

پترولوژی لمپروفیرهای جنوب شرق انارک (استان اصفهان)

قدرت ترابی

گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان

چکیده

در جنوب شرق انارک (استان اصفهان) در امتداد گسل ترکمنی - اوردیب، استوکها (پلاگ) و گدازه‌های بالشی لمپروفیری دیده می‌شوند. کانی‌های تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها آمفیبول (کرسوتیت)، پلاژیوکلاز (الیگوکلاز و آلبیت)، فلدسپات پتاسیم (سانیدین)، اسپینل‌های کروم و تیتان‌دار، ایلمنیت، آپاتیت و مقادیر کمتری مگنتیت، کلریت، پومپلثیت، اپیدوت، اسفن، لوکوکسن و کلسیت می‌باشند. بافت‌های موجود در گدازه‌های بالشی شامل میکرولیتی و واریولیتیک، و بافت‌های موجود در استوک‌ها اینترسرتال و پورفیری است. حفره‌های موجود در گدازه‌های بالشی نیز توسط کلسیت پر شده است. مقدار SiO_2 این سنگ‌ها از ۴۰ تا ۵۲ درصد بوده و از نظر عناصر آکالی، TiO_2 و عناصر نادر خاکی سبک بسیار غنی هستند. در تقسیم‌بندی لمپروفیرها این سنگ‌ها جزو لمپروفیرهای آکالن بوده و در محیط تکتونیکی درون صفحه قاره‌ای پدید آمده‌اند. واژه‌های کلیدی: لمپروفیر، استوک، گدازه بالشی، آکالن، انارک.

Petrology of lamprophyres in Southeast of Anarak (Isfahan Province)

G.H. Torabi

Geology Department, the University of Isfahan

Abstract

Lamprophyric stocks and pillow lavas are situated in the southeast of Anarak (Isfahan Province), adjacent to the Turkmeni-Ordib fault. Rock-forming minerals are amphibole (kaersutite), plagioclase (oligoclase and

albite), K-feldspar (sanidine), Cr-Ti spinel, ilmenite, apatite with low amount magnetite, chlorite, pumpellyite, epidote, sphene, leucosene and calcite. Textures of pillow lavas are microlitic and variolitic, and textures of stocks are porphyritic and intersertal. The cavities are filled by calcite. These rocks are enriched in alkalis, TiO₂ and LREE, and the SiO₂ content ranges from 40 to 52 weight percent. In classification of lamprophyres, these rocks are alkaline lamprophyres and tectonically are formed in intra-continental plate setting.

Keywords: Lamprophyre, Stock, Pillow Lava, Alkaline, Anarak.

مقدمه

ماهیت ماگماتیسم پالئوزوئیک در ایران زمین و نقش گسل ترکمنی - اوردیپ در این ماگماتیسم بدست خواهد داد.

روش انجام کار

پس از انجام بررسی‌های صحرایی و نمونه برداری سیستماتیک، به منظور انجام مطالعات پتروگرافی و کانی شناسی، از نمونه‌های مورد بررسی مقطع نازک تهیه گردید. بعد از بررسی‌های پتروگرافی، از نمونه‌های مناسب مقطع نازک صیقلی تهیه شده و کانی‌های موجود در آنها با استفاده از دستگاه آنالیز الکترون میکروپروب JEOL مدل (WDS) JXA-8800 دانشگاه کاناواوی ژاپن با ولتاژ شتاب دهنده 20 kV و جریان 12 nA مورد بررسی قرار گرفتند.

نتایج آنالیز نقطه‌ای کانی‌ها به همراه نتایج محاسبه فرمول ساختاری و درصد اعضای پایانی در جدول‌های ۱ تا ۴ آورده شده است. در محاسبه مقدار Fe³⁺ جهت دسترسی به فرمول ساختاری کانی‌ها نیز از استوکیومتری کانی‌ها و روش‌های ارایه شده توسط (Droop, 1987) و (Spear, 1995) استفاده گردید.

به منظور مطالعه ژئوشیمی لمپروفیرهای موجود در منطقه پلهاوند و بررسی ارتباط احتمالی گدازه‌های بالشی و استوک‌ها، تعداد ۱۲ نمونه از گدازه‌های بالشی، یک

لمپروفیرها سنگ‌های غنی از H₂O و یا CO₂

هستند که ترکیب آنها از سدیک تا پتاسیک و یا از حدواسط تا اولترابازیک می‌باشد. این سنگ‌ها در محیط‌های اقیانوسی و قاره‌ای به صورت سنگ‌های آتشفشانی، توده‌های نفوذی عمیق یا نیمه عمیق و حتی به صورت گدازه‌های بالشی دیده می‌شوند (Rock, 1991; Aydar et al., 2003). در این سنگ‌ها حضور درشت بلورهای فرومیزین در زمینه‌ای دانه ریز کاملاً مشخص است.

لمپروفیرها در تمام دوران‌های زمین شناسی در محیط‌های تکتونیکی قاره‌ای و اقیانوسی تشکیل گردیده- اند (Srivastava and Chalapati Rao, 2007; Guo et al., 2004; Tappe et al., 2004, Andronikov and Foley, 2001). طبقه‌بندی و توصیف کامل این سنگ‌ها در منابعی همچون (Le Maitre et al., 2002) و Rock (1991) آورده شده است.

در این نوشته با استفاده از بررسی‌های صحرایی، پتروگرافی، کانی شناسی و ژئوشیمیایی، لمپروفیرهای موجود در جنوب شرق منطقه انارک مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. مطالعه این سنگ‌ها داده‌های جدیدی در مورد

بخش‌های بالایی این گدازه‌های بالشی توسط ماسه سنگ‌های آرکوزی پوشانده شده است که حاصل هوازگی گنیس‌های پلهاوند و شیست‌ها انارک می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که گدازه‌های بالشی پلهاوند جوانتر از گنیس‌ها و شیست‌های انارک بوده و سن احتمالی آنها با توجه به روابط چینه‌شناسی پالئوزوئیک بالایی می‌باشد چرا که قطعاتی از این سنگ‌ها در درون سازندهای پالئوزوئیک بالایی موجود در منطقه دیده می‌شود.

از آنجایی که استوک‌های قطع‌کننده گدازه‌های بالشی نیز توسط همین رسوبات پوشانده شده‌اند و قطعات آنها نیز در درون سنگ‌های رسوبی پالئوزوئیک بالایی قابل مشاهده است، بنابراین در مورد استوک‌ها نیز می‌توان سن پالئوزوئیک بالایی را پیشنهاد نمود.

در بررسی‌های صحرایی وجود حاشیه سرد شده در کناره‌های استوک‌ها بخوبی قابل مشاهده بوده و بخش‌های دانه ریز از نظر پتروگرافی شباهت بسیار زیادی به گدازه‌های بالشی دارند.

از مهم‌ترین مطالعات زمین‌شناسی که تاکنون در این منطقه صورت گرفته است می‌توان به (Almasian, 1997), (Technoexport, 1984), (ترابی، ۱۳۸۳) و (Bagheri, 2007) اشاره نمود.

(Almasian, 1997) به بررسی تکتونیک منطقه انارک پرداخته و ستون چینه‌شناسی جدیدی از واحدهای دگرگونی موجود در منطقه ارائه نموده است.

زمین‌شناسان روسی نیز در پروژه (Technoexport, 1984) به مطالعه زمین‌شناسی عمومی منطقه انارک تا خور و جندق پرداخته و چندین

نمونه از واریول‌های روی بخش‌های خارجی گدازه‌ها، و تعداد ۶ نمونه از استوک‌ها که گدازه‌های بالشی را قطع نموده‌اند، در دانشگاه ناسی فرانسه با استفاده از دستگاه ICP-MS، و در مرکز تحقیقات و تولید سوخت هسته‌ای اصفهان با روش NAA مورد آنالیز قرار گرفتند.

تعدادی از آمفیبول‌های موجود در لمپروفیرهای نفوذی (استوک‌ها) نیز از درون سنگ جدا گردیده و پس از پودر شدن به صورت یک نمونه با استفاده از روش NAA مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج آنالیزهای ژئوشیمیایی سنگ کل (Whole rock) نیز در جدول-های ۵ و ۶ آورده شده است. در تصاویر میکروسکوپی و نشان دادن نام کانی‌ها از (Kretz, 1983) استفاده گردید.

زمین‌شناسی منطقه

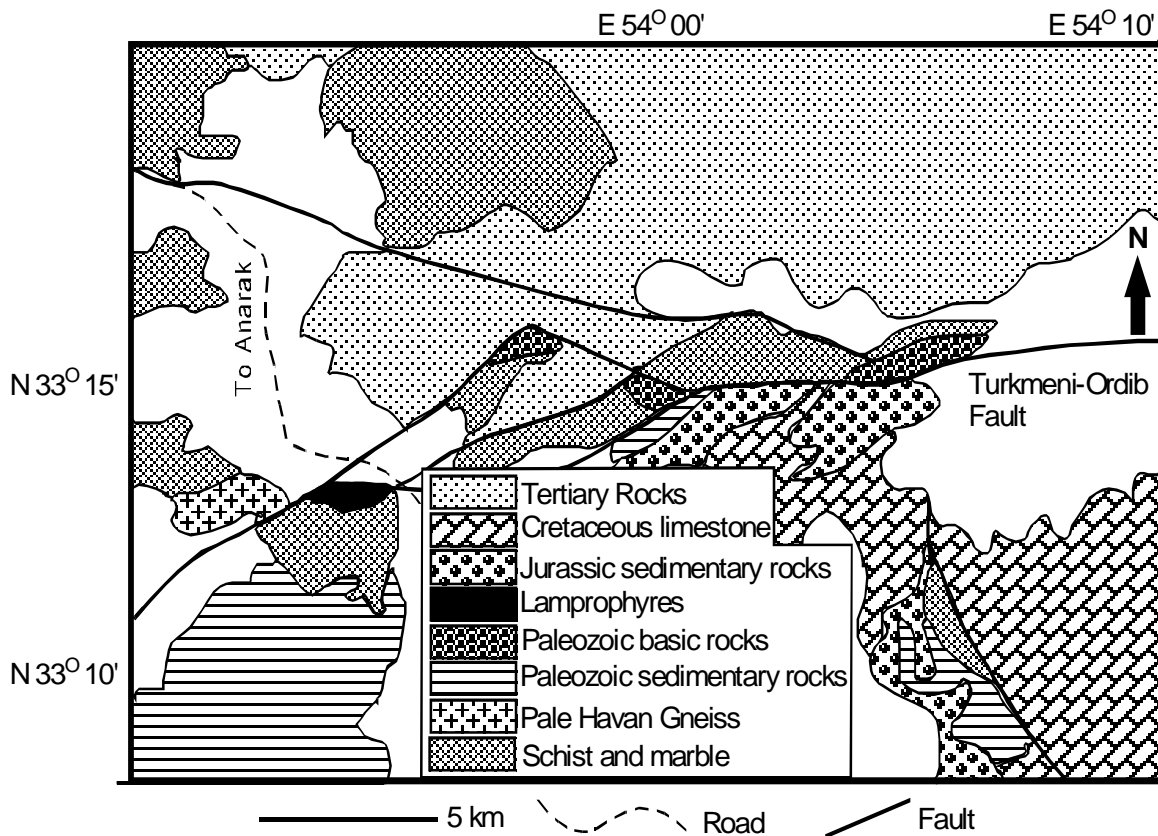
در بخش‌های جنوب‌شرقی ناحیه انارک، در منطقه پلهاوند (یا پل خوانند) گدازه‌های بالشی لمپروفیری که توسط استوک‌های لمپروفیری قطع شده‌اند، را در امتداد گسل ترکمنی - اوردیپ می‌توان مشاهده نمود. رسوبات، شیشه و آذرآواری‌ها فضای بین‌بالش‌ها را پر کرده‌اند.

لایه نازکی از رسوبات سیلیسی - آهکی در درون بخش‌های بالای این سنگ‌های آتشفشانی وجود دارد که در بررسی‌های میکروسکوپی وجود بیوکلاست‌های مختلف در آنها مشهود است. متأسفانه به دلیل دگرگونی و تبلور مجدد، از بررسی‌های فسیل‌شناسی جهت تعیین سن آنها نتیجه‌ای حاصل نشد.

در هیچ کدام از تحقیقات فوق بررسی دقیق کانی شناسی، پترولوژیکی و ژئوشیمیایی سنگ‌های لمپروفیری انجام نشده و فقط به وجود آنها اشاره گردیده است. نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد بررسی در شکل یک و تصاویر صحرایی واحدهای سنگی مورد مطالعه در شکل ۲ آورده شده است.

نقشه زمین‌شناسی و گزارش علمی در این مورد منتشر نموده‌اند.

ترابی (۱۳۸۳) پترولوژی افیولیت‌های منطقه انارک و عشین - زوار و پریدوتیت‌های گوشته موجود در آنها را مطالعه و با یکدیگر مقایسه نموده است. (Bagheri, 2007) مناطق انارک، خور، جندق و پشت بادام را مورد بررسی ژئوتکتونیک‌کی قرار داده و شواهد وجود پوسته اقیانوسی پالئوتتیس را در پالئوزوئیک بالایی ارایه نموده است.



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه پلهاوند (شمال شرق استان اصفهان)

جدول ۱: نتایج آنالیز نقطه‌ای و محاسبه فرمول ساختاری آمفیبول‌های موجود در لمپروفیرهای منطقه پله‌اوند (شمال شرق استان اصفهان)

Sample	102				316		314		
Type	plug				Plug		Pillow Lava		
Point	23	24	6	1-Jun	1	2	36	37	39
SiO ₂	38.05	38.05	39.10	38.50	39.14	39.01	38.97	39.40	39.94
TiO ₂	7.80	7.34	6.76	7.43	7.03	7.12	5.42	4.75	3.71
Al ₂ O ₃	12.97	13.02	13.18	13.02	13.30	12.95	13.16	13.67	13.82
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO*	10.28	11.49	12.09	11.41	12.22	11.30	15.97	15.32	15.91
MnO	0.00	0.00	0.10	0.13	0.12	0.13	0.21	0.17	0.17
MgO	11.92	11.14	10.94	11.29	11.31	11.76	9.58	10.30	9.87
CaO	12.09	11.97	11.74	11.96	11.87	11.95	10.48	10.37	10.17
Na ₂ O	2.54	2.40	2.61	2.45	2.64	2.62	2.74	2.81	2.86
K ₂ O	0.97	0.97	0.98	0.95	0.93	0.95	0.87	0.93	0.88
P ₂ O ₅	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0.49	0.36	0.27
NiO	-----	-----	-----	-----	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00
Total	96.62	96.38	97.50	97.18	98.57	97.79	97.91	98.08	97.60
Structural formula based on the 23 Oxygens									
Si	5.78	5.81	5.90	5.82	5.83	5.85	5.87	5.86	5.96
Ti	0.89	0.84	0.77	0.85	0.79	0.80	0.61	0.53	0.42
Al	2.32	2.34	2.34	2.32	2.33	2.29	2.33	2.40	2.43
Cr	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²⁺	1.31	1.47	1.53	1.44	1.52	1.42	1.65	1.38	1.40
Fe ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.53	0.58
Mn	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02
Mg	2.70	2.54	2.46	2.55	2.51	2.63	2.15	2.28	2.19
Ca	1.97	1.96	1.90	1.94	1.89	1.92	1.69	1.65	1.63
Na	0.75	0.71	0.76	0.72	0.76	0.76	0.80	0.81	0.83
K	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.18	0.17
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.05	0.04
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	15.90	15.86	15.85	15.84	15.83	15.86	15.72	15.69	15.66
Name	Kaersutite	Kaersutite	Kaersutite	Kaersutite	Kaersutite	Kaersutite	Kaersutite	Kaersutite	Kaersutite

جدول ۲: نتایج آنالیز نقطه‌ای و محاسبه فرمول ساختاری فلدسپات‌های موجود در لمپروفیرهای منطقه پله‌اوند (شمال شرق استان اصفهان)

Sample	102					316					314			
Type	Intrusion					Intrusion					Pillow Lava			
Point	12	17	26	6	9	1	2	3	4	5	38	40	3	4
Mineral	K-Fel	Plag	Plag	Plag	K-Fel	K-Fel	Plag	Plag	Plag	K-Fel	Plag	Plag	Plag	K-Fel
SiO ₂	64.50	68.27	68.58	67.32	63.72	64.52	66.47	65.38	68.90	64.53	65.48	68.82	69.27	64.32
TiO ₂	0.03	0.02	0.01	0.00	0.01	0.04	0.00	0.06	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01
Al ₂ O ₃	17.99	18.77	19.62	19.48	17.76	18.45	19.65	19.84	19.78	18.18	20.45	19.34	19.49	18.38
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO*	0.06	0.16	0.08	0.03	0.25	0.04	1.08	2.55	0.05	0.10	0.40	0.27	0.17	0.02
MnO	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.70	0.00	0.02	0.09	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.03	0.15	0.12	0.02	0.00	0.18	0.15	0.16	0.00	2.88	0.53	0.00	0.00
Na ₂ O	0.33	11.16	11.59	11.80	0.18	0.23	11.59	10.93	11.77	0.24	10.21	11.63	11.79	0.21
K ₂ O	16.08	0.42	0.08	0.04	15.94	16.15	0.12	0.12	0.04	16.32	0.60	0.06	0.05	16.56
P ₂ O ₅	0.01	0.00	-----	-----	0.00	-----	-----	-----	-----	-----	0.60	0.21	-----	-----
NiO	0.00	0.00	-----	-----	0.00	-----	-----	-----	-----	-----	0.00	0.01	-----	-----
Total	98.99	98.88	100.1	98.79	97.88	99.43	99.29	99.80	100.7	99.39	100.1	100.7	100.8	99.50
Structural formula based on the 8 Oxygens														
Si	3.01	3.02	2.99	2.98	3.01	3.00	2.95	2.91	2.99	3.00	2.89	2.99	3.00	2.99
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	0.99	0.98	1.01	1.02	0.99	1.01	1.03	1.04	1.01	1.00	1.07	0.99	1.00	1.01
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²⁺	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.10	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00
Fe ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Ca	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.14	0.03	0.00	0.00
Na	0.03	0.96	0.98	1.01	0.02	0.02	1.00	0.94	0.99	0.02	0.88	0.98	0.99	0.02
K	0.96	0.02	0.00	0.00	0.96	0.96	0.01	0.01	0.00	0.97	0.03	0.00	0.00	0.98
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	4.99	4.98	4.99	5.02	4.98	4.99	5.04	5.05	5.00	4.99	5.03	5.00	5.00	5.00
Ab	3.00	97.50	98.90	99.20	1.60	2.10	98.40	98.50	99.10	2.20	83.70	97.20	99.70	1.90
An	0.00	0.10	0.70	0.60	0.10	0.00	0.90	0.70	0.70	0.00	13.00	2.50	0.00	0.00
Or	97.00	2.40	0.40	0.20	98.30	97.90	0.70	0.70	0.20	97.80	3.30	0.30	0.30	98.10

جدول ۳: نتایج آنالیز نقطه‌ای و محاسبه فرمول ساختاری پومپلینیت، آپاتیت، اسفن، اپیدوت، کلریت، ایلمنیت و کلسیت‌های موجود در لمپروفیرهای منطقه پلهاوند

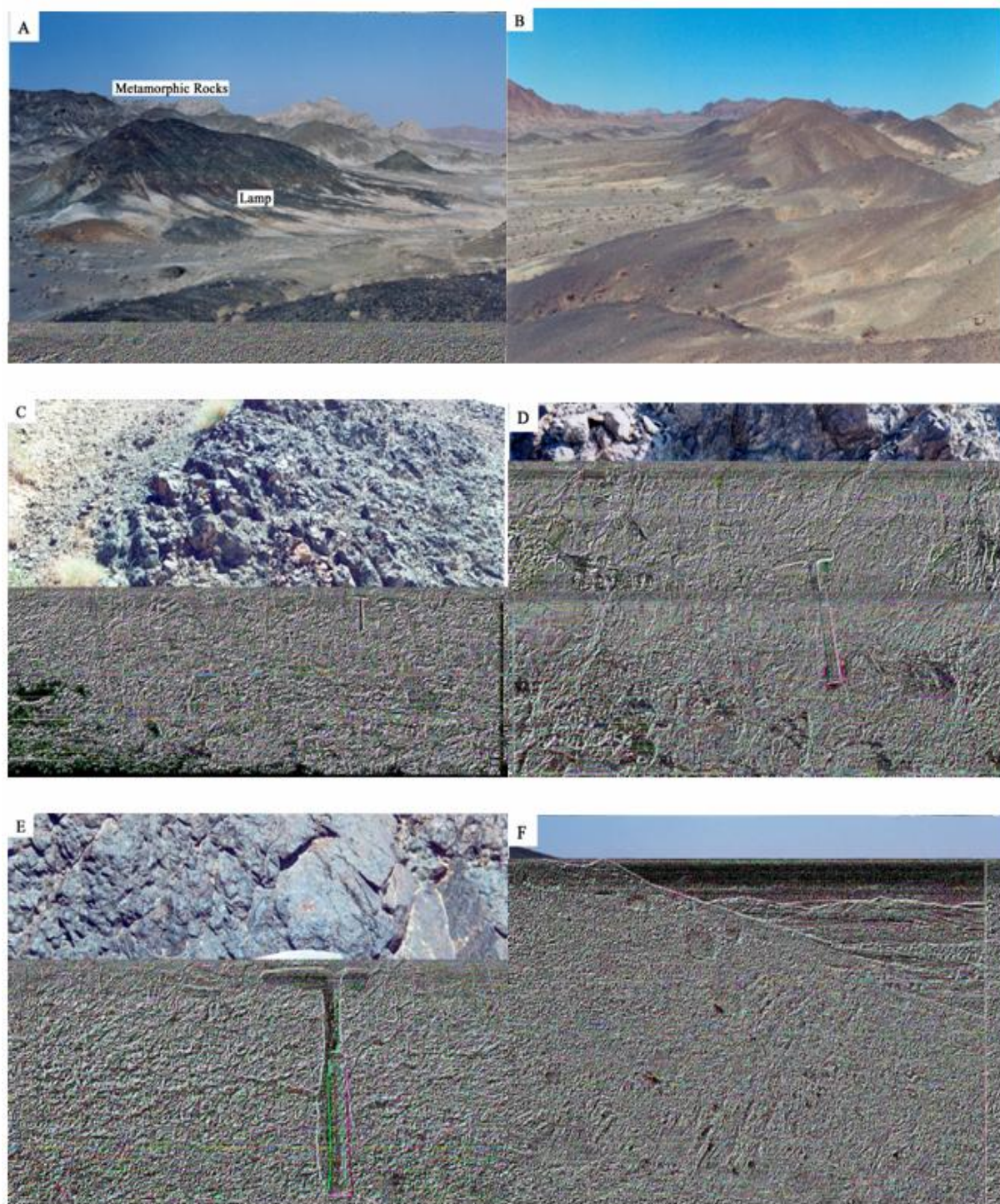
Sample	102	102	102	102	102	102	102	316	102	102	102	325
Analysis	13	16	7	14	15	44	8	1	10	11	43	23
Mineral	Pump	Pump	Apt	Sph	Sph	Sph	Sph	Sph	Epd	Chl	Ilm	Cal
SiO ₂	38.22	38.21	0.32	24.17	30.40	29.64	30.99	30.52	37.17	25.70	0.04	0.56
TiO ₂	0.15	0.10	0.00	33.95	28.72	37.73	32.33	32.05	0.09	0.01	50.31	0.11
Al ₂ O ₃	25.52	23.31	0.01	1.63	5.26	2.58	4.62	3.44	21.51	18.69	0.24	0.13
Cr ₂ O ₃	0.00	0.04	0.00	0.05	0.00	0.02	0.04	0.00	0.04	0.04	0.03	0.04
FeO*	8.82	11.12	0.20	15.84	6.35	1.40	1.20	4.78	13.32	35.75	43.63	4.04
MnO	0.19	0.20	0.04	0.02	0.09	0.08	0.00	0.05	0.09	0.49	4.16	0.06
MgO	0.03	0.01	0.11	0.01	1.97	0.00	0.01	1.87	0.04	7.77	0.04	1.00
CaO	21.88	22.06	54.04	22.17	24.04	25.39	27.53	24.37	19.45	0.08	0.10	51.91
Na ₂ O	0.02	0.01	0.00	0.03	0.08	0.08	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.04	0.07	0.00	0.02	0.06	0.19	0.11	0.21	0.03	0.06	0.00	0.05
P ₂ O ₅	0.24	0.18	38.83	0.17	0.21	-----	0.18	-----	0.15	0.00	0.00	0.41
NiO	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	-----	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
Total	95.11	95.31	93.57	97.89	96.97	97.11	96.86	97.34	91.74	88.59	98.52	58.33
Structural Formula												
Oxygen	14	14	25	5	5	5	5	5	12.5	14	3	3
Si	6.50	6.58	0.06	0.87	1.03	0.99	1.04	1.03	3.09	5.67	0.00	0.01
Ti	0.02	0.01	0.00	0.92	0.73	0.95	0.81	0.81	0.01	0.00	0.97	0.00
Al	5.11	4.73	0.00	0.07	0.21	0.10	0.18	0.14	2.11	4.88	0.01	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Fe ²⁺	1.26	1.60	0.03	0.48	0.18	0.04	0.03	0.14	0.00	6.48	0.87	0.06
Fe ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	0.12	0.06	0.00
Mn	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.09	0.09	0.00
Mg	0.01	0.00	0.03	0.00	0.10	0.00	0.00	0.09	0.01	2.56	0.00	0.02
Ca	3.99	4.07	10.26	0.85	0.87	0.91	0.99	0.88	1.73	0.02	0.00	0.90
Na	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00
P	0.00	0.00	5.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cations	16.93	17.05	16.21	3.19	3.14	3.01	3.06	3.10	7.89	19.86	2.00	1.00

جدول ۴: نتایج آنالیز نقطه‌ای و محاسبه فرمول ساختاری اسپینل‌های موجود در لمپروفیرهای منطقه پلهاوند (شمال شرق استان اصفهان). اسپینل‌های سالم با علامت ستاره مشخص گردیده‌اند.

Rock	Intrusion	315									Pillow Lava	325					
Point	22	23*	24	25*	26*	27*	28	29*	30*	31*	16	17*	18	19	20	21	22
SiO ₂	0.63	0.09	0.61	0.13	0.09	0.12	2.33	0.06	0.11	0.09	1.29	0.26	3.09	9.60	1.62	1.81	19.41
TiO ₂	0.29	3.10	0.11	3.27	3.29	3.68	0.34	3.16	3.47	2.57	0.20	1.96	0.31	0.04	1.87	0.39	0.12
Al ₂ O ₃	0.46	29.01	0.81	28.32	27.53	25.92	1.50	28.75	25.84	30.45	4.74	32.09	1.71	4.95	19.28	1.01	11.38
Cr ₂ O ₃	0.15	21.12	0.11	20.65	20.48	20.46	0.35	20.97	19.67	20.70	16.59	20.60	0.12	11.55	16.56	0.39	7.56
FeO*	87.58	33.54	86.05	36.54	37.29	43.16	83.22	33.17	43.33	32.65	63.77	28.53	79.81	55.72	48.58	83.03	37.51
MnO	0.00	0.25	0.02	0.36	0.52	1.24	0.05	0.25	1.21	0.24	2.82	0.33	0.04	2.03	1.96	0.00	1.22
MgO	0.07	13.00	0.05	11.33	10.07	4.83	1.10	12.81	4.82	13.02	2.50	13.54	1.49	6.44	2.87	0.51	13.94
CaO	0.26	0.12	1.30	0.18	0.22	0.35	0.10	0.15	0.30	0.30	0.76	0.79	0.99	0.16	0.11	0.84	0.28
Na ₂ O	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.05	0.12	0.00	0.01	0.06	0.12	0.04	0.06
K ₂ O	0.09	0.03	0.05	0.02	0.03	0.03	0.14	0.01	0.03	0.02	0.12	0.02	0.09	0.21	0.06	0.10	0.19
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	0.18	0.00	0.20	0.17	0.19	0.00	0.20	0.16	0.18	0.06	0.21	0.00	0.10	0.13	0.00	0.15
Total	89.53	100.44	89.16	101.00	99.69	99.99	89.22	99.51	98.92	100.26	92.96	98.34	87.66	90.86	93.16	88.13	91.82

Structural formula based on the 32 Oxygens

Si	0.20	0.02	0.19	0.03	0.02	0.03	0.74	0.01	0.03	0.02	0.39	0.06	0.98	2.79	0.45	0.58	5.04
Ti	0.07	0.55	0.03	0.59	0.61	0.70	0.08	0.57	0.67	0.46	0.04	0.35	0.07	0.01	0.39	0.09	0.02
Al	0.17	8.12	0.30	7.99	7.94	7.77	0.56	8.12	7.82	8.48	1.67	8.99	0.64	1.69	6.38	0.38	3.48
Cr	0.04	3.96	0.03	3.91	3.96	4.12	0.09	3.97	3.99	3.87	3.92	3.87	0.03	2.65	3.67	0.10	1.55
Fe(II)	8.15	3.89	7.75	4.46	4.79	6.54	8.25	3.92	6.51	3.77	6.36	3.35	8.00	7.46	7.15	8.14	7.32
Fe(III)	15.25	2.77	15.23	2.86	2.84	2.64	13.72	2.73	2.79	2.69	9.56	2.32	13.22	6.07	4.25	14.17	0.83
Mn	0.00	0.05	0.01	0.07	0.11	0.27	0.01	0.05	0.26	0.05	0.71	0.07	0.01	0.50	0.47	0.00	0.27
Mg	0.03	4.60	0.02	4.04	3.67	1.83	0.52	4.58	1.84	4.59	1.11	4.80	0.71	2.79	1.20	0.24	5.40
Ca	0.09	0.03	0.44	0.05	0.06	0.10	0.03	0.04	0.08	0.08	0.24	0.20	0.34	0.05	0.03	0.29	0.08
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.03	0.00	0.04	0.03	0.04	0.00	0.04	0.03	0.03	0.01	0.04	0.00	0.01	0.03	0.00	0.03
Total	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00
Cr#	0.18	0.33	0.08	0.33	0.33	0.35	0.14	0.33	0.34	0.31	0.70	0.30	0.04	0.61	0.37	0.21	0.31
Fe ³⁺ #	0.98	0.18	0.97	0.19	0.19	0.18	0.95	0.18	0.18	0.17	0.60	0.15	0.94	0.58	0.31	0.96	0.14



شکل ۲: تصاویر صحرایی لمپروفیرهای موجود در منطقه پلهاوند. تصویر A: تصویر صحرایی یکی از استوک های لمپروفیری منطقه. در دور دست دگرگونه های انارک دیده می شوند (نگاه به شرق). تصویر B: نمایی کلی از گدازه های لمپروفیری مورد بررسی (نگاه به غرب). تصاویر C, D و E: تصاویری از گدازه های بالشی لمپروفیری مورد بررسی. تصویر F: تصویر صحرایی لایه های نازک چرت و آهک که همراه سنگ های مورد بررسی دیده می شوند (نگاه به جنوب شرق).

پetroگرافی و شیمی کانی‌ها

گدازه‌های بالشی

گدازه‌های بالشی از پلاژیوکلاز و آمفیبول به عنوان کانی‌های اصلی، و الیون کلریتی، فلدسپات پتاسیم، اسپینل، ایلمنیت، مگنتیت، اسفن و کلسیت به عنوان کانی‌های فرعی تشکیل شده‌اند. بافت این سنگ‌ها میکروولیتی و واریولیتیک بوده و حفره‌های آنها توسط کلسیت پر شده‌اند. در اثر دگرسانی، برخی از اسفن‌ها و ایلمنیت‌ها تبدیل به لوکوکسن شده‌اند.

در بررسی‌های پتروگرافی به خوبی مشخص است که برخی از نمونه‌ها دارای مقدار الیون قابل توجه بوده (حدود ۱۰%) و بعضی نیز دارای آمفیبول فراوان (حدود ۲۰%) هستند. اما در هر حال فلدسپات‌ها به همراه آمفیبول‌ها از تشکیل دهنده‌های اصلی هستند.

فلدسپات‌های پتاسیم به همراه پلاژیوکلازها فقط در زمینه این سنگ‌ها و در لابلای کانی‌ها براحتی قابل تشخیص هستند. فراوان تر بودن پلاژیوکلازها نسبت به فلدسپات‌های پتاسیم در زمینه سنگ براحتی قابل تشخیص بوده که یکی از مشخصات لمپروفیرهای نوع کمپتونیت است. برخی از گدازه‌ها نیز دارای آمفیبول و الیون بسیار کم و فلدسپات بسیار زیاد هستند که دلیل این تنوع کانی شناسی رخداد تفریق و جدایش می باشد. بافت واریولیتیک در گدازه‌های دارای فلدسپات فراوان بخوبی قابل مشاهده است که دلیل تشکیل آن، سرد شدن سریع گدازه می باشد.

پلاژیوکلازها در اثر دگرگونی کف اقیانوس به پلاژیوکلازهای غنی از سدیم یعنی آلبیت و الیگوکلاز تبدیل شده‌اند. بیشتر آمفیبول‌ها سالم و دست نخورده هستند اما بخش‌هایی از برخی از آمفیبول‌ها به کلریت تجزیه شده‌اند.

اسپینل‌ها نیز اغلب بطور کامل تبدیل به مگنتیت شده‌اند اما برخی از آنها فقط دارای حاشیه مگنتیتی هستند. ایجاد پلاژیوکلازهای سدیک، پرشدن حفرات سنگ توسط کلسیت، تشکیل پومپلثیت، کلریتی شدن برخی از آمفیبول‌ها و تمام الیون‌ها، و تشکیل لوکوکسن و اپیدوت، از شواهد رخداد دگرگونی کف اقیانوس و اسپیلیتی شدن این گدازه‌های بالشی دارد. اسپینل‌ها دارای حاشیه‌هایی شبیه خلیج خوردگی هستند و در اثر Absorbption اندازه آنها از اطراف کوچکتر شده است. تصاویر میکروسکوپی واحد‌های سنگی مورد بررسی در شکل‌های ۳، ۴، و ۵ آورده شده است.

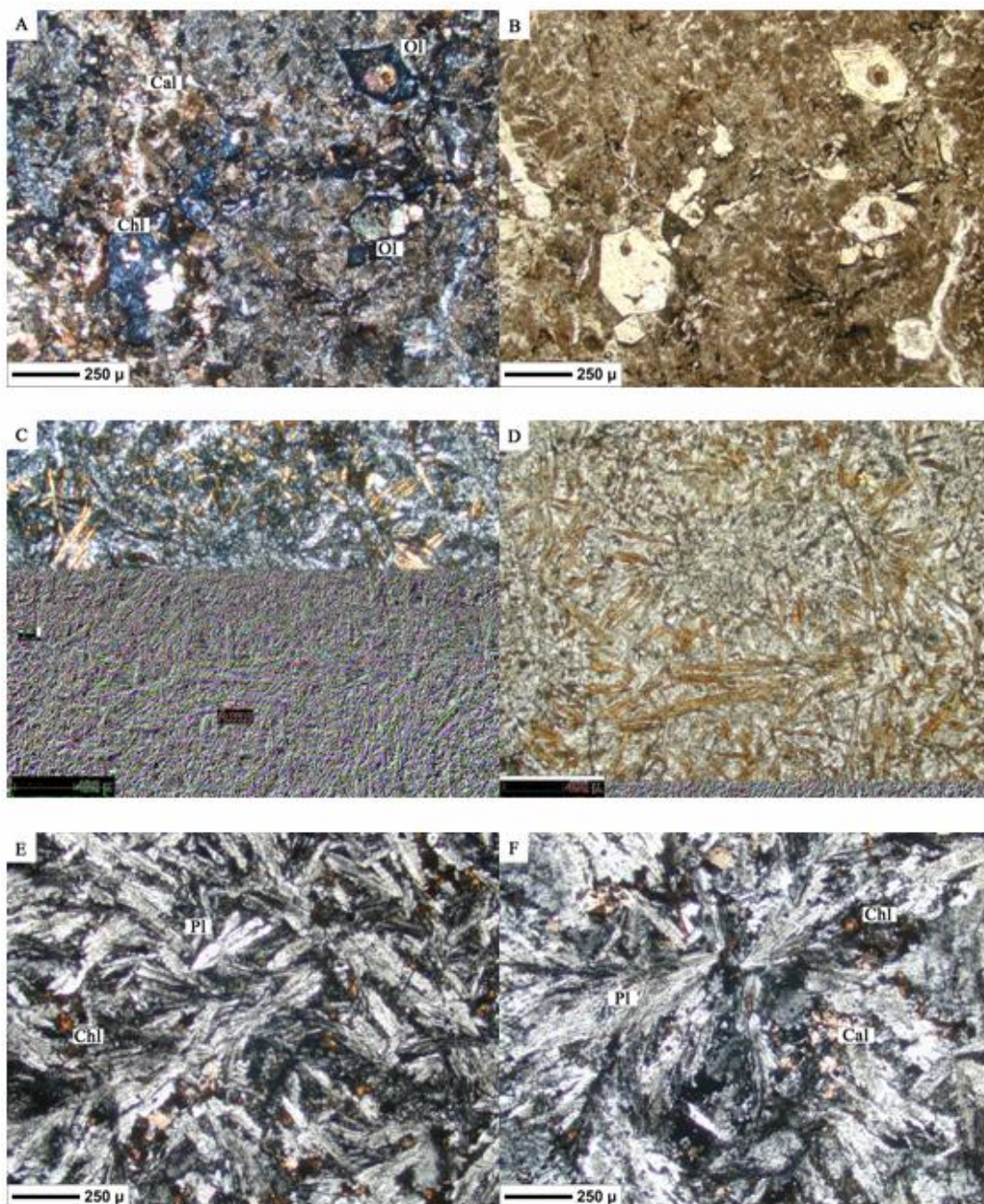
آنالیز نقطه‌ای کانی‌ها با استفاده از دستگاه الکترون میکروپروب (EPMA) نشان می‌دهد که آمفیبول‌ها از نوع کرسوتیت، پلاژیوکلازها از نوع آلبیت و الیگوکلاز، فلدسپات‌های پتاسیم از نوع سانیدین، و اسپینل‌ها نیز از نوع اسپینل‌های کروم و تیتان‌دار هستند (شکل ۶).

لمپروفیرهای نفوذی یا استوک‌ها

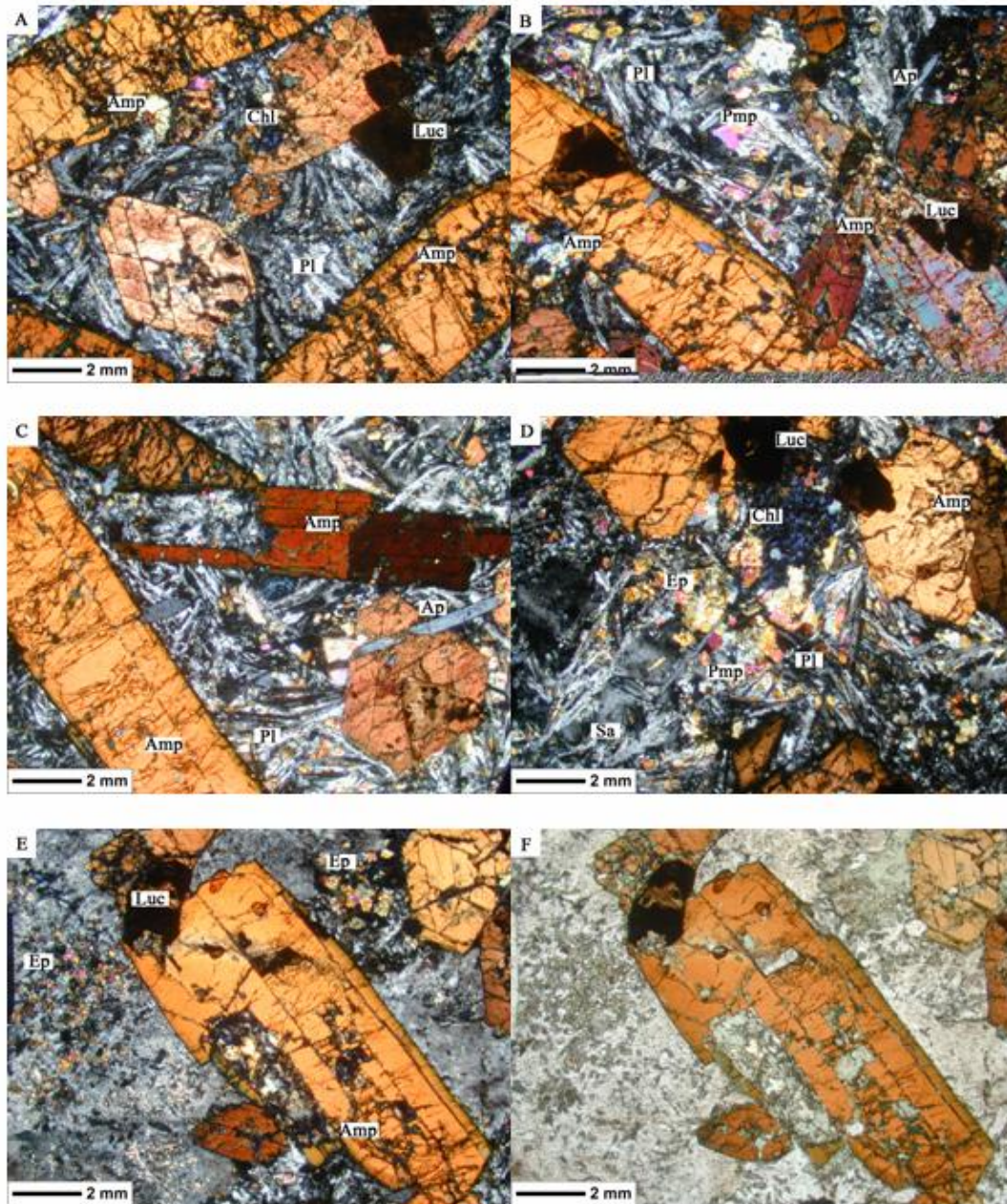
لمپروفیرهای نفوذی‌های موجود در منطقه مورد بررسی از پلاژیوکلاز و آمفیبول به عنوان کانی‌های اصلی و فلدسپات پتاسیم، اسپینل، ایلمنیت، اسفن، آپاتیت،

و آپاتیت‌های موجود در این سنگ‌ها گاهی به ۳ سانتی‌متر نیز می‌رسد (شکل ۴).

مگنتیت، اپیدوت، پومپلثیت، کلریت، لوکوکسن و کلسیت به عنوان کانی‌های فرعی تشکیل شده‌اند. اندازه آمفیبول‌ها



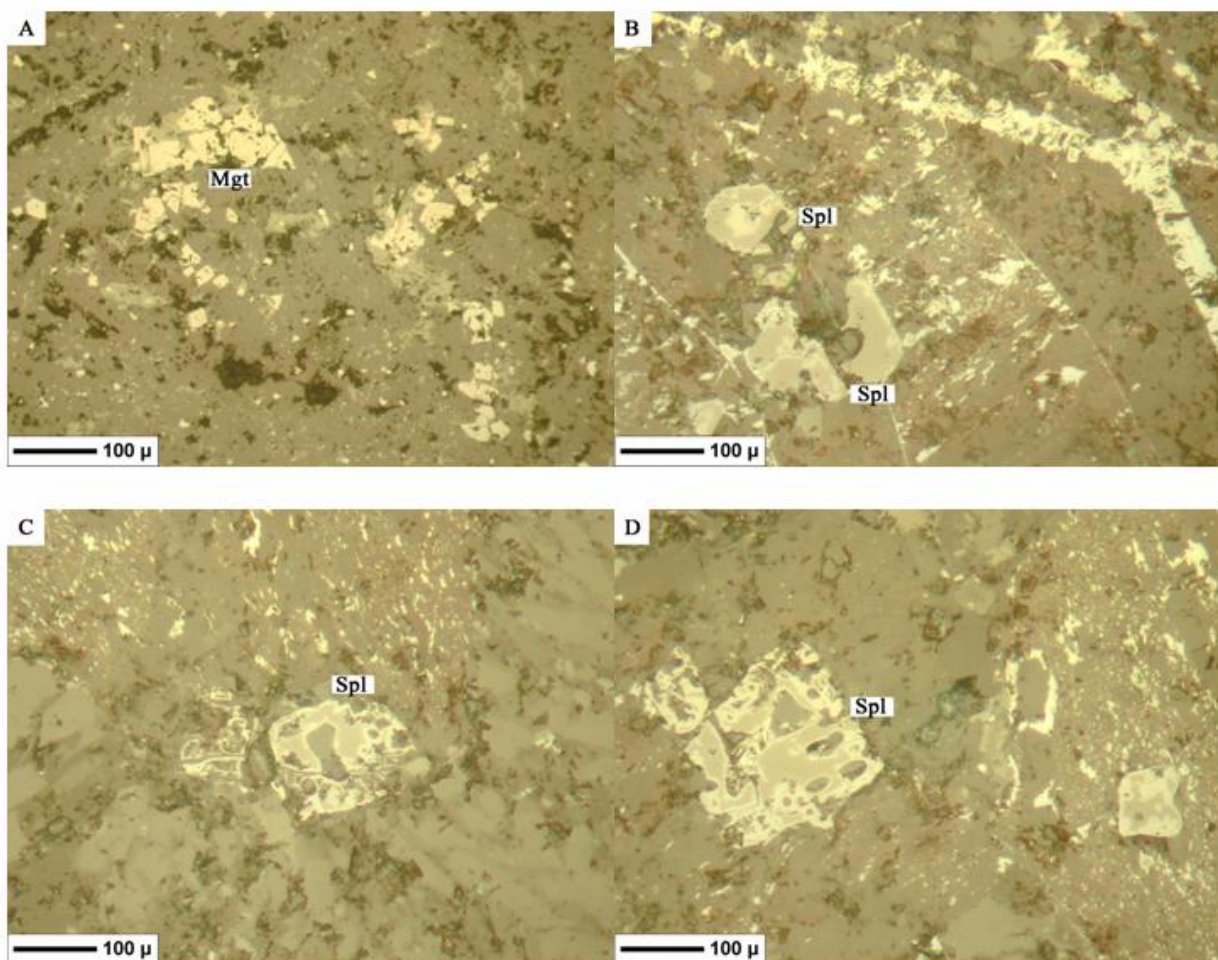
شکل ۳: تصاویر میکروسکوپی اندازه‌های بالشی لمپروفیری. در این سنگ‌های ولکانیک نمونه‌های دارای الیون فراوان (A, B), نمونه‌های دارای آمفیبول فراوان (C, D) و نمونه‌های دارای فلدسپات فراوان (E, F) دیده می‌شوند که به دلیل رخداد تفریق و جدایش می‌باشد.



شکل ۴: تصاویر میکروسکوپی لمپروفیرهای نفوذی منطقه پلهاوند که در بررسی‌های صحرایی به صورت استوک (Plug) دیده می‌شوند. یکنواختی کانی‌شناسی و بافتی این سنگ‌ها در بررسی‌های پتروگرافی بخوبی مشخص می‌باشد. دلیل ارایه تصاویر میکروسکوپی متعدد و مشابه در این شکل بیان یکنواختی پتروگرافی و کانی‌شناسی این سنگ‌ها است. درشتی آمفیبول‌ها و آپاتیت‌ها، و همچنین وجود کانی‌های پومپولیت، کلریت، اپیدوت، پلاژیوکلاز و سانیدین در زمینه این سنگ‌ها بخوبی مشخص است.

آمده‌اند. آمفیبول‌ها نیز سالم و دست نخورده هستند اما اسپینل‌های موجود در این سنگ‌ها در اثر دگرسانی از اطراف به مگنتیت تبدیل شده‌اند (شکل ۵).

این سنگ‌ها دارای بافت اینترسرتال و پورفیری هستند. در این سنگ‌ها فقط آمفیبول‌ها و آپاتیت‌ها بصورت پورفیر دیده می‌شوند. پلاژیوکلازها به همراه فلدسپات‌های پتاسیم تنها در زمینه سنگ قرار دارند. لوکوکسن‌ها از دگرسانی اسفنها و ایلمنیت‌ها بدست



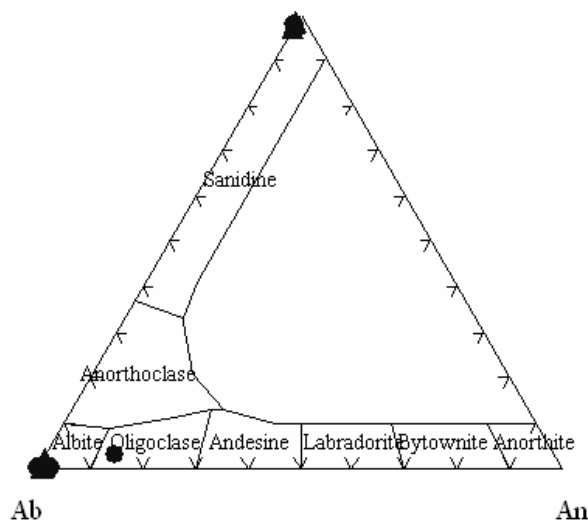
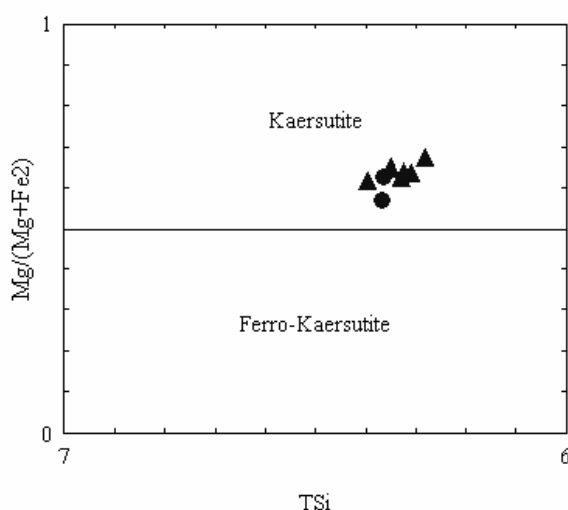
شکل ۵: تصاویر میکروسکوپ انعکاسی از اسپینل‌های موجود در لمپروفیرهای منطقه پلهاوند. برخی از این اسپینل‌ها فقط دارای حاشیه مگنتیتی هستند در صورتی که بیشتر اسپینل‌ها در اثر آلتراسیون کاملاً به مگنتیت تبدیل شده‌اند. وجود حاشیه‌های خورده شده که شبیه خلیج خوردگی می‌باشد در بررسی‌های میکروسکوپی این کانی بخوبی مشخص است.

دارند. تبدیل شدن پلاژیوکلازهای بازیک به آلبیت، تشکیل کلریت از الیوین ها و برخی از آمفیبول ها، وجود اپیدوت با فاکتور Ps قابل توجه (۳۰%) و ایجاد لوکوکسن از اسفن ها و ایلمنیت ها نشان می دهد که این سنگ ها دگرگونی کف اقیانوس را در رخساره شیست سبز سپری نموده اند. وجود بافت پورفیری در استوک ها، غنی بودن این سنگ ها از نظر کانی های دارای مواد فرار (آمفیبول فراوان)، وجود آمفیبول آلکالی (کرسوتیت)، و بیشتر بودن پلاژیوکلاز نسبت به فلدسپات های پتاسیم در زمینه سنگ، نشان دهنده این مطلب است که در تقسیم بندی انواع لمپروفیر ها، نام سنگ های مورد بررسی کمپتونیت (Camptonite) است (Woolley et al., 1996)

بطور کلی کانی های تشکیل دهنده استوک ها نسبت به کانی های سازنده گدازه های بالشی سالم تر باقی مانده اند. این سنگ ها از نظر بافتی و ترکیب کانی شناسی یکنواخت هستند.

بررسی شیمی کانی ها نشان می دهد که نوع پلاژیوکلازها آلبیت، نوع آمفیبول ها کرسوتیت، و نوع کلریت ها برونسویگیت می باشد (شکل ۶). در مورد اپیدوت ها فاکتور Ps برابر با ۳۰% می باشد. فاکتور Ps که در مورد اپیدوت ها از آن استفاده می شود نشان دهنده درصد مولکول های پیستاسیت (Pistacite Molecule) بوده که بصورت $Ps\% = 100 * Fe^{3+} / (Al^{VI} + Fe^{3+})$ محاسبه می شود.

با توجه به بررسی های صحرائی، پتروگرافی و شیمی کانی ها می توان گفت که گدازه های لمپروفیری و لمپروفیرهای نفوذی شباهت بسیار زیادی به یکدیگر



شکل ۶: نمودارهای تعیین کننده نام آمفیبول ها و پلاژیوکلازها. کانی های متعلق به گدازه های بالشی با علامت دایره و کانی های استوک ها با علامت مثلث جانمایی شده اند.

ژئوشیمی

ژئوشیمی عناصر اصلی، سری ماگمایی و شاخص

آلومین

نتایج حاصل از آنالیزهای ژئوشیمیایی این سنگ ها نشان می دهد که مقدار SiO_2 آنها از ۴۰ تا ۵۲ درصد می باشد که نشان دهنده اولترابازیک تا بازیک بودن آنها است. مقدار TiO_2 این سنگ ها به ۴/۹٪ نیز می رسد که مقدار بسیار قابل توجهی بوده و از مشخصات لمپروفیرها است.

مقدار Na_2O در این سنگ ها به ۷/۸۴٪ نیز می رسد که نشان دهنده غنی بودن آنها از نظر سدیم می باشد. هرچند که در اثر متازوماتیسم آب دریا و دگرگونی کف اقیانوس، مقداری سدیم به سنگ اضافه شده است. این نمونه ها از نظر عناصر نادر خاکی سبک بسیار غنی هستند. بررسی های ژئوشیمیایی و استفاده از نمودارهای مربوطه نیز مشخص می نماید که این سنگ ها متعلق به سری ماگمایی آلکالن بوده (شکل ۷A) و از نظر نامگذاری، محدوده های بازانیت، تفریت، فنوتفریت، و تراکی بازالت را به خود اختصاص می دهند (شکل ۷B). لازم به ذکر است که دگرگونی کف اقیانوس و اسپیلیتی

شدن در نامگذاری این سنگ ها براساس مقدار سیلیس و عناصر آلکالی می تواند موثر باشد و نمونه ها را به سمت بالاتر حرکت دهد. اما استفاده از نمودارهایی که براساس عناصر نادر خاکی و کمیاب هستند نیز بیانگر آلکالن بودن این سنگ ها و ارتباط آنها با یک گوشته غنی شده است (شکل VC, D). این سنگ ها از ذوب بخشی درجه کم یک گوشته غنی شده بدست آمده اند و از نظر وضعیت آلومینیوم، متالومینوس هستند (شکل VE).

ژئوشیمی عناصر کمیاب و نادر خاکی

نمونه های مورد بررسی از نظر عناصر نادر خاکی سبک نسبت به کندریت بطور متوسط بیش از ۱۰۰ برابر غنی تر بوده و از نظر عناصر نادر خاکی سنگین نیز بیش از ۱۰ برابر غنی تر هستند. در (شکل ۷F) نمودار بهنجارسازی تمامی نمونه ها نسبت به کندریت همراه با هم ارایه گردیده است. دلیل متفاوت بودن یکی از نمونه های مورد بررسی در برخی از نمودارها نسبت به سایر نمونه ها، جدایش فلدسپات و غنی بودن آن از فلدسپات ها است.

جدول ۵: نتایج آنالیز لمپروفیرهای نفوذی موجود در منطقه پلهاوند با استفاده از روش فعال‌سازی نوترونی (NAA). نتیجه آنالیز آمفیبول‌های جدا شده نیز در ستون سمت راست آورده شده است.

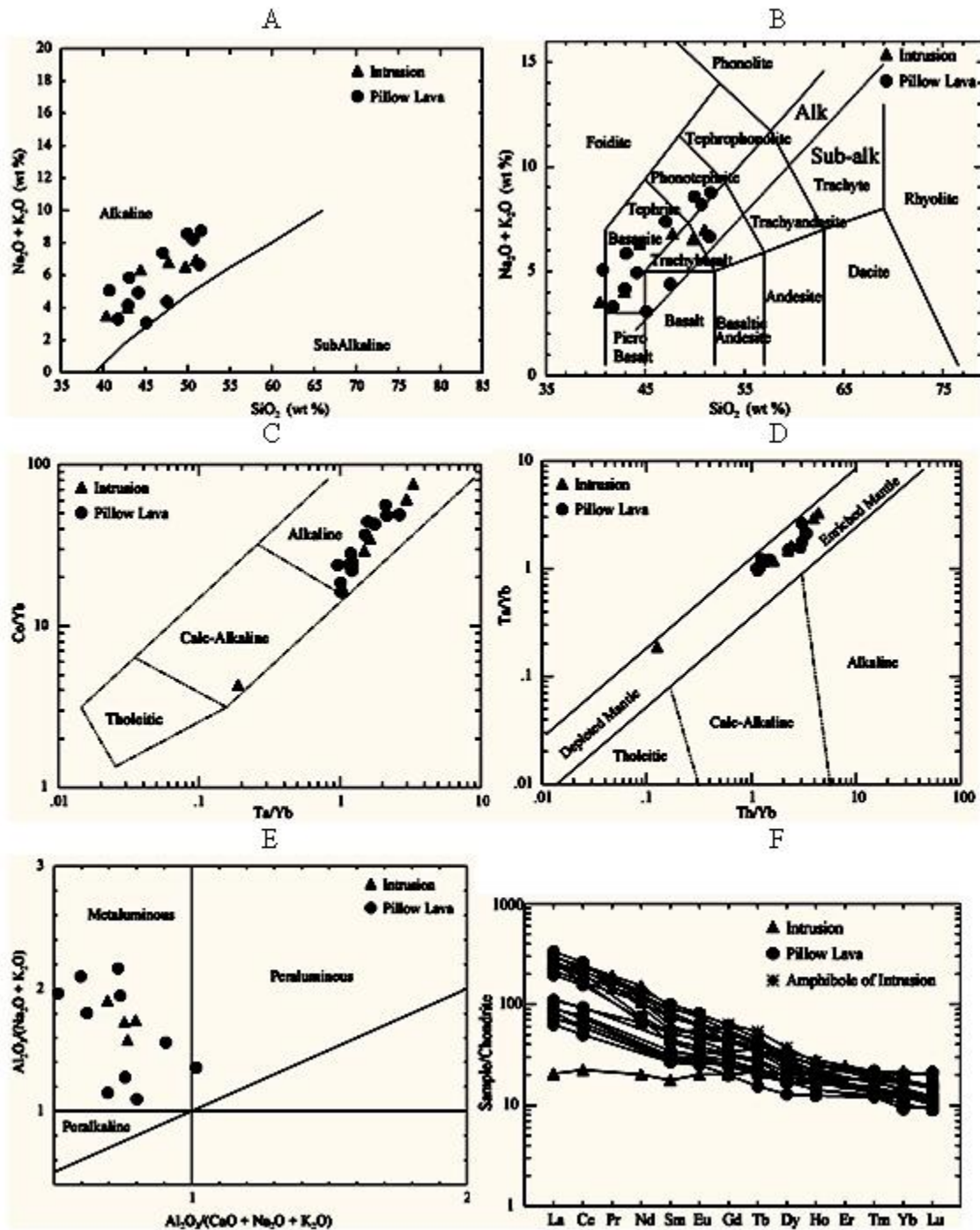
Sample	87	100	102	F-316-1	326	F-326-1	Amph-102
Rock type	Lamproph	Lamproph	Lamproph	Lamproph	Lamproph	Lamproph	Amphibole
SiO ₂ %	42.91	40.39	44.45	47.74	50.99	49.75	---
TiO ₂ %	1.67	3.75	4.90	3.06	2.17	1.90	9.74
Al ₂ O ₃ %	13.76	14.89	16.95	17.19	17.75	18.14	14.10
Fe ₂ O ₃ *%	12.47	16.41	11.17	11.09	10.17	10.71	17.27
MnO%	0.19	0.21	0.14	0.15	0.15	0.17	0.22
MgO%	8.32	7.29	5.60	3.90	3.32	3.06	9.42
CaO%	15.46	10.26	8.54	7.05	6.56	6.81	10.72
Na ₂ O%	3.72	1.29	3.60	4.58	6.50	5.92	2.17
K ₂ O%	0.30	2.23	2.75	2.22	0.48	0.62	1.45
LOI%	1.20	3.27	1.90	1.89	1.92	2.29	---
Total	99.92	99.97	100.05	98.87	100.01	99.37	---
Cr	118	19	---	---	298	---	---
Ni	<110	<100	<45	9	201	---	<170
Co	58	74	37	25	23	25.8	66.64
Sc	46.33	39.08	16.14	---	6.46	---	46.56
V	408	554	95	71	62	64	195
Zn	117	108	100	497	86	117	180
Sb	<0.20	0.63	1.51	0.16	0.21	0.34	<0.35
Rb	<20	44	30	20	<10	8.39	<35
Ba	<130	<170	1200	2531	402	371	311
Sr	<300	922	2700	1141	504	605	2000
Ga	<8	26	<10	23	<20	25.4	18
Ta	<0.60	2.63	7.02	6.51	5.18	5.5	10.02
Hf	2.24	4.56	9.76	10.7	5.89	6.36	12.88
Zr	<110	<90	153	497	<140	309	<160
Th	<0.40	3.61	9.29	8.62	7.82	8.12	3.34
U	<0.60	<0.40	1.22	1.94	1.9	1.87	<1
La	4.84	27.16	71.09	68.30	60.84	58.60	61.84
Ce	13.73	55.93	144.80	150.00	101.89	117.00	130.96
Nd	9.24	30.12	58.49	69.90	48.71	54.70	57.70
Sm	2.63	8.23	12.30	13.80	9.26	11.20	13.37
Eu	1.14	2.87	3.53	4.19	2.72	3.42	4.38
Gd	4.02	8.61	10.96	10.90	9.10	9.94	12.64
Tb	0.77	1.19	1.53	1.46	1.27	1.49	1.94
Dy	4.91	5.67	6.29	7.22	7.40	8.24	9.21
Ho	1.16	1.13	1.20	1.17	1.36	1.53	1.47
Tm	0.55	0.43	0.41	0.33	0.47	0.54	0.44
Yb	3.18	2.22	2.37	1.97	3.48	3.37	2.18
Lu	0.52	0.29	0.30	0.27	0.48	0.49	0.29

جدول ۶: نتایج آنالیز گدازه‌های بالشی لمپروفیری موجود در منطقه پلهاوند با استفاده از روش فعال‌سازی نوترونی (NAA).

Sample	88-1	91	90	88	92	88	325	314	97	99	95	89	Var
Rock type	Pill. Lava	Margin	Pill. Lava	Margin	Inner Par	Inner Par	Pill. Lava	Pill. Lava	Pill. Carb.	Pill. Lava	Pill. Lava	Inner Par	Variols
SiO ₂ %	40.73	41.73	44.16	45.11	42.93	43.07	47.54	51.44	34.57	49.95	47.06	50.65	51.60
TiO ₂ %	4.10	3.82	3.57	3.54	3.49	3.37	3.24	2.05	2.00	1.90	1.85	1.40	3.04
Al ₂ O ₃ %	15.02	13.78	13.93	12.08	13.95	15.86	13.15	16.33	12.10	15.99	15.25	14.61	17.71
Fe ₂ O ₃ %	15.64	15.64	13.67	15.58	14.10	12.74	13.71	13.31	7.85	12.87	16.46	17.97	10.71
MnO%	0.17	0.23	0.14	0.22	0.18	0.14	0.19	0.15	0.14	0.09	0.14	0.04	0.07
MgO%	7.84	10.66	7.87	9.38	8.21	7.79	5.54	2.93	3.30	3.37	4.34	2.80	4.36
CaO%	7.47	7.01	8.12	7.85	9.22	7.29	10.37	4.16	20.05	5.01	4.51	2.73	2.41
Na ₂ O%	2.59	1.05	4.26	1.11	3.80	3.26	3.49	5.77	5.27	8.24	7.02	7.84	6.33
K ₂ O%	2.47	2.25	0.67	1.96	0.36	2.59	0.89	0.89	0.27	0.33	0.36	0.36	2.43
LOI%	3.96	3.83	3.61	3.17	3.77	3.89	1.88	2.96	14.46	2.27	3.01	1.59	1.34
Total	99.99	100.01	100.00	99.93	100.09	100.12	100.00	99.99	100.01	100.02	99.97	99.99	99.89
Cr	480	435	413	436	470	359	516	222	---	---	---	---	---
Ni	<90	255	<90	<110	222	177	260	<60	<50	<60	<70	<60	<70
Co	85	99	87	94	92	69	61	31.63	18	23	25	11	31
Sc	30.68	34.78	29.67	31.49	28.08	27.53	27.34	8.58	4.18	4.25	4.66	3.87	8.5
V	261	286	291	287	267	245	264	52	24	20	13	14	56
Zn	122	133	130	126	102	94	78	127	65	104	92	23	53
Sb	0.48	0.65	0.3	0.39	0.97	<0.15	0.24	<0.15	<0.14	<0.18	<0.16	<0.15	<0.15
Rb	70	60	<18	66	<25	58	<12	26	15	<15	<15	<15	82
Cs	2.65	<0.80	<0.60	1.65	<1	<0.60	<0.50	<0.44	<0.35	<0.40	<0.50	<0.40	0.85
Ba	214	<110	<130	199	<120	238	<100	<180	<120	<200	<140	<110	467
Sr	<230	<300	<230	<270	<350	<220	<80	565	<140	178	193	<150	335
Ta	2.42	2.02	1.9	1.94	2.16	2.14	1.83	7.21	4.24	5.99	5.16	5.12	4.24
Hf	4.74	4.86	4.53	4.84	4.09	3.85	3.75	8.92	6.56	9.81	10.72	9.75	7.28
Zr	<80	<110	<80	<100	<120	<80	<100	379	84	155	266	166	138
Th	2.89	2.43	2.27	2.29	2.42	2.48	1.85	8.27	6.6	9.5	9.61	8.83	6.43
U	<0.50	<0.50	<0.50	1.49	<0.60	<0.50	<0.35	1.76	<0.50	<0.60	1.95	<0.60	<0.50
La	25.79	17.40	21.45	14.98	17.06	21.94	19.93	71.73	46.54	79.11	69.59	57.94	51.05
Ce	57.23	36.52	47.13	30.70	39.72	44.05	36.42	133.81	95.55	159.30	144.97	124.21	103.55
Nd	---	---	---	---	---	---	---	---	33.05	---	62.52	34.53	30.93
Sm	6.59	4.26	5.11	3.96	4.52	4.59	4.03	10.79	6.21	8.32	14.86	7.80	7.55
Eu	2.14	1.50	1.76	1.42	1.69	1.55	1.60	3.56	1.94	3.08	4.57	2.48	2.58
Gd	6.48	4.86	5.49	3.96	5.00	4.97	4.83	8.35	6.18	8.68	12.33	6.83	8.46
Tb	1.02	0.71	0.83	0.56	0.75	0.83	0.81	1.33	0.97	1.45	1.67	1.29	1.27
Dy	5.20	4.20	4.22	3.16	4.08	4.76	4.26	6.17	4.69	7.40	7.70	6.79	5.51
Ho	0.95	0.78	0.90	<0.68	<1	0.92	<0.78	1.08	0.92	1.40	<1.40	1.21	1.04
Tm	0.37	0.31	0.35	0.30	0.37	0.33	0.30	0.42	0.35	0.47	0.54	0.51	0.43
Yb	2.03	1.66	1.97	1.90	2.14	1.84	1.49	2.73	1.97	2.84	3.28	2.90	2.82
Lu	0.30	0.22	0.25	0.31	0.27	0.29	0.24	0.36	0.28	0.39	0.52	0.38	0.37

می‌گردد. از طرفی یکی از نمونه‌های مورد بررسی که دارای فلدسپات فراوان بوده و در نمودارهای مختلف روندی متفاوت از خود نشان می‌داد، در هنگام نرمالیز شدن در برابر کندریت، روندی افقی از خود نشان می‌دهد که نشان‌دهنده موثرتر بودن آمفیبول‌ها در حمل عناصر نادر خاکی و فقیرتر بودن فلدسپات‌ها از نظر عناصر نادرخاکی است.

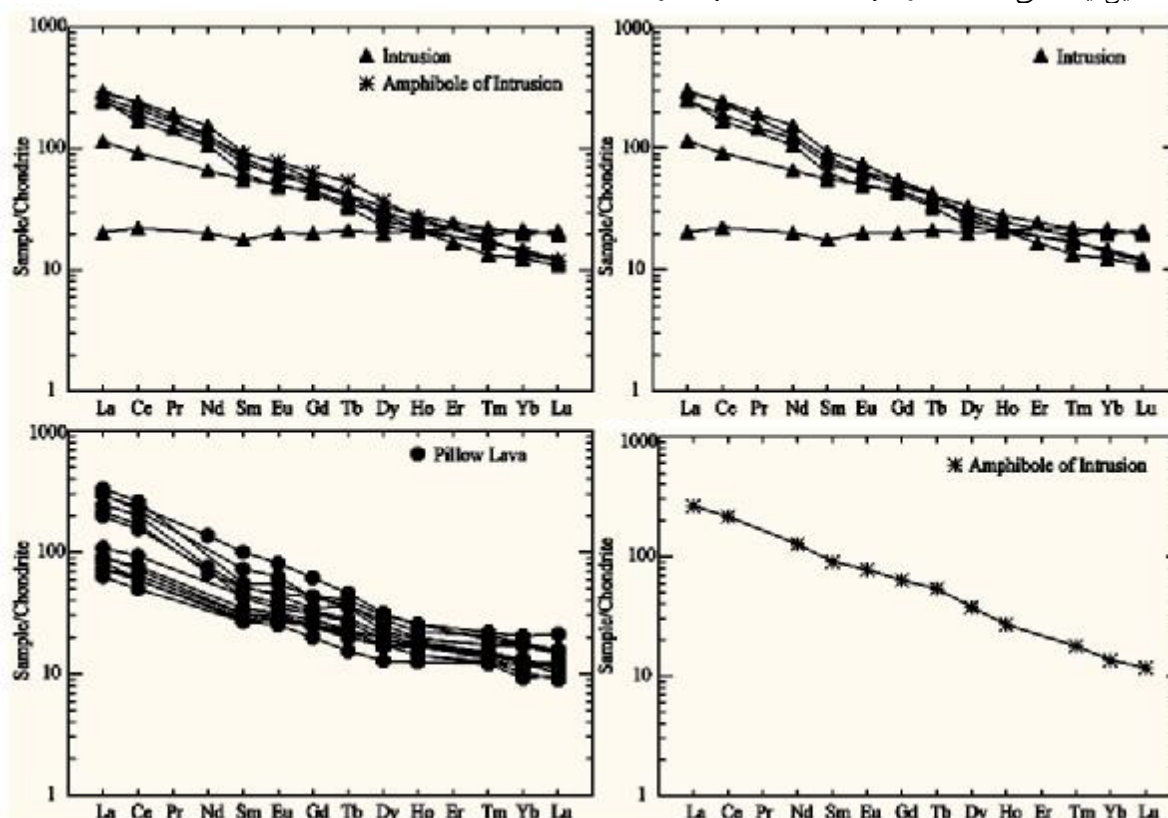
نمایش جداگانه هرکدام از واحدهای سنگی و نرمالیز کردن آن نسبت به کندریت در شکل ۸ نشان می‌دهد که نمونه‌های مورد بررسی در این نمودار دارای شیب منفی بوده و فراوانی عناصر نادرخاکی در آمفیبول‌هایی که از درون سنگ جداسازی شده بودند با سنگ‌های در برگیرنده شباهت بسیار زیادی دارد. این مطلب بیان می‌دارد که تمامی عناصر نادر خاکی موجود در نمونه‌های مورد بررسی توسط آمفیبول‌ها حمل



شکل ۷: نمودارهای تعیین کننده نوع سری ماگمایی، نام سنگ ها، شرایط سنگ منشا و گوشته مربوطه، وضعیت آلومینیوم و نرمالیز شدن سنگ های مورد بررسی در برابر کندریت. A: برگرفته از (Irvine & Baragar, 1971)، B: برگرفته از (Le Maitre et al., 2002) و C: برگرفته از (Pearce, 1982)، D: برگرفته از (Maniar and piccoli, 1989)، E: برگرفته از (Pearce, 1982)، F: برگرفته از (Pearce, 1982)

سرعت صعود و سرد شدن آنها می‌باشد که باعث گردیده یکی از آنها بصورت گدازه‌های بالشی و دیگری بصورت استوک‌های نفوذی دیده شود. ایجاد ساخت بالشی نیز نشان‌دهنده عمیق بودن محیط آبی در هنگام فوران گدازه‌ها به کف دریا است.

مقایسه مقدار عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی موجود در سنگ‌های مورد بررسی و استفاده از نمودارهای تفکیک کننده مختلف، به همراه داده‌های حاصل از شباهت‌های کانی‌شناسی و پتروگرافی نشان می‌دهد که گدازه‌های بالشی و استوک‌ها دارای منشا و شرایط تشکیل یکسانی هستند و تنها اختلاف آنها در



شکل ۸: نمایش جداگانه هر کدام از واحد های سنگی و نرمالیز کردن آن نسبت به کندریت.

این گروه‌های سنگی دارای ویژگی های کانی شناسی و ژئوشیمیایی مخصوص به خود بوده و برپایه ویژگی‌های پتروگرافی و ژئوشیمیایی از یکدیگر قابل تفکیک هستند. استفاده از ترکیب شیمیایی سنگ های مورد بررسی و رسم نمودار براساس مقدار SiO_2 در برابر نسبت K_2O/Na_2O نشان می دهد که این سنگ ها بیشتر دارای ماهیت سدیک هستند تا پتاسیک (شکل ۹A). بررسی مقادیر عناصر اصلی و عناصر نادر خاکی حاصل از آنالیز نمونه های سنگ کل، و کاربرد

بحث

منشاء لمپروفیرها

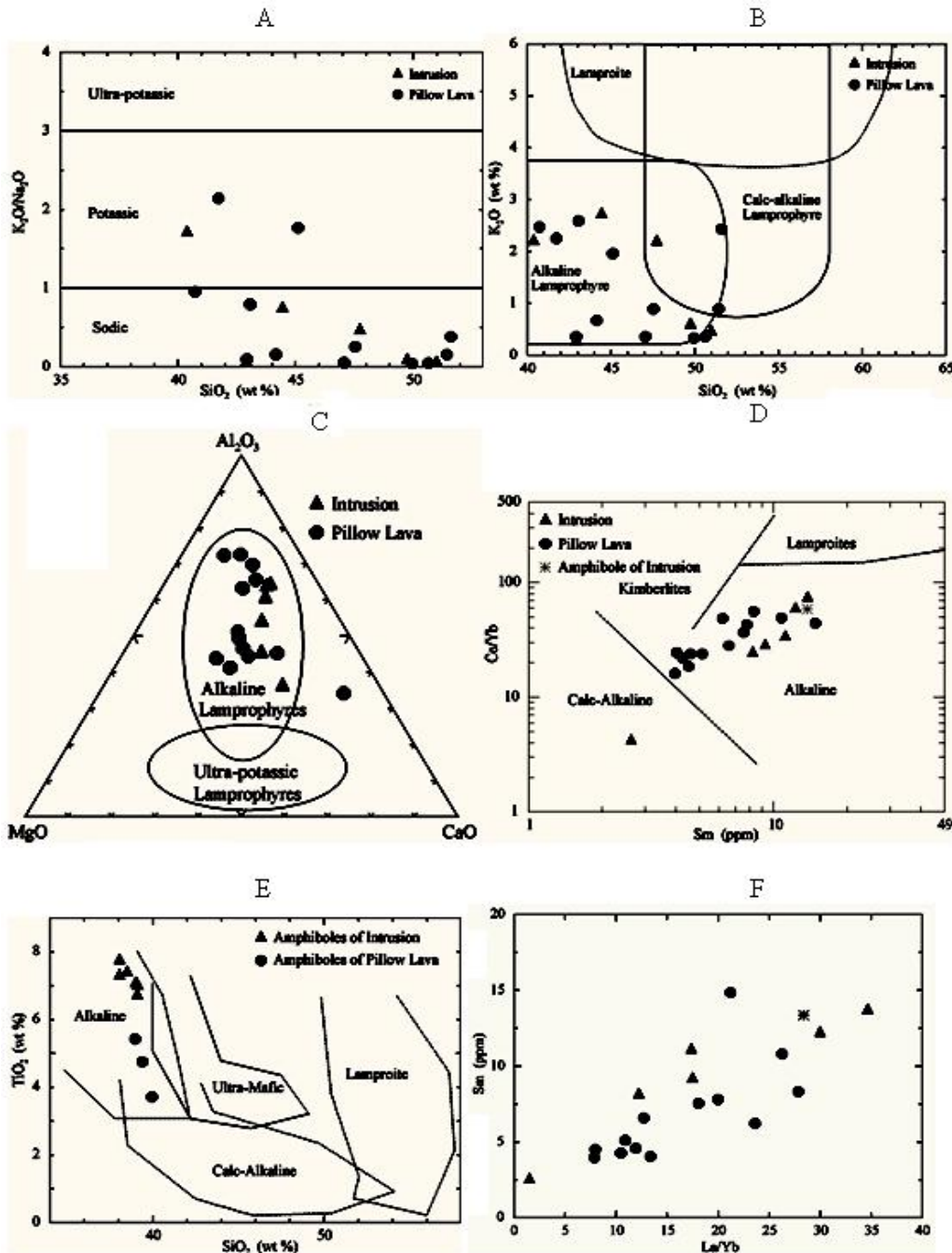
Rock (1991) سنگ‌های لمپروفیری را به ۵ گروه

تقسیم‌بندی نمود:

- ۱- لمپروفیرهای کالک آلکالن
- ۲- لمپروفیرهای آلکالن
- ۳- لمپروفیرهای اولترامافیک
- ۴- کیمبرلیت ها
- ۵- لمپروئیت ها

تفکیک انواع سنگ‌های لمپروفیری براساس ترکیب شیمیایی آمفیبول‌ها است، نیز بیانگر آلکان بودن سنگ‌های لمپروفیری مورد بررسی است (شکل ۹E).

نمودارهایی که براساس استفاده از این عناصر هستند، بیانگر این موضوع است که لمپروفیرهای منطقه پلهاوند از نوع لمپروفیرهای آلکان هستند (شکل‌های B, C, ۹D). استفاده از نمودار SiO_2 در برابر TiO_2 که جهت



شکل ۹: نمودارهای عناصر اصلی و عناصر نادر خاکی که بیانگر تعلق سنگ‌های مورد بررسی به گروه لمپروفیرهای آلکان می‌باشند. A: برگرفته از (Jaques et al., 1985)، B و C: برگرفته از (Rock, 1987) و D و E: برگرفته از (Rock, 1991) F: نمودار La/Yb-Sm (1991)

لرزولیت است، در اثر متازوماتیسم غنی شده باشد (Menzies and Wass, 1983).

محیط تکتونیکی لمپروفیرها

سنگ‌های آکالن از نظر محیط تکتونیکی تشکیل به ۳ گروه تقسیم می‌شوند (Blichert-Toft et al., 1996):

۱- ریفت‌های درون قاره‌ای و ماگماتیسم درون صفحه‌ای

۲- ماگماتیسم درون صفحه‌ای اقیانوسی

۳- ماگماتیسم آکالن مرتبط با فرورانش (جزایر قوسی و قوس‌های قاره‌ای)

Muller et al., (1992 and 1993) معتقد

است که ژئوشیمی لمپروفیرها بیانگر محیط تکتونیکی تشکیل آنها است که در این مورد نمودارهای ژئوتکتونیکی مختلفی نیز وجود دارد. مقدار قابل توجه TiO_2 در سنگ‌های مورد بررسی نشان از عدم ارتباط این سنگ‌ها با مناطق فرورانش، قوس‌های مناطق قاره‌ای و محیط‌های اقیانوسی است (شکل‌های A, B, ۱۰). استفاده از نمودارهایی که براساس عناصر نادر خاکی و عناصر کمیاب موجود در این سنگ‌ها هستند نیز نشان می‌دهد که سنگ‌های لمپروفیری منطقه پلهاوند متعلق به محیط‌های درون قاره‌ای بوده و ارتباطی با مناطق فرورانش ندارند (شکل‌های C, D, ۱۰). اسپینل‌ها نیز کانی‌های بسیار مهمی هستند که ترکیب شیمیایی آنها یک شاخص پتروژنیک بوده و از آنها می‌توان در تفکیک محیط‌های تکتونیکی مختلف استفاده نمود (Mata

نمودار La/Yb-Sm که بیانگر نسبت عناصر نادرخاکی سبک به عناصر نادرخاکی سنگین، و همچنین نقش آمفیبول در تشکیل این سنگ‌ها است، نیز نشان می‌دهد که گدازه‌های بالشی و استوک‌ها از نظر طرز تشکیل شباهت بسیار زیادی به یکدیگر داشته و نمونه‌های آنالیز شده در این نمودار در همه جای آن همراه با هم دیده می‌شوند. فرایندهایی که باعث تشکیل سنگ‌های لمپروفیری می‌گردند عبارتند از:

۱- آلیش ماگمای اولترابازیک با مواد پوسته‌ای (McDonald et al., 1985)

۲- تفریق شدید ماگمای بازیک غنی از CO_2 و H_2O (Currie and Williams, 1993)

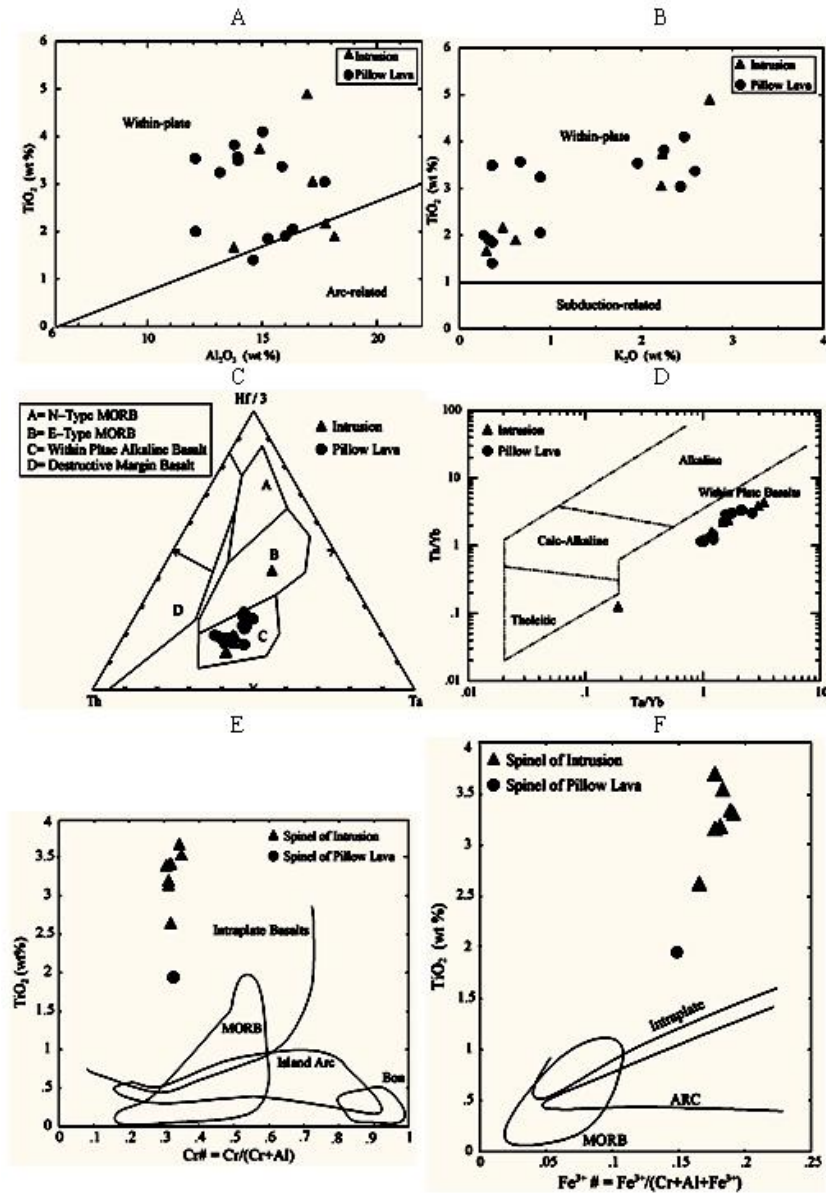
۳- ذوب بخشی درجه کم گوشته متازوماتیز شده زیر قاره (Rock, 1987, 1991)

بررسی‌های صحرائی و پتروگرافی به همراه نبود زولیت‌هایی با منشا گوشته و یا پوسته در سنگ‌های مورد بررسی، تاثیر فرایندهای اول و دوم در تشکیل سنگ‌های لمپروفیری منطقه پلهاوند را رد می‌نماید.

در حالی که مقادیر بسیار بالای عناصر نادرخاکی سبک (LREE) و مقدار بسیار بالای نسبت La/Lu نشان می‌دهد که این لمپروفیرها از ذوب بخشی درجه بسیار پایین یک گارنت لرزولیت بدست آمده‌اند (Hirschmann et al., 1999; Mitchell and Bergman, 1991; Riley et al., 2003). به منظور تشکیل چنین مذاب‌هایی که از نظر عناصر نادرخاکی سبک و عناصر ناسازگار بسیار غنی هستند، قبل از ذوب بخشی لازم است که سنگ منشا که یک گارنت

آنها نیز بیانگر تعلق آنها به محیط‌های درون صفحه‌ای است (شکل‌های ۱۰E, F).

(and Munha, 2004). ترکیب اسپینل‌های موجود در این سنگ‌ها و مقدار قابل توجه TiO_2 در ساختار



شکل ۱۰: نمودارهای مختلف بیانگر تعلق نمونه‌های مورد بررسی به ماگماتیسم درون صفحه قاره-ای است.

A و B: برگرفته از (Muller et al., 1993). **C:** برگرفته از (Wood, 1980)

D: برگرفته از (Pearce, 1982). **E:** برگرفته از (Arai, 1992)

بررسی (که نشان از درجه ذوب بخشی پایین است)، موقعیت منطقه مورد مطالعه که در نزدیکی حاشیه غربی خرد قاره شرق-ایران مرکزی است، و رخنمون این سنگ‌ها در امتداد گسل ژرف و بسیار طولانی ترکمنی-

داده‌های حاصل از بررسی‌های صحرائی، پتروگرافی و ژئوشیمی سنگ‌ها و کانی‌ها نشان از رخداد یک ماگماتیسم لمپروفیری در امتداد گسل ترکمنی-اوردیب در پالئوزوئیک بالایی دارد. حجم کم سنگ‌های مورد

- 4- S., Arai, Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry. *Mineralogical Magazine*, 56, 173-184; (1992).
- 5- Aydar, Erkan; Bayhan, Hasan; Gourgaud, Alain, The lamprophyres of Afyon. stratovolcano, Western Anatolia, Turkey: description and genesis. *Comptes Rendus Geoscience* 335, 279–288; (2003).
- 6- S., Bagheri, The exotic Paleo-tethys terrane in Central Iran: new geological data from Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam areas. PhD thesis, Faculty of Geosciences and Environment, University of Leusanne, Switzerland (Unpublished), 208 p; (2007).
- 7- J., Blichert-Toft, N.T., Arndt, and J.N., Ludden, Precambrian alkaline magmatism. *Lithos*, 37, 97–111; (1996).
- 8- K.L., Currie, and P.R., Williams, An Archean calc-alkaline lamprophyre suite, northeastern Yilgarn block, Western Australia, *Lithos*, 31, 33–50; (1993).
- 9- G.T.R., Droop, A general equation for estimating Fe³⁺ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria, *Mineralogical Magazine*, 51, 431-435; (1987).
- 10- Guo, Feng; Weiming, Fan; Yuejun, Wang and Ming, Zhang, Origin of early Cretaceous calc-alkaline lamprophyres from the Sulu orogen in eastern China: implications for enrichment processes beneath continental collision belt, *Lithos*, 78, 291-305; (2004).
- 11- M.M., Hirschmann, M.S., Ghiorso, and E.M., Stolper, Calculation of peridotite partial melting from thermodynamic models of minerals and melts. II Isobaric variations in melts near the solidus and owing to variable source composition, *Journal of Petrology*, 40, 297–313; (1999).
- 12- T.N., Irvine, and W.R.A., Baragar, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian J. Earth Sciences*, 8, 523-548; (1971).
- 13- A.L., Jaques, R.A., Creaser, J., Ferguson, and C.B., Smith, A review of the alkaline rocks of Australia, *Trans Geol Soc S Afr*, 88, 311–334; (1985).

اوردید، در توافق با محیط تکتونیکی در نظر گرفته شده برای این سنگها (ماگماتیسم درون قاره‌ای) است.

نتیجه گیری

مطالعه گدازه‌های بالشی و توده های نفوذی لمپروفیری منطقه پلهاوند در جنوب شرق انارک نشان می‌دهد که این سنگها از نظر سنگ شناختی و طرز تشکیل شبیه یکدیگر بوده و جزو لمپروفیرهای آلکالن مرتبط با ماگماتیسم درون قاره ای هستند. واحد های سنگی مورد بررسی بعد از ماگماتیسم در اثر دگرگونی کف اقیانوس در رخساره شیست سبز اسپیلیتی شده‌اند. مطالعه این لمپروفیرها که در محل گسل ترکمنی - اوردید رخمون دارند نشان می‌دهد که این گسل بسیار عمیق بوده و در زمان پالئوزوئیک در رخداد ماگماتیسم دارای نقش اساسی بوده است.

منابع

- ۱- ترابی، قدرت، پترولوژی افیولیت‌های منطقه انارک (شمال شرق استان اصفهان) با تاکید بر مطالعه سنگ‌های اولترامافیک - مافیک افیولیت شمال انارک و سنگ‌های اولترامافیک - مافیک ملانژ افیولیتی عشین-زوار، رساله دکترای پترولوژی، بخش زمین‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس، ۲۴۰ صفحه، ۱۳۸۳.
- 2- M., Almasian, Tectonics of the Anarak area (Central Iran). PhD thesis of Islamic Azad University, Science and Research Unit, 164 p; (1997).
- 3- A.V., Andronikov, S.F., Foley, Trace element and Nd-Sr isotopic composition of ultramafic lamprophyres from the East Antarctic Beaver Lake area, *Chemical Geology*, 175, 291-305; (2001).

- lamprophyres from the Jungel Valley, Mahakoshal supracrustal belt, Central India, *Mineralogy and Petrology*, 89, 189–215; (2007).
- 25- Riley, R., Teal Leat, T., Philip Storey, C., Bryan Parkinson, J., Ian and Millar, L., Ian, Ultramafic lamprophyres of the Ferrar large igneous province: evidence for a HIMU mantle component, *Lithos*, 66, 63-67; (2003).
- 26- N.M.S., Rock, The nature and origin of lamprophyres: an overview. In: Fitton JG, Upton BGJ (eds) *Alkaline igneous rocks*. Geol Soc Lond Spec Publ, 30, 191–226; (1987).
- 27- N.M.S., Rock, *Lamprophyres*, Blackie and Sons Ltd, Glasgow, 285 p; (1991).
- 28- F.S., Spear, *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths*. Mineralogical Society of America, 799 p; (1995).
- 29- S.S., Sun, and W.F., McDonough, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. Eds. , *Magmatism in Ocean Basins*. Geol. Soc. Spec. Publ., London, 313–345; (1989).
- 30- S., Tappe, G. A., Jenner, S. F., Foley L. M., Heaman, D., Besserer, B. A., Kjarsgaard and A. B., Ryan, Torngat ultramafic lamprophyres and their relation to the North Atlantic Alkaline Province, *Lithos*, 76, 491-518; (2004).
- 31- Technoexport, *Geology of the Anarak area (Central Iran)*. Geological Survey of Iran, V/O “Technoexport”, Report TE/No.19, 143 p; (1984).
- 32- D.A., Wood, The application of a Th - Hf - Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification. *Earth and Plan. Sci. Lett.*, 50, 1-30; (1980) .
- 33- A.R., Woolley, S.C., Bergman, A.D., Edgar, M.J., Le Bas, R.H., Mitchell, N.M.S., Rock, and B.H., Scott-Smith, Classification of lamprophyres, lamproites, kimberlites and the kalsilitic, melilitic and leucitic rocks. *Canadian Mineralogist*, 34, 175–186; (1996).
- 14- R., Kretz Symbols for rock-forming minerals, *American Mineralogist*, 68, 277-279; (1983).
- 15- R.W., Le Maitre, *Igneous rocks: a classification and glossary of terms*. 2nd Edition. Cambridge University press, Cambridge, 236 p; (2002).
- 16- P.D., Maniar, and P.M., Piccoli, Tectonic discrimination of granitoids, *Geological Society of America Bulletin*, 101, 635-643; (1989).
- 17- J., Mata, J., Munhá, Madeira Island alkaline lava spinels: petrogenetic implications, *Mineralogy and Petrology*, 81, 85-111; (2004).
- 18- R., McDonald, R.S., Thorpe, J.W., Gaskarth, and A.R., Grindrod, Multi source origin for Caledonian lamprophyres of northern England, *Mineralogical Magazine*, 49, 485–494; (1985).
- 19- M.A., Menzies, and S.Y., Wass, 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; (1983).
- 20- R.H., Mitchell, and S.C., Bergman, *Petrology of lamproites*. Plenum Press, New York, 447 p; (1991).
- 21- D., Muller, E.F., Stumpfl, and W.R., Taylor, Shoshonitic and alkaline lamprophyres with elevated Au and PGE Concentrations from the Kreuzeck mountains, Eastern Alps, Austria, *Mineralogy and Petrology*, 46, 23–42; (1992).
- 22- D., Muller, B.J., Morris, and M.J., Ferrand, Potassic alkaline lamprophyres with affinities to lamproites from the Karinya Syncline, South Australia, *Lithos*, 30, 123–137; (1993).
- 23- J.A., Pearce, Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. -In: THORPE, R.S. (Ed.): *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*: p. 525-548, 16 Fig., 1 Taf.; John Wiley & Sons, London; (1982).
- 24- K., Rajesh, N.V., Srivastava and Chalapathi Rao, *Petrology, geochemistry and tectonic significance of Palaeoproterozoic alkaline*