



ترکیب منشا و محیط تکتونیکی سنگ‌های رسی دگرگون شده‌ی کمپلکس ماهنشان (متاپلیت‌ها)

عادل ساکی^۱، غلامرضا میرزاوند^۲

(۱) گروه زمین شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز email: adelsakiscu.ac.ir

(۲) دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

هکیده

سنگ‌های پراکامبرین کمپلکس ماهنشان در شمال غرب ایران تحت تاثیر دگرگونی ناحیه‌ای و مجاورتی قرار گرفته‌اند. در این منطقه سنگ‌های آذرین و دگرگونی مختلفی رخنمون دارند. سنگ‌های دگرگونی شامل متاپلیت‌ها (سنگ‌های رسی دگرگون شده)، آمفیبولیت‌ها، متاولکانیک‌ها، پاراگنیس، متاپریدوتیت و سربانتین‌ها می‌باشند. متاپلیت‌ها دارای دو سری شیتوزیته در دو جهت مختلف هستند. مطالعات دقیق پتروگرافی و پتروفابریک در آن‌ها نشان می‌دهند که دو فاز دگرگونی ناحیه‌ای و یک فاز دگرگونی مجاورتی بر این سنگ‌ها تاثیر گذاشته‌اند. کانی‌های آندالوزیت، استارولیت، کیانیت و گارنت در طی اوج دگرگونی، فاز دوم دگرگونی ناحیه‌ای، متبلور شده‌اند. مطالعات ژئوشیمیایی متاپلیت‌ها نشان می‌دهند که ترکیب سنگ رسوبی اوکلیه‌ی متاپلیت‌ها قبل از دگرگونی، شیل و یا گریوک بوده است. محیط تکتونیکی تشکیل رسوب اوکلیه بر اساس نمودارهای متمایزکننده مرتبط با قوس‌های آتشفشانی می‌باشد. سنگ منشاء متاپلیت‌های ماهنشان بر اساس شیمی عناصر غیرمتحرک، سنگ‌های آذرین حد واسط مانند ریولیت تا آندزیت تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی: شیل، کمپلکس ماهنشان، متاپلیت، نمودارهای متمایزکننده

Study of composition, source and tectonic setting of metapelite rocks from Mahnesan complex, NW, Iran

A. Saki¹ & Gh. Mirzavand²

1) Department of Geology, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, I.R. Iran

2) Department of Geology, Islamic Azad University, Dezful Branch, Dezful, I.R. Iran

Abstract

The Precambrian rocks of Mahnesan Complex in Northwestern Iran were affected by regional and contact metamorphism. At the Mahnesan Complex different types of igneous and metamorphic rocks

are exposed. Metamorphic rocks including metapelites, amphibolites, metavolcanite, para-gneiss, metaperidotites and serpentinites. Metapelites are foliated at two directions. Exact petrographic and petrofabric studies on them show that three metamorphic phases including two regional and one contact are affected the rocks. Andalusite, staurolite, kyanite and garnet minerals are crystallized during second regional metamorphic phase. Geochemistry studies of metapelites shows that, Composition of old meta-sedimentary rocks (source of metapelites), are shale and greywacke. Discrimination diagrams indicate an arc related tectonic setting for the source of Mahneshan metapelites. Sources of Mahneshan metapelites are intermediate felsic igneous rocks (rhyolite or andesite) base on Geochemistry of immobile elements.

Key words: Discrimination diagrams, Mahneshan complex, metapelites, shale.

۱- مقدمه

اوج دگرگونی ناحیه‌ای یک دگرگونی مجاورتی (M_3) قسمتی از سنگ‌ها را تحت تاثیر قرار داده است. سنگ‌های دگرگونی کمپلکس ماهنشان مسیر P-T دگرگونی هم‌جهت با حرکت عقربه‌های ساعت را ثبت کرده‌اند. ضخیم‌شدگی پوسته‌ای همراه با حرکات همگرایی پوسته باعث شده که کمپلکس ماهنشان تحت تاثیر دگرگونی فشار متوسط (باروین) قرار گیرد. سپس دگرگونی مجاورتی (M_3) بعد از کاهش فشار (Decompression)، در ارتباط با نفوذ ماگمای گرانیتی (به سن الیگومیوسن) در سنگ میزبان ایجاد شده است. متعاقب ضخیم‌شدگی پوسته‌ای، زون‌های برشی هم‌زمان با همگرایی گسترش پیدا کرده‌اند. این سنگ‌ها از نظر گرادیان ژئوترمال جز مناطق پوسته قاره‌ای (Continental crust) و قوس ماگمایی (Magmatic arc) می‌باشند و احتمالاً مانند ایران مرکزی (Ramezani Tucker 2003, Nadimi 2006) به علت کوه‌زایی نئوپروتروزوئیک- کامبرین پیشین در ارتباط با قوس ماگمایی گسترده‌ای که در طول حاشیه پروتو-تتیس ابر قاره گندوانا قرار داشته، ایجاد شده‌اند (تصویر ۱). در این مقاله با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی سنگ کل متاپلیت‌ها، منشاء اولیه‌ی این سنگ‌ها قبل از دگرگونی و همچنین محیط تکتونیکی رسوب اولیه‌ی آن‌ها مشخص می‌گردد.

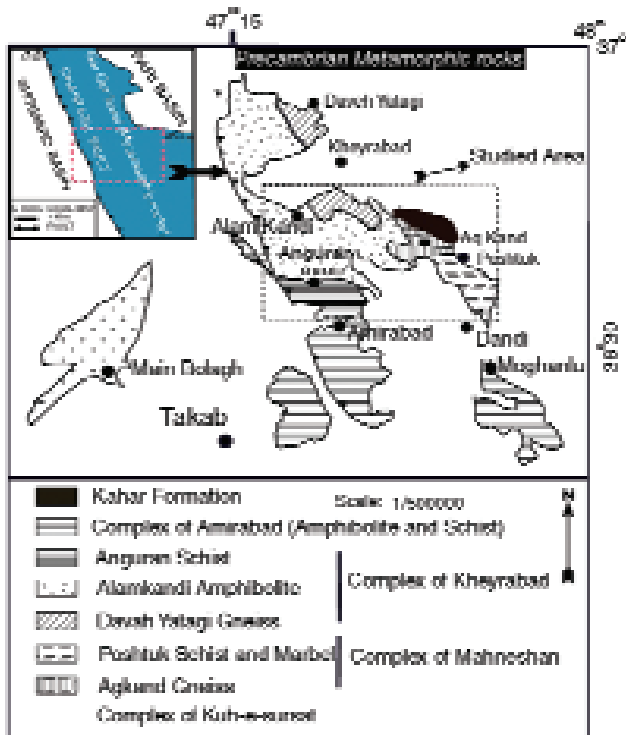
سنگ‌های دگرگونی موجود در کمپلکس ماهنشان شامل متاپلیت‌ها، کالک-سیلیکات‌ها، متابازیت‌ها و سنگ‌های حاصل ذوب (میگماتیت‌ها و گرانیتوئیدها) می‌باشند. متاپلیت‌ها (شیست‌ها) تحت تاثیر دگرشکلی‌های مختلف قرار گرفته و به صورت پلی‌متامورفیک دگرگون شده‌اند. مطالعات میکروسکوپی انجام شده بر روی مقاطع نازک، دو فاز دگرشکلی D_1 و D_2 و سه فاز دگرگونی M_1 تا M_3 را نشان می‌دهند. فازهای دگرگونی M_1 و M_2 با فازهای دگرشکلی D_1 و D_2 هم‌زمان می‌باشند. فاز دگرشکلی D_2 از D_1 قوی‌تر بوده و تقریباً اثرات آن را از بین برده است. فاز دگرگونی M_3 به صورت دگرگونی مجاورتی بعد از فازهای اول و دوم رخ داده است. مجموعه کانی‌های اوج دگرگونی در شیست‌های منطقه‌ی بلند پرچین شامل استارولیت، آندالوزیت، سیلیمانیت، کیانیت، گارنت، بیوتیت، مسکویت و کوارتز (مجموعه بدون کلریتوئید) و در شیست‌های منطقه‌ی پشتوک شامل استارولیت، گارنت، کلریتوئید، کلریت، مسکویت و کوارتز (مجموعه‌ی کلریتوئیددار) می‌باشند. (Saki et al. 2007) مطالعات پتروفابریک نشان می‌دهند که اکثر کانی‌های مربوط به اوج دگرگونی در این شیست‌ها به صورت هم‌زمان با تکتونیک متبلور شده‌اند. ترکیب شیمیایی کانی‌های موجود در شیست‌ها با استفاده از روش‌های متداول ژئوترموبارومتری، دما و فشار فازهای دگرگونی محاسبه گردید. دما و فشار اوج دگرگونی (فاز دگرگونی M_2) به ترتیب حدود ۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و ۵/۵ کیلو بار می‌باشد. با توجه به حرارت و فشار به دست آمده گرادیان زمین‌گرمایی 30°C بر کیلومتر برای اوج دگرگونی به دست آمد که منطبق بر گرادیان زمین‌گرمایی نوع باروین می‌باشد. (Saki et al. 2007) پس از

۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

منطقه‌ی مورد مطالعه (تصویر ۲ و ۳) بین طول‌های جغرافیایی $15^\circ 47'$ تا $45^\circ 47'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $30^\circ 36'$ و $50^\circ 36'$ شمالی و در محل برخورد سه زون ایران مرکزی، سهندج-سیرجان و البرز آذربایجان قرار گرفته است. (Babakhani Ghalamghash 1990) این منطقه (جنوب غرب ماهنشان) از نظر ساختمانی در زون

شده‌اند. مجموعه‌ی بی که سنگ‌های پرکامبرین را تشکیل می‌دهند، بیشتر در بخش‌های مرکزی چهارگوش تکاب (کمپلکس ماهنشان) رخنمون دارند که بخشی از آن موضوع این تحقیق می‌باشد.

۳- روش مطالعه



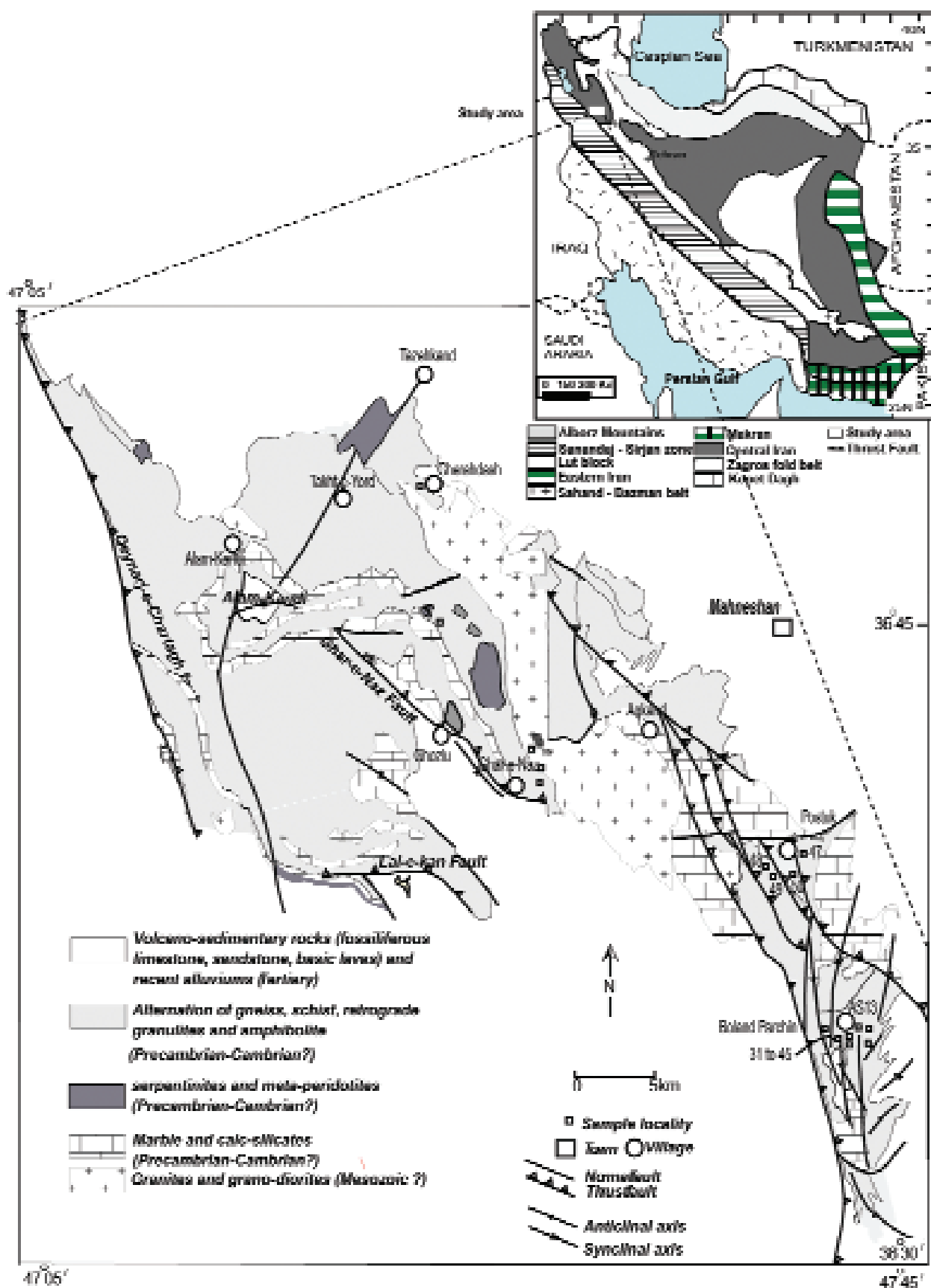
تصویر ۲- موقعیت جغرافیایی، ساختمانی و زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه، دو حوضه‌ی فروافتاده‌ی پری و شیرمرد با رسوبات ترشیری در اطراف سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین، برگرفته از نقشه‌ی ۱/۲۵۰۰۰۰ تکاب-صائین قلعه، سازمان زمین‌شناسی کشور.

پس از مطالعات صحرایی، تعداد ۸۰ مقطع نازک میکروسکوپی به منظور مطالعات پتروگرافی و روابط بافتی مورد بررسی قرار گرفتند. تعداد ۱۴ نمونه از شیست‌های گرافیتی بلند پرچین و غیر گرافیتی پشتوک جهت مطالعات بعدی انتخاب شدند. نمونه‌ها جهت تعیین عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی در آزمایشگاه پتسدام کشور آلمان، به روش‌های پراش اشعه (X-ray fluorescence: XRF) و طیف‌سنجی جرمی گسیل پلاسمای جفتیده القایی (Inductively coupled plasma emission mass spectrometry: ICP-MC) تحت آنالیز شیمیایی سنگ کل قرار گرفتند که نتایج آن در جداول ۱، ۲ و ۳ آورده شدند.



تصویر ۱- بازسازی سرزمین‌های گندوانایی در پرکامبرین پیشین بر اساس تصاویر مولیوباید از پلیت‌های تکتونیکی در ۵۴۰ Ma به وسیله‌ی پروژه‌ی پلتیس (PLATES Project) کراتون‌های پرکامبرین با حروف برجسته نشان داده شده‌اند. (Ramezani & Tucker 2003) ستاره‌ها قوس ولکانیکی مرتبط با فرورانش پوسته‌ی پروتوتیس را نشان می‌دهند.

ایران مرکزی قرار دارد. (Berberian 1997, Berberian & King 1982) سن نسبی کمپلکس دگرگونی ماهنشان به پرکامبرین پیشین-پالئوزوئیک نسبت داده شده است. (Lotfi 2001) جدیدترین سن بر اساس اورانیم-سرب (U/Pb) زیرکن از گنیس‌های منطقه مورد مطالعه سن ۵۶۰ Ma را برای پروتولیت سنگ‌های دگرگونی نشان می‌دهد. (Stockli et al. 2004) جایگیری سنگ‌های پرکامبرین و پالئوزوئیک در زیر رسوب‌ها و سنگ‌های آتشفشانی الیگومیوسن نشان از یک برجستگی کهن (فرا زمین گورگور-کوه بلقیس و قبله داغ) از زمان پرکامبرین-پالئوزوئیک پایین تا الیگوسن می‌باشد. این برجستگی به صورت یک فرازمین با راستای شمال باختری - جنوب خاوری از جنوب تا شمال منطقه کشیده شده است (نقشه ۷۱۰۰۰۰۰ ماهنشان سازمان زمین‌شناسی کشور). مرز باختری آن گسل معکوس قینرجه-چهارتاق با حوضه‌ی فروافتاده‌ی شیرمرد و مرز خاوری آن حوضه‌ی فروافتاده‌ی پری می‌باشد (تصویر ۲). در بیشتر قسمت‌های چهارگوش تکاب، جز جنوب و جنوب غربی آن، سازندهای مختلف زمین‌شناسی متعلق به پرکامبرین تا عهد حاضر گسترش داشته و از سنگ‌های دگرگونی، رسوبی و آذرین بیرونی و درونی تشکیل



تصویر ۳- موقعیت جغرافیایی، ساختمانی و زمین‌شناسی و نمونه‌برداری منطقه‌ی مورد مطالعه، برگرفته از نقشه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰ ماهنشان سازمان زمین‌شناسی کشور.

جدول ۱- عناصر اصلی سنگ کل متاپلیت‌ها

مجموع	CO2	H2O	P2O5	K2O	Na2O	CaO	MgO	MnO	Fe2O3	Al2O3	TiO2	SiO2	نماینز شده‌ی هونه‌های آن
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	MNS49
۹۹/۷	۰/۲۶	۳/۹۰	۰/۱۴	۳/۰۲	۱/۰۹	۱/۹۲	۱/۹۰	۰/۱	۱۰/۶۵	۲۰/۵	۱/۵۷	۵۴/۶	MNS49G
۹۹/۸	۰/۱۰	۲/۴۸	۰/۰۶	۰/۷۶	۰/۴۰	۰/۴۸	۰/۵۹	۰/۱۵	۱۱/۸۸	۱۷/۵	۱/۴۵	۶۳/۹	MNS47D
۹۹/۶	۳/۲۳	۰/۱۹	۰/۱۲	۳/۸۶	۰/۵۸	۱/۰۴	۱/۰۸	۰/۰۴	۸/۷۵	۲۳/۰	۱/۱۸	۵۶/۵	MNS44C
۹۹/۶	۱/۵۶	۲/۹۲	۰/۱۷	۳/۲۲	۱/۵۰	۱/۲۹	۲/۲۰	۰/۰۹	۶/۴۶	۱۶/۴	۰/۷۰	۶۳/۱	MNS57
۹۹/۵	۰/۵۶	۲/۸۵	۰/۱۴	۵/۹۹	۱/۱۹	۰/۴۷	۲/۸۳	۰/۰۷	۷/۴۵	۱۸/۹	۰/۹۹	۵۸/۱	MN43C
۶/۹۹	۱/۷۲	۲/۷۴	۰/۱۱	۳/۸۵	۰/۹۴	۰/۵۰	۲/۰۴	۰/۱۲	۶/۹۵	۱۹/۶	۰/۹۶	۶۰/۱	MN29A
۹۹/۲	۰/۱۳	۱/۸۷	۰/۰۶	۱/۳۳	۱/۵۷	۷/۸۷	۳/۹۲	۰/۴۰	۴/۹۳	۲۴/۹	۱/۶۶	۴۰/۵	MNS31D
۶/۹۹	۲/۰۵	۳/۱۷	۰/۱۳	۳/۳۲	۱/۵۹	۰/۸۶	۱/۶۳	۰/۱۱	۴/۶۰	۱۷/۴	۰/۸۵	۶۲/۷	MNS43B1
۹۹/۶	۱/۷۵	۲/۸۵	۰/۱۵	۲/۴۹	۱/۴۸	۰/۷۱	۲/۰۰	۰/۱۴	۶/۶۵	۱۷/۰	۰/۷۸	۶۳/۶	MNS43B2
۹۹/۷	۰/۹۹	۲/۲۳	۰/۱۸	۳/۵۱	۱/۵۶	۱/۲۹	۲/۲۶	۰/۲۸	۸/۲۲	۱۸/۳	۰/۸۷	۶۰/۰	MNS24A
۹۹/۷	۰/۱۴	۰/۹۵	۰/۲۶	۲/۰۶	۳/۹۸	۳/۷۵	۲/۱۵	۰/۰۷	۶/۸۲	۱۶/۶	۰/۷۷	۶۲/۱	MNS24B
۹۹/۷	۰/۱۷	۱/۱۰	۰/۲۲	۲/۱۵	۱/۸۵	۳/۸	۲/۰۶	۰/۱۱	۶/۰۹	۱۵/۸	۰/۷۰	۶۳/۷	13F
۹۹/۸	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۳	۲/۴۷	۱/۵۵	۰/۶۱	۱/۸۴	۰/۱۳	۶/۴۱	۱۶/۹	۰/۸۱	۶۵/۸	AS9E
۹۸/۱	۰/۲۰	۰/۶۰	۰/۱۲	۵/۰۵	۱/۵۴	۰/۶۵	۲/۳۵	۰/۰۸	۶/۳۵	۱۶/۵۵	۰/۷۷	۶۱/۳	

جدول ۲- عناصر فرعی سنگ کل متاپلیت‌ها

مجموع	CO2	H2O	P2O5	K2O	Na2O	CaO	MgO	MnO	Fe2O3	Al2O3	TiO2	SiO2	نماینز شده‌ی هونه‌های آن
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	MNS49
۹۹/۷	۰/۲۶	۳/۹۰	۰/۱۴	۳/۰۲	۱/۰۹	۱/۹۲	۱/۹۰	۰/۱	۱۰/۶۵	۲۰/۵	۱/۵۷	۵۴/۶	MNS49G
۹۹/۸	۰/۱۰	۲/۴۸	۰/۰۶	۰/۷۶	۰/۴۰	۰/۴۸	۰/۵۹	۰/۱۵	۱۱/۸۸	۱۷/۵	۱/۴۵	۶۳/۹	MNS47D
۹۹/۶	۳/۲۳	۰/۱۹	۰/۱۲	۳/۸۶	۰/۵۸	۱/۰۴	۱/۰۸	۰/۰۴	۸/۷۵	۲۳/۰	۱/۱۸	۵۶/۵	MNS44C
۹۹/۶	۱/۵۶	۲/۹۲	۰/۱۷	۳/۲۲	۱/۵۰	۱/۲۹	۲/۲۰	۰/۰۹	۶/۴۶	۱۶/۴	۰/۷۰	۶۳/۱	MNS57
۹۹/۵	۰/۵۶	۲/۸۵	۰/۱۴	۵/۹۹	۱/۱۹	۰/۴۷	۲/۸۳	۰/۰۷	۷/۴۵	۱۸/۹	۰/۹۹	۵۸/۱	MN43C
۶/۹۹	۱/۷۲	۲/۷۴	۰/۱۱	۳/۸۵	۰/۹۴	۰/۵۰	۲/۰۴	۰/۱۲	۶/۹۵	۱۹/۶	۰/۹۶	۶۰/۱	MN29A
۹۹/۲	۰/۱۳	۱/۸۷	۰/۰۶	۱/۳۳	۱/۵۷	۷/۸۷	۳/۹۲	۰/۴۰	۴/۹۳	۲۴/۹	۱/۶۶	۴۰/۵	MNS31D
۶/۹۹	۲/۰۵	۳/۱۷	۰/۱۳	۳/۳۲	۱/۵۹	۰/۸۶	۱/۶۳	۰/۱۱	۴/۶۰	۱۷/۴	۰/۸۵	۶۲/۷	MNS43B1
۹۹/۶	۱/۷۵	۲/۸۵	۰/۱۵	۲/۴۹	۱/۴۸	۰/۷۱	۲/۰۰	۰/۱۴	۶/۶۵	۱۷/۰	۰/۷۸	۶۳/۶	MNS43B2
۹۹/۷	۰/۹۹	۲/۲۳	۰/۱۸	۳/۵۱	۱/۵۶	۱/۲۹	۲/۲۶	۰/۲۸	۸/۲۲	۱۸/۳	۰/۸۷	۶۰/۰	MNS24A
۹۹/۷	۰/۱۴	۰/۹۵	۰/۲۶	۲/۰۶	۳/۹۸	۳/۷۵	۲/۱۵	۰/۰۷	۶/۸۲	۱۶/۶	۰/۷۷	۶۲/۱	MNS24B
۹۹/۷	۰/۱۷	۱/۱۰	۰/۲۲	۲/۱۵	۱/۸۵	۳/۸	۲/۰۶	۰/۱۱	۶/۰۹	۱۵/۸	۰/۷۰	۶۳/۷	13F
۹۹/۸	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۳	۲/۴۷	۱/۵۵	۰/۶۱	۱/۸۴	۰/۱۳	۶/۴۱	۱۶/۹	۰/۸۱	۶۵/۸	AS9E
۹۸/۱	۰/۲۰	۰/۶۰	۰/۱۲	۵/۰۵	۱/۵۴	۰/۶۵	۲/۳۵	۰/۰۸	۶/۳۵	۱۶/۵۵	۰/۷۷	۶۱/۳	

جدول ۳- عناصر نادر خاکی در سنگ کل دو نمونه از متاپلیت‌ها

Yb	Tm	Er	Ho	Dy	Tb	Gd	Eu	Sm	Nd	Pr	Ca	LA	نماینز شده‌ی هونه‌های آن
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	
۰/۴۳	۳/۰۴	۰/۴۵	۳/۸	۱/۰۱	۴/۹۸	۵/۷۴	۱/۱۷	۶/۰۰	۳۳/۵	۸/۶۱	۷۴/۴	۳۶	13F
۰/۴۸	۳/۳۰	۰/۴۸	۳/۳۷	۱/۱۳	۵/۸۳	۱/۰۰	۱/۳۷	۷/۳۹	۳۷/۲	۹/۷۱	۷۹/۴	۴۰	AS9E

۴-بمٹ

Ctd + St + Grt + Ms + Bt + Qtz کلریتونید+ استارولیت +

گارنت + مسکویت + بیوتیت + کوارتز

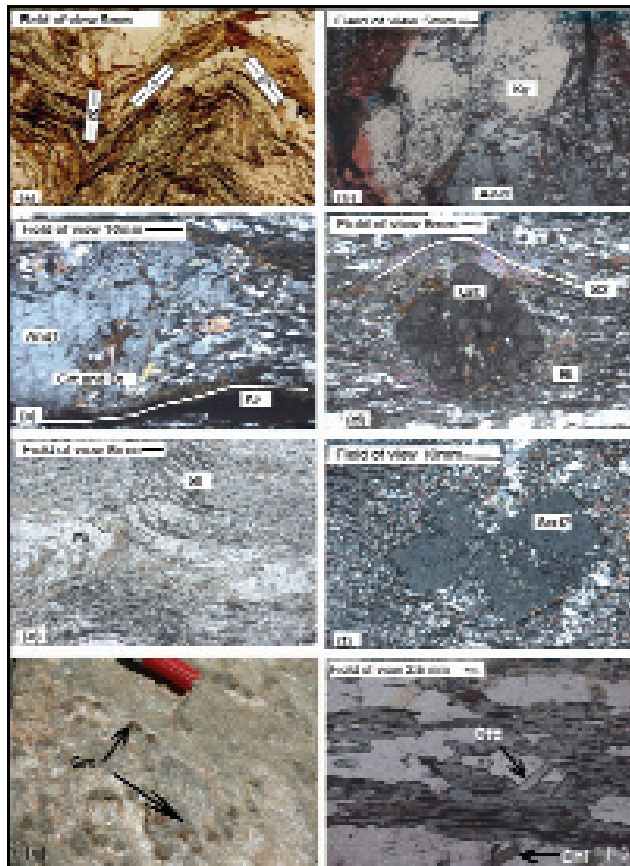
۴-۱- مطالعات پتروگرافی

سنگ‌های رسی و نیمه‌رسی دگرگون شده، در تمام منطقه به صورت میان لایه با گنیس‌ها و دیگر سنگ‌ها دیده می‌شوند، ولی در چند منطقه با حجم‌های وسیع رخنمون دارند، از جمله در روستاهای بلند پرچین، پشتوک، آمالو (کمپلکس ماهنشان) و انگوران (کمپلکس امیرآباد) که شیست‌های هر منطقه کانی‌شناسی و ترکیب مودال خاص خود را دارند. شیست‌های گرافیتی بلند پرچین در شمال روستای بلند پرچین در کنار جاده برونزد دارند و به رنگ تیره دیده می‌شوند و پرفیروبلاست‌هایی از آندالوزیت و استارولیت در سطح آن‌ها دیده می‌شوند. این سنگ‌ها نیز در نمونه‌ی دستی شیستوزیته‌ی کاملاً مشخصی دارند. (تصویر ۴a, b, c, d, e, f)

مجموعه کانیایی مشاهده شده در این سنگ‌ها عبارتند از:

St+And+Ky+Grt+Bt+Ms+Qtz

استارولیت + آندالوزیت + کیانیت + گارنت + بیوتیت + مسکویت + کوارتز



تصویر ۴-ا- شیستوزیته S₁ و شکل‌گیری شیستوزیته S₂ در میکاشیست‌های آمالو- b. PPL بلور کیانیت در کنار بلور آندالوزیت- c. XPL بلورهای هم‌زمان با تکتونیک آندالوزیت که در طی فاز دگرگونی M₂ به وجود آمده‌اند و شیستوزیته S₂ آن را دور می‌زند. d. - XPL گارنت هم‌زمان با تکتونیک، هم‌زمان با فاز M₂ به وجود آمده‌اند و XPL کانی شکل دار استارولیت هم‌زمان با تکتونیک شکل گرفته است. f. PPL بلورهای بعد از تکتونیک آندالوزیت که هم‌زمان با فاز دگرگونی M₃ شکل گرفته‌اند. g. XPL شیست‌های گارنت- کلریتونیددار منطقه پشتوک در صحرا. بلورهای آبی رنگ کلریتونید و کلریت در شیست‌های بدون گرافیت پشتوک. h. XPL

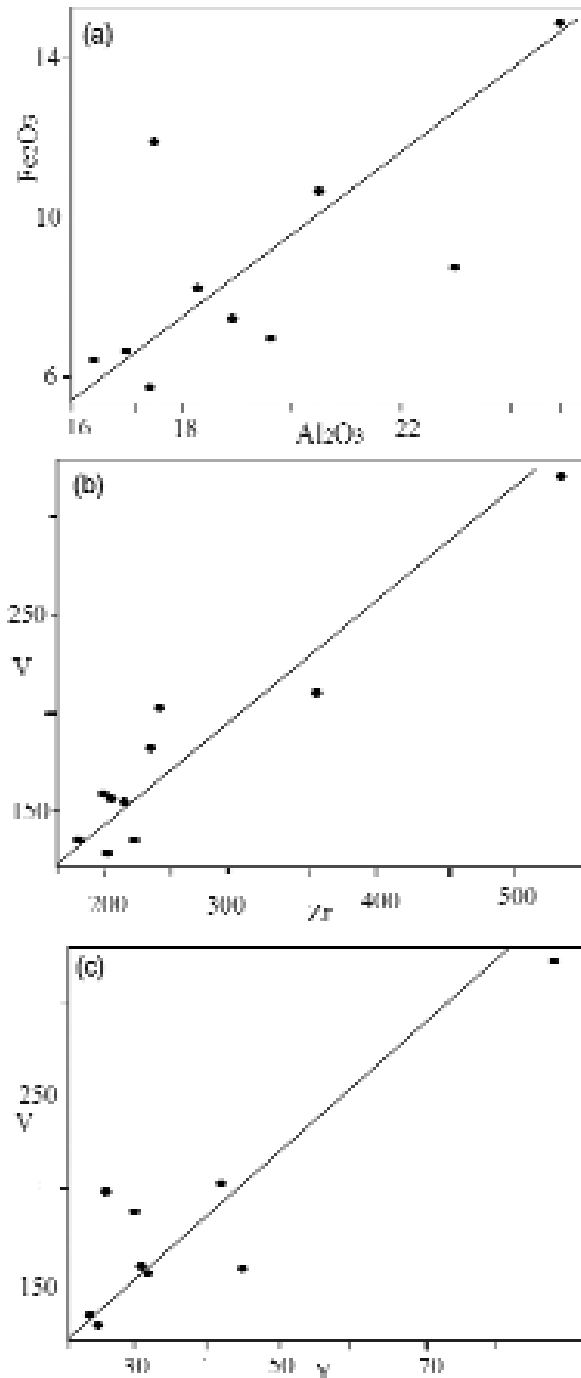
۴-۲- مطالعات ژئوشیمی

۴-۲-۱- ترکیب سنگ رسوبی اولیه

به منظور مشخص نمودن سنگ رسوبی قدیمی دگرگون شده، استفاده از عناصر اصلی موجود در سنگ موثر می‌باشد، به طوری که از نمودارهای پتی جان و همکاران (Pettijohn et al. 1972) که مرز انواع سنگ‌ها در آن‌ها توسط هرون (Herron 1988) تغییر یافته، استفاده شد.

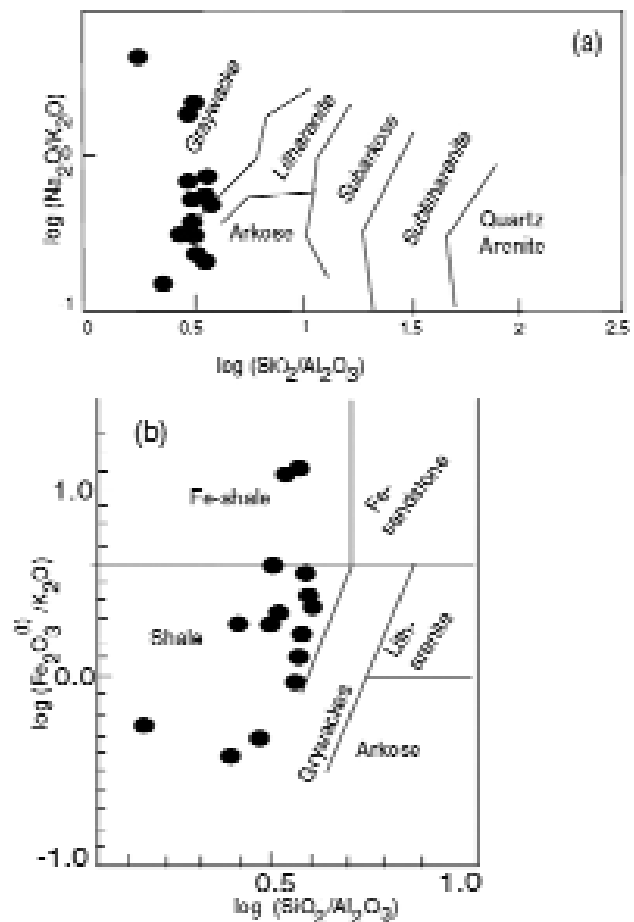
این سنگ‌ها در نمونه‌ی دستی حاوی کانی آندالوزیت به طول ۲ سانتی متر می‌باشند و به دلیل وجود گرافیت به رنگ تیره دیده می‌شوند. شیست‌های کلریتونیددار پشتوک در مجاورت آمفیبولیت‌ها و گرانیت‌ها در غرب و جنوب روستای پشتوک رخنمون دارند. این شیست‌ها از نظر رنگ و بافت و کانی‌شناسی با شیست‌های گرافیتی بلند پرچین اختلاف دارند. گارنت در این شیست‌ها درشت دانه (تصویر ۴g, h) بوده و بافت هلیسیتی از خصوصیات آن می‌باشد. این سنگ‌ها در نمونه‌ی دستی به رنگ زرد تا قهوه‌ای و خاکستری دیده می‌شوند. اندازه‌ی گارنت در این سنگ‌ها در نمونه‌ی دستی تا ۷۵ سانتی متر نیز می‌رسد. شیستوزیته در این سنگ‌ها به خوبی قابل مشاهده است. در مقاطع نازک گارنت‌ها به صورت هلیسیتی (حلزونی) و شکل دار دیده می‌شوند. استارولیت در نور طبیعی به رنگ زرد و تقریباً شکل دار دیده می‌شود و بیش از ۴۰ درصد سنگ از این کانی تشکیل گردیده است. مسکویت نیز به صورت نیمه شکل دار تا شکل دار قابل ملاحظه می‌باشد. در مقاطع نازک (نمونه‌ی شماره ۴۹g) بلورهای منشوری ریزدانه با رنگ آبی (نور طبیعی) با جهت‌گیری موازی با شیستوزیته‌ی غالب سنگ دیده می‌شوند که کلریتونید می‌باشند. (تصویر ۴h)

عناصر مقاوم و پایدار در دیاگرام‌های دوتایی وانادیم-ایتیریم، وانادیم-زیرکونیم، اکسید آلومینیم-اکسید آهن سه ($Fe_2O_3-Al_2O_3-V$) در مقابل هم قرار دادند. تطابق نسبتاً خوبی بین این عناصر با همدیگر دیده می‌شود، که این موضوع دلالت بر منشاء یکسان این رسوبات دارد.



تصویر ۶- عناصر مقاوم و پایدار در دیاگرام‌های دوتایی وانادیم-ایتیریم، وانادیم-زیرکونیم، اکسید آلومینیم-اکسید آهن سه ($Fe_2O_3-Al_2O_3$, $V-Zr$, $V-Y$) در مقابل هم قرار داده شد، به طوری که ملاحظه می‌شود تطابق نسبتاً خوبی بین این عناصر با همدیگر دیده می‌شود.

در این نمودارهای متمایزکننده که بر مبنای تغییرات لگاریتمی اکسید پتاسیم - اکسید سدیم (K_2O/Na_2O) و اکسید آهن سه - اکسید پتاسیم (Fe_2O_3/K_2O) در برابر اکسید آلومینیم-اکسید آهن سه (SiO_2/Al_2O_3) طراحی شده‌اند، انواع گریوک و شیل برای سنگ رسوبی دگرگونی، مشخص شده‌اند. (تصویر ۵ a, b) نمودار اکسید پتاسیم به اکسید آهن سه (Fe_2O_3/K_2O) در برابر سیلیس کاربرد بیشتری دارد. (Moyen & Watt 2006, Osaie et al 2006) با استفاده از عناصر مقاوم در برابر دگرسانی و هوازگی از قبیل هافنیوم، زیرکونیم، آهن، آلومینیم، تیتان، توریم، نئوبیم، اسکاندیم و عناصر نادر خاکی ($Hf, Zr, Fe, Al, Ti, Th, Nb, Sc, REE$) می‌توان به هم منشاء بودن و یا نبودن رسوبات پی برد. به همین منظور

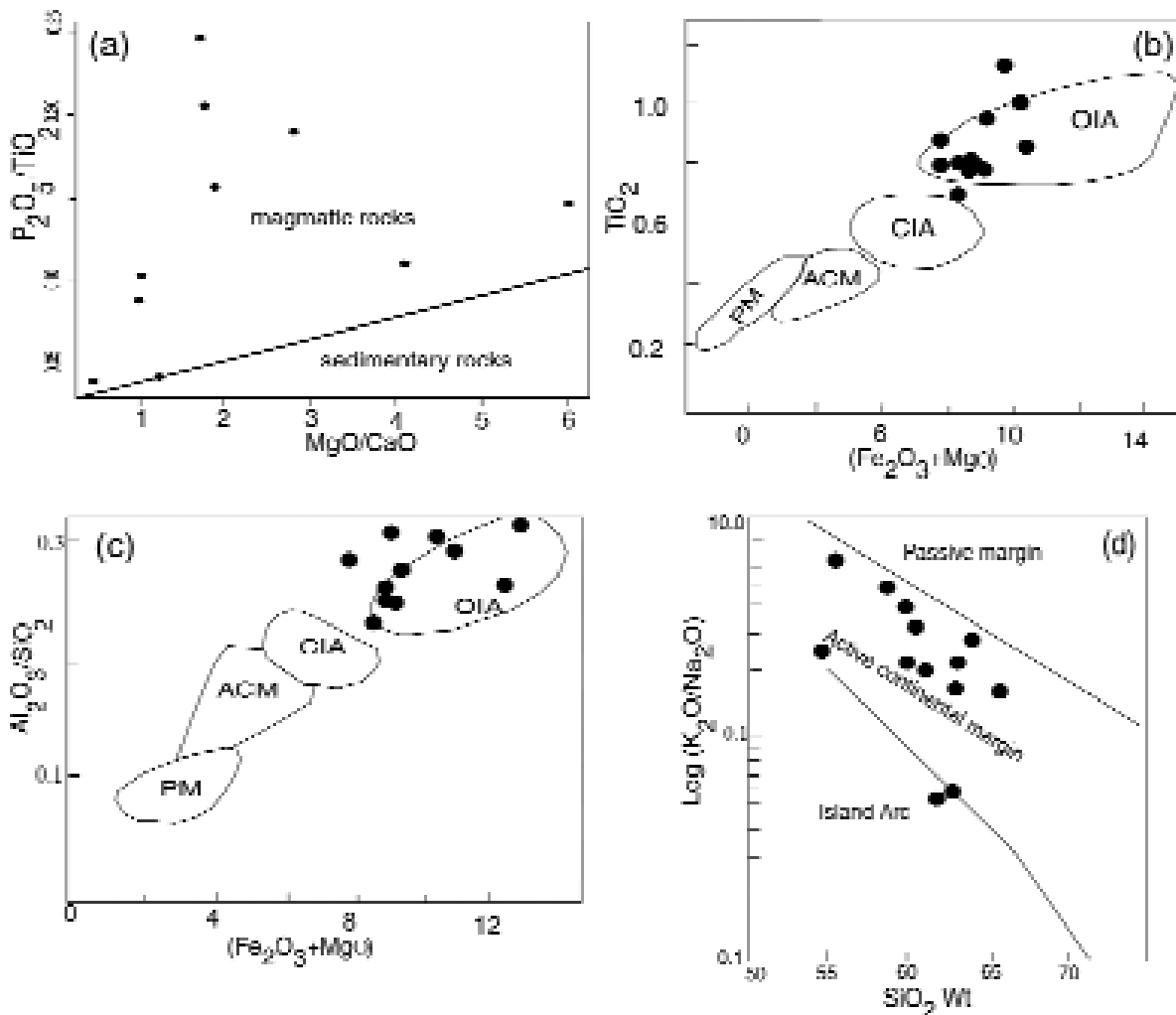


تصویر ۵- طبقه‌بندی پتی جان و همکاران (Pettijohn et al. 1972)، مرزها توسط هرون (Herron 1988) اصلاح شده است. طبق این نمودار اکثر متاپلیت‌های ماهنشان از نوع گریوک می‌باشند. b- طبقه‌بندی هرون (Herron 1988) که بر اساس آن متاپلیت‌ها از نوع شیل می‌باشند.

۴-۲-۲- تعیین منشأ و محیط تکتونیکی تشکیل رسوب

به دلیل متحرک بودن بعضی عناصر مانند کلسیم، سدیم، فسفر، پتاسیم، استرانسیم، باریم، روییدیم، منیزیم، سیلیسیم (Ca, Na, P, K, Sr, Ba, Rb, Mg, Si) که با درجه‌ی متوسط هوازدگی سیستم را ترک می‌کنند (Middelburg et al. 1988) باید در به کار بردن نمودارهای تعیین منشأ رسوبات احتیاط کرد. در مقابل، بعضی عناصر مانند هافنیوم، زیرکیم، آهن، آلومینیم، تیتان، توریم، ثوریوم، اسکاندیم و عناصر نادر خاکی در مقابل هوازدگی مقاوم‌تر هستند. بر اساس نمودارهای موجود نمونه‌های تجزیه شده از منطقه‌ی ماهنشان در محدوده‌ی جزایر قوسی و حاشیه‌ی فعال قاره‌ای قرار می‌گیرند. (تصویر d, c, Vb) این دسته از نمودارها به طور وسیعی برای تعیین محیط تکتونیکی تشکیل رسوب به کار رفته‌اند. (Petersen et al 2004)

ابتدا به منظور تعیین منشأ رسوب اولیه‌ی سنگ‌های رسی دگرگون شده از دیاگرام دوتایی اکسید منیزیم-اکسید کلسیم (MgO-CaO) در مقابل پنتاکسید فسفر - اکسید تیتانیم (P₂O₅-TiO₂) ورنر (Werner 1987) استفاده شد. در این نمودار سنگ‌های ماگمایی اسیدی از سنگ‌های رسوبی دگرگون شده متمایز شدند، به عبارتی ارتو و یا پارا بودن منشأ آن‌ها مشخص شد. بر اساس تصویر a، سنگ‌های مورد مطالعه منشأ ارتو یا آذرین دارند. با استفاده از عناصر مقاوم در برابر دگرسانی از قبیل آلومینیم و تیتانیم و دیاگرام‌های باتیا (Bhatia 1983) و روزر و کورش (Roser & Korsch 1998) می‌توان به محیط تکتونیکی تشکیل سنگ رسوبی پی برد. اگر چه

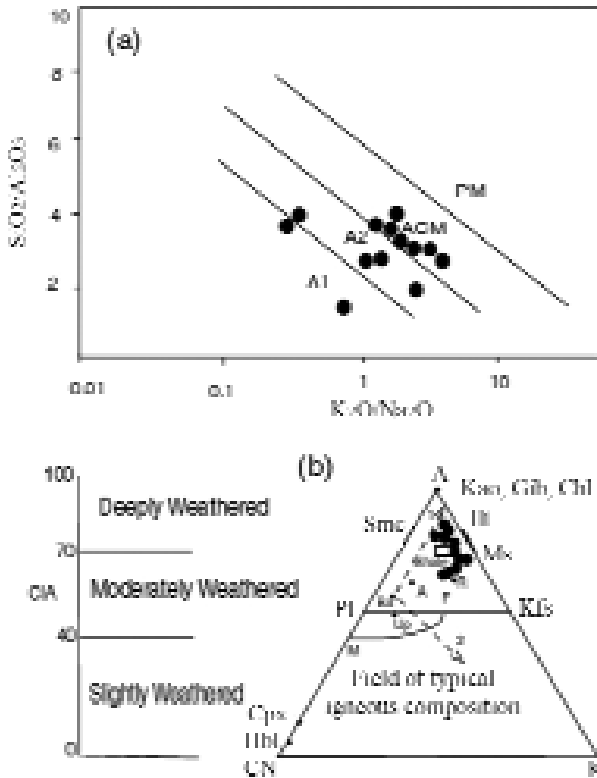


تصویر a-v- نمودار دوتایی MgO/CaO در مقابل P₂O₅/TiO₂ در این نمودار سنگ‌های ماگمایی اسیدی از سنگ‌های رسوبی دگرگون شده متمایز شده‌اند، به عبارتی ارتو و یا پارا بودن منشأ آن‌ها مشخص شد، b و c- نمودارهای باتیا (Bhatia 1983) که طبق آن نمونه‌های متاپلیتی ماهنشان در محدوده‌ی جزایر قوس اقیانوسی (Oceanic Island Arc: OIA) قرار گرفته‌اند. d- بر اساس نمودار روزر و کورش (Roser & Korsch 1986) نمونه‌ها در محدوده‌ی حاشیه‌ی فعال قاره‌ای و مرتبط با قوس آتشفشانی قرار گرفته‌اند. PM: Passive Margin, CIA: Continental Volcanic Arc, ACM: Active Continental Margin,

رسوبات آرکوزی مشخصه‌ی محیط‌های ریفت قاره‌ای می‌باشند. در صورتی که شیل و گریوک در محیط‌های اولاکوژنی، حوضه‌های با فرونشست سریع و حاشیه‌ی فعال قاره‌ها تشکیل می‌شوند. به احتمال زیاد، آنچه در کمپلکس ماهنشان رسوب کرده، مربوط به حاشیه‌ی فعال قاره‌ای می‌باشد.

با استفاده از اکسیدهای عناصر اصلی نمودار سیلیس به اکسید آلومینیم (SiO_2/Al_2O_3) در مقابل اکسید پتاسیم به اکسید سدیم (K_2O/Na_2O) تعریف شده توسط روزر و کورش (Roser & Korsch 1986) و مینارد و همکاران (Maynard et al 1982) سنگ آذرین منشاء رسوبات از نوع حد واسط با درصد سیلیس متوسط ارزیابی می‌شود. (تصویر ۸a) با استفاده از طبقه‌بندی نسبت و یانگ (Nesbitt & Young 1984) و ورگارا و همکاران (Vergara et al. 1995) سنگ مادر رسوبات دیوریت تا گرانودیوریت تخمین زده می‌شود.

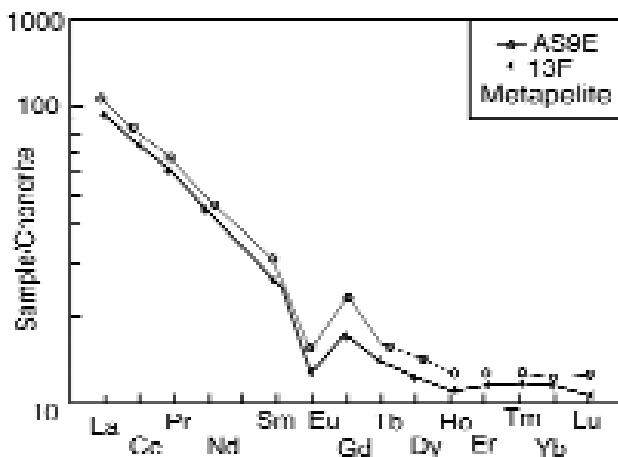
برای تعیین درصد هوازدگی سنگ آذرین منشاء رسوبات، از دیگرام‌های مثلثی ای سی ان ک (ACNK) بر پایه‌ی اکسیدهای عناصر آلومینیم، پتاسیم، سدیم و کلسیم استفاده می‌شود. بر این اساس متاپلیت‌های کمپلکس ماهنشان از دگرسانی در حد متوسط به بالا سنگ منشاء آذرین با ترکیب آندزیتی تا ریولیتی حاصل شده‌اند. شاخص شیمیایی دگرسانی (CIA) (Nedachi et al. 2005; Nesbitt Young 1982) برای این نمونه‌ها حدود ۷۰ تا ۷۵ درصد است. (تصویر ۸b)



تصویر ۸-۸a نمودار روزر و کورش (Roser & Korsch 1986) بیانگر محیط مرتبط با قوس و سنگ مادر حد واسط برای متاپلیت‌ها می‌باشد، b- مثلث (Nesbitt & Young 1984, Vergara et al. 1995) برای تعیین منشاء آذرین و نیز درصد هوازدگی منشاء بین ریولیت و آندزیت و هوازدگی حدود ۷۰ تا ۷۵ درصد برای متاپلیت‌ها ارزیابی می‌شود.

۴-۲-۳- بررسی الگوی عناصر نادر خاکی

عناصر نادر خاکی در دو نمونه از این سنگ‌ها نسبت به کندریت نرمالیزه شده‌اند (تصویر ۹). الگوی تفریق یافته‌ی عناصر نادر خاکی سنگین (HREE: High Rare Earth Elements) نسبت به عناصر نادر خاکی سبک (LREE: Light Rare Earth Elements) برای این دو نمونه احتمالاً بیانگر نقش منشاء این سنگ‌هاست. الگوی عناصر نادر خاکی در متاپلیت‌ها معمولاً مشابه عناصر نادر خاکی سنگ‌های آذرین حاشیه‌ی فعال قاره‌ای است (ساکی ۱۳۸۶). الگوی تفریق یافته‌ی عناصر نادر خاکی سنگین نسبت به عناصر نادر خاکی سبک در سنگ‌های آذرین به دلیل وجود گارنت در منشاء، نرخ ذوب پایین و یا بالا بودن نسبت دی‌اکسیدکربن به



تصویر ۹- نمودار عناصر نادر خاکی در دو نمونه از متاپلیت‌های ماهنشان که غنی‌شدگی از عناصر سبک نسبت به عناصر سنگین را نشان می‌دهند.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به ترکیب سنگ کلّ متاپلیت‌ها، مشخص گردید که پروتولیت این سنگ‌ها، منشاء آذرین (ارتو) داشته و رسوب اوکیه از تخریب سنگ‌های آذرین حدّ واسط به وجود آمده است. ترکیب سنگ رسوبی اوکیه‌ی متاپلیت‌ها قبل از دگرگونی شیل و یا گریوک می‌باشد. محیط تکتونیکی تشکیل رسوب اوکیه بر اساس نمودارهای متمایزکننده، مرتبط با قوس‌های آتشفشانی است. منطقه‌ی مورد مطالعه بخشی از کمپلکس تکاب در شمال غرب ایران بوده و دارای شباهت‌های تکتونیکی، سنگ‌شناسی، چینه‌شناسی و ژئوکرونولوژی (سن نسبی و مطلق) با زون ایران مرکزی می‌باشد. بنابراین منشاء متاپلیت‌های ماهنشان در ارتباط با قوس ماگمایی گسترده‌ای می‌باشد که در طول حاشیه‌ی پروتو-تتیس (Proto-Tethys) ابر قاره‌ی گندوانا ایجاد شده است. به طوری که فرسایش باعث شکل‌گیری رسوبات ازسنگ‌های آذرین حدّ واسط قوس گردیده است. این رسوبات در طی فاز کوهزایی کاتانگاهی متحمل دگرگونی سری بارروین شده و متاپلیت‌ها را ایجاد کرده‌اند. فاز کوهزایی کاتانگاهی باعث بسته شدن حوضه‌های اقیانوسی و ریفت‌های شکل‌گرفته‌ی مرتبط با کشش پروتو-تتیس در داخل پوسته ایران شده است.

مراجع

- لطفی، م.، ۱۳۸۲، نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ ماهنشان، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- ساکی، ع.، ۱۳۸۶، مطالعه دگرگونی ناحیه‌ای سنگ‌های رسی، گنیس‌ها و گرانیت‌های نوع S در منطقه تکاب، شمال غرب ایران، رساله دکتری زمین‌شناسی، گرایش پترولوژی، دانشگاه تبریز.
- Alavi, M., Hajian, J., Amidi, M., Bolourchi, H., 1982, "Geology of Takab-Saein-Qaleh, 1/250000", *Geological Survey of Iran, Tehran*.
- Babakhani, A. R. & Ghalamghash, J., 1990, "Geological map of Iran, 1:100,000 series sheet Takht-e-Soleiman", *Geological Survey of Iran, Tehran*.
- Berberian, M. & King, G. C. P., 1982, "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran", *Can. J. Earth Sci., Vol. 18: 210-265*.
- Berberian, M., 1997, "Seismic sources of the Transcaucasian historical earthquakes, in Historical and prehistorically earthquakes in the Caucasus", edited by D. Giardini & S. Balassanian, *Kluwer*.
- Acad., Norwell, Mass, 233-311.
- Bhatia, M. R., 1983, "Plate tectonics and geochemical composition of sandstones", *J. Geol. Vol. 92: 181-193*.
- Herron, M. M., 1988, "Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data", *J. Sed. Petrology, Vol. 58: 820-829*.
- Lofli, M., 2001, "Geological map of Iran, 1:100,000 series sheet Takht-e-Soleiman", *Geological Survey of Iran, Tehran*.
- Maynard, J. B., Valloni, R. & Yu, H., 1982, "Composition of modern deep sea sands from arc-related basins", *Geol. Soc. London, Spec. Pub. Vol. 10: 551-561*.
- Middelburg, J. J., Van Der Weijden, CH. & Woittiez, J. R. W., 1988, "Chemical processes affecting the mobility of major, minor and trace elements during weathering of granitic rocks", *Chem. Geol., Vol. 68: 253-273*.
- Moyen, J. F. & Watt, G. R., 2006, "Pre-Nagssugtoqidian crustal evolution in west Greenland: geology, geochemistry and deformation of supracrustal and granitic rocks north-east of Kangaatsiaq", *Geol. Surv. Denmark, Greenland, Bull., 11: 33-52*.
- Nadimi, A., 2006, "Evolution of the central Iranian basement", *Gondwana Research xx (2006)xxx-xxx. Article in Press*.
- Nedachi, Y., Nedachi, M., Bennett, G. & Ohmoto, H., 2005, "Geochemistry and mineralogy of the 2.45 Ga Pronto paleosols, Ontario, Canada", *Chem. Geol., Vol. 214 (1/2): 21-44*.
- Nesbitt, H. W. & Young, G. M., 1984, "Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations", *Geoch. Cosmo. Acta, Vol. 48: 1523-1534*.
- Nesbitt, H. W. & Young, G. M., 1982, "Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of Lutites", *Nature, Vol. 299: 715-717*.
- Osaе, S., Asiedu, D. K., Banoeng-Yakubo, B., Koerberl, C. & Dampare, S. B., 2006, "Provenance and tectonic setting of Late Proterozoic Buem sandstone of southeastern Ghana: Evidence from geochemistry and detrital modes", *J. Afri. Earth Sci., Vol. 44: 85-96*.
- Petersen, N., Smith, P. L., Mortensen, J. K., Creaser, R. A. & Tipper, H. W., 2004, "Provenance of Jurassic sedimentary rocks of south-central Quesnellia, British Colombia: implications for paleogeography", *Can. J. Earth Sci. Vol. 41: 103-125*.

Pettijohn, F. S., Potter, P. E. & Siever, r., 1972, "Sand and Sandstones", *Springer-Verlag, New York, 290p.*

Ramezani, J. & Tucker, R. D., 2003, "The Saghand region, central Iran: U-Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics", *Am. J. Sci., Vol. 303: 622-665.*

Roser, B. P. & Korsch, R. J., 1986, "Discrimination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio", *J. Geol., Vol. 94: 635-650.*

Roser, B. P. & Korsch, R. J., 1998, "Provenances signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminate function analysis of major-element data", *Chem. Geol., Vol. 67: 119-139.*

Saki, A., Moazzen, M., Modjtahedi, M. & Oberh?nsli, R., 2007, "Phase relations and reaction histories of chloritoid-free and chloritoid-bearing metapelites from the Mahneshan area, NW Iran", *Iranian J. Geosci., Article in Press.*

Saki, A., Moazzen, M., Modjtahedi, M. & Oberh?nsli, R., 2007, Determination of P-T conditions of metamorphism of Mahneshan Complex, NW Iran", *Iranian J. Crystallography and Min., Article in Press.*

Stockli, D. F., Hassanzadeh, J., Stockli, L. D., Axen, G., Walker, J. D. & Dewane, T. J., 2004, "Structural and geochronological evidence for Oligo-Miocene intra-arc low-angle detachment faulting in the Takab-Zanjan area, NW Iran", *Abstract, Programs, Geol. Soc. Am., Vol. 36: 319.*

Vergara, M., Levi, B., Nystrom, J.O. & Cancino, A., 1995, "Jurassic and Early Cretaceous island arc volcanism, extension, and subsidence in the Coat Range of central Chile", *Geol. Soc. Am. Bull., Vol. 107: 1427-1440.*

Werner, C. D., 1987, "Saxonian granulites-igneous or lithogenous. A contribution to the geochemical diagnosis of the original rocks in high-metamorphic complexes", *ZfJ-Mitteilungen, Vol. 133: 221-250.*