسیتی در جنوب روستای ولاشید و در جنوب جاده بلده واقع است. قسمتی از دایک تغذیه کننده نیز در بخشهایی مشهود است. درزه‌های موازی با سنگهای درونگیر و عمود بر آنها نیز مشهود است. به طور کلی، در حوالی این دایک، دایکها و سیلهای مختلفی وجود دارد که در مرز آنها با سنگهای اطراف (سازند شمشک) آثار دگرسانی به چشم می‌خورد (شکل ۱۴).

بیشتر بلورها در سنگهای این دایک، به طور کامل توسط دگرسانی و فروپاشی بعدی از بین رفته‌اند. تعدادی از کانیه‌های بیوتیت نیز به مسکوویت فروپاشی یافته‌اند و بقایای آنها به همراه مقداری اکسید آهن گویای این امر است. کانیه‌های مات این سنگ اندک است. آثار گرمایی، نشانگر خروج نسبتاً پردمای این دایکها و سیلهای آنها است. زمینه این سنگها شیشه‌ای و برخی درشت بلورهای فلدسپار آن، حواشی واکنش یافته دارند ولی هسته آنها تقریباً سالم مانده است. بلورهای مافییک به طور کامل دگرسانی یافته و به مسکوویت و اکسید آهن تبدیل شده‌اند که البته مقداری کلسیت ثانویه نیز در این سنگ دیده می‌شود. بافت غربالی در فلدسپارهای قلیایی مشهود است. پلاژیوکلازها به شدت خوردگی یافته‌اند و بیشتر با فلدسپار قلیایی جانشین شده‌اند (نظیر کرناتها). زمینه، شیشه کمی متبلور شده و بلورهای فلسیتی کوارتز و فلدسپاتی هستند. کانی بیوتیت تنها کانی تیره است و احتمالاً دیگر کانیه‌ها اگر بوده‌اند، به صورت شکل دروغین جایگزین شده‌اند (شکل ۱۵).

**۳- دایک شماره ۳:** این دایک از جاده اصلی بلده به صورت یک تیغه قائم دیده می‌شود که دارای درزه‌های منشوری مشخص است. بخشهای میانی این دایک، حالت توده‌ای دارد ولی بخشهای پایینی که در حاشیه‌اند حامل درزه‌های منشوری‌اند (شکل ۱۶).

این توده تراکی داسیتی تا میکروسینیتی با ستبرای زیاد، تنوع بافتی و کانیایی شدیدی نشان می‌دهد که می‌تواند حاصل نفوذهای مکرر باشد (شکل ۱۶). بخشهای میانی میکروسینیتی است که بلورهای مافییک آن از بیوتیت و آمفیبولهای به شدت دگرسان شده تشکیل یافته است. بخشهایی از این دایک، مملو از بلورهای بیوتیت است که فلدسپارها را احاطه کرده‌اند (بافت بین‌دانه‌ای). اسفن به حالت نیمه خود شکل دیده می‌شود. در برخی نفوذیهای بعدی که ترکیب اسیدی‌تر داشته‌اند، بافت زمینه شیشه‌ای و فلدسپارهای قلیایی غربالی و نیز پر از میانبار است (شکل ۱۷).

**۴- گنبد شماره ۴:** این گنبد عظیم در ۲ کیلومتری خاوربلده، یک گنبد آتشفشانی است که از برخی جهات می‌توان آن را یک گنبد- پیستون در

دایک نیست. ممکن است چنین تبدیلی (درون‌زاد- برون‌زاد) عامل تشکیل گودال قیفی شکل در یال شمالی گنبد شماره ۴ شده باشد. از آنجا که یال جنوبی گنبد با روکش ستبری از رسوبات سازند شمشک پوشیده شده، این گودال به سمت یال شمالی باز شده است. البته در این مورد هیچ نشانه‌ای از فعالیت آذرآواری در دست نیست.

### ۳- سنگ‌نگاری و مشاهدات صحرایی

**۱- گنبد شماره ۱:** این گنبد در واقع یک گنبد سپری کم ارتفاع است که با دمای نسبتاً بالا به سطح راه یافته و آثار گرمایی آن بر سازند شمشک مشخص است. از نمای دور هم امکان تشخیص بر گوار گیهای پوست پیازی که به خطوار گیهای سطح آن حالت هم‌مرکز داده است، نشانگر این موضوع است که این گنبد، درون‌زاد است. آثار نواربندی جریان (Flow Banding) در جای جای این گنبد، حاصل تجمع ریزبلورها و ماگماهای جریان می‌باشد (شکل ۸). درزه‌های انقباضی موازی و عمود بر سطح گنبد نیز در برونزدها مشخص است. به نظر می‌رسد در یال شمال خاوری این گنبد، یک روانه وجود داشته باشد (شکل ۹). درزه‌های سردشدگی و آثار جریان گراگرد گنبد دیده می‌شود (شکل ۱۰) و منظره کلی این گنبد، قارچ گونه است. در حواشی این گنبد، آثاری شبیه دگرسانی شدید دیده می‌شود که مطالعات XRD گویای این دگرسانی نبود. بنابراین می‌توان این پهنه را نوعی پهنه خرد شده دانست (شکل ۱۱).

این گنبد از لحاظ سنگ‌نگاری، ریولیت هولولولو کوکرات یا ریوداسیت است (شکل ۱۲). درشت بلورهای آن غالباً عبارتند از کوارتز که حالت خلیجی یافته است (شکل ۱۲)، سانیدین که خاموشی موجی نشان می‌دهد و ریخت مکعبی دارد. خاموشی موجی گاه حالت ساعت شنی یافته است. بافت زمینه، شیشه‌ای تا ریزبلورین است. بافت این سنگها عموماً ویتروفیری است (شکل ۱۳). برخی فلدسپارهای قلیایی، حواشی واکنشی (یا با میانبارهایی از زمینه) دارند. فلدسپارها شکل دار تا نیمه‌شکل دار اند. پلاژیوکلاز سدیم خورده شده که بیشتر اولیگو کلاز و آلپیتی است. زمینه از شیشه روشن تا ریزبلورهای معادل درشت بلورها تشکیل یافته است. در این گنبد، از حواشی تا قله، هیچ تغییری چه از نظر بافتی و چه کانیایی به چشم نمی‌خورد. تنها تنوع دور از انتظار در یکی از نمونه‌های قله‌ای ملاحظه می‌شود. این نمونه که یک هورنبلند داسیت پورفیری است، بر خلاف دیگر نمونه‌ها دارای کانی مافییک (هورنبلند نیمه‌شکل دار) است که تا حدی خورده و هضم شده است. این کانی متلاشی شده و مقداری کانی مات (احتمالاً اکسیدهای آهن و اسفن) به جا گذاشته است (شکل ۱۳). بافت این نمونه میکروولیت پورفیری تا ریزدانه پورفیری است. زمینه این سنگ، درشت بلورتر از دیگر نمونه‌ها است. ماگمای سازنده این نمونه، بازی‌تر از

بر سنگهای اطراف به جا گذاشته است. در نقاطی نیز خروج ماگما از مجراهای منشعب از مجرای اصلی، ماگماتیسیم فرعی را ایجاد کرده است که در اطراف توده‌های اصلی، آثار خود را به جا گذاشته است (Ramberg, 1990).

گنبد تراکیتی تا تراکی داسیتی که با وجود نزدیکی به گنبد شماره ۱ بر خلاف آن، مقدار زیادی بلورهای کانیهای تیره (مافیک) بویژه هورنبلند قهوه‌ای زونه و دارای دو مرحله رشد و یک مرحله انحلال (ایجاد هسته گرد شده داخلی بلورهای شکل دار) به همراه مقداری بیوتیت با حواشی اپاسیتی و مقدار کمی پیروکسن در آن وجود دارد. بافت تراکیتی با فلدسپارهای پلاژیوکلاز دارای صف بندی جریانی می‌باشند. در زمینه سنگ مقادیر فراوانی درشت بلور آپاتیت وجود دارد. درشت بلورهای پلاژیوکلاز، هورنبلند، تیتانومگنتیت فراوان است. وجود زون بندی مکرر و آثار هضم و رورشدی بر روی بلورهای آمفیبول می‌تواند نشانگر رورشدی و توقف بین راهی یا آمیزش با مذابهای جدید باشد که باعث خوردگی بلورهای اولیه و سرانجام پس از سردشدگی، ایجاد رشد سین تاکیالی شده است که نشانگر بازتعادل یابی است.

#### ۴- مطالعات ژئوشیمیایی و سنگ‌زایی

برای انجام مطالعات ژئوشیمیایی، ۲۷ نمونه از گنبد‌ها، دایکها و سیلهای مورد مطالعه گرفته شد. دو نمونه از خاکه‌های گنبد‌های شماره ۱ و ۴ نیز برای بررسی XRD برداشت شد. ۲۵ نمونه دیگر نیز از سنگهای منطقه از طریق XRF تجزیه شدند. این سنگها به طور کلی با استفاده از نمونه‌های استاندارد سنگهای اسیدی ریولیت و داسیت تجزیه شدند. نتایج تجزیه شیمیایی با نرم افزار MINPET2.0 به صورت نمودار در آمد. در این مرحله نیز، به دلیل نبود استانداردهای جهانی مورد قبول همگان برای سنگهای همچون ریولیت، داسیت و تراکیت، سنگهای مورد مطالعه با گرانتیت استاندارد شدند. بدیهی است که پیش فرض ما در این مقایسه آن است که همه این سنگها، حاصل جدایش از ماگمای مادر گرانتیتی هستند که در اعماق وجود داشته و ماگمای سازنده سنگهای مورد مطالعه از آن نشأت گرفته است. نمادهایی که در نمودارهای ژئوشیمیایی به کار رفته‌اند به قرار زیر اند:

۱- لوزی = گنبد بلده (گنبد شماره ۱)

۲- مثلث رو به راست = دایکها و سیلهای نزدیک جاده اصلی (موقعیت ۲)

۳- مربع = توده دایک بزرگ دور از جاده اصلی بلده (موقعیت ۳)

۴- مثلث با رأس رو به بالا = گنبد شمال باختری بلده (گنبد شماره ۵)

۵- دایره = گنبد اصلی (گنبد شماره ۴)

نظر گرفت. دیواره‌های پر شیب آن به دلیل گرانیروی بالای ماگما در لحظه خروج یا دمای پایین آن به وجود آمده‌اند. آثار نواربندی جریانی بر سطح این گنبد دیده می‌شود. این گنبد با بالا راندن سازند شمشک به سطح زمین راه یافته است ولی هیچ گونه آثار گرمایی در سنگهای همبر با آن ندارد (شکل ۱۸). آثار جریان مکرر و نواربندی جریانی بر سطح این گنبد دیده می‌شود (شکل ۱۹). از دیگر عوارض مشخص در سطح این گنبد، وجود گودال بزرگ در یال شمالی آن است (شکل ۱۸) که تشکیل آن می‌تواند حاصل یکی از دو عامل زیر باشد: ۱- گاه در اثر فرورمکش گدازه گنبد ساز پس از خروج، گدازه‌ها به داخل مجرا مکیده می‌شوند و حفره‌ای بر فراز گنبد ایجاد می‌شود. ۲- گاه تبدیل فعالیت آرام گنبد ساز به فعالیت انفجاری، باعث ایجاد چنین حفره‌هایی می‌شود. در یال خاوری این گنبد، یک آپوفیز (زائده فرعی) دیده می‌شود که از کنار آن خارج شده است. البته خروجیهای کوچک تری نیز در پایین این آپوفیز مشهود است (شکل ۱۸). خروجیهای گدازه‌های این آپوفیز در سطح، حالت مضرس دارند (شکل ۱۹). نمای جنوبی این گنبد در زیر لایه‌های قطور سازند شمشک مخفی شده و تنها اندکی از سطح آن برونزد یافته است. از مهم ترین مشخصه‌های زمین ریخت شناسی این گنبد، وجود فرسایش انحلالی است که شباهت زیادی به حفره‌های تافونی دارند (شکل ۱۹) و گاه باعث ایجاد غارهایی شده است (شکل ۱۹).

این گنبد نسبتاً بزرگ، ترکیب متنوع و متغیری از داسیت پورفیری، تراکیت تا تراکی داسیت دارد (شکل ۲۰). تجمع گلومروپورفیری کانیهای مافیک از جمله کلینوپروکسن در تصاویر مشهود است (شکل ۲۱). هورنبلند قهوه‌ای، کمی کلینوپروکسن و بلورهای آپاتیت (شکل‌های ۲۲ و ۲۳) که فراوان ترین کانیهای فلدسپاتی، پلاژیوکلاز الیگو کلاز تا آندزین خورده شده هستند. زمینه فلسیتی با شیشه متبلور شده و بافت سنگ، پورفیری است. زمینه داسیت پورفیری ریزدانه پورفیری است. هورنبلند قهوه‌ای و سبز نوع تیتانیم دار، بلورهای درشت و منفرد اپیدوت با سبز چند رنگی، ریز بلورهای آپاتیت فراوان، بیوتیت کم و بیش اپاسیتی شده گاه پلاژیوکلازها تجمع گلومروپورفیری یافته‌اند. در تراکیتها، پیروکسن آکمیت، اوژیت اثرین سبز رنگ، آمفیبول بازالتی و بیوتیت به همراه درشت بلورهای کوچک آپاتیت، پلاژیوکلاز آندزین که گاه خوردگی یافته است (شکل ۲۲). کانیهای پیروکسن ریز با زمینه شیشه‌ای یا فلسیتی. گلومرو کریست فلدسپار حالت غربالی یافته که حواشی آن با ماگمای ورودی ناپایدار بوده ولی باریکه خارجی در فرصت کم توانسته با ماگما تعادل یابد (شکل ۲۱).

۵- گنبد شماره ۵: این گنبد آتشفشانی، شباهت ریخت شناسی بسیاری با گنبد شماره ۱ (روستای بلده) دارد و در سمت شمال آن واقع است، ولی از لحاظ سنگ شناسی، بسیار متفاوت است. این گنبد نیز آثار گرمایی مشخص

#### ۴-۱- رده‌بندی سنگها

در این نمودارها، در صورت استفاده از عناصر کم‌حرک (مانند زیرکیم و تیتانیم) سنگها همبستگی خوبی داشته و هم‌خانواده‌اند. همان‌گونه که مشخص شده است، این سنگها در دسته ریوداسیت/ داسیت قرار گرفته‌اند (شکل ۲۶).

#### ۴-۲- رده‌بندی سنگهای گرانیتی

با توجه به این که سنگهای خروجی فلسیک (ریوداسیت، داسیت و ریولیت) هم‌ارز انواع پلوتونیک گرانیتیویدی هستند و در مواردی نیز ماگماهای گرانیتیویدی با سنگهای خروجی ارتباط دارند، لذا برای سنجش و ارزیابی سنگهای خروجی می‌توان از نمودارهای مربوط به سنگهای گرانیتیویدی استفاده کرد. چنانچه ماگمای سازنده این خروجیها، هم‌ارز ماگمای درونی باشد، می‌توان با استفاده از نمودارهای گرانیتیویدی، محیط مناسب آنها را تعیین کرد.

#### رده‌بندی (Pearce et al. 1984)

با استفاده از ۵ نمودار مرحله اول می‌توان گرانیت‌های درون صفحه را از دیگر انواع تفکیک کرد. همه نمونه‌ها، خارج از WPG قرار می‌گیرند و تنها نمودار تغییرات Rb در برابر  $SiO_2$  در این محدوده است که با توجه به تحرک بالای عنصر روییدیم، نتایج این نمودار قابل اعتماد نیست. در مرحله دوم با استفاده از چهار نمودار دیگر می‌توان محیط را از بین CCG، COLG و VAG شناسایی کرد. بیشتر موارد، شرایط VAG یا گرانیت‌های کمان آتشفشانی حاکم است و برخی موارد نیز با ORG یا گرانیت‌های پشته میان اقیانوسی منطبق است که باید آنها را با افیولیت‌های البرز مرکزی وابسته دانست ولی در واقع این گونه نیست، چرا که این سنگهای اسیدی بسیار جوان هستند (تا اواخر سنوزوییک). لذا گروه ORG نیز مردود است. با توجه به شرایط برخورد قاره‌ای حاکم بر ایران در سنوزوییک، به احتمال قوی بهترین محیط شرایط همگرایی Syn-COLG است که البته VAG نیز شرایط همگرایی را تأیید می‌کند (شکل ۲۷).

#### رده‌بندی نمودار چند کاتیونی $R_1-R_2$

#### (Bowden & Batchelor, 1984) (رده‌بندی)

استفاده از دو پارامتر  $R_1$  و  $R_2$  که توسط De la Roche et al. (1980) پی‌ریزی شد، به دلیل استفاده از عناصر و کاتیون‌های بسیار زیاد منطقی‌تر است. با استفاده از این روش رده‌بندی نیز محیط برخورد قاره‌ای یا اواخر کوهزایی (احتمالاً فاز آلپی پایانی) مورد تأیید قرار می‌گیرد (شکل ۲۸).

#### نمودار مثلثی Harris et al. (1986)

رئوس این مثلث عبارتند از روییدیم، هافنیم و تانتالیم. نتایج این روش، دال بر حکمفرمایی شرایط زمین‌ساختی کمان آتشفشانی و یا به عبارت دیگر محیطهای همگرا است. ولی به دلیل وجود مؤلفه‌های روییدیم که یک عنصر بسیار پرتحرک است، باید این شیوه با احتیاط مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۲۹).

#### گروههای زمین‌ساختی گرانیتیویدا (Maniar & Piccoli, 1989)

در مرحله اول در نمودار  $K_2O$  در برابر  $SiO_2$ ، پلاژیوگرانیت‌های اقیانوسی کنار گذاشته می‌شود. البته باید دقت داشت که  $K_2O$  مؤلفه‌ای بسیار پرتحرک بوده و می‌تواند در گرانیتیویدهای به شدت دگرسان شده، به میزان قابل توجهی کاهش یابد که این دگرسانی از طریق مطالعه سنگ‌نگاری قابل تشخیص است. در مرحله دوم، بیشتر سنگها در محدوده IAG، CAG و CCG قرار می‌گیرند که در تمام موارد گویای محیط همگرا هستند که با رده‌بندیهای پیشین نیز انطباق دارد. شاید دلیل این گرایش کششی این باشد که برخی از این نمونه‌ها در قالب زمین‌ساخت فشارشی، برخی کششهای محلی را نیز تحمل کرده‌اند. در مرحله سوم مناسب‌ترین پیشنهاد برای تمرکز نمونه‌ها محیط برخورد CCG است که البته گاه با ادامه شرایط پس از کوهزایی به صورت نمونه‌های POG دیده می‌شوند. در نمودار آخر، کششی بودن محیط اثبات می‌شود (شکل ۳۰).

#### ۴-۳- دیگر نمودارهای ژئوشیمیایی

در این دسته از نمودارها، ویژگیهای تفصیلی سنگهای آتشفشانی بررسی می‌شود. با توجه به این نمودارها همه سنگها در محدوده فلسیک، کلسیمی، نیمه قلیایی و از نوع کلسیمی- قلیایی (کالک آلکالن) قرار می‌گیرند. روند تفریق از یک ماگمای اولیه نیز تا حدی در نمودار AFM مشهود است (شکل ۳۱).

#### ۴-۴- نمودارهای عناصر خاکی کمیاب (REE)

این نمودارها برای گنبد‌های ۱ و ۵ به دلیل نبود اطلاعات کافی برای خاکهای کمیاب سبک، متوسط و سنگین قابل تحلیل نیستند ولی در مورد دو دایک مورد بررسی و گنبد شماره ۴، این نمودارها که با کندریت بهنجار شده‌اند، با نمودارهای خاکهای کمیاب (Pearce et al. 1984) مقایسه شده‌اند. سنگهای مورد مطالعه از نظر عناصر خاکی کمیاب سبک مشابه گرانوفیرهای قاره‌ای بوده و غنی‌شدگی تا بیش از صد برابر کندریت نشان می‌دهند ولی در عناصر خاکی کمیاب متوسط و سنگین بیشتر به توانالیت (یا ترونجمیت) شبیه هستند (Coleman & Peterman, 1975). به طور کلی، عناصر خاکی کمیاب سبک طی ذوب گواشته به‌صورت ناسازگار

عمل می‌کنند و در ماگماهای ناشی از گوشته، تهی شده‌اند. ولی در موقعیت میان‌صفحه‌ای و جزایر اقیانوسی به شدت نسبت به عناصر سازگارتر غنی می‌شوند. بنابراین در پوسته قاره‌ای بالایی به شدت غنی شده‌اند ولی در پوسته قاره‌ای ژرف به موجب ماهیت مافیک‌تر و افت انتخابی برخی از عناصر LILE یا عناصر لیتوفیل با شعاع یونی بزرگ، طی دگرگونی درجات بالاتر، غلظت کمتری می‌یابند. در مجموع، خاکهای کمیاب سبک LREE نسبت به خاکهای کمیاب سنگین HREE غنی‌شدگی نشان می‌دهند که حاصل یکی از عوامل زیر است: ۱- ذوب بخشی کم مواد گوشته‌ای، ۲- ذوب محدود گوشته غنی شده و ۳- محصول فرایند نهایی تبلور بخشی. غنی‌شدگی عناصر La و Ce حاصل فراوانی کانی آپاتیت در برخی از سنگهای منطقه است. افتادگی یا قله منفی Eu نتیجه برقراری شرایط نسبی احیایی حاکم بر ظهور آن و ورود این عنصر به ساختار فلدسپار است که تبلور بخشی و جدایش فلدسپارها ضمن تبلور بخشی ماگما باعث ایجاد این بی‌هنجاری منفی گردیده است (شکل ۳۲).

#### ۴-۵- نمودارهای عنکبوتی

این نمودارها به تفکیک موقعیت با گرانیتهای پشته میان‌اقیانوسی بهنجار شده‌اند. غنی‌شدگی شدید در عناصر ناسازگارتر (سمت چپ نمودار) با کاهش شدید به سمت افزایش سازگاری همراه است. چنین روندی با گرانیتهای پشته اقیانوسی (ORG) همخوانی ندارد، زیرا در این گرانیتهای پشته، نوعی تهی‌شدگی در عناصر ناسازگار ابتدایی یعنی K، Rb و Ba دیده می‌شود. روند تغییرات دایکهای ۲ و ۳ بسیار شبیه گرانیتهای کمان آتشفشانی (VAG) است. این نتایج در رده‌بندیهای Pearce et al. (1984) و Harris et al. (1986) مورد تأکید قرار گرفته است. در این نمونه‌ها مانند بازالتهای کمان آتشفشانی، نوعی غنی‌شدگی در عناصر K، Rb، Ba، Th و تا حدودی Ce و Sm دیده می‌شود. گنبد‌های ۱ و ۵ نیز شبیه نمودارهای عنکبوتی گرانیتهای درون صفحه‌ای قاره‌ای با ستبرای زیاد (WPG-C) است. شاخص این گروه، مقادیر بالای عناصر روبیدیم و توریم نسبت به تانتالیم و نیوبیم است که نشانگر ماهیت پوسته‌ای آنها است. از سوی دیگر، در این گروه بی‌هنجاری باریم چندان زیاد نبوده و از تانتالیم تا ایتربیم روند گسترده‌تری دارند. مقادیر هافنیم تا ایتربیم به مقادیر بهنجار شده نزدیک است و مقادیر پتاسیم، روبیدیم و توریم بسیار بالا است. شیب منفی از LILE یا LREE ها که نشانگر ذوب بخشی کم در محصولات نهایی تبلور بخشی ماگما و آلودگی ماگمای اولیه با پوسته است، به افزایش باریم همراه با پتاسیم و روبیدیم منجر شده است. در این نمودارها نیز تفاوت بین گرانیتهای پشته میان اقیانوسی و نمودارهای فلسیک منطقه به خوبی مشخص است. در واقع غنی‌شدگی از عناصر ناسازگار پرتحرک و خاکهای کمیاب سبک که شیب منفی به نمودار داده

#### ۴-۶- نمودارهای Harker و نمودارهای تغییرات

است حکایت از پدیده‌هایی همچون ذوب بخشی کم، محصولات نهایی تبلور بخشی ماگما و یا آلودگی ماگمای اولیه با پوسته دارد (شکل ۳۳).

در صورتی که منشأ ماگمای سازنده موقعیتهای مورد بررسی را مشابه فرض کنیم، می‌توانیم از نمودارهای تغییرات یا نمودارهای هارکر استفاده کنیم. نتایج عمده بررسی این نمودارها آن است که: میزان تغییرات اکسیدهای اصلی در برابر سیلیس در نمودارهای هارکر تنها به تبلور بخشی وابسته نیست، اگر چه این عامل، یکی از عوامل مهم است. افزایش سریع عناصر قلیایی سدیم و پتاسیم در سراسر تغییرات سیلیسیم حاکی از عوامل دیگر مانند آغشتگی پوسته‌ای و غنی‌شدگی ماگما از قلیایها به دلیل انتقال گازی و ... است. روند نامنظم در اکسیدهای کلسیم و تیتانیم در برابر اکسید منیزیم مشهود است ولی نمودارهای اکسید منیزیم و آهن، قائم تا نزولی است. اکسیدهای کلسیم در عین بی‌نظمی، نوعی رگرسیون نزولی دارند که می‌تواند حاصل عملکرد سیالات متاسوماتیکی باشد. کاهش اکسید تیتانیم، حاصل کم بودن کانیهای مات است. تحرک کم آلومینیم مانع گسترش زیاد تغییرات این اکسیدها می‌شود و در عین دگرسانی، مقدار آن ثابت می‌ماند. نمودارهای اکسید-سیلیس، ضمن تفریق در روند تبلور بخشی، گاه بیانگر پراکندگی به علت اکسایش آهن و منگنز یا آلودگی است. پراکندگی اکسید منیزیم در برابر دیگر اکسیدها نیز حکایت از عدم کنترل تبلور بخشی به تنهایی در بروز سنگهای منطقه دارد و لذا عوامل سنگ‌زادی دیگر همچون دگرسانی و آغشتگی پوسته‌ای نیز دخالت داشته‌اند. به دلیل کاهش کانیهای مات در سنگهای اسیدی‌تر، میزان اکسید منیزیم و تیتانیم یک روند منفی نشان می‌دهد. کاهش کانیهای پرتحرک‌تر ممکن است حاصل اثر دگرسانی و یا خروج ثانویه باشد. کاهش تیتانیم و استرونیسم باعث جدایش کانیهای اکسیدی آهن و تیتانیم‌دار و آمفیبول قهوه‌ای و تیتانیم‌دار می‌شود. کاهش استرونیسم نشانه جدایش پلاژیوکلاز است. سنگهای مافیک‌تر نسبت به آغشتگیهای پوسته‌ای آسیب‌پذیرترند، به همین دلیل، سنگهای مافیک‌تر، آلودگی پوسته‌ای بیشتری یافته و از Ba غنی‌تر شده‌اند، در حالی که سنگهای فلسیک‌تر فقیر از باریم‌اند. به عبارت دیگر، دو خانواده غنی از باریم و فقیر از باریم وجود دارد، در حالی که در سایر نمودارها به هم وابسته‌اند، پس تفکیک اخیر شاید به علت آغشتگی پوسته‌ای برای انواع غنی از باریم باشد. کاهش سریع منیزیم نتیجه جدایش کانیهای مافیک (آمفیبول و بیوتیت) و ... است.

#### نتیجه‌گیری

گنبد‌های داسیتی تا ریولیتی منطقه بلده در البرز مرکزی از نوع گنبد‌ها و توده‌های نفوذی درون‌زاد (Endogenous dome) می‌باشند که به واسطه

قرار می‌دهد و از نظر ژئودینامیکی معادل توده‌های اسیدی گرانیتوئیدی همزمان با برخورد (Syn-COLOG) می‌باشند (Pearce et al., 1984). تنوع سنگ‌شناختی منطقه، نه تنها وابسته به پدیده تفریق ماگمایی و تبلور بخشی بوده، بلکه آغشتگی پوسته‌ای و فرایند انتقال گازی نیز در تمرکز و تحول ماگمای اسیدی دخیل بوده است.

### سپاسگزاری

از پروفیسور جاناتان فینک استاد آتشفشان‌شناسی و معاون دانشگاه ایالتی آریزونا و خانم دکتر راشل تیزدیل از دانشگاه آریزونا به دلیل ارائه مقالات کلیدی متعدد و راهنمایی‌های ارزنده نهایت تشکر را داریم. از آقای دکتر عبدالله سعیدی به دلیل همراهی و راهنمایی صمیمانه در سفرهای صحرائی و از آقای دکتر محمد رضا قاسمی به دلیل ارشادات ارزنده سپاسگزاریم.

حضور گسل و شکستگیهای همروند با ساختارهای اصلی منطقه (خاوری- باختری) ماگمای اسیدی و گرانرو قادر به صعود به ترازهای سطحی زمین شده است. شواهد این شکستگیها که به عنوان محل گذر (معبر) ماگما به سطح زمین عمل نموده‌اند، در منطقه بلده به شکل دایکهای تغذیه کننده ظاهر می‌گردند و در زمان صعود، ماگمای گرانرو، با کاهش اختلاف گرانروی با سنگهای همبر مناسب (سازند شمشک) به صورت اشکال گنبدی، قارچی و غیره از درون توسعه جانبی یافته‌اند.

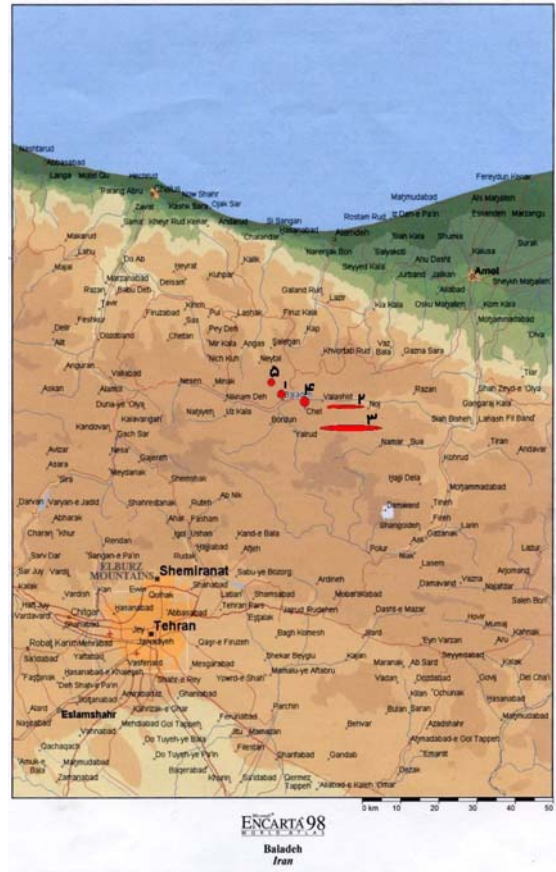
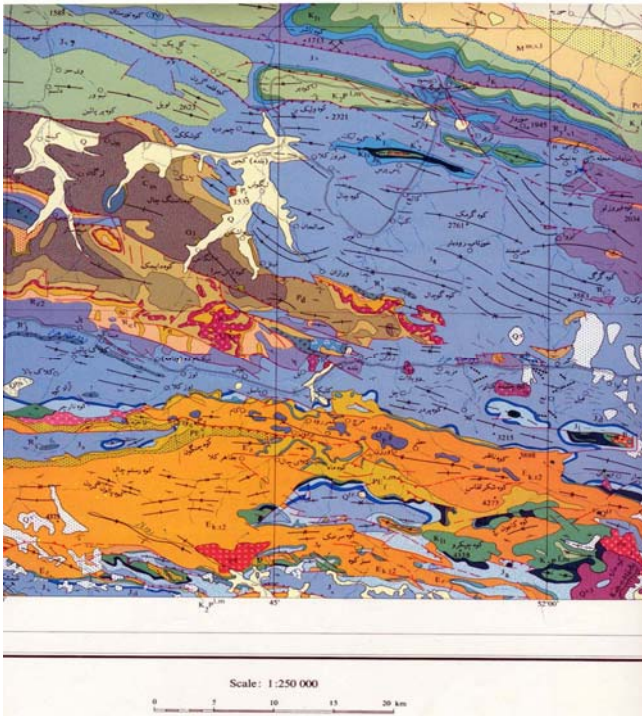
از دیدگاه سنگ‌شناسی، گنبدهای منطقه به‌طور عموم ترکیب اسیدی ریولیتی تا ریوداسیتی داشته که گاه متمایل به داسیت پورفیری هورنبلنددار می‌شوند. بافت پورفیریتیک در زمینه دانه‌ریز تا شیشه‌ای گویای دو مرحله تبلوری است. فراوانی درشت بلورها، دلالت بر پیشرفت تبلوری ماگمای گرانرو ضمن صعود به سطح زمین دارد. بررسی ژئوشیمیایی، این سنگها را در محدوده سنگهای ریوداسیتی و داسیتی کلسیمی-قلیایی (کالک آلکان)



جدول ۱- نتایج تجزیه XRF

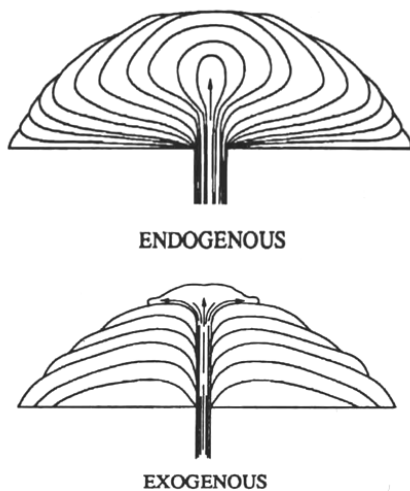
نوع سنگ	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Loss
۱	۷۸.۸	۱.۷۸	۱۷.۸۸	۱۳.۷۷	۰.۷۱	۰.۲۵	۰.۲۵	۱.۸۱	۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
۲	۷۷.۳	۱.۷۸	۱۷.۸۸	۱۳.۷۷	۰.۷۱	۰.۲۵	۰.۲۵	۱.۸۱	۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
۳	۷۷.۳	۱.۷۸	۱۷.۸۸	۱۳.۷۷	۰.۷۱	۰.۲۵	۰.۲۵	۱.۸۱	۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
۴	۷۷.۳	۱.۷۸	۱۷.۸۸	۱۳.۷۷	۰.۷۱	۰.۲۵	۰.۲۵	۱.۸۱	۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
۵	۷۷.۳	۱.۷۸	۱۷.۸۸	۱۳.۷۷	۰.۷۱	۰.۲۵	۰.۲۵	۱.۸۱	۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
۶	۷۷.۳	۱.۷۸	۱۷.۸۸	۱۳.۷۷	۰.۷۱	۰.۲۵	۰.۲۵	۱.۸۱	۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
۷	۷۷.۳	۱.۷۸	۱۷.۸۸	۱۳.۷۷	۰.۷۱	۰.۲۵	۰.۲۵	۱.۸۱	۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱

ردیف	نوع سنگ	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Loss
۱	۱	۷۸.۸	۱.۷۸	۱۷.۸۸	۱۳.۷۷	۰.۷۱	۰.۲۵	۰.۲۵	۱.۸۱	۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
۲	۲	۷۷.۳	۱.۷۸	۱۷.۸۸	۱۳.۷۷	۰.۷۱	۰.۲۵	۰.۲۵	۱.۸۱	۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
۳	۳	۷۷.۳	۱.۷۸	۱۷.۸۸	۱۳.۷۷	۰.۷۱	۰.۲۵	۰.۲۵	۱.۸۱	۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
۴	۴	۷۷.۳	۱.۷۸	۱۷.۸۸	۱۳.۷۷	۰.۷۱	۰.۲۵	۰.۲۵	۱.۸۱	۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
۵	۵	۷۷.۳	۱.۷۸	۱۷.۸۸	۱۳.۷۷	۰.۷۱	۰.۲۵	۰.۲۵	۱.۸۱	۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
۶	۶	۷۷.۳	۱.۷۸	۱۷.۸۸	۱۳.۷۷	۰.۷۱	۰.۲۵	۰.۲۵	۱.۸۱	۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
۷	۷	۷۷.۳	۱.۷۸	۱۷.۸۸	۱۳.۷۷	۰.۷۱	۰.۲۵	۰.۲۵	۱.۸۱	۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱

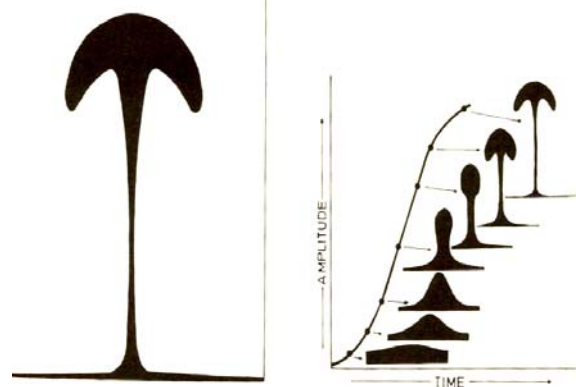


شکل ۲- بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ آمل به همراه مقیاس میله‌ای نشانگر منطقه بلده و سازندهای مرتبط با توده‌های آذرین مورد بحث دقت داشته باشید که مقیاس به کاررفته برای توده‌های مورد بحث و موقعیت آنها تقریبی است و براساس مقیاس نمی‌باشد (سازمان صنایع و معادن استان مازندران، ۱۳۸۰).

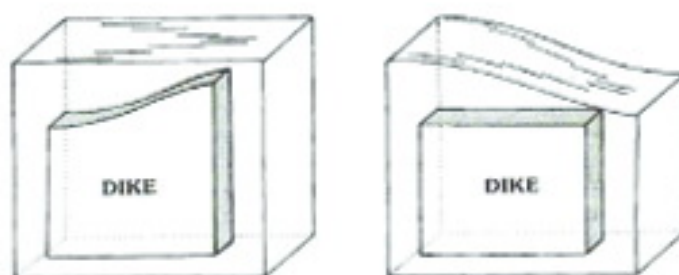
شکل ۱- نقشه جغرافیایی منطقه بلده. محل تقریبی موقعیت های مطالعه بدون مقیاس و به صورت شماتیک نشان داده شده است (Encarta, 1998).



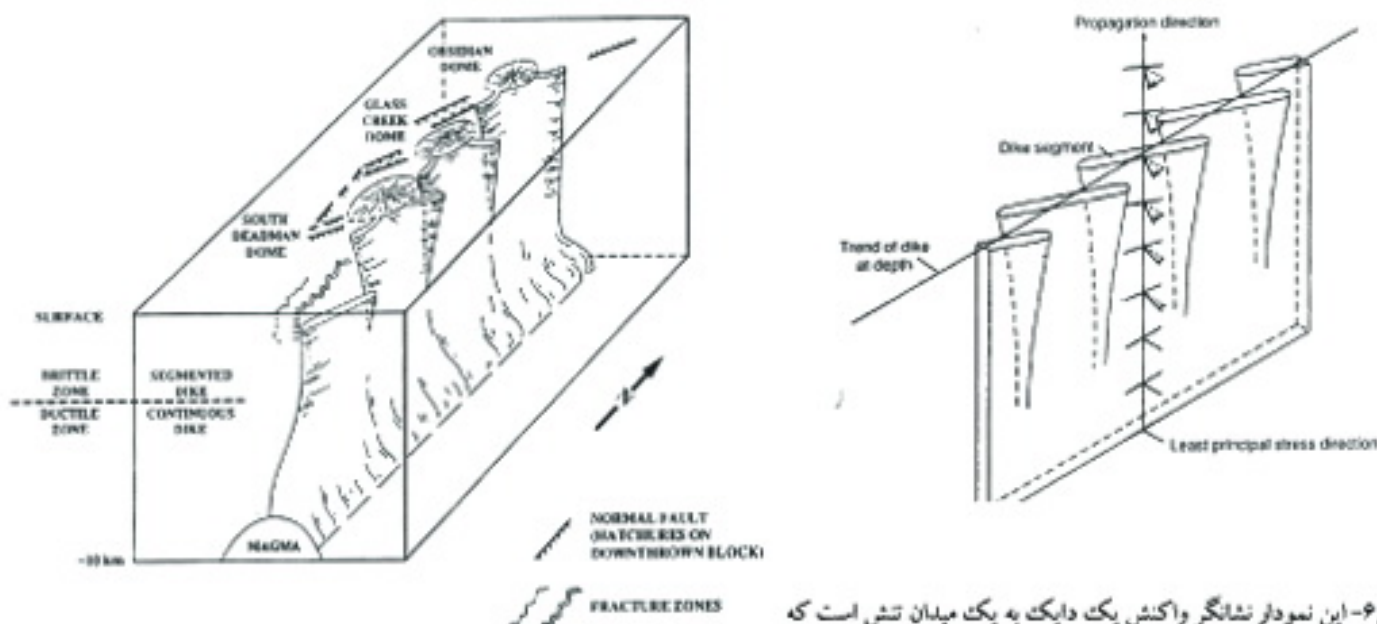
شکل ۴- نمودار شماتیکی از افزوده شدن گدازه به یک گنبد در حال رشد الف- برونزاد و ب- درونزاد



شکل ۳- مدل رایج‌ترین مرحله نهایی یک پلوتون دیابیری (Berner et al., 1972). نمونه‌ای از پلوتونهای در حال بالونی (Castro, 1987). راست- نمودار محاسبه‌ای دامنه - زمان (مدل عددی از Castro, 1990). مراحل تکامل دیابیر ارائه شده است (Castro, 1987).

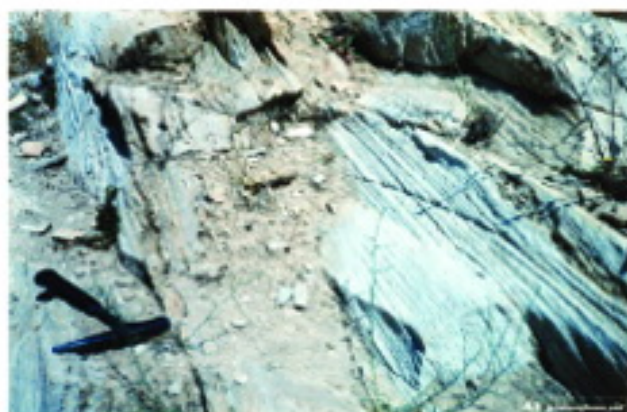


شکل ۵- نمودار شماتیک نشانگر وضعیت هندسی شکستگی‌هایی که بر فراز یک دایک در حال صعود همزمان با نزدیک شدن آن به سطح ایجاد می‌شوند. فاصله زوج ترکها با فاصله از روه دایک تا سطح زمین متناسب است (Fink & Pollard, 1983).



دایک در طی صعود خود، با شکسته شدن به قطعات مختلف با تغییر جهت ایجاد قطعات دوران یافته همزمان با عبور از مرز شکل پذیر - شکسته در پوسته است (Reches & Fink, 1988).

شکل ۶- این نمودار نشانگر واکنش یک دایک به یک میدان تنش است که محورهای اصلی آن با افزایش ژرفا حول یک محور قائم دوران می‌کند. این شکل ۷- نمودار طرح پیشنهادی برای دایک زیر گنبد‌های اینبو که نشانگر تنش سازگار می‌شود، به نحوی که همواره عمود بر جهت کشش پیشینه باقی بماند (Delaney & Pollard, 1981).



شکل ۸- دو نما از آثار نواربندی جریان‌ی بر سطح گنبد شماره ۱.



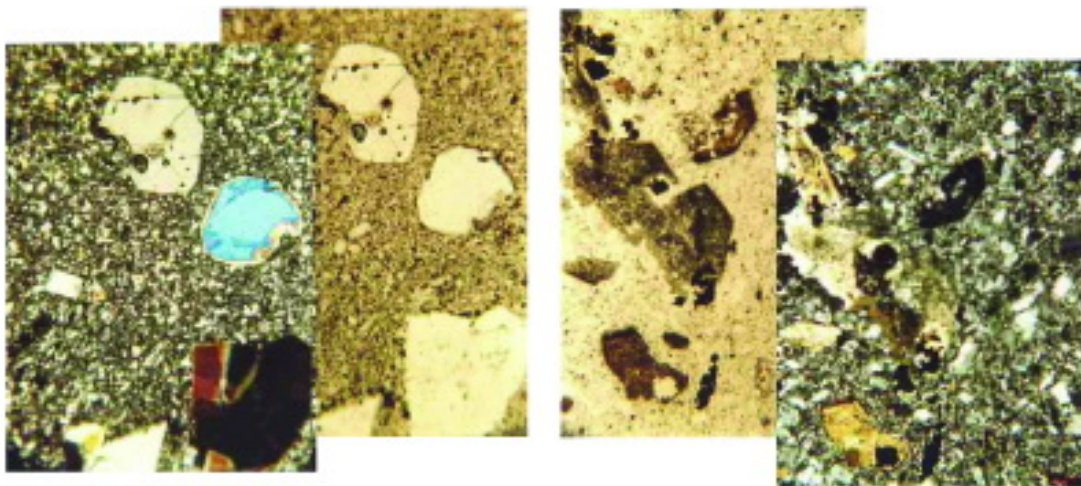
شکل ۱۰- دو دسته درزه های سردشدگی موازی و عمود بر سطح گنبد. درزه های موازی سطح گنبد در واقع حاصل تفاوت گرانیروی ماگمای نفوذی به داخل پوسته سطحی است و سردشدن تدریجی این ماگما، باعث ایجاد انقباض ناشی از سردشدگی و ایجاد درزه های عمود بر سطح گنبد می گردد.



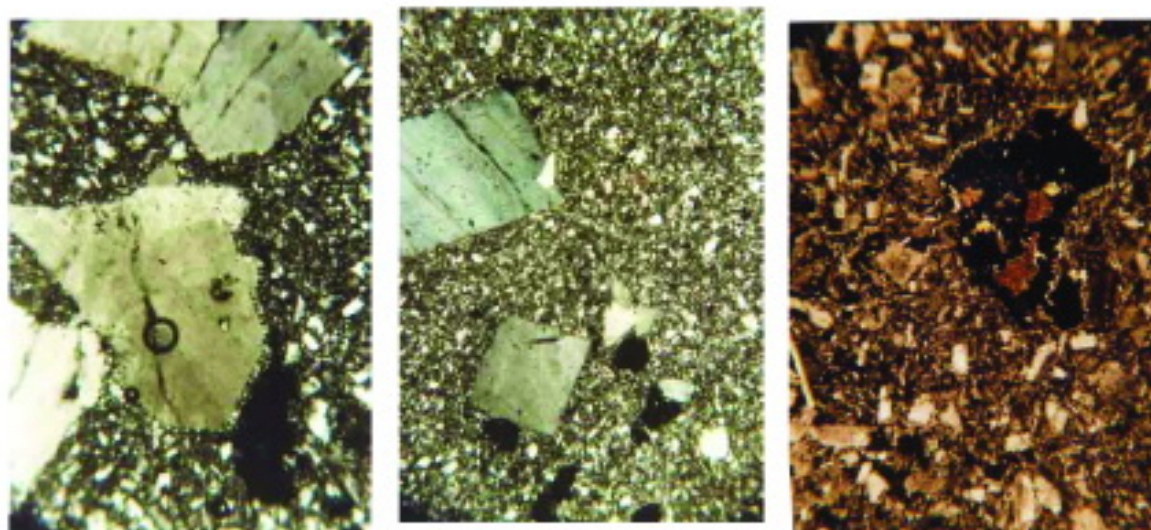
شکل ۹- روانه های سطحی گنبد شماره ۱ که بک کوله را در بال باختری این گنبد ساخته است.



شکل ۱۱- مرز خرد شده نفوذهای مکرر یا خردشدگی دینامیک در گنبد شمال بلده.



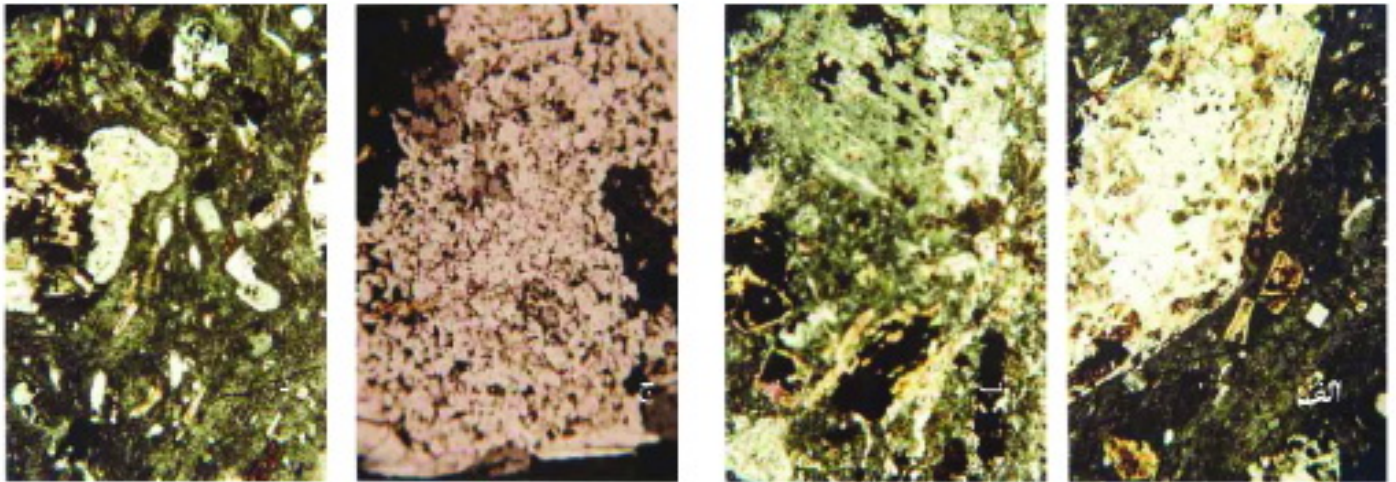
شکل ۱۲- انواع سنگها در گنبد شماره ۱. بخش اعظم سنگهای متعلقه از ریولیت هولولو کوکرات تشکیل شده است: دو تصویر سمت چپ: نمای میکروسکوپی ریولیت هولولو کوکرات در نور قطبی سطحی و صلیبی. دو تصویر سمت راست: یک بخش فرعی از سنگهای این گنبد که احتمالاً یک روانه سطحی می باشد از نوع هورنبلند داسیت پورفیری است. نمای میکروسکوپی هورنبلند داسیت پورفیری در نور قطبی سطحی و صلیبی. در دو تصویر سمت چپ درشت بلورهای کوآرتز خلیجی در گنبد شماره ۱ نشانگر موقعیت متغیر یونکتیک کوآرتز و قلدهسار قلیایی همزمان با تغییر فشار و نفوذته مانند جابها است.



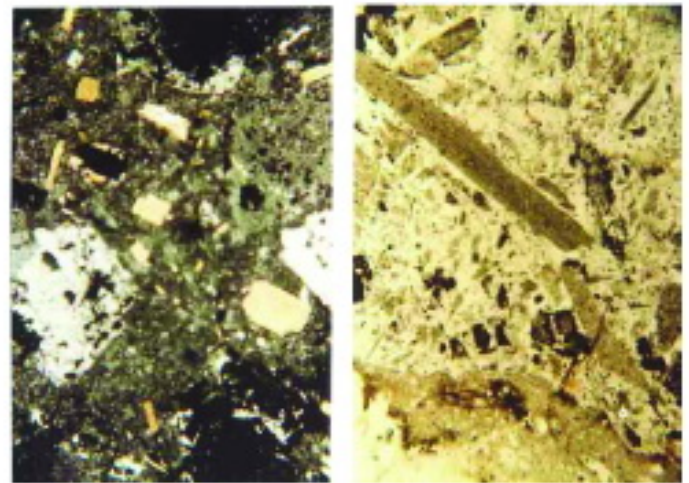
شکل ۱۳- بافت‌های مختلف موجود در سنگ‌های گنبد شماره ۱ عبارتند از: بافت ویتروفیری که در توده اصلی گنبد دیده می‌شود و بافت میکروپیتی تا ریزدانه پورفیری که در روانه سطحی گنبد دیده می‌شود. تمام عکسها در نور قطبی صلیبی (نور پلاریزه) گرفته شده‌اند. در این تصاویر، بافت‌های نشانگر عدم تعادل در سنگ‌های گنبد شماره ۱ نیز مشخص است: حواشی واکنشی در درشت بلورهای فلدسپار، خورده شدگی درشت بلور آمفیبول در هورتلند داسیت پورفیری و بلورهای آمفیبول فروپاشیده به کاتیون‌های مات، اسفن و ... البته یکی دیگر از شواهد عدم تعادل در سنگ‌های این گنبد، خلیجی بودن درشت بلور کوارتز است (ر.ک. شکل ۱۲).



شکل ۱۴- سیلهای نفوذی در بین لایه‌های سازند شمشک که آثار گرمایی مشخصی در همبری خود داشته‌اند (موقعیت ۲). به درزه‌های عمود بر همبری سیل و سنگ‌های همبر دقت کنید. تصویر پایین نشانگر یک سیل با آثار گرمایی می‌باشد. در شکل بالا سمت چپ دایک تغذیه کننده و نیز درزه‌های منشوری عمود بر همبری دیده می‌شود.



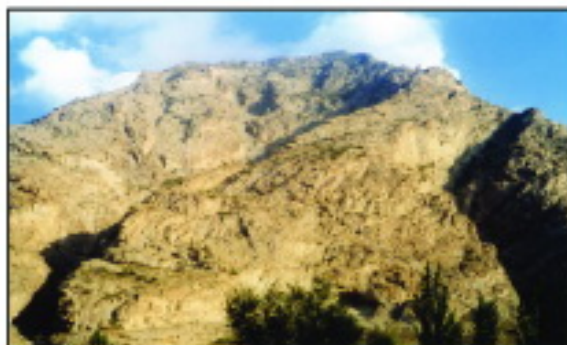
شکل ۱۵- بافت‌های دیده شده در ریوداسیتها و تراکی داسیت‌های دایکها و سیل‌های موقعیت شماره ۲. الف) حواشی دگرسان شده و هسته سالم در یک درشت‌بلور فلدسپار. ب) نشانگر وجود میان‌بار شیشه در درشت‌بلورهای فلدسپار است. ج) بافت غربالی و حواشی بدون میان‌بار نشانگر رشد مرحله‌ای این بلورها است. د، ه) و) کانیهای مافییک موجود در سیلها و دایکهای موقعیت ۲. بلورهای مافییک به طور عمده از نوع بیوتیت بوده‌اند که در اثر دگرسانی، فروپاشی یافته‌اند. اگر کانی دیگری نیز پیش‌تر وجود داشته، اکنون با شکل دروغین دیگری جایگزین شده است و اثری از آن دیده نمی‌شود. شواهد جریان یافتن گدازه‌ها در سیلها و دایکهای موقعیت ۲ در شکلهای ب، د و ه دیده می‌شود که با بافت تراکیتی در زمینه جهت‌یافتگی در درشت بلورها قابل مشاهده است.



شکل ۱۶- الف) نمای دایک بزرگ شماره ۳ از نزدیکی جاده بلده. ب) تیغه دایک ۳ که درزه‌های منشوری در آن مشهود است. ج) مقایسه بخشهای توده‌ای (بالا) و بخشهای منشوری (پایین) دایک شماره ۳.



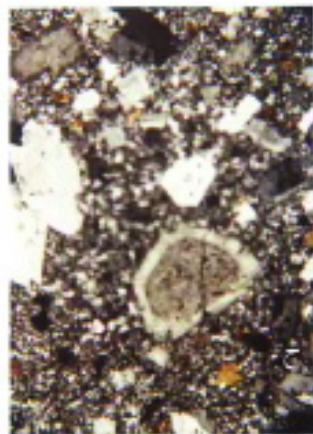
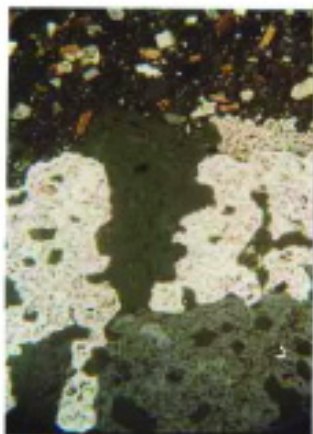
شکل ۱۷- تنوع شدید بافتی در دایک بزرگ موقعیت شماره ۳. الف و ب) بافت بین‌دانه‌ای حاصل در هم‌رنگی بلورهای میکای سیاه (بیوتیت) در دایک بزرگ. ج) بافت ایکویری گرانولار (هم‌بند دانه) در میکروسینت مرکز دایک. درشت‌بلور نیمه‌شکل‌دار اسفن در مقایسه با دیگر کانیتهای موجود برجستگی مشخصاً بالایی دارد. د) تمایی از بافت غالب یعنی بافت ویتروفری شیشه‌زدایی شده. بافتهای نشانگر عدم تعادل در درشت بلورهای فلدسپار در عکسهای د تا و مشهود است. در این عکسها، بلورهای خورده شده و حواشی واکنشی به خوبی مشهود است. تمام عکسها بجز عکس ب در نور قطبی صلیبی (پلاریزه) گرفته شده‌اند.



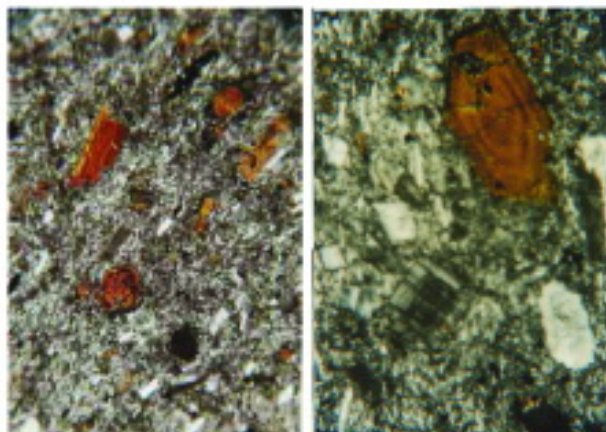
شکل ۱۸- گنبد اصلی بلده (موقعیت ۴) واقع در بین دو روستای بلده و ولاشید. پایین - گنبد بزرگ آتشفشانی خاور بلده که با رسوخ سرد در سازند شمشک بیرون زده است. آپوفیز پال خاوری گنبد نیز در شکل دیده می‌شود. وسط - آثار جریان مکرر و شکاف‌خوردگی پوسته سخت شده قبلی، بالا - گودال میانی می‌تواند حاصل تبدیل فعالیت آرام گنبد ساز به فعالیت انفجاری یا فرومکش گدازه باشد.



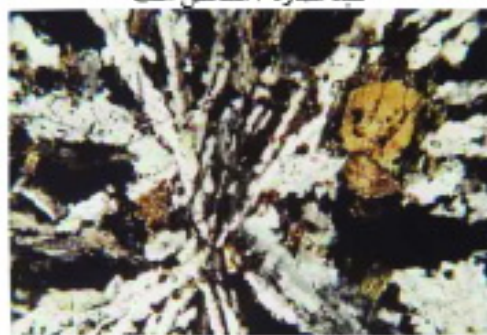
شکل ۱۹- فرسایش انحلالی - حفره‌ای از مشخصه‌های بارز گنبد شماره ۴ است. فرسایش انحلالی - حفره‌ای گاه باعث ایجاد حفره‌های نسبتاً بزرگی گردیده است و در برخی نقاط به ایجاد غارهایی منجر شده است. در سمت راست، عکس آثار جریان به صورت نوارندبهای جریانی دیده می‌شود. در شکل پایین دیده می‌شود که سطح آبرویز یال خاوری گنبد شماره ۴ حالت مفرس و دندانه‌ای دارد که گویای گرانیروی بالای ماگما است.



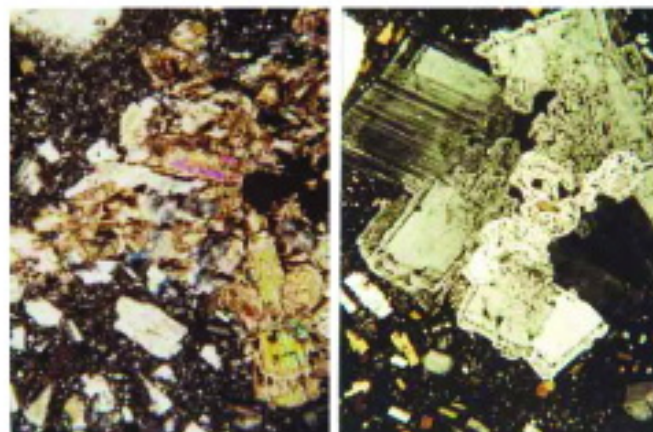
شکل ۲۰- تنوع بافتی در درشت‌بلوره‌های فلدسپار گنبد شماره ۴. حواشی غبار آلود، حواشی عدم تعادل در گلوومرو کریست (شکل قبل)، میانبرهای زمینه‌ای (شیشه) (الف) و حواشی عدم تعادل، درشت بلور فلدسپار قبلیایی (د)، انحلال بلور و رشد مجدد با بافت غریالی (ب)، بافت غریالی (ج).



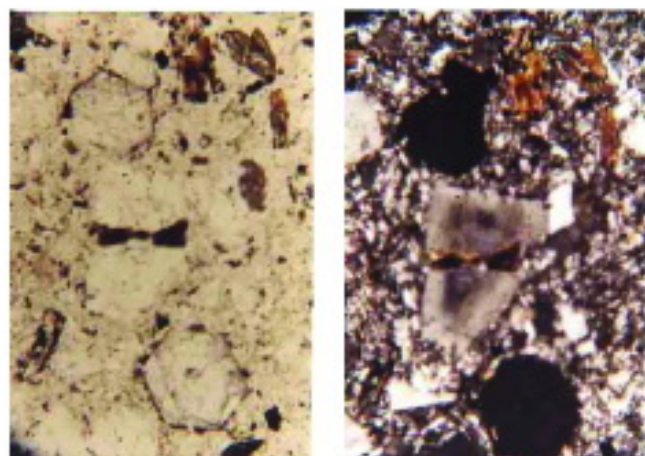
شکل ۲۲- بلورهای مافیگ، سنگهای گنبد شماره ۴ عبارتند از بیوتیت، هورنبلند و دیگر آمفیبولها، کلینوپیروکسن و گاه اپیدوت. آمفیبولهای موجود در سنگهای گنبد ۵ دارای ساختار منطبقه‌ای و به طور صوم. کل دار هستند ولی گاهی مرزهای انحلالی نشان می‌دهند. هر دو عکس در نور قطبی صلیبی گرفته شده‌اند. بافت جریان‌ی تراکیتی در برخی بخشهای گنبد شماره ۴ مشخص است



شکل ۲۳- بلورهای ثانویه زئولیتی درون‌گهای در گنبد ۴ را پر کرده‌اند و شکل دسته‌های شعاعی تا دسته جارویی آنها شاخص است. هر دو شکل در نور قطبی صلیبی گرفته شده‌اند. به فراوانی بلورهای آپاتیت نیز دقت کنید



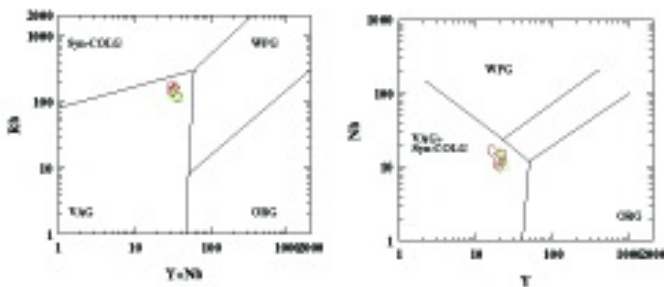
شکل ۲۱- تجمعهای گلوئرو کریستی درشت بلورهای فلدسپار با حواشی عدم تعادل (راست)، بیوتیت و کلینوپیروکسن (چپ). عکسها در نور قطبی صلیبی گرفته شده‌اند



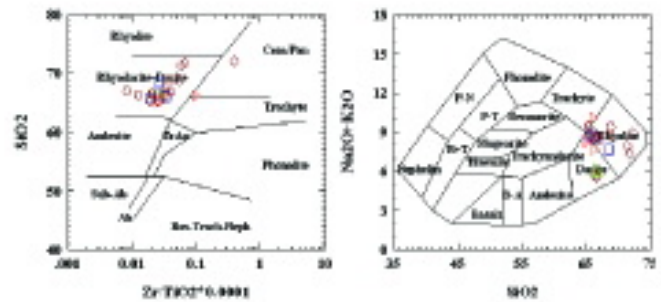
شکل ۲۴- مقاطع عمود بر محور Z در بلورهای آپاتیت موجود در گنبد شماره ۴. الف در نور قطبی سطحی و ب در نور قطبی صلیبی گرفته شده‌اند.



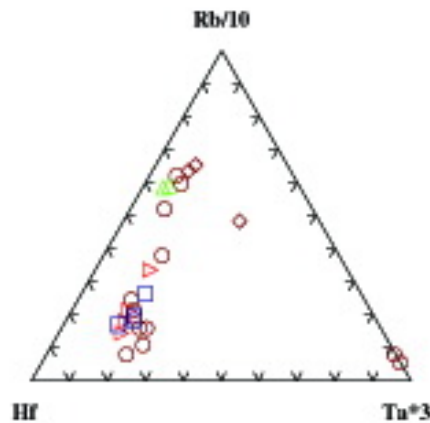
شکل ۲۵- گنبد آتشفشانی شماره ۵ در شمال باختری گنبد شماره ۱. شمال باختری روستای بلده. عکس از روی گنبد شماره ۱ در جهت شمال باختری گرفته شده است.



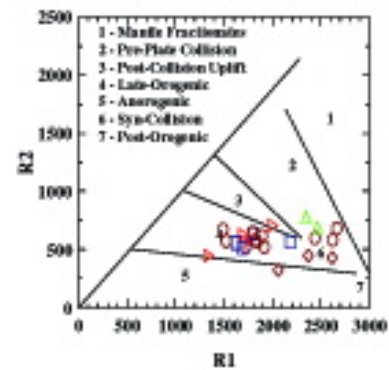
شکل ۲۷- بالا- نمودار تغییرات Rb به Y+Nb، پایین - نمودار تغییرات Rb به Y.



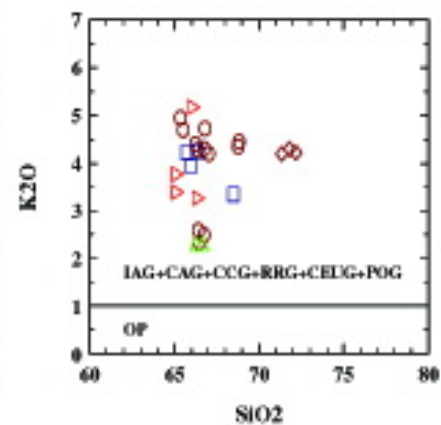
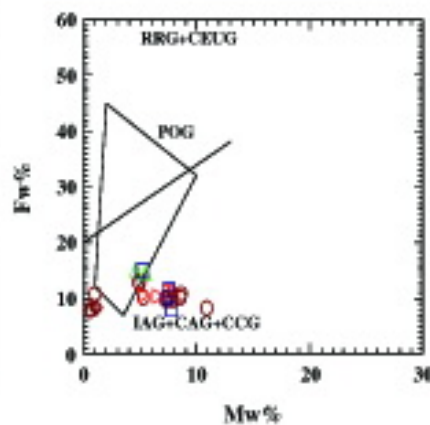
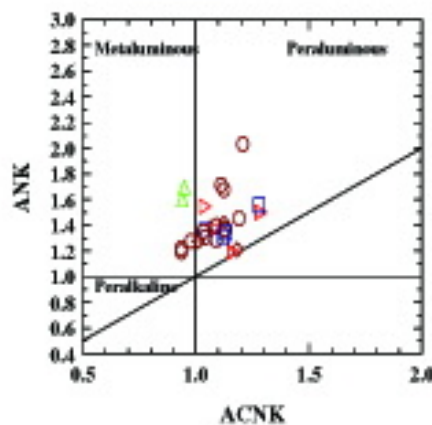
شکل ۲۶- نمودارهای رده بندی ژئوشیمیایی سنگها: راست- نمودار  $SiO_2$  در مقابل  $Na_2O+K_2O$  (Cox et al.,1979)، چپ- نمودار  $SiO_2$  در مقابل  $Zr/TiO_2*0.0001$  (Pearce & Cann,1973).



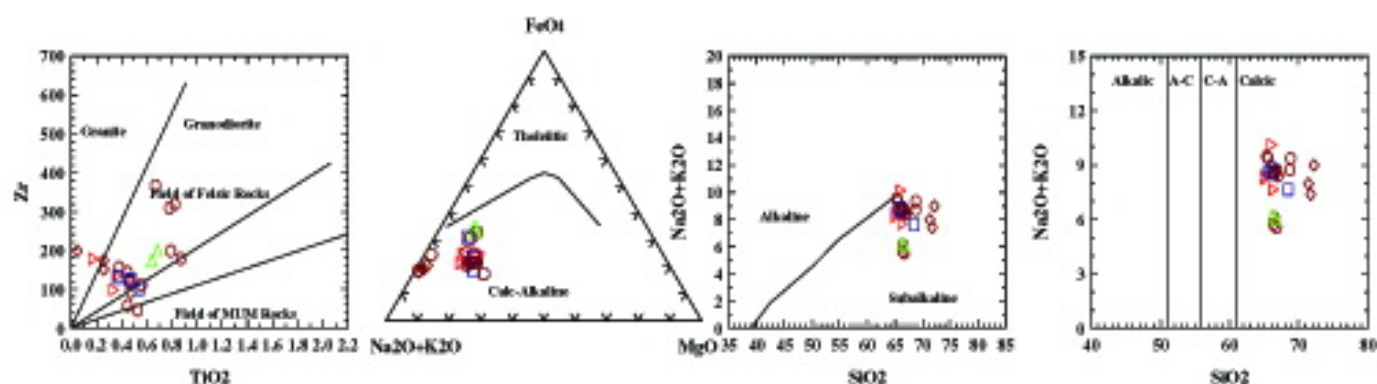
شکل ۲۹- در این نمودار مثلثی، رنوس مثلث عبارتند از رویدیدیم، هافنیم و تانتالیم. بیشتر داده های ژئوشیمیایی مورد استفاده در این روش، دال بر حکمفرما بودن شرایط زمین ساخشی کمان آتشفشانی و یا به عبارت دیگر محیطهای همگراست. ولی به دلیل وجود مؤلفه رویدیدیم که یک عنصر یار پرتحرک است، باید این شیوه با احتیاط مورد استفاده قرار گیرد.



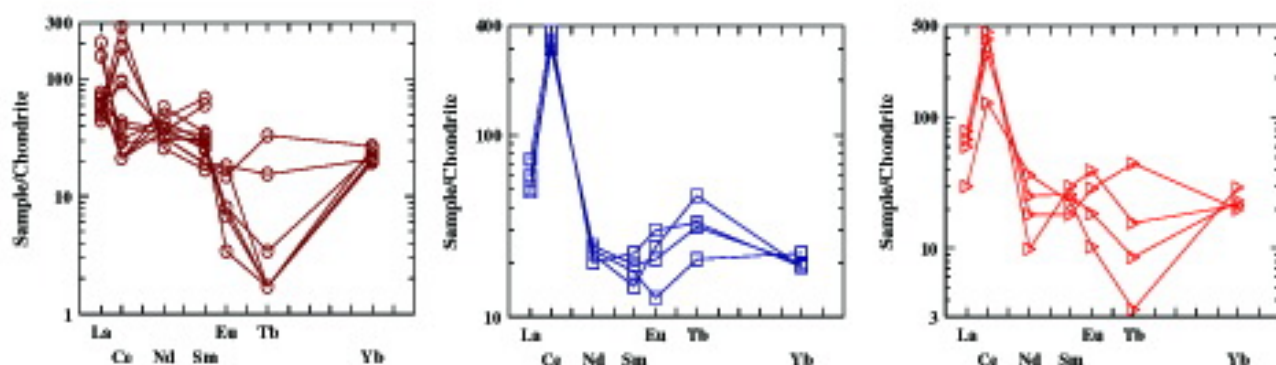
شکل ۲۸- استفاده از دو پارامتر  $R_2$  و  $R_1$  که توسط De la Roche et al.(1980) پایعریزی شد، از بسیاری از عناصر استفاده می کند و منطقی تر است. با استفاده از این روش رده بندی نیز محیط برخورد قاره ای یا اواخر کوهزایی (احتمالاً فاز آبی پایانی) مورد تأیید قرار می گیرد.



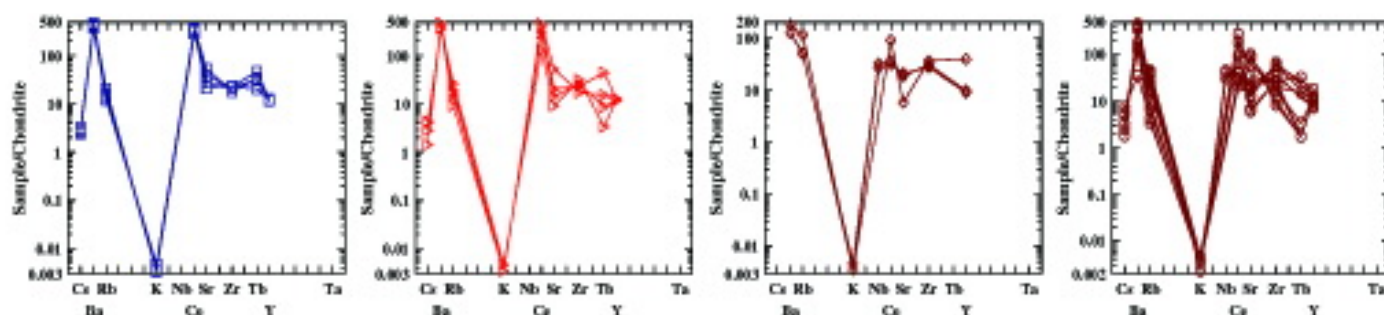
شکل ۳۰- روش Maniar & Piccoli(1989): راست- نمودار  $K_2O$  در برابر  $SiO_2$  وسط- نمودار ACF چپ- نمودار ACNK با شاخص شاند.



شکل ۳۱- نمودارهای دیگر- از راست به چپ: نمودار  $Na_2O+K_2O$  در برابر  $SiO_2$ ، نمودار  $Na_2O+K_2O$  در برابر  $SiO_2$  (Irvine & Baragar, 1971)، نمودار مثلثی AFM (Irvine & Baragar, 1971)، نمودار زیرکیم در برابر  $TiO_2$ .



شکل ۳۲- نمودار الگوی عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده با کندریت نشانگر غنی‌شدگی از عناصر خاکی کمیاب سبک است. راست- چهار نمونه از دایکها و سیلهای موقعیت شماره ۲. وسط - چهار نمونه از دایک بزرگ موقعیت شماره ۳، به ایجاد افت یوروم در برخی نمونه‌ها توجه کنید. چپ- ۹ نمونه از گنبد بزرگ شماره ۴ که به دلیل تعدد بازه‌های خروج گذار نیمه‌منجمد از این گنبد تنوع بسیار شدیدتر است.



شکل ۳۳- نمودارهای عنکبوتی که با کندریت بهنجار شده است از راست به چپ: ۹ مورد نمونه‌های تجزیه شده گنبد بزرگ شماره ۴، ۳ مورد نمونه تجزیه شده گنبد شماره ۱، ۴ مورد نمونه تجزیه شده دایک موقعیت ۲، ۴ مورد نمونه تجزیه شده دایک بزرگ موقعیت ۳.

## کتابنگاری

- امامی، م.، ه.، ۱۳۶۹- "دیپایریسم و گنبد های آتشفشانی" - مجموعه مقالات سمپوزیوم دیپایریسم - ج ۱- ص ص ۵۹-۱۰۱.
- امامی، م.، ه.، ۱۳۷۹- "ماگماتیسم در ایران" - سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

## References

- Acocella, V., Cifelli, F., Funicello, R., 2001- "The Control of Overburden Thickness on Resurgent Domes: Insights from Analogue Models"- J. Volc. & Geothermal Res.- Vol 111
- Bacon, C.R., 1985- Implications of silicic vent patterns for the presence of large crustal magma chambers, *J. Geophys. Res.*, 90, 11243-11252.
- Bacon, C.R., Duffield, W.A. & Nakamura, K., 1980- Distribution of Quaternary rhyolite domes of the Coso Range, California: Implications for extent of the geothermal anomaly, *J. geophys. Res.*, 85, 2425-2433.
- Baer, G. & Reches, Z., 1987- Flow patterns of magma in dikes, Makhtesh Ramon, Israel, *Geology*, 15, 569-572.
- Barmin, A., Melnik, O., Sparks, R.S.J. Affiliation, 2002- "Periodic Behavior in Lava Dome Eruptions"- Earth & Planetary Science Letters- Vol. 199
- Berner, H., Ramberg, H. & Stephansson, O., 1972- Diapirism in theory and experiment. *Tectonophysics*, 15: 197-218.
- Bissig, T., Clark, A.H., Lee, J.K.W., Hodgson, C.J., 2002- "Cerro de Vidrio Rhyolitic Dome: Evidence for Late Pliocene Volcanism in the Central Andean Flat-slab Region, Lama-Veladero District, San Juan Province, Argentina"- J. South Am. Earth Sci.- Vol15
- Bowden, P., Batchelor, R.A., Chappell, B.W., Didier, J. & Lamayre, J., 1984- Petrological, Geochemical and Source criteria for the classification of granitic rocks: a discussion, *Phy. Earth, Plant. Inter*, 35, P. 1-11.
- Bowes, D.R., 1989- "The Encyclopedia of Igneous & Metamorphic Petrology" - Van Nostrand Reinhold
- Breitkreuz, C., Cortesogno, L., Gaggero, L., 2001- "Cristal-rich Mass Flow Deposits Related to the Eruption of a Sublacustrine Silicic Cryptosome (Early Permian Collio Basin, Italian Alps)"- J. Volc. & Geothermal Res.- Vol 114
- Castro Jr., A.C.M., 1987- The northeastern Brazil and Gabon Basins: a double rifting system associated with multiple crustal detachment surfaces. *Tectonics*, 6(6): 727-738
- Castro, A., De la Rosa, Jesus, D. & Stephen, W.E., 1990- Magma mixing in subvolcanic environment. *Petrology of the Geranna Interaction zone near Seville Spain*, *Con. To Min. & Pet.*, 1055,9-26. Springer-Verlag.
- Coleman, R.G. & Peterman, Z.E., 1975- Oceanic plagiogranite. *Journal of Geophysical research*. Richmond Va. Vol.80, P.1099-1108 (Oceanic Plagiogranite).
- Cox, K.G., Bell, J.D. & Pankhurst, R.J., 1979- The interpretation of igneous rocks: George Allen and Unwin, London. 450 PP.
- De la Roche, H., Leterrier, J., Grande Claud, P. & Marchal, M., 1980- A classification of volcanic and plutonic rocks using R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub> diagrams and major element analysis- its relationships and current nomenclature. *Chem. Geol.*, 29, 183-210.
- Delaney, P.T. & Pollard, D.D., 1981- Deformation of host rocks and flow of magma during growth of minette dikes and breccia-bearing intrusions near Ship Rock, NM. USGS Professional Paper 1202, p. 1 - 13 .
- Delaney, P.T. & Pollard, D.D., Ziony, J.L. & McKee, E.H., 1986- Field relations between dikes and joints: emplacement processes and paleostress analysis. *Journal of Geophysical Research*, 91, 4920-4938
- Durant, G.P., 1989- "Rhyolite"- The Encyclopedia of Igneous & Metamorphic Petrology"- Van Nostrand Reinhold
- Eichelberger, J.C., Carrigan, C.R., Westrich, H.R., Price, R.H., 1986- "Non-explosive Silicic Volcanism"- *Nature*-323
- Emami, M.H., 1973- "Etude geologique et petrologique des roches Volcaniques de la region du Kuh-e-shah (sud de Birjand, Iran): These Univ. Tehran (en persan)
- Emami, M.H., 1981- "Geologie de la region de Qum-Aran (Iran). Contribution a l'etude dynamique et geochemique du volcanisme tertiaire de l'Iran central. These Doct. Etat. Grenoble.
- Fink, J.H. & Pollard, D.D., 1983- Structural evidence for dikes beneath silicic domes, Medicine Lake Highland Volcano, California. *Geology*, 11, 458-46.
- Fink, J.H., 1994 - "The Emplacement of Silicic Lava Flows & Associated Hazards"
- Fink, J.H., 1983- Structure and emplacement of a rhyolitic obsidian flow: Little Glass Mountain, Medicine Lake Highland, Northern California. *Geological Soc. America Bulletin*, 94, 362-380.
- Fink, J.H., 1985- The geometry of silicic dikes beneath the Inyo Domes, California. *Journal of Geophysical Research*, 90, 1127-1133.
- Fink, J.H., Anderson, S.W., Manley, C.R., 1992- "Textural Constraints on Effusive Silicic Volcanism: Beyond the Permeable Foam Model"- *J. Geophys. Res.* 97
- Fink, J.H., Anderson, S.W., 2000- "Lava Domes & Coulees"- Encyclopedia of Volcanoes-Academic Press
- Fink, J.H., Manley, C.M., 1987- "Origin of Pumiceous & Glassy Textures in Rhyolite Domes & Lava Flows" in "Emplacement of Silicic Domes & Lava Flows"- *Geol. Soc. of Am. Special Paper* 212
- Fink, J.H., 1985- "Geometry of Silicic Dikes beneath the Inyo Domes, California"- *J. Geoph. Res.* Vol.90
- Fink, J.H., Bridges, N.T., 1995- "Effects of Eruption History & Cooling Rate on Lava dome Growth"- *Bull. Volcanol.*

- Griffiths, R.W., Fink, J.H., 1993- "Effects of Surface Cooling on the Spreading of Lava Flows & Domes"- J. Fluid Mechanics 252
- Hansgeorg, Forster, 1990- "Igneous Diapirs & Iron Ore Deposits in Iran"- Proceeding of Symposium on Diapirism- Vol.2
- Harris, N.B.W., Pearce, J.A. & Tindle, A.G., 1986- Geochemical characteristic of collision-zone magmatism. In: Coward, M.P. and Reis, A.C. (eds.), Collision tectonics. Spec. Publ. Geol. Soc. 19, 67-81.
- Iezzi, G., Ventura, G., 2002- "Craystal Fabric Evolution in Lava Flows: Results from Numerical Simulations"- Earth & Planetary Science Letters- Vol200
- Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., 1971- A guide to the Chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian journal of earth Science, V.8, pp. 523-548.
- Jaupart, C., 2000- "Magma Ascent at Shallow Levels" - Encyclopedia of Volcanoes-Academic Press
- Leonard, G.S., Cole, J.W., Narin, I.A., Self, S., 2002- "Basalt Triggering of the c. AD 1305 Kaharoa Rhyolite Eruption, Tarawera Volcanic Complex, New Zealand"- J. Volc. & Geothermal Res.- Vol 115
- Maniar, P.D. & Piccoli, P.M., 1989- Tectonic discrimination of granitoids. Geological Society of America Bulletin, 101, 635-643.
- Mc Phie, J., Doyle, M., Allen, R.L., 1996- "Volcanic Textures- A Guide to the Interpretation of Textures in Volcanic Rocks"- Codes Univ. of Tasmania
- Microsoft Encarta, 1998- "World Atlas Software"
- Miller, C.D., 1985- Holocene eruptions at the Inyo Volcanic Chain, California: Implications for possible eruptions in the Long Valley caldera: Geology, v. 13, p. 14-17.
- Mrazec, M.L., 1985- "Les plis diapirs et le diapirisme en general - Comptes rendus" - Institute Geologique de Romanie
- Parker, 1989- "Mc Graw Hill Dictionary of Scientific & Technical Terms"- 4<sup>th</sup> ed.- Mc Graw- Hill
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. & Tindle A.G., 1984- Trace element discriminant diagrams for tectonic interpretation of granitic rocks. J. Petrol., 25, 956-983.
- Pearce, J.A. & Cann, J.R., 1973- Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. Earth Planet. Sci. Lett., 19, 290-300
- Pollard, D.D., Delaney, P.T., Duffield, W.A., Endo, E.T. & Okamura, A.T., 1983- Surface deformation in volcanic rift zones. Tectonophysics, 94, 541-584.
- Ramberg, H., 1990- "Review of Experimental Diapirism Performed in the Uppsala Tectonic Laboratory"- Proceeding of Symposium on Diapirism- Vol.2
- Ramberg, H., 1967- Model experimentation of the effect of gravity on tectonic processes, The Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 14, 307-329.
- Reches, Z. & Fink, J.H., 1988- Mechanisms of intrusion of the Inyo Dike, Long Valley Caldera, eastern California. *Journal of Geophysical Research*, 92, 4321-4335.
- Shelly, D., 1993- "Igneous & Metamorphic Rocks Under the Microscope"- Chapman & Hall
- Villari, L., 1989- "Endogenous Dome"- The Encyclopedia of Igneous & Metamorphic Petrology"- Van Nostrand Reinhold
- Waard, D. De, 1989- "Diapirism"- The Encyclopedia of Igneous & Metamorphic Petrology"- Van Nostrand Reinhold
- Whyte, F., 1989- "Emplacement - Modes"- The Encyclopedia of Igneous & Metamorphic Petrology"- Van Nostrand Reinhold
- Whyte, F., 1989- "Intrusion"- The Encyclopedia of Igneous & Metamorphic Petrology"- Van Nostrand Reinhold
- Williams, H., 1932- "The History & Character of Volcanic Domes"- Univ. Calif. Publ. Bull. Dept. Geol. Sci.:21
- Wood, S.H., 1977- Distribution, correlation, and radiocarbon dating of late Holocene tephra, Mono and Inyo craters, eastern California. Geological Society of America Bulletin, 88, 89-95.

\* سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و پژوهشگاه علوم زمین

\*\* پژوهشگاه علوم زمین و پژوهش سرای دانش آموزشی نیشابور

\* Geological Survey of Iran & Research Institute for Earth Sciences

\*\* Research Institute of Earth Sciences & Neishabour Students Research House