تفسیر سنگ منشأ ماسه‌های پرمین در استرالیای جنوبی با استفاده از کانی‌های اوپاک

نوشته: دکتر اسدا...گرانمایه *، دکتر رضا موسوی حرمی **

و دکتر ویکتور گاستین **

چکیده

رسوبات پرمین در استرالیای جنوبی به طور عمده از ماسه، گل، تیل و سنگ‌های سرگردان (erratics) تشکیل شده است که در محیط های یخچالی برجای گذاشته شده‌اند. اجزاً تشکیل دهنده این رسوبات کانی‌های سبک و سنگین و خرده‌سنگ‌های مختلف می‌باشد. برای آنالیز کانی‌های اوپاک (کدر) در این رسوبات، ابتدا این کانی‌ها به طریقه مغناطیسی و سپس با استفاده از دستگاه Frantz Electric Separator از سایر کانی‌ها جدا گردید. سپس کانی‌های جداشده توسط دستگاه الکترون ماکروپروب مورد تجزیه قرار گرفت.

به طور کلی دانه‌های ایلمنیت آواری دارای ترکیب شیمیایی خاصی می‌باشند، و از آنجایی که ایلمنیت در انواع مختلف سنگ‌های آذرین و دگرگونی یافت می‌شود، بنابراین می‌تواند به عنوان کانی شاخصی در تفسیر سنگ منشأ مورد استفاده قرار گیرد. تغییرات موجود در ترکیب ایلمنیت در ارتباط با پارازنز سنگ‌های منشأ آن‌ها است، به طوری که مقدار TiO_2 در کانی ایلمنیت حاصل از سنگ‌های دگرگونی بیشتر از ایلمنیت حاصل از سنگ‌های آذرین است. در دانه‌های ایلمنیت به دست آمده از سنگ‌های دگرگونی خاور قطب جنوب و گروه کانمانتا (با سن کامبرین در استرالیای جنوبی) و سنگ‌های سرگردان پرمین، مقدار MgO کمتر از ۰/٤ درصد وزنی و مقدار MnO کمتر از ۵ درصد وزنی می‌باشد. مقدار MgO، در ایلمنیت موجود در سنگ‌های گرانیتی خاور قطب جنوب، استرالیای جنوبی و سنگ‌های سرگردان پرمین، بیشتر از ۰/٤ درصد وزنی و مقدار MnO بیش از ۵ درصد وزنی بوده است. بنابراین دانه‌های ایلمنیت موجود در سنگ‌های آذرین و دگرگونی دارای ترکیبات مشخصی هستند که می‌توانند به عنوان شاخصی در تفسیر سنگ منشأ به‌کار روند. به طور کلی ترکیب شیمیایی دانه‌های ایلمنیت آواری در ماسه‌های پرمین نشان داده است که بیش از ۹۵ درصد آن‌ها ترکیبی شبیه به سنگ‌های دگرگونی با درجه بالا دارند، بنابراین، دانه‌های ایلمنیت در این رسوبات به طور عمده از سنگ‌های دگرگونی مشتق شده‌اند. در پایان می‌توان چنین بیان نمود که کانی‌های کدر (به ویژه ایلمنیت)، به دلیل ترکیب شیمیایی مشخص، می‌توانند در تفسیر سنگ منشأ به‌کار روند و امید است تا بتوان از این روش نیز به تفسیر سنگ منشأ رسوبات آواری در ایران استفاده نمود.

Provenance Interpretation of the Permian sands of Southern Australia Using Opaque Minerals

By: Dr.A. Granmayeh *, Dr.R. Moussavi- Harami **

and Dr.V. Gostin **

Abstract

The Permian sediments of southern Australia consist mainly of sand, mud, till and erratics that have been deposited in glacial environments. They are composed of light and heavy minerals and rock fragments. For analysis of opaque minerals, first they were separated by magnet and the Frantz Electronic Separator from other minerals, then they were analysed by the electon microprobe.

Ileminte can be found in different types of igneous and metamorphic rocks. The detrital ilmenite grains usually contain unique chemical composition, therefore they can be used as an indicator in provenance interpretation. Ilmenite also show compositional variation that is mainly related to the source rock paragenesis. The amount of TiO2 in the ilmenite grains from metamorphic rocks is more than those from igneous rocks. The concentration of MgO is less than O.4 Wt% and MnO is less than 5 Wt% in the ilmenite of the metamorphic rocks of the East Antarctica, Kanmantoo Group and Permian erratics. Ilmenite grians with MgO of more than O.4 Wt% and MnO of more than 5 Wt% are found in the igneous rocks, such as Encounter Bay Granites, Granite of East Antarctica and Permian etrratics. So, ilmenite grains from metamorphic and igneous source rocks are chemically distinct and can be used for interpretation of provenance

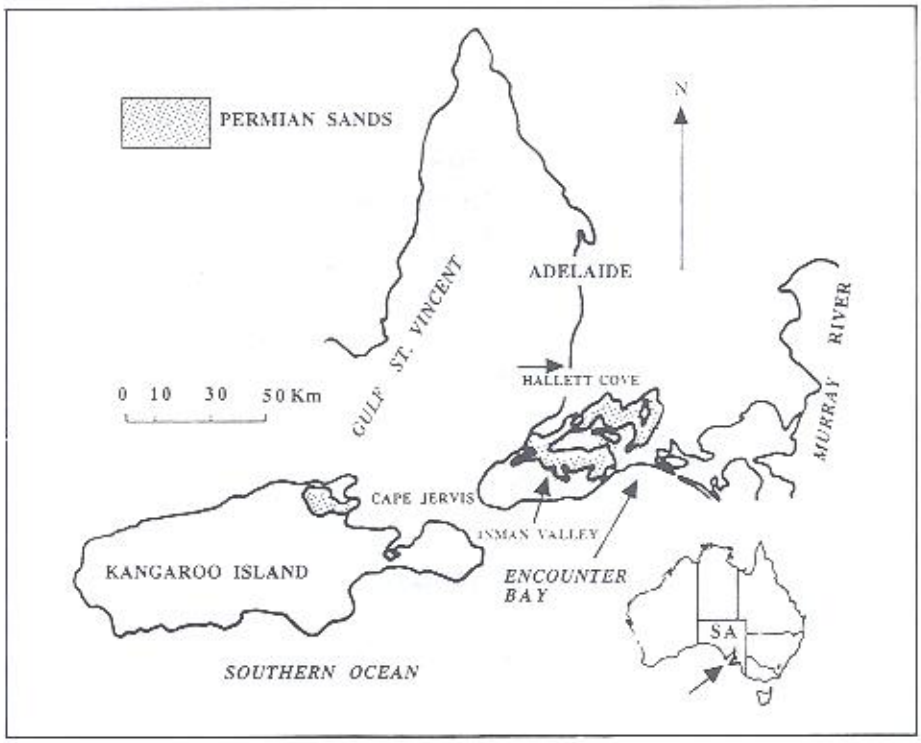
More than 95 percent of the detrital ilmenite grains in the Permian sands have similar composition to the ilmenite from metamorphic rocks. Therefore, they have mainly been derived from the high grade metamorphic rocks that have been examined. Based on this study, it can be concluded that the opaque minerals (particularly ilmenite), because of their distinct chemical composition, can be used for source rock predication and interpretation.

مقدمه

منطقه مورد مطالعه به طور عمده در سواحل استرالیای جنوبی قرار دارد که بخشی از رسوبات گسترده ماسه‌ای پرمین در جنوب استرالیا را تشکیل می‌دهد (شکل ۱). رسوبات پرمین در این ناحیه در محیط های یخچالی برجای گذاشته شده‌اند و بیشتر از ماسه، گل ، تیل و تعداد زیادی سنگ‌های سرگردان (erratic) تشکیل شده است که دارای جورشدگی بینهایت ضعیفی می‌باشند. سنگ‌های سرگردان عبارت از دانه‌های بسیار بزرگی (دراندازه بولدر) است که به طور پراکنده در رسوبات یخچالی وجود داشته و دارای ترکیبات متفاوتی هستند. این دانه‌ها توسط یخچال‌ها حمل شده و پس از ذوب یخ‌ها به همراه دانه‌های ریزتر برجای گذاشته شده‌اند. به طور کلی رسوبات پرمین در این ناحیه از کانی‌های سبک (کوارتز و فلدسپات) و سنگین (گارنت، ایلمنیت و غیره) و خرده‌های سنگی تشکیل شده است.

کانی‌های سنگین معمولاً در تفسیر سنگ‌های منشأ رسوبات مورد مطالعه قرار می‌گیرند، زیرا آن‌ها شواهدی از سنگ اولیه (سنگ مادر) را ارائه می‌کنند. این کانی‌ها معمولاً به دو دسته شفاف (transparent) و کدر یا اوپاک (opaque) تقسیم می‌شوند. با این که تنوع ترکیب و بافت در کانی‌های سنگین کدر می‌تواند به عنوان شاخصی برای تعیین منشأ به کار رود (Basu and Hood, 1985; Riezebos, 1979) ولی کانی‌های سنگین کدر نسبت به کانی‌های سنگین شفاف در تفسیر سنگ منشأرسوبات به دو دلیل کمتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اول این که تشخیص کانی‌های کدر از سایر کانی‌های آواری با روش‌های معمولی مشکل است، دوم پراکندگی آن‌ها در سنگ‌های مختلف بقدری زیاد است که نظر بر این است که آن‌ها اطلاعات کمی راجع به منشأ ارائه می‌کنند. در این زمینه Blatt (1967) اظهار داشته است، به کانی‌های کدر در رابطه با بررسی‌های سنگ منشأ توجه زیادی نشده است، لذا لازم است تا بیشتر مورد بررسی قرار گیرند. در سال‌های اخیر، کانی‌های کدر اکسید تیتانیم و آهن و کرومیت، در رابطه با تفسیر سنگ منشأ رسوبات آواری، تا حدودی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Basu and Molinaroli 1989, 1991, Basu and Wood 1985).

به طور کلی باید در هنگام مطالعه کانی‌های سنگین آواری کدر توجه داشت که آن‌ها معمولاً به فرم کانی‌های فرعی در بیشتر ماسه‌ها وجود داشته و ممکن است با خرده‌های سنگی نیز اشتباه شوند (Pettisohn et al.,1980). در بین کانی‌های سنگین کدر، ایلمنیت یکی از کانی‌های کم و بیش پایدار بوده و به‌نظر می‌رسد که کانی ایده‌الی برای تفسیر سنگ منشأ باشد. ضمناً این کانی در انواع سنگ‌های آذرین (هم‌درونی و هم بیرونی) و افزون بر آن در پگماتیت‌ها و سایر سنگ‌های رگه‌ای و حتی در برخی از سنگ‌های دگرگونی، به ویژه گنایس، یافت می‌شود که در هریک از این سنگ‌ها دارای ترکیب خاصی می‌باشد(Buddington and Lindsley, 1964; Ramdohr, 1980). به علاوه، بررسی‌های انجام شده در رابطه با ایلمنیت آواری (Basu and Molinaroli, 1989; Darby and Tsang, 1989; Darby, 1984) و مگنتیت آواری (Grigsby, 1988, 1990 and 1992; Luepke, 1980) نیز نشان داده است که تغییرات موجود در ترکیب این کانی‌ها می‌تواند اطلاعات کافی برای تفسیر سنگ منشأ رسوبات را ارائه کنند. باید



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه در استرالیای جنوبی، محل‌های نمونه‌برداری با علامت فلش نشان داده شده است.

توجه داشت که افزون بر تغییرات ترکیبی که در کانی ایلمنیت وجود دارد، این کانی را می‌توان به سادگی با استفاده از روش مغناطیسی از سایر کانی‌های سبک و سنگین جدا نمود که این خود نیز مزیتی دیگر بر مطالعه آن می‌باشد (Darby, 1984; Lumpkin and Zaikowski, 1980).

هدف از انجام این تحقیق، بررسی خواص شیمیایی دانه‌های ایلمنیت آواری در ماسه‌های پرمین می‌باشد، که فراوان‌ترین کانی کدر است، تا بتوان با استفاده از آن‌ها، سنگ منشأ این رسوبات آواری را تفسیر نمود. در این زمینه، افزون بر تجزیه شیمیایی دانه‌های ایلمنیت آواری در ماسه‌های پرمین، تعدادی نمونه از سنگ‌های آذرین و دگرگونی قطب جنوب و چندین محل، که به احتمال زیاد سنگ منشأ این رسوبات بوده‌اند، در استرالیای جنوبی و نیز تعدادی نمونه از سنگ‌های سرگردان (erratic) موجود در رسوبات یخچالی پرمین مورد آزمایش قرار گرفته است تا بتوان رابطه‌ای بین ترکیب ایلمنیت در سنگ‌های منشأ و ایلمنیت موجود در ماسه‌های آواری پرمین برقرار کرده و سنگ منشأ این رسوبات را تفسیر نمود. امید است تا روش‌ها و نتایج حاصل از این تحقیق بتواند برای تفسیر سنگ‌های منشأ رسوبات در سایر نقاط، از جمله ایران، مورد استفاده قرار گیرد. هم‌اکنون در زیر روش‌های مورد مطالعه و تجزیه شیمیایی ایلمنیت مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

روش مطالعه

این مطالعه در دو مرحله جداسازی کانی‌های کدر از سایر کانی‌ها و آنالیز آن‌ها توسط دستگاه الکترون ماکروپروب انجام گرفته است که در زیر به طور مفصل شرح داده می‌شود. لازم به یادآوری است که دستگاه الکترون ماکروپروب برای تجزیه کانی‌های کدر یکی از بهترین روش‌های تجزیه شیمیایی است که بدون استفاده از آن تشخیص ایلمنیت از مگنتیت بینهایت دشوار است.

جداسازی

ابتدا دانه‌های ایلمنیت به طریقه مغناطیسی و بدون استفاده از هیچگونه مایعات سنگین از سایر کانی‌ها جدا گردید. مقدار ناچیزی مگنتیت که در نمونه بود توسط یک مغناطیس دستی و نیز دستگاه Frantz Electric Separator از سایر کانی‌ها جدا شد. باید توجه داشت که از دستگاه Frantz برای جدا کردن ایلمنیت نیز برای تمام نمونه‌ها استفاده شده است. علاوه برجداکردن ایلمنیت از سایر کانی‌ها، به دلیل این که تمام نمونه حاوی مقداری هماتیت بوده و حضور این کانی درگذشته توسط دستگاه XRF تایید شده بود و از آنجایی که ایلمنیت خالص کمیاب است، تمام نمونه‌های جدا شده توسط دستگاه Frantz به مدت ۱۸ ساعت در اسید کلرئیدریک سرد وغلیظ قرار داده شد تا هماتیت از دانه‌ها جدا گردد. گرچه دستگاه Frantz برای جداکردن کانی‌های مغناطیسی از سایر کانی‌ها سنگین نیاز به وقت بیشتری دارد، ولیکن در این مطالعه برای به دست آوردن درصد وزنی کانی‌های کدر از غیرکدر (غیراوپاک) از این دستگاه استفاده شده است.

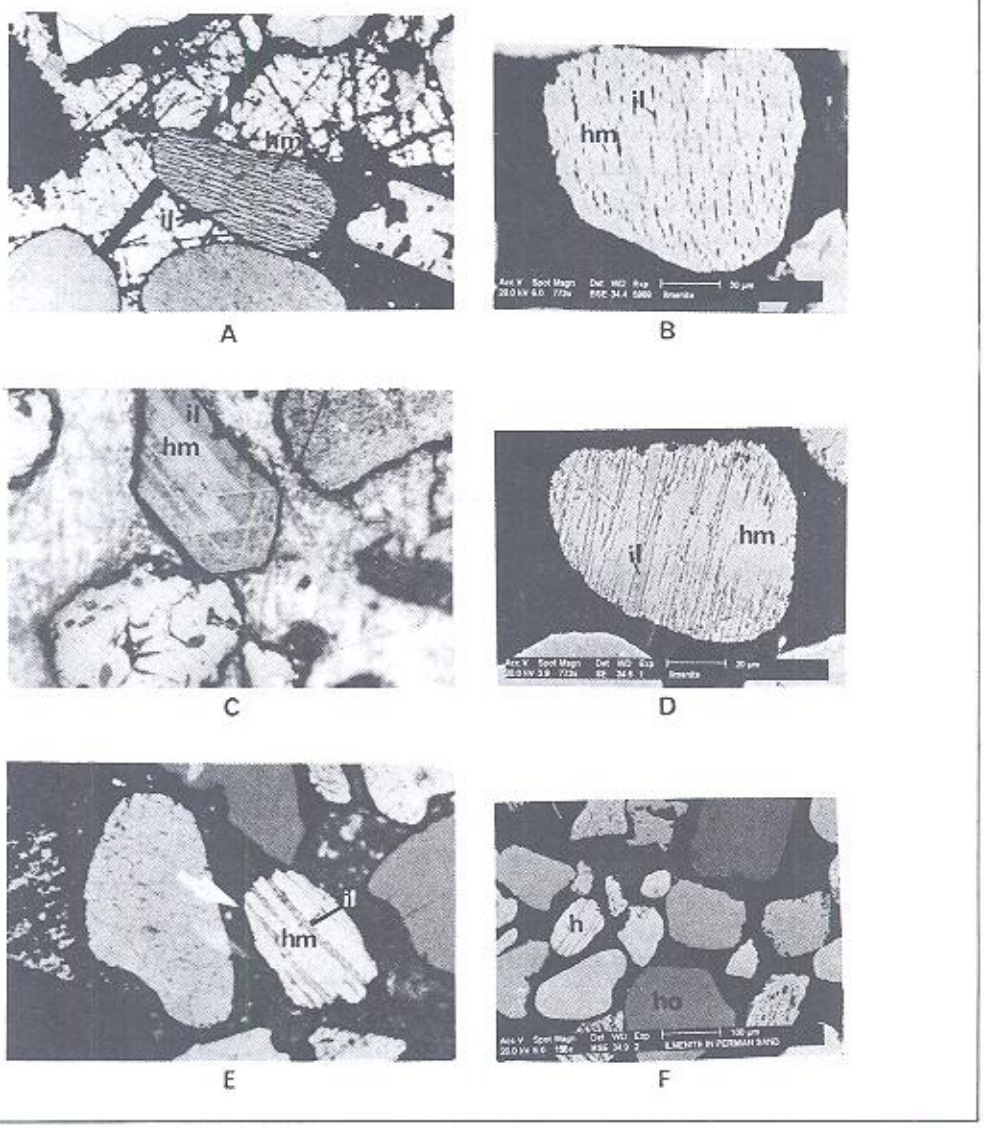
تجزیه توسط دستگاه الکترون ماکروپروب

میکروآنالیز توسط دستگاه الکترون پروب برای ۸ عنصر (Fe, Ti, V, Cr, Si, Mn, Mg, Al) انجام گردید. تمام این آنالیزها با دستگاه الکترون ماکروپروب مدل Jeol Model SoA و با اشعهٔ الکترونی 15Kv با جریان ۰/۱۲ میکروآمپر صورت گرفته است. باید توجه داشت که عنصر آهن به فرم Feo مورد آنالیز قرار گرفته است. به طور کلی ۶۰ دانه از هریک از مقاطع تهیه شده برای آنالیز انتخاب گردید. یاد این نکته ضروری است که مقاطع تهیه شده به فرم صیقلی شده بوده است. برای هردانه دو نقطه مورد آنالیز قرار گرفت تا اثرات احتمالی تغییرات موجود در ترکیب شیمیایی هر دانه کاهش یابد. میانگین نتایج حاصل از این نقاط مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. زمان آزمایش برای هر دانه با جریان ثابت در حدود ۶ دقیقه بوده است. لازم به ذکر است که مقاطع تهیه شده با میکروسکوپ انعکاسی و Backscattered electromprobe نیز مورد مطالعه قرار گرفته است تا بتوان یکنواختی (هموژن بودن) کانی را در هردانه مشخص نمود.

ایلمنیت

همان گونه که اشاره شد، دانه‌های ایلمنیت (با فرمول FeTiO3 یا FeO.TiO2) به طور معمول دارای ترکیب شیمیایی خاصی هستند که می‌توانند برای پی‌بردن به منشأ رسوبات مورد استفاده قرار گیرند. برای مثال، ایلمنیت در متابازیت‌ها (metabasites) تا اواسط رخساره‌های شیست سبز یا پایین‌تر از رخساره‌های آمفیبولیتی دیده نمی‌شود(Peacoch and Norris, 1989). ایلمنیت و مگنتیت از اکسیدهای تیتانیم و آهن اصلی در سنگ‌های دگرگونی هستند، ولی روتیل و هماتیت تا حدودی کمتر دیده می‌شوند(Frost and Lindsley, 1991). ایلمنیت معمولاً در بازالت‌های با آلومینیم بالا و آندزیت‌های بازالتی دیده نمی‌شود و در لاواهای آندزیتی به طور نادر یافت می‌شود. در سنگ‌های دگرگونی با درجه پایین‌تر، معمولاً ایلمنیت وجود ندارد (Trommsdorf and Evans, 1980).

به طور کلی کانی‌های اوپاک (کدر) در حدود ۸ درصد از کانی‌های سنگین در ماسه‌های پرمین را تشکیل داده و ایلمنیت فراوان‌ترین کانی کدر می‌باشد. بنابراین ایلمنیت برای تغییر و تفسیر منشأ این رسوبات، به دلایل ارائه شده در بالا، انتخاب گردیده است. یادآوری می‌شود که در این پژوهش ترکیب شیمیایی ایلمنیت آواری به طور کمی برای تفسیر سنگ منشأ ماسه‌های پرمین به کار رفته است. بررسی‌های انجام شده نشان داده است که مگنتیت، ایلمنیت و هماتیت بیشتر از اکسیدهای آهن و تیتانیم تشکیل شده‌اند که یا به فرم دانه‌های تک کانی یا دانه‌های چند کانی با بافت‌های درهم رشد کرده و بهم آمیخته وجود دارند. زیرا ایلمنیت خالص در طبیعت کمیاب بوده و به طور معمول به فرم انحلال جامد با هماتیت وجود دارند (شکل ۲) و معمولاً جانشینی در کاتیون‌های اصلی (Fe, Ti) توسط عناصر Al, Mn, Mg و Cr بسیار متداول است و افزون بر آن، دگرسانی خاکزایی (Pedogenic) یا خاکزایی و دیاژنتیکی ممکن است در ترکیب اولیه دانه‌های آواری ایلمنیت نیز اثر کرده و ناخالصی ایجاد کرده باشد (Basu and Molinaroli, 1991). بنابراین ایلمنیت ممکن است با ترکیب همگن و یا همراه با هماتیت به فرم ناهمگن یافت شود.



شکل ۲- دانه‌های آواری اوپاک اکسید Fe- Ti در ماسه‌های پرمین کیپ جرویس (Cape Jervis) در استرالیای جنوبی

A- تصویر یک دانه هتروژن ایلمنیت که توسط میکروسکپ انعکاسی تهیه شده است.
رنگ روشن (hm) هماتیت و رنگ تیره (il) ایلمنیت است. عرض تصویر یک میلیمتر است.

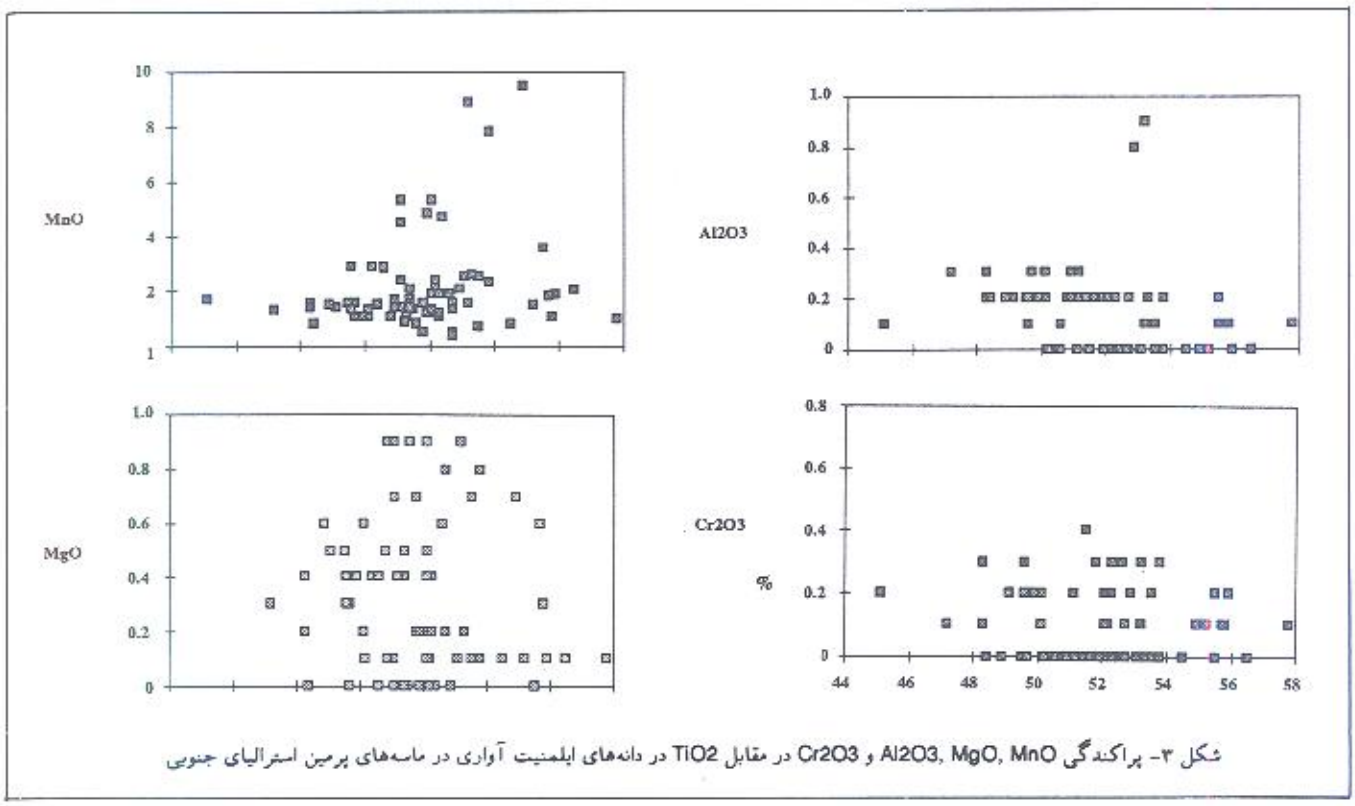
B- میکروگراف Backscattered electron که از یک ایلمنیت آواری هتروژن تهیه شده است.

C- تصویری از یک ایلمنیت هتروژن که در آن رشد درهم ایلمنیت (il) و هماتیت (hm) نشان داده شده است. این تصویر با میکروسکپ انعکاسی تهیه شده است. عرض تصویر یک میلیمتر است.

D- میکروگراف Backscattered electron که از یک ایلمنیت آواری هتروژن il (ایلمنیت) و hm (هماتیت)، تهیه شده است.

E- تصویری که در آن دانه‌های ایلمنیت آواری هتروژن و هموژن نشان داده شده است. دانه روشن‌تر در قسمت چپ تصویر یک دانه هموژن بوده و دانه کوچکتر وسط یک ایلمنیت هتروژن است. این تصویر توسط میکروسکپ انعکاسی تهیه شده است. عرض تصویر یک میلیمتر است.

F- میکروگراف Backscattered electron، که در آن دانه‌های ایلمنیت آواری هموژن (ho) و هتروژن (h) نشان داده شده است.



شکل ۳- پراکندگی Al2O3, MgO, MnO و Cr2O3 در مقابل TiO2 در دانه‌های ایلمنیت آواری در ماسه‌های پرمین استرالیای جنوبی

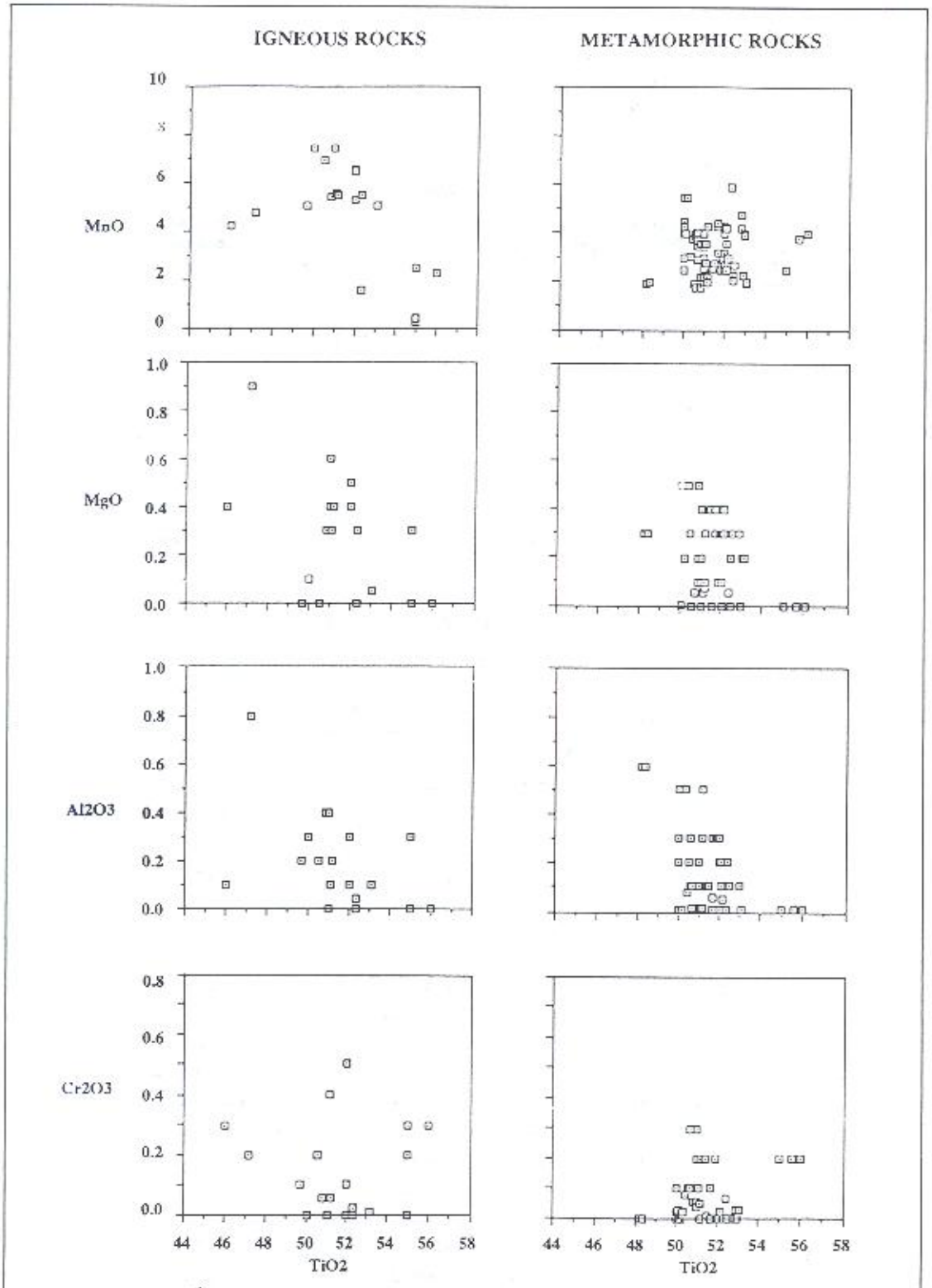
بررسی‌های میکروسکپی کانی‌های کدر در ماسه‌های پرمین استرالیا نشان داده است که ایلمنیت هم به فرم هموژن و هم همراه با هماتیت و به فرم هتروژن وجود دارد (شکل ۲).

همان گونه که یاد شد، دانه‌های ایلمنیت در این بررسی به وسیله روش‌های شیمیایی مورد آنالیز قرار گرفته و نتایج حاصل به فرم عناصر اصلی و فرعی موجود در این کانی در زیر مورد گفتگو و بررسی قرار خواهد گرفت تا بتوان رابطه‌ای بین این رسوبات و سنگ‌های منشأ آن‌ها برقرار کرد.

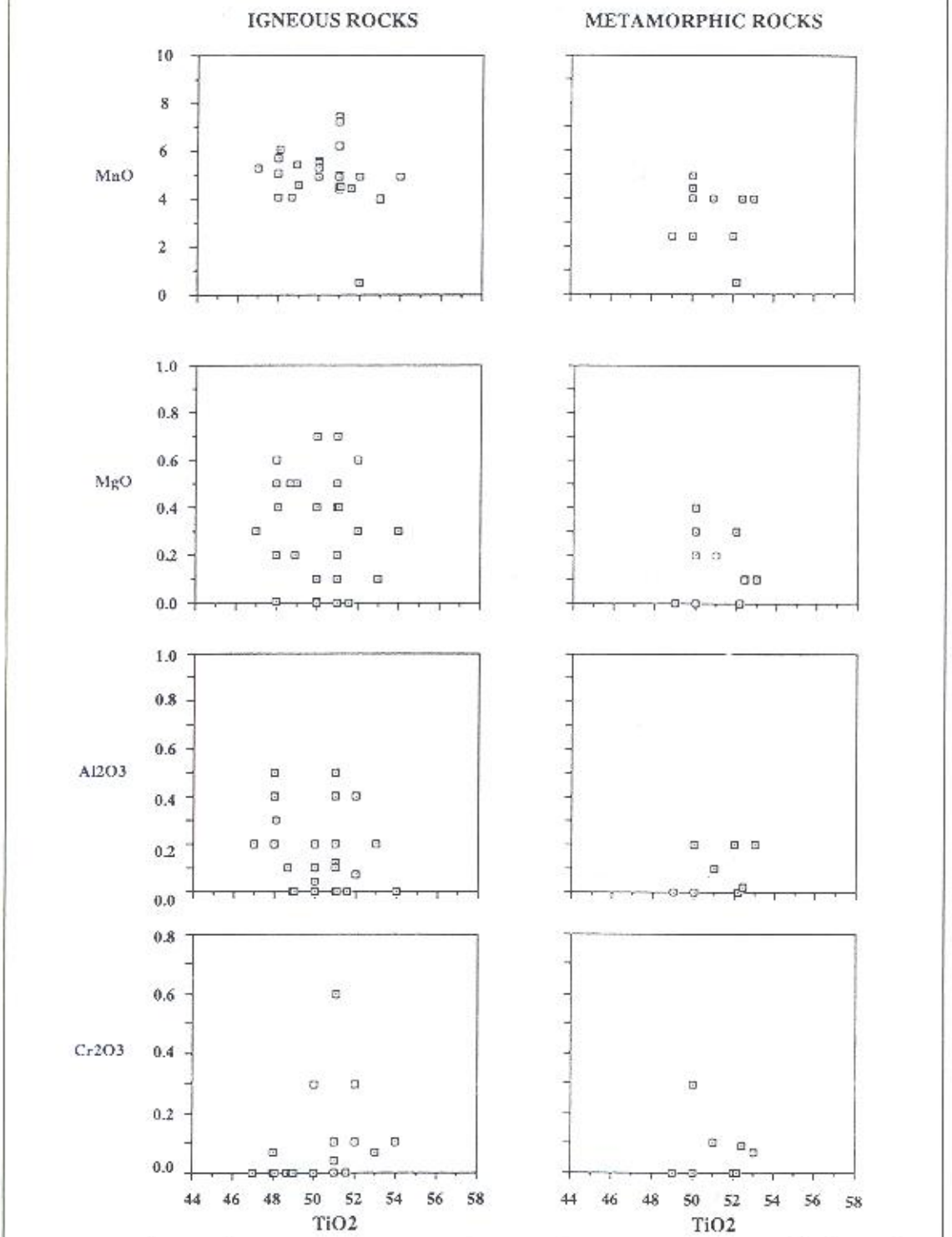
عناصر اصلی

فراوانی اکسیدهای آلومینیم (Al2O3)، کرم (Cr2O)، منیزیم (MgO) و منگنز (MnO) در برابر اکسید تیتانیم (TiO2) در ماسه‌های پرمین و نمونه‌هایی از سنگ منشأ توسط دیاگرام‌های دومتغیری (bivariate) در اشکال ۳ تا ۶ نشان داده شده است. بطور کلی هیچ گونه اختلافی بین پراکندگی Cr2O3 در ماسه‌های پرمین و نمونه‌هایی از سنگ‌های منشأ احتمال مشاهده نمی‌شود، در حالی که MgO, MnO و Al2O3 تغییرات زیادی را نشان می‌دهند. Basu and Molinaroli (1989) نشان داده‌اند که مقدار TiO2 در ایلمنیت موجود در سنگ‌های دگرگونی بیشتر از سنگ‌های آذرین است. افزون بر آن، محدوده تغییرات مقدار TiO2 در سنگ‌های دگرگونی کمتر است، در حالی که در سنگ‌های آذرین این محدوده بیشتر می‌باشد(Basu and Molinaroli, 1989; Grigsby, 1992). آنالیز ترکیبی ایلمنیت در ماسه‌های پرمین نشان داده است که مقدار آهن موجود در آن‌ها بالا بوده که در رابطه با میان‌بار (inclusion) هماتیت می‌باشد و مقدار Cr در آن‌ها کم بوده و نشان دهنده این است که منشأ آن‌ها به احتمال زیاد از سنگ‌های غیرقلیایی بوده است (Pearre and Heyl, 1960; Darby, 1984).

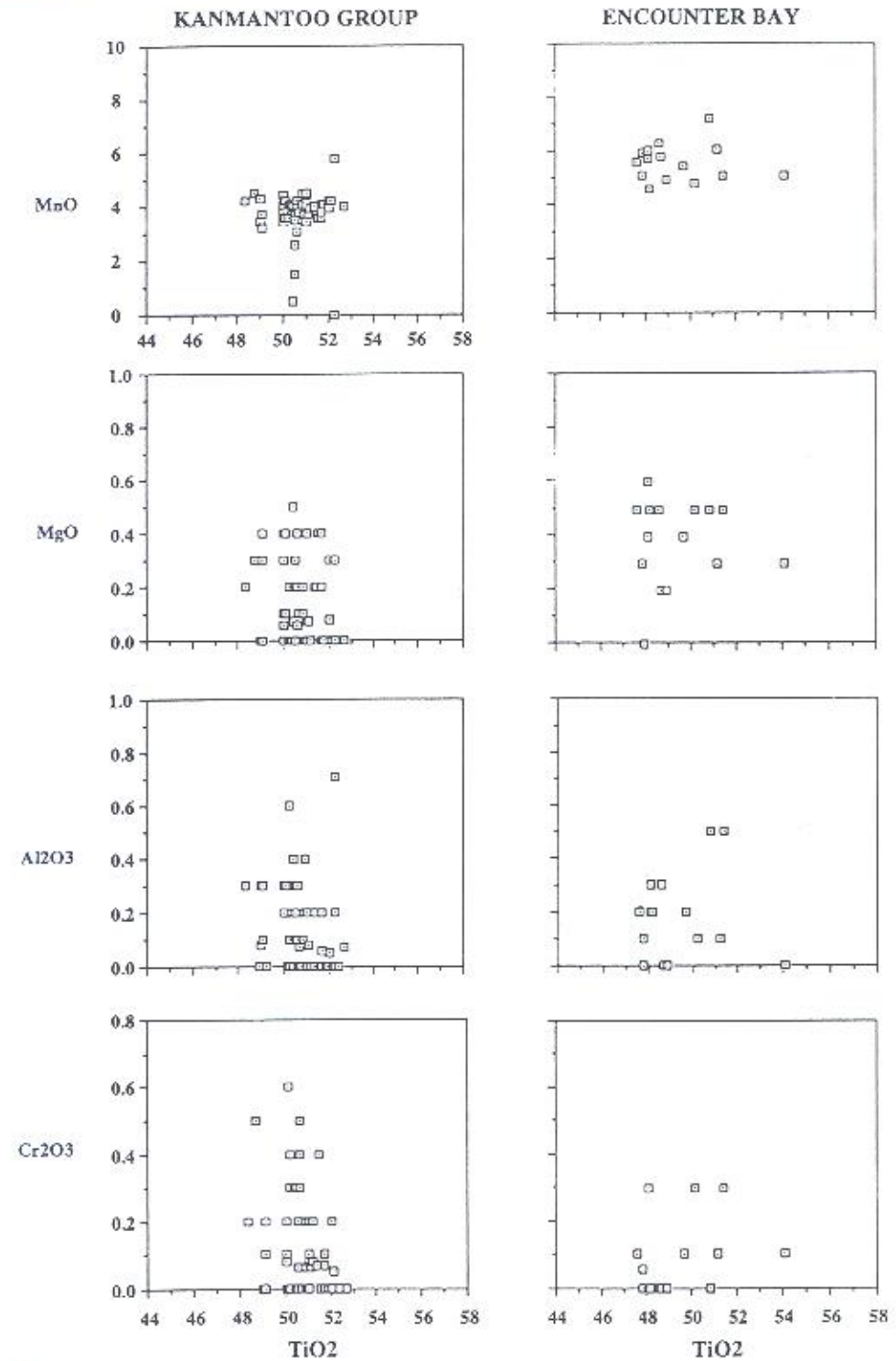
مقدار متوسط و انحراف معیار (standard deviation) مقادیر MnO, FeO, TiO2 و MgO در ماسه‌های پرمین و نمونه‌هایی از سنگ‌های منشأ در جدول ۱ نشان داده شده است. به طوری که دیده می‌شود، درصد میانگین TiO2 و MnO در ماسه‌های پرمین با نمونه‌هایی از سنگ‌های دگرگونی قابل مقایسه است. همچنین محدوده تغییرات TiO2 در دانه‌های ایلمنیت آواری در ماسه‌های پرمین خیلی کم است و بین ۴۹ تا ۵۴ درصد در تغییر می‌باشد. به طور کلی درجه خلوص در ایلمنیت‌های موجود در سنگ‌های دگرگونی بیشتر از سنگ‌های آذرین است که محدوده تغییرات TiO2 گسترده‌تری (۳۰ تا ۴۸ درصد) را نشان می‌دهند (اشکال ۴ تا ۶). ترکیب شیمیایی دانه‌های آواری ایلمنیت در ماسه‌های پرمین در جدول ۲ نشان داده شده است. آنالیز شیمیایی دانه‌های ایلمنیت به دست آمده از سنگ‌های منشأ دگرگونی نشان داده است که دانه‌های ایلمنیت با TiO2 بیش از ۵۰ درصد از همه فراوان‌ترند و در بیش از ۸۷ درصد دانه‌ها این حالت مشاهده شده است. در سنجش، حدود ۹۱ درصد از دانه‌های ایلمنیت آواری در ماسه‌های پرمین دارای بیش از ۵۰ درصد TiO2 می‌باشند، بنابراین، مقدار TiO2 بالا در دانه‌های ایلمنیت آواری پرمین نشان می‌دهد که به گمان زیاد منشأ آن‌ها به طور عمده از سنگ‌های دگرگونی بوده است، زیرا سنگ‌های آذرین دارای مقدار کمتری TiO2 هستند.



شکل ٤- پراکندگی Al2O3, MgO, MnO و Cr2O3 در مقابل TiO2 در دانه‌های ایلمنیت از نمونه‌هایی از سنگ‌های خاور قطب جنوب



شکل ۵- پراکندگی Al2O3, MgO, MnO و Cr2O3 در مقابل TiO2 در دانه‌های ایلمنیت موجود در سنگ‌های سرگردان در رسوبات یخچالی پرمین در استرالیای جنوبی



شکل ٦- پراکندگی Al2O3, MgO, MnO و Cr2O3 در مقابل TiO2 در دانه‌های ایلمنیت موجود در رسوبات دگرگون شده گروه کانمانتا و گرانیت خلیج اینکانتر در استرالیای جنوبی

TiO2	FeO	MnO	MgO	Samples
53.1 (2.4)	43.5 (3.6)	2.1 (1.9)	0.3 (0.3)	Permian sands
51.1 (0.4)	42.3 (2.2)	3.7 (2.3)	0.1 (0.1)	East Antarctic (granitic gneisses)
49.1 (1.4)	42 (1.1)	6.8 (0.8)	0.2 (0.1)	East Antarctic (granite)
51.1 (0.8)	42.3(1.8)	0.9 (0.3)	0.2 (0.2)	East Antarctic (basic gneisses)
51.6 (1.4)	43. (2.1)	3.1 (1.8)	0.2 (0.1)	Permian erratics (granitic gneisses)
49.8 (1.6)	44.6 (3.5)	3.7 (2.7)	0.3 (0.3)	Permian erratics (granite)
52.1 (1.5)	44.1 (2.1)	3.3 (0.6)	0.3 (0.3)	Permian erratics (volcanic)
51.1 (1.)	43. (1.7)	4 (0.8)	0.2 (0.2)	Kanmantoo Group (metasediments)
50.7 (2.3)	42.3 (2.9)	3.7 (1.3)	0.2 (0.2)	Encounter Bay (granites)

جدول ۱- مقدار متوسط و انحراف معیار اکسیدهای مختلف در دانه‌های ایلمنیت آواری در ماسه‌های پرمین استرالیای جنوبی و نمونه‌هایی از سنگ‌های منشأ

TiO2	FeO	MnO	MgO	Al2O3	V2O3	Cr2O3	SiO2	Total
60.9	36.1	0.8	0.1	0.2	0.3	0.1	0	98.5
59.8	37.3	1	0.1	0.1	0.5	0.1	0	97.1
56.5	41.7	2.1	0.1	0	0.3	0	0	100.7
55.9	39.9	1.9	0.1	0	0.3	0.2	0	98.5
55.8	41.9	1.1	0.3	0.1	0.3	0.1	0	99.7
55.7	40.3	1.8	0.6	0.1	0.3	0.1	0.2	99.1
55.2	42.6	1.5	0.1	0	0.2	0.1	0.1	100.5
54.9	40.3	3.5	0.7	0	0.4	0.1	0	98.9
54.5	44.1	0.8	0.1	0	0.2	0	0	99.8
53.8	43.2	2.3	0.1	0	0.2	0	0	99.4
53.5	44.8	0.7	0.1	0	0.2	0	0	99.5
53.2	45.8	1.6	0.9	0.1	0.1	0.1	0	101.4
53.1	44.1	2.5	0.1	0	0.2	0	0	100.1
52.9	43.9	2.1	0	0.8	0.2	0.2	0.2	100.1
52.7	44.9	0.5	0.8	0	0.5	0.1	0	99.6
52.7	44.4	0.4	0.8	0	0.5	0.1	0	99.1
52.7	44.9	1.6	0.2	0	0.4	0	0	99.9
52.6	44.9	1.9	0.6	0	0.1	0.3	0	100.7
52.4	43.1	4.7	0	0	0.2	0	0	100.4
52.2	44.6	2.4	0	0	0.3	0	0	99.6
52.2	43.4	2.1	0.1	0	0.2	0.1	0	98.2
52.1	45.8	1.9	0.1	0	0.2	0	0	100.2
51.9	42.6	4.8	0	0	0.2	0	0	99.6
51.8	46.6	0.5	0.7	0.2	0.2	0.3	0	101.2
51.5	44.1	1.3	0	0	0.3	0.4	0	98.3
51.1	43.1	4.5	0	0	0.4	0	0	99.1
51.1	44.3	1.4	0.7	0.3	0.2	0	0.3	100.8
50.9	45.8	1.7	0.7	0.3	0.2	0	0	100.4
50.6	48.1	2.8	0	0.1	0.3	0	0	101.9
50.4	48.5	1.5	0.4	0	0.1	0	0	99.9
50.2	45.5	2.9	0.1	0	0.3	0	0	99.1
50.1	47.1	1.1	0.6	0.3	0.2	0.2	0	100.1
49.7	47.4	1.6	0	0.3	0.2	0	0	99.4
41.4	55.1	0.4	0.6	0.5	0.4	0.1	0	98.1
45.1	47.6	1.7	3.6	0.1	0.2	0.2	0.1	99.8
53.2	31.6	0.7	0.7	0.6	0.4	0.3	0.5	98.4
55.5	38.9	3.6	0	0.2	0	0.2	0	98.6
53.5	39.2	2.5	1.4	0.1	0.4	0.2	0	98.2
52.1	40.3	5.3	0.9	0.2	0.3	0.2	0.1	99.3
49.6	44.1	2.9	0.4	0.1	0.3	0.3	0	97.8

* Kangaroo Island

جدول ۲- ترکیب شیمیایی دانه‌های ایلمنیت آواری در ماسه‌های پرمین استرالیای جنوبی

عناصر فرعی

عناصر فرعی متداول در دانه‌های ایلمنیت آواری شامل Mg, Mn, V, Si, Ti, Cr, و Al می‌باشند. فراوانی Al2O3, MnO, MgO و Cr2O3 در برابر TiO2 در دانه‌های ایلمنیت آواری از ماسه‌های پرمین استرالیای جنوبی و نمونه‌هایی از سنگ منشأ به فرم دیاگرام‌های دومتغیری در اشکال ۳ تا ٦ نشان داده شده است. Basu et al. (1991) نشان داده‌اند که مقدار TiO2 موجود در دانه‌های ایلمنیت آواری مطالعه شده از ماسه‌های عهد حاضر (هولوسن)، که از سنگ‌های منشأ آذرین سرچشمه گرفته‌اند، حدود ٤٨/٣ درصد بوده و خیلی جزیی کمتر از آن‌هایی است که از سنگ‌های دگرگونی (٥٠/٨ درصد) سرچشمه گرفته‌اند. دراین دانه‌ها، MgO با غلظت بیش از ۰/۵ درصد وزنی، Al2O3 بیش از ۰/٤ درصد وزنی و MnO با غلظت بیش از ٦/٥ درصد وزنی فقط در دانه‌های ایلمنیت که از سنگ‌های منشأ آذرین مشتق شده‌اند یافت شده است. غلظت Cr2O3 در این سنگ‌های منشأ هیچ‌گونه تغییری را نشان نداده است.

ایلمنیت با منیزیم بالا در نمونه‌های حاصل از سنگ‌های دگرگونی گروه کانمانتا با سن کامبرین در استرالیای جنوبی و سنگ‌های دگرگونی قطب جنوب و نیز سنگ‌های سرگردان پرمین در رسوبات یخچالی به دست آمده است و عناصر فرعی مانند MgO با غلظت بیش از ۰/٤ درصد وزنی، Al2O3 با غلظت بیش از ۰/٤ درصد وزنی و MnO با غلظت بیش از ٤/٥ درصد وزنی فقط از دانه‌های ایلمنیت موجود در سنگ‌های آذرین بررسی شده از نقاط مختلف (در گستره مورد بررسی) به دست آمده است که نتایج حاصل در جداول ۳ تا ۵ نشان داده شده است. MgO با غلظت کمتر از ۰/٤ درصد وزنی، MnO با غلظت کمتر از ٤/٥ درصد وزنی از سنگ‌های دگرگونی به دست آمده است. در ماسه‌های پرمین، مقدار MnO با غلظت کمتر از ٤/٥ درصد وزنی در ۹۲ درصد از دانه‌های ایلمنیت و مقدار MgO با غلظت کمتر از ۰/٤ درصد وزنی در حدود ۷۳/۵ درصد دانه‌ها و مقدار Al2O3 با غلظت کمتر از ۰/٤ درصد وزنی در ۸۳/۷ درصد از دانه‌ها به دست آمده است. لازم به ذکر است که فراوانی V2O3 و Cr2O3 هیچ‌گونه تغییر مشخصی را در سنگ‌های منشأ دگرگونی و آذرین نشان نداده است. فراوانی MnO در ایلمنیت با افزایش درجه دگرگونی، هم در متابازیت‌ها و هم در متاپلیت‌ها، به سرعت کاهش می‌یابد. هرچند در رابطه با آنالیز ترکیبی ایلمنیت در سنگ‌های شناخته شده بررسی‌های زیادی انجام نگرفته است، ولی همین بررسی‌های کم نیز نشان می‌دهد که حداقل اختلاف زیادی در مقادیر Mn و Mg و احتمالاً در Ti و Fe موجود در سنگ‌های مختلف وجود دارد. برای مثال Best (1982) نسبت Mn/Mg برای ایلمنیت را در گابرو ۰/۲۳ گزارش کرده است و این نسبت برای مجموعه‌ای از کانی‌های سنگین، که بیشتر از ایلمنیت تشکیل شده‌اند، در گرانولیت‌های مجاور توده آنورتوزیتی در Roseland District در ایالت ویرجینیای آمریکا به وسیله Herz et al. (1970) در حدود ۵ به ۲۰ به دست آمده است. این نسبت در دانه‌های ایلمنیت آواری در ماسه‌های پرمین و دانه‌های ایلمنیت از نمونه‌های خاور قطب جنوب، گروه کانمانتا و سنگ‌های سرگردان در رسوبات یخچالی پرمین متفاوت است. بنابراین، ایلمنیت موجود در سنگ‌های آذرین و دگرگونی مطالعه شده دارای ترکیبات

1 -4%	4 -8%	8 -12%	Samples
81.8	18.2	0	Metamorphic samples of East Antarctica
64.8	35.2	0	Kanmantoo Group metasediments
73.3	26.7	0	Metamorphic samples of Permian erratics
14.3	85.7	0	Igneous samples of Permian erratics
40.9	54.5	4.5	Igneous samples of East Antarctica
79.6	18.4	2.1	Permian sands of southern Australia
96.1	3.9	0	Volcanic samples of Permian erratics

جدول ۳- درصد وزنی MnO در دانه‌های ایلمنیت موجود در ماسه‌های پرمین استرالیای جنوبی و نمونه‌هایی از سنگ‌های منشأ

0.1-0.4%	0.1-0.7%	Samples
88.3	11.7	Metamorphic samples of East Antarctica
87	13	Kanmantoo Group metasediments
86.6	13.4	Metamorphic samples of Permian erratics
66.1	35.9	Igneous samples of Permian erratics
68.2	31.8	Igneous samples of East Antarctica
73.5	26.5	Permian sands of southern Australia
73.1	26.9	Volcanic samples of Permian erratics

جدول ٤- درصد وزنی MgO در دانه‌های ایلمنیت موجود در ماسه‌های پرمین استرالیای جنوبی و نمونه‌هایی از سنگ‌های منشأ

0.1-0.4%	0.4-0.7%	Samples
92.2	7.8	Metamorphic samples of East Antarctica
98.1	1.9	Kanmantoo Group metasediments
94.6	5.4	Metamorphic samples of Permian erratics
92.8	7.2	Igneous samples of Permian erratics
91	9	Igneous samples of East Antarctica
83.7	16.3	Permian sands of southern Australia
88.6	11.4	Volcanic samples of Permian erratics

جدول ٥- درصد وزنی Al2O3 در دانه‌های ایلمنیت موجود در ماسه‌های پرمین استرالیای جنوبی و نمونه‌هایی از سنگ‌های منشأ

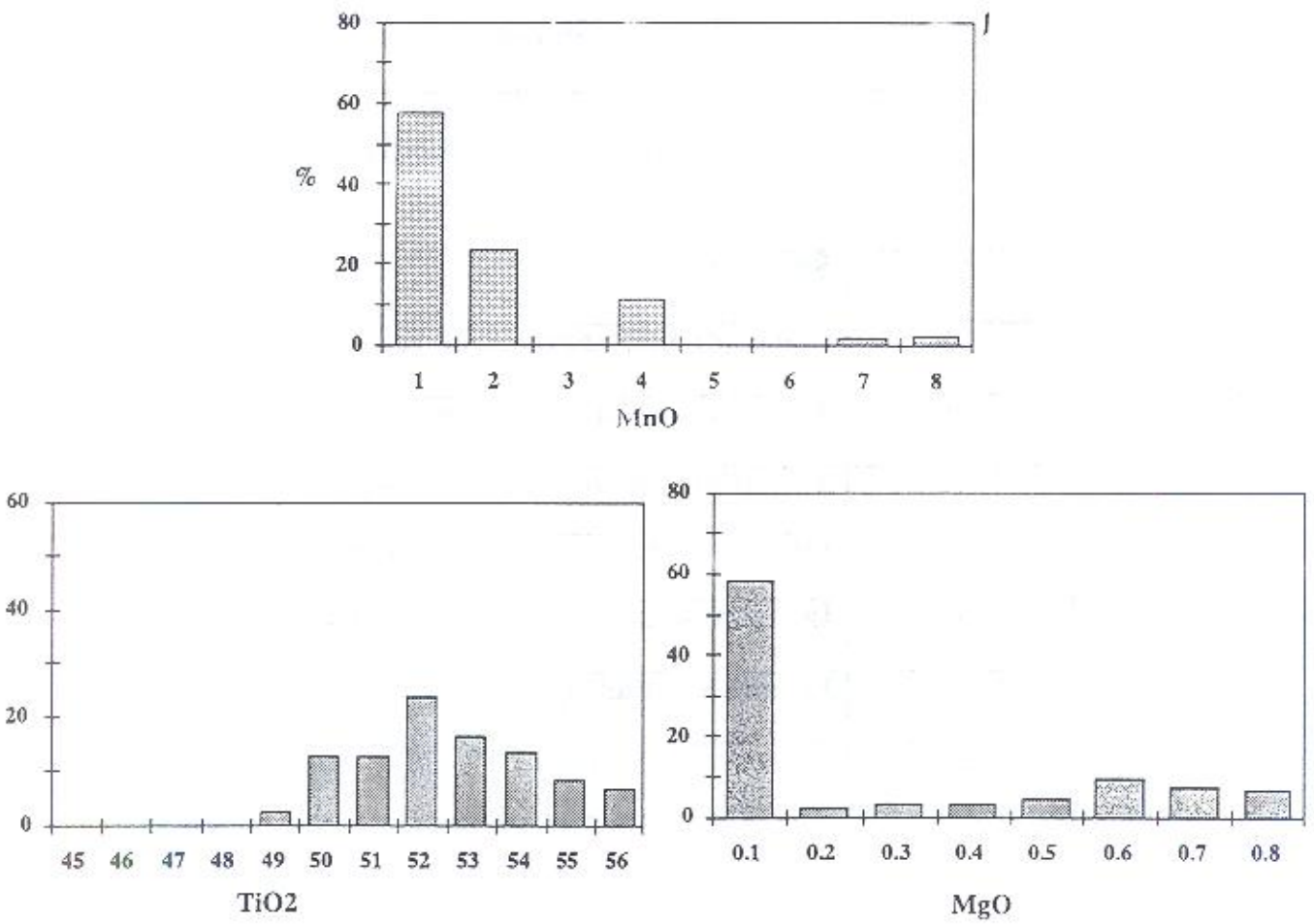
متفاوتی هستند. نسبت Mn/Mg از نمونه‌های دگرگونی با درجه پایین از گروه کانمانتا (با سن کامبرین) در حدود ۲۶، و نمونه‌هایی از سنگ‌های دگرگونی با درجه متوسط تا بالا از قطب جنوب و سنگ‌های سرگردان پرمین بین ۱۲ تا ۲٤ می‌باشد. همچنین این نسبت در نمونه‌های مطالعه شده از سنگ‌های آذرین قطب جنوب و سنگ‌های آذرین سرگردان در رسوبات یخچالی پرمین از ۳٤ تا ۵۹ در تغییر می‌باشد. نسبت Mn/Mg در ماسه‌های پرمین ۱٤ است. نسبت Mn/Mg در دانه‌های ایلمنیت از ماسه‌های پرمین و انواع مختلف سنگ‌ها نشان می‌دهد که ترکیب ایلمنیت در ماسه‌های پرمین خیلی شبیه به ترکیب ایلمنیت در سنگ‌های دگرگونی است.

در ماسه‌های پرمین مقدار MnO در ایلمنیت کمتر از ۰/۲ درصد وزنی تا بیش از ۱۰/۵ درصد وزنی در تغییر است و مقدار MgO از صفر تا ۲/۲ درصد وزنی در تغییر می‌باشد. تغییرات مقادیر هریک از عناصر در نمونه‌های مختلف در شکل ۷ نشان داده شده است.

نتیجه گیری

نتایج به دست آمده نشان داده است که دانه‌های ایلمنیت در سنگ‌های آذرین و دگرگونی مطالعه شده دارای ترکیب شیمیایی مشخصی هستند. ارتباط بین عناصری که در دانه‌های ایلمنیت آواری پرمین برای تفسیر منشأ مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفته است نشان می‌دهد که در حدود ۸۸ درصد از دانه‌های ایلمنیت دارای بیش از ۵۰ درصد TiO2 بوده و محدوده تغییرات آن‌ها بسیار کم است. غلظت MgO در ۷۳/۵ درصد از دانه‌ها کمتر از ۰/٤ درصد وزنی است. همچنین غلظت MnO در ۹۲ درصد دانه‌ها کمتر از ۵ درصد وزنی بوده و غلظت Al2O3 نشان می‌دهد که در حدود ۸۳/۷ درصد دانه‌ها دارای کمتر از ۰/٤ درصد وزنی Al2O3 هستند. سنجش این مقادیر با نمونه‌های مطالعه شده از سنگ‌های آذرین و دگرگونی نشان‌گر این است که در حدود ۷٦/۷ درصد از دانه‌های ایلمنیت در ماسه‌های پرمین دارای ترکیبی شبیه به سنگ‌های دگرگونی هستند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بیش از ۷٦ درصد دانه‌های ایلمنیت در ماسه‌های پرمین از سنگ‌های دگرگونی مشتق شده‌اند.

در پایان می‌توان بیان داشت که تجزیه شیمیایی کانی‌های کدر، به ویژه ایلمنیت، در رسوبات آواری می‌تواند به عنوان شاخصی مناسب و خوب در شناخت سنگ منشأ مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۷- غلظت MgO, MnO و TiO2 در دانه‌های ایلمنیت آواری در ماسه‌های پرمین استرالیای جنوبی

References

Basu, A., and Hood, L., 1985. Provenance significance of detrital opaque oxide minerals in Lake Frie sands near Sandusky, Ohio (abstract). Geological Society of America, Abstracts and Program, 17 (5), 279.

Basu, A., and Molinaroli, E., 1989. Provenance characteristics of detrital opaque Fe- Ti oxide minerals: Journal. Sed. Petrology, V. 59, P. 922- 934.

Basu, A., and Molinaroli, E., 1991. Reliability and application of detrital opaque Fe- Ti oxide minerals in provenance determination: Developments In Sedimentary Provenance Studies. Geological Society Special Publication No. 57, P. 55- 65.

Best, B., J., 1982. Igneous and Metamorphic Petrology: San Francisco, Freeman and Company, 630 p.

Blatt, H., 1967. Provenance determinations and recycling of sediments: Jounal. Sed. Petrology, v. 37,p. 1031-1044.

Buddington, A., F., and Lindsley, D., H., 1964. Iron- titanium oxide minerals and synthetic equivalents: Jour. Petrology, v. 5, p. 310- 357.

Darby, D. A., 1984. Trace elements in ilmenite: a way to discriminate provenance or age in coastal sands: Bull, Geol. Soe. Am. 95, p. 1208- 1218.

Darby, D. A., and Tsang, Y. W., 1987. Variation in ilmenite element composition within and among drainage basins: Implication for provenance, Journal. Sed. Petrology, v. 57, p. 831- 838.

Darby, D. A., Tsang, Y. W., and Council III, E. A., 1985, Detrital ilmenite composition: implications for coastal sand sources and dispersal pathways: Geol. Soc. America Abst. W. Progr., v. 17, p. 559.

Force, E. R., 1976. Metamorphic source rocks of titanium placer deposits- a geochemical cycle: U. S. Geological Survey Professional Paper, 959B, 16p.

Frost, B. R., and Lindsley, D. H., 1991. Occurrence of iron- titanium oxides in igneous rocks: Mineralogical. Soc. America Rev. in. Min, v. 25, p. 433- 468.

Grigsby, J., D., 1988. Fe- Ti- Oxides in provenance studies (abstr.): Geol. Soc. Am., Abstr. With Progr, v. 20 (5), p. 345.

Grigsby, J. D; 1990. Detrital magnetite as a provenance indicator: Journal. Sed. Petrology, v. 60, p. 940-951.

Grigsby, J. D., 1992. Fingerprinting in detrital ilmenite: a viable alternative in provenance research: Journal. Sed. Petrology, v. 62 (2), p. 331-337.

Herz, N., Valentine, L., E., and Iberall, E., R., 1970. Rutile and ilmenite placer deposits Roseland district, Nelson and Amherst counties, Virginia: U. S. Geol. Surv. Bull, 1312- F, 19p.

Luepke, G.,1980. Opaque minerals as aids in distinguishing between source and sorting effects on beach-sand mineralogy in southwestern Oregon: Sed. Petrology, v. 50, p. 489- 496.

Lumpkin, G., R., and Zaikowski, A., 1980. A method for performing magnetic mineral separations in a liquid medium: Am. Mineralogist. v. 65, p. 390- 392.

Peacodk, S. M., and Norris, P. J., 1989. Metamorphic evolution of the central metamorphic belt, Klamath Province, Calofornia; an Inverted metamorphic gradient beneath the Trinity Peridotite: Journal of Metamorphic Geology, v. 7 (2), p. 191- 209.

Pearre, N. C., and Heyl, A. V., 1961. Chromite and other mineral deposits in serpentine rocks of the Piedmont Upland, Maryland, Pennsylvania, and Delaware: U. S. Geological. Surv. Bull, p. 707- 833.

Pettjohn, F. J., Potter, P. E., and Siever, R., 1987. Sand and Sandstone, 2nd Ed.: New York, Springer- Verlag, 553 p.

Ramdohr, P., 1980. The ore minerals and their intergrowths: New York, Pergamon, P. 911- 940.

Riezebos, P. A., 1979. Compositional downstream variation of opaque and translucent heavy residues in some modern Rio Magdalena sands (Colombia): Sedimentary Geology, v. 24, p. 197- 225.

Trommsdorff, V., and Evanes, B. W., 1980. Titanian hydroxyl- clinohumite formation and breakdown in antigorite rocks Malenco, Italy: Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 72 (3), p. 229- 249.

* گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

** گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آدلاید، استرالیای جنوبی

* Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

** Department of Geology, University of Adelaide, South Australia.