



سنگ‌شناسی و سنگ‌زایی آمفیبولیت‌های موجود در مجموعه‌ی افیولیتی خوی - شمال غربی ایران

مروت فریدآزاد*، محسن مؤید، منصور مجتهدی، محسن مؤذن

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(دریافت مقاله: ۸۸/۷/۱۹، نسخه نهایی: ۸۸/۱۱/۳)

چکیده: در مجموعه دگرگونی شمال خوی، سنگ‌های آمفیبولیتی حجم زیادی دارند. این سنگ‌ها از نظر سنگ‌نگاری شامل انواع آمفیبولیت معمولی، آمفیبولیت موسکویت‌دار، آمفیبولیت بیوتیت‌دار، آمفیبولیت گارنت‌دار و آمفیبولیت پیروکسن‌دار هستند. بررسی پروتولیت این سنگ‌ها نشان دهنده‌ی خاستگاه آذرین آن‌هاست. هم‌چنین این سنگ‌ها از نظر ماگمایی در سری‌های توله ایتی و آهکی - قلیایی قرار می‌گیرند و نیز از نظر محیط زمین‌ساختی عموماً در دو محیط زمین‌ساختی بازالت کف اقیانوسی و قوسی قرار دارند. این دو محیط زمین‌ساختی متفاوت به روشنی در نمودارهای REE و عنکبوتی قابل جدایش‌اند، به‌طوری که نمونه‌های مربوط به بازالت کف اقیانوسی نسبت به نمونه‌های قوس از شیب بیشتر و فراوانی LREE بالاتری برخوردارند. با توجه به اینکه محیط‌های زمین‌ساختی حوضه‌ی پشت قوس قاره‌ای می‌توانند ویژگی MORB و IA را هم زمان نشان دهند لذا ممکن است سنگ‌های آمفیبولیتی مورد بررسی در چنین محیط زمین‌ساختی به وجود آمده باشند.

واژه‌های کلیدی: آمفیبولیت، پروتولیت آذرین، سری‌های توله ایتی، خوی.

مقدمه

نظر گرفته شده‌اند [۵]. فلزات واسطه‌ی (Cr, Co, Ni, V) و Ta, Nb و REE در طول دگرگونی توسط [۶] نامتحرک در نظر گرفته شده‌اند. به طور کلی در بررسی ژئوشیمیایی سنگ‌های دگرگونی در رخساره‌ی شیست سبز و آمفیبولیت بهتر است از عناصر نامتحرک خصوصاً عناصر Ti و P و عناصر کمیاب Y, Cr, Zr, Ta, Nb و V و عناصر نادرخاکی (REE) استفاده کرد. هر چند استفاده از عناصر دیگر نیز در بررسی ژئوشیمیایی آمفیبولیت‌ها معمول است.

در این مقاله از تجزیه شیمیایی نمونه‌های آمفیبولیتی موجود در بخشی از افیولیت ملائز خوی برای تعیین سنگ خاستگاه اولیه، ویژگی‌های سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی سنگ

از آنجا که سیستم‌های دگرگونی از نظر ترمودینامیکی کاملاً بسته نیستند، استفاده از عناصر اصلی و فرعی در شناسایی نوع سنگ اولیه، سری ماگمایی و محیط زمین‌ساختی می‌بایست با احتیاط صورت گیرد، زیرا پدیده‌های هوازدگی و دگرگونی می‌توانند موجب تغییر ترکیب شیمیایی سنگ‌های اولیه شوند. به نظر [۱، ۲] عناصر Si, Ca, K و Na در طول دگرگونی می‌توانند به صورت متحرک عمل کنند درحالی که عناصر Al, Ti و P نسبتاً نامتحرک هستند. هم‌چنین عناصر Y, Sc و Zr در طول دگرگونی نامتحرک (برای مثال، [۳، ۴]) در نظر گرفته شده‌اند. عناصر قلیایی و قلیایی خاکی مانند Cs, Sr, Ba, K و Rb که پتانسیل یونی بالایی دارند به‌عنوان عناصر متحرک در

مادر اولیه، محیط زمین‌ساختی تشکیل گابرو یا بازالت‌های سازنده‌ی آمفیبولیت‌ها استفاده می‌شود.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۳۰۰۵۳۹۱، نمابر: ۳۳۵۶۰۲۷ (۰۴۱۱)، پست الکترونیکی: M_faridazad@yahoo.com

روش‌ها

پس از بررسی‌های صحرایی و برداشت نمونه، نسبت به تهیه مقاطع میکروسکوپی و بررسی آنها اقدام شد و از نمونه‌هایی که کمترین دگرسانی را نشان می‌دادند، ۷ نمونه برای تعیین شیمی عناصر اصلی و کمیاب در آنها، با دستگاه ICP-MS به شرکت ALS CHEMEX (کانادا) ارسال شدند. هم‌چنین از داده‌های [۸،۷] که به‌روش تجزیه فلئورسانی پرتو ایکس (XRF) انجام گرفته بود، استفاده شد. نتایج آنالیز نمونه‌ها در جدول (۱) ارائه شده‌اند.

زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی

منطقه‌ی مورد بررسی در شمال غربی ایران و بین مختصات جغرافیایی $38^{\circ} 37' 22''$ تا $38^{\circ} 54' 16''$ عرض شمالی و $44^{\circ} 36' 02''$ تا $44^{\circ} 57' 01''$ طول شرقی در استان آذربایجان غربی و در شمال شهر خوی واقع شده است.

جدول ۱ تجزیه عناصر اصلی، کمیاب و نادرخاکی نمونه‌های آمفیبولیتی از منطقه شمال خوی. نمونه‌های M-109، M-126، M-129، M-312، M-313، M-316، M-319 توسط مؤلفین با دستگاه ICP-MS و نمونه‌های mt1-amp، mt7-amp، mt8-amp، mt11-amp توسط [۷] با دستگاه ICP-AES و بقیه نمونه‌ها توسط [۸] با دستگاه XRF مورد تجزیه قرار گرفته است.

	M-109	M-126	M-129	M-312	M-313	M-316	M-319	mt1-amp	mt7-amp	mt8-amp	mt11-mp	TM4A	TM10C
اکسیدهای اصلی (درصد وزنی)													
SiO ₂	۴۷	۴۵	۴۸٫۲	۴۷٫۳	۵۲	۵۱٫۴	۴۷	۵۴٫۴	۴۷٫۱	۴۸٫۴	۴۸٫۶	۴۸٫۹	۵۰
TiO ₂	۰٫۳۷	۱٫۲۲	۰٫۲۴	۱٫۶۸	۱٫۳۶	۱٫۹۴	۱٫۴۸	۱٫۹۷	۰٫۷۵	۱٫۵۷	۱٫۷۱	۱٫۳۵	۰٫۳۷
Al ₂ O ₃	۱۷٫۲	۱۶٫۱	۱۴٫۵	۱۴٫۹	۱۵٫۶	۱۳٫۸	۱۵٫۳	۱۴٫۱	۱۶٫۶۳	۱۴٫۴	۱۳٫۸	۱۴٫۳	۱۲٫۱
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۱۸	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۵						
Fe ₂ O ₃	۲٫۸۲	۵٫۴۴	۲٫۴۱	۵	۳٫۷۳	۵٫۸۳	۵٫۲۳	۶٫۵	۳٫۹۶	۵٫۹۸	۷٫۱	۴٫۶۳	۲٫۰۶
FeO	۴٫۵۲	۵٫۶۷	۴٫۲۷	۵٫۵۸	۵٫۰۷	۵٫۸۱	۵٫۶۳	۵٫۹۳	۵٫۱۶	۵٫۸۳	۶٫۰۲	۵٫۴۷	۴٫۰۱
CaO	۱۳٫۳	۱۱٫۱	۱۳٫۸	۱۱٫۶	۹٫۲۶	۷٫۷۴	۱۱٫۱	۷٫۷	۱۰٫۴	۱۰٫۲	۱۰٫۵	۹٫۳۴	۱۵
MgO	۸٫۵۷	۷٫۶۳	۱۰٫۱	۷٫۷۵	۶٫۲۶	۵٫۴	۷٫۷۹	۶٫۹۸	۷٫۳	۷٫۱۲	۷٫۱۲	۷٫۴۸	۱۱٫۲
Na ₂ O	۲٫۷۸	۲٫۸	۱٫۶۸	۲٫۷۳	۳٫۳۷	۳٫۱۹	۲٫۶۲	۲٫۱۱	۲٫۲۳	۳	۲٫۸۴	۲٫۳۶	۲٫۲۵
K ₂ O	۰٫۱۶	۰٫۱۷	۰٫۰۷	۰٫۷۷	۰٫۷۵	۰٫۸۵	۰٫۷۶	۰٫۷۲	۱٫۰۶	۰٫۱۸	۰٫۲۴	۲٫۲۲	۰٫۱۵
MnO	۰٫۱۳	۰٫۱۹	۰٫۱۱	۰٫۲	۰٫۱۵	۰٫۲۳	۰٫۱۹	۰٫۲۲	۰٫۱۷	۰٫۲	۰٫۲۱	۰٫۱۸	۰٫۱۳
P ₂ O ₅	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۲۵	۰٫۱۶	۰٫۲۶	۰٫۱۶	۰٫۴۵	۰٫۰۸	۰٫۱۷	۰٫۱	۰٫۱۴	۰٫۰۳

LOI	۳/۰۲	۳/۳	۳/۵۸	۰/۸۷	۱/۱۷	۱/۲۷	۰/۹۶	۰/۶۴	۲/۱۶	۱/۲	۰/۶۵	۲/۰۸	۱/۵۱
Total	۹۹/۹۳	۹۸/۶۷	۹۹/۱۵	۹۸/۶۶	۹۸/۹۲	۹۷/۷۴	۹۸/۲۷	۱۰۱/۷۲	۹۷	۹۸/۲۵	۹۸/۸۹	۹۸/۴۵	۹۸/۸۱

ادامه جدول ۱

	M-109	M-126	M-129	M-312	M-313	M-316	M-319	mt1-amp	mt7-amp	mt8-amp	mt11-mp	TM4A	TM10C
عناصر کرمیاب (پی پی ام)													
Ba	۲۵/۲	۴۸/۵	۱۹/۵	۹۹/۷	۱۷۸	۲۱۴	۱۶۲	۲۲۷	۲۱۸	۲۶	۶۱	۳۹۵	۱۰
Ce	۱/۳	۴/۵	۱/۸	۲۴/۷	۲۵/۵	۳۶/۶	۲۳	۶۱	۷/۸	۱۴	۷/۵		
Co	۴۳/۴	۴۵/۲	۳۸/۷	۴۸/۷	۳۹/۲	۳۴/۴	۴۴/۹	۲۹	۴۹	۳۸	۴۶		
Cr	۳۳۰	۲۱۰	۱۲۸۰	۲۶۰	۳۳۰	۱۳۰	۳۶۰	۱۱۶	۴۰۰	۲۰۰	۱۱۸	۳۰۳	۱۰۱۹
Cs	۰/۴	۰/۳۵	۰/۱۲	۰/۲۳	۰/۵۶	۰/۳۳	۰/۴۹						
Dy	۱/۸۹	۳/۳	۱/۳۴	۵/۳۱	۴/۵۲	۸/۳۲	۴/۹۹	۱۰/۵	۳/۲۵	۶/۵۵	۴/۵۵		
Er	۱/۲۱	۲/۱۷	۰/۸۹	۳/۱۶	۲/۵۷	۴/۹۸	۲/۹۸	۵/۸	۲	۴/۱	۲/۷		
Eu	۰/۴۴	۰/۸۲	۰/۳۵	۱/۶۴	۱/۳۲	۲/۰۱	۱/۳۲	۲/۷۶	۰/۸۵	۱/۴۸	۱/۲۳		
Gd	۱/۲۲	۲/۳۴	۱/۰۷	۴/۹۹	۴/۲	۷/۲۷	۴/۴	۱۰/۵	۳	۵/۵	۳/۷		
Hf	۰/۴	۱	۰/۲	۳	۲/۸	۵/۲	۳						
Ho	۰/۴۳	۰/۷۱	۰/۲۶	۱/۱	۰/۹۳	۱/۷۳	۱/۰۶						
La	۰/۹	۲/۲	۰/۵	۱۱	۱۱/۸	۱۵/۸	۱۰/۷	۲۷/۵	۳/۲	۵/۵	۲/۷		
Lu	۰/۱۶	۰/۲۹	۰/۰۷	۰/۳۹	۰/۳۳	۰/۷	۰/۴						
Nb	۰/۲	۱/۱	۰/۲	۶/۶	۶/۵	۱۲/۸	۶/۵	۱۷	۱/۸	۴/۶	۳	۵	۸
Nd	۱/۷	۴/۴	۲	۱۵/۹	۱۴/۷	۲۲/۹	۱۴/۳	۲۸	۵/۷	۱۱/۵	۷		
Ni	۱۳۱	۱۱۳	۲۱۲	۴۵	۴۱	۴۶	۴۸	۴۴	۱۵۰	۷۵	۶۲	۶۳	۹۲
Pb	۱۹	۷	۱۱	۱۶	۹	۹	۶						
Pr	۰/۲۴	۰/۷۸	۰/۲۹	۳/۵۳	۳/۴۴	۵/۱۹	۳/۲۲						
Rb	۲/۵	۲/۴	۱/۳	۱۲/۶	۱۶/۶	۱۵/۳	۱۲/۹	۲۶/۵	۳۴/۵	۲/۱	۳	۸۵	۱۰
Sm	۰/۷۸	۱/۶۹	۰/۶۳	۴/۴۷	۳/۷۴	۶/۱۴	۳/۸۷	۹/۲	۲	۳/۷۵	۲/۷		
Sr	۲۱۲	۱۹۶	۱۳۸	۲۱۰	۲۹۴	۲۳۵	۱۸۷	۱۶۳	۱۵۸	۱۵۰	۱۳۶	۲۹۶	۱۶۶
Ta	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۵	۰/۵	۱	۰/۵						
Tb	۰/۲۷	۰/۴۸	۰/۱۷	۰/۸۹	۰/۷۳	۱/۳	۰/۷۸						
Tm	۰/۱۷	۰/۳۱	۰/۱۱	۰/۴۳	۰/۳۵	۰/۷	۰/۴۲						
V	۱۷۹	۴۱۳	۱۸۰	۳۳۸	۲۷۵	۳۱۶	۳۰۲	۲۲۵	۱۹۵	۳۳۰	۴۳۰	۲۵۷	۱۹۴
Y	۱۱/۶	۱۹/۹	۸/۲	۳۱/۱	۲۵/۷	۴۸/۵	۲۹/۷	۶۴	۲۰/۵	۴۱	۲۷/۵	۳۳	۱۰
Yb	۱/۰۵	۱/۸۹	۰/۷۵	۲/۵۹	۲/۱۹	۴/۴۹	۲/۵۷	۵/۶	۱/۹۶	۴/۱	۲/۶۲		
Zr	۹	۲۷	۸	۱۱۵	۱۰۴	۱۸۲	۱۱۲	۴۸	۱۵	۲۲	۱۹	۱۰۷	۲۷

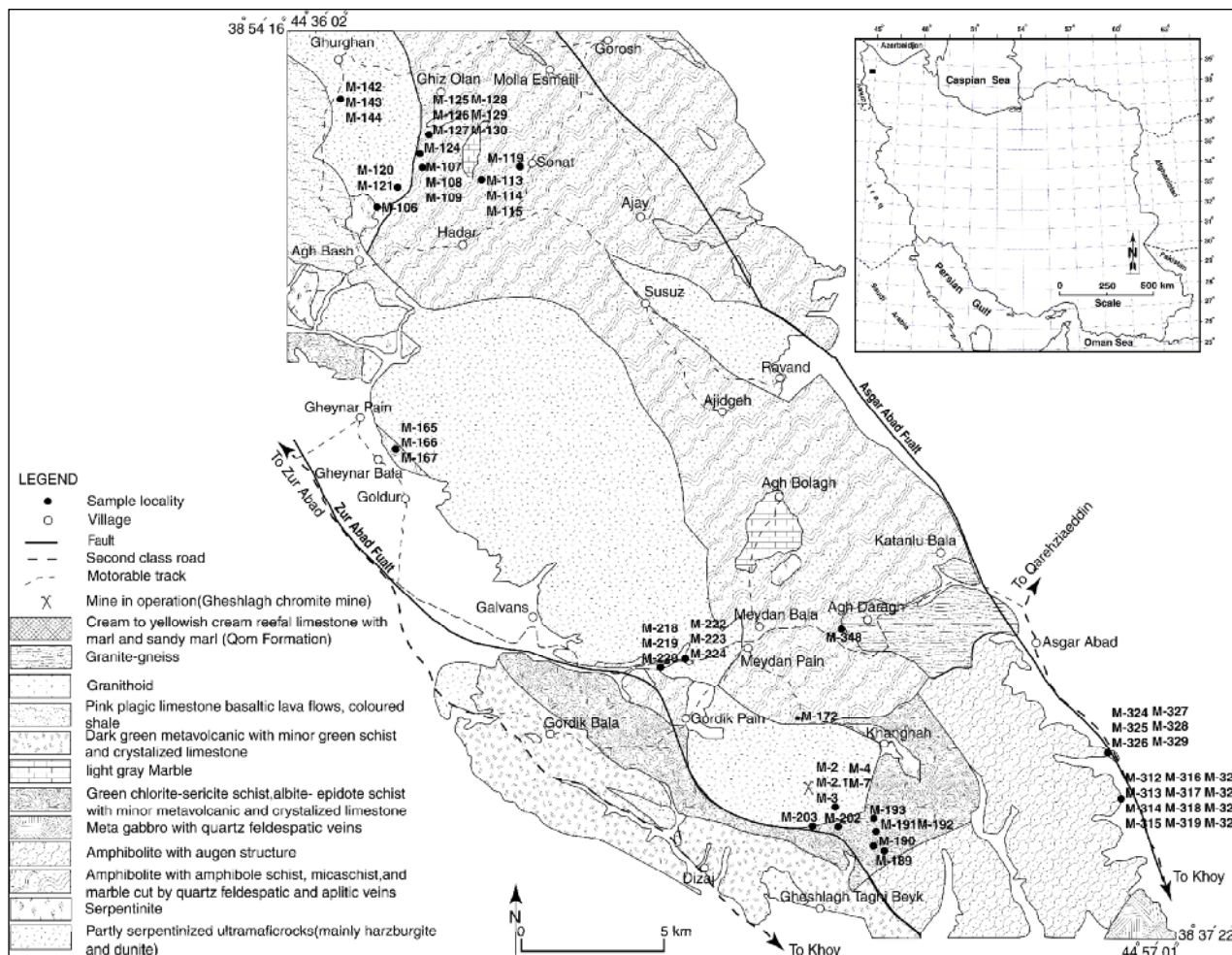
	TM34H	TM5B	TM29A	TM1B	TM6B	TM4C	TM4B	TM31A	TM26D	TM34A	TM35A	TM2B	TM5A	TM33A
اکسیدهای اصلی (درصد وزنی)														
SiO ₂	۴۸/۸	۴۷/۹	۴۹/۱	۴۹/۲	۴۹/۷	۵۰/۸	۵۰/۳	۴۹/۸	۴۴/۵	۵۰	۴۶	۴۸/۷	۴۸/۵	۴۷/۲
TiO ₂	۰/۳	۱/۹۳	۱/۳۷	۰/۱۷	۲	۰/۲	۰/۳۹	۰/۲۸	۱/۸۲	۰/۶	۰/۰۸	۰/۱۸	۳/۰۶	۰/۹۱
Al ₂ O ₃	۱۷	۱۵/۱	۱۴/۴	۲۴/۱	۱۴/۴	۱۳/۷	۱۳/۸	۱۸/۱	۱۵/۴	۱۵/۱	۲۰/۹	۲۴/۳	۱۲/۸	۱۲/۴
Fe ₂ O ₃	۱/۹۹	۵/۲۷	۴/۵۷	۰/۷۱	۵/۸۹	۴/۰۳	۳/۰۴	۱/۹۱	۶/۲۳	۳/۴۱	۲	۰/۷۱	۴/۵۹	۷/۱۲
FeO	۳/۸۶	۵/۶۵	۵/۴۵	۲/۰۴	۵/۸۱	۵/۲۵	۴/۷۳	۳/۷۶	۵/۸۶	۴/۹۲	۳/۸	۲/۰۳	۵/۴۹	۶/۰۵
CaO	۱۲/۸	۹/۹۷	۹/۰۷	۱۱/۶	۹/۰۸	۹/۸۹	۱۰	۱۰/۸	۶/۲۵	۱۰/۸	۱۰/۴	۱۳/۸	۱۰/۳	۱۰/۶
MgO	۹/۲۹	۶/۶۱	۷/۴۶	۵/۲۸	۵/۸۶	۹/۰۴	۹/۳۱	۸/۶۳	۱۱/۱	۸/۴۵	۸/۸۳	۴/۳۱	۷/۱۵	۹/۳۸
Na ₂ O	۲/۳۷	۲/۴۲	۲/۴۲	۲/۴۸	۲/۳۳	۳/۱۲	۳/۱۴	۳/۴۱	۲/۳۸	۲/۹۸	۲/۳	۲/۵۱	۳/۳۳	۲/۶
K ₂ O	۰/۳۱	۰/۶	۲/۲۶	۱	۱/۲۷	۰/۶۲	۰/۵۵	۰/۱۱	۱/۳۴	۰/۳۴	۰/۴۵	۰/۳۹	۱/۱۸	۰/۲۵
MnO	۰/۱	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۰۵	۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۴۳	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۱۸	۰/۲۲
P ₂ O ₅	۰/۰۳	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۰۳	۰/۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۲۶	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۲۷	۰/۱۳
LOI	۱/۷۵	۱/۶۴	۲/۱۱	۲/۲۳	۱/۶۶	۱/۸۴	۳/۱۲	۱/۷۷	۳/۲۹	۱/۶۹	۴/۰۳	۱/۹۷	۱/۷۵	۱/۶۵
Total	۹۸/۶	۹۸/۵۱	۹۸/۵۳	۹۸/۸۹	۹۸/۵۵	۹۸/۷۳	۹۸/۵۶	۹۸/۷۱	۹۸/۸۶	۹۸/۵۲	۹۸/۹۳	۹۸/۹۸	۹۸/۶	۹۸/۵۱

عناصر کرمیاب (پی پی ام)

Ba	۲۵	۲۱۵	۳۹۶	۱۲۱	۵۳۷	۴۳	۶۲	۹	۱۶۲	۳۳	۱۱۳	۵۶	۲۰۴	۱۶
Cr	۷۸۲	۲۱۸	۳۰۴	۲۷۲	۱۴۸	۱۳۸	۳۶۴	۳۳۹	۴۳۷	۱۴۸	۱۹	۲۱۴	۳۰۳	۳۵۰
Nb	۳	۱۴	۶	۵	۱۲	۵	۵	۵	۱۲	۵	۵	۵	۲۵	۱۰
Ni	۱۵۷	۵۶	۶۸	۳۴	۵۴	۴۴	۳۶	۱۰۰	۲۴۵	۵۵	۹۵	۵۱	۱۰۴	۱۴۳
Rb	۱۰	۱۰	۸۶	۳۵	۲۶	۹	۸	۸	۴۵	۸	۹	۹	۱۴	۹
Sr	۲۹۹	۳۹۶	۳۰۲	۲۶۱	۲۶۲	۱۳۹	۱۲۷	۲۴۵	۷۷	۱۵۶	۲۴۸	۲۱۹	۴۳۴	۸۴
V	۱۴۵	۲۸۶	۲۵۵	۷۴	۲۸۴	۱۶۳	۲۱۹	۱۵۰	۲۷۳	۱۹۹	۱۰۳	۹۳	۲۴۳	۱۸۷

Y	۸	۳۵	۳۰	۱۱	۴۷	۴۷	۱۳	۱۱	۳۱	۲۳	۸	۸	۲۹	۲۷
Zr	۱۷	۱۲۸	۱۰۸	۲۰	۲۰۹	۲۵	۲۲	۲۰	۱۳۲	۵۹	۲۷	۱۸	۱۴۶	۶۶

LOI= Loss on Ignition



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی و مکان‌های نمونه برداری از سنگ‌های آمفیبولیتی، با تغییرات از [۲۱].

واحد دگرگونی شرقی

این واحد بخشی از مجموعه دگرگونی شرقی بوده و خود به ۴ واحد فرعی به ترتیب زیر تقسیم شده است:

زیر واحد (۱) شامل میکاشیست، آمفیبولیت‌ها و گنیس زیرواحد (۲) شامل آمفیبولیت‌های ریزدانه همراه با متاکوارتزیت و گنیس‌های لپتینیته بوده و قطعات زمین‌ساختی بزرگی از سنگ‌های برگ‌سان افیولیتی شامل لرزولیت برگ‌سان و تکتونیت‌های هارزبورژیتی و نیز متاکومولاهای اولترامافیک در آن‌ها وجود دارد. به همراه این سنگ‌ها، سیل‌ها و دایک‌های فراوانی از متاگابروها (آمفیبولیت‌ها) دیده می‌شوند [۹]. بنابر بررسی‌های انجام یافته توسط [۱۰]، گنیس‌های یاد شده،

گرانیت‌های میلونیتی شده در نظر گرفته شده‌اند. زیرواحد (۳) شامل شیست‌های سبز، متاولکانیک‌ها، متانکارامیت بوده و زیر واحد (۴) شیست‌های سبزرجه پایین‌تر را نشان می‌دهد.

قطعات زمین‌ساختی متاافیولیتی

قطعات زمین‌ساختی بزرگ سنگ‌های مافیک و اولترامافیک در میان مجموعه دگرگونی شرقی دیده می‌شوند که تماس‌های زمین‌ساختی سامانمند با واحدهای مختلف نشان می‌دهد. با وجود زمین‌ساختی شدید، این سنگ‌ها شامل مجموعه‌ی متاافیولیتی جدا از هم^۱ هستند که شامل متا‌تکتونیت‌ها (هارزبورژیت‌ها و دونیت‌ها)، متاکومولیت‌ها (دونیت‌ها،

سنگ‌های دگرگونی (آمفیبولیت‌ها) در زمان فرورانش پوسته‌ی اقیانوسی حوضه‌ی خوی به زیر بلوک ایران مرکزی، به‌وجود آمده‌اند.

سنگ‌نگاری

آمفیبولیت‌ها از گستردگی بیشتری در منطقه‌ی مورد بررسی، به ویژه در بخش‌های شرقی و شمال شرقی، برخوردارند و در برخورد با سنگ‌های اولترامافیک سرپانتینی شده، گرانیتوئیدها و شیست‌ها قراردارند (شکل ۱) و برپایه‌ی بررسی‌های مقاطع میکروسکوپی، آن‌ها را می‌توان به دو گروه کلی رده‌بندی کرد. جدول (۳) مجموعه‌ی کانی‌های موجود در سنگ‌های آمفیبولیتی را نشان می‌دهد.

متاگابروهای نواری و هورنبلندیت‌ها) و انواع مختلف آمفیبولیت‌های ریز دانه و متاآنکارامیت‌اند. این سنگ‌ها در مناطق مختلف با سیل‌ها و دایک‌های گسترده و یا توده‌های نفوذی کوچکی از متاگابروها قطع شده‌اند.

توده‌های آمفیبولیتی مورد بررسی با گسترش گسترده‌ای در تماس با شیست‌ها و اولترامافیک‌ها در درون این مجموعه دگرگونی قرار گرفته‌اند. سال سنجی‌های انجام شده توسط [۹] روی آمفیبول‌های موجود در نمونه‌های آمفیبولیتی در مناطق قرخ یاشار و حیدرآباد، دامنه‌ی سن ظاهری گسترده‌ای را نشان می‌دهند که حاکی از تاریخچه‌ی دگرگونی طولانی چند مرحله-ای آن‌هاست. براساس این سال سنجی، نمونه‌ی حیدرآباد مربوط به زمان ژوراسیک زیرین و نمونه‌های قرخ یاشار به زمان کرتاسه زیرین بستگی دارد (جدول ۲). بنابر بررسی‌های [۹] این

جدول ۲ سن سنجی ایزوتوپی انجام شده بر روی تعدادی از نمونه‌های آمفیبولیتی منطقه از [۹].

سن بدست آمده به روش $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ به میلیون سال	مختصات	محل نمونه برداری
$121 \pm 6/2$	$38^{\circ} 38' 10''$ $44^{\circ} 52' 45''$	قرخ یاشار
$151 \pm 11/5$	$38^{\circ} 37' 50''$ $44^{\circ} 53' 50''$	قرخ یاشار
$186/3 \pm 10/7$	$38^{\circ} 42' 40''$ $43^{\circ} 55' 00''$	حیدرآباد

جدول ۳ مجموعه کانی‌های موجود در سنگ‌های آمفیبولیتی مورد بررسی. X: کانی اصلی، O: کانی فرعی، R: کانی باقیمانده، A: محصول دگرسان، Opa: کانیهای کدر، Car: کربنات، Clay: کانی‌های رسی.

No. Samp.	G.R.	Pl	Grt	Hbl	Act-Tr	Qtz	Cpx	Ms	Bt	Chl	Ep	Ser	Clay	Tlc	Ttn	Car	Opa	نوع سنگ
M-002	$28^{\circ}39'35.9''$ $44^{\circ}48'54.8''$	X		X		O				O	O	A	A		O		A	آمفیبولیت
M-002/1	$28^{\circ}39'35.9''$ $44^{\circ}48'54.8''$	X		X		X				O	O		A		A		O	آمفیبولیت
M-003	$28^{\circ}39'35.9''$ $44^{\circ}48'54.8''$	X		X	A	O				O	O	A	A		O	A	A	آمفیبولیت
M-004	$28^{\circ}39'33.6''$ $44^{\circ}48'51.7''$	X		X	A	O					A	A	A		O		A	آمفیبولیت
M-007	$28^{\circ}39'33.6''$ $44^{\circ}48'51.7''$	X		X		O				O	O	A	A		O		A	آمفیبولیت
M-008	$28^{\circ}39'33.6''$ $44^{\circ}48'51.7''$	X		X	A	O					A	A	A		O		A	آمفیبولیت
M-105	$28^{\circ}49'33.2''$ $44^{\circ}37'17''$	X		X	A	O							A	A			A	آمفیبولیت
M-106	$28^{\circ}51'0.55''$ $44^{\circ}38'1.9''$	X		X	A	O	R				O		A	A			A	آمفیبولیت
M-109	$28^{\circ}51'47.2''$ $44^{\circ}38'59.3''$	X		X	A	O	R				O		A	A			A	آمفیبولیت
M-126	$28^{\circ}52'13.8''$ $44^{\circ}39'0.79''$	X		X		O				O	A		A		A		O	آمفیبولیت

M-127	۳۸°۵۲'۱۳.۸" ۴۴°۳۹'۰.۷۹"	X	X		O		O	A	A	A	A	A	آمفیبولیت
M-129	۳۸°۵۲'۱۳.۸" ۴۴°۳۹'۰.۷۹"	X	X	A	O	R		A		A		O	آمفیبولیت
M-130	۳۸°۵۲'۱۳.۸" ۴۴°۳۹'۰.۷۹"	X	X	A			O	O	A	A		A	آمفیبولیت
M-150	۳۸°۴۹'۵۹.۱" ۴۴°۳۶'۰.۱"	X	X		O		A	A	A	A		A	آمفیبولیت
M-165	۳۸°۴۶'۲۷.۸" ۴۴°۳۸'۱۹"	X	X		O		O	O	A	A	O	A	آمفیبولیت
M-189	۳۸°۳۸'۵۹.۲" ۴۴°۴۹'۵۵.۱"	X	X		O						O	O	آمفیبولیت
M-191	۳۸°۳۹'۱۵.۹" ۴۴°۴۹'۴۴.۸"	X	X		O		O	O	A	A	O	A	آمفیبولیت
M-203	۳۸°۳۹'۲۴.۶" ۴۴°۴۸'۱۷.۱"	X	X	A	O		O	O	A	A	O	O	آمفیبولیت
M-218	۳۸°۴۲'۲۴.۶" ۴۴°۴۴'۴۷.۵"	X	X	A	O		O	O	A	A	O	A	آمفیبولیت
M-223	۳۸°۴۲'۳۰.۶" ۴۴°۴۵'۱۸"	X	X		O		O	O	A	A	O	A	آمفیبولیت
M-300	۳۸°۳۷'۱۴.۳" ۴۴°۵۷'۹.۲"	X	X		X			O	A	A	O	O	آمفیبولیت
M-310	۳۸°۳۹'۵۳.۹" ۴۴°۵۵'۴۵.۱"	X	O	X	X				A			A	گارنت آمفیبولیت
M-312	۳۸°۳۹'۵۳.۹" ۴۴°۵۵'۴۵.۱"	X	O	X		O							گارنت آمفیبولیت
M-313	۳۸°۳۹'۵۳.۹" ۴۴°۵۵'۴۵.۱"	X	O	X	X			O			O		گارنت آمفیبولیت
M-314	۳۸°۳۹'۵۳.۹" ۴۴°۵۵'۴۵.۱"	X		X	X	O						O	آمفیبولیت
M-315	۳۸°۳۹'۵۳.۹" ۴۴°۵۵'۴۵.۱"	X	O	X	X				A	A	A	O	گارنت آمفیبولیت
M-316	۳۸°۳۹'۵۳.۹" ۴۴°۵۵'۴۵.۱"	X	O	X	X		O		A	A		O	گارنت آمفیبولیت
M-317	۳۸°۳۹'۵۳.۹" ۴۴°۵۵'۴۵.۱"	X	O	X	X							O	گارنت آمفیبولیت
M-318	۳۸°۳۹'۵۳.۹" ۴۴°۵۵'۴۵.۱"	X	O		X		O		A	A		O	گارنت آمفیبولیت
M-319	۳۸°۳۹'۵۳.۹" ۴۴°۵۵'۴۵.۱"	X	O	X	X	O			A			O	گارنت آمفیبولیت
M-321	۳۸°۳۹'۵۳.۹" ۴۴°۵۵'۴۵.۱"	X	O	X	X				A			O	گارنت آمفیبولیت
M-326	۳۸°۴۰'۳۸.۸" ۴۴°۵۵'۳۴.۹"	X	O	X	X				A	A		O	گارنت آمفیبولیت
M-327	۳۸°۴۰'۳۸.۸" ۴۴°۵۵'۳۴.۹"	X	O	X	X					A		O	گارنت آمفیبولیت
M-329	۳۸°۴۰'۳۸.۸" ۴۴°۵۵'۳۴.۹"	X	O	X	X		O			A		O	گارنت آمفیبولیت
M-348	۳۸°۴۳'۹.۹" ۴۴°۴۸'۵۲.۹"	X	X		X				O	O	O	O	آمفیبولیت

سنگ‌نگاری آمفیبولیت‌های بدون گارنت

این گروه از آمفیبولیت‌ها بخش‌های گسترده‌ای از مناطق آمفیبولیتی را به خود اختصاص داده‌اند و خود به دو دسته با

ساخت خطواره و بدون آن تقسیم می‌شوند و حتی در برخی نمونه‌ها ساخت نواری (نوارهای متناوبی از آمفیبول و فلدسپار (شکل ۲-ا) و در پاره‌ای ساخت چشمی نیز دیده می‌شود

مقاطع نازک زیادی که از این آمفیبولیت‌ها صورت گرفته است، انواع پاراژنهای زیر تشخیص داده شده‌اند.

Hbl + Pl + Ep + Chl + Qtz

Hbl + Pl + Ms + Qtz

Hbl + Pl + Bt + Qtz

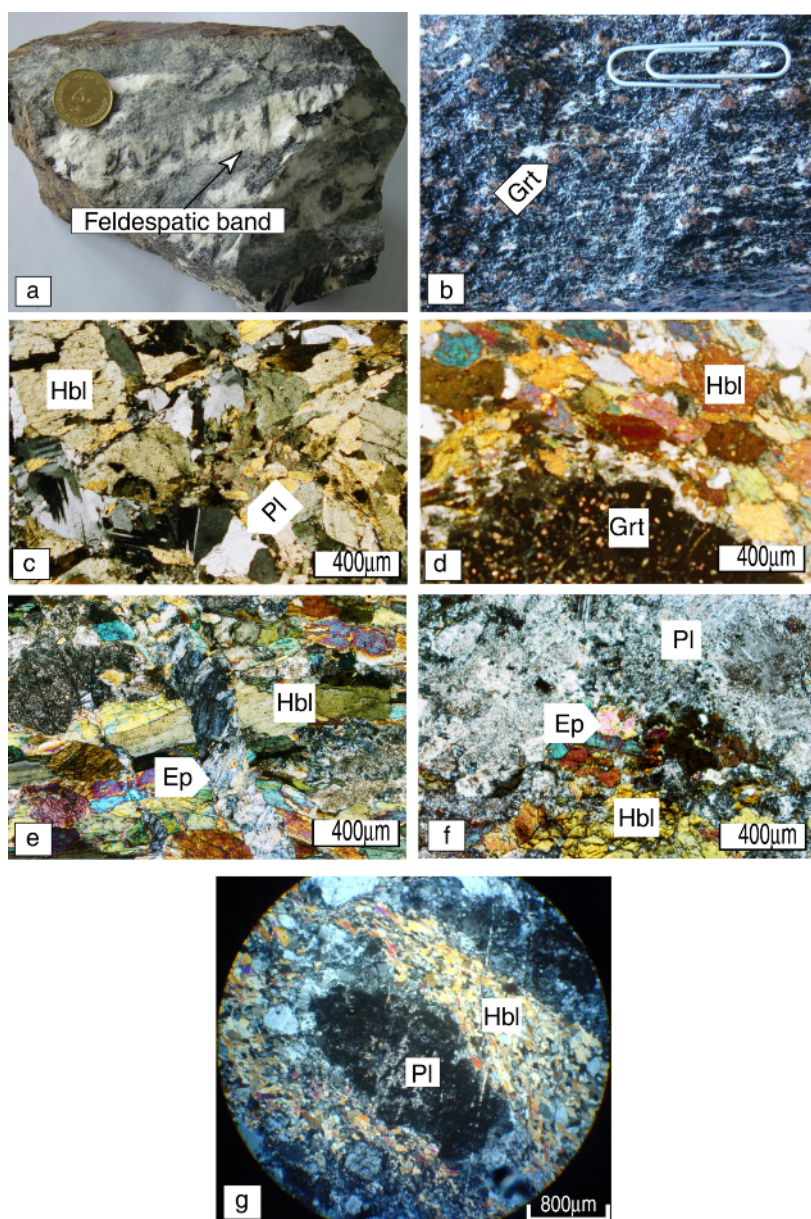
Hbl + Pl + Chl

Hbl + Pl

Hbl + Pl + Qtz

(شکل ۲-g). در نمونه‌ی دستی، این سنگ‌ها به رنگ خاکستری بوده که در نمونه‌های بدون سمت‌یافتگی خطی، بافت توده‌ای نشان می‌دهند و در نمونه‌هایی که ساخت نواری دارند، لایه‌های تیره و روشن در آن‌ها دیده می‌شوند (جدایش دگرگونی) (شکل ۲-a).

مجموعه کانی‌های این سنگ‌ها عبارتند از پلاژیوکلاز، هورنبلند ± کوارتز ± موسکویت ± بیوتیت ± کلریت ± اپیدوت ± تیتانیت ± کانی‌های کدر. بر پایه‌ی بررسی‌های میکروسکوپی روی



شکل ۲ تصاویر ماکروسکوپی و میکروسکوپی از آمفیبولیت‌های مورد بررسی: a. نمونه‌ی دستی آمفیبولیت بدون گارنت با نوارهای فلدسپاتی. b. نمونه‌ی دستی یک گارنت آمفیبولیت و بلورهای گارنت تشکیل شده در آن. c. تصویر میکروسکوپی از یک نمونه آمفیبولیت بدون گارنت با بلورهای آمفیبول و پلاژیوکلاز در آن. d. تصویر میکروسکوپی از یک نمونه گارنت آمفیبولیت با بلوردرشت گارنت و بلورهای آمفیبول موجود در

آن، XPL. e. تشکیل رگه اپیدوت در آمفیبولیت بدون گارنت، XPL. f. تماس لایه‌ی غنی از آمفیبول و لایه‌ی غنی از پلاژیوکلاز در آمفیبولیت بدون گارنت، XPL. g. پرفیروکلاست چشمی پلاژیوکلاز در آمفیبولیت چشمی (Augen amphibolite)، XPL.

سنگ‌نگاری آمفیبولیت‌های گارنت‌دار

این گروه از آمفیبولیت‌ها با گستردگی خیلی کمتری نسبت به آمفیبولیت‌های بدون گارنت بوده و تنها در مسیر خوی-عسگر آباد رخنمون دارند (شکل ۱). در نمونه‌ی دستی درشت دانه بوده و بلورهای درشت گارنت در آن‌ها به‌خوبی دیده می‌شوند (شکل ۲-b). در این نوع آمفیبولیت‌ها ساخت نواری (نوارهای متناوب آمفیبول‌ها و پلاژیوکلازها با کوارتزها همراه با گارنت‌ها دیده می‌شوند) (شکل ۲-b). مجموعه‌ی کانی‌های این سنگ‌ها عبارتند از: پلاژیوکلاز، هورنبلند، کوارتز، گارنت $\pm$ بیوتیت $\pm$ کلینوپیروکسن $\pm$ اپیدوت $\pm$ کلریت $\pm$ تیتانیت $\pm$ کانی‌های کدر. براساس بررسی‌های مقاطع میکروسکوپی این سنگ‌ها می‌توان پارائزهای زیر را در آن‌ها شناسایی کرد.

Hbl + Pl + Grt + Qtz

Hbl + Pl + Grt + Cpx + Qtz

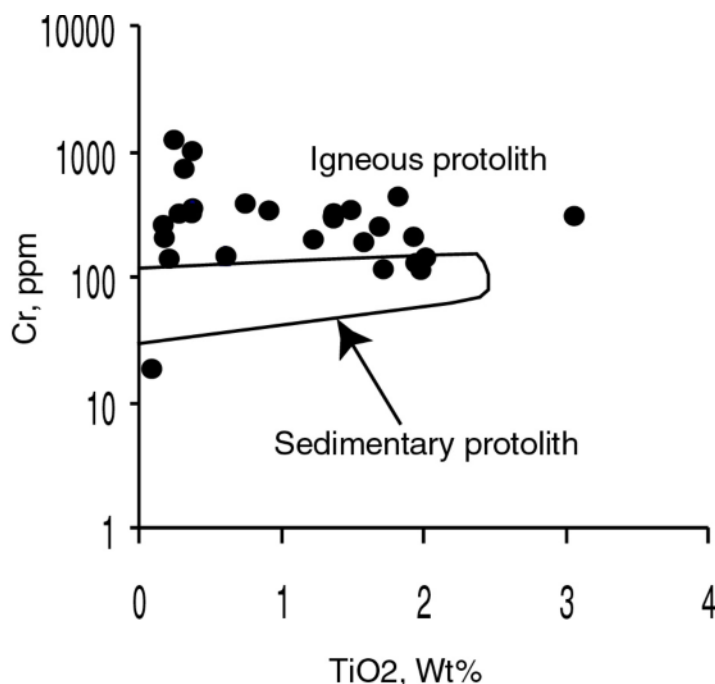
Hbl + Pl + Grt + Bt + Qtz

بررسی پروتولیت آمفیبولیت‌های منطقه‌ی مورد بررسی

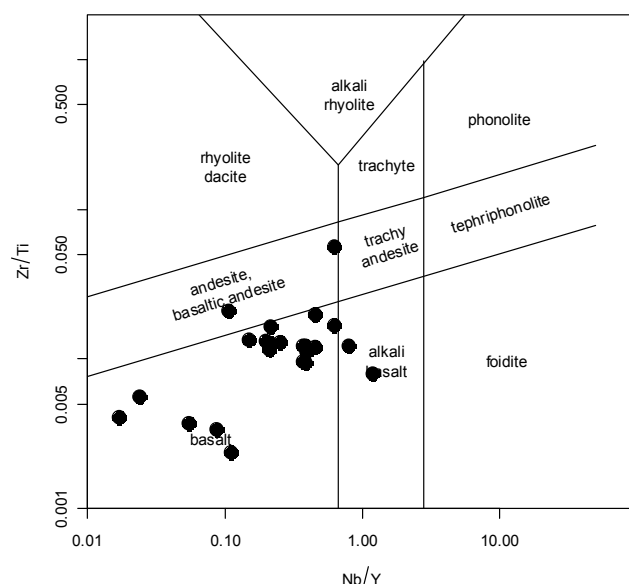
بررسی ترکیب شیمیایی عناصر اصلی و فرعی نمونه‌های تجزیه شده نشان می‌دهد که آمفیبولیت‌های مورد بررسی از دگرگونی سنگ‌های آذرین حاصل شده‌اند (ارتوآمفیبولیت). مقادیر بالای Cr و مقادیر پایین Na_2O و K_2O نشانگر خاستگاه آذرین این آمفیبولیت‌هاست. ترکیب شیمیایی این سنگ‌ها با ترکیب

شیمیایی پارا- آمفیبولیت‌ها که خاستگاه تهنشستی دارند، متفاوت است (۲، ۱۱). برای شناسایی پروتولیت آمفیبولیت‌های بررسی شده (ارتو- و یا پارا-) از نمودار TiO_2 نسبت به Cr [۱۲] استفاده شده است (شکل ۳).

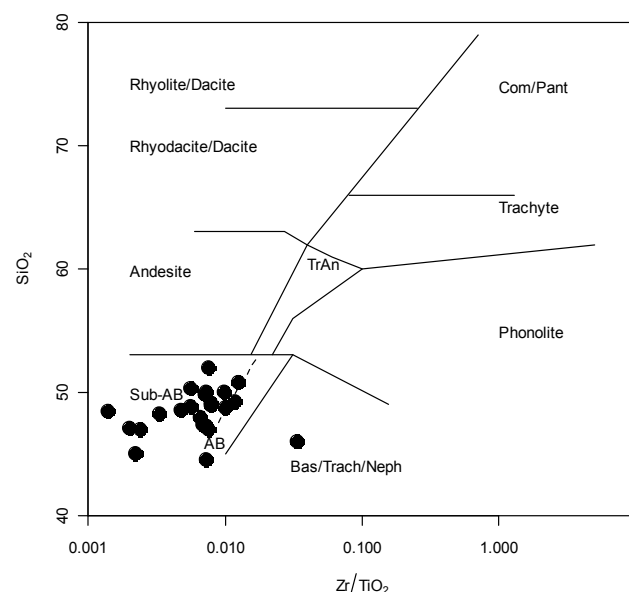
به‌طوری که از شکل پیداست، نمونه‌های منطقه‌ی مورد بررسی پروتولیت آذرین داشته و از نوع ارتو- آمفیبولیت‌اند. بررسی‌های بافتی و کانی‌شناسی نیز این ادعا را تأیید می‌کنند. با توجه به آذرین بودن پروتولیت آمفیبولیت‌ها، برای تعیین نوع سنگ مادر آذرین از نمودار Nb/Y نسبت به Zr/Ti (عناصر نام‌تحرک) به نقل از [۱۳] (شکل ۴) و نیز از نمودار Zr/TiO₂ نسبت به SiO_2 از [۱۴] (شکل ۵) استفاده شد. به طوری که در این دو شکل دیده می‌شود. پروتولیت آذرین آمفیبولیت‌های بررسی شده در هر دو نمودار در گستره‌ی بازالت قرار می‌گیرند. برخی از نمونه‌های آمفیبولیت درشت بلور بوده و از سنگ‌های گابرویی تشکیل شده‌اند. ولی با توجه به یکسان بودن ترکیب ماگمای بازالتی و گابرویی، در این بخش تنها از نمودار سنگ-های خروجی برای تعیین پروتولیت اولیه استفاده شده است که می‌توان معادل درونی آن‌ها را در مورد سنگ‌های درشت بلور در نظر گرفت.



شکل ۳ نمودار شناسایی آمفیبولیت‌های ارتو از پارا از [۱۲]. چنانکه دیده می‌شود بیشتر نمونه‌های آمفیبولیتی مورد بررسی در گستره‌ی با خاستگاه آذرین قرار می‌گیرند.



شکل ۴ نمودار رده‌بندی سنگ‌های آتشفشانی از [۱۳]. براساس این نمودار بیشتر نمونه‌های آمفیبولیتی مورد بررسی در گستره‌ی بازالت قرار دارند.



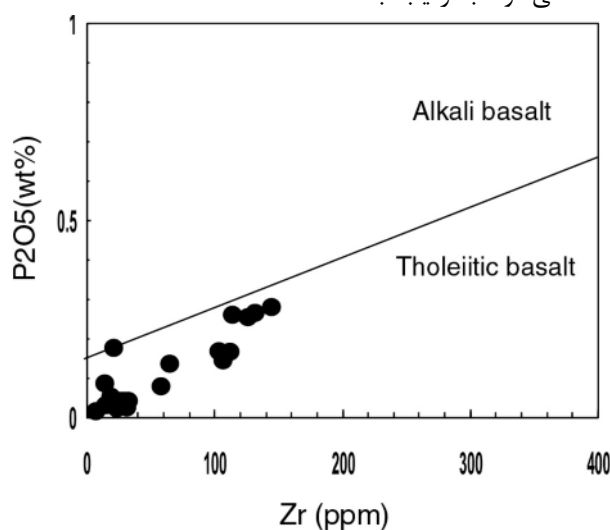
شکل ۵ نمودار رده‌بندی سنگ‌های آتشفشانی از [۱۴]. براساس این نمودار بیشتر نمونه‌های آمفیبولیتی مورد بررسی در گستره‌ی بازالت شبه قلیایی واقع شده‌اند.

تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آذرین اولیه

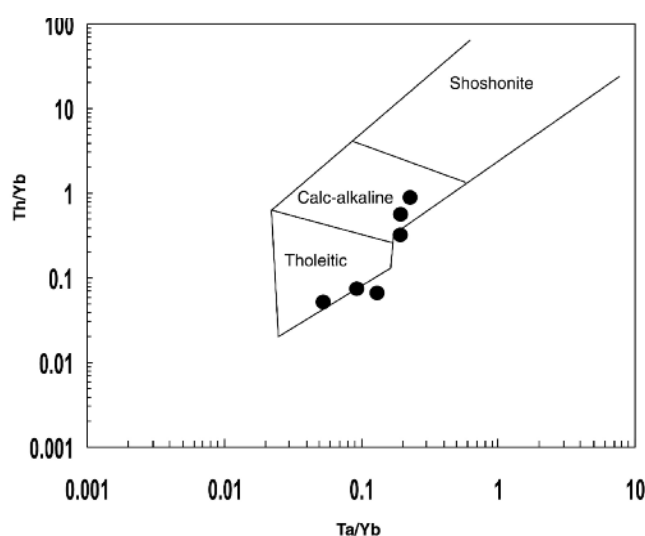
منظور از یک سری ماگمایی، مجموعه‌ای از سنگ‌های مختلف است که از یک ماگمای مادر بازی اولیه جدا شده کرده‌اند. بررسی‌های فراوان روی ژئوشیمی بازالت‌ها که فراوان‌ترین سنگ‌های خروجی هستند، وجود پنج سری ماگمایی شامل سری تولیتی، قلیایی، آهکی-قلیایی، شوشونیتی و سری

تحولی را مشخص کرده است [۱۵]. برای تعیین سری ماگمایی از عناصر نام‌تحرک استفاده شد. نمونه‌های تجزیه شده روی نمودار Zr نسبت به P_2O_5 [۱۶] برده شد و چنانکه دیده می‌شود تمام نمونه‌ها در گستره‌ی بازالت‌های تولیتی قرار می‌گیرند (شکل ۶). هم چنین تعدادی از نمونه‌ها که عناصر مورد نیاز برای ترسیم در نمودار Ta/Yb نسبت به Th/Yb [۱۷] را

داشتند (نمونه‌های گارنت‌دار و بدون گارنت مولف) در این سری آهکی-قلیایی و تولییتی تعلق دارند (شکل ۷). نمودار ترسیم شدند و چنانکه مشاهده می‌شود به ترتیب به



شکل ۶ نمودار تعیین رشته‌ی ماگمایی از [۱۵]. چنانکه دیده می‌شود تمامی نمونه‌های آمفیبولیتی مورد بررسی در گستره‌ی بازالت تولییتی قرار گرفته‌اند.



شکل ۷ نمودار تعیین سری ماگمایی از [۱۶]. چنانکه دیده می‌شود نمونه‌های آمفیبولیتی به دو سری مجزا تقسیم شده‌اند به طوری که نمونه‌های گارنت‌دار با سری آهکی-قلیایی و نمونه‌های بدون گارنت به رشته‌ی تولییتی وابسته‌اند.

بررسی تغییرات عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی

برای بررسی تغییرات عناصر اصلی و کمیاب، نمودار تعدادی از آن‌ها نسبت به عنصر Zr ترسیم شد (شکل‌های ۸ و ۹). در رابطه با اکسیدهای عناصر اصلی، اکسیدهای TiO_2 و P_2O_5 روند مثبت و اکسیدهای CaO و MgO روند منفی نشان می‌دهند. هم چنین در رابطه با عناصر کمیاب، تمامی عناصر کمیاب ترسیم شده، روند مثبت مشخصی را نشان می‌دهند.

این روندها به سبب تبلور جدایشی ماگمای بازالتی قابل درک است. برازش منفی با Zr با تبلور فازهایی از قبیل الیوین، پیروکسن و پلاژیوکلاز طی جدایش ماگما هم خوانی دارد. برازش مثبت بین TiO_2 ، P_2O_5 و مقادیر Zr ممکن است جدایش ایلمنیت و یا آمفیبول غنی از Ti را نشان دهد. بقیه اکسیدها روندهای ضعیف و خیلی پراکنده نشان می‌دهند که به

ناهمگنی ترکیب ماگما یا توزیع دوباره طی دگرگونی اشاره دارد.

در قوس‌های نمادین ماگمایی، فراوانی LILEs (Ba, Rb, K, Th, U و La) با فاز شاره‌ای کنترل می‌شود و در نتیجه غنی‌شدگی متغیر نشان می‌دهند. HFSEs (Nd, Nb, Ce, Yb و Y, Eu, Zr, Sm) نتیجه‌ی شیمی خاستگاه و فرایندهای بلور/آبگون بوده و به‌طور طبیعی نسبت به LILEs تهی هستند [۲]. تعدادی از آمفیبولیت‌ها به‌طور طبیعی غنی از LILEs و تهی از HFSEs هستند. این ویژگی به خاستگاه گوشته‌ای مشابه با E-MORB و BABB ها (بازالت‌های حوضه پشت قوس) اشاره دارد.

برای بررسی عناصر نادر خاکی در نمونه‌ها، ۳ نمونه از آمفیبولیت‌های گارنت‌دار و ۳ نمونه از آمفیبولیت‌های بدون گارنت که تمامی عناصر مورد نیاز آنالیز شده بودند انتخاب، و نخست نسبت به کندریت [۱۸] و سپس نسبت به N-MORB [۱۸] بهنجار شدند (شکل ۱۰). بررسی نمودار بهنجار شده نسبت به کندریت نشان دهنده‌ی غنی‌شدگی نمونه‌های مورد بررسی نسبت به کندریت بوده و نیز چنین نمونه‌های گارنت‌دار نسبت به نمونه‌های بدون گارنت از مقادیر REE بالاتری برخوردارند. همچنین در این آمفیبولیت‌ها مقادیر LREE نسبت به MREE و HREE فراوانی بالاتری دارند و در رابطه با نمونه‌های بدون گارنت مقادیر LREE نسبت به MREE و HREE فراوانی پایینی را داراست که نشان دهنده‌ی خاستگاه متفاوت و یا نرخ ذوب متفاوت خاستگاه در شکل‌گیری این سنگ‌هاست. بی‌هنجاری مثبت مشخصی در عنصر Eu در نمونه‌های بدون گارنت دیده می‌شود (نسبت Eu به Eu^* برابر با $M-109 = 1.38$ ، $M-126 = 1.26$ و $M-129 = 1.30$) که حاکی از حضور پلاژیوکلاز فراوان در این سنگ‌ها نسبت به نمونه‌های گارنت‌دار است به‌طوری که مشاهدات سنگ‌نگاری نیز این مسئله را تأیید می‌کند.

در نمودار بهنجار شده نسبت به NMORB چنانکه مشاهده می‌شود نمونه‌های گارنت‌دار نسبت به نمونه‌های بدون گارنت از تمامی عناصر غنی‌ترند و نمونه‌های بدون گارنت به جز عناصر LILES نسبت به NMORB فقیرترند و به ترکیب بازالت‌های مورب عادی نزدیک‌ترند. همچنین در بین این دو دسته سنگ، عناصر LILES بیشترین جدایش و HREEs کمترین جدایش را نشان می‌دهند. با این حال در هر دو دسته، بی‌هنجاری

مثبت عنصر Pb به‌خوبی قابل مشاهده است که حاکی از آرایش با پوسته‌ی قاره‌ای است و به احتمال نشان دهنده‌ی محیط پشت قوس سیالیک است.

بی‌هنجاری مثبت مشخصی نیز در عنصر Sr در نمونه‌های بدون گارنت دیده می‌شود که حضور پلاژیوکلاز زیاد در این نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های گارنت‌دار را نشان می‌دهد. چنانکه از نمودارهای REEs و عنکبوتی پیداست آمفیبولیت‌های گارنت‌دار و آمفیبولیت‌های بدون گارنت از نظر الگوی REEs و نمودار عنکبوتی با هم اختلاف دارند که این امر نشان دهنده‌ی اختلاف شیمی سنگ‌مادر این سنگ‌هاست که باعث شده است در یک دما و فشار معین پس از دگرگونی در یک سنگ گارنت تشکیل شود و در سنگ دیگر گارنت به‌وجود نیاید.

بررسی محیط زمین‌ساختی تشکیل آمفیبولیت‌های منطقه

اولین بار [۴، ۱۹] نظریه‌ی استفاده از شیمی سنگ کل برای شناسایی ماگماهای مربوط به محیط‌های زمین‌ساختی مختلف را ارائه دادند. البته بنابر نظر ایشان نمودارهای جدایشی به‌ندرت محیط زمین‌ساختی قدیمی را بدون ابهام تعیین می‌کنند. این نمودارها در بهترین حالت احتمال وجود یک محیط زمین‌ساختی را نشان می‌دهند و هرگز نباید از آنها برای اثبات بی‌قید و شرط وجود یک محیط زمین‌ساختی استفاده کرد.

غلظت عناصر تشکیل دهنده‌ی یک ماگمای اولیه تابعی از غلظت عناصر در گوشته، میزان ذوب، فرایندهای تبلور جدایشی و تأثیرهای آرایش پوسته‌ایست. بین آن‌ها عناصر کمیاب بیشتر ماهیت ماگمای اولیه را نشان می‌دهند. نمودارهای مختلف جدا کننده‌ی محیط‌های زمین‌ساختی برای شناخت محیط زمین‌ساختی احتمالی تشکیل سنگ‌های آمفیبولیتی منطقه‌ی مورد بررسی استفاده شده‌اند. در نمودار V نسبت به Ti به نقل از [۲۰] نمونه‌های آمفیبولیتی منطقه‌ی مورد بررسی به دو بخش تقسیم شده‌اند بخشی در گستره‌ی بازالت کف اقیانوسی و بخشی نیز در گستره‌ی قوس واقع شده‌اند (شکل ۱۱).

با توجه به اینکه محیط‌های زمین‌ساختی حوضه‌ی پشت قوس قاره‌ای می‌توانند ویژگی MORB و IA را به طور هم زمان نشان دهند، لذا ممکن است سنگ‌های آمفیبولیتی مورد بررسی در چنین محیط زمین‌ساختی بوجود آمده باشند. در چنین محیط‌های زمین‌ساختی، دامنه‌ی ترکیبی سنگ‌های

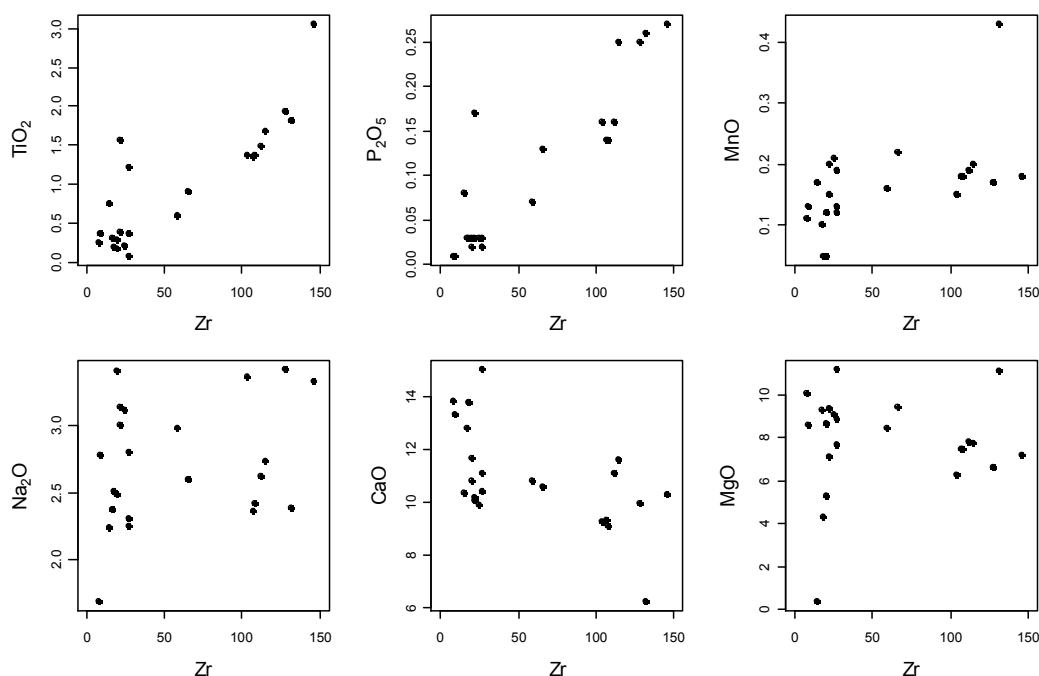
توله ایتی وابسته‌اند. هم چنین از نظر محیط زمین‌ساختی نیز در دو محیط زمین‌ساختی بازالت کف اقیانوسی و قوس قرار دارند که به روشنی در نمودارهای REE و عنکبوتی قابل جدایش‌اند.

با توجه به اینکه محیط‌های زمین‌ساختی حوضه‌ی پشت قوس قاره‌ای می‌توانند ویژگی MORB و IA را به طور هم زمان نشان دهند. لذا ممکن است سنگ‌های آمفیبولیتی مورد بررسی در چنین محیط زمین‌ساختی به وجود آمده باشند.

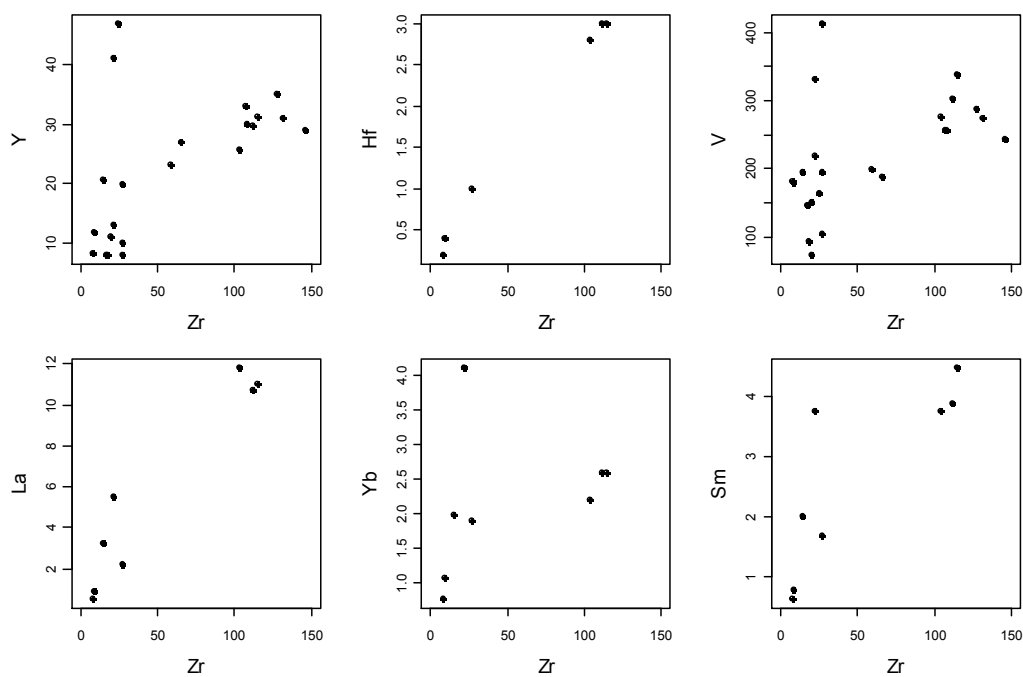
بازی متغیر است، لذا می‌توان تغییرات در الگوی REEs را به این مسئله نسبت داد. با این حال نباید تأثیر دگرزه‌ای بعدی در اثر تزریق توده‌های گرانیتی S-type که در کنار آمفیبولیت‌های گارنت‌دار قرار دارند و درجه‌ی دگرگونی و دگرسانی روی الگوی بالا را نادیده گرفت.

برداشت

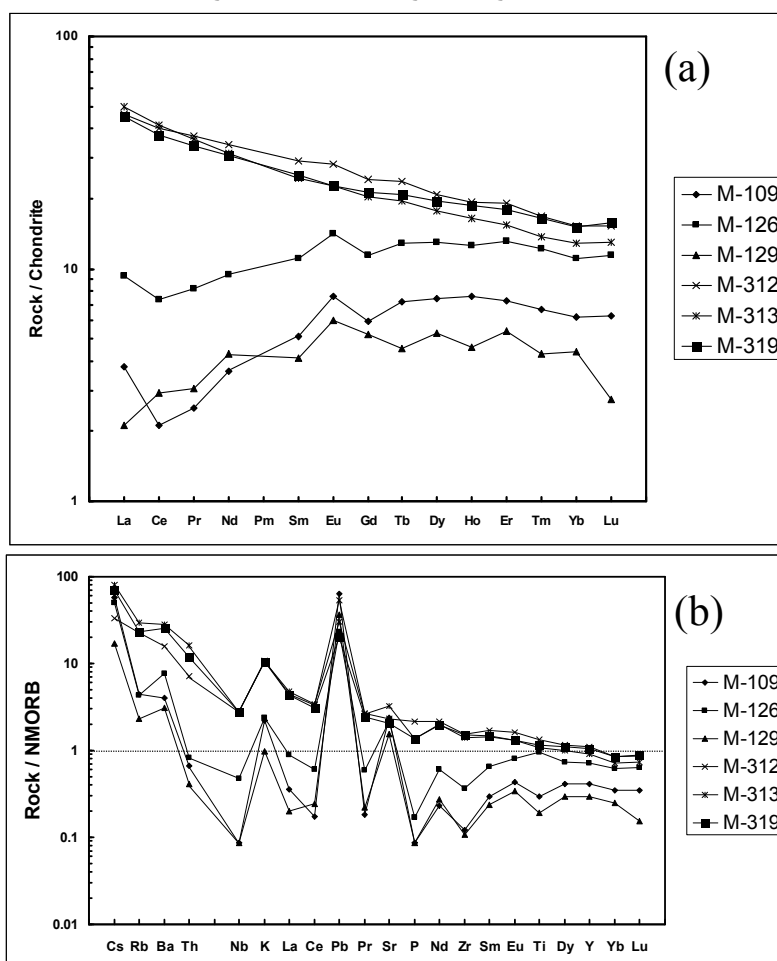
سنگ‌های آمفیبولیتی مورد بررسی جزء ارتوآمفیبولیت‌ها بوده و به دو گروه کلی گارنت‌دار و بدون گارنت تقسیم می‌شوند. از این نظر سری ماگمایی به ترتیب به دو گروه آهکی-قلیایی و



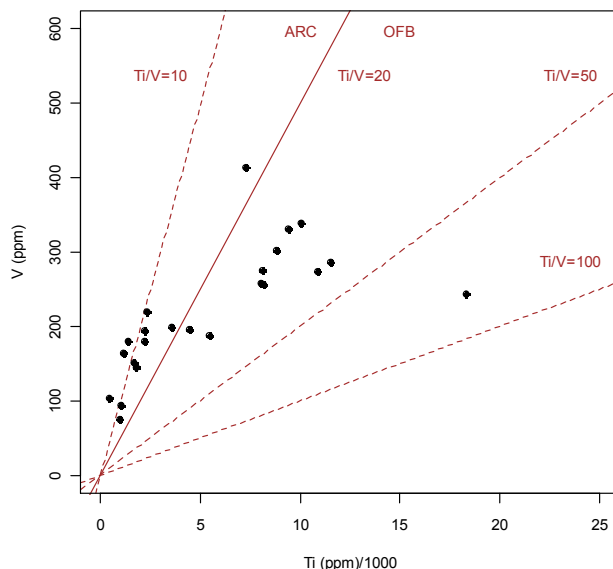
شکل ۸. تغییرات عناصر اصلی نسبت به عنصر Zr.



شکل ۹ تغییرات عناصر کمیاب نسبت به عنصر Zr.



شکل ۱۰-a نمودار بهنجار شده به کندریت و b- بهنجار شده به گوشته‌ی اولیه (مقادیر بهنجار شده از [۱۸])، چنانکه دیده می‌شود نمونه‌های بدون گارنت (M-109, M-126, M-129) نسبت به نمونه‌های گارنت‌دار (M-312, M-313, M-319) از بی‌هنجاری مثبت Eu برخوردارند. هم چنین یک جدایش نیز در عناصر نادر خاکی سبک بین نمونه‌ها گارنت‌دار و بدون گارنت در هر دو نمودار مشاهده می‌شود.



شکل ۱۱ براساس نمودار V نسبت به Ti از [۲۰]. نمونه‌های آمفیبولیتی مورد بررسی به دو محیط بازالت‌های کف اقیانوسی و بازالت‌های جزایر قوسی قابل تقسیم‌اند.

قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب سپاس و تشکر خود را به داوران مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران به خاطر نظرهای سازنده‌شان ابراز می‌دارند. هم چنین از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز به خاطر حمایت مالی تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

- [5] White W.M., "Geochemistry: an on-line text book", <http://www.imwa.info/Geochemie>, John-Hopkins University press (2001).
- [6] Seewald J.C., Seyfried W.E., "The effect of temperature on metal mobility in sub sea floor hydrothermal systems: constraints from basalts alteration experiments", *Earth and Planetary Science Letters* 101 (1990) 388-403.
- [7] Khalatbari-jafari M., Juteau T., Cotton J., "Petrological and geochemical study of the late cretaceous ophiolite of Khoy (NW Iran), and related geological formations", *Journal of Asian Earth Sciences* 10 (2005) 1-38.
- [8] Moazzen M., Oberhänsli, R., "Whole rock and relict igneous clinopyroxene geochemistry of ophiolite-related amphibolites from NW Iran- Implications for protolith nature", *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen* 185/1 (2008) 51-62.
- [9] Khalatbari-jafari M., Juteau T., Bellon H., Whitechurch H., cotton J., Emami H., "New geological, geochronological and geochemical investigation on the Khoy ophiolites and related formations, NW Iran", *Journal of Asian Earth Sciences* 23 (2004) 507-535.

- [1] Coish R. A., "Rift and Ocean floor volcanism from the late Proterozoic and early Palaeozoic of the Vermont Appalachian. In: Sinha, A. K., Whalen, J. B., Hogan, J. P. (eds.): *The nature of magmatism in the Appalachian Orogen*", Geological Society of America Memoir 191 (1997) 129-145.
- [2] Rollinson H., "Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation", Longman Group, UK 1st ed. (1993) 352.
- [3] Floyd P.A., Winchester J.A., "Identification and discrimination of altered and metamorphosed volcanics using immobile elements", *Chemical Geology* 21 (1978) 291-306.
- [4] Pearce J.A., Cann G.R., "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elements analysis", *Earth and Planetary Science Letters* 19 (1973) 290-300.

and metamorphosed basic igneous rocks", Earth and Planetary Science Letters 28 (1976) 459-469.

[17] Pearce J. A., "Trace element characteristics of Lavas from destructive plate boundaries", In: THROPE, R. D. (Ed.): Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks: Jophn Wiley & Sons, London (1982) 525- 548.

[18] Sun S.S., McDonough W.F., "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", Journal of the Geological Society of London 42 (1989) 313-347.

[19] Pearce J.A., Cann G.R., "Ophiolite origin investigated by discriminant analysis using Ti, Zr, and Y", Earth and Planetary Science Letters 12 (1971) 339-349.

[20] Shervais J. W., "Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas", Earth and Planetary Science Letters 59 (1982) 101-118.

[21] Radfar J., Amini B., "Geology Map of the Khoy Quadrangle (1:100,000)", Geological Survey of Iran (1999).

[۱۰] عزیزی ح، معین وزیری ح، یعقوب پور الف، محجل م، "گرانیتوئیدهای میلونیتی در شمال خوی"، مجله علوم دانشگاه تهران، ۷، (۱۳۸۰) ص ۸۱-۱۰۱.

[11] Taylor S.R., McLennan S.M., "The continental crust: Its composition and evolution", Blackwell, London (1985) 312.

[12] Leake B. E., "The chemical distinction between ortho and para-amphibolites", Journal of Petrology 5 (1964) 238-254.

[13] Pearce J.A., "A user guide to basalt discrimination diagrams, In: application for massive sulphide exploration", Geological association of Canada Short Course Notes 12 (1996) 79-13?

[14] Winchester J.A., Floyd P.A., "Geochemical discrimination of different magmas series and their differentiation products using immobile elements", Chemical Geology 16 (1977) 325-343.

[15] Wilson M., "Igneous petrogenesis, a global tectonic approach", Chapman and Hall. (1993) 466.

[16] Winchester J.A., Floyd P.A., "Geochemical magma type discrimination, application to altered