

An Introduction to camptonite lamprophyric dikes at Misho Mountains (Almas area - East Azarbaijan Province)

**Zahra Gharehchahi¹, Mohsen Moayyed^{1*}, Jamshid Ahmadiyan²
Mamuru Murata³ and Payman Ghasemi⁴**

¹ Department of Earth Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

² Department of Geology, Payame Noor University, PO BOX 19395-3697, Iran

³ Natural Sciences Education (Sciences), Naruto University of Education, Naruto, Tokushima, Japan

⁴ Institute of Geosciences and Mineral, Islamic Azad University, Esfahan, Iran

Abstract

The Almas area in NW of the East Azarbaijan Province, is a part of the Soltaniye-Misho zone. The lamprophyric dikes crosscut the Kahar Formation. The principal minerals of these rocks are amphibole (amphibole phenocrysts are longer than 3 cm), biotite, pyroxene, olivine, plagioclase, apatite, calcite and chlorite with porphyritic texture. According to mineralogical and geochemical evidences, the studied lamprophyres are camptonite with alkaline nature. The plotted spider diagrams indicate that the studied lamprophyres are enriched in light rare earth elements (LREE) and incompatible elements in comparison to heavy rare earth elements (HREE). The parent magma is probably generated from spinel lherzolite mantle with low rate partial melting.

Key words: camptonite, lamprophyric dike, Misho Mountains, Almas area, East Azarbaijan Province

* moayyed@tabrizu.ac.ir

پتسرولوژی، سال هشتم، شماره سی‌ام، تابستان ۱۳۹۶، صفحه ۱۱۹-۱۳۸
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۰۶

معرفی دایک‌های لمپروفیری کامپتونیتی کوه‌های میشو (منطقه الماس، استان آذربایجان شرقی)

زهرا قره‌چاهی^۱، محسن موید^{۱*}، جمشید احمدیان^۲، مامورو موراتا^۳ و پیمان قاسمی^۴

^۱ گروه علوم‌زمین، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۲ گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، صندوق‌پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، ایران

^۳ بخش علوم‌زمین، دانشگاه ناروتو، توکوشیما، ژاپن

^۴ پژوهشکده دانشگاه آزاد اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

منطقه الماس در شمال‌باختری استان آذربایجان شرقی، بخشی از منطقه زمین‌ساختی سلطانیه - میشو به‌شمار می‌رود. دایک‌های لمپروفیری، سازند کهر را قطع کرده‌اند. آمفیبول (طول فنوکریست‌های آمفیبول بیشتر از ۳ سانتیمتر است)، بیوتیت، پیروکسن، الیوین، پلاژیوکلاز، آپاتیت، کلسیت و کلریت از کانی‌های سازنده دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس با بافت پورفیری هستند. برپایه ویژگی‌های کانی‌شناسی و یافته‌های زمین‌شیمیایی، نمونه‌های لمپروفیری بررسی شده از نوع کامپتونیت با سرشت آلکالن هستند. نمونه‌های لمپروفیری در نمودارهای عنکبوتی از عنصرهای کمیاب خاکی سبک (LREE) و عنصرهای ناسازگار در برابر عنصرهای خاکی سنگین (HREE) غنی‌شدگی نشان می‌دهند. خاستگاه ماگمای این سنگ‌ها می‌تواند از گوشته اسپینل‌رزولیتی با نرخ ذوب‌بخشی اندک باشد.

واژه‌های کلیدی: کامپتونیت، دایک لمپروفیر، کوه‌های میشو، منطقه الماس، استان آذربایجان شرقی

مقدمه

دایک‌های تیره‌رنگ سرشار از بیوتیت (به‌علت شفافیت برخی نمونه‌ها و وجود فنوکریست‌های فراوان) به‌کار برد. برخلاف رده‌بندی ساختگی پیشین لمپروفیرها که بیشتر برپایه جایگاه رخنمون آنها استوار بود، Streckeisen

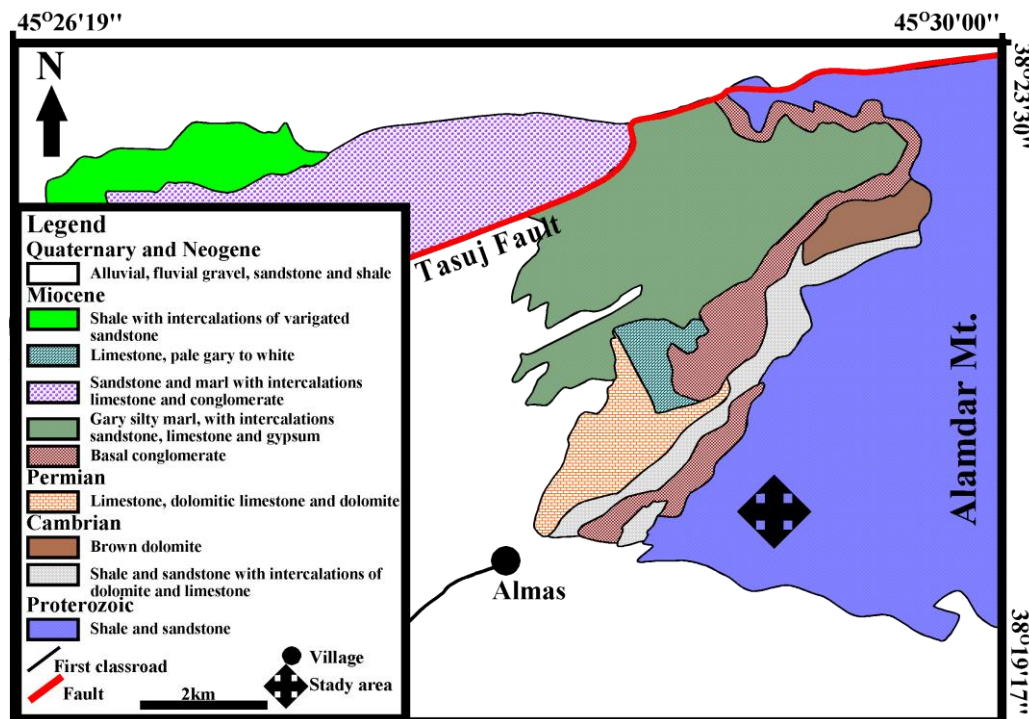
به‌هنگام بررسی سنگ‌های میکادار منطقه Fichtelgebirge در آلمان غربی، Von Gumbel (۱۸۷۴) واژه لمپروفیر را برای توصیف گروهی از

* moayyed@tabrizu.ac.ir

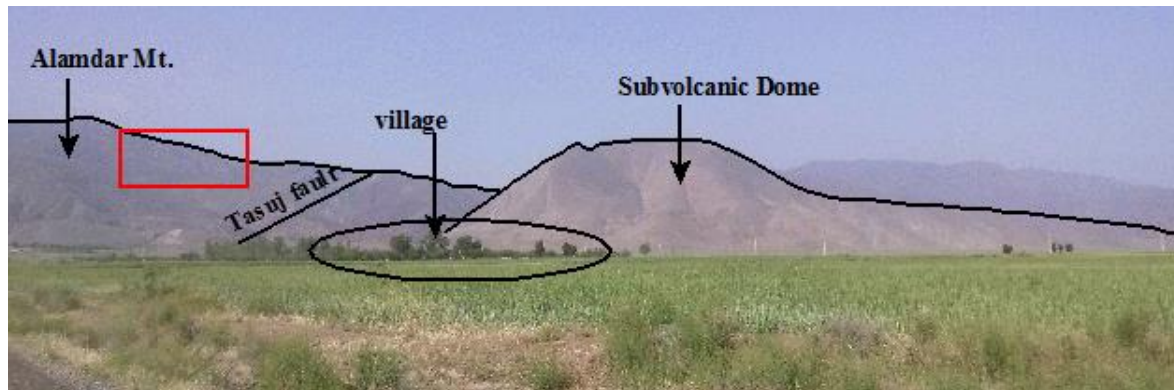
Copyright©2017, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

منطقه الماس، در شمال‌باختری ایران جای دارد و بخشی از آذربایجان بزرگ است. مهمترین پدیده زمین‌شناسی در این منطقه، رخداد کمپلکس آتشفشانی سهند است که گستره آتشفشانی آن سطحی برابر ۱۰۰۰ کیلومتر مربع را می‌پوشاند. در پهنه‌بندی‌های زمین‌شناسی ایران این منطقه در پهنه‌های البرز باختری-آذربایجان (Nabavi, 1976) و پهنه مرکزی (Aghanabati, 2004) دانسته شده است. منطقه الماس، در استان آذربایجان شرقی، در شمال‌خاوری شهرستان تسوج، میان عرض‌های جغرافیایی شمالی $38^{\circ}15'$ تا $38^{\circ}30'$ و طول‌های جغرافیایی خاوری $45^{\circ}15'$ تا $45^{\circ}30'$ جای گرفته است. راه دسترسی به منطقه یادشده جاده آسفالت تبریز-شیراز-تسوج و سپس راه‌های خاکی (که به منطقه الماس می‌رسد) است (شکل‌های ۱ و ۲).

(۱۹۸۰) و Rock (۱۹۹۱) لمپروفیرها را در پنج گروه اصلی رده‌بندی کردند. این پنج گروه عبارتند از: (۱) لمپروفیرهای کالک‌آلکان (CAL)؛ (۲) لمپروفیرهای آلکان (AL)؛ (۳) لمپروفیرهای اولترامافیک (UML)؛ (۴) کیمبرلیت‌ها (KIL)؛ (۵) لامپروویت‌ها (LL). کمابیش در همه لمپروفیرها، رخنمون‌ها به شکل‌های دایک، پایپ، سیل، ورقه‌ای و پرکننده شکاف‌ها دیده می‌شوند. برپایه تفاوت زمانی رخداد، شکل لمپروفیرها نشان‌دهنده رخساره متفاوتی از یک رویداد ماگمایی است (Mitchell, 1986). این سنگ‌ها در پهنه‌های زمین‌ساختی گوناگونی (مانند: کمان‌های اقیانوسی (جزایر کمانی)، حواشی قاره‌ای فعال، ریف‌تها و کراتون‌های پایدار) پدید می‌آیند (Torabi, 2009; Gill, 2010; Krmíček, 2010).



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه الماس (استان آذربایجان شرقی) برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تسوج (Khodabandeh and Amini-Fazl, 1993).



شکل ۲: - نمای کلی از منطقه الماس (کوه علمدار، گسل تسوج و روستای باغلار ارلان، شمال‌خاوری تسوج در استان آذربایجان شرقی) (دید رو به جنوب) (رخنمون دایک‌های لمپروفیری در چهارگوش نشان داده شده است)

و بیشتر آنها در راستای گسله‌ها و مناطق بالاآمده رخنمون یافته‌اند.

در هسته مرکزی کوه‌های میشو رخنمون گسترده‌ای از سنگ‌های فیلیتی و شیست‌سبز رخنمون یافته است که در پی نفوذ توده گرانیتوییدی گروه S میشو دچار دگرگونی مجاورتی شده‌اند. این نهشته‌ها هم‌ارز سازند کهر دانسته شده‌اند. توده‌های نفوذی S و I میشو سنی برابر کامبرین زیرین دارند و درون سازند کهر تزریق شده‌اند. Azimzadeh و همکاران (۲۰۱۴) ارتباط آنورتوزیت‌ها با توده ماگمایی مافیک میشو و با بهره‌گیری از سن‌سنجی آنها در شناسایی زمین‌ساخت دیرین توده ماگمایی مافیک میشو را بررسی کرده‌اند. برپایه بررسی‌های ایشان (سن‌سنجی مطلق)، زمان جایگیری آنورتوزیت‌ها و در پی آن، گابروها کربونیفر آغازین بوده است. این یافته با داده‌های سن نسبی (میان رسوب‌های پرکامبرین کهر و رسوب‌های پرمین) همخوانی دارد. برپایه بررسی‌های Aghazadeh و همکاران (۲۰۱۵)، دایک‌های کالک‌آلکان لمپروفیری منطقه میشو، سنگ‌های پرکامبرین و رسوب‌های میوسن را قطع کرده‌اند. این دایک‌ها به دو دسته رده‌بندی می‌شوند: (۱) انواع هورنبلنددار با سرشت اسپسارتیت که در منطقه سرخه و تسوج رخنمون دارند؛ (۲) انواع فلوگوپیت‌دار با

نخستین بررسی منطقه مرند را Khodabandeh و Amini-Fazl (۱۹۹۳) برای تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه (نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تسوج) انجام داده‌اند. پس از آن Pirmohammadi Alishah (۲۰۰۵)، سنگ‌شناسی و سنگ‌نگاری توده آذرین شمال روستای هریس در کوه‌های میشو (شهرستان شبستر) را بررسی کردند. Fathi Sadi (۲۰۱۲)، زمین‌شیمی و سنگ‌زایی (پتروژنز) سنگ‌های ریولیتی خاور تسوج، آذربایجان شرقی در شمال‌باختری ایران را بررسی کرد. وی افزون‌بر بررسی زینولیت‌های منطقه علمدار، برای نخستین‌بار، از رخنمون دایک‌های لمپروفیری در منطقه تسوج نام برد. Vahedolein (۲۰۱۳) برای نخستین‌بار سنگ‌شناسی و سنگ‌زایی دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس در شمال‌خاوری تسوج را بررسی کرد. وی سری ماگمایی این دایک‌های لمپروفیری را کالک‌آلکان-پتاسیم بالا تا شوشونیتی دانست و این دایک‌ها را در گروه اسپسارتیت‌ها رده‌بندی کرد. Shahzeidi و همکاران (۲۰۱۲) و Shahzeidi (۲۰۱۳) به بررسی جامع زمین‌شیمی و سنگ‌شناسی گرانیتوییدهای جنوب‌باختری مرند (جنوب روستای عیش آباد و پیربالا) پرداخته‌اند. برپایه بررسی‌های انجام‌شده کهن‌ترین نهشته‌ها در گستره آذربایجان به سن پرکامبرین هستند

نهبشته‌های کهن‌تر از سازند باروت، مانند سازندهای بایندر و سلطانیه که در مناطق دیگر شناسایی شده‌اند، در این منطقه برونزد ندارند. سازند باروت شامل شیل، شیل‌های سیلتی، شیل‌های رسی و ماسه‌سنگی میکادار است که میان‌لایه‌هایی از دولومیت، آهک و آهک‌دولومیتی سیلیسی‌شده، به‌رنگ‌های زرد، خاکستری، خاکستری روشن و سفید دارد. در کوه علمدار، جنوب رودخانه الماس و شمال رودخانه سیدلر تسوج، ردیفی از نهبشته‌های آواری با گذر تدریجی، روی نهبشته‌های باروت جای گرفته‌اند. از دیدگاه سنگ‌شناختی، این ردیف شامل شیل، شیل‌سیلتی، سیلت‌سنگ، ماسه‌سنگ‌های دانه‌درشت و دانه‌ریز میکادار و ماسه‌سنگ کوارتزی است. درصد حجمی لایه‌های شیلی در بخش زیرین، بیشتر از بخش بالایی است. برپایه جایگاه چینه‌ای و شباهت سنگ‌شناختی این ردیف رسوبی را می‌توان هم‌ارز سازندهای زاگون و لالون به‌شمار آورد. برونزد کنگلومرای پلیوسن در سطح هوازده، خاکستری مایل به سبز و گاه سرخ‌رنگ است. این کنگلومرا لایه‌بندی خوبی دارد و تکه‌های سازنده آن کاملاً گردشده بوده و سیمان آن بیشتر ماسه‌ای است. کنگلومرای یادشده به‌صورت دگرشیب روی نهبشته‌های کهن جای گرفته است. خود این لایه‌ها نیز، با نهبشته‌های کواترنری پوشیده شده‌اند. بیشتر سنگ‌های پلیو-کواترنری، گدازه و آذرآواری و گهگاه نیمه‌ژرف هستند و به شکل‌های گنبدی و دایک و سیل جایگزین شده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی که فرآورده فوران‌های جوان هستند، نهبشته‌های میوسن را قطع کرده و یا آنها را پوشانیده‌اند. گدازه‌ها و سنگ‌های آذرآواری بیشتر ترکیب ریوداسیتی

سرشت مینت که در مرند و سرخه رخمون یافته‌اند. در این پژوهش سنگ‌نگاری و سنگ‌شناسی دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس بررسی شده‌اند. هدف از انجام این پژوهش، بررسی کانی‌شناسی، ویژگی‌های بافتی و ترکیب سنگ‌شناسی دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس است و از این‌رو، ویژگی‌های زمین‌شیمیایی، سنگ‌زایی و جایگاه زمین‌ساختی این سنگ‌ها ارزیابی و شناسایی خواهند شد.

زمین‌شناسی عمومی

تسوج بخشی از منطقه زمین‌ساختی ایران مرکزی، در ادامه شمال‌باختری پهنه زمین‌ساختی سنندج-سیرجان (Stöcklin, 1968) و یا بخشی از پهنه منطقه خوی-ماکو (Nabavi, 1976) است. در گستره ورقه تسوج، نهبشته‌های دگرگون‌شده پرکامبرین در برآمدگی‌ها دیده می‌شوند. این نهبشته‌ها، با رسوب‌های جوان‌تر از پرکامبرین تا عهد حاضر فراگرفته یا پوشیده شده‌اند. نهبشته‌های یادشده پی‌سنگ منطقه را می‌سازند. کهن‌ترین نهبشته‌های دیده‌شده در این بخش وابسته به پرکامبرین و سازند کهر هستند. این نهبشته‌ها در بخش‌های مرکزی کوه‌های میشو گسترش چشمگیری دارند و به‌رنگ عمومی سبز تیره تا سبز خاکستری دیده می‌شوند. در شمال‌باختری منطقه، در کوه علمدار، ستبرای چشمگیری از نهبشته‌های آواری ریزدانه (شامل: شیل، شیل‌ماسه‌ای و به مقدار کمتری ماسه‌سنگ) دیده می‌شود که به دگرگونی ناچیزی دچار شده و بیشتر به اسلیت و اسلیت‌های کوارتزی و گهگاه فیلیت تبدیل شده‌اند. ستبرای این برونزدگی نزدیک به ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر است. نهبشته‌های کامبرین در جنوب و باختر کوه علمدار، با کنتاکت گسله روی سنگ‌های سازند کهر جای گرفته‌اند.

روش انجام پژوهش

در بررسی‌های صحرایی، شمار ۷۰ نمونه از ۲۱ ایستگاه نمونه‌برداری برداشته و از میان آنها ۴۰ نمونه برای تهیه مقطع نازک برگزیده شدند. برای بررسی شیمی کانی‌ها در دو مقطع، ۳۸ نقطه کانی، با دستگاه ریزکاو الکترونی Cameca (مدل Sx-50، با ولتاژ شتاب‌دهنده ۱۵ kv و شدت nA ۱۰ در آزمایشگاه مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران) تجزیه شدند. همچنین، ۹ نقطه کانی در مقطع دیگری (Vahedolein, 2013) با دستگاه Horiba-XGT-7200 (با ولتاژ شتاب‌دهنده ۵۰ kv و جریان nA ۱ در شرکت کانساران بینالود) و بررسی و تجزیه شدند. به‌کارگیری داده‌های تجزیه ریزکاو الکترونی، فرمول ساختاری کانی‌ها با نرم‌افزار Minpet 2.02 به‌دست آمد. تفکیک آهن ۲ و ۳ با به‌کارگیری روش (Droop (1987) انجام شده است. سپس، برای تکمیل بررسی‌ها، شمار ۸ نمونه از سنگ‌هایی که سالم و نادگرسان بوده و شاخص‌های خوبی برای سنگ‌های دیگر منطقه بودند برگزیده شدند. برای ارزیابی درصد اکسیدهای عنصرهای اصلی، فرعی و کمیاب به روش ICP-MS، این ۸ نمونه به شرکت کانساران بینالود (Vahedolein, 2013) فرستاده شدند. همچنین، ۵ نمونه با به‌کارگیری روش XRF(WD) (مدل Rigaku، در دانشگاه Naruto، ژاپن) و برای سنجش عنصرهای اصلی و فرعی تجزیه شدند. نام اختصاری کانی‌ها در تصویرهای میکروسکوپی برگرفته از Whitney و Evans (۲۰۱۰) است.

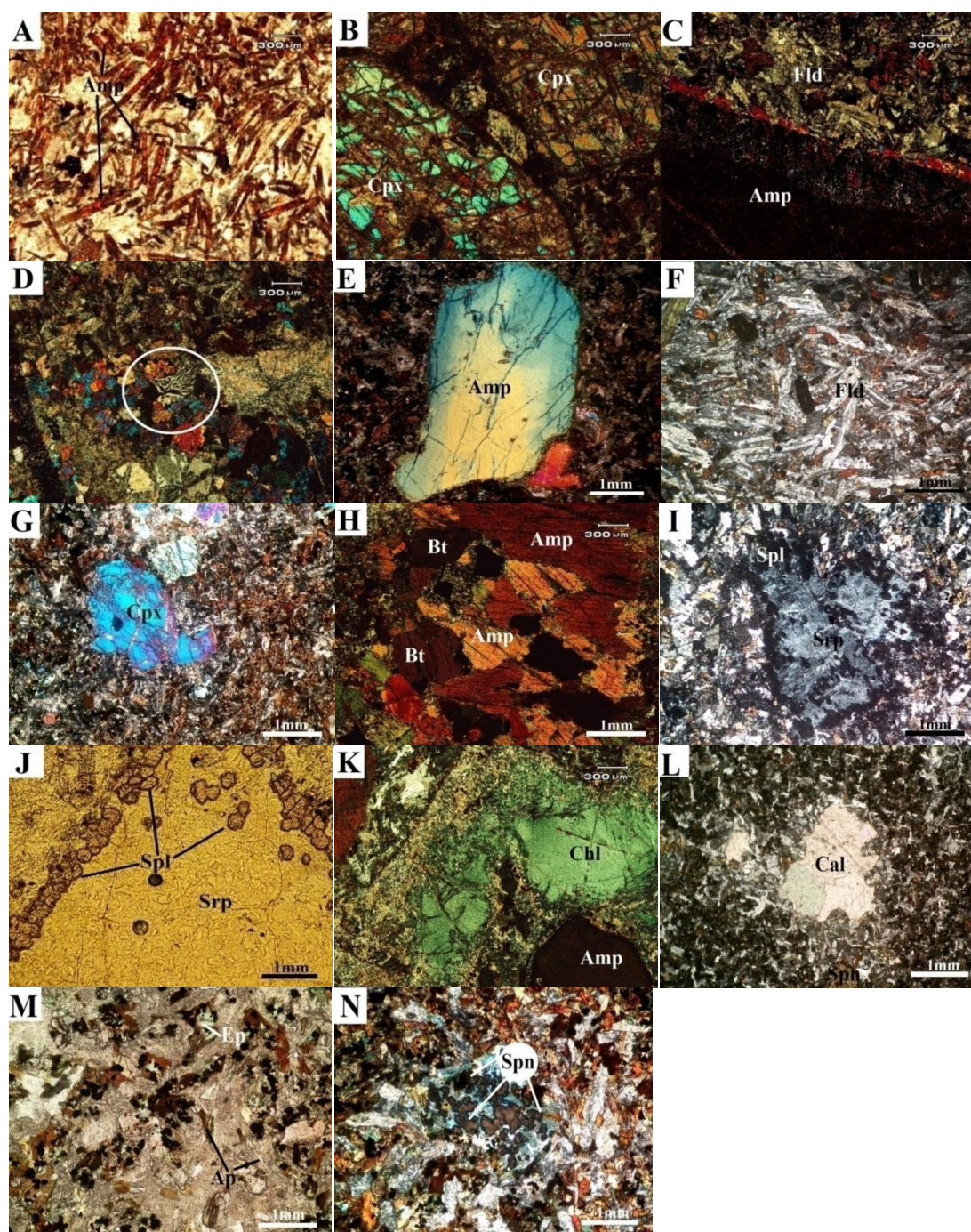
سنگ‌نگاری

در این بخش، ویژگی‌های سنگ‌نگاری دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس بررسی شده‌اند (شکل ۳).

دارند و بافت آنها پورفیری است. کانی‌های سازنده این سنگ‌ها پلاژیوکلا، کوارتز، بیوتیت و آمفیبول هستند که در زمینه‌ای از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز، پتاسیم‌فلدسپار و کوارتز جای گرفته‌اند (Khodabandeh and Amini-Fazl, 1993).

دایک‌های منطقه الماس: دایک‌های منطقه الماس سه گروه هستند: (۱) دایک‌های دیوریتی؛ (۲) دایک‌های لمپروفیری؛ (۳) دایک‌های دیابازی. گروه اول رنگی روشن دارند؛ اما گروه دوم تیره‌رنگ هستند. گروه سوم نیز در نمونه دستی به‌رنگ خاکستری دیده می‌شود. هر سه گروه یادشده سازند کهر را قطع کرده‌اند. از آنجایی که موضوع اصلی این پژوهش بررسی دایک‌های لمپروفیری است، پس آنچه گفته خواهد شد پیرامون گروه دوم دایک‌های منطقه الماس است.

دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس، با روند شمال‌خاوری - جنوب‌باختری، سازند کهر را گسسته‌اند. این دایک‌ها دارای پهنای نزدیک به ۱ تا ۲ متر هستند و فنوکریست‌های درشت آمفیبول (طول فنوکریست‌ها بیشتر از ۳ سانتیمتر است) در آنها به خوبی دیده می‌شود. در نمونه‌های دستی، این سنگ‌ها به‌رنگ خاکستری تیره هستند. بافت آنها پورفیری است و بلورهای درشت و شکل‌دار آمفیبول به‌رنگ تیره، سوزنی‌شکل و کشیده را می‌توان با ظاهری درخشان در نمونه‌ها شناخت. همچنین، پلاژیوکلازهای تیغه‌ای در این سنگ‌ها به رنگ روشن شناخته می‌شوند. در برخی لمپروفیرها، گهگاه بیوتیت نیز در نمونه‌های دستی دیده می‌شود. این دایک‌های لمپروفیری سن‌سنجی نشده‌اند؛ اما برپایه اینکه لایه‌بندی سازند کهر را قطع کرده‌اند، سنی جوان‌تر از پرکامبرین دارند.



شکل ۳- تصویرهای میکروسکوپی دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس (استان آذربایجان شرقی): (A, B) بافت‌های اصلی سنگ‌ها پورفیریتیک و میکرولیتیک است؛ (C) میکرولیت‌های پلاژیوکلاز به صورت موازی و شعاعی، فنوکریست‌های آمفیبول را در بر گرفته‌اند و بافت فرعی اوسلار را پدید آورده‌اند؛ (D) هم‌رشدی کانی پیروکسن و اسپینل و پیدایش بافت فرعی سیمپلکتیت؛ (E) فنوکریست آمفیبول با بافت پوی کیلیتیک که در برخی مقاطع تا ۳ سانتیمتر هم می‌رسد؛ (F) تجمع میکرولیت‌های پلاژیوکلاز بافت میکرولیتیک را به نمایش گذاشته است؛ (G) فنوکریست‌های نیمه‌شکل‌دار پیروکسن در زمینه‌ای از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز، کلسیت و کانی‌های کدر؛ (H) فنوکریست‌های نیمه‌شکل‌دار بیوتیت؛ (I) تجزیه فنوکریست الیوین به سرپانتین و اسپینل (اسپینل در حاشیه دیده می‌شود)؛ (J) تجمع اسپینل در حاشیه الیوین تجزیه‌شده به سرپانتین؛ (K) فنوکریست آمفیبول که به کلریت و کرنات تجزیه شده است؛ (L) تجمع کلسیت در لمپروفیر و متن سنگ؛ (M) آپاتیت‌های منشوری در لمپروفیر؛ (N) تجزیه کانی بیوتیت به اسفن (تصویرهای J و M در نور PPL و تصویرهای دیگر در نور XPL هستند)

شیمیایی هنگام پیدایش این کانی‌ها تجزیه شده‌اند (جدول‌های ۱ تا ۴). بیشتر بلورهای کلینوپیروکسن بررسی شده ترکیب دیوپسید-اوزیث نشان می‌دهند. دامنه ترکیب کلینوپیروکسن‌های منطقه $Wo_{39-47}En_{37}$ $40Fs_{15-22}$ است (شکل‌های ۴-A و ۴-B).

در بلورهای آمفیبول بررسی شده، مقدار $Ti \geq 0.5$ است؛ از این رو، این آمفیبول‌ها از آمفیبول‌های نوع کرسوتیتی هستند. میزان TiO_2 در بلورهای بررسی شده بالاست و از نزدیک به ۱/۷۱ درصد وزنی در حاشیه تا ۲/۲۱ درصد وزنی در مرکز بلورها تغییر می‌کند. کاهش شدید میزان این اکسید در حاشیه بلورها می‌تواند پیامد پیوستن تیتانیم به ساختار کانی‌هایی مانند تیتانومگنتیت، در گام‌های پایانی تبلور باشد. میزان مجموع عنصرهای قلیایی در آمفیبول‌های بررسی شده کمتر از ۰/۲۲ درصد وزنی است. شیمی بلورهای آمفیبول تجزیه شده تغییرات آشکاری نشان می‌دهد؛ به گونه‌ای که میزان اکسیدهای سدیم، پتاسیم و آهن از مرکز به حاشیه بلورها افزایش می‌یابد. این افزایش در اکسید آهن آشکارا بالاست؛ به گونه‌ای که از نزدیک به ۷ درصد وزنی در مرکز تا ۱۱ درصد وزنی در حاشیه بلور افزایش می‌یابد. در همین روند، از مرکز به سوی حاشیه، از میزان اکسیدهای سیلیسیم، منیزیم، تیتانیم، آلومینیم و کلسیم کاسته می‌شود (شکل ۴-C).

در نمودار $Fe/(Fe+Mg)$ در برابر Al^{IV} ، ترکیب میکاهای بررسی شده در گستره فلوگوپیت با $Mg\# \geq 0.78$ جای می‌گیرد. مقدار $Fe\# \geq 0.21$ است (شکل ۴-D)

داده‌های به دست آمده از تجزیه پلاژیوکلازها نشان می‌دهند که مقدار An در بازه‌ای از ۳۲/۷ تا ۳۲/۲ درصد مولی و Ab در بازه‌ای از ۶۶/۱ تا ۶۵/۹ درصد مولی و مقدار Or بسیار کم و در بازه ۱/۵ تا ۱/۱ درصد مولی جای می‌گیرند. در آلکالی‌فلدسپار، An برابر ۰/۵ درصد مولی، Or برابر با ۱۷ درصد مولی و مقدار Ab آن

بافت‌های اصلی آنها میکرولیتیک (شکل ۳-A)، پورفیریتیک (شکل ۳-B) و میکرولیتیک پورفیری، و بافت‌های فرعی آنها افیتیک، اوسلار (شکل ۳-C)، سیمپلکتیت (شکل ۳-E) و پویی کلیتیک هستند. این دایک‌ها از دیدگاه کانی‌شناسی شامل آمفیبول (در برخی مقاطع تا ۳ سانتیمتر هم می‌رسد؛ شکل ۳-F)، پلاژیوکلاز؛ (شکل ۳-G)، پیروکسن؛ (شکل ۳-H)، الیوین (بیشتر الیوین‌ها به سرپانتین تبدیل شده‌اند؛ شکل ۳-I)، اسپینل (شکل ۳-J)، کلریت (شکل ۳-K)، کانی‌های کربناته (کلسیت؛ شکل ۳-L)، آپاتیت (شکل ۳-M)، اسفن (شکل ۳-N)، کوارتز، زئولیت و کانی‌های تیره هستند. زمینه سنگ نیز بیشتر از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز، کمی کلریت، کلسیت و کانی‌های کدر ساخته شده است. در مقیاس میکروسکوپی، کانی‌های اصلی سازنده سنگ، شامل درشت‌بلورهای شکل‌دار آمفیبول با حاشیه کمابیش خورده شده (۴۰-۲۰ درصد حجمی)، بیوتیت (۲۵-۲۰ درصد حجمی)، پلاژیوکلاز (۲۰-۱۵ درصد حجمی)، کلینوپیروکسن (<۲۰ درصد حجمی) و الیوین (<۱ درصد حجمی) هستند. خمیره میکرولیتی در لمپروفیرها از آمفیبول + پلاژیوکلاز + بیوتیت بوده و بافت میکرولیتی پورفیریک را پدید آورده است. از کانی‌های فرعی می‌توان آپاتیت (به صورت منشوری) و اسپینل را نام برد. کوارتز خیلی کم در این سنگ‌ها حضور دارد و به صورت دانه‌ریز فضای میان کانی‌های دیگر را پر کرده است. فنوکریست‌های آمفیبول به کلریت و کربنات تجزیه شده و پرشدگی حفره‌ها با کلسیت و کلریت در متن مقاطع دیده می‌شود. از این رو، کلسیت، زئولیت و کلریت، از جمله کانی‌های تجزیه‌ای نمونه‌ها هستند.

شیمی کانی‌ها

کانی‌های گوناگون در دایک‌های لمپروفیری الماس برای بررسی ترکیب شیمیایی و فرایندهای فیزیکی و

۸۲/۵ درصد مولی است. برپایه نمودار شیمیایی شکل ۴- E، کانی‌های تجزیه‌شده در گستره سانیدین و آندزین هستند. داده‌های به‌دست‌آمده با ریزکاو الکترونی و فرمول ساختاری کانی‌های اسپینل، کلریت (شکل ۴- F)، مگنتیت، ایلمنیت و فلدسپارهای دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس در جدول ۴ آورده شده‌اند.

جدول ۱- داده‌های تجزیه ریزکاو الکترونی پیروکسن‌ها (برپایه درصد وزنی) در دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس (استان آذربایجان شرقی)، به‌همراه فرمول ساختاری (برپایه a.p.f.u.) به‌دست‌آمده برپایه ۶ اتم اکسیژن و اعضای پایانی (درصد مولی)

Sample No.	A.Z.1	A.Z.10	A.Z.11	A.Z.12	A.Z.13	A.Z.14	A.Z.15	A.Z.16	A.Z.17	A.Z.2
SiO ₂	48.80	50.46	51.01	47.81	50.61	49.85	48.93	50.71	48.18	47.87
TiO ₂	2.04	2.16	2.02	1.85	2.21	2.03	1.71	2.20	1.91	1.79
Al ₂ O ₃	6.99	6.07	6.75	8.15	5.81	7.01	8.24	5.79	7.95	8.25
Fe ₂ O ₃ *	8.39	8.61	8.10	11.67	8.37	8.25	11.84	8.41	11.86	11.79
Cr ₂ O ₃	0.15	0.04	0.02	0.01	0.02	0.13	0.09	0.03	0.12	0.10
MnO	0.14	0.16	0.15	0.20	0.16	0.13	0.23	0.19	0.21	0.21
MgO	12.43	11.52	11.27	11.51	11.74	12.51	11.43	11.79	11.50	11.42
CaO	19.39	19.50	20.01	16.81	19.30	19.31	16.80	19.38	16.35	16.91
Na ₂ O	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.12	0.12	0.09	0.21	0.13	0.13	0.18	0.14	0.19	0.22
Total	98.45	98.65	99.43	98.22	98.35	99.35	99.45	98.64	98.25	98.56
Si	1.86	1.93	1.93	1.84	1.94	1.88	1.86	1.94	1.85	1.84
Al ^{IV}	0.15	0.07	0.07	0.16	0.06	0.12	0.14	0.07	0.15	0.17
Al ^{VI}	0.17	0.20	0.23	0.21	0.20	0.19	0.23	0.20	0.21	0.21
Ti	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05
Fe ⁺³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ⁺²	0.86	0.27	0.25	0.37	0.27	0.26	0.37	0.27	0.69	0.37
Cr	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.71	0.66	0.64	0.66	0.67	0.70	0.65	0.67	0.66	0.65
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
Ca	0.79	0.80	0.81	0.69	0.79	0.78	0.68	0.79	0.67	0.69
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Cations	3.99	3.99	4.00	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99
Wollastonite	44.80	46.09	47.57	40.02	45.70	44.71	39.97	45.67	39.24	40.19
Enstatite	39.96	37.89	37.28	38.13	38.68	40.30	37.84	38.66	38.40	37.77
Ferrosillite	15.24	16.02	15.16	21.85	15.61	15.00	22.20	15.67	22.36	22.05

جدول ۲- داده‌های تجزیه ریزکاو الکترونی آمفیبول‌ها (برپایه درصد وزنی) در دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس (استان آذربایجان شرقی)، به‌همراه فرمول ساختاری (برپایه a.p.f.u.) به‌دست‌آمده برپایه ۲۳ اتم اکسیژن

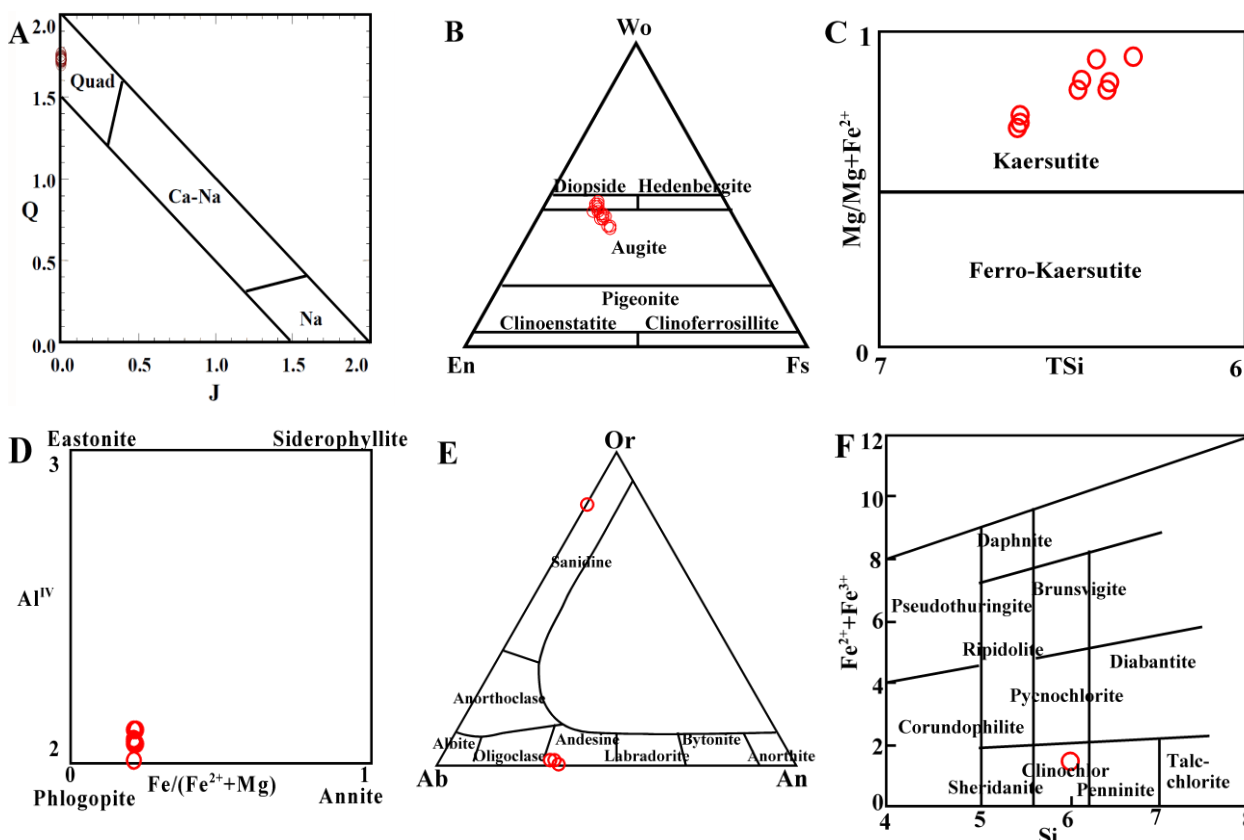
Sample No.	A.Z.26	A.Z.25	A.Z.24	A.Z.23	A.Z.22	A.Z.21	A.Z.20	A.Z.19	A.Z.18
SiO ₂	39.81	40.07	39.97	40.80	41.70	40.95	41.44	41.96	39.95
TiO ₂	6.12	5.82	6.01	5.81	5.93	5.75	6.11	5.75	5.76
Al ₂ O ₃	12.90	13.01	12.70	12.70	13.00	13.17	12.34	13.66	12.68
FeO*	11.41	11.37	11.51	11.61	11.48	11.33	11.77	11.19	11.48
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00
MnO	0.13	0.11	0.14	0.11	0.11	0.13	0.12	0.12	0.13
MgO	12.63	12.60	12.91	12.91	11.70	12.75	11.71	11.69	13.81
CaO	10.97	11.03	11.02	10.91	11.07	10.98	11.20	10.94	11.02
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	2.16	0.02	2.17	1.95	2.01	2.07	2.03	2.00	2.15
Total	96.13	96.03	96.44	96.80	97.00	97.15	96.72	97.50	96.98
Si	5.88	5.91	5.88	5.95	6.12	5.96	6.12	6.11	5.80
Ti	0.68	0.65	0.66	0.64	0.65	0.63	0.68	0.63	0.63
Al ^{IV}	2.13	2.09	2.13	2.05	1.88	2.05	1.88	1.89	2.17
Al ^{VI}	0.12	0.17	0.07	0.13	0.36	0.21	0.27	0.45	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ⁺²	0.64	0.26	0.57	0.54	1.06	0.61	1.14	0.97	0.25
Fe ⁺³	0.77	1.14	0.84	0.88	0.35	0.77	0.32	0.39	1.11
Mn	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Mg	2.78	2.77	2.83	2.81	2.56	2.76	2.58	2.54	2.99
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.41	0.00	0.41	0.36	0.38	0.38	0.38	0.37	0.40
Cations	15.14	14.75	15.14	15.07	15.12	15.10	15.16	15.08	15.11
Fe#	0.19	0.08	0.17	0.16	0.29	0.18	0.31	0.23	0.08
Mg#	0.81	0.91	0.83	0.84	0.71	0.82	0.69	0.72	0.92

جدول ۳- داده‌های تجزیه ریزکاو الکترونی بیوتیت‌ها (برپایه درصد وزنی) در دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس (استان آذربایجان شرقی)، به همراه فرمول ساختاری (برپایه a.p.f.u.) به دست آمده برپایه ۲۲ اتم اکسیژن

Sample	A.Z.36	A.Z.35	A.Z.34	A.Z.33	A.Z.32	A.Z.31	A.Z.30	A.Z.29	A.Z.28	A.Z.27
SiO ₂	39.95	39.65	39.67	40.68	39.90	41.60	40.52	41.68	41.50	39.55
TiO ₂	1.35	1.34	1.45	0.90	1.01	0.67	1.02	0.72	0.62	1.43
Al ₂ O ₃	13.01	13.05	12.41	12.98	13.02	12.75	12.77	12.95	12.55	13.00
Cr ₂ O ₃	0.27	0.30	0.31	0.28	0.25	0.31	0.29	0.32	0.30	0.29
FeO	11.61	11.39	11.44	11.43	11.55	11.56	11.64	11.27	11.79	11.48
Fe ₂ O ₃	1.29	1.27	1.27	1.27	1.28	1.28	1.29	1.25	1.31	1.28
MnO	0.20	0.18	0.19	0.17	0.17	0.18	0.18	0.19	0.18	0.19
MgO	23.50	23.83	23.91	23.90	23.88	23.86	23.88	23.55	24.18	23.58
CaO	2.15	2.20	2.30	2.01	2.01	1.98	2.10	2.02	1.95	2.26
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	1.37	1.50	1.30	1.46	1.45	1.34	1.42	1.32	1.36	1.48
Total	94.7	94.71	94.25	95.08	94.27	95.53	95.11	95.27	95.74	94.54
Si	5.94	5.90	5.93	6.00	5.94	6.10	5.99	6.11	6.08	5.90
Ti	0.15	0.15	0.16	0.10	0.11	0.07	0.11	0.08	0.07	0.16
Al ^{IV}	2.06	2.11	2.07	2.00	2.06	1.90	2.01	1.89	1.92	2.11
Al ^{VI}	0.21	0.18	0.11	0.26	0.22	0.30	0.21	0.35	0.25	0.18
Cr	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03
Fe ²⁺	1.44	1.42	1.43	1.41	1.44	1.42	1.44	1.38	1.45	1.43
Fe ³⁺	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Mn	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Mg	5.21	5.28	5.33	5.26	5.30	5.21	5.26	5.15	5.28	5.24
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.34	0.35	0.37	0.32	0.32	0.31	0.33	0.32	0.31	0.36
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.26	0.29	0.25	0.28	0.28	0.25	0.27	0.25	0.25	0.28
Cations	15.81	15.86	15.85	15.82	15.86	15.76	15.83	15.72	15.80	15.85
Fe#	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Mg#	0.78	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79

جدول ۴- داده‌های تجزیه ریزکاو الکترونی های اسپینل، کلریت، مگنتیت، ایلمنیت و فلدسپارها (برپایه درصد وزنی) در دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس (استان آذربایجان شرقی)، به همراه فرمول ساختاری آنها (برپایه a.p.f.u.) که به ترتیب برپایه ۳۲، ۲۸، ۳۲ و ۳۲ اتم اکسیژن به دست آمده‌اند و همچنین، اعضای نهایی فلدسپار (برپایه درصد مولی)

Mineral Type	Spinel	Clinochlore	Magnetite	Ilmenite	Sanidine	Andesine	Andesine	Andesine
SiO ₂	0.00	30.21	0.2	0	64.1	59.4	58.97	59.01
TiO ₂	0.03	0.00	0.03	48.73	0.03	0.01	0.03	0.01
Al ₂ O ₃	20.69	18.2	0.02	0.01	19.4	26.31	26.8	26.51
Cr ₂ O ₃	49.71	0.00	0.00	1.21	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO*	16.56	9.06	92.39	43.36	0.05	0.00	0.18	0.18
MnO	0.22	0.13	0.06	5.22	0.00	0.17	0.00	0.00
MgO	14.27	27.35	0.1	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.13	0.01	0.00	0.1	6.73	6.7	6.77
Na ₂ O	0.02	0.00	0.02	0.00	1.87	7.51	7.55	7.41
K ₂ O	0.00	0.01	0.00	0.00	13.76	0.21	0.27	0.19
Total	101.5	85.07	92.83	98.91	99.31	100.34	100.5	100.08
Si	0.00	5.99	0.01	0.00	11.79	10.55	10.47	10.51
Ti	0.01	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ^{IV}	5.92	2.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ^{VI}	0.00	2.24	0.00	0.00	4.27	5.51	5.61	5.56
Cr	9.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³⁺	0.53	0.00	1.98	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²⁺	2.84	1.50	1.00	0.81	0.01	0.00	0.03	0.03
Mn	0.00	0.02	0.00	0.11	0.00	0.03	0.00	0.00
Mg	5.16	8.09	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	1.28	1.28	1.29
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	2.59	2.60	2.56
K	0.00	0.00	0.00	0.00	3.28	0.05	0.06	0.04
Cations	23.99	19.88	3.00	2.00	20.04	20.00	20.04	20.00
Fe #	0.03	0.16	0.00	0.00				
Mg #	0.59	0.84	0.00	0.00				
Cr #	0.62	0.00	0.00	0.00				
Albite					17.00	66.10	66.10	65.70
Anorthite					0.50	32.70	32.40	33.20
Orthose					82.50	1.20	1.50	1.10



شکل ۴- نمودارهای نامگذاری و رده‌بندی کانی‌ها در دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس (استان آذربایجان شرقی): (A) نمودار Q-J برای رده‌بندی پیروکسن‌ها (Morimoto and Kitamura, 1983)؛ (B) نمودار سه‌تایی Ca-Mg-Fe برای رده‌بندی پیروکسن‌ها (Morimoto, 1988)؛ (C) نمودار رده‌بندی آمفیبول‌ها (Leak et al., 1997)؛ (D) نمودار رده‌بندی بیوتیت‌ها (Deer et al., 1991)؛ (E) نمودار نام‌گذاری فلدسپارها (Deer et al., 1966)؛ (F) نمودار رده‌بندی کلریت‌ها (Hey, 1954)

وزنی متغییر بوده و نسبت $K_2O/Na_2O = 0/67$ است. درصد TiO_2 از $2/61$ تا $2/05$ درصد وزنی است. میزان MgO برابر $8/84$ تا $4/28$ درصد وزنی، CaO برابر $8/86$ تا $6/49$ درصد وزنی و P_2O_5 برابر $0/9$ تا $0/5$ درصد وزنی هستند.

برای بررسی ویژگی‌های زمین‌شیمیایی و فرایندهای سنگ‌شناسی دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس از داده‌های عنصرهای اصلی، فرعی و کمیاب بهره گرفته شد. در نمودار قلیایی‌ها در برابر SiO_2 (Le Bas et al., 1986)، نمونه‌های بررسی شده در گستره تراکی‌بازالت، بازالت و تفریت‌بازانیت جای گرفته اند (شکل ۵-A). در پی دگرسانی‌های احتمالی لمپروفیرهای منطقه الماس، برای کاهش خطا کاربرد نمودارهایی سودمند است که

زمین‌شیمی

داده‌های تجزیه عنصرهای اصلی، کمیاب و خاکی نادر دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس و همچنین، نرم به دست آمده برای این دایک‌ها، به ترتیب در جدول‌های ۵ و ۶ آورده شده‌اند.

مقایسه تجزیه اکسیدهای عنصرهای اصلی و کمیاب منطقه الماس، با میانگین داده‌های به دست آمده Rock (۱۹۹۱) برای پنج گروه اصلی لمپروفیر و همچنین، Orejana و همکاران (۲۰۰۸) و Aghazadeh و همکاران (۲۰۱۵) نشان می‌دهد که درصد این عنصرها بسیار همانند درصد اکسید عنصرهای اصلی و کمیاب سنگ‌های سری آلکالن است. درصد سیلیس از ۴۹ تا ۴۲ درصد

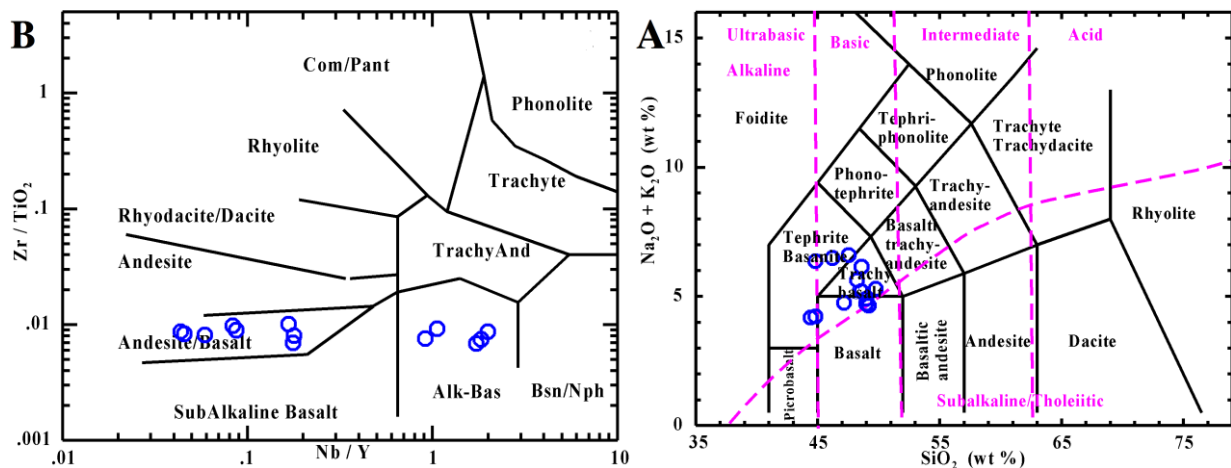
برپایه عنصرهای کمیاب و نامتحرک (Immobile Elements) در درجه‌های کم دگرسانی باشند (مانند: Y, Nb, Ti, Zr). از میان این نمودارها می‌توان نمودار پیشنهادی Winchester و Floyd (۱۹۷۷) را نام برد. برپایه این نمودار نام‌گذاری، لمپروفیرهای منطقه الماس آندزیت، بازالت و آلکالی‌بازالت است (شکل ۵-B).

جدول ۵- داده‌های تجزیه شیمیایی دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس (استان آذربایجان شرقی) (عنصرهای اصلی برپایه wt% و عنصرهای فرعی برپایه ppm).

Sample No.	A.Z.14	A.Z.5	A.Z.9	A.Z.1	A.Z.2	A.Z.41	A.Z.81	A.Z.91	A.Z.101	A.Z.111	A.Z.141	A.Z.151	A.Z.71
SiO ₂	42.39	42.89	43.74	45.81	44.42	46.97	47.38	47.44	47.68	47.42	48.79	46.89	46.97
TiO ₂	2.57	2.56	2.62	2.31	2.51	2.05	2.16	2.34	2.51	2.43	2.06	2.09	2.05
Al ₂ O ₃	14.70	13.25	13.53	14.48	15.55	16.09	14.89	15.56	15.51	15.49	15.72	16.11	16.09
Fe ₂ O ₃ *	13.50	15.33	14.01	12.81	13.03	12.57	11.49	11.94	12.21	11.89	10.93	11.16	10.88
Fe ₂ O ₃	2.89	2.62	2.16	1.97	2.79	1.67	2.30	1.84	1.88	2.55	2.34	2.39	1.67
FeO	10.60	12.44	11.86	10.84	10.24	9.21	9.19	10.10	10.33	9.34	8.59	8.77	9.21
MnO	0.18	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21	0.19	0.20	0.18
MgO	5.80	8.84	8.83	7.20	5.31	5.94	6.16	5.23	5.13	5.29	5.57	5.58	5.94
CaO	8.29	8.86	8.85	8.49	7.61	8.37	8.65	7.86	7.62	7.32	8.13	8.39	8.37
Na ₂ O	3.63	2.18	2.23	2.35	3.78	3.63	3.58	2.94	2.93	2.96	2.51	2.99	3.63
K ₂ O	2.51	1.92	1.96	2.34	2.58	1.48	1.04	1.88	1.64	3.14	2.76	2.57	1.48
P ₂ O ₅	0.73	0.55	0.56	0.67	0.77	0.56	0.65	0.87	0.92	0.92	0.79	0.76	0.56
LOI	5.70	4.14	2.96	3.34	4.24	2.28	3.32	3.08	3.08	3.05	2.37	2.03	2.63
Total	99.99	100.48	99.22	99.99	99.99	98.43	99.51	99.34	99.94	100.12	99.82	98.77	98.78
Cr	131	303	217	117	184	110	125	84	86	59	103	103	110
Ni	76	150	113	76	109	94	93	84	76	70	78	77	94
Co	0	0	0	0	0	2	1	1	23	3	3	2	2
V	0	0	0	0	0	214	241	258	266	267	241	3	214
Cu	0	0	0	0	0	57	108	45	41	33	37	76	57
Pb	5	4	5	7	5	18	12	11	9	1	9	10	18
Zn	0	0	0	0	0	117	112	100	106	100	90	124	117
W	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.00	19.00	14.00	2.00	1.00	21.00	27.00	34.00
Mo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.00	20.00	20.00	3.00	46.00	15.00	22.00	29.00
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.00	75.00	88.00	1.00	63.00	34.00	49.00	17.00
Rb	90	77	83	77	72	36	28	48	41	62	64	57	36
Ba	1003	795	899	652	536	440	322	325	286	308	281	336	440
Sr	835	602	718	820	664	645	566	756	718	656	805	784	645
Ga	0	0	0	0	0	15	15	16	15	16	14	16	15
Nb	48.9	39.2	44.0	25.5	20.1	1.0	3.0	2.0	1.0	5.0	2.0	4.0	1.0
Zr	223	176	195	213	190	167	151	209	218	195	202	211	167
Y	25	23	24	24	22	17	17	23	23	28	24	24	17
Yb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	1.80	1.80	1.90	1.70	1.80	1.80	1.80
Th	6.70	4.10	5.40	4.35	4.00	2.00	3.00	1.00	1.00	3.00	2.00	1.00	2.00
U	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	4.00	2.00	4.00	5.00	3.00	1.00
La	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.00	23.00	12.00	32.00	75.00	48.00	36.00	21.00
Ce	71.00	56.10	63.55	81.50	48.55	42.00	45.00	23.00	63.00	115.00	92.00	78.00	42.00
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	135.00	182.00	429.00	153.00	165.00	170.00	157.00	135.00

جدول ۶- نرم به دست آمده برای دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس (استان آذربایجان شرقی)

Normative Mineral	A.Z.71	A.Z.151	A.Z.141	A.Z.111	A.Z.101	A.Z.91	A.Z.81	A.Z.41	A.Z.2	A.Z.1	A.Z.9	A.Z.5	A.Z.14
Zircon	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05
Orthoclase	9.11	15.72	16.77	19.14	10.08	11.56	6.40	16.14	15.95	14.34	11.94	11.82	15.77
Albite	27.66	22.96	21.28	25.04	25.26	24.52	30.93	24.24	17.56	19.81	11.88	12.34	10.85
Anorthite	24.42	24.00	24.40	20.59	25.53	25.37	22.66	20.27	18.68	22.89	21.75	21.53	17.53
Nepheline	2.10	1.47	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	4.98	8.55	0.39	4.07	3.99	11.77
Diopside	12.58	11.72	9.92	9.02	6.48	7.95	14.65	8.30	13.14	13.72	18.06	17.10	17.94
Hypersthene	2.70	0.00	12.53	0.00	18.47	13.81	2.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Olivine	16.26	14.67	5.79	15.36	4.25	7.28	13.39	15.36	15.15	19.91	22.82	23.30	15.03
Magnetite	2.52	3.58	3.48	3.80	2.13	2.77	3.46	4.02	4.23	2.96	3.21	3.94	4.45
Ilmenite	4.06	4.11	4.01	4.75	4.95	4.61	4.27	4.80	4.98	4.54	5.10	5.05	5.18
Apatite	1.40	1.87	1.92	2.26	2.27	2.16	1.60	1.99	1.92	1.65	1.38	1.36	1.85
Chromite	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.04	0.03	0.05	0.07	0.03
Total	100.16	100.21	100.20	100.19	100.20	100.15	100.16	100.18	100.26	100.28	100.30	100.29	100.34

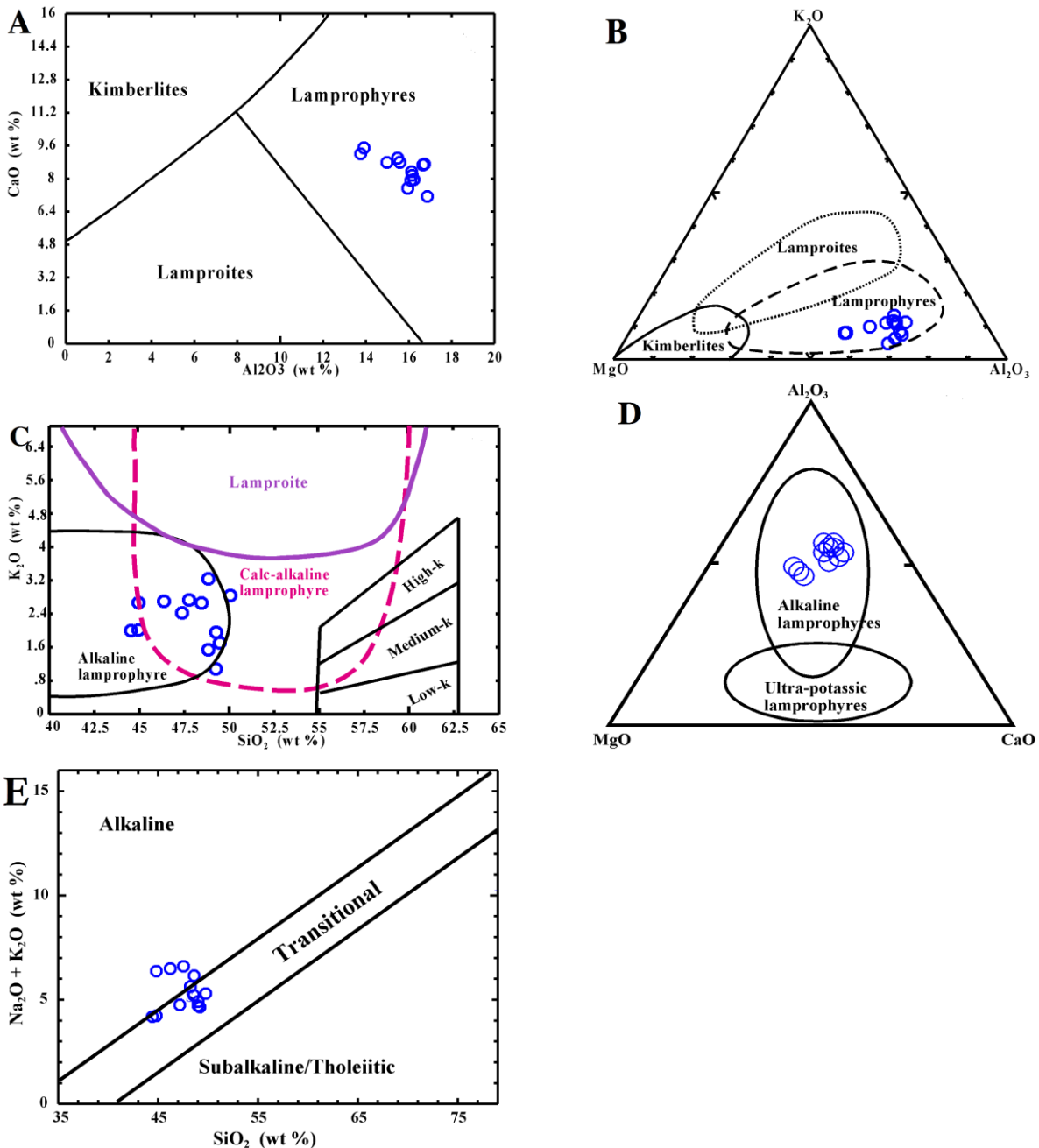


شکل ۵- جایگاه لمپروفیرهای منطقه الماس (استان آذربایجان شرقی) در: (A) نمودار SiO₂ در برابر مجموع آلکالی (Le Bas et al., 1986); (B) نمودار Nb/Y در برابر Zr/TiO₂ (Winchester and Floyd, 1977).

Bergman,) K₂O-MgO-Al₂O₃, (Foley et al., 1987)
 MgO- (Rock, 1991) K₂O در برابر SiO₂, (1987)
 CaO-Al₂O₃ (Rock, 1991) و SiO₂ در برابر
 Na₂O+K₂O (Peccerillo et al., 1979)، دایک‌های
 بررسی شده منطقه الماس، در گستره سنگ‌های
 لمپروفیری و آلکالی جای دارند (شکل ۶).

رده‌بندی و شناسایی سری ماگمایی

نمودارهایی برای شناسایی نوع نمونه‌های لمپروفیری
 منطقه الماس به کار برده شدند که برپایه اکسید
 عنصرهای اصلی باشند. همچنین، نمودارهای رده‌بندی
 که برپایه کاتیون‌ها و عنصرهای کمیاب باشند به کار
 برده شدند. برپایه نمودارهای Al₂O₃ در برابر CaO



شکل ۶- جایگاه لمپروفیرهای منطقه الماس (استان آذربایجان شرقی) در: (A) نمودار CaO در برابر Al_2O_3 (Foley *et al.*, 1987); (B) نمودار سه‌تایی $K_2O-MgO-Al_2O_3$ (Bergman, 1987); (C) نمودار K_2O در برابر SiO_2 (Rock, 1987); (D) نمودار سه‌تایی $MgO-CaO-Al_2O_3$ (Rock, 1991); (E) نمودار سه‌تایی $Na_2O+K_2O-SiO_2$ (Peccerillo *et al.*, 1979)

عنصرهای خاکی نادر در هنگام تبلور کانی‌های گوناگون از ماگماست. در نمودار عنکبوتی بهنجار Sun and () شده به ترکیب گوشته اولیه (McDonough, 1989)، لمپروفیرهای منطقه الماس

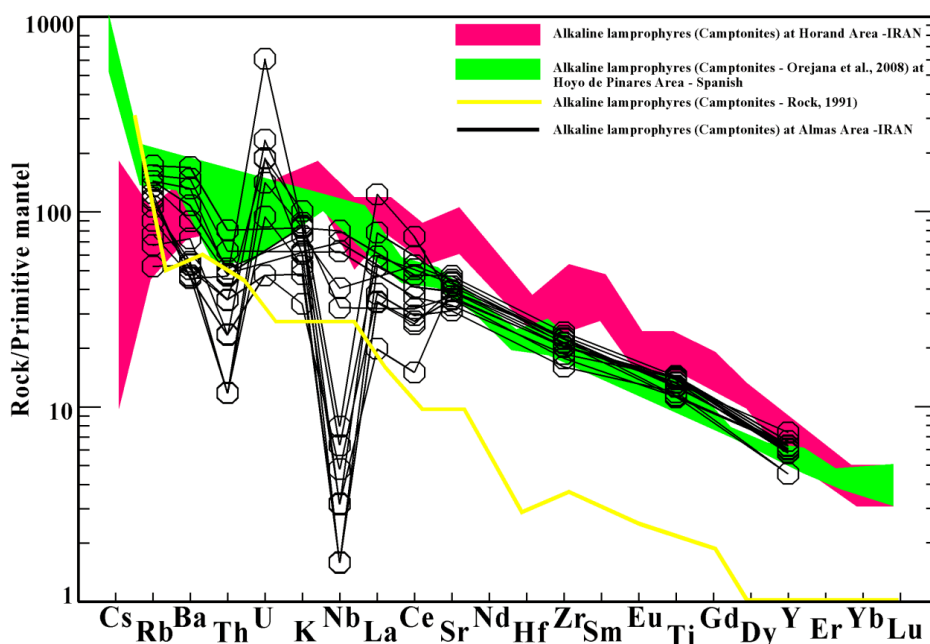
بررسی نمودارهای عنکبوتی: نمودارهای عنکبوتی برای شناسایی خاستگاه سنگ و همچنین، سری‌های ماگمایی کاربرد دارند. این توانمندی مربوط به ضریب انتشار متفاوت

بسیار ناچیز) با مواد پوسته‌ای نیز می‌تواند در پیدایش آنومالی Ta و Nb کارا بوده باشد. با افزایش درجه جدایش بلوری، عنصرهای لیتوفیل درشت‌یون LILE (مانند: Ba و Rb) در مذاب‌های بجامانده تمرکز بیشتری را نشان می‌دهند و پراکندگی این عناصر به فرایندهایی مانند ذوب‌بخشی، آمیزش ماگمایی و هضم نسبت داده می‌شود.

آنومالی مثبت Th در ماگماهای درون‌صفحه‌ای پیامد ذوب‌بخشی کم‌گوشته غنی‌شده است. همچنین، آنومالی مثبت توریم نشان‌دهنده تأثیر آلیش پوسته‌ای است. وجود ماگما با Mg متغیر، Al_2O_3 بیشتر از ۱۵ درصد وزنی و مقدار کم Nb نشانه تحولاتی مانند آلیش هستند (Altherr et al., 2000). آنومالی مثبت U نیز وابسته به آلیش پوسته‌ای است. آنومالی مثبت Pb نشان‌دهنده آلیش ماگما با پوسته قاره‌ای است (Kamber et al., 2002). آنومالی منفی در Nb (در برخی نمونه‌ها) نشان‌دهنده سنگ‌های قاره‌ای است و چه‌بسا می‌تواند نشان‌دهنده مشارکت پوسته در هنگام رویداد فرایندهای ماگمایی باشد. فراوانی عنصرهای LILE که تحرک بالایی دارند، نشان‌دهنده حضور سیال‌های آبدار در محیط پیدایش ماگما و یا دخالت پوسته قاره‌ای در پیدایش ماگماست. رفتار عنصر ناسازگار Y، همانند HREE است و به‌آسانی در ساختار آمفیبول و به مقدار کم در پیروکسن جای می‌گیرد. تهی‌شدگی این عنصر می‌تواند پیامد پدیده جدایش بلوری یا ذوب‌بخشی در ژرفا باشد. بالابودن فراوانی عنصرهای LREE و LILE نشان‌دهنده متاسوماتیسم گوشته غنی‌شده است؛ ازاین‌رو، گوشته متاسوماتیسم‌شده می‌تواند خاستگاه ماگمایی نمونه‌های لمپروفیری شمرده شود (Menzies and Wass, 1983).

(شکل ۷) با سه لمپروفیر آلکالن شناخته‌شده دیگر (لمپروفیرهای گرینلند (Rock, 1991)، اسپانیا (Orejana et al., 2008)، هوراند (Aghazadeh et al., 2015)) مقایسه و بررسی شده‌اند. این نمودار برپایه کاهش ناسازگاری عنصرهای LILE و HFSE در برابر ترکیب گوشته اولیه بهنجار شده است و نشان می‌دهد که عنصرهای کمیاب خاکی سبک (LREE) و عنصرهای کمیاب خاکی سنگین (HREE) در این چهار منطقه غنی‌شدگی پیدا کرده‌اند. آنومالی مثبت و آشکار برخی عنصرها (مانند: Ba, Rb, Th, K, La و U) در دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس و سه منطقه دیگر نشانه آلیش با مواد پوسته‌ای است. برپایه Foley و Wheller (۱۹۹۰)، آنومالی منفی Nb و تهی‌شدگی از میزان Ti، شاید نشان‌دهنده فرایند آلیش با مواد پوسته‌ای در پیدایش دایک‌های منطقه الماس باشد. Foley و Wheller (۱۹۹۰) تهی‌شدگی Ti و آنومالی عنصرهای TNT در گوشت‌های را پیامد انباشتگی این عناصر درون شبکه کانی‌هایی مانند تیتانیت، روتیل و ایلمنیت می‌دانند.

به باور Foley و Wheller (۱۹۹۰)، Hofman (۱۹۹۷) و Altherr و همکاران (۲۰۰۰)، در گوشته بالایی، آمفیبول میزبان بسیار مهمی برای عنصرهایی مانند Nb و Ta است که شاید آنومالی منفی Nb و Ta را کنترل کند. بالآمدن سیال‌های در گوشته، پیدایش آمفیبول متاسوماتیک را در پی داشته است. این آمفیبول‌ها Ta و Nb را در شبکه خود جای داده و آنومالی منفی Nb و Ta را در سیال‌های بجامانده پدید آورده‌اند. در گوشت‌های و در پی صعود سیال‌های بجامانده، مذاب بخشی ساخته شده است. پس در سنگ‌های پدیدآمده از مذاب بخشی، آنومالی منفی Ta و Nb دیده خواهد شد. آلیش ماگمای بازیک (به مقدار

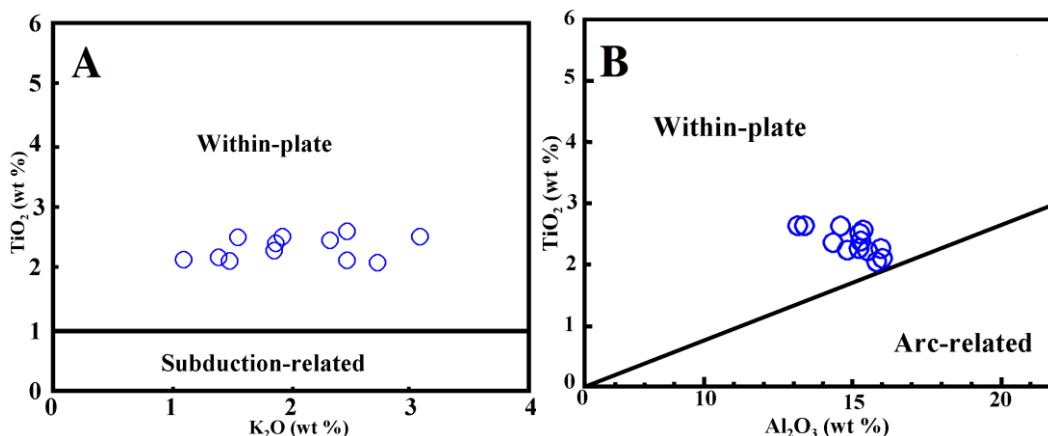


شکل ۷- لمپروفیرهای منطقه الماس (استان آذربایجان شرقی) در نمودار عنکبوتی بهنجار شده در برابر ترکیب گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) و مقایسه آنها با سه لمپروفیر آکالن شناخته‌شده دیگر از گرینلند (Rock, 1991)، اسپانیا (Orejana et al., 2008) و هوراند (Aghazadeh et al., 2015)

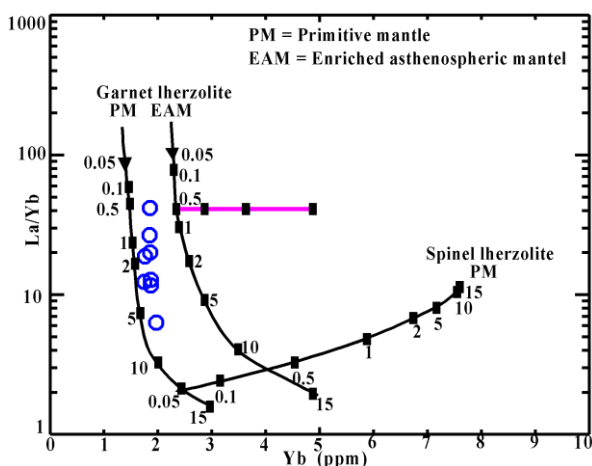
شناسایی پهنه زمین‌ساختی

سرشت ماگمای سازنده دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس آکالن است. به باور Muller و همکاران (۱۹۹۳)، زمین‌شیمی لمپروفیرها می‌تواند نشان‌دهنده پهنه زمین‌ساختی پیدایش آنها باشد. در اینباره

نمودارهای بسیاری نیز پیشنهاد شده‌اند. مقدار TiO_2 در سنگ‌های بررسی‌شده نشانه نبود وابستگی میان این سنگ‌ها با پهنه‌های فرورانش، کمان‌های پهنه‌های قاره‌ای و اقیانوسی و وابستگی آنها به پهنه‌های درون‌صفحه‌ای است (شکل ۸).



شکل ۸- دایک‌های لمپروفیری منطقه الماس (استان آذربایجان شرقی) در نمودارهای شناسایی پهنه زمین‌ساختی ماگما (Muller et al., 1993)



شکل ۹- جایگاه نمونه‌های لمپروفیری منطقه الماس (استان آذربایجان شرقی) در نمودار Yb در برابر La/Yb (Nédli. and Tóth, 2007)

برپایه بررسی‌های انجام شده و فراوانی فنوکریست‌ها در لمپروفیرها می‌توان دریافت که ماگمای سازنده لمپروفیرها با هیچ ماگمای کامل و منفردی همخوانی نشان نمی‌دهد (Bowen, 1928)؛ اما گمان می‌شود که در پیدایش بلورهای درشت (فنوکریست‌های آمفیبول تا ۳ سانتیمتر)، شرایط فوق‌بحرانی و سیال‌های گرمایی دخالت داشته‌اند (Bishop, 1964). این سیال‌ها چه‌بسا به دست فازهای گازی متاسوماتیسمی ساخته شده باشند که از ذوب کانی‌های گوشته پدید آمده و در پی فرایند فلوییدیزاسیون و مکانیسم‌های نفوذ عادی، جانشین کانی‌ها شده‌اند (Bailey, 1987).

به احتمال بالا، گوناگونی کانی‌شناسی در لمپروفیرها نشان‌دهنده ماگمایی هیبریدی و بلورهایی از خاستگاه‌های گوناگون است. در سنگ‌زایی اختصاصی ماگماهای لمپروفیری (برپایه نمودارها)، ماگمای گروه M_1 (با اندکی آغستگی با پوسته)، ماگمای سازنده لمپروفیرهای منطقه الماس دانسته شده است.

سنگ‌زایی

در این بخش، سرشت ماگمایی مهم نیست و لمپروفیرها دارای ترکیب مشابه بازالت به‌شمار می‌روند. ماگمای لمپروفیری نخستین دارای برخی ویژگی‌هاست (مانند: $Mg\# = 65-80$, $Sc = 15$, $Co = 25-80 ppm$, $Cr = 200-500 ppm$, $Ni = 90-700 ppm$, $Ni = 68-94 ppm$; $Co = 1$) (Rock, 1991). برپایه داده‌های تجزیه‌های شیمیایی ($Cr = 59-125 ppm$; $Mg\# = 25-32$, $23 ppm$) نمی‌توان سرشت دایک‌های منطقه الماس را مذاب‌های استنوسفری برشمرد که مستقیماً از پلوم‌های گوشته‌ای جدا شده‌اند. برپایه ویژگی‌هایی مانند گوناگونی کانی‌شناسی و دیگر ویژگی‌های شیمیایی (مانند: افزایش ناگهانی SiO_2 از مذاب (Xu *et al.*, 2007) و آنومالی مثبت Pb که نشانه دخالت سنگ‌های پوسته‌ای است) چنین می‌نماید که پیدایش لمپروفیرهای الماس پیامد آرایش مذاب‌های بازیک آلکالن و سنگ‌های پوسته‌ای باشد. برای بررسی و ارزیابی این پیشنهاد، مقدار REE (نسبت بالای La/Yb با مقدار کم عنصرهای HREE) دیده‌شده در لمپروفیرهای منطقه الماس، با دسته مودال منحنی‌های مذاب اسپینل‌لرزلولیت و گارنت‌لرزلولیت مقایسه شدند (Nédli. and Tóth, 2007). درجه ذوب‌بخشی از گوشته‌ای با خاستگاه گارنت‌لرزلولیت و تبلور کسری بزرگ‌تر از ۶۰-۴۰ درصد دنبال می‌شود (Chalapathi *et al.*, 2012)، که بخش بالای خط موازی با محور Yb (خط صورتی‌رنگ در شکل ۹) را شامل می‌شود. برپایه جای‌گرفتن لمپروفیرها در زیر خط و مقدار بالای نسبت La/Yb ، خاستگاه گرفتن ماگمای سازنده لمپروفیرها از گوشته گارنت‌لرزلولیت نفی شده و خاستگاه آن از گوشته اسپینل‌لرزلولیتی تأیید می‌شود (شکل ۹).

نتیجه‌گیری

دایک‌های لمپروفیری شمال‌خاوری روستای الماس (شمال‌باختری استان آذربایجان شرقی) در سازند کهر (به سن پرکامبرین) نفوذ کرده‌اند. برپایه بررسی‌های سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی، لمپروفیرهای یادشده در گروه لمپروفیرهای کامپتونیت با سرشت آکالن رده‌بندی می‌شوند. بافت اصلی دایک‌های کامپتونیتی منطقه الماس پورفیریتیک بوده و درشت بلورهای شکل‌دار آمفیبول، بیوتیت، الیوین، پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن از کانی‌های اصلی سازنده آنها هستند. در مقیاس میکروسکوپی، درشت‌بلورهای شکل‌دار آمفیبول با حاشیه کمابیش خورده‌شده (۴۰-۲۰ درصد حجمی)، بیوتیت (۲۵-۲۰ درصد حجمی)، پلاژیوکلاز (۲۰-۱۵ درصد حجمی)، کلینوپیروکسن (<۲۰ درصد حجمی) و الیوین (<۱ درصد حجمی) از کانی‌های اصلی سازنده این سنگ‌ها هستند. در نمودار عنکبوتی، آنومالی مثبت و آشکار برخی عناصرها (مانند: Th, Rb, Ba, K, U و La) دیده می‌شود. آنومالی منفی TNT (Ta, Nb, Ti) دایک‌ها، چه‌بسا نشان‌دهنده فرایند

آلایش با مواد پوسته‌ای در هنگام پیدایش ماگمای سازنده آنهاست. آنومالی مثبت Pb نشان‌دهنده آلایش ماگما با پوسته قاره‌ای است. آنومالی منفی Nb (در برخی نمونه‌ها) نشان‌دهنده سنگ‌های قاره‌ای و چه‌بسا مشارکت پوسته در هنگام فرایندهای ماگمایی است. برپایه ویژگی‌ها و یافته‌های به‌دست‌آمده (مانند: گوناگونی کانی‌شناسی و دیگر ویژگی‌های شیمیایی، مانند افزایش ناگهانی SiO₂ از مذاب)، لمپروفیرهای الماس چه‌بسا از آلایش مذاب‌های آکالن و سنگ‌های پوسته‌ای پدید آمده‌اند. ماگمای گروه M₁ ماگمای سازنده لمپروفیرهای آکالن دانسته شده است. برپایه مقدار REE دیده‌شده در لمپروفیرهای منطقه و مقایسه آنها با دسته مودال منحنی‌های مذاب اسپینل - و گارنت‌لرزلولیت، خاستگاه ماگمای سازنده لمپروفیرها از نوع اسپینل‌لرزلولیت بوده است.

سپاس‌گزاری

نگارندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه تبریز برای پشتیبانی‌های مالی بسیار سپاس‌گزار هستند.

منابع

- Aghanabati, A. (2004) Geology of Iran. Geological survey of Iran, Tehran (in Persian).
- Aghazadeh, M., Prelević, D., Badrzadeh, Z., Braschi, E., Bogaard, P. V. D. and Conticelli, S. (2015) Geochemistry, Sr-Nd-Pb isotopes and geochronology of amphibole- and mica-bearing lamprophyres in northwestern Iran: Implications for mantle wedge heterogeneity in a paleo-subduction zone. *Lithos* 216(216): 352-369.
- Altherr, R., Holl, A., Hegner, E., Langer, C. and Kreuzer, H. (2000) High- potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides, northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany). *Lithos* (50): 51-73.
- Azimzadeh, Z., Jahangiri, A., Zarrinkoub, M. H., Sacconi, E. and Dilek, Y. (2014) Anorthositic relations with Misho mafic rocks and using age as a guide to identify the Misho mafic rocks paleotectonics (NW of Iran). *Petrology* (20): 53-70.

- Bailey, D. K. (1987) Mantle metasomatism – perspective and prospect. In: Alkaline igneous rocks (Eds. Fitton, J. G. and Upton, B. G. J.) special publications, 30: 1-13. Geological Society, London.
- Bergman, S. C. (1987) Lamproites and other potassium-rich igneous rocks: a review of their occurrence, mineralogy and geochemistry. In: Alkaline igneous rocks (Eds. Fitton, J. G. and Upton, B. G. J.) special publications, 30: 103-119. Geological Society, London.
- Bishop, A. C. (1964) Petrogenesis of hornblende – mica lamprophyre dykes at south Hill Jersey. *Geological Magazine* 101(04): 302 – 313.
- Bowen, N. L. (1928) The evolution of igneous rocks. Princeton University Press, Princeton.
- Chalapathi, Rao, N. V., Dharma Rao, C. V. and Das, S. (2012) Petrogenesis of lamprophyres from Chhota Udepur area, Narmada rift zone, and its relation to Deccan magmatism. *Journal of Asian Earth Sciences* (45): 24–39.
- Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J. (1991) An Introduction to the rock – forming minerals. Longman, London.
- Droop, G. T. R. (1987) A general equation for estimating Fe⁺³ concentrations. in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine* (51): 431-435.
- Fathi Sadi, M. (2012) Geochemistry and petrogenesis rhyolitic rocks from of Tasuj-East Azarbaijan NW Iran). MSc thesis, University of Tabriz, Tabriz, Iran (in Persian).
- Foley, S. F. and Wheller, G. E. (1990) Parallels in the origin of the geochemical signature of island arc volcanic rocks and continental potassic igneous rocks, The role of titanites. *Chemical Geology* (85): 1-18.
- Foley, S. F., Venturelli, G., Green, D. H. and Toscani, L. (1987) The ultrapotassic rocks: characteristics, classification, and constraints for petrogenetic models. *Earth-Science Reviews* (24): 81-134.
- Gill, R. (2010) *Igneous rocks and processes, a practical guide*. 1st Edition, Blackwell Publishing, Oxford.
- Hey, M. H. (1954) A new review of the chlorites. *Mineralogical Magazine* (30): 277-292.
- Hofman, A. W. (1997) Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism. *Nature* (385): 219–229.
- Kamber, B. S., Ewart, A., Collerson, K. D., Bruce, M. C. and McDonald, G. D. (2002) Fluid-mobile trace element constraints on the role of slab melting and implications for Archaean crustal growth models. *Contributions to Mineralogy and Petrology* (144): 38-56.
- Khodabandeh, A. A. and Amini-Fazl, A. (1993) Geological Tasuj Map 1:1000000, No. 5066. Geological Survey of Iran, Tabriz.
- Krmíček, L. (2010) Pre-Mesozoic lamprophyres and lamproites of the Bohemian massif. In: Lamprophyres and related mafic hypabyssal rocks (Eds. Awdankiewicz, M. and Awdankiewicz, H.) *Special Papers*, 37: 37-46. *Mineralogia*.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. and Zanettin, B. (1986) A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology* (27): 745-750.
- 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. and Mandarino, J. (1997) Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on new mineral and mineral names. *Mineralogical Magazine* (61): 295-321.

- Menzies, M. A. and Wass, S. Y. (1983) CO₂ and LREE-rich mantle below eastern Australia: a REE and isotopic study of alkaline magmas and apatite-rich mantle xenoliths from the southern highlands province, Australia. *Earth and Planetary Science Letters* (65): 287-302.
- Mitchell, J. G. and Roberts, D. (1986) Ages of lamprophyres from Ytteroy and Lerkehaug, near Steikjer, central Norwegian Caledonides. *Norsk Geologisk Tidsskrift* (66): 255-262.
- Morimoto, N. (1988) The nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine* (52): 535-550.
- Morimoto, N. and Kitamura, M. (1983) Q-J diagram for classification of pyroxenes. *Journal of Mineralogy and Petrology Economic Geology* (78): 141 (in Japanese).
- Muller, D. and Groves, D. I. (1993) Direct and indirect associations between potassic igneous rocks, shoshonites and gold copper deposits. *Ore Geology Reviews* (8): 383-406.
- Muller, D., Stumpfl, E. F. and Taylor, W. R. (1992) Shoshonitic and alkaline lamprophyres with elevated Au and PGE Concentrations from the Kreuzeck mountains, Eastern Alps, Austria. *Mineralogy and Petrology* (46): 23-42.
- Nabavi, M. H. (1976) An Introduction to the Geology of Iran. Geological survey of Iran, Tehran: 109 p. (in Persian).
- Nédli, Z. and Tóth, T.M. (2007) Origin and geodynamic significance of Upper Cretaceous lamprophyres from the Villány Mts (Hungary). *Mineralogy and Petrology* (90): 73-107.
- Orejana, D., Villaseca, C., Billstrom, K. and Paterson, B. A. (2008) Petrogenesis of Permian alkaline lamprophyres and diabases from the Spanish Central System and their geodynamic context within western Europe. *Contributions to Mineralogy and Petrology* (156): 477-500
- Peccerillo, E. M., Hustin-Visentin, E., Zanettin, B., Joron, J. L. and Treuil, M. (1979) Geodynamic evolution from plateau to rift: Major and trace element geochemistry of the central eastern Ethiopian plateau volcanics. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie- Abhandlungen* 158: 139-179.
- Pirmohammadi Alishah, F. (2005) Study of petrology and petrography volcanic rock, Harris village in the mountains of Misho (Shabestar city). MSc thesis, University of Tabriz, Tabriz, Iran (in Persian).
- Rock, N. M. S. (1991) Lamprophyres. Blackie, Glasgow.
- Rock, N. M. S. (1987) The nature and origin of lamprophyres: an overview. In: Alkaline igneous rocks (Eds. Fitton, J. G. and Upton, B. G. J.) special publications, 30: 191-226. Geological Society, London.
- Shahzeidi, M. (2013) Geochemistry and Petrology of Granitoids of South-West Marand (south of Eishabad and Pribala Villages) - North-West Iran. PhD thesis, University of Tabriz, Tabriz, Iran (in Persian).
- Shahzeidi, M., Moayyed, M., Arai, Sh., Pirnia, T. and Ahmadian, J. (2012) Geology and geochemistry of Mishu S-type granitoid NW Iran. *Petrology* (11): 111-126.
- Stöcklin, J. (1968) Structural history and tectonics of Iran. A review. *American Assoc Petroleum Geologists Bulletin* 52(7): 1229-1285.
- Streckeisen, A. (1980) Classification and nomenclature of volcanic rocks, Lamprophyres, carbonatites and melilitic rocks. *Geology Magazine* (7): 331-335.
- Sun, S. S. and McDonough, W. F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts, implications for mantle compositions and processes. In: Magmatism in the ocean basins (Eds. Saunders, A. D. and Norry, M. J.) special publications, 42: 313-345. Geological Society, London.

- Torabi, G. (2009) Late Permian lamprophyric magmatism in north-east of Isfahan province, a mark of rifting in the Gondwana land. *Comptes Rendus Geoscience* 341: 85-94.
- Vahedolein, S. (2013) Petrology and petrogenesis of Lamprophyric dikes in Almas-NE of Tasuj. MSc thesis, University of Tabriz, Tabriz, Iran (in Persian).
- Von Gümbel, C. W. (1874) Die paläolithischen eruptivgesteine des fichtelgebirges. Franz, München.
- Whitney D. L. and Evans B. W. (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* (95): 185-187.
- Winchester, J. A. and Floyd, P. A. (1977) Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* (20): 325-342.
- Xu, X. W., Zhang, B. L., Qin, K. Z., Mao, Q. and Cai, X. P. (2007) Origin of lamprophyres by the mixing of basic and alkaline melts in magma chamber in Beiya area, western Yunnan, China. *Lithos* 99(33): 9-36.