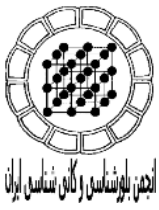
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

سال بیستم، شمارهٔ ۴، زمستان ۹۱، از صفحهٔ ۶۸۵ تا ۷۰۰



پتروژنز و دما- فشار سنجی سنگ‌های آذرین مافیک و اولترامافیک در مجموعه‌ی افیولیتی شرق بیرجند

غلامرضا فتوحی‌راد*، غلامرضا نوروزی، احمد آریافر

گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند

(دریافت مقاله: ۹۰/۳/۲۵، نسخه نهایی: ۹۰/۹/۱۹)

چکیده: سنگ‌های آذرین مافیک و اولترامافیک مورد بررسی، به یک مجموعه‌ی افیولیتی وابسته‌اند که در شرق بیرجند (بین سولابست در جنوب تا شمال گزیک در شمال) واقع شده است. نتایج نمودارهای کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که گابروها و تعدادی از پریدوتیت‌ها به سری انباشتی ماگمای مورب زون گسترش یافته‌ی کف اقیانوس وابستگی دارند و تعدادی دیگر نیز از انواع دگرگون (تکتونیت‌ها) هستند. سری ماگمایی سنگ‌های آذرین مورد بررسی بر اساس نمودارهای ژئوشیمیایی تولئیتی است. مشابهت الگوهای عناصر کمیاب در نمودارهای عنکبوتی نیز وابستگی این سنگ‌ها را به ماگمای بازالتی نوع مورب تأیید می‌کند. نتایج دما - فشارسنجی تعدادی از این سنگ‌ها که بر اساس درجه بندی‌های مختلف محاسبه شده‌اند دماهایی بین ۹۴۴ درجه‌ی سانتیگراد در گابروها تا ۱۲۹۴ درجه‌ی سانتیگراد در پریدوتیت‌ها بدست داده است. برای تبلور این سنگ‌ها، بر اساس محاسبات نرم افزار ترموکالک هلند و پاول، دماهایی بین ۷۴۸ درجه‌ی سانتیگراد در گابروها تا ۱۲۸۲ درجه‌ی سانتیگراد در پریدوتیت‌ها و فشارهایی بین ۱۷٫۴۶ در گابرو تا ۲۴٫۷ و ۳۳٫۶ کیلوبار در پریدوتیت‌ها به دست آمدند. اغلب این دماهای به دست آمده بخصوص دماهای ترموکالک برای تبلور این سنگ‌ها از ماگمای غنی از منیزیم نوع مورب در یک مرکز گسترش کف اقیانوسی منطقی می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: *مجموعه‌ی افیولیتی؛ سنگ‌های آذرین مافیک و اولترامافیک؛ سری انباشتی؛ دما- فشارسنجی - بیرجند.*

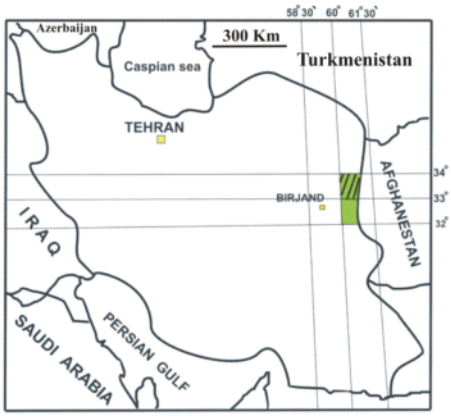
مقدمه

مجموعه‌ی افیولیتی سولابست- گزیک، در فاصله‌ای در حدود ۱۲۵ کیلومتری شرق بیرجند در نقشه‌های زمین شناسی گزیک و شاهرخت [۱] واقع شده است. مناطق گزیک و شاهرخت چنانکه در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ مشاهده می‌شوند در شرق ایران قرار گرفته‌اند.

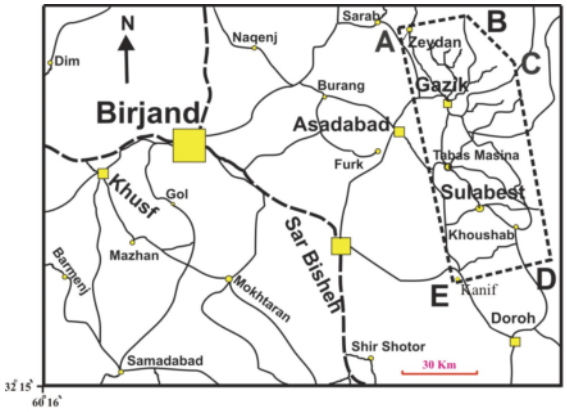
افیولیت‌های شرق ایران با روندی شمال غربی - جنوب‌شرقی به صورت منشورهای به هم افزوده در شرق، جنوب شرقی و نیز جنوب بیرجند و شرق نهبندان، و در همبافت‌های نه و رتوک واقع شده‌اند (شکل ۳) و بیش از ۳۰ درصد زون جوش خورده‌ی سیستان را تشکیل می‌دهند [۲] که در بعضی مناطق با سازندهای فلیش نیز مخلوط شده‌اند.

* نویسنده مسئول، تلفن-نمابر: ۲۵۰۲۰۷۸ (۰۵۶۱)، پست الکترونیکی: gfotohi@yahoo.com

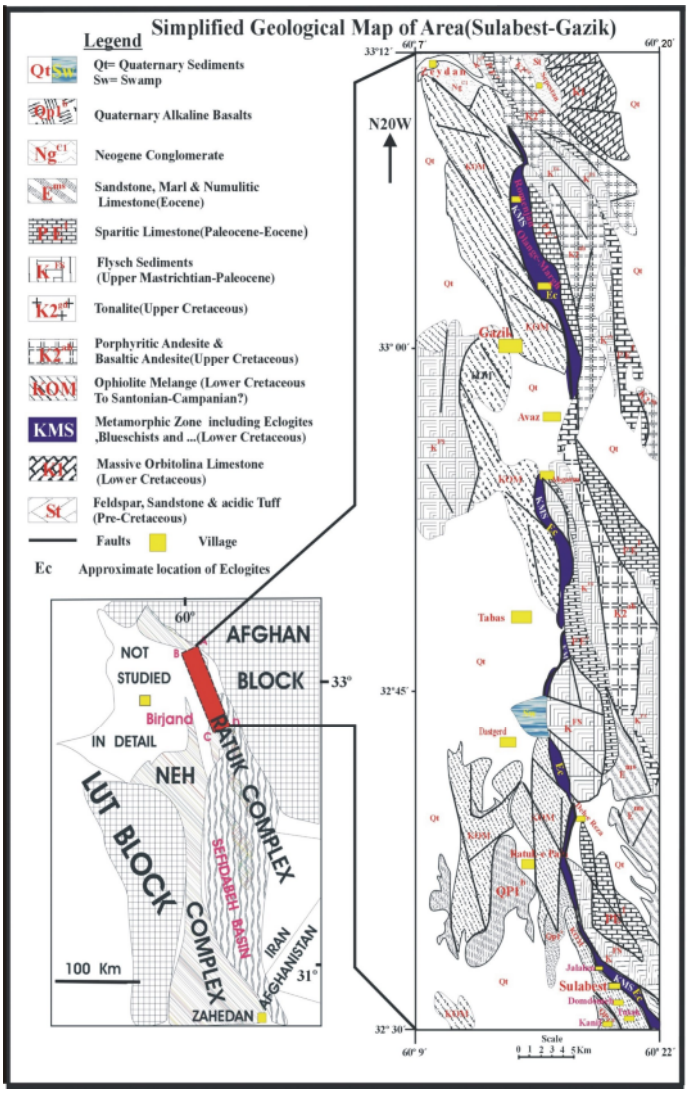
[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]



شکل ۱ موقعیت نقشه‌های چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ شاهرخت (بخش هاشورزده شده شمالی) و گزیک (بخش جنوبی) در نقشه ایران.



شکل ۲ موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد بررسی و راه‌های ارتباطی.



شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی ساده شده‌ای از منطقه‌ی مورد بررسی که موقعیت تقریبی منطقه در زون جوش خورده سیستان ([۲]) را نیز نشان می‌دهد.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

در منطقه‌ی مورد بررسی نیز چنین وضعیتی مشاهده می‌شود که افیولیت و سازندهای فلیش دگرگون شده و دگرگون نشده (به‌صورت مخلوط) با راستای شمال غربی- جنوب شرقی در بخش‌های مرکزی و شمالی چهارگوش گزیک و بخش‌های جنوبی و مرکزی چهارگوش شاهرخت رخنمون دارند و رخنمون‌های نسبتاً وسیعی در ناحیه‌ی مجاور (ناحیه‌ی بیرجند) به سمت غرب نشان می‌دهند. بنا براین ناحیه‌ی مورد بررسی تنها دربردارنده‌ی کناره‌ی شرقی این زون افیولیتی بزرگ است.

خلاصه‌ای از زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی

اجزای افیولیتی منطقه که روی زمین مشخص شده‌اند از بالا به پایین به قرار زیرند: گدازه‌های بالشی دگرگون شده، چرت‌ها و رادیولاریت‌های نواری و ژاسپر، گدازه‌ها و توف‌های بازی که برخی از آن‌ها دگرگون شده‌اند، دایک‌های صفحه‌ای بسیار دگرگون شده، میکروگابرو ها و دولریت‌ها که بعضی برونزدهای این سنگ‌ها دگرگون شده‌اند، گابروهای لایه‌ای و همسانگرد از انواع دگرگون شده و دگرگون نشده، سنگ‌های اولترامافیک که بعضی سرپانتینی و دگرگون شده‌اند، کمربند (زون) دگرگونی بخش شرقی افیولیت را تشکیل داده‌اند. (شکل ۳) [۳].

به طور کلی فلیش و افیولیت‌های مخلوط شده با آن، تحت تأثیر یک دگرگونی با شدت متغیر از دگرگونی درجه‌ی خیلی پایین تا دگرگونی درجه بالای رخساره‌ی اکلوژیت قرار گرفته است [۳]. فاز اصلی تغییر شکل و دگرگونی بر پایه‌ی سال‌سنجی ایزوتوپی [۴] طی کامپانین تا ماستریشتین (یعنی در کرتاسه پسین) شکل گرفته است. این دگرگونی ضمن فرآیند فرورانش حاکم بر منطقه رخ داده است [۳]. آهک‌های میکریتی با میکروفسیل‌های شاخص ماستریشتین زیرین نشان می‌دهد که یک حوضه‌ی دریایی پشت خوکی [۵] در محل ترنچ در این زمان وجود داشته که بعداً این سنگ‌ها با افیولیت ملانژ مخلوط شده‌اند. رسوب‌های ماستریشتین پسین بدون دگرگونی و به صورت دگرشیبی افیولیت را پوشانده است[۳].

روش پژوهش

پس از بررسی‌های صحرایی و سنگ‌نگاری برای بررسی‌های ژئوشیمیایی و تفسیرهای سنگ‌شناسی تعدادی از نمونه‌های سنگی پریدوتیت‌ها و گابروها در دانشگاه تربیت مدرس تهران به روش XRF، برای شناخت عناصر اصلی و کمیاب آنالیز شدند که نتایج آنالیزها در جداول ۱ تا ۴ ارائه شده‌اند.

همچنین سه نمونه از سنگ‌های آذرین مورد بررسی برای بررسی‌های زمینی- دماسنجی و نیز سنگ‌شناسی‌های دیگر انتخاب و در گروه علوم زمین دانشگاه منچستر انگلستان و با استفاده از ریز کاونده‌ی الکترونی آنالیز شدند؛ دستگاه مورد استفاده در این پژوهش یک ژئواسکن ساخت کمبریج بود که متصل به سیستم QX- 2000 ساخت آکسفورد است و تجزیه‌ها با استفاده از یک بینابسنج پاشنده‌ی (EDS) پرتو X، با دقت حدود ۰/۲ درصد وزنی، انجام گرفت. کاوش با یک ولتاژ شتاب دهنده‌ی 15 kv با زمان شمارش ۴۰ ثانیه برای هر تجزیه انجام شد که قبلاً تصحیح خودکار ZAF با استفاده از نرم افزار اتصالی ZAF4/FLS صورت گرفت. به دلیل اینکه EPMA مقدار Fe^{2+} و Fe^{3+} را نمی‌تواند تعیین و متمایز کند، Fe کانی‌ها باید یا بصورت Fe^{2+} و یا به صورت Fe^{3+} داده شود. در این پژوهش برای کانی‌های آهن داری مانند پیروکسن‌ها که نسبت‌های متغیری از Fe^{2+}/Fe^{3+} دارند، مقدار Fe^{3+} با استفاده از معادله دروپ [۶] بر اساس عنصر سنجی کانی‌های یاد شده براورد شد. نتایج آنالیز نقطه‌ای کانی‌های سه نمونه سنگی در جدول های ۵ و ۶ ارائه شده‌اند.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

جدول ۱ نتایج تجزیه‌ی XRF و شیمی مرطوب سنگ‌های اولترامافیک مجموعه‌ی افیولیتی (۳ نمونه‌ی سمت چپ در رساله دکتری [۳] و ۲ نمونه‌ی سمت راست در پژوهش دوره‌ی کارشناسی ارشد [۱۸] به‌دست‌آمده‌اند). (n.d.= not detected).

Sample	FSD1	TDF4	FGa2	An-19*	An-4*
نام نمونه/ اکسید ها	متا هارزبورژیت	هارزبورژیت	لرزولیت	متا هارزبورژیت	هارزبورژیت
SiO_2	۳۸٫۳۷	۳۸٫۸۵	۳۹٫۹۳	۴۱٫۳۹	*۳۸٫۶۴
Al_2O_3	۰٫۷۰	۱٫۳۲	۱٫۰۴	۱٫۱۴	۰٫۴۲
Fe_2O_3	۱٫۱۰	۱٫۳۱	۰٫۸۷	۰٫۷۶	۱٫۱۰
FeO	۸٫۱۲	۸٫۳۲	۸٫۳۲	۶٫۹۶	۶٫۷۲
TiO_2	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۲
CaO	۱٫۰۲	۱٫۴۳	۱٫۴۵	۱٫۵۲	۱٫۱۱
MgO	۳۹٫۵۷	۳۶٫۵۰	۳۹٫۵۳	۳۸٫۸۹	۳۸٫۷۹
Na_2O	۰٫۰۹	۰٫۰۶	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۰۴
K_2O	n.d.	n.d.	n.d.*	۰٫۰۲	۰٫۰۱
SO_3	۰٫۱۳	۰٫۰۹	۰٫۱۲	۰٫۰۷	۰٫۰۴
P_2O_5	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۳
MnO	۰٫۱۱	۰٫۲۲	۰٫۱۱	۰٫۱۱	۰٫۰۹
LOI	۱۱٫۲۷	۹٫۶۶	۹٫۳۶	۸٫۳۹	۱۲٫۹۹
Total	۱۰۰٫۱۸	۹۹٫۹۳	۱۰۰٫۷۸	۹۹٫۴۸	۹۹٫۶۵

جدول ۲ نتایج تجزیه‌ی XRF ۲۸ عنصر نادر و نادر خاکی پریدوتیت‌های مجموعه‌ی افیولیتی (برحسبPPM). عناصر کمیاب بر حسب بخش در میلیون (ppm) است و n.d.= not detected .

Sample	FGa2	TDF4	FSD1
Element/نام نمونه	لرزولیت	هارزبورژیت	متاهارزبورژیت
As	<۳×	<۳	<۳
Ba	n.d.*	n.d.	n.d.
Bi	n.d.	n.d.	۱
Ce	۳۱	۳۴	۴۲
Co	۱۰۶	۱۰۴	۱۰۳
Cr	۲۱۶۵	۲۴۰۱	۲۲۵۱
Cs	n.d.	n.d.	n.d.
Cu	n.d.	n.d.	n.d.
Ga	۳	۴	۳
Hf	n.d.	n.d.	n.d.
La	n.d.	n.d.	n.d.
Mo	۳	۴	۳
Nb	۴	۷	۴
Nd	۲۶	۲۵	۲۴
Ni	۲۴۰۲	۲۴۰۱	۲۴۲۵
Pb	۱	۱	۱
Rb	۲	n.d.	۱
Sb	۳	۳	۲
Sn	n.d.	۴	n.d.
Sr	۳	۴	۲
Ta	۵۰۷	۵۰۰	۴۹۸
Th	۱	۱	۲
U	۲	۶	۳
V	۴۹	۶۰	۴۳
W	۱۰۶	۱۰۱	۱۰۰
Y	۵	۵	۴
Zn	۴۸	۴۳	۴۲
Zr	۵	۷	۶

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

جدول ۳ نتایج تجزیه‌ی XRF و شیمی مرطوب سنگ‌های آذرین مافیک مجموعه‌ی افیولیتی. تنها نمونهٔ An-3 به روش شیمی مرطوب تجزیه شده است.

Sample	NSF2	FJ8	FJ1	BGF5	FSD18	*An-3
نام نمونه/ اکسید ها	گابرونوریت	متا دیاباز	متا گابرو	گابرو	متا گابرودیوریت	گابرو
SiO_2	۳۹٫۴۹	۵۲٫۴۸	۴۷٫۷۱	۴۵٫۴۷	۴۰٫۸۷	۴۶٫۷۳
Al_2O_3	۱۴٫۲۱	۱۱٫۹۵	۹٫۳۵	۱۷٫۷۲	۱۲٫۷۸	۱۷٫۸۹
Fe_2O_3	۰٫۹۸	۰٫۷۷	۰٫۷۳	۰٫۵۶	۰٫۹۷	۰٫۶۹
FeO	۸٫۷۹	۶٫۸۶	۶٫۵۲	۵٫۰۴	۸٫۶۶	۲٫۷۰
TiO_2	۰٫۱۲	۰٫۲۶	۰٫۲۲	۰٫۲۵	۱٫۰۵	۰٫۲۰
CaO	۲۱٫۳۹	۱۱٫۵۱	۲۸٫۲۵	۱۲٫۷۳	۲۲٫۲۲	۱۶٫۷۷
MgO	۹٫۲۸	۱۱٫۸۱	۲٫۳۰	۱۰٫۹۵	۷٫۲۳	۸٫۸۹
Na_2O	۰٫۶۲	۲٫۵۳	۰٫۹۱	۲٫۰۱	۰٫۹۷	۱٫۹۵
K_2O	۰٫۰۸	۰٫۲۱	۰٫۱۰	۰٫۹۳	۰٫۱۵	۰٫۲۳
SO_3	۱۰۰٫۴۱	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۰۱
P_2O_5	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۰۲	۰٫۱۱	۰٫۰۲
MnO	۰٫۱۳	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۲۵	۰٫۴۹	۰٫۰۶
LOI	۵٫۳۰	۱٫۳۹	۴٫۰۸	۳٫۹۳	۴٫۲۶	۳٫۳۹
Total	۱۰۰٫۴۱	۹۹٫۸۹	۱۰۰٫۳۱	۹۹٫۸۹	۹۹٫۷۷	۹۹٫۵۲

جدول ۴ نتایج تجزیه‌ی XRF برای ۲۸ عنصر نادر و نادر خاکی سنگ‌های آذرین مافیک مجموعه افیولیتی (برحسب PPM) (n.d.= not detected).

Samle	FSD18	BGF5	FJ1	FJ8	NSF2
Element/نام نمونه	متا گابرودیوریت	متا گابرو	متا گابرو	متا دیاباز	گابرونوریت
As	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳
Ba	۱۳۰	۲۱	۵۰	۲۴	۱۸
Bi	۲	n.d.	۴	۱	۲
Ce	۱۲	۳۵	۳۸	۲۳	۴۱
Co	۳۱	۳۰	۲۰	۴۶	۵۲
Cr	۱۲۵	۵۷۸	۸۵	۶۶۱	۱۵۳
Cs	۴	۱۰	۷	۶	n.d.
Cu	۷	۷۵	۳	n.d.	۱۸
Ga	۱۷	۱۴	۱۰	۱۰	۱۲
Hf	۱	۱	n.d.	۱	n.d.
La	۳	۴	۸	n.d.	۳
Mo	۱	۱	۱	n.d.	۳
Nb	۴	۲	۵	۳	۲
Nd	۲۸	۱۶	۲۳	۲۱	۲۹
Ni	۴۶	۱۴۲	۱۰	۲۰۱	۱۵۴
Pb	۱	۲	۲	۱	۱
Rb	۴	۱۵	۷	۱	۰
Sb	۳	۲	۱	۲	۳
Sn	۹	۲	n.d.	۱	۵
Sr	۳۲۵	۴۲۲	۱۳۹	۲۶۷	۶۱۸
Ta	۹	۲۱	۶	۳۴	۲۲
Th	n.d.	۱	۲	۱	n.d.
U	۳	۱	n.d.	n.d.	n.d.
V	۲۳۱	۱۲۲	۴۸	۲۲۶	۲۹۴
W	۹	۲	۱۶	۱۱	۱۷
Y	۲۶	۹	۲۳	۱۳	۱
Zn	۵۱	۲۵	۲۹	۱۶	۵۱
Zr	۵۷	۱۰	۲۷	۹	۲

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

جدول ۵ نتایج ریز کاوش الکترونی الیوین در پریدوتیت‌ها.

Sample No.	TDF4	FSD6
Oxides/ Min.	ol-ave	ol-ave
SiO_2	۴۹/۷۱	۴۱/۵۹
TiO_2	۰/۰۸	۰/۰۴
Al_2O_3	n.d.	۰/۰۱
Cr_2O_3	۰/۰۱	۰/۰۲
FeO	۹/۰۴	۹/۰۶
MnO	۰/۰۶	۰/۰۳
MgO	۴۹/۰۲	۵۰/۰۰
CaO	۰/۰۵	۰/۰۴
Na_2O	۰/۰۹	۰/۰۵
K_2O	۰/۰۳	۰/۰۲
Total	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۸۵

جدول ۶ نتایج تجزیه‌ی ریزکاوش پیروکسن‌ها در پریدوتیت‌ها و گابرونوریت.

Sample No.	NSF2	NSF2	TDF-4	FSD6	TDF4	FSD6
Oxides/ Min.	opx-ave	cpx-ave	cpx-ave	cpx-ave	opx-ave	opx-ave
SiO_2	۵۴/۰۵	۵۲/۶۳	۵۲/۴۳	۵۱/۶۹	۵۵/۳۳	۵۵/۰۴
Al_2O_3	۱/۲۸	۲/۲۲	۴/۷۱	۴/۶۲	۳/۶۰	۳/۸۸
Cr_2O_3	۰/۰۱	۰/۰۳	۱/۰۳	۰/۹۰	۰/۵۷	۰/۷۲
Fe_2O_3	۰/۴۰	۲/۶۰	n.d.	۱/۴۷	۰/۶۱	۰/۵۵
FeO	۱۸/۳۶	۵/۷۶	۲/۶۱	۱/۲۸	۵/۲۵	۵/۵۳
MnO	۰/۲۸	۰/۱۲	۰/۰۷	n.d.	۰/۱۲	۰/۰۱
MgO	۲۴/۷۴	۱۴/۷۶	۱۷/۶۵	۱۷/۸۲	۳۱/۹۲	۳۱/۹۸
CaO	۱/۵۱	۲۱/۴۱	۲۱/۹۵	۲۲/۴۵	۳/۰۸	۲/۵۶
Total	۱۰۰/۶۶	۱۰۰/۲۵	۱۰۰/۴۰	۱۰۰/۲۴	۱۰۰/۴۳	۹۹/۹۸

از میان دو نرم افزار مهم برای محاسبات دما-فشارسنجی یعنی TWEEQU، برمن [۷] و Thermocalc هلند و پاول [۸]، به دلیل تصحیحات خودکار لازم در محاسبات که با نرم افزار اول انجام نمی‌شد [۹] از نرم افزار دوم انتخاب شد. همچنین در همه‌ی نمونه‌ها از درجه‌بندی‌های مختلفی استفاده شد [۱۰-۱۴] که خلاصه‌ی نتایج حاصل در جدول ۷ ارائه شده است.

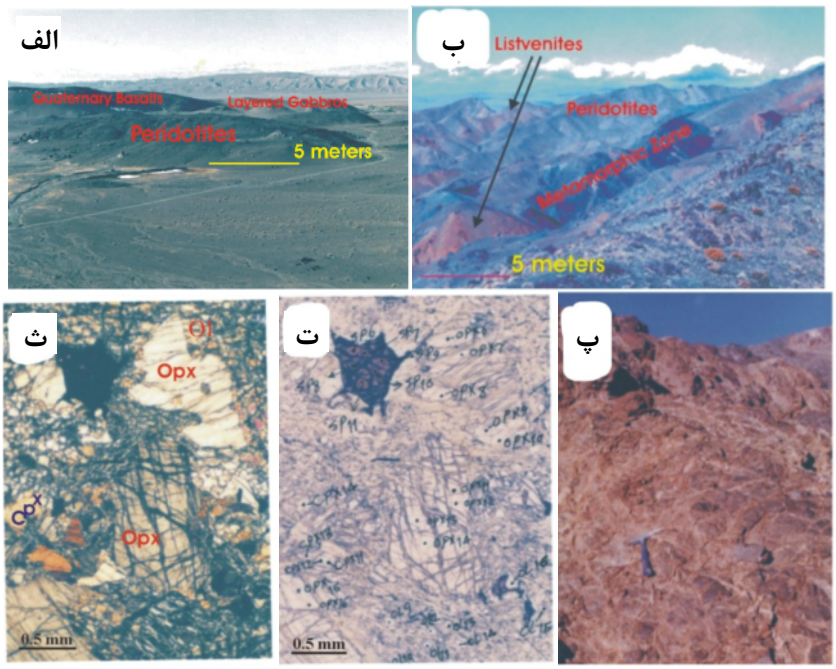
سنگ‌نگاری سنگ‌های آذرین مورد بررسی

این سنگ‌ها شامل انواع پریدوتیت‌ها و معادل‌های دگرگون شده‌ی آنها، گابروها و متاگابروها، میکروگابروها و متامیکروگابروها، سرپانتینیت‌ها و متاسرپانتینیت و دایک‌های دیابازی با ساخت صفحه‌ای می‌شوند (شکل ۴- الف، ب و پ). در این بخش سنگ‌نگاری سنگ‌های آذرین مورد بررسی به تفکیک در هر سنگ یا گروه سنگی و بصورت خلاصه مورد بحث قرار گرفته است.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

جدول ۷ نتایج زمین فشار سنجی سنگ‌های آذرین مورد بررسی.

نمونه/کالیبراسیون	هارزبورژیت (TDF4)	لرزولیت (FSD6)	متاگابرونوریت (NSF2)
اورتوپیروکسن – کلینوپیروکسن وود و بانو(۱۹۷۳) [۱۰]	۱۱۷۴±۶۰ درجه‌ی سانتیگراد	۱۱۶۶±۶۰ درجه‌ی سانتیگراد	۹۴۴±۶۰ درجه‌ی سانتیگراد
اورتوپیروکسن – کلینوپیروکسن ولز (۱۹۷۷) [۱۱]	۱۰۸۹±۷۰ درجه‌ی سانتیگراد	۱۰۷۴±۷۰ درجه‌ی سانتیگراد	۹۷۰±۷۰ درجه‌ی سانتیگراد
اورتوپیروکسن – کلینوپیروکسن برتراند و مرسیر(۱۹۸۵) [۱۲]	۱۱۸۶±۱۸ درجه‌ی سانتیگراد در ۲۵ کیلوبار	۱۱۸۶±۱۸ درجه ی سانتیگراد در ۲۵ کیلوبار	۱۱۸۶±۱۸ درجه‌ی سانتیگراد در ۲۰ کیلوبار
اورتوپیروکسن–کلینوپیروکسن برتراند و مرسیر(۱۹۸۵) [۱۲]	۱۱۷۷±۱۸ درجه‌ی سانتیگراد در ۳۰ کیلوبار	۱۱۲۲±۱۸ درجه‌ی سانتیگراد در ۳۰ کیلوبار	۱۱۷۵±۱۸ درجه‌ی سانتیگراد در ۲۵ کیلوبار
الیوین–کلینوپیروکسن – اسپینل(هرزبرگ و چاپمن-۱۹۷۶) [۱۳]	۱۴۲۱ درجه‌ی سانتیگراد در ۱۲ کیلوبار	۱۱۰۷ درجه‌ی سانتیگراد در ۱۲ کیلوبار	
الیوین–کلینوپیروکسن – اسپینل(هرزبرگ و چاپمن-۱۹۷۶) [۱۳]	۱۴۳۳ درجه‌ی سانتیگراد در ۱۶ کیلوبار	۱۱۳۵ درجه‌ی سانتیگراد در ۱۶ کیلوبار	
کلینوپیروکسن (مرسیر-۱۹۸۰) [۱۴]	۱۵۸۵ درجه‌ی سانتیگراد در ۱۸٫۹۵ کیلوبار	۱۱۸۲ درجه‌ی سانتیگراد در ۱۴٫۷ کیلوبار	



شکل ۴ الف- دنباله‌ی پریدوتیت و گابرو لایه‌ای در حدود ۲ کیلومتری جنوب غرب سولابست (دید به سمت جنوب غربی). ب- لیستونیتی‌شدن پریدوتیت‌ها در حدود ۱۰ کیلومتری شمال تا شمال غربی گزیک (دید به سمت غرب). پ - بقایای بیضوی شکل پریدوتیت در زمینه‌ی لیستونیت در ۲ کیلومتری شمال شرقی گزیک (دید به سمت جنوب غرب). ت - تصویر میکروسکوپی اسپینل هارزبورژیت (TDF4) و نقاط آنالیز شده‌ی کانی‌های آن (NPL). ث- الیوین، اورتوپیروکسن و دیوپسید در همان نمونه با یک بافت پورفیروکلاستیکی (XPL). Ol = Olivine, Opx = Orthopyroxene, Cpx = Clinopyroxene, Sp = Spinel

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

پریدوتیت ها و متاپریدوتیت ها

این سنگ‌ها از هارزبورژیت‌ها، متاهارزبورژیت‌ها و لرزولیت‌ها و متالرزولیت‌ها تشکیل شده‌اند. در مقاطع میکروسکوپی هارزبورژیت‌ها (TDF4,SF-2) کانی‌های الیوین، اورتوپیروکسن، کلینوپیروکسن، کروم ـ اسپینل (شکل ۴ ت) و گاه سرپانتین که حاصل دگرسانی الیوین و پیروکسن‌ها هستند، دیده می‌شوند. در بعضی از مقاطع نازک این سنگ‌ها تیغه‌های نازک دیوپسید در انستاتیت به صورت درهم رشد به چشم می‌خورند. بافت میکروسکوپی این سنگ‌ها شبکه‌ای و دانه دانه‌ای است.

در مقاطع میکروسکوپی لرزولیت‌ها (FSD6,FGa-2) نیز کانی‌های الیوین، اورتوپیروکسن، کلینوپیروکسن دیوپسیدی، سرپانتین، کروم ـ اسپینل و کانی‌های کدر (کرومیت) مشاهده می‌شوند. بافت میکروسکوپی این سنگ‌ها شبکه‌ای و موزائیکی است.

ساختارها و پدیده‌هایی مانند ریزدانه‌شدن بلورها که در شکل ۴ ث دیده می‌شود، خمیدگی در رخ‌های کانی‌ها و تبلور مجدد، از علائم دگرشکلی‌های پلاستیک رخ داده در دماهای بالاست [۱۷-۱۵].

پیروکسنیت‌ها

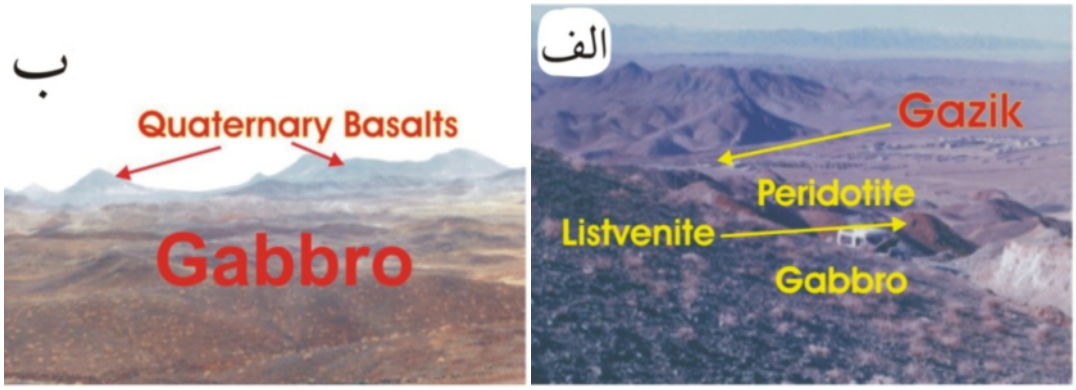
این سنگ‌ها در نمونه‌ی دستی به رنگ سبز تیره تا سیاه بوده و بصورت توده‌های عدسی شکل پراکنده‌ای به وسعت ۵ تا ۱۰۰ متر مربع بین سنگ‌های پریدوتیتی و نیز در منطقه‌ی دگرگونی دیده می‌شوند.

در مقاطع میکروسکوپی تهیه شده از تعدادی از پیروکسنیت-ها (به عنوان مثال FSD-2)،کانی‌های کلینوپیروکسن و کانی‌های کدر که به مرحله‌ی تبلور ماگمایی وابسته‌اند مشاهده می‌شوند. کانی‌های ثانویه‌ی کلریت و اکسیدهای آهن نیز دیده شدند. این سنگ‌ها دارای بافت دانه‌ای است و با توجه به اینکه بیش از ۹۵ درصد ترکیب مدی سنگ متشکل از کلینوپیروکسن است، نام کلینوپیروکسنیت را نیز می‌توان به آنها اطلاق کرد. در مقاطع نازک تعداد دیگری از این سنگ‌ها، کانی‌های اورتوپیروکسن، مقدار ناچیزی کلینوپیروکسن (دیوپسید و اوژیت دیوپسیدی)، کربنات، سرپانتین و تالک مشاهده می‌شوند که می‌توان آنها را بر اساس ترکیب مدی (بیش از ۸۵ درصد انستاتیت)، اورتوپیروکسنیت تا وبستریت نامید. بافت این سنگ‌ها نیز شبکه-ای تا دانه‌ای و گاهی پورفیروکلاستیکی است.

گابروها ، متاگابروها و متاگابرونوریت ها

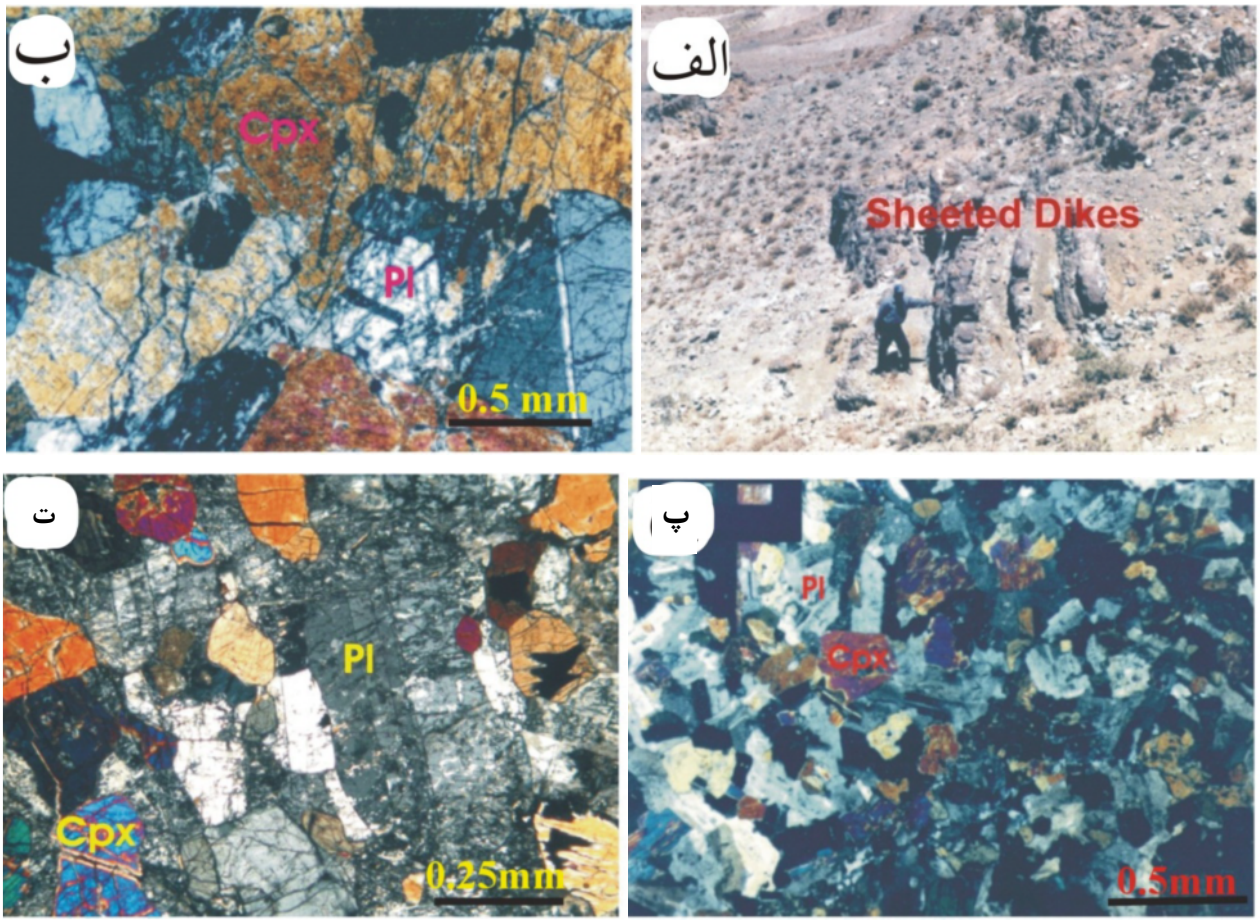
این سنگ ها رخنمون‌های نسبتاً بزرگی به ضخامت ۱۰۰ تا ۵۰۰ متر را در منطقه تشکیل می‌دهند (شکل ۵ ب). ضخیم‌ترین واحد گابرویی منطقه در ۳ کیلومتری غرب دستگرد و ۲ کیلومتری غرب سولابست (شکل ۵ ب) و نیز ۳ کیلومتری شمال گزیک (شکل ۵ الف) روی سنگ‌های اولترامافیکی قرار گرفته‌اند.

در مقاطع نازک میکروسکوپی گابروها (به عنوان مثال NSF2)، کانی‌های کلینوپیروکسن، اورتوپیروکسن، پلاژیوکلاز در حد لابرادوریت و کانی‌های کدر که به صورت اولیه هستند، وجود دارند. کانی‌های حاصل دگرگونی در متاگابروها (به عنوان مثال BGF-5)، کلریت، کربنات، آلبیت، اپیدوت و زوئیزیت، اکتینولیت ـ ترمولیت، پرهنیت و سریسیت هستند. بافت این سنگ‌ها ساب افیتیک تا دانه‌ای است (شکل ۶ ب) که بلورهای پلاژیوکلاز به صورت بخشی با بلورهای پیروکسن احاطه شده‌اند.



شکل ۵ الف- دنباله‌ی گابرو (نزدیک) و پریدوتیت‌ها (دور) در حدود ۳ کیلومتری شمال گزیک (دید به سمت جنوب غربی). ب - وسعت قابل توجه گابروها و متاگابروها در ۳ کیلومتری غرب دستگرد (دید به سمت جنوب غربی).

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]



شکل ۶ الف- دایک‌های صفحه‌ای دیابازی دگرگون شده به مجموعه‌ی کانیایی کلریت، پرهنیت و اکتینولیت در ۶ کیلومتری غرب سولابست (دید به سمت شرق). ب- بافت ساب افیتیک تا دانه‌ای در گابروی همسانگرد (XPL). ب - پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن (دیوپسید تا اوژیت دیوپسیدی) در نمونه‌ی میکروگابرو (XPL). پ – جهت‌یابی ترجیحی در اوژیت دیوپسیدی و پلاژیوکلاز در گابروی انباشتی (XPL). ت - پلاژیوکلاز و اکتینولیت در نمونه‌ی متاگابرو - آنورتوزیت (XPL).

میکروگابرو، متامیکروگابرو، دیاباز و متادیاباز

این سنگ‌ها در بالای گابروها و متاگابروها و به صورت بین لایه‌ای با سنگ‌های حدواسط از قبیل دیوریت، متادیوریت، میکرودیوریت، آنورتوزیت و متاآنورتوزیت و نیز دایک‌هایی با رخنمون‌های پراکنده (شکل ۶ الف) با وسعت تقریبی ۵ تا ۱۰۰ متر مربع وجود دارند.

در مقاطع میکروسکوپی تهیه شده که از این سنگ‌ها (به عنوان مثال RF-10)، کانی‌های کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز در حد لابرادوریت در نمونه‌های کاملاً سالم این سنگ‌ها دیده می‌شوند (شکل ۶ ب و ت). کانی‌های کلریت، زوئیزیت، اپیدوت و کربنات و در بعضی از آنها اکتینولیت و پرهنیت احتمالا حاصل دگرگونی گرمابی این سنگ‌ها به رخساره‌ی شیست سبز و زیر رخساره‌ی پرهنیت ـ اکتینولیت هستند و کانی سریسیت نیز می‌تواند حاصل دگرسانی این سنگ‌ها باشد (شکل ۶ پ). بافت این سنگ‌ها ساب افیتیک و دانه‌ای است. نام متامیکروگابرو در این پژوهش برای نمونه‌های با دگرگونی قابل توجه که بافت اولیه‌ی آذرین آنها حفظ شده است، بکار رفته است (شکل ۶ پ).

ژئوشیمی سنگ‌های آذرین اولترامافیک مورد بررسی

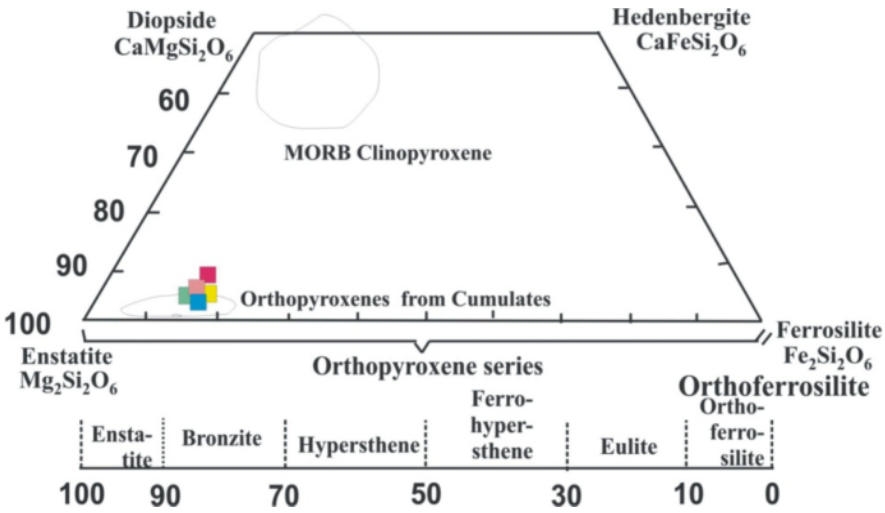
روی ۵ نمونه از سنگ‌های اولترامافیک مجموعه‌ی افیولیتی، تجزیه شیمیایی سنگ کل به روش XRF و شیمی مرطوب انجام شده است که نتایج آن در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده‌اند.

چنانکه در شکل ۷ مشاهده می‌شود، ترکیب شیمیایی سنگ‌های هارزبورژیت، متاهارزبورژیت و متالرزولیت وابسته به سری افیولیتی منطقه، در گستره‌ی انباشتی‌های اولترامافیک ترسیم شده‌اند.

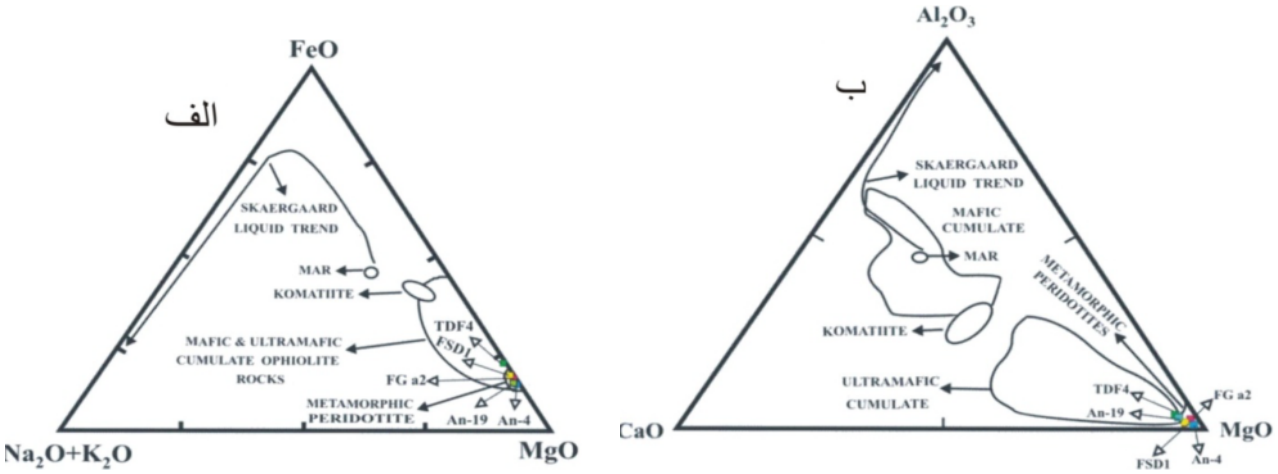
[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

در نمودار AFM (شکل ۸ الف) تنها نمونه‌ی TDF4 در میدان سنگ‌های انباشتی اولترامافیک وابسته به مجموعه‌های افیولیتی ترسیم شده است.

نمونه‌ی An-19 میزان Al_2O_3، CaO و قلیایی کمتری از An-4 دارد که بنابر نظر کلمن [۲۲] نیز باید در گروه پریدوتیت‌های متامورفیک قرار گیرد زیرا به نظر نامبرده پریدوتیت‌های متامورفیک میزان Al_2O_3، CaO و قلیایی کمتری نسبت به پریدوتیت‌های انباشتی دارند. نمودارهای عنکبوتی پریدوتیت‌ها در شکل ۹، تشابه نسبی پریدوتیت‌ها را با گوشته‌ی اولیه و MORB نشان می‌دهد. تشابه نسبت به گوشته‌ی اولیه خاستگاه گوشته‌ای این سنگ‌ها را اثبات می‌کند. همچنین نمودارهای عنکبوتی عادی‌سازی شده با کندریت تشابه کاملی با الگوهای اسپینل لرزولیت‌ها [۲۳] را نشان می‌دهد.

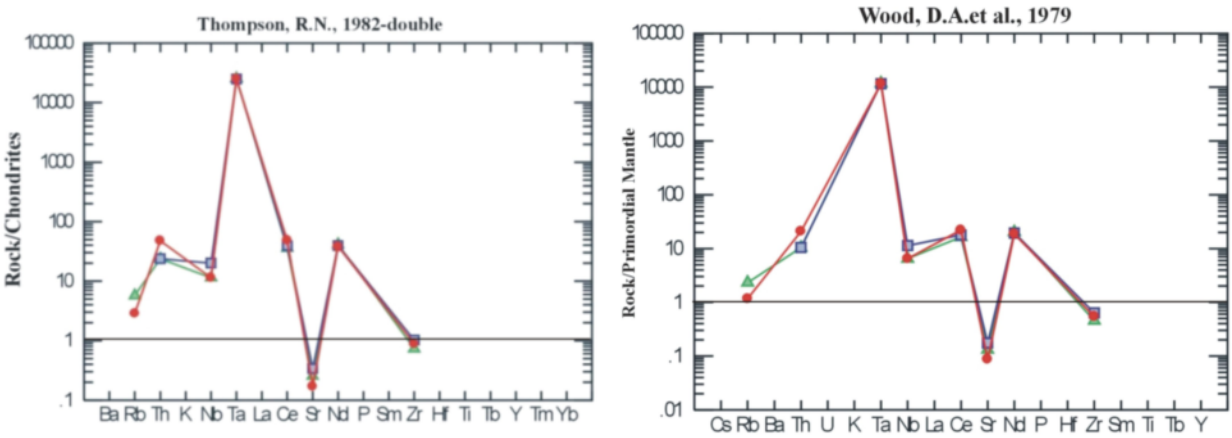


شکل ۷ ترکیب پیروکسن‌های مورب نمونه‌های هارزبوژیت و لرزولیت که به داخل چهاروجهی پیروکسن تصویر شده است [۱۷].



شکل ۸ الف - نمودار مثلثی AFM که ترکیب شیمیایی پریدوتیت‌ها در آن رسم شده است. میدان کماتئیت از منابع گوناگون بدست آمده است و MAR ترکیب متوسط بازالت‌های رشته‌های میان اقیانوسی است [۱۹]. ب- نمودار مثلثی Al_2O_3-CaO-MgO که ترکیب شیمیایی پریدوتیت‌ها در آن در میدان پریدوتیت‌های دگرگونی و سنگ‌های اولترامافیک انباشتی واقع شده است[۱۹].

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]



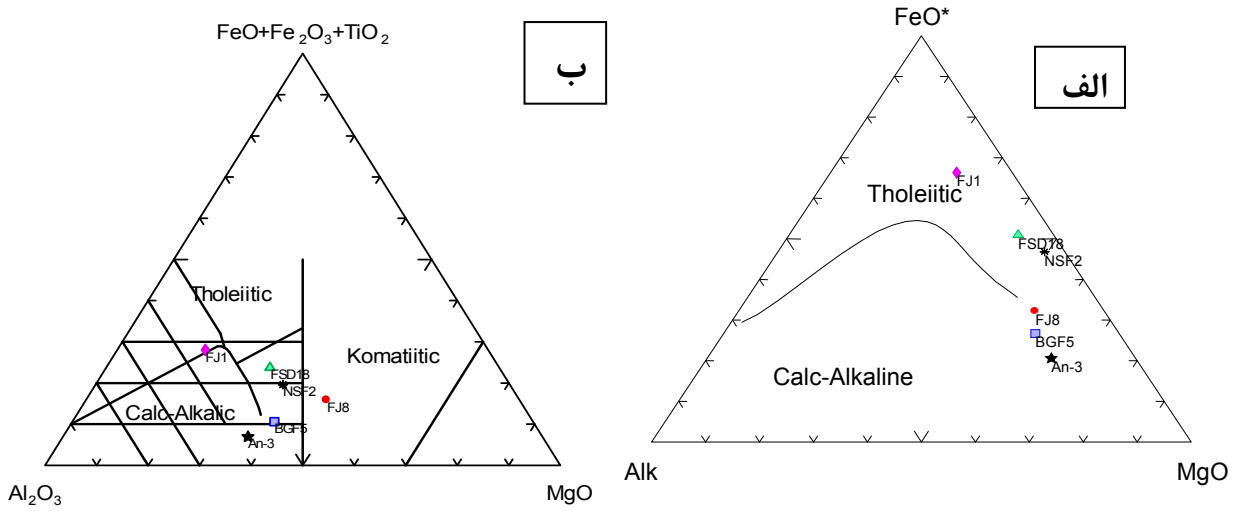
شکل ۹ نمودارهای عنکبوتی پریدوتیت‌های افیولیت منطقه‌ی مورد بررسی.

ژئوشیمی سنگ‌های آذرین مافیک مجموعه‌ی افیولیتی

تعداد ۵ نمونه از سنگ‌های آذرین مافیک برای تعیین عناصر اصلی به روش XRF و ۱ نمونه نیز به روش شیمی مرطوب تجزیه شد که نتایج آن در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده‌اند.

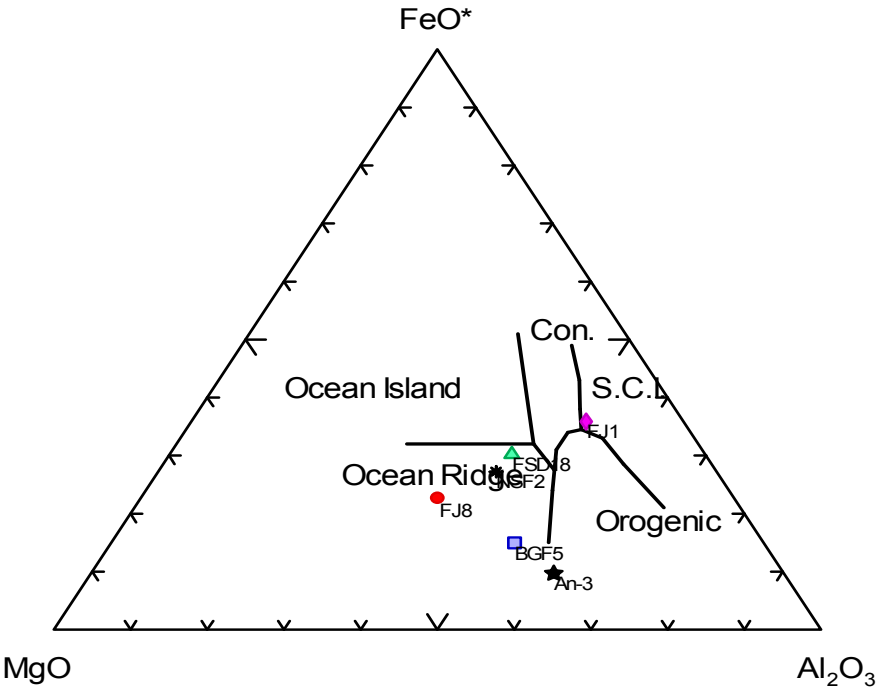
سری ماگمایی این سنگ‌ها نیز با توجه به نمودارهای شکل ۱۰ تولئیتی است. در شکل ۱۱ ترکیب شیمیایی این سنگ‌ها در میدان بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی تصویر شده است.

ترکیب شیمیایی سنگ‌های آذرین مافیک در میدان انباشتی‌های مافیک افیولیت‌ها در شکل ۱۲ الف تصویر شده است. بنابر شکل ۱۲- ب که ترکیب اغلب نمونه‌ها در مجاورت و یا روی خط میدان انباشتی‌های مافیک و اولترامافیک وابسته به افیولیت‌ها تصویر شده‌اند و تنها نمونه FJ1 به دلیل میزان بالای آهن و میزان بسیار کم منیزیم در ترکیب شیمیایی آن که دگرگونی اندکی تغییر شیمیایی در آن ایجاد کرد، در فاصله زیادی از میدان یاد شده تصویر شد.

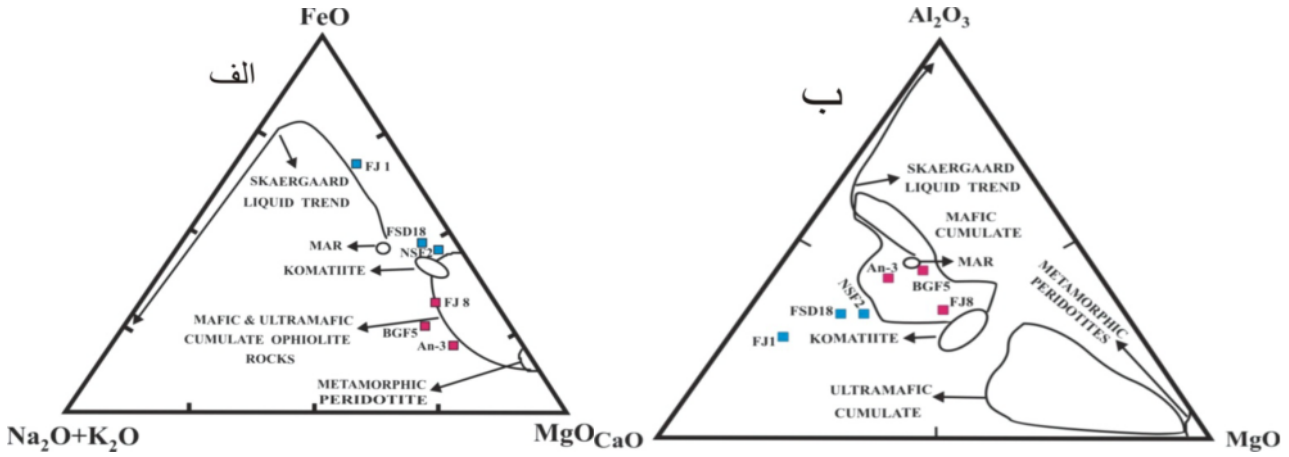


شکل ۱۰ الف - نمودار AFM جهت تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آذرین مافیک. ب- نمودار آلکالن - ساب آلکالن جهت تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آذرین مافیک مجموعه‌ی افیولیتی.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]



شکل ۱۱ نمودار تمایز محیط زمین‌ساختی بازالت‌ها که ترکیب شیمیایی سنگ‌های آذرین مافیکی افیولیت در آن تصویر شده است[۲۱].



شکل ۱۲ الف - نمودار مثلثی AFM که ترکیب شیمیایی سنگ‌های آذرین مافیک در آن ترسیم شده است. میدان کماتئیت از منابع گوناگون به دست آمده است و MAR ترکیب متوسط بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی است[۱۹]. ب - نمودار مثلثی Al2O3-CaO-MgO که ترکیب شیمیایی سنگ‌های آذرین مافیک در آن در میدان سنگ‌های مافیک انباشتی افیولیت ها واقع شده است[۱۹].

نمودارهای عنکبوتی شکل ۱۳ الف و ب، نشان می‌دهند که سنگ‌های آذرین مافیک یعنی انواع گابروها همانند بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی از عناصر کمیاب سبک غنی و از عناصر کمیاب سنگین فقیرند. چنین طیف‌هایی از عناصر نادر، در بازالت‌های تولئیتی کف اقیانوسی نوع غنی شده (E-or P-MORB) مشاهده می‌شود [۲۰]. در نمودارهایی که نسبت به MORB عادی‌سازی شده‌اند، همسانی با

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

MORB در تراکم عناصر مشاهده می‌شود. بنا براین بر اساس الگوهای عناصر نادر نیز، گابروها و متاگابروهای مجموعه‌ی افیولیتی به سری تولئیتی افیولیت منطقه وابسته‌اند.

شیمی کانی‌ها و زمین- دماسنجی

بر اساس آنچه در بخش روش این پژوهش یاد آوری شد، علاوه بر بررسی‌های زمین- دماسنجی از شیمی کانی‌ها در تفسیرهای سنگ-شناسی نیز استفاده شد که نتایج آن در این بخش ارائه شده است. با توجه به نمودارهای شکل‌های ۷ و ۱۴ ترکیب اورتوپیروکسن‌ها و کلینو پیروکسن‌های نمونه‌های هارزبورژیت و لرزولیت در میدان اورتوپیروکسن‌ها و کلینوپیروکسن‌های وابسته به انباشتی‌های مورب [۱۶] قرار می‌گیرند، لذا این پریدوتیت‌ها به سری انباشتی مورب وابسته اند.

بر اساس نمودار شکل ۱۵ کلینو پیروکسن‌ها در نمونه‌ی متا گابرونوریت در میدان مورب قرار گرفته است، بنابراین کانی‌ها و در نتیجه سنگ‌های دربردارنده‌ی، وابسته به سری کلینوپیروکسن‌ها و سنگ‌های مافیک انباشتی نوع مورب‌اند.

بر اساس ترکیب شیمیایی کانی‌های یاد شده، بررسی‌های زمین - دماسنجی نیز روی این سنگ‌ها انجام شده است که خلاصه‌ی نتایج آن در جدول ۷ آمده است. بطوری که در جدول ۷ مشاهده می‌شود نتایج زمین‌دماسنجی دماهایی بین ۹۴۴ تا ۱۱۷۵ درجه ی سانتیگراد در گابروها، و برای پریدوتیت‌ها دماهایی بین ۱۰۷۴ تا ۱۵۸۵ درجه‌ی سانتی‌گراد بدست آمد. برای تبلور این سنگ‌ها بر اساس محاسبات نرم افزار ترموکالک [۸] دماهایی بین ۷۴۸ درجه‌ی سانتیگراد در گابروها تا ۱۲۸۲ درجه‌ی سانتیگراد در پریدوتیت‌ها، و فشارهایی بین ۱۷/۴۶ در گابرو تا ۲۴/۷ و ۳۳/۶ کیلوبار در پریدوتیت‌ها به دست آمد. اغلب این دماهای به دست آمده بخصوص دماهای ترموکالک تبلور این سنگ‌ها از ماگمای غنی از منیزیم نوع مورب در یک مرکز گسترش کف اقیانوسی را تأیید می‌کند.

برداشت

- سری ماگمایی سنگ‌های آذرین مورد بررسی بر اساس نمودارهای ژئوشیمیایی تولئیتی است.

نمودارهای ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که تعدادی از پریدوتیت‌ها به سری انباشتی ماگمای مورب زون گسترش کف اقیانوس وابسته اند و تعدادی از پریدوتیت‌ها نیز از انواع متامورفیک (تکتونیت‌ها) هستند.

بر اساس نمودارهای شیمی کانی‌ها، گابروها و تعدادی از پریدوتیت‌ها به سری انباشتی ماگمای مورب زون گسترش کف اقیانوس و در نتیجه به مجموعه‌ی افیولیتی منطقه مورد بررسی وابسته‌اند.

مشابهت الگوهای عناصر کمیاب در نمودارهای عنکبوتی وابستگی سنگ‌های آذرین مورد بررسی را به ماگمای بازالتی غنی از منیزیم غنی شده نوع مورب تایید می‌کند.

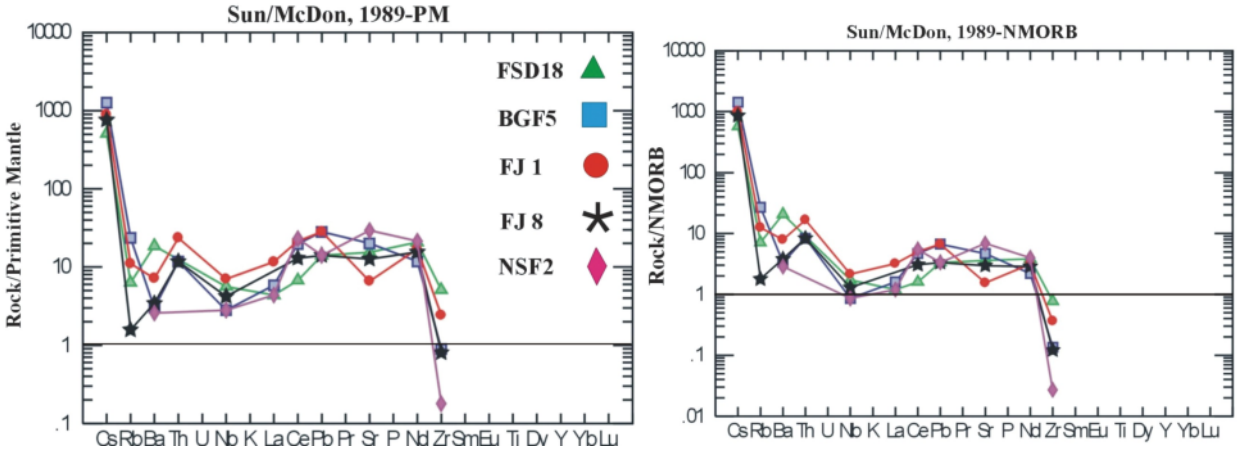
- نتایج ترموبارومتری نیز مانند سایر نتایج فوق الذکر تبلور اغلب سنگ‌های آذرین مورد مطالعه را از ماگمای بازالتی غنی از منیزیم نوع مورب تایید می‌نماید.

- نتایج زمین- دماسنجی، دماهایی بین ۹۴۴ تا ۱۱۷۵ درجه‌ی سانتیگراد در گابروها ۱۰۷۴ تا ۱۵۸۵ درجه ی سانتیگراد را در پریدوتیت‌ها بدست داده است.

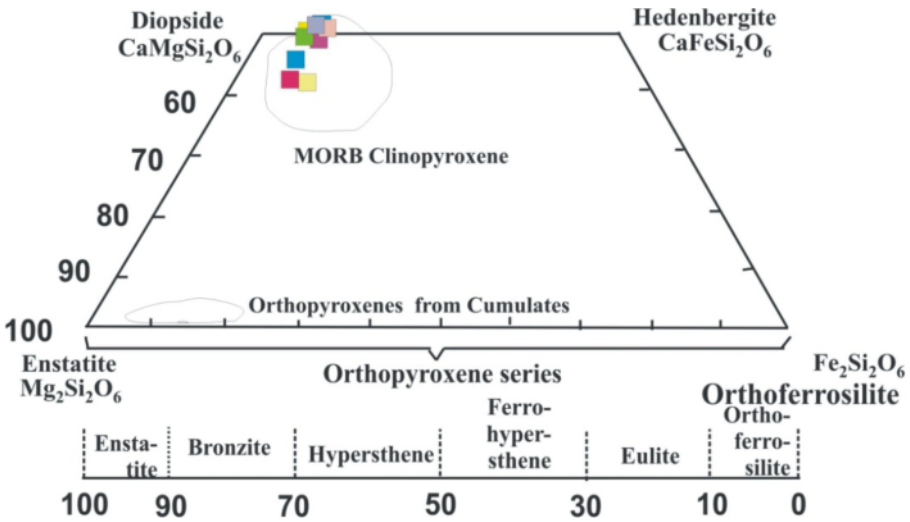
- تبلور این سنگ‌ها بر اساس محاسبات نرم افزار ترموکالک در دماهایی بین ۷۴۸ درجه‌ی سانتیگراد در گابروها، تا ۱۲۸۲ درجه‌ی سانتیگراد در پریدوتیت‌ها و فشارهایی بین ۱۷/۴۶ در گابروها تا ۲۴/۷ و ۳۳/۶ کیلوبار در پریدوتیت‌ها را به دست داده است.

- دماهای بدست آمده بخصوص دماهای ترموکالک، تبلور سنگ‌های مافیک و اولترامافیک مورد بررسی را از ماگمای غنی از منیزیم نوع مورب در یک مرکز گسترش کف اقیانوسی تأیید می‌کند.

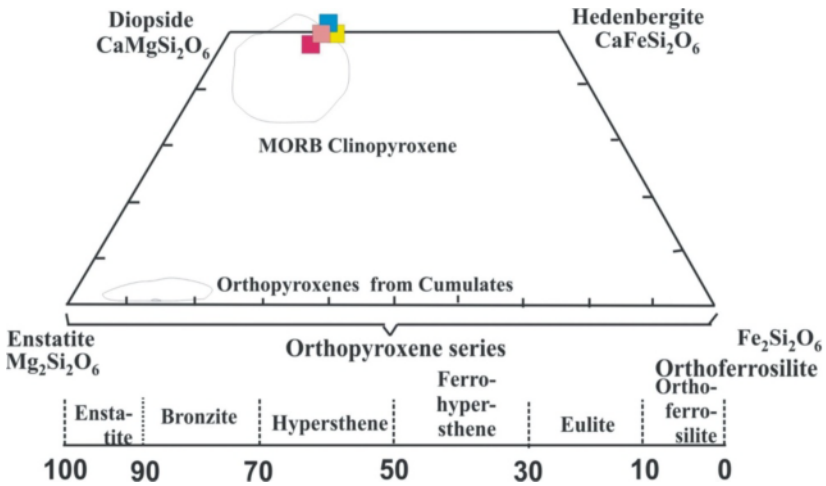
[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]



شکل ۱۳ نمودارهای عنکبوتی سنگ‌های آذرین مافیک وابسته به مجموعه‌ی افیولیتی منطقه‌ی مورد بررسی.



شکل ۱۴ ترکیب کلینوپیروکسن‌های مورب نمونه‌های هارزبورژیت و لرزولیت که به داخل چهاروجهی پیروکسن تصویر شده است[۱۶].



شکل ۱۵ نمودار چهاروجهی کلینو پیروکسن‌ها که نشاندهنده‌ی وجود دیوپسید و اوژیت دیوپسیدی نوع مورب در نمونه‌ی متاگابرونوریت است [۱۷].

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

مراجع

[1] Maorizot P., Guillou Y., Vaslet D., Dellavillen H., *"Geology of Gazik Quadrangle, 1:250000 Scale: Report Submitted to the Geological and Mineralogical Survey of Iran"*, (1980) ,172p.

[2] Tirrul R., Bell I.R., Griffis R.J., Camp V.E., *"The Sistan Suture Zone of eastern Iran. Geological Society of America Bulletin"*, V.94, (1983) P.134-150,12 figs,January 1983.

[۳] فتوحی راد غ. *"پترولوژی و ژئوشیمی افیولیت‌های دگرگون شده شرق بیرجند"*، رساله دکتری پترولوژی، دانشگاه تربیت معلم تهران، (۱۳۸۳)، ۳۲۱ صفحه.

[4] Bröcker M., Fotoohi Rad Gh. R., Theunissen S., *" New time (Rb-Sr) constraints for HP metamorphism and exhumation of mélange rocks from the Sistan Suture Zone, eastern Iran"*. A summary paper accepted for a International Symposium in Turkey: Tectonic Crossroads: Evolving Orogens of Eurasia – Africa – Arabia. (2011).

[5] Busby C.J., Ingersoll R.V., *"Tectonics of Sedimentary Basins"*, Blackwell Science, Inc. (1995) , 579P.

[6] Droop G.T.R. *"A general equation for estimating Fe^{3+} concentrations in ferromagnesian Silicates and Oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria"*, Mineralogical Magazine. 51, (1987), 431-435.

[7] Berman R.G., *"Thermobarometry using multi-equilibrium calculations: a new technique, with petrological applications"*, Canadian Mineralogist, 29, (1991) , 833-855.

[8] Holland T.J.B., Powell R., *"An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest"*, Journal of Metamorphic Geology. 16, (1998) , 309-343.

[9] Powell R., Holland T. J.B., *"Optimal geothermometry and geobarometry"*, American Moneralogist, Vol. 79, (1994) , p. 120-133.

[10] Wood B.J., Banno S., *"Garnet-orthopyroxene and orthopyroxene-clinopyroxene relationships in simple and complex systems"*.Contributions to Mineralogy and Petrology, 42: (1973),109-124.

[11] Wells P.R.A., *"Pyroxene thermometry in simple and complex systems"*, Contributions to Mineralogy and Petrology, 62: (1977), 129-139.

[12] Bertrand P., Mercier J.C.C., *"The mutual solubility of coexisting ortho-and clinopyroxene: Toward an absolute geothermometer for the natural systems?"*, Earth and Planetary Science Letters., 76: (1985), 109-122.

[13] Herzberg C.T., Chapman N.A., *"Clinopyroxene geothermometry of spinel-lherzolite"*, American Mineralogist., 61 (1976) 626-637.

[14] Mercier J.C.C., *"Single –pyroxene thermometry"*, Tectonophysics, 70 (1980) 1-37.

[15] Barker A.J. *"Introduction to etamorphic textures and microstructures. Chapman and Hall"*, (1994) 265 P.

[16] Passchier C.W., Trouw R.A.J., Microtectonics, Springer, (1996) 289 P.

[17] Shelly D., *"Igneous and metamorphic rocks under the microscope"*, Chapman and Hall. (1993).

[۱۸] فتوحی راد غ.، *"مطالعهٔ پترولوژی، پتروگرافی و ژئوشیمی افیولیت ملانژ منطقهٔ شمال غرب درح (جنوب شرق بیرجند) با نگرشی بر پتانسیل اقتصادی منطقه"*، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه تربیت معلم تهران، (۱۳۷۵)، ۲۳۵ صفحه.

[19] Dana J.D., *"Manual of Mineralogy"*, 20th edition. John Wiley & Sons (1985) 596P.

[20] Wilson M., *"Igneous petrogenesis"*, Fifth Published. Department of Earth Sciences. University of Leeds. UK. Unwin Hyman, (1996) 466P.

[21] Jensen L.S., *"A new cation plot for classifying subalkaline volcanic rocks"*, Ontario division of mines, Mp 66, (1976), 22p.

[22] Coleman R.G., *"Ophiolites ancient Oceanic Litosphere?"*, Newyork; Springer- Verlag, P. J. Wyllie,Chicago, III. (1977) , 230p.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

[23] Le Bas M.j., Le Maitre R.W., Streickeisen A., Zanettin B., "*A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram*", Journal of Petrology. 27, (1986), 745-750.

[24] Pearce T.H., Gorman B.E., Birkett T.C., *"The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks"*, Earth and Planetary Science Letters. Vol. 36. (1977), p. 121-132.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]