مجله علوم دانشگاه تهران
جلد بیست و هشتم (۱۳۸۱) شماره ۱ (۱۷-۱)

پتروگرافی و ژئوشیمی آنکلاوهای فلوگوپیت ـ کلینوپیروکسنیت بعضی‌از گدازه‌های جوان ایران، مثال‌هایی از شبه جزیرهٔ سارای، قروه، دماوند و قلعه حسنعلی

حسین معین وزیری
گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت‌معلم، تهران، ایران.
(دریافت: ۷۹/۷/۳۰ ؛ پذیرش: ۸۰/۶/۳)

چکیده

در گدازه‌های بعضی از آتشفشانهای جوان ایران مانند شبه‌جزیرهٔ سارای (ساحل شرقی دریاچه ارومیه)، دماوند، قروه و قلعه حسنعلی راین، آنکلاوها یا بمب های پرتابی با ترکیب فلوگوپیت ـ کلینو پیروکسنیت یا فلوگوپیت ـ پریدوتیت یافت می شود که از لحاظ کانی شناسی و ترکیب شیمیائی با مجموعهٔ فنوکریستالی و ترکیب سنگ میزبان مشابهت چندانی ندارند. بعلاوه این آنکلاوهای تقریبا مشابه، در مراکز آتشفشانی مختلف و در گدازه‌هایی با ترکیبات و کانی شناسی متفاوت دیده می‌شوند. مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی عناصر اصلی آنکلاوها و گدازه‌های آنها نشان می‌دهدکه این آنکلاوها و بمب های اولترامافیک کومولا نمی باشند، بلکه احتمالا قطعاتی از گوشتهٔ متاسوماتیک هستند که توسط ماگما بالا آورده شده اند.

واژه‌های کلیدی: *آنکلاواولترامافیک، متاسوماتیسم‌گوشته‌ای، فلوگوپیت کلینوپیروکسنیت، فلوگوپیت پریدوتیت*

مقدمه

یکی از راههای مطالعهٔ زمین‌شناسی مناطق عمیق، مطالعهٔ آنکلاوها یـا گزنولیتهـای موجـود در گدازه‌های آن مناطق است. مطالعه آنکلاوهای موجود در بازالتها، نه تنها انـواع سـنگهای مسـیر بالا آمدن ماگمای بازالتی را معرفی می‌کند بلکه ممکنست ترکیب سنگ منشاء بازالت منطقه را نیز برای ما روشن سازد. در این مطالعه باید سعی شـود کـه کومـولا بـا آنکـلاو اشـتباه نشـود . تمیزآنکلاو از کومولا بر اساس مشخصات زیر انجام می‌گیرد:

- غالبا مرز کومولا با سنگ میزبان تدریجی است و ظـاهری لکـه ماننـد دارد، بنـابراین جـدا کردن کومولا از سنگ میزبان آسان نیست حال آنکه آنکلاوها معمولا دارای مرز متمایز با سنگ درونگیر هستند و غالبا با ضربهٔ چکش به آسانی از سنگ میزبان جدا می‌شوند. البته اگـر دمـای آنکلاو در ماگما به نقطه ذوب برسد و ماگما نیز به آرامی سرد بشود، ممکنست آنکلاو بـا سـنگ میزبان مرز تدریجی پیدا کرده، ظاهری شبیه‌به کومولا به خود بگیرد.

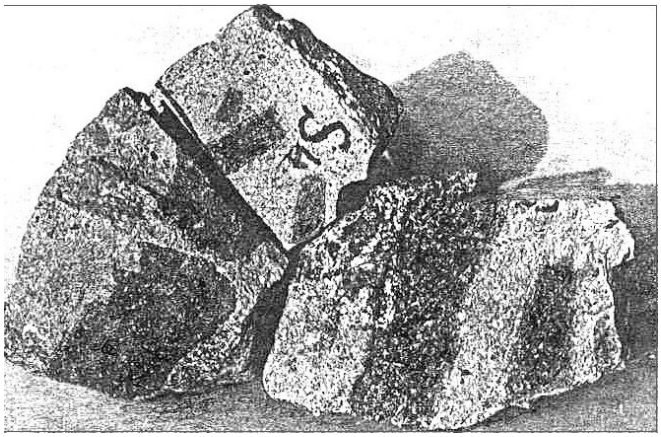
- آنکلاوها که قطعات شکستهٔ سنگهای ذوب نشدهٔ مسیر بالا آمدن ماگما می‌باشند، معمـولا گوشه‌دار هستند در حالیکه کومولاها غالبا شکلی کروی یا بیضوی دارند.

- کانیهای سازنده کومولا را بصورت فنوکریست، در سنگ میزبان می‌توان یافت در صورتیکه آنکلاو ممکن است ترکیب کانی‌شناسی متفاوتی با سنگ میزبان داشته باشد.

کانیهای سازندهٔ کومولا غالبا با ماگمای درونگیر خود در تعادل هستند حـال آنکـه کانیهـای آنکلاو ممکن است با ماگمای در برگیرندهٔ خود متعادل نباشند.

- ترکیب شیمیایی شیشهٔ بین بلوری آنکلاو با ترکیـب شـیمیایی سـنگ درونگیـر خـود(یـا مزوستاز سنگ درونگیر) ممکن است متفاوت باشد اما این تفاوت بین کومولا و سـنگ درونگیـر وجود ندارد و یا بسیار ناچیز است.

در این مقاله گزنولیتهای فلوگوپیـت ـ کلینـو پیروکسـنیت یافـت شـده در گـدازهای چنـد آتشفشان جوان ایران که ترکیب آلکالن نسبتا سدیک تا اولترا پتاسیک دارند معرفـی شـده و از نظر خصوصیات پتروگرافی و ترکیب عناصر اصلی با گدازهٔ در برگیرندهٔ آنها مقایسـهٔ مـی‌شـوند. تجزیه شیمیایی کانی‌ها و گدازه‌های آنها در دپارتمان زمین‌شناسی اورسای (پـاریس جنـوبی) و تجزیهٔ شیمیایی کانیهای آنکلاوها در دپارتمان زمین‌شناسی دانشگاه لیدز انگلستان انجام گرفته است.



شکل ۱ـ قطعات آنکلاو فلوگوپیت ـ کلینو پیروکسنیت، در بازانیتهای آتشفشان سارای.

پتروگرافی آنکلاوها و سنگهای میزبان

شبه جزیرهٔ سارای: این آتشفشان در ساحل شرقی دریاچهٔ ارومیه قرار دارد وگدازه‌های آن به سن میوسن بالائی ـ پلیوسن(۷/۸ میلیون سال ـ معین وزیری ۱۹۸۵) شامل : لوسیت ـ بازانیت، لوسیت ـ تفریت، لوسیت فنولیت و تراکیت هستند. فنوکریست ها و میکروکریست‌های کلینوپیروکسن (دیوپسید ـ سالیت) و لوسیت بخش مهمی از سنگهای فلد سپاتوئیددار این آتشفشان را می‌سازند (معین وزیری و همکاران، ۱۹۹۱). آپاتیت و ماگنتیت نیز به مقدار کم در تمام این گدازه‌ها یافت می‌شود (شکل ۲- a). مزوستاز این سنگها شیشه‌ای یا کریپتوکریستال بوده گاهی۳۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می‌دهد. جز در گدازهٔ محتوی آنکلاو و بعضی از تراکیتهای این آتشفشان که فنوکریست های فلوگوپیت و بیوتیت دیده شده، در سایر گدازه‌ها کانی آبدار مشاهده نمی‌گردد. این سنگها غالبا حفره دار هستند و حفره‌ها را زئولیت پرکرده است. فعالیت آتشفشانی سارای غالبا بصورت انفجاری بوده و چون در سنگهای این آتشفشان کانیهای آبدار نایاب یا کمیاب هستند لذا بنظر می‌رسد که گاز کربنیک بمراتب بیشتر از آب در ایجاد انفجارات دخالت داشته باشد. آنکلاو یافت شده دریکی از گدازه‌های این آتشفشان (شکل۱)، فلوگوپیت ـ کلینوپیروکسنیت است. این سنگ ازبلورهای درشت کلینوپیروکسن، فلوگوپیت، آپاتیت، بلورهای‌کوچک اولیوین و ندرتاپارگازیت در خمیره‌ای متشکل از فلد سپات و زئولیت ساخته شده است (شکل۲ـ b).

دماوند: گدازه‌ای که در دماوند دارای آنکلاو اولترامافیک است یک تراکیت آلکالن جوان (احتمالاًمتعلق به۳۸۰۰۰ سال قبل ـ آلنباخ، ۱۹۶۶) می‌باشد که از فنوکریستالهای آنورتوز،

کلینوپیروکسن، فلوگوپیت، مقدارکمی ارتوپیروکسن، تیتانوماگنتیت و خمیره‌ای میکرولیتی با مزوستازی شیشه‌ای ساخته شده است (شکل۳ــ a). آنکلاو یافت شده دراین تراکیت یک فلوگوپیت ـ کلینوپیروکسنیت است (شکل۳ – b) که حاوی آپاتیت نیز می‌باشد.

قروه: در مشرق قروهٔ کردستان، در شمال شرق روستای قزلجه کند، گدازه‌های بازانیتی کواترنر(۰/۷ میلیون سال ـ معین وزیری و امین سبحانی، ۱۳۶۳). در چند نقطه فوران حاصل کرده‌اند. این بازانیتها بسیار پر حفره بوده از میکرو فنوکریستالهای کلینوپیروکسن و مختصری فلوگوپیت در خمیره‌ای متشکل از میکرولیتهای کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز و مزوستازی شیشه‌ای ساخته شده‌اند (شکل ۴ – a). در این بازانیتها، فلوگوپیت بیشتر در اطراف آنکلاوها دیده می‌شود و بنظر می‌رسد که از آنکلاوها آزاد شده باشد. آنکلاوهای موجود در این بازانیتها چهار نوع هستند شامل:

فلوگوپیت ـ دیوپسید ـ پریدوتیت تا فلوگوپیت ـ اولیوین ـ پیروکسنیت(شکل‌های۴ـb و ۵ ـ a)

فلوگوپیت ـ اسفن ـ دیوپسید ـ فنولیت (شکل۵ ـb).

پلاژیوکلاز ـ هورنبلندیت.

گنیس متخلخل.

ترکیب کانی‌شناسی هیچیک از آنکلاوهای بازانیتهای قزلجه کند با ترکیب فنوکریستالی سنگ میزبان مشابهتی ندارد.

نوع اول آنکلاوهای قروه خود بر دو نوع است: در بعضی اولیوین‌ها درشت و تقریبا سالم مانده‌اند (فلوگوپیت ـ دیوپسید ـ پریدوتیت) و در برخی دیگر فلوگوپیت جای اولیوین را گرفته است (فلوگوپیت ـ کلینو پیروکسنیت). در فلوگوپیت ـ دیوپسید ـ پریدوتیت، فنوکریستالهای درشت اولیوین در خمیره‌ای متشکل از میکروفنوکریستالهای فلوگوپیت و دیوپسید قرار دارند. میکروفنوکریستالهای خمیره نیز توسط بلوردرشت فلوگوپیت با ساخت غربالی در برگرفته شده‌اند. در این آنکلاوها مختصری شیشه به رنگ قهوه‌ای نیز دیده می‌شود.

در نوع دوم آنکلاوهای قروه (فلوگوپیت ـ دیوپسید ـ اسفن ـ فنولیت) بلورهای درشت اسفن اتومورف، فلوگوپیت ساب اتومورف، همراه با میکروفنوکریستالهای کلینوپیروکسن در خمیره‌ای متشکل از بلورهای گزنومورف آنورتوز، سانیدین و پلاژیوکلاز (An = 10,5) قرار دارند (شکل۵ ـ b).

نوع سوم آنکلاوهای موجود در بازانیتهای قزلجه کند آمفیبولیت می‌باشد که از هورنبلند قهوه‌ای و پلاژیوکلاز ساخته شده است. هورنبلند بعلت تحمل دمای زیاد در ماگمای میزبان، به هورنبلند قهوه‌ای مبدل گشته است. یک حالت دوگانگی ترکیبی در پلاژیوکلازهای این آنکلاو

نیز دیده می‌شود که با قوانین تبلور بخشی یا ذوب بخشی پلاژیوکلازها مطابقت کامل ندارد؛ بدین ترتیب که پلاژیوکلازها شامل دو بخش هستند: بخش حاشیه‌ای دارای ترکیب آندزین (An = 33%) و بخش مرکزی که با آندزین ساخت سمپلکتیک (symplectic structure) دارد، دارای ترکیب آنورتیت (An = 98,5) می باشد . با توجه به نمودار سیستم دو تائی Ab – An یک مذاب دارای ترکیب An =33 با یک جامد دارای ترکیب An = 98، در هیچ شرایطی متعادل نیست. بنابراین احتمال دارد دمای بالای ماگمای میزبان موجب آزاد شدن مقداری آلبیت از هورنبلند نیز شده باشد. بنظر می رسد این آنکلاو قطعه‌ای از یک آمفیبولیت درمسیر صعود ماگما بوده که توسط ماگمای بازالتی بالا آورده شده باشد.

نوع چهارم آنکلاوهای موجود دربازانیت قزلجه کند قطعات گرد شده و متخلخل گنیس است. این سنگ بعلت دمای بالای بازالت، متحمل ذوب بخشی شده و مذاب او تکتیک از گنیس خارج شده است. ترکیب آنکلاوهای گنیسی معادل گرانودیوریت می‌باشد (معین‌وزیری، ۱۹۸۵).

قلعه حسنعلی : در اطراف روستای قلعه حسنعلی (۱۲۰ کیلومتری جنوب شرق کرمان) حدود ۱۴ کراتر آتشفشانی بصورت مآر (maar) در کواترنر بوجود آمده‌اند که یکی ازآنها بمب های اولترامافیک به بیرون پرتاب کرده‌است (Milton, 1977 ; شیشه‌بر ۱۳۷۲). این بمبها بعد از یک انفجار فره آتوماگماتیک(phréatomagmatique) به بیرون پرتاب شده‌اند و دارای دو نوع ساخت یکی گرانولر با مختصری شیشهٔ بین بلوری، و دیگری پورفیریک میکرولیتیک هستند. در هر دو ساخت، حفره فراوان است.

در نوع اول بمب‌ها، بلورهای درشت فلوگوپیت، هم بصورت اتومورف وهم گزنومورف، کلینوپیروکسن بصورت اتومورف و اولیوین بصورت گزنومورف همراه با مقدار کمی آپاتیت، آنالسیم و ماگنتیت دیده می‌شود (شکل ۶- a). در این سنگ مختصری شیشه نیز وجود دارد.

در نوع دوم بمب‌های اولترامافیک، فنوکریست های کلینوپیروکسن، در خمیره ای متشکل از میکروفنوکریستالهای فلوگوپیت، میکرولیتهای کلینوپیروکسن و آپاتیت، همراه با مزوستازی شیشه‌ای، پراکنده هستند(شکل۶-b).

دربمب‌های قلعه حسنعلی، بعضی‌از بلورهای اولیوین گزنوکریست هستند و دارای منشاء گوشته‌ای می‌باشند زیرا در ترکیب آنها فورستریت درحدود ۹۰ درصد بوده و نیز تغییر شکل مکانیکی گوشته‌ای را هنوز درخود نگهداشته‌اند. بعضی‌از بلورهای کلینوپیروکسن دارای هسته‌ای سبز (سدیک) و حاشیه‌ای بی‌رنگ هستند، در حالیکه بعضی دیگر بی رنگ و یکنواخت

می‌باشند (شکل۶-a). این شواهد می‌تواند نشانه‌ای از اختلاط دو ماگمای در حال تبلور (نیمه مذاب) باشد (شیشه بر، ۱۳۷۲).

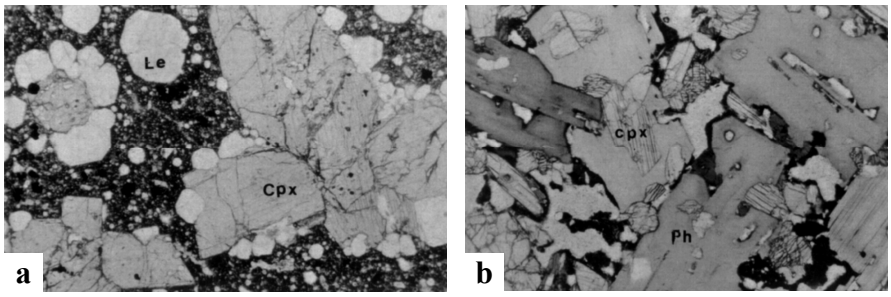
درقلعه حسنعلی، علاوه بر بمب‌های اولترامافیک، قطعات گابرو، دیوریت، سینیت آلکالن تحت اشباع از سیلیس، گرانیت آلکالن، گرانیت کالکو آلکالن و اسکارن نیز به بیرون پرتاب شده‌اند. بنظر نمی‌رسد که آنکلاوهای سینیت آلکالن و گرانیت آلکالن بالا آورده شده محصولات تفریق ماگمای اولتراپتاسیک و یا نتیجهٔ متاسوماتیسم باشند بلکه باحتمال زیاد قطعاتی جدا شده از توده‌های سینیت و گرانیت قدیمی‌تر مسیر صعود ماگمای اولتراپتاسیک هستند.

درجدول۱، انواع فنوکریست‌های سنگ میزبان با کانیهای سازندهٔ آنکلاوها و بمب‌های اولترامافیک قلعه حسنعلی مقایسه شده است.

جدول۱- مقایسه ترکیب فنوکریستالی گدازه‌ها با ترکیب کانی‌شناسی آنکلاو ها و بمب‌های اولترامافیک قلعه حسنعلی.

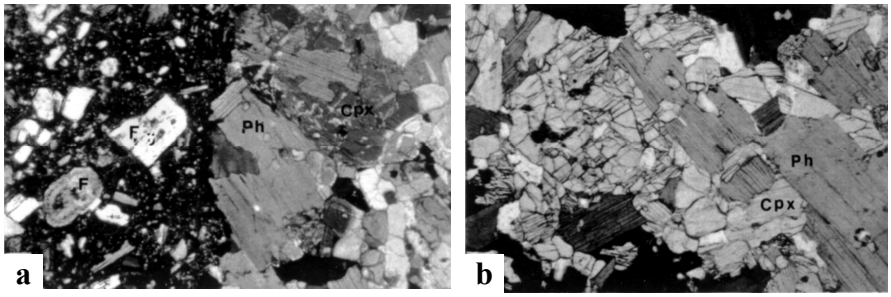
علامت (-) نشانهٔ عدم وجود؛ علامت (+) و تعداد علامات نشانهٔ وجود و فراوانی فنوکریست‌است.

فنوکریستالها	سنگهای میزبان			آنکلاوهای اولترامافیک			قلعه حسنعلی
	سارای	*قروه*	*دماوند*	*سارای*	*قروه*	*دماوند*	
اولیوین	+	+	−	+	++++	−	++
کلینوپیروکسن	+++	++	++	++++	+++	++	++++
فلوگوپیت	+	+	+	++++	++	+++	+++
ارتوپیروکسن	−	−	+	−	−	−	+
آمفیبول	−	−	+	+	−	−	−
لوسیت	+++	−	−	−	−	−	−
آپاتیت	+	−	++	++	+	++	+
اسفن	−	−	−	−	−	+++	−
پلاژیوکلاز	−	−	+	−	−	+	−
فلدسپات آلکالن	−	−	++	−	−	++	±
ماگنتیت	−	−	+	−	−	−	+
شیشه	+	+	+	−	+	−	+

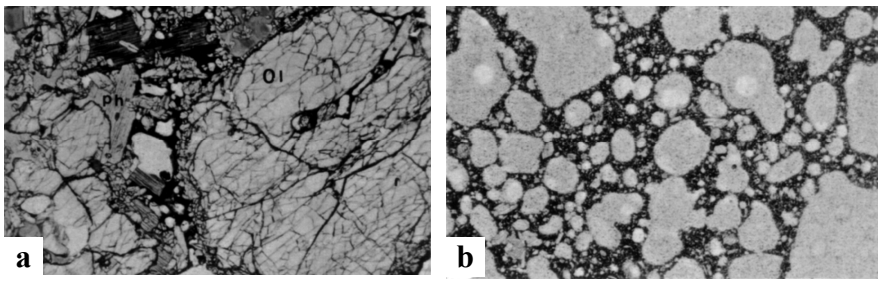


شکل۲ ـ مقطع میکروسکپی گدازه (a) و آنکلاو (b) متعلق بـه آتشفشـان سـارای (بزرگنمـایی ۲۵ برابر).

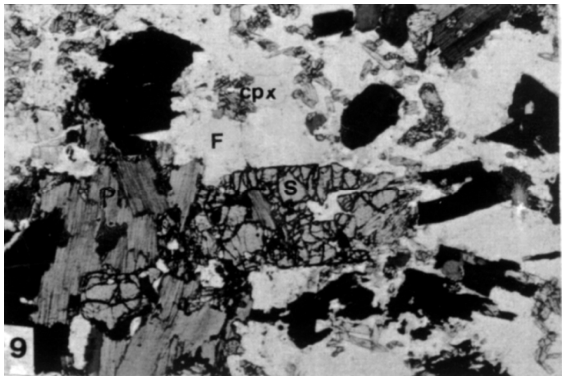
cpx = کلینوپیروکسن : ph = فلوگوپیت : le = لوسیت.



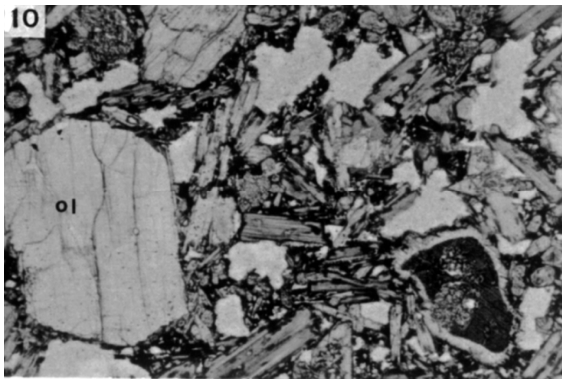
شکل۳ ـ مقطع میکروسکپی گدازه (a) و آنکلاو (b) متعلق به آتشفشان دماوند (بزرگنمایی ۲۵ برابر). F = فلدسپات، سایر علامات مانند شکل ۲ هستند.

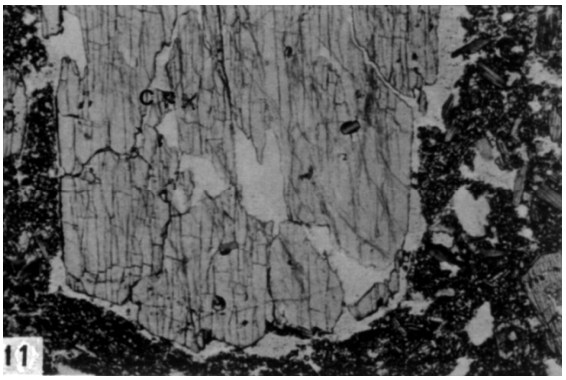


شکل۴ ـ مقطع میکروسـکپی گـدازه (a) و آنکـلاو فلوگوپیـت – کلینوپیروکسـن – پریـدوتیت (b) آتشفشان قزلجه کند. ol = اولیوین؛ cpx = کلینوپیروکسن؛ ph = فلوگوپیت؛ v = حفره.



شکل۵ ـ مقطع میکروسکپی فلوگوپیت ـ کلینوپیروکسن ـ فنولیت قروه، (بزرگنمایی ۲۵ برابر). s= اسفن، سایر علامات، مانند علامات شکل‌های قبل می‌باشند.





شکل ۶ـ مقطع میکروسکپی دو نمونه از بمب های اولترامافیک قلعه حسنعلی در شکل بالا و در سمت راست یک بلور کلینوپیروکسن سبز (سدیم دار) و در بالای عکس یک بلور بی رنگ کلینوپیروکسن دیده می‌شود.
Ol = اولیوین؛
ph = فلوگوپیت؛
cpx = کلینوپیروکسن
(بزرگنمایی۲۵ برابر).

طبیعت شیمیایی آنکلاوها و سنگ های میزبان

بطورکلی ماگماهای در برگیرندۀ آنکلاوهای فلوگوپیت ـ کلینو پیروکسنیت از سری آلکالن بوده، بعضی اولتراپتاسیک، پاره‌ای پتاسیک و برخی متمایل به سدیک هستند (جدول۲).

گدازه‌های آتشفشان سارای اولتراپتاسیک تا غنی‌از پتاسیم هستند. مقدار متوسط سیلیس در لوسیت بازانیت‌ها ۴۵ درصد، متوسط نسبت K_2O/Na_2O، ۳/۶ و نسبت مولکولی $Mg \times 100/(Mg+Fe)$ برابر ۶۰ است(جدول۲). در آنکلاوهای یافت شده درگدازهای این آتشفشان درصد سیلیس ۴۳/۶ و نسبتهای K_2O / Na_2O و $Mg\times100/(Mg+Fe)$ به ترتیب برابر با ½ و ۸۴ می‌باشد (جدول۲).

گدازه‌ای که در دماوند آنکلاوها را در برگرفته یک تراکیت تفریق یافته است با مشخصات: $K_2O/Na_2O=0.9$ و % $SiO_2=61.5$ و $Mg\times100/(Mg+Fe)=52$. در فلوگوپیت ـ کلینوپیروکسنیت موجود درایزن‌گدازه $SiO_2=45.15$، $K_2O/Na_2O=3.2$ و $Mg\times100/(Mg+Fe)=82$ است (جدول۲). در آنکلاوهای اولترامافیک موجود در این بازانیت درصد سیلیس برابر با ۴۳/۲۸ و نسبتهایK_2O/Na_2O و$Mg \times 100/(Mg+Fe)$ به ترتیب ۲/۴۴ و ۸۵ است (جدول۲).

در بمبهای اولترامافیک قلعه حسنعلی، متوسط درصد سیلیس ۴۵/۵ درصد، متوسط نسبت K_2O/Na_2O حدود ۲/۳ و نسبت $Mg \times 100/(Mg+Fe)$ برابر با ۷۴ می‌باشد(جدول۲).

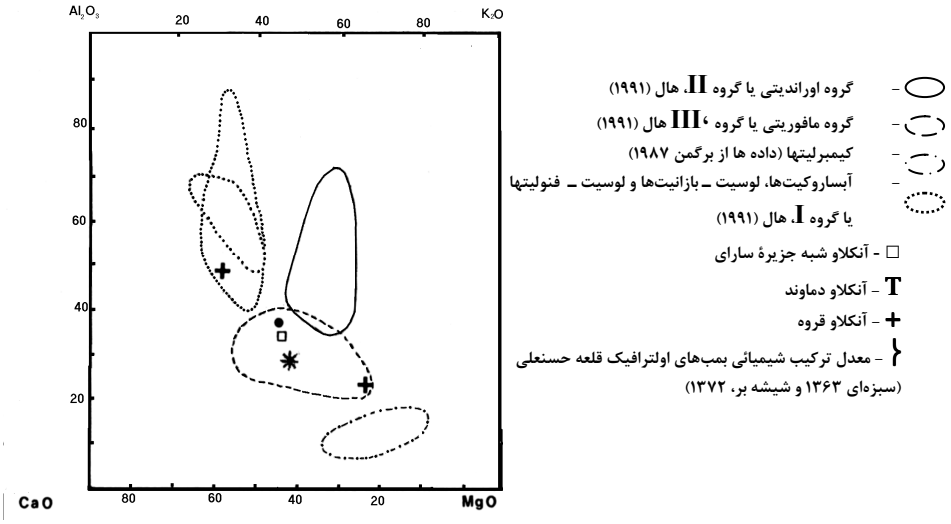
بطوریکه از جدول ۲ استنباط می‌شود آنکلاوهای سارای، دماوند، قروه و بمب‌های اولترامافیک قلعه حسنعلی از لحاظ مقادیرسیلیس، $FeO+Fe_2O_3,Al_2O_3$ و مقدار بالای MgO و نیز نسبتهایK_2O/Na_2O و $Mg \times 100/(Mg+Fe)$ با هم شباهت دارند، در حالیکه سنگهای میزبان آنها ازلحاظ شیمیایی و ترکیب کانی‌شناسی نرماتیو با هم و با آنکلاوهای خود تفاوت فاحش نشان می‌دهند. بعنوان مثال گدازه‌های بازانیتی قروه تقریبا سدیک هستند ($K_2O/Na_2O=0/43$) درحالیکه آنکلاوهای موجود در آنهابسیار غنی‌از پتاسیم ($K_2O/Na_2=2/4$) می‌باشند، یا اینکه نسبت K_2O/Na_2O در گدازه‌های دماوند(۰/۹)به مراتب کوچکتر از این نسبت در آنکلاوهای اولترامافیک دماوند(۳/۲)است در حالیکه مقدار این نسبت هم در لوسیت ـ بازانیتهای شبه جزیرۀ سارای و هم در آنکلاوهای آن بالا است (جدول۲).

جدول ۲- نتایج تجزیهٔ شیمیایی و کانیهای نورماتیو گدازه‌ها و آنکلاوهای آنها و مقایسهٔ با بمبهای قلعه حسنعلی

	گدازه‌های میزبان			آنکلاوها و بمب‌های اولترامافیک						
	سارای	دماوند	قروه	سارای	دماوند	قروه				قلعه حسنعلی
	لوسیت بازانیت	تراکیت	آنالسیم بازانیت	فلوگوپیت – پیروکسنیت	فلوگوپیت– پیروکسنیت	فلوگوپیت– پیروکسنیت	فلوگوپیت–اسفن دیوپسید– فئولیت	آمفیبولیت	گنیس	فلوگوپیت– کلینوپیروکسنیت
SiO_2	٤٤/٩٥	٦١/٥١	٤٥/٦٠	٤٣/٦٢	٤٥/١٥	٤٣/٢٨	٤٨/١٦	٥٣/١١	٧٠/١٢	٤٥/٥
TiO_2	٠/٩٨	٠/٩٥	١/٠٩	٢/١٠	٢/٠٩	١/٣٢	١/٥٢	٠/٤٤	٠/٢٦	١/٤٢
Al_2O_3	١١/٠٢	١٤/٩٠	١٤/٩٢	١٠/٤٣	٧/٦٠	٦/٤٩	١٣/٩٦	١٥/٦٣	١٦/٠٢	١١/٥٦
Fe_2O_3	٥/٤٧	١/٩٠	٢/٥٩	٤/١٥	٤/٢٦	٣/٩٨	٣/٨٠	٧/٨٨	٠/٢٣	٣/٧٧
FeO	٣/٤٦	٣/١٠	٤/٩٨	٣/٤٣	٤/١٤	٥/٠٤	٣/٧٥	٠/٨٥	١/١٥	٤/٩٥
MnO	٠/٢٧	٠/٠٦	–	٠/٠٩	٠/١٢	٠/١١	٠/١٤	٠/٠٢	٠/٠٣	٠/١٢
MgO	٨/٦٢	٢/٤٨	٧/٦٢	١٥/٦٦	١٥/٩٥	٢٦/٧٧	٧/٦٧	٤٨٧	٠/٥٨	١١/٨٤
CaO	١١/٨٦	٣/٦٤	١٤/٠١	١٢/٣٢	١٣/٧٢	٧/٥٨	١١/٣٦	٩/٦٦	٢/٦٠	١٣/٠١
Na_2O	١/٥٣	٤/٨١	٣٤/١	١/٨٨	١/١٠	١/٠٤	٣/٧٣	٣/٥٤	٥/٢٠	١/٧٨
K_2O	٥/٥٨	٤/٣٣	١/٧٨	٣/٩٣	٣/٥٤	٢/٥٤	٣/٢٤	٠/٦٩	٢/٣٣	٤/١٣
P_2O_5	١/٧١	٠/٥١	٠/٥٠	٠/٦٨	٠/٩٨	٠/٤٣	١/٣٥	٠/١٦	٠/٠٩	١/٣٤
کوارتز	–	٧/٤٤	–	–	–	–	–	٣/٤٢	٢٥/٥٤	–
ارتوز	٢١/٤٠	٢٥/٥٧	١٠/٥٦	–	٦/٣٢	٩/٦٤	١٩/٤٠	٣/٨٩	١٣/٩٩	–
آلبیت	–	٤٠/٨٧	١/٣٦	–	–	–	١٢/٨٠	٢٩/٨٧	٤٣/١٣	–
آنورتیت	٦/٦٩	٦/١١	١٦/٦٨	٨/٣٤	٥/٤٢	٥/٦٢	١١/٩٤	٢٤/٧٤	١٢/٥٠	١١/١٢
نفلین	٧/١٠	–	١٨/٣٠	٨/٥٢	٥/١١	٤/٨٤	١٠/٣٩	–	–	٨/٢٣
لوسیت	٨/٩٤	–	–	١٣/٩٥	١١/٦٨	٤/٣٩	–	–	–	١٣/٠٨
کالسی لیت	–	–	–	٣/١٦	–	–	–	–	–	٤/٤٢
کلینوپیروکسن	٣٢/٦٣	٧/١٥	٣٩/٤١	٣٧/٨٠	٤٤/٥٥	٢٣/٢٥	٢٨/٤٤	١٧/٢٨	–	٣٦/١٢
ارتوپیروکسن	–	٥/٤٨	–	–	–	–	–	١٠/٧٠	٣/٠٤	–
اولیوین	٤/٧٦	–	٣/٨٥	١٥/١٢	١٤/٣٤	٤٢/٨٧	٥/٣٥	–	–	١١/٧٣
ماگنیتیت	٧/٨٩	٢/٧٨	٣/٧١	٥/٣٣	٦/٢٦	٥/٨٥	٥/٥٨	٠/٣٩	٠/٣٤	٥/٣٣
ایلمنیت	١/٨٢	١/٨٢	٢/١٣	٣/٩٥	٤/٠٢	٢/٥٤	٢/٩٢	٠/٥٠	٠/٥٠	٢/٧٣
آپاتیت	٤ /٠٣	١/٣٤	١/٣٣	١/٦٨	٢/٣٥	١/٠٣	٣/٢٤	٠/٣٣	٠/٢٢	٣/٠٢
هماتیت	–	–	–	٠/٤٨	–	–	–	٦/٨٨	–	–
K_2O/Na_2O	٣/٦	٠/٩	٠/٤٣	٢ /١	٣/٢	٢/٤٤	٠/٨٦	–	–	٢/٣٢
$\frac{100Mg}{(Mg+Fe)}$	٦٠	٥٢	٦٨	٨٤/٥	٨٢	٨٥/٧	٧٠	–	–	٧٤

درنمودار چهارگوش $MgO–Al_2O_3–CaO–K_2O$ (شکل ۷)، میدانهای ترکیبی سنگهای اولتراپتاسیک و کیمبرلیتهای جهان با ترکیب شیمیایی بمب‌های اولترامافیک قلعه حسنعلی و آنکلاوهای سارای، قروه و دماوند مقایسه شده‌اند. در این نمودار نمونه‌های فلوگوپیت ـ کلینوپیروکسنیت سارای، قروه، دماوند و قلعه حسنعلی جزو گروه**III** هال (۱۹۹۱) یاگروه مافوریتی (mafurite) یا گروه کامافوژیتی (kamafugite) ساهاما (۱۹۷۴) و نمونهٔ فلوگوپیت ـ اسفن ـ دیوپسید ـ فنولیت قروه در گروه**I** هال (آبساروکیت، شوشونیت و لوسیت ـ بازانیت) قرار می‌گیرد.

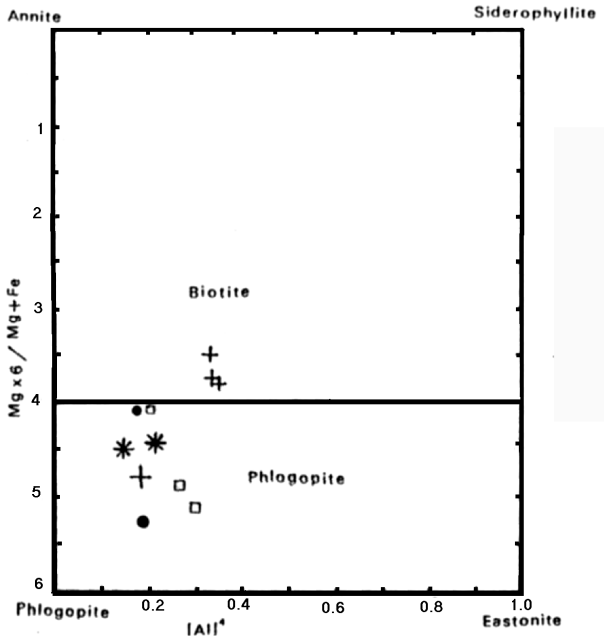
گدازه‌های دربر گیرنده این آنکلاوها هریک دارای طبیعت شیمیایی خاص خود هستند. مثلاً در این نمودار، لوسیت بازانیت سارای و تراکیت فوق اشباع از سیلیس دماوند جزو گروه اول هال (۱۹۹۱) یا گروه سوم فولی قرار می‌گیرد(Foley *et al*., 1987). بازانیتهای قروه بعلت داشتن گرایش سدیک، جائی در این دسته‌بندی ندارند و در مقابل آنکلاوهای اولترامافیک غنی‌از پتاسیم موجود در آنها جزو گروه مافوریتی و حتی نزدیک به کیمبرلیتهای میکادار قرار گرفته‌اند.



شکل۷ ـ مقایسهٔ ترکیب‌شیمیایی سنگهای اولتراپتاسیک و کیمبرلیتهای جهان با آنکلاوها و بمب‌های قلعه حسنعلی.

ترکیب شیمیایی کانیهای اصلی اولترامافیک‌ها

فلوگوپیت: میکاهای آنکلاوها عموماً فلوگوپیت می‌باشند و فقط دریکی ازآنها حاشیه بلور فلوگوپیت به بیوتیت غنی‌از منیزیم تحول پیدا کرده‌است(شکل۱۳). بطورکلی مراکز تمام بلورهای فلوگوپیت از منیزیم غنی و حاشیهٔآن آهن بیشتری دارد. جدول۳ نشان می‌دهدکه بلورهای فلوگوپیت ازلحاظ TiO_2 غنی هستند و جز فلوگوپیتهای دماوند، بقیه دارای زوناسیون شدید می‌باشند. لازم به یادآوری‌است که زوناسیون شدید فلوگوپیت خاص لامپروفیرهااست(Rock, 1991).

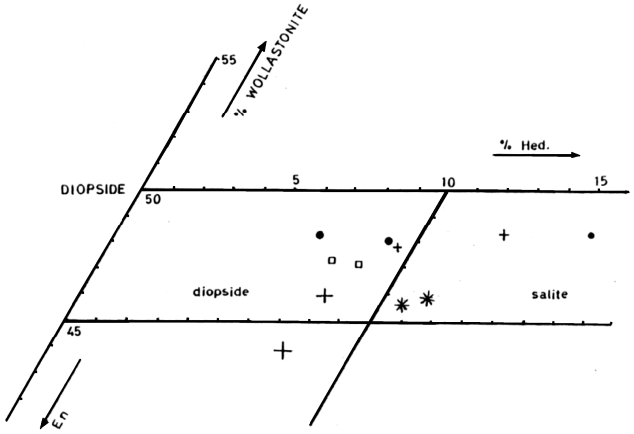


شکل۸ ـ محل فلوگوپیت سنگهای اولترامافیک در نمودار چهارگوش آنیت ـ سیدروفیلیت ـ فلوگوپیت ـ استونیت (Deer *et al.*, 1969). علامات همان‌است که در شکل ۷ معرفی شده‌اند.

جدول ۳ ـ تغییرات درصد وزنی بعضی از عناصر سازندهٔ فلوگوپیت در اولترامافیک ها. تجزیه ها در دپارتمان زمین‌شناسی دانشگاه لیدز و به کمک میکروپروب انجام گرفته اند.

	$\%MgO$		$\%FeO$		$\%TiO$		$\%F$		$\frac{Mg\times100}{Mg+Fe}$	
	مرکز بلور	حاشیه بلور	مرکز بلور	حاشیه بلور	مرکز بلور	حاشیه بلور	مرکز بلور	حاشیه بلور	مرکز بلور	حاشیه بلور
سارای	۲۰/۵۵	۱۵/۷۹	۸/۱۶	۱۳/۳۶	۳/۹۶	۳/۶۵	۰/۶۷	۰/۵۲	۸۴	۶۸
قروه	۱۹/۲۷	۱۳/۵	۶/۵۳	۱۷/۱۸	۲/۹۴	۲/۳۰	۰/۵	۰/۴۱	۸۰	۷۴
دماوند	۱۷/۸۳	۱۶/۹۳	۱۰/۳۸	۱۰/۵۹	۴/۸۴	۴/۷۰	۰/۴۳	۰/۴۷	۷۵	۷۴
قلعه‌حسنعلی	۲۲/۱۷	۱۶/۷۵	۵/۳۶	۱۲/۸۸	۲/۷۷	۳/۱۹	۰/۷۷	۰/۳۹	۸۸	۶۹

کلینوپیروکسن: کلینوپیروکسن‌ها بعنوان یکی‌از سازنده های آنکلاوها و بمب های قلعه حسنعلی دارای ترکیب دیوپسید ـ سالیت هستند (شکل ۱۴). در این کانی زوناسیون واضح و مشخص دیده نمی‌شود. در همه اولترامافیکها کلینوپیروکسن ها فقیر از Al_2O_3 (۱/۳۴ تا ۳/۶۱ درصد)، TiO_2 (۰/۳۵ تا ۰/۹۸ درصد) و Cr_2O_3 (۰/۰۳ تا ۰/۱۸ درصد) هستند. درصد ژادئیت درکلینوپیروکسن ها از ۲/۵ تا ۶ درصد تغییر می‌کند. لازم به یادآوری است که درصد ژادئیت درکلینوپیروکسن های گدازه‌های میزبان آنها بین ۲ تا ۳/۶ است.



شکل ۹- ترکیب کلینوپیروکسن سنگها ی اولترامافیک درنمودار هس و پولدروارت(۱۹۶۹) در دیر و همکاران (۱۹۶۹). علامت‌ها همان علامت‌های شکل ۷ هستند.

اولیوین: جز در آنکلاوهای دماوند، در سایر اولترامافیکها اولیوین بصورت ناپایدار و در حال تبدیل به فلوگوپیت دیده می‌شود. درصد فورستریت بلورهای اولیوین از ۹۱ درصد تا ۸۲ درصد

در تغییر است (جدول ۴). ساخت غربالی (پوئی کیلیتیک) بعضی از فلوگوپیتها وانکلوزیو نهای اولیوین موجود در آنها از واکنش زیر حکایت می‌کند:

بخار+ کلینو پیروکسن+ فلوگوپیت ⟶ مایع + اولیوین

کار مایکل، بارتون و هامیلتون و مارسلو و رانسون نیزچنین واکنشی‌راپیشنهادکرده‌اند (Carmichael, 1967; Barton & Hamilton, 1979; Marcelo and Rancon,1988) .

جدول ۴ ـ تغییرات درصد فورستریت در سنگهای اولترامافیک و گدازه‌های در برگیرندهٔ آنها

	درصد فورستریت در ا لیوین گدازه‌ها	درصد فورستریت در سنگهای اولترامافیک
سارای	در سنگ میزبان اولیوین دیده نشد	Fo=۸۵
قروه	Fo=۸۷-۸۲	Fo=۸۷-۸۳
دماوند	در سنگ میزبان اولیوین دیده نشد	اولیوین دیده نشد
قلعه حسنعلی	Fo=۹۱	

بحث پتروژنتیک

حضور آنکلاوهای فلوگوپیت ـ کلینوپیروکسنیت یا فلوگوپیت ـ کلینوپیروکسن ـ پریدوتیت در ماگماهای آلکالن چند نقطه از ایران سه حدس و گمان بوجود می آورد:

۱. آیا این سنگها لامپروفیر هستند؟
۲. آیا این آنکلاوها کومولا بوده و از طریق سگرگاسیون فنوکریستالهای ماگمای میزبان بوجود آمده اند؟
۳. و یا اینکه قطعاتی از یک گوشتهٔ متاسوماتیک می‌باشند؟

براساس نظر روک (۱۹۸۷) لامپروفیرها سنگهای پتاسیک تا اولتراپتاسیک غنی از H_2OوCO_2 با بافت پرفیریک شامل بلورهای درشت کانیهای مافیک و یک خمیرهٔ دانه ریز می باشند. فنوکریست ها (بخصوص فلوگوپیت) زوناسیون شدید نشان می دهند. مقدار TiO_2 در فلوگوپیت بیش از ۸ درصد و در کلینوپیروکسن و آمفیبول، بالای ۵ درصد است. پیروکسن ها غالبا بیش از ۱۰ درصد آلومین در ساختمان خود دارند. حداکثر مقدار فلوئور در فلوگوپیت لامپروفیرها ۵/۷ درصد می‌باشد. در لامپروفیر بلورهای سولفاتهای باریم، استرانسیم و کلسیم نیز ممکنست دیده شوند. همچنین پاراژنزهای عجیب مانند: فورستریت ـ آلبیب، دیوپسید ـ ارتوز یا فلوگوپیت ـ اژیرین خاص لامپروفیرها است.

همراهی آنکلاوهای سارای، قروه، دماوند و بمب‌های قلعه حسنعلی با بازانیت، تفریت، فنولیت، تراکیت آلکالن (یا سی ینیت آلکالن) این فکر را تلقین می‌کند که شاید این سنگها از تفریق یک آلکالی لامپروفیر (Sanaite) بوجود آمده باشند. اما مقادیر نسبتاًکم تا بسیارکمTiO_2 در فلوگوپیت (۲/۳ تا۴/۸٪) و کلینوپیروکسن آنکلاوها (۰/۱ تا ۱ درصد)، درصد بسیار پایین Al_2O_3 در کلینوپیروکسن‌ها (۱/۳۴ تا ۳/۶۱٪) و مقادیر بسیار ناچیز فلوئور در فلوگوپیت‌ها (۰/۴ تا ۰/۷ درصد) مانع ازآن است که این سنگها را جزو لامپروفیرها بحساب آوریم.

تصور منشاء کومولائی برای آنکلاوها نیز به دلایل زیر ضعیف است زیرا:

۱ - در بعضی از آنکلاوهاکانی هایی وجود دارند که در گدازه میزبان و یا گدازه‌های بازیک تر منطقه دیده نمی شود (جدول ۱). مثلا در اغلب لوسیت بازانیتهای شبه جزیره سارای، فلوگوپیت وجود ندارد و در هیچیک از گدازه‌ها آمفیبول مشاهده نشده حال آنکه در آنکلاوهای سارای فلوگوپیت فراوان است و یک بلور پارگازیت نیز دیده شده است . در گدازه‌های دماوند فنوکریستالهای پلاژیوکلاز، آنورتوز، ارتوپیروکسن و کرسوتیت وجود دارند، در حالیکه آنکلاوها فاقد این کانیها می باشند.

۲ - درصد ژادئیت در کلینوپیروکسن اولترامافیکها (۳/۵ تا ۶ درصد) بیشتر از فنوکریستالهای کلینوپیروکسن سنگهای میزبان (۲ تا ۳/۶ درصد) است.

۳ - آنکلاوها که از لحاظ ترکیب کانی شناسی تقریبا مشابه بوده و هیپریتاسیک می باشند، در ماگماهائی قرار دارند که از نظر نسبت K_2O/Na_2O بسیار متفاوت هستند (۹/۴۳، ۰/۰ و ۳/۶) .

۴ - نسبت بالای$Mg \times 100./(Mg + Fe)$ در بازانیت قروه (۶۸) نشان‌دهنده عدم تبلور و تفریق اولیوین دراین ماگماست، بنابراین منطقی نیست قبول کنیم‌که کومولای (اولیوین + کلینوپیروکسن) دراین ماگماها بوجود آمده و اولیوین دراثر واکنش به فلوگوپیت تبدیل شده‌باشد.

با توجه به مطالب فوق و با این تصّورکه منشاء ماگماهای آلکالن پتاسیک، گوشتهٔ دگرسان شده با ترکیب فلوگوپیت ـ پیروکسنیت است (Wass, 1980; Edgar,1980; Lloyd, 1981; Arima & Edgar, 1983; Rock, 1986; Foley,1987; Bailey, 1987; Parker, 1989; Wilson, 1989; Hall, 1991). احتمال اینکه این آنکلاوها قطعاتی‌از سنگ مادر باشند بیشتر است تا اینکه کومولا فرض بشوند. حضور بلورهای اولیوین دارای تغییر شکل گوشته‌ای در بمب‌های فلوگوپیت ـ کلینو پیروکسنیت قلعه حسنعلی نشان می‌دهد که این بمب‌ها می‌توانند قطعاتی از گوشتهٔ متاسوماتیک باشند، اما عدم مشاهده چنین ساختمانی در اولیوین آنکلاوهای قروه تصور تبلور مستقیم این کانی را از ماگمای بازانیتی و اینکه کومولا باشند تقویت می‌کند.

بهرحال اگر این آنکلاوها تجمعات فازهای لیکیدوس ماگماهای اولیه در فشار زیاد بوده که توسط فورانهای پایانی بالا آورده شده باشند باز هم می‌توانند ترکیب کانی‌شناسی تقریبی سنگ مادر به حساب آیند.

سپاسگذاری و تشکر

از آقای دکتر فریبرز مسعودی و آقای دکتر بهزاد مهرابی اعضاء محترم هیات علمی گروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت معلم تهران بخاطر انجام تجزیه نقطه‌ای کانیهای آنکلاوها در دپارتمان زمین‌شناسی دانشگاه لیدز انگلستان، ممنون و سپاسگزارم.

References

Allenbach, p., (1966) *Geologie und petrographie des Damavand und seiner umgebung (Zentral Elbourz), Iran; Mitt*. Geol.Inst. Eidgen. Tech. Hochschule. Univ. Zurich, N.F. **63**, 144 p.

Arima, M., and Edgar, A.D., (1983a) *high pressure experimental studies on a katungite an their bearing on the geneses of some potassium – rich magma of the west branch of the African Rift*; J.Potrol. **24**,166-187.

Bailey,D.K.,(1987) *Mantle metasomatism perspective and prospect; In alkaline igneous rocks.* J.G.Fitton&B.G.J Upton(eds). Geol. Sos.Sp. publ. **30**, 1-13.

Barton, M. and Hamilton, D.L., (1979) *The melting relationships of a madupite from the Leucite–Hills,Wyoming. to 30 Kb*. Contrib. Mineral. Petrol. **69**, 133-142.

Bergman,S.C., (1987) *Lamproites and other potassium- rich igneous rocks, a review of their occurrence*, mineralogy and geochemistry; In alkaline igneous rocks, J.G. Fitton & B.G.J. Upton (eds), p.103-189, Geol. Soc. Sp. publ. 30.

Carmichael,I.S.E.,(1967b) *The mineralogy and petrology of the valcanic rocks from the Leucite Hills,* Wyoming Contrib. Mineral. Petrol. **15**, 24-66.

Deer,W.A.; Howie ,R.A. and Zussman, J., (1969) *An introduction to the Rock – Forming Minerals*. Longmans. p.435.

Edgar,A.D., (1980) *Role of subduction in the genesis of leucite – bearing rocks.* Discussion. Contrib. Mineral.petrol. **73**, 429-431.

Foley, S.F.,Venturelli, G., Green, D.H., and Toscani, L., (1987) *The pertogenetic models*. Earth Sci. Rev. **24**, 81-134.

Hall,A., (1991) *Kimberlites and ultrapotassic igneous rocks; In igneous petrology*. London, Scientific & Technical.

Lloyd, F.E. Arima M., & Edgar, A.D., (1985) *Partial melting of phlogopite-clinopyroxenite nodule from west-south Uganda; An experimental study bearing on the Origin of highly potassic continental rift volcanics*. Contrib. Mineral. Petrol.**91**, 321-329.

Lloyd, F.E., & Bailey, D.K., (1975) *Light element metasomatism of the continental mantle: the evidence and the consequences*. Phys. Chem. Earth. **9**, 389-416.

Lloyd, F.E., (1981) *Upper mantle metasomatism beneath a continental rift: clinopyroxenes in alkalic mafic lavas and nodules from south west Uganda*. Mineral. Mag. 44. 315-323.

Marcelot, G., and Rançon, J.Ph., (1988) *Mineral chemistry of leucitites from Visoke volcano (Virunga Range,Rwanda);petrogenetic implications*. Mineralogical Magazine, vol. **52,** 603-613.

Milton, D.J., (1977) *Qaleh–Hasan–Ali maars.Central Iran. Bull*. volcanol. vol. 40-43, 8 p.

Moine –Vaziri, H., Amin – Sobhani, E., (1985) *Les Volcanes recents de Qorveh – Tekab.* Rapport,Ecole Normale Supérieure de Teheran (en persan), 48 p.

Moine–Vaziri, H., (1985) *Volcanisme tertiaire et quaternaire en Iran.* Thèse d' Etat. Paris–Sud, Orsay.

Moine–Vaziri,H.;Khalili–Marandi,Sh.et Brousse, R., (1991) *Importance d'un volcanisme potassique, au miocene supérieur en Azerbaidjan (Iran).* C.R.Ac,Sci; paris, t. 313, serie II, P.1603 – 1610.

Parker, R.J., (1989) *Geochemical and petrographic characteristics of potassium–rich pyroclastic and lava samples from Vulsini Volcano, Roman magmatic region, Italy.* J. volcanology and Geothermal Research, **39**, 279-314.

Rock, N.M.S., (1987) *The nature and origin of lamprophyrew, an overview*. In Alkaline igneous, Rocks (eds J.G. Fitton and B.G.J. Upton), Geol. Soc.London , Spes. Publ. 30, 191-226.

Roedder, P.L., & Emslie, R.F., (1970) *Olivine-liquid equilibrium.* Contrib. Mineral. Petrol. 29, 275-289.

Rogers, N.W., Hawkesworth, C.J.; Parker, R.J. and Marsh .J.S., (1985) *The geochemistry of potassic lavas from Vulsini, Central Italy an implications for mantle enrichisment processes beneath the Roman region.* Contrib. Mineral. Petrol. **90**, 244-257.

Sahama,T.G., (1974) *Potassium-rich alkaline rocks*. In the alkaline rocks. H. Sorenson (ed) , New York; Wiley.

Wass, S.Y., (1980) *Geochemistry and origin of xenolith–bearing and related alkali basaltic rocks from the Southern Highlands*. New South Wales. Australlia.Am.J.Sci. **280A**, 639-666.

Wilson, M., (1989) *Igneous petrogenesis.* Unwin Hyman, London, 466 p.

سبزه‌ای، م.، (۱۳۶۳) *مطالعات زمین‌شناسی و سنگ شناختی فعالیتهای ماگمائی (قلیائی ـ کربناتیتی) اواخر دوران چهارم، خاستگاه کراترهای منطقهٔ قلعه حسنعلی راین*. سازمان زمین‌شناسی کشور، مدیریت جنوب‌خاوری(کرمان).

شیشه‌بر، ف.، (۱۳۷۲) *بررسی پتروگرافی، ژئوشیمی و پترولوژی سنگهای لامپروئیتی قلعه حسنعلی راین*. رسالهٔ کارشناسی ارشد از دانشگاه کرمان.

معین وزیری، ح.، (۱۳۷۵) *دیباچه‌ای بر ماگماتیسم در ایران*، انتشارات دانشگاه تربیت معلم، ۴۴۰ صفحه.

معین وزیری، ح. و امین‌سبحانی، ا.، (۱۳۶۴) *مطالعهٔ آتشفشانهای جوان منطقهٔ تکاب و قروه*. گزارش دانشگاه تربیت معلم تهران. ۴۸ صفحه.