

Petrography and Geochemistry of the Javaherdasht basalts (east of Guilan Province): The investigation of the role of crystal fractionation and crustal contamination in the magmatic evolution

Sh. Haghazari¹, S. Malakotian²

1-Department of Geology, Faculty of Science, Islamic Azad University, Lahijan Branch

2- Department of Geology, Islamic Azad University, Damavand Branch

E-mail: Sh_haghazari@yahoo.com

(Received: 19/8/2008, in revised form: 11/1/2009)

Abstract: The Javaherdasht Basalts show compositional range from olivine basalts to quartz basaltic andesites. Petrographic studies indicate that the differentiation of clinopyroxene and olivine minerals has main role for lithologic variety of the basalts. The corrosion golf, crenated margins and lack of the same colour in the clinopyroxene phenocrysts margins with matrix Pyroxene grains express a nonequilibrium and are petrographic features for crustal contamination of the basalts. The positive correlation CaO , $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ and Cr with $\text{Mg}^\#$ and $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ with Sc and the negative correlation Al_2O_3 with $\text{Mg}^\#$ are geochemical characters for the differentiation of clinopyroxene and olivine in the magmatic evolution of the area. The high ratios of Ba/Zr and Pb/Nd and low ratio of Ce/Pb and positive correlation of SiO_2 and Rb with $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and negative correlation of $\text{Nd}-\text{Sr}$ isotopes display the contamination of these basalts with continental crust.

Keywords: *basalts, Geochemistry, Crustal contamination, Nd-Sr isotopes, Javaherdasht, Guilan.*



سنگ‌شناختی و ژئوشیمی بازالت‌های جواهردشت (شرق گیلان): بررسی نقش فرایندهای تفریق بلورین و آلاینش پوسته‌ای در سیر تکامل ماگمایی

شهرز حق نظر^۱، سارا ملکوتیان^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند

پست الکترونیکی: Sh_haghnazar@yahoo.com

(دریافت مقاله: ۸۷/۵/۲۹، نسخه نهایی: ۸۷/۱۰/۲۲)

چکیده: بازالت‌های جواهر دشت تنوع ترکیبی بین اولیوین بازالت‌ها تا آندزیت‌های بازالتی کوارتزدار نشان می‌دهند. بنابر بررسی‌های سنگ‌شناختی تفریق کانی‌های کلینوپیروکسن و اولیوین عامل اصلی تنوع سنگ‌شناسی بازالت‌های منطقه است. خوردگی خلیجی و حاشیه‌های دندانه‌دار و ناهم رنگ بودن حاشیه فنوکریست‌های کلینوپیروکسن با دانه‌های پیروکسن خمیره، بیانگر یک حالت عدم تعادل و از شواهد سنگ‌شناختی آلاینش پوسته‌ای این بازالت‌هاست. همبستگی‌های مثبت CaO و $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ و Cr با $\text{Mg}^\#$ و $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ با Sc و همبستگی منفی Al_2O_3 با $\text{Mg}^\#$ از شاخصه‌های ژئوشیمیایی تفریق کلینوپیروکسن و اولیوین در سیر تکامل ماگمایی سنگ‌های منطقه است. نسبت‌های بالای Ba/Zr ، Pb/Nd و نسبت پایین Ce/Pb و همبستگی مثبت SiO_2 و Rb با $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ و همبستگی منفی ایزوتوپ‌های $\text{Nd}-\text{Sr}$ ، حکایت از آلاینش این بازالت‌ها با پوسته قاره‌ای دارد.

واژه‌های کلیدی: بازالت، ژئوشیمی، آلاینش پوسته‌ای، ایزوتوپ‌های $\text{Nd}-\text{Sr}$ ، جواهردشت، گیلان.

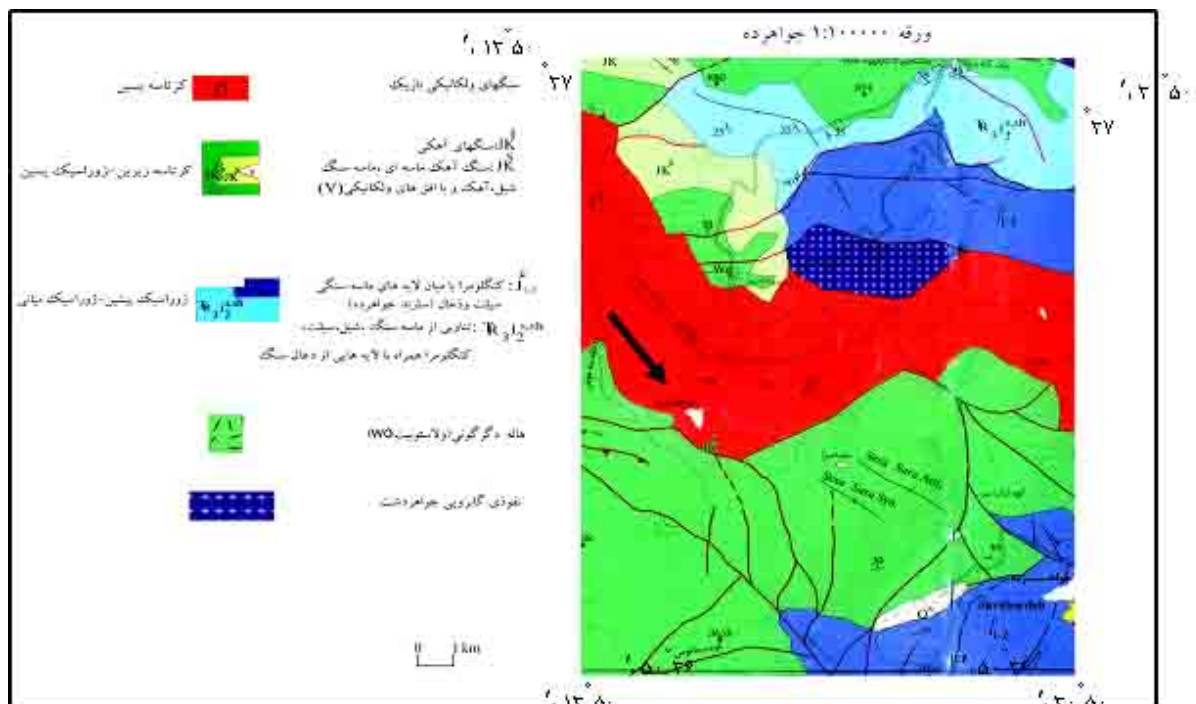
مقدمه

منطقه جواهردشت در جنوب خاوری شهرستان رودسر واقع در خاور استان گیلان، در موقعیت 53° ، 36° عرض شمالی و $22'$ ، $50'$ طول شرقی قرار گرفته است. گستره مورد بررسی در گوشه شمال خاوری ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ جواهرده واقع شده است (شکل ۱). این منطقه در تقسیم بندی‌های زون‌های زمین ساختی ایران در دامنه شمالی بخش باختری زون البرز مرکزی واقع شده است. بیشتر رخنمون‌های سنگی منطقه سنگ‌های تهنشتی و آذرین وابسته به دوران مزوزوئیک هستند. بازالت‌های منطقه جواهردشت بخشی از رخنمون گسترده بازالت‌ها را شامل می‌شوند که روی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ جواهرده با سن

کرتاسه پسین مشخص شده‌اند.

در بررسی‌های سنگ‌شناسی، فرایندهایی چون تبلور بخشی، اختلاط ماگمایی، هضم و آلاینش، ماگماهای تشکیل شده در خاستگاه را ضمن صعود تحت تأثیر قرارداده و باعث تغییراتی در ترکیب شیمیایی ماگماهای مادر می‌شوند. این موضوع به درک فرایندهای درگیر در تفریق ماگماهای اولیه تعبیر می‌شود [۱].

در این کار پژوهشی با استفاده از شواهد سنگ‌شناختی، ژئوشیمیایی و ایزوتوپی به بررسی نقش تبلور بخشی و آلاینش پوسته‌ای به عنوان دو فرایند درگیر در تفریق ماگمای اولیه بازالت‌های منطقه جواهردشت می‌پردازیم.



شکل ۱ بخشی از گوشه شمال خاوری ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ جواهرده که گستره مورد بررسی در روی آن واقع شده است.

روش مطالعه

در خلال بررسی‌های صحرایی از بخش‌های مختلف رخنمون-های بازالتی منطقه، جمعاً در حدود ۵۰ نمونه انتخاب و از آن‌ها مقطع نازکی تهیه و مورد بررسی سنگ‌شناختی قرار گرفتند. سپس عناصر اصلی و جزئی ۱۲ نمونه در آزمایشگاه XRF(MAGIX-PRO) سازمان زمین‌شناسی کشور تجزیه شدند (جدول ۱).

مقادیر نسبت‌های ایزوتوپی $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ و $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ پنج نمونه از بازالت‌های جواهردشت نیز در آزمایشگاه ایزوتوپی دانشگاه کارلتون اوتاوا در کانادا مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند (جدول ۲).

سنگ نگاری

با بررسی‌های میکروسکوپی صورت گرفته بر روی نمونه‌های برداشت شده، مجموعه‌های سنگی زیر شناسایی شدند:

۱- اولیوین بازالت‌ها

۲- اولیوین بازالت‌های آندزیتی

۳- آندزیت‌های بازالتی و بخش‌های تفریق یافته‌تر

۴- دلریت‌ها و اولیوین دلریت‌ها که بیشتر به صورت دایک دیده می‌شوند.

۵- برش‌های آتشفشانی، توف-برش و بخش‌های جوش خورده. بافت غالب اولیوین بازالت‌های منطقه پورفیریک با خمیره میکروولیتی و تجمعی است. فنوکریست غالب موجود در این سنگ‌ها تیتان اوزیت است که دارای ساختار منطقه‌ای هم مرکزند به نحوی که یک حاشیه قهوه‌ای تا قهوه‌ای متمایل به بنفش در آن به خوبی دیده می‌شود (شکل ۲، ۳ و ۴). این حاشیه در نتیجه اضافه شدن Ti و Al به سبب کاهش فشار و عمق تشکیل می‌شود [۲]. چنین ساختار منطقه‌ای شاخص، نشان از آن دارد که هسته چنین پیروکسن‌هایی یا فاقد تیتان-اند و یا از تیتان فقیرند. ولی از مرکز به سمت حاشیه با افزایش دائمی Ti همراه بوده به نحوی که حاشیه قهوه‌ای تا قهوه‌ای متمایل به بنفش حکایت از محتوای بالای Ti دارد [۲]. تغییرات شیمیایی هسته و حاشیه، به عنوان مثال مقادیر بالای TiO_2 در حاشیه نشان از کاهش فشار نرمال طی روند تفریق یک ماگمای قلیایی بازالت دارد [۳]، و این منطقه بندی بر پایه واکنش ناقص با باقیمانده مذاب در حال تغییر ترکیب، قابل تفسیر

است. برخی از تیتان اوژیت‌ها، خوردگی خلیجی و حاشیه تعادل هستند (شکل ۴).
دندانه‌دار نشان می‌دهند. که این پدیده‌ها بیانگر یک حالت عدم

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی بازالت‌های جواهردشت، مقادیر اکسیدهای اصلی برحسب درصد وزنی و عناصر فرعی برحسب Ppm

نمونه	JB16	JB25	JB13	JB8	JB10	JB3	JB5	JB22	JB17	JB2	JB4	JB27
SiO ₂	۴۸,۲۹	۴۸,۳۰	۴۸,۷۷	۵۲,۲۸	۴۸,۲۴	۴۹,۰۲	۴۵,۹۸	۴۹,۶۹	۴۸,۲۳	۵۰,۲۲	۴۶,۱۷	۴۸,۶۳
Al ₂ O ₃	۱۵,۴۲	۱۳,۳۴	۱۷,۶۹	۱۵,۳۹	۱۵,۸۷	۱۶,۱۱	۱۲,۵۴	۱۵,۳۴	۱۲,۶۷	۱۴,۱۶	۱۳,۱۳	۱۵,۰۵
Fe ₂ O ₃	۱۱,۹۲	۱۲,۲۱	۱۱,۰۲	۱۱,۲۸	۱۱,۶۹	۱۲,۱۵	۱۲,۲۷	۱۱,۴۹	۱۱,۶۳	۱۱,۴۳	۱۱,۷۸	۱۳,۵۴
MgO	۴,۸۹	۷,۷۳	۴,۶۱	۴,۷۶	۶,۴۴	۳,۷۵	۹,۴۲	۴,۷۹	۸,۹۴	۶,۵۷	۸,۷۶	۴,۲۵
CaO	۸,۹۱	۸,۵۷	۹,۳۷	۶,۴۹	۹,۵۱	۸,۵۶	۱۰,۲۷	۸,۱۳	۹,۳۰	۹,۶۷	۱۱,۰۸	۸,۷۲
Na ₂ O	۲,۲۵	۲,۲۵	۲,۳۵	۲,۳۹	۲,۶۴	۲,۳۳	۱,۷۰	۱,۹۴	۲,۲۰	۲,۱۰	۱,۸۲	۲,۸۴
K ₂ O	۲,۴۳	۱,۸۷	۱,۷۰	۲,۲۹	۰,۸۲	۳,۲۷	۱,۷۰	۳,۳۹	۱,۷۳	۲,۴۷	۱,۵۹	۲,۱۶
MnO	۰,۱۳	۰,۱۳	۰,۱۱	۰,۱۳	۰,۱۲	۰,۱۳	۰,۱۴	۰,۱۴	۰,۱۴	۰,۱۲	۰,۱۳	۰,۱۵
TiO ₂	۱,۱۰	۱,۱۸	۰,۹۷	۰,۹۷	۰,۹۴	۱,۱۷	۰,۷۸	۰,۹۸	۱,۰۳	۰,۹۵	۰,۸۴	۱,۱۹
P ₂ O ₅	۰,۳۵	۰,۲۲	۰,۲۴	۰,۲۲	۰,۲۲	۰,۳۶	۰,۲۸	۰,۲۹	۰,۳۸	۰,۲۱	۰,۲۳	۰,۲۸
Mg [#]	۴۶,۱	۵۵,۸	۴۵,۸	۴۴	۵۱,۷	۳۷,۵	۶۰,۵	۴۴	۶۱,۱	۵۳,۳	۶۰	۳۸,۴
L.O.I.	۳,۳۴	۳,۶۹	۲,۶۸	۳,۳	۳,۰۵	۲,۵۸	۴,۲۳	۳,۴۵	۳,۱۱	۱,۷۷	۳,۹۴	۲,۸۷
Sn	۲,۴	۲,۴	۲,۳	۲,۷	۲,۳	۲,۲	۲,۵	۲,۲	۲	۲,۵	۲,۱	۲,۲
Th	۲,۲	<۲	۳,۹	<۲	۲,۹	<۲	۲,۱	<۲	۴	<۲	<۲	<۲
V	۲۵۹,۲	۲۳۲,۸	۲۲۱,۹	۲۰۵,۸	۲۰۳,۲	۲۴۲,۱	۲۲۶,۳	۲۳۶,۶	۲۰۰,۵	۲۴۵	۲۴۸,۸	۲۶۸,۲
Nb	۱۲,۹	۱۱,۱	۱۰,۲	۱۳,۵	۱۲,۵	۱۳,۵	۷,۶	۱۱,۷	۱۲,۱	۸,۵	۶	۱۳,۳
Ba	۳۵۷,۱	۵۴۰	۳۹۱,۷	۴۹۹,۳	۲۵۳,۵	۳۷۵,۸	۲۶۹	۳۹۸,۸	۲۹۸,۳	۳۸۸,۴	۲۹۰,۵	۳۸۰,۱
Ce	۴۰,۲	۴۸,۴	۳۷,۵	۵۱	۳۱,۹	۳۵,۹	۳۵,۱	۳۸,۳	۳۳	۳۹,۳	۳۲	۳۵
Hf	۷,۲	۵,۵	۴,۶	۸,۸	۴,۴	<۴	۴,۶	۷,۲	۸,۱	۱۱,۳	۸,۵	۵,۸
Pb	۸,۴	۹,۲	۸,۱	۱۷,۷	۷,۸	۸,۲	۸,۱	۱۰,۱	۷,۸	۷,۸	۸,۲	۸,۶
Nd	۳۷	۴۳,۷	۷,۳	۱۸,۲	۱۵	۳۱,۲	۲۸	۱۱,۴	۲۲,۱	۱۸,۲	۱۲,۶	۳۸,۹
Ni	<۵	۸	<۵	۶,۹	<۵	<۵	۱۲۹,۴	۱۲,۹	۱۱۸,۲	۳۵,۵	۱۱۵,۵	<۵
Rb	۳۹,۸	۵۹,۲	۵۱,۱	۷۱,۸	۲۸,۹	۷۱,۴	۳۹,۳	۶۹,۱	۴۸,۷	۵۰,۹	۴۳,۸	۳۹,۳
Sr	۶۰۰,۲	۵۷۹,۲	۸۱۷,۲	۵۹۴,۱	۷۱۵,۹	۶۸۷,۹	۵۰۹,۷	۶۴۲,۶	۵۱۳,۳	۶۳۹,۵	۵۶۸,۳	۶۱۲,۱
Y	۳۱	۳۱,۷	۲۹,۵	۳۷,۹	۲۴,۷	۳۴,۳	۲۷	۳۴,۲	۳۱,۴	۳۰,۲	۲۷,۶	۳۰,۳
Cr	۲۸,۸	۹۲,۳	۱۵,۷	<۱۰	۴۱,۵	<۱۰	۳۰۷,۸	۴۶,۹	۲۲۱,۳	۱۴۱	۳۲۸,۷	۱۹,۵
Zr	۱۴۰,۹	۱۳۱,۸	۱۵۳,۶	۱۵۸,۳	۱۵۱,۸	۱۵۴,۳	۱۱۴	۱۵۳,۳	۱۳۵,۶	۱۳۷,۴	۱۱۷,۵	۱۴۸,۱
Tb	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱,۲
Ta	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵
Eu	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳
Sc	۲۷,۵	۳۰,۵	۲۶,۵	۲۵,۱	۲۹,۳	۲۷,۶	۲۹,۱	۲۷	۲۶,۵	۳۱,۲	۳۲,۳	۲۶,۶
Cu	۱۲۳,۴	۸۳,۱	۱۱۲,۵	۵۴,۹	۴۷,۶	۱۳۴,۸×	۱۲۰,۸	۱۲۸,۸	۹۷,۱	۱۴۱,۱×	۱۲۴,۹	۱۴۸,۷×
Co	۳۷,۷	۴۱,۱	۳۵	۳۰,۴	۳۸	۳۸,۹	۴۲,۲	۳۳,۹	۳۷	۳۸	۳۹,۷	۴۳,۹
Zn	۸۶,۱	۱۱۷,۶	۹۷,۹	۲۴۷,۵×	۸۰	۹۹,۱	۸۸,۱	۱۰۴	۹۴,۵	۹۷,۹	۸۳,۵	۱۱۴,۸
Cs	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵
Ga	۱۹,۹	۱۹,۸	۲۱,۹	۲۳	۲۰,۸	۲۱,۱	۱۹,۲	۲۱,۶	۲۱,۹	۲۰,۷	۱۸,۳	۱۹,۹
Mo	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵

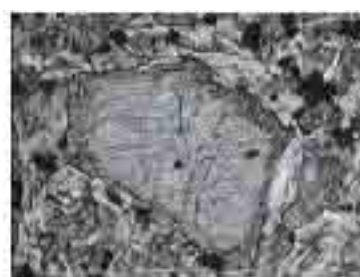
* : بیشتر از بالاترین حد قابل اندازه‌گیری

جدول ۲. نتایج تجزیه ایزوتوپی Nd و Sr بازالت‌های جواهردشت.

نمونه	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	۲ سیگما	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	۲ سیگما
J-B-2	۰٫۷۰۴۴۸۲	۰٫۰۰۰۰۱۰	۰٫۵۱۲۶۶۰	۰٫۰۰۰۰۰۹
J-B-3	۰٫۷۰۴۶۴۸	۰٫۰۰۰۰۱۰	۰٫۵۱۲۶۹۲	۰٫۰۰۰۰۰۹
J-B-4	۰٫۷۰۴۲۲۵	۰٫۰۰۰۰۱۰	۰٫۵۱۲۷۲۷	۰٫۰۰۰۰۰۸
J-B-8	۰٫۷۰۵۳۸۷	۰٫۰۰۰۰۱۱	۰٫۵۱۲۵۱۷	۰٫۰۰۰۰۰۸
J-B-25	۰٫۷۰۴۸۵۶	۰٫۰۰۰۰۱۲	۰٫۵۱۲۶۸۸	۰٫۰۰۰۰۰۸
NBS987	۰٫۷۱۰۲۵۴	۰٫۰۰۰۰۱۱		
La Jolla			۰٫۵۱۱۸۴۸	۰٫۰۰۰۰۰۶



شکل ۲. نمایی از بلور اوژیت با ساختار منطقه‌ای (با آنالیزور).



شکل ۳. نمایی از بلور اوژیت با حاشیه غنی از Ti (سمت راست بدون آنالیزور - سمت چپ با آنالیزور).



شکل ۴. نمایی از خوردگی خلیجی بلور اوژیت با حاشیه غنی از Ti (با آنالیزور).

است (شکل ۵). بزرگترین زاویه خاموشی آنها یعنی زاویه بین $n\alpha$ و محور بلورشناسی a معادل 32° بود که در نتیجه ترکیب شیمیایی این بلورها با توجه به بزرگترین زاویه خاموشی اندازه گیری شده با پلاتین فدوروف، لابرادوریت با درصد آنورتیت ۶۰ تعیین شد. پلاژیوکلازهای موجود در سنگ تا حدی سوسوریتی شده به نحوی که پلاژیوکلازها به اپیدوت، کلریت و کلسیت تجزیه شده‌اند.

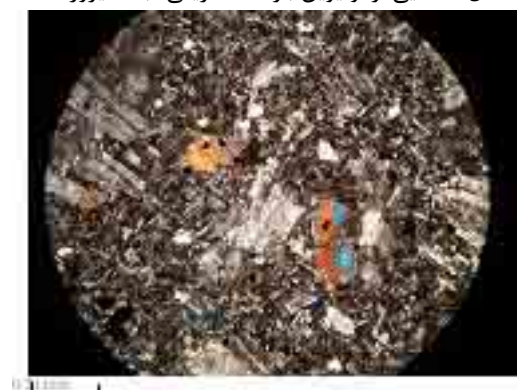
بخش تکامل یافته بعدی در سنگ‌های منطقه، آندزیت‌های بازالتی هستند. اختلاف چشمگیر این سنگ‌ها با نمونه‌های قبلی، در نسبت تعداد فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و اولیوین است، به این دلیل که در این سنگ‌ها درصد فنوکریست‌های پلاژیوکلاز نسبت به کلینوپیروکسن افزایش چشمگیری یافته و نیز مقدار اولیوین به شدت کاهش نشان می‌دهد. این سنگ‌ها ویژگی یک ماگمای بازالتی تکامل و تفریق یافته را نشان می‌دهد به نحوی که تفریق در بعضی از آنها به حدی پیش رفته که منجر به تشکیل کوارتز در خمیره سنگ شده است (شکل ۶). بعضی از پلاژیوکلازها، رسی شدن به صورت منطقه‌ای را نشان می‌دهند به نحوی که حاشیه و مرکز پلاژیوکلازها سالم مانده است. با توجه به اینکه در دنباله هوازده‌گی، پلاژیوکلازهای کلسیم‌دار سریع تر از سدیم دار هوازده می‌شوند، به نظر می‌رسد که این رسی شدن منطقه‌ای، بیانگر تغییرات ترکیب شیمیایی درعرض بلورهای پلاژیوکلاز بوده و در نتیجه احتمالاً پلاژیوکلازها دارای منطقه بندی نوسانی هستند. به نحوی که هسته‌ها و حاشیه‌ها می‌بایستی دارای مقادیر سدیم بالاتری نسبت به بخش‌های رسی شده باشند (شکل ۷).

اولیوین‌ها نیز پس از پیروکسن‌ها فراوانند، ولی کاملاً به سرپانتین و کلریت تجزیه شده و بیشتر آن‌ها دارای حاشیه واکنشی هستند. برخی از اولیوین‌ها به صورت پویی کلتیکی درون پیروکسن‌ها قرار دارند که بیانگر تقدم تبلور اولیوین‌ها نسبت به پیروکسن‌ها هستند. خمیره این سنگ‌ها بیشتر از ریز بلورهای پلاژیوکلاز و دانه‌های کوچک پیروکسن تشکیل شده است که در مقادیر کم اولیوین و کانی‌های کدر نیز در فضای بین آن‌ها دیده می‌شوند. اوژیت‌های موجود در سنگ به صورت زنجیره پورفیری تقسیم شده‌اند و پیروکسن‌های خمیره را می‌سازند به نحوی که پیروکسن‌ها تدریجاً از فنوکریست‌های درشت دانه به خمیره ریز دانه تبدیل می‌شوند. با توجه به حاشیه غنی از Ti فنوکریست‌های تیتان اوژیت باید انتظار داشت که کلینوپیروکسن‌های خمیره سرشار از Ti بوده و دارای رنگ قهوه‌ای متمایل به بنفش باشند، ولی بررسی سنگ‌شناختی خلاف آن را نشان می‌دهد. به احتمال زیاد آرایش پوسته‌ای سبب افت مقدار TiO_2 در کل سنگ شده و در نتیجه منجر به تبلور پیروکسن‌های فقیر از Ti در خمیره شده است. دلیل سنگ‌شناختی آن ناهم‌رنگ بودن پیروکسن‌های خمیره با حاشیه فنوکریست‌های پیروکسن است. بررسی‌های ژئوشیمیایی از جمله حضور کم TiO_2 (کمتر از ۱٪) در این سنگ‌ها این موضوع را مورد تأیید قرار می‌دهد.

بخش تکامل یافته بعدی در سنگ‌های منطقه، اولیوین بازالت‌های آندزیتی هستند که از نظر سنگ‌شناختی مشابه اولیوین بازالت‌های منطقه بوده و اختلاف آن حضور درشت بلورهای پلاژیوکلاز در این سنگ‌هاست که پس از فنوکریست‌های کلینوپیروکسن فراوان‌ترین فنوکریست موجود در سنگ



شکل ۵: نمایی از اولیوین بازالت آندزیتی (با آنالیزور).



شکل ۶: نمایی از آندزیت بازالتی کوارتزار (با آنالیزور).



شکل ۷: نمایی از بلور دگرسان شده پلاژیوکلاز با رسی شدن منطقه‌ای در سنگ آندزیت بازالتی (سمت راست با آنالیزور - سمت چپ بدون آنالیزور).

هستند. با ادامه تکامل در ماگما، به تدریج پلاژیوکلازها به صورت فنوکریست در سنگ‌ها ظاهر شده است که در سنگ‌های اولیوین بازالت‌های آندزیتی نمود پیدا می‌کنند. با پیشرفت تفریق و تکامل ماگما، درصد فنوکریست‌های پلاژیوکلاز نسبت به پیروکسن و اولیوین افزایش چشم‌گیری می‌یابد، ضمن اینکه

بررسی سنگ‌شناختی روی سنگ‌های بازالتی منطقه مورد مطالعه حاکی از آنست که پیش از رسیدن ماگمای مادر آنها به سطح زمین، فرآیند تفریق در آنها صورت پذیرفته است. ماگمای اولیوین بازالت‌ها با فنوکریست‌های پیروکسن و اولیوین، کم تفریق یافته‌ترین ماگمای تشکیل دهنده سنگ‌های بازالتی

خمیره نیز فاقد دانه‌های پیروکسن می‌گردد. تفریق در ماگمای این سنگ‌ها به حدی پیشرفت می‌کند که منجر به پیدایش کوارتز در خمیره سنگ و بین بلورهای پلاژیوکلاز خمیره می‌شود. شیمی سنگ‌های مورد بررسی که به آن اشاره خواهد شد، به خوبی روند این تفریق و تکامل را تأیید می‌کند.

رده بندی ژئوشیمیایی سنگ‌های منطقه

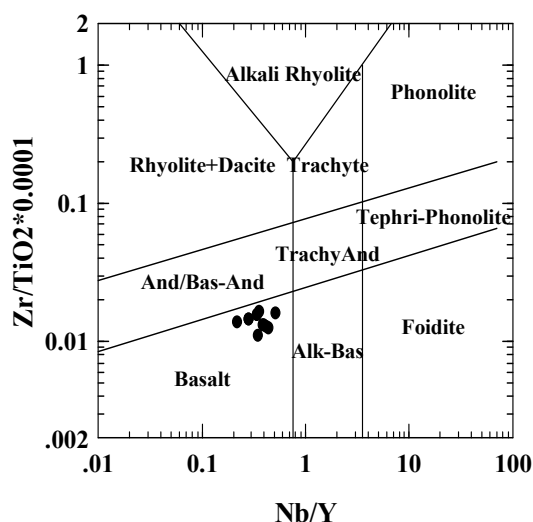
با استناد به نتایج تجزیه عناصر اصلی و جزئی نمونه‌های بازالتی، می‌پردازیم به بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی بازالت‌های منطقه.

از معیارهای ژئوشیمیایی؛ مثل مقادیر TiO_2 ، قلیایی‌ها، آهن، منیزیم و غیره، غالباً برای تشخیص و نام گذاری از سنگ‌های آذرین استفاده می‌شود [۴].

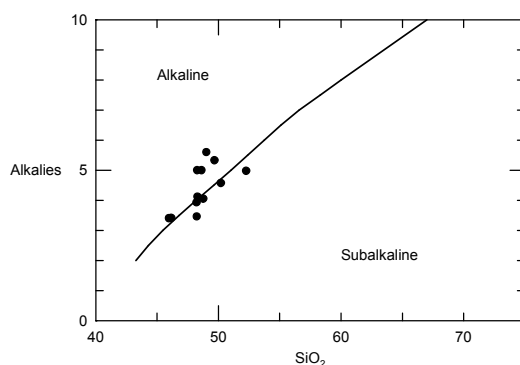
نخست به منظور رده بندی و نام گذاری نمونه‌های مورد بررسی، موقعیت آن‌ها روی نمودار $\text{Zr}/\text{TiO}_2 \times 0.0001$ نسبت به Nb/Y (شکل ۸) آورده شده است [۵]. همه نمونه‌ها در گستره بازالت قرار می‌گیرند. با توجه به معیار پیرس [۶] که مقدار $\text{Nb}/\text{Y} = 0.7$ را به عنوان شاخص جدایی سری قلیایی از نیمه قلیایی در نظر گرفته، همه نمونه‌ها در گستره نیمه قلیایی واقع شده‌اند. در نمودار کل قلیایی نسبت به سیلیس [۷] برخی از نمونه‌ها در مرز بین نیمه قلیایی و قلیایی و برخی دیگر در گستره قلیایی واقع شده‌اند (شکل ۹). ولی در نمودار K_2O

نسبت به SiO_2 [۸] نمونه‌ها بیشتر در گسترهٔ قلیایی قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰).
در نمودار $\text{Mg}^\#$ نسبت به $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ [۹] سه نمونه در گسترهٔ ترکیب بازالت‌های اولیه و بقیه از روند تفریق تولییتی پیروی می‌کنند (شکل ۱۱). عدد $\text{Mg}^\#$ در نمونه‌ها بین ۳۸/۷ تا ۶۱/۱ متغیر است. به عقیده کلمن [۱۰] چنانچه عدد $\text{Mg}^\#$ کمتر از ۵۰ باشد بیانگر تحول یافتگی ماگمای مادر است و اگر بین ۵۰ تا ۶۰ باشد ماگمای مادر منیزیم بالا و اگر بیش از ۶۰ باشد ماگمای مادر، اولیه خوانده می‌شود.

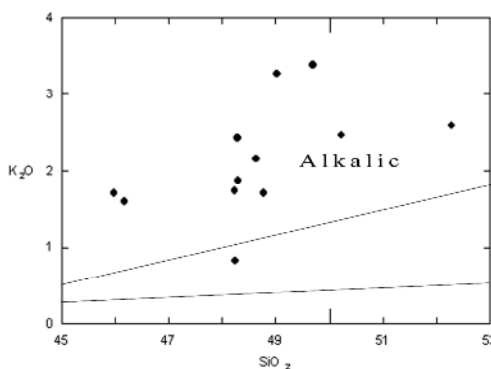
شکل ۸ موقعیت نمونه‌ها در نمودار وینچستر و فلوید [۵].



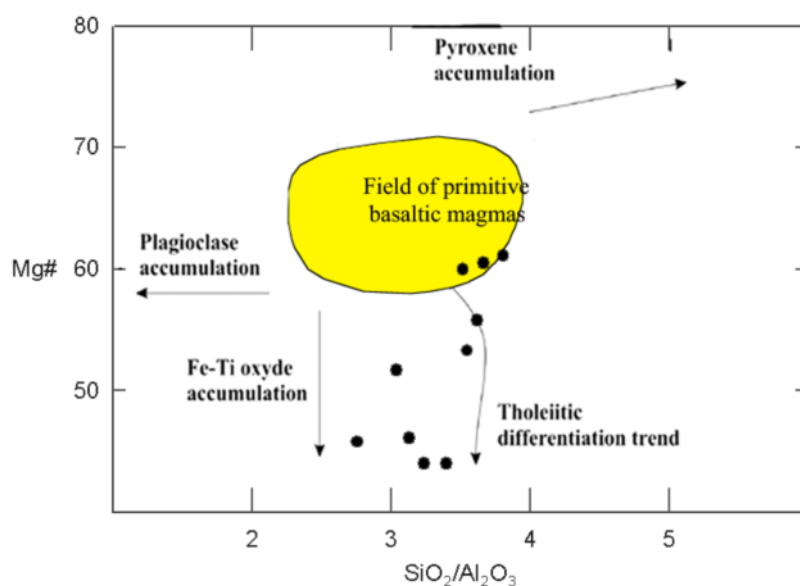
شکل ۸ موقعیت نمونه‌ها در نمودار وینچستر و فلوید [۵].



شکل ۹ موقعیت نمونه‌ها در نمودار مجموع قلیایی نسبت به سیلیس [۷].



شکل ۱۰ موقعیت نمونه‌ها در نمودار K_2O نسبت به SiO_2 [۸].

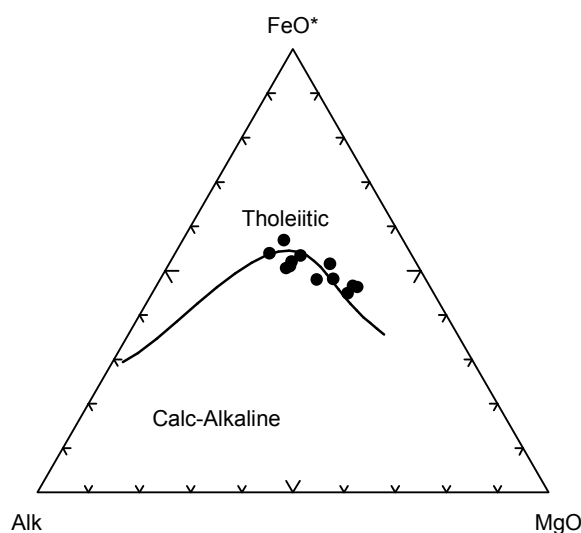


شکل ۱۱ موقعیت نمونه‌ها در نمودار $Mg^{\#}$ نسبت به SiO_2/Al_2O_3 [۹].

آهن را که از مشخصات بارز روند تولائییتی است، نشان می‌دهند [۱]. این موضوع بخوبی در نمودار AFM در مورد بازالت‌های منطقه کاملاً مشخص است (شکل ۱۲).

چنانکه ملاحظه می‌شود بازالت‌های جواهردشت در یک نمودار روی میدان قلیایی و در نمودار دیگر در میدان نیمه قلیایی و تولئییتی قرار می‌گیرند. در نتیجه بنا به تعریف ویلسون [۱] این بازالت‌ها جزء بازالت‌های حد واسط یا بازالت‌های انتقالی محسوب می‌شوند.

سه نمونه با عدد $Mg^{\#}$ بیش از ۶۰، سه نمونه بین ۵۰ تا ۶۰ و بقیه نمونه‌ها کمتر از ۵۰ است. به طوریکه میانگین عدد منیزیم نمونه‌ها ۵۰ بوده، که این عدد منیزیم مانند بازالت‌های داخل صفحه قاره‌ای یعنی بازالت‌های طغیانی قاره‌ای و ریفتی (به عنوان مثال ریوگراند) بوده که دارای اعداد منیزیم پایین و متوسط هستند و مشخصات مذاب‌های گوشته‌ای اولیه را ندارند [۱۱]. در مناطق ریفتی در سری‌های انتقالی (مثل سری انتقالی مرکز بوینا در اتیوپی)، در مراحل اولیه تفریق به سبب عدم تبلور اکسیدهای Fe-Ti به گونه‌ای مشخص غنی شدگی از



شکل ۱۲ موقعیت نمونه‌ها در نمودار AFM

شاخصه‌های ژئوشیمیایی تفریق بلورین در بازالت‌های

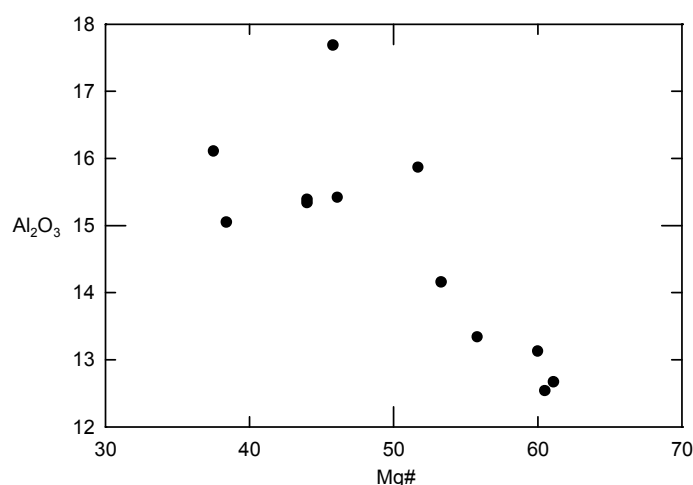
جواهردشت

روند تغییرات Al_2O_3 و CaO بر حسب $Mg^\#$ در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده‌اند. کاهش CaO و افزایش Al_2O_3 همگام با کاهش $Mg^\#$ و افزایش تفریق نیازمند تشکیل یک کانی غنی از CaO و فقیر از Al_2O_3 به همراه یک فاز غنی از MgO (اولیوین) دارد که نقش کلینوپیروکسن غنی از Ca و فقیر از Al را در کنترل روند ترکیبی مذاب بلور نشان می‌دهد [۱۲].

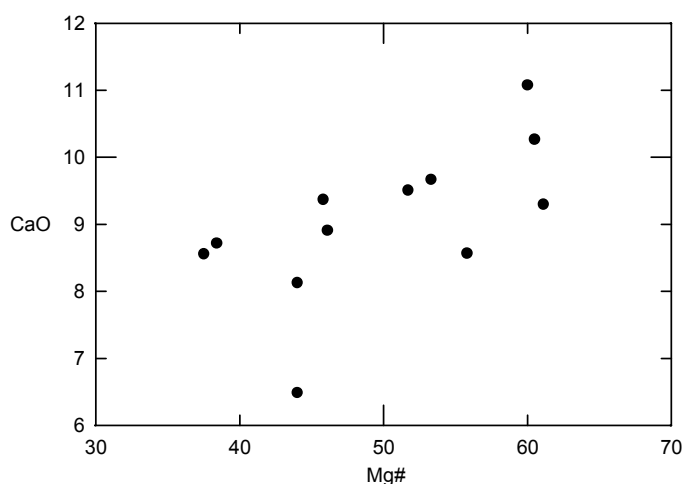
همخوانی مثبت CaO با $Mg^\#$ نشان دهنده این است که مذاب باقیمانده پی‌در پی از Mg و Ca تهی شده است [۱۳]. برعکس، افزایش Al_2O_3 همراه با کاهش $Mg^\#$ و افزایش تفریق بیانگر این است که در مراحل اولیه با جدایش کانی‌های فرومنیزین بر میزان نسبی Al_2O_3 در ماگما افزوده شده است.

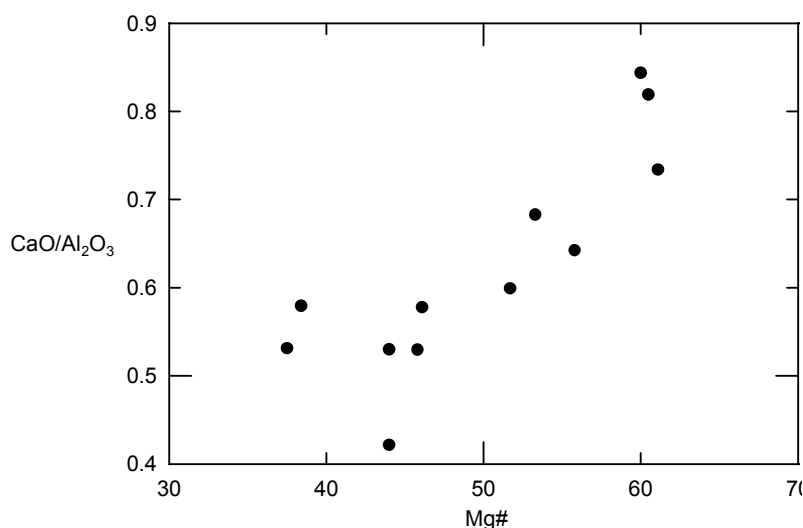
با توجه به اینکه مجموعه کانی‌های تفریق نیافته معمولاً به وسیله فنوکریست‌های موجود در سنگ مشخص می‌شود [۱۴]، حضور فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در نمونه‌های تکامل یافته که در بررسی‌های سنگ‌شناختی نیز به آن اشاره شد، افزایش Al_2O_3 را با کاهش $Mg^\#$ توجیه می‌کند، زیرا تغییرات Al_2O_3 نسبت به $Mg^\#$ بیانگر فراوانی مدال پلاژیوکلاز موجود در سنگ است [۱۵].

نمودار CaO/Al_2O_3 بر حسب $Mg^\#$ (شکل ۱۵) نقش کانی‌های پیروکسن، اولیوین و پلاژیوکلاز را در روند تفریق نشان می‌دهد.



شکل ۱۳ موقعیت نمونه‌ها در نمودار تغییرات Al_2O_3 نسبت به $Mg^\#$



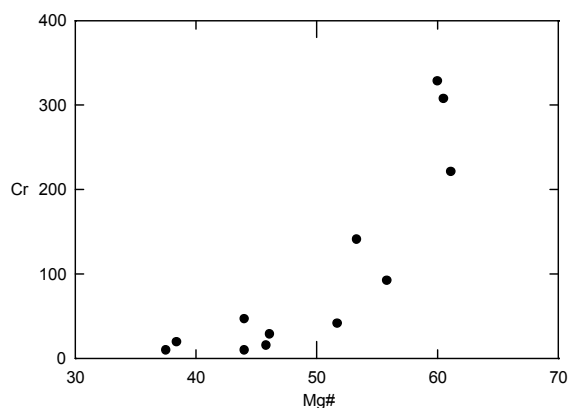
شکل ۱۴ موقعیت نمونه‌ها در نمودار تغییرات CaO نسبت به $Mg^{\#}$.شکل ۱۵ موقعیت نمونه‌ها در دیاگرام CaO/Al_2O_3 در برابر $Mg^{\#}$.

تفریق نشان می‌دهد. تفکیک کلینوپیروکسن نوع اوژیت، کاهش مقدار کروم همگام با کاهش $Mg^{\#}$ به عنوان ضریب تفریق را توضیح می‌دهد [۲].

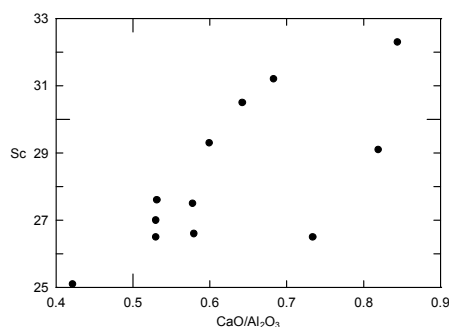
شکل ۱۷ تغییرات Sc نسبت به CaO/Al_2O_3 را نشان می‌دهد. Sc یک عنصر به شدت ناسازگار با پلاژیوکلاز و اولیوین و سازگار با پیروکسن است. با کاهش نسبت CaO/Al_2O_3 که در سنگ‌های منطقه همگام با کاهش $Mg^{\#}$ و افزایش تفریق صورت می‌گیرد، مقدار Sc نیز به شدت افت می‌کند. که بیانگر تفکیک کلینوپیروکسن از مذاب در روند تفریق بازالت‌های منطقه است. پراکندگی در نمودار به علت انباشت فنوکریستی پیروکسن به علت بافت پورفیریک و تجمعی حاصل شده است. بنابراین بررسی‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که تفریق کلینوپیروکسن و نیز اولیوین از مذاب نقش مؤثری در تنوع سنگ‌های منطقه داشته است.

چنانکه ملاحظه می‌شود نسبت CaO/Al_2O_3 با کاهش عدد منیزیم و افزایش تفریق کاهش می‌یابد. تفریق اولیوین، نسبت CaO/Al_2O_3 را تغییر نمی‌دهد و فقط مقدار عدد منیزیم را با مصرف MgO در ساختار خود و جدایش آن از مذاب، کاهش می‌دهد. از طرفی نسبت CaO/Al_2O_3 در پلاژیوکلازهای گستره بازالتی کم و در حدود ۰/۵۵ است. لذا با تفریق پلاژیوکلاز مقدار CaO/Al_2O_3 همگام با کاهش $Mg^{\#}$ افزایش می‌یابد [۱۶]. ولی کاهش نسبت CaO/Al_2O_3 همگام با کاهش $Mg^{\#}$ نیازمند تفریق کلینوپیروکس غنی از Ca به عنوان یکی از اجزای مهم تفریق در کنار اولیوین است [۱۷]. لازم به یادآوری است که نسبت CaO/Al_2O_3 در MORB همراه با کاهش $Mg^{\#}$ و افزایش تفریق افزایش می‌یابد که این پدیده به تفریق پلاژیوکلاز و اولیوین از ماگما بستگی دارد [۱۶، ۱۸].

شکل ۱۶ تغییرات Cr را نسبت به $Mg^{\#}$ به عنوان ضریب



شکل ۱۶ موقعیت نمونه‌ها در نمودار تغییرات Cr نسبت به $Mg^{\#}$



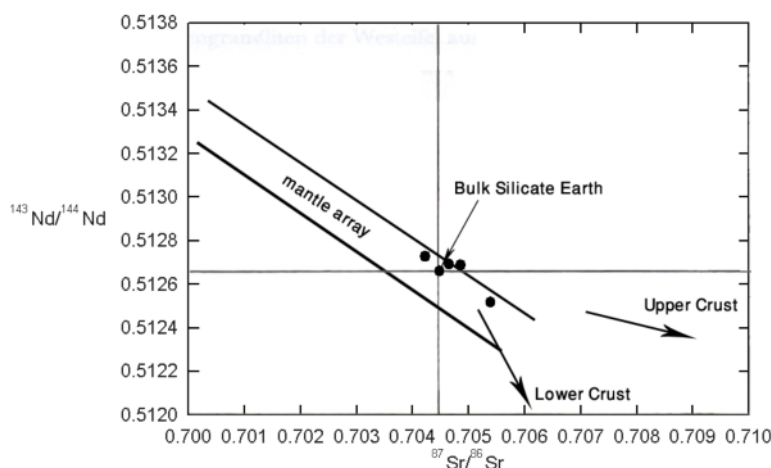
شکل ۱۷ موقعیت نمونه‌ها در نمودار تغییرات Sc نسبت به $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$.

قاره‌ای ۰/۶۳ است [۲۱]. در نتیجه این نسبت بالای Pb/Nd نشانه دخالتهای پسته در تکامل ماگمایی سنگ‌های منطقه است. نسبت‌های بالای Ba/Zr به عنوان یک شناسه برای آلودگی پسته‌ای استفاده می‌شود. به نحوی که برای بازالت‌های قاره‌ای همراه با آرایش پسته‌ای، این میزان بین ۲ تا ۵ تغییر می‌کند [۲۴، ۲۵]. نسبت Ba/Zr در بازالت‌های جواهردشت به ۴ نیز می‌رسد که به خوبی آغشتگی سنگ‌ها با پسته قاره‌ای را نشان می‌دهد. در نمودار همبستگی ایزوتوپی $\text{Nd}-\text{Sr}$ (شکل ۱۸) نمونه‌ها در نزدیکی ربع پسته‌ای قرار داشته و روند پسته تحتانی را نشان می‌دهند. همبستگی منفی قرارگیری ایزوتوپ-های $\text{Nd}-\text{Sr}$ معمولاً به هضم رخساره گرانولیتی گنایس‌ها نسبت داده می‌شود [۲۶]. در نمودار تغییرات $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ نسبت به SiO_2 و Rb ، شکل‌های ۱۹ و ۲۰، بازالت‌های جواهردشت به خوبی روند آرایش پسته‌ای را تعقیب می‌کنند. همبستگی مثبت نسبت‌های ایزوتوپی $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ با SiO_2 و Rb بازتابی از فرایند آرایش پسته‌ای همراه با تفریق (فرایند AFC) است [۲۷].

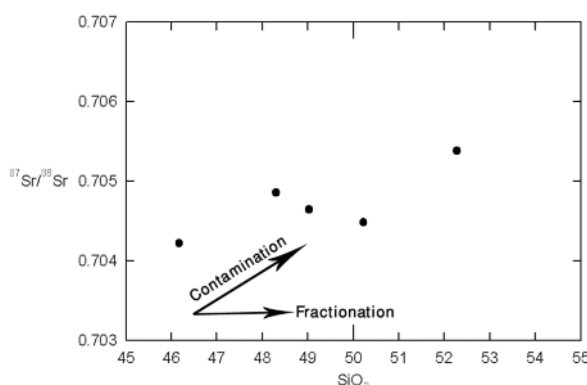
شاخصه‌های ژئوشیمیایی و ایزوتوپی آرایش پسته‌ای در بازالت‌های جواهردشت

بررسی علائم ژئوشیمیایی و ایزوتوپی سنگ‌های هر منطقه، اجازه شناسایی فرایندهای ماگمایی همچون هضم و آرایش را می‌دهد. در سیستم‌های بازالتی از نسبت‌های عناصر کمیاب ناسازگار و نیز نسبت‌های ایزوتوپی به طور گسترده برای تعیین منابع گوشته‌ای و پسته‌ای استفاده می‌شود [۱۹].

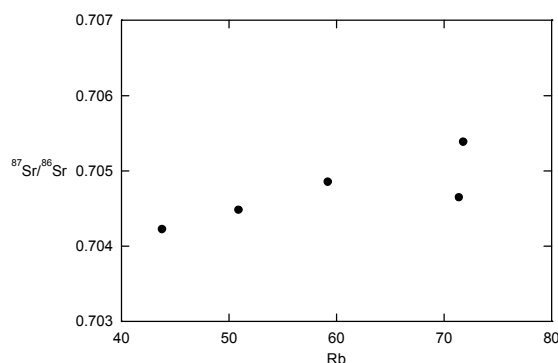
نسبت Ce/Pb در بازالت‌های اقیانوسی ($\text{MORB}+\text{OIB}$) نسبتاً بالا و تقریباً یکنواخت است و مقدار آن در حدود 25 ± 5 است [۲۰]، در حالیکه این نسبت در بازالت‌های جواهردشت در حدود ۴/۱ است. این محتوای پایین Ce/Pb نشانه درگیر بودن ماگما با مواد پسته‌ای است. مقدار میانگین Ce/Pb در پسته قاره‌ای ۳/۳ است [۲۱]. یکی از شاخصه مهم هضم و آرایش پسته‌ای نسبت بالای Pb/Nd است [۲۲]. این نسبت در بازالت‌های جواهردشت در حدود ۰/۳۸، در حالیکه در $\text{N}-\text{MORB}$ در حدود ۰/۰۴، در $\text{P}-\text{MORB}$ در حدود ۰/۰۶ و در OIB در حدود ۰/۰۸ است [۲۳]. میانگین Pb/Nd در پسته



شکل ۱۸ موقعیت بازالت‌های جواهردشت در نمودار همبستگی ایزوتوپی $\text{Nd}-\text{Sr}$. روند پسته فوقانی و تحتانی از یونگ [۲] اقتباس شده است.



شکل ۱۹ نمودار تغییرات $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ در برابر SiO_2 برای بازالت‌های جواهردشت. روندهای تفریق بلورین و آلیش پوسته‌ای از ویلسون و کایزر [۱]، [۲۷] اقتباس شده است.



شکل ۲۰ نمودار تغییرات $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ در برابر Rb برای بازالت‌های جواهردشت.

های خمیره با حاشیه فنوکریست‌های کلینوپیروکسن از شواهد سنگ‌شناختی آلیش پوسته‌ای در این بازالت‌هاست. شاخصه‌های ژئوشیمیایی و ایزوتوپی چون نسبت‌های بالای Ba/Zr، Pb/Nd، و نسبت پایین Ce/Pb و همبستگی مثبت $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ با Rb و SiO_2 و همبستگی منفی قرارگیری ایزوتوپ‌های Sr-Nd بر آلیش پوسته‌ای این بازالت‌ها دلالت دارد.

مراجع

- [1] Wilson M., "Igneous petrogenesis-A global tectonic approach", Unwin Hyman London, (1989)466s.
- [2] Jung C., "Geochemische und Isotopen-geochemische Untersuchungen an tertiaeren Vulkaniten der Hoheifel-ein beitrage zur identifizierung der mantelquellen von Rift-bezogenen Vulkaniten", Dissertation zur Erlangung des doktorgrades Naturwissenschaften, vorgelegt dem fachbereich Geowissenschaften der Philipps-Universitaet Marburg. (2003)
- [3] Duda A., Schmincke H.-U., "Polybaric differentiation of Alkali basaltic magmas: evidence

برداشت

بازالت‌های جواهردشت یک تنوع ترکیبی بین اولیوین بازالت‌ها، اولیوین بازالت‌های آندزیتی، آندزیت‌های بازالتی تا آندزیت‌های بازالتی کوارتزار را نشان می‌دهند. این تنوع ترکیبی در نتیجه تفریق کانی‌های کلینوپیروکسن و اولیوین در ماگمای مادر این سنگ‌ها حاصل شده است به نحوی که از سمت اولیوین بازالت-ها به آندزیت‌های بازالتی درصد فنوکریست‌های پیروکسن و اولیوین به شدت کاهش یافته و درصد فنوکریست‌های پلاژیوکلاز افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد. این بازالت‌ها با توجه به قرارگیری در بعضی از نمودارها روی میدان قلیایی و در بعضی دیگر روی میدان نیمه قلیایی و تولیتی، در گروه بازالت‌های انتقالی محسوب می‌شوند. شاخصه‌های ژئوشیمیایی چون همبستگی منفی Al_2O_3 با عدد منیزیم و مثبت CaO و $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ با Cr و $\text{Mg}^\#$ و همبستگی مثبت $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ با Sc، دلالت بر تفریق کلینوپیروکسن و اولیوین به عنوان کانی‌های شاخص در تکامل‌های ماگمایی سنگ‌های منطقه دارد. شاخصه‌هایی چون خوردگی خلیجی و حاشیه‌های دندان-دار در فنوکریست‌های پیروکسن و ناهمرنگ بودن پیروکسن-

- [17] Class C., Altherr R., Volker F., Eberz G., McCulloch M.T., "Geochemistry of Pliocene to Quaternary alkali basalts from the Huri Hills, Northern Kenya", *Chemical Geology* 113 (1994) 1-22
- [18] Perfit M.R., Gust D.A., Bence A.E., Arculus R.J., Taylor S.R., "Chemical characteristics of island-arc basalts: implications for mantle sources", *Chem. Geol.* 30 (1980) 227-256
- [19] Weaver B.L., "Trace element evidence for origin of ocean – island basalts", *Geology*. 19 (1991) 123-126
- [20] Hofmann A.W., Jochum K.P., Seufert M., White W.M., "Nb and Pb in Oceanic basalts, new constraints on mantle evolution", *Earth planet. Sci. Lett.* 90 (1986) 297-314
- [21] Rudnick R.L., Fountain D.M., "Nature and composition of the continental crust: A lower crustal perspective", *Rev. Geophys.* 33 (1995) 267-309
- [22] Krienitz M.-S., Hasse K.M., Mezger K., Eckardt V., Sheikh-Mashail, M.A., "Magmagenesis and crustal contamination of continental intraplate lavas in northwestern Syria", *Contrib. Mineral. Petrol.* 151 (2006) 698-716
- [23] Sun S.S., McDonough W.F., "Magmatism in the oceanic basalts", [A.D. Saunders & M.J. Norry, Herausgeber], *Geol. Soc. Special Publ.* 42 (1989) 313 - 345
- [24] Fitton T.G., Hardarson B.S., Ellam K.M., Rogers G., "Sr-, Nd, and Pb-isotopic composition of volcanic rocks from the Southeast Greenland Margin at 63°N: temporal variation in crustal contamination during continental breakup", In Saunders, A.D., Larsen, H.C., and Wise, S.H., (Eds) *Proc. ODP. Sci. Results*. 152 (1998) 351-357
- [25] Larsen H.C., Saunders A.D., "Tectonism and volcanism at the Southeast Greenland rifted margin: a record of plume impact and later continental rupture", in: Saunders, A.D., Larsen, H.C., and Wise, S.H., (ed) *Proc. ODP. Sci. Results*. 152 (1998) 503-533
- [26] Bernstein S., Kelemen P.B., Tegner C., Kurz M.D., Blusztajn J., Kent Brooks C., "Post-breakup basaltic magmatism along the East Greenland Tertiary rifted margin", *Earth and Planetary Science. Letters*. 160 (1998) 845-862
- [27] Kaiser C., "Multi-component evolution, age and plate-tectonic setting of high-Mg Lamprophyric dikes and small gabbroic intrusions on Isla Margarita (Venezuela)", Dissertation Zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften der Fakultät für Geowissenschaften an der Ruhr-universität Bochum. (1997) 174pp.
- from green-core Clinopyroxenes (Eifel, FRG)", *Contrib. Mineral. Petrol.* 91 (1985) 340-353
- [4] Miyashiro A., "Nature of alkaline volcanic rock series", *Contrib. Mineral. Petrol.* 66 (1978) 91-104
- [5] Winchester J.A., Floyd P.A., "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation product using immobile elements", *Chemical Geology*. 20 (1977) 325-343
- [6] Pearce J.A., "A user's guide to basalt discrimination diagrams: in trace element geochemistry of volcanic Rocks: applications for massive sulfide exploration", (ed) D.A. Wyman; Geological association of Canada. short course notes. 12 (1996) 79-113
- [7] Rickwood P.C., "Boundary lines within petrologic diagrams which use oxide of major and minor elements", *Lithos*. 22 (1989) 225-240
- [8] Middlemost E.A.K., "The Basalt Clan", *Earth Sci. Rev.* 11 (1975) 337-364
- [9] Kempton P.D., Downes H., Sharkov E.V., Vetrin V.R., Ionov D.A., Carswell D.A., Beard A., "Petrology and Geochemistry of xenoliths from the Northern Baltic shield: evidence for Partial melting and metasomatism in the Lower Crust beneath and Archean terrane", *Lithos*. 36 (1995) 157-184
- [10] Kelemen P.B., Hanghoj K., Greene A.R., "One view of the geochemistry of subduction-related magmatic arcs. With an emphasis on primitive Andesite and lower crust", *Treatise on Geochemistry*. 3 (2004) 593-659
- [11] Raymond L.A., Petrology Mc, "Graw Hill.", (2002) 720P.
- [12] COX K.G., "A model for flood basalt volcanism", *J. Petrol.* 21 (1980) 629-650
- [13] COX K.G., Bell J.D., Pankhurst R.J., "The interpretation of igneous rocks", George Allen and Unwin, London. (1979) 450P.
- [14] Rollinson H.R., "Using Geochemical Data: Evolution, Presentation, and Interpretation" Longman Scientific and Technical, England, (1993) 352p.
- [15] Hopper D.J., Smith I.M., "Petrology of the gabbro and sheeted basaltic intrusives at North Cape, New Zealand", *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*. 39 (1996) 389-402
- [16] Skates D.S., Shervais J.W., Hopson C.A., "The volcanic-tectonic cycle of the FAMOUS and AMAR Valleys, Mid-Atlantic Ridge: Evidence from basalt glass and phenocryst compositional variations for a steady state magma chamber beneath the valley midsections". *AMARS. J. Geophys. Res.* 89 (1984) 6995-7028