

کاربرد بافت سطح دانه‌های کوارتز و گارنت در تفسیر محیط رسوبی: مثالی از رسوبات پرمین استرالیای جنوبی

نوشته: اسدالله * و دکتر رضا موسوی حرمی **

چکیده

مورفولوژی دانه‌های آواری، به ویژه بافت سطح دانه، می‌تواند اطلاعاتی در مورد محیط رسوب‌گذاری ارائه کند. میکروسکوپ الکترونی (SEM) بهترین وسیله برای مشاهده آثار موجود در سطح دانه‌های در اندازه‌های گارنت و کوارتز در اندازه‌های رسوبات ماسه‌ای پرمین استرالیای جنوبی با میکروسکوپ الکترونی مورد مطالعه قرار گرفت تا بتوان از اشکال موجود در سطح این دانه‌ها به عنوان شاخصی استفاده کرد و محیط رسوب‌گذاری را تعبیر و تفسیر نمود. آثار خراشیدگی در سطح دانه‌های گارنت و آثار کمائی شکل، شکستگی‌های پله مانند، خطوط موازی و نیمه موازی، و شکستگی‌های صدفی در سطح دانه‌های کوارتز مؤید حرکت و رسوب‌گذاری این دانه‌ها توسط یخچال‌هاست. بنابراین، به استناد اشکال موجود و با مقایسه آن‌ها با اشکال موجود در سطح دانه‌های کوارتز و گارنت به دست آمده از رسوبات یخچالی عهد حاضر و قدیمه، می‌توان چنین نتیجه گرفت که رسوبات پرمین استرالیای جنوبی عمدتاً در محیط‌های یخچالی رسوب کرده‌اند.

Abstract

Morphology of detrital grains, particularly surface texture, can give some information about depositional environment. Scanning electron microscope is one of the best tool that can be used to observe different features on surface of sand size grains. Surface of sand size garnet and quartz within the Permian sediments of the southern Australia were studied by S. E. M. Features on the surface of these grains were used, as indicator, for environmental interpretation. Chattermark trails on the surface of garnet and arc-shaped, steplike fractures, parallel and subparallel striations and conchoidal fractures on the surface of quartz grains indicate that these grains were transported and deposited in glacial environment. Therefore, based on these information and comparison of the surface features of garnet and quartz from the Permian sands with other recent and ancient glacial deposits from other parts of the world, it can be concluded that the Permian sediments of southern Australia were deposited in glacial environment.

مقدمه

اختصاصات بافتی رسوبات عبارت‌اند از اندازه‌دانه، شکل دانه (کروی و گردشدگی و بافت سطح دانه)، و جهت یابی آن‌ها در رسوبات. میکروسکوپ الکترونی می‌تواند به تشخیص بافت سطح دانه‌های رسوبی، که در محیط‌های مختلفی بر جای گذاشته شده‌اند، و نیز به تشخیص مکانیسم‌های مختلف حمل و نقل کمک نماید (1973).

اختصاصات بافتی رسوبات عبارت‌اند از اندازه‌دانه، شکل دانه (کروی و گردشدگی و بافت سطح دانه)، و جهت یابی آن‌ها در رسوبات. میکروسکوپ الکترونی می‌تواند به تشخیص بافت سطح دانه‌های رسوبی، که در محیط‌های مختلفی بر جای گذاشته شده‌اند، و نیز به تشخیص مکانیسم‌های مختلف حمل و نقل کمک نماید (1973).

رسوبات یخچالی از جمله رسوباتی هستند که می‌توان از بافت

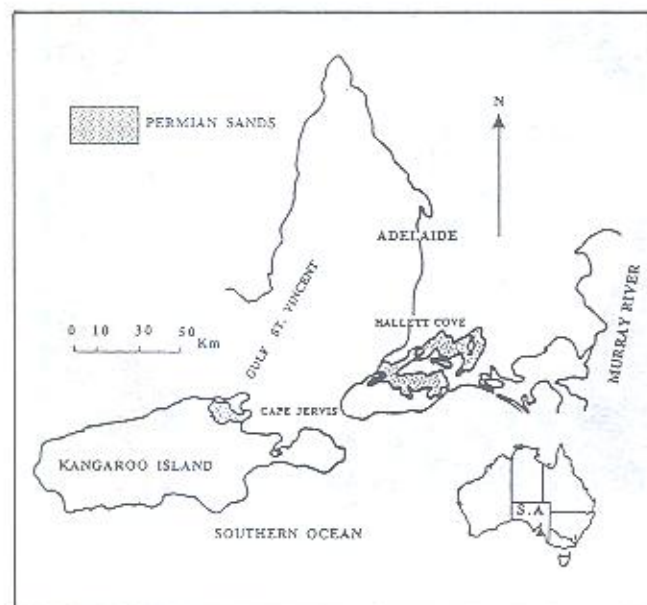
Application of surface texture of garnet and quartz grains in environmental interpretation: An examples from the Permian glacial deposits of southern Australia

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

محلول پلی تنگستات سدیم ریخته شدند و سپس با اضافه کردن تدریجی آب مقطر به محلول پلی تنگستات سدیم، این محلول تا حدی رقیق شد که فلدسپات‌ها در سطح شناور شدند و کوارتز در کف رسوب کرد. سپس دانه‌های کوارتز از محلول جدا و شسته شدند.

۵- دانه‌های گارنت در حد ماسه از دانه‌های روتیل و تورمالین توسط سوزن مخصوص حاوی چسب، با استفاده از میکروسکوپ دوچشمی، جدا شدند و در استون قرار داده شدند تا چسب به طور کامل حل شود. در این مرحله هم‌چنین با استفاده از میکروسکوپ دوچشمی، دانه‌های کوارتز نیز مجدداً مورد بررسی قرار گرفتند و با

شکل ۱- نقشه بخشی از استرالیای جنوبی که گسترش ماسه‌های پرمین در آن نشان داده شده است.



سطح دانه در تعمیر و تفسیر محیط رسوب گذاری آن‌ها به خوبی استفاده کرد

Krinsely and Takahashi, 1962; Coch and Krinsely, 1971; Krinsley and Trusty, 1985).

مچوریتی بافتی ماسه‌ها و بافت سطحی دانه‌های ماسه نشان دهنده محیط های بادی، یخچالی و رودخانه‌ای است. برای مثال، علائم خراشیدگی در سطح دانه‌های گارنت (chattermark- trails) می‌تواند نمایش دهنده محیط یخچالی باشد.

با وجود اینکه کانی‌شناسی ماسه‌های پرمین و سنگ‌های سرگردان (erratics) در این ماسه‌ها نشان دهنده منشأ و محیط رسوب گذاری یخچالی برای رسوبات ماسه‌ای پرمین استرالیای جنوبی است، ولی تغییرات کانی‌شناسی در توالی چینه‌شناسی و بافت سطح دانه در کانی‌های سبک (کوارتز) و سنگین (گارنت) اطلاعات مفیدی در مورد تاریخچه حمل و نقل، پایداری یخچال‌ها، و محیط رسوب گذاری ارائه می‌کند. لازم به ذکر است که گسترش رسوبات ماسه‌ای پرمین استرالیای جنوبی در شکل ۱ نشان داده شده است. هدف اصلی در این مقاله استفاده از بافت سطح دانه برای تعمیر و تفسیر محیط رسوب گذاری رسوبات پرمین استرالیای جنوبی است. نمونه‌های مورد مطالعه به طور سیستماتیک از توالی چینه‌شناسی ماسه‌های یخچالی پرمین در صحرا برداشت شده است. در آماده‌سازی نمونه‌ها برای مطالعه بافت سطح دانه با میکروسکوپ الکترونی، اقدامات زیر صورت گرفته است:

- ۱- ابتدا کانی‌های اوپاک که خاصیت مغناطیسی داشتند با دستگاه Frantz Electromagnetic Separator از سایر کانی‌ها جدا شد.
- ۲- به کمک محلول پلی تنگستات سدیم $(3Na_2WO_4 \cdot 4H_2O)$ با وزن مخصوص ۲/۹ کانی‌های سبک از کانی‌های سنگین جدا شدند.
- ۳- کانی‌های گارنت، روتیل و تورمالین نیز توسط محلول کالیچی (Celrics Solution) با وزن مخصوص ۴/۲ از سایر کانی‌های سنگین جدا شدند.
- ۴- برای جداسازی فلدسپات از کوارتز، کانی‌های سبک در

علائم خراشیدگی در سطح دانه‌های گارنت

علائم خراشیدگی در سطح دانه‌های گارنت به طور عمده به فرم اشکال موازی متمرکز هستند که بر اثر سایش در محیط‌های یخچالی تشکیل می‌شوند (شکل ۲، الف و ب). تعداد ۱۰۰ دانه گارنت از رسوبات یخچالی پرمین در استرالیا جنوبی توسط SEM مورد آزمایش قرار گرفت، که اکثر آن‌ها یک یا چندین نوع خراشیدگی در سطح داشتند (شکل ۲). Folk (1965) نشان داده است که آثار خراشیدگی در سطح دانه‌های گارنت بر اثر حمل و نقل توسط یخچال‌ها به وجود آمده‌اند و اظهار داشته است که این آثار احتمالاً بر اثر کشیده شدن دانه‌ها به یکدیگر در هنگام حمل و نقل، یا اینکه در هنگام حرکت سریع یخ‌ها در مقابل سنگ بستر به وجود آمده‌اند. وی هم‌چنین معتقد است که دانه‌های گارنت در نواحی غیر یخچالی فاقد این گونه علائم‌اند (Gravenor et al (1978)، تحقیق مشابهی برای مشاهده اثرات خراشیدگی در سطح کانی‌های کوارتز، زیرکن، تورمالین، و اپیدوت انجام دادند، لیکن هیچ‌گونه آثار خراشیدگی مشاهده نکردند به احتمال زیاد، وجود این آثار در سطح دانه‌های گارنت به دلیل سختی بالای این کانی بوده (۷/۵ در مقیاس سختی موس) و نیز کانی ایزوتروپ متداولی است که شکستگی جهت‌دار انتخابی ندارد (Folk (1965), Gravenor (1980). در بررسی‌هایی که بر روی رسوبات یخچالی اواخر پالئوزویک آفریقا، استرالیا، و قطب جنوب (Antarctica) انجام داد، به این نتیجه رسید که گارنت فراوان‌ترین کانی سنگین در این رسوبات است و سطح حدود ۳۳ درصد از دانه‌های گارنت هیچ‌گونه خوردگی شیمیایی ندارد و فقط خراشیدگی سطحی دارند بنابراین، خراشیدگی موجود در اثر حمل و

سوزن حاوی چسب برداشته شدند و در استون قرار داده شدند تا چسب آن حل شود سپس دانه‌های کوارتز و گارنت شسته و خشک شدند.

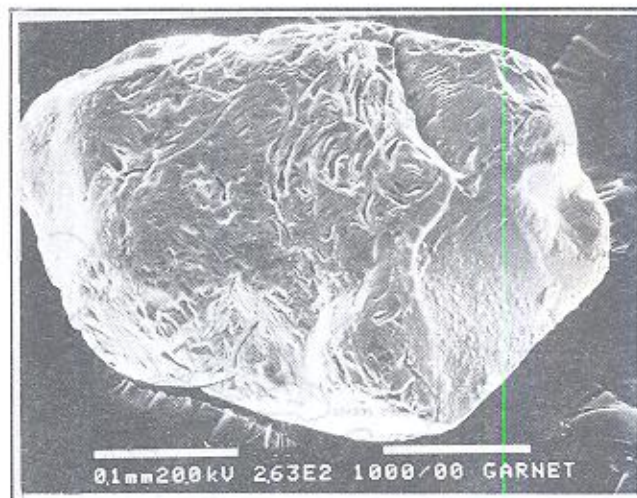
۶- پس از خشک شدن، دانه‌ها به مدت ده دقیقه در اسید کلریدریک ۵ درصد نرمال جوشانده شدند تا هرگونه مواد خارجی در سطح دانه‌ها وجود داشت از بین برود. مجدداً دانه‌ها چندین مرتبه شسته شدند و در حمام اولتراسونیک خشک گشتند.

۷- پس از خشک شدن، دانه‌ها بر روی ظرف مخصوص میکروسکوپ الکترونی چسبانده و باطلا پوشش داده شدند تا برای مطالعه با میکروسکوپ الکترونی آماده شوند.

لازم به ذکر است که در هنگام مطالعه دانه‌ها با میکروسکوپ الکترونی از دستگاه Energy Dispersive X-Ray (EDX) متصل به میکروسکوپ برای تأیید مجدد این که دانه‌ها دقیقاً کوارتز یا گارنت هستند نیز استفاده شد.

مورفولوژی سطح دانه

اشکال سطحی در دانه‌های کوارتز و گارنت شاخص‌های باارزشی در تفسیر محیط‌های رسوبی قدیم‌اند. از این گونه اشکال می‌توان استفاده کرد و تاریخچه یک دانه متفرد را در هر یک از محیط‌های رسوبی که دانه از آن گذشته است، تفسیر نمود (برای مثال، ممکن است دانه مدتی توسط یخچال‌ها حمل شده و سپس در محیط‌های بادی یا رودخانه‌ای قرار گرفته باشد). چنان که قبلاً اشاره شد، در این مطالعه، از میکروسکوپ الکترونی استفاده شده است تا بتوان با مطالعه بافت سطح دانه‌های کوارتز و گارنت موجود در رسوبات پرمین استرالیا جنوبی، محیط‌های رسوبی مختلف را تعبیر و تفسیر کرد.



شکل ۲- علائم خراشیدگی (chattermark trails) در سطح دانه‌های گارنت: الف - یک دانه گارنت که چندین خراشیدگی در سطح آن دیده می‌شود. ب- بخشی از نمونه الف با درشت‌نمایی بالاتر که حاوی چندین خراشیدگی است.

حمل شده‌اند در این مرحله، علائم خراشیدگی در سطح دانه‌ها تشکیل شده است. بدون شک این توالی در طی دوره‌های یخچالی پالئوزوئیک فوقانی، که احتمالاً برای مدت ۷۵ میلیون سال ادامه داشته است (1972 Frakes et al. 1975; Crowell and Frakes)، چندین مرتبه تکرار شده باشد. بنابراین، دانه‌های گارنت در رسوبات پرمین مسافت زیادی را طی کرده‌اند. بعضی از دانه‌های گارنت در سطح خوردگی (خوردگی شیمیایی) دارند و زاویه‌دار نیز هستند، و به نظر نمی‌رسد که بعد از خوردگی تحت تأثیر حمل و نقل قرار گرفته باشند. بنابراین آن‌ها یا مسافت کوتاهی را از منشأ طی کرده‌اند، یا این که منشأ موضعی نزدیک به محیط رسوب‌گذاری دارند باید توجه داشت که دانه‌های گارنت گردشده‌ای که در سطح خراشیدگی دارند نیز در رسوبات یخچالی پرمین استرالیای جنوبی زیادند، که به احتمال زیاد منشأ آن‌ها نزدیک به محل رسوب‌گذاری نبوده و ماسه‌ها مسافت کم و بیش طولانی را طی کرده‌اند.

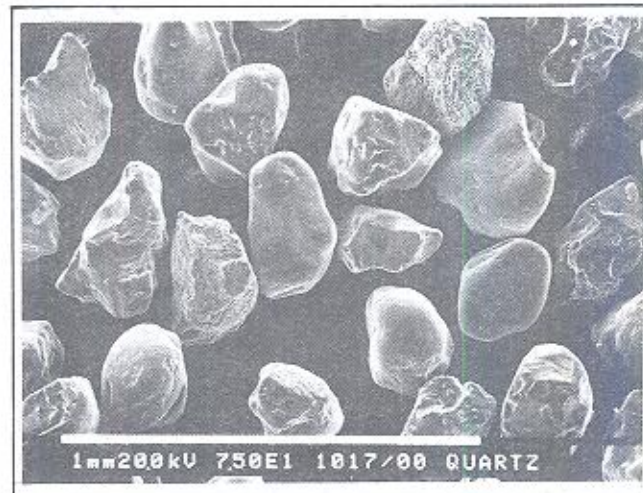
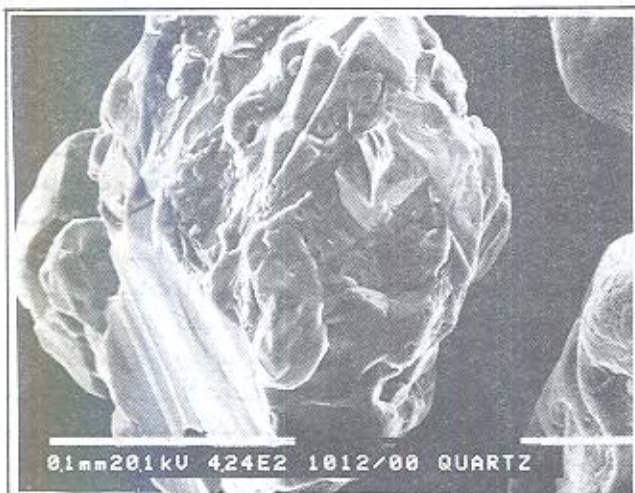
بافت‌های میکروسکوپی در سطح دانه‌های کوارتز

مطالعه دانه‌های کوارتز در اندازه‌ماسه از رسوبات یخچالی پرمین با میکروسکوپ الکترونیکی نشان داده است که حداقل دو نوع کوارتز با مورفولوژی‌های متفاوت وجود دارند که از یکدیگر قابل تفکیک‌اند (شکل ۳). دانه‌های کوارتز نوع اول خیلی زاویه‌دار تا نیمه‌زاویه دارند و اشکال کماتی شکل (arc-shaped)، شکستگی‌های پله مانند (steplike fractures) و سطوح شکستگی صدفی در سطح دارند (اشکال ۴ تا ۶). این علائم نشان دهنده آن است که آن‌ها تحت

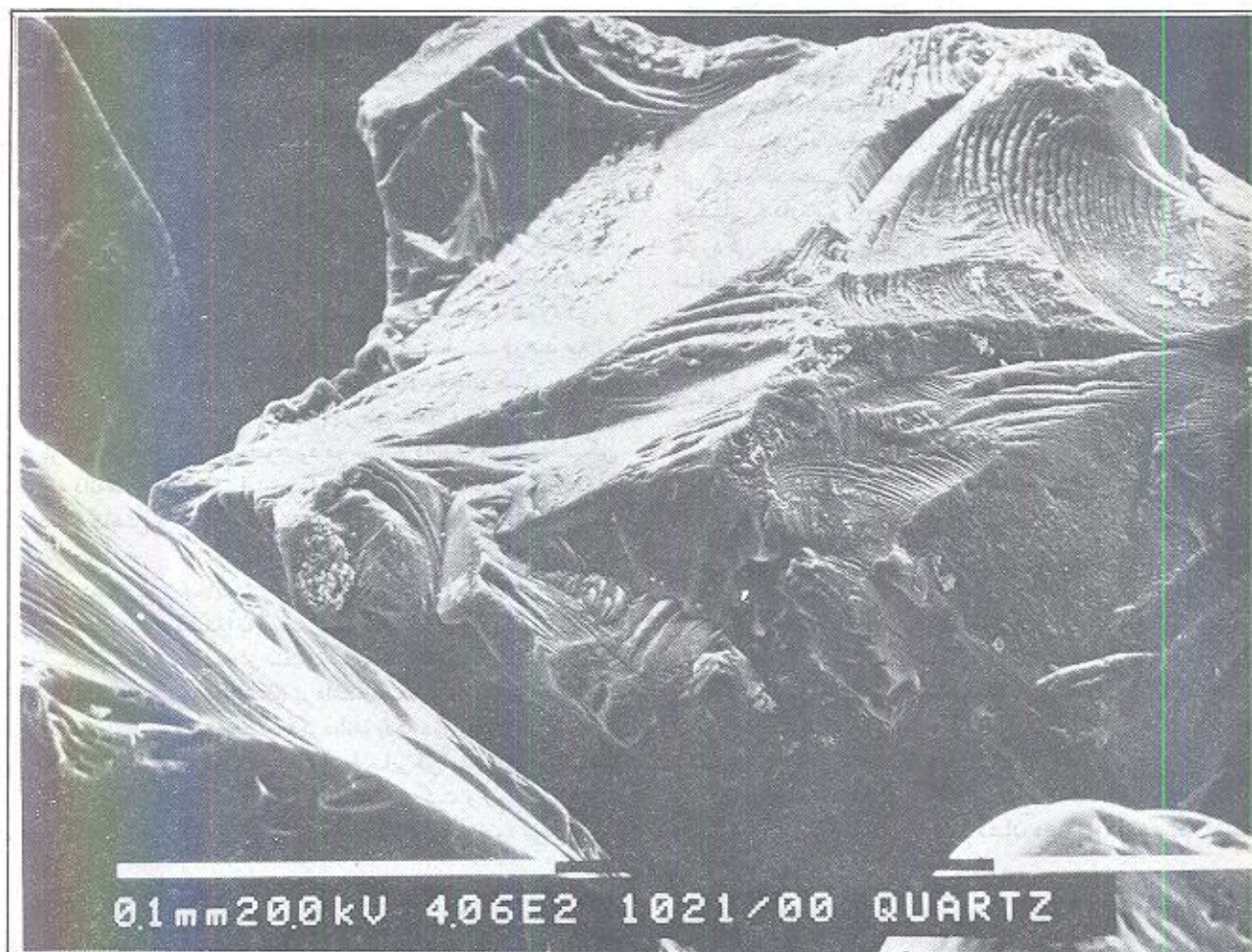
نقل در محیط‌های یخچالی ایجاد شده است.

Gravenor et al (1978), Folk (1975) اظهار داشتند که به نظر می‌رسد درصد دانه‌های گارنت با علائم خراشیدگی در ارتباط با مسافت حمل و نقل توسط یخچال بوده و احتمالاً این دانه‌ها مسافت خیلی زیادی را توسط یخچال‌های بزرگ طی می‌کنند. دانه‌های گارنتی که کاملاً خوردگی شیمیایی در سطح دارند، نظیر آن‌هایی که در رسوبات یخچالی اواخر پالئوزوئیک قطب جنوب و اردوئین سیرالئون و آفریقای جنوبی یافت می‌شوند (Gravenor 1980)، هیچ گونه خراشیدگی در سطح ندارند. نبود خراشیدگی‌ها در سطح دانه‌ها احتمالاً به دلیل تأثیر فرآیندهای شیمیایی است که باعث خوردگی و از بین رفتن علائم خراشیدگی در سطح دانه‌ها شده است. درصد علائم خراشیدگی با افزایش مدت زمانی که دانه توسط یخچال حمل می‌شود افزایش می‌یابد. بدون شک، شکستگی در طی حمل و نقل باعث از بین رفتن برخی از علائم قبلی موجود در سطح دانه‌ها می‌شود، لیکن همین که دانه‌ها به مرحله‌نهایی حمل و نقل نزدیک می‌شوند مقدار شکستگی کاهش و تعداد علائم خراشیدگی در سطح دانه‌ها افزایش می‌یابد.

گردش‌دگی و علائم خراشیدگی در سطح دانه‌های گارنت آواری پرمین نشان دهنده آن است که این دانه‌ها به احتمال زیاد به طور مستقیم توسط یخ از سنگ‌های بستر ابررقاره گندوانا (Gondwana Land) برداشته نشده‌اند. از این رو، دانه‌های گارنت مستقیماً توسط یخ رسوب نکرده‌اند، بلکه در ابتدا از سنگ‌های سپر گندوانا فرسایش یافته و سپس توسط سایر فرآیندهای مکانیکی (برای مثال، رودخانه) از جای خود مجدداً حرکت و رسوب‌گذاری کرده و در خاتمه، بر اثر پیش‌رفت مجدد یخ، از جای خود برداشته و



شکل ۳- مورفولوژی دانه‌های کوارتز که دانه‌ها به صورت نیمه‌زاویه‌دار تا گردشده هستند و آثار خراشیدگی در سطح دانه‌های با گردش‌دگی کمتر دیده می‌شود سطح دانه‌های گردشده فاقد هرگونه خطوطی است که مؤید حرکت و رسوب‌گذاری در محیط‌های با انرژی جنبشی بیش‌تر (برای مثال رودخانه) می‌باشد
شکل ۴- خطوط موازی و نیمه‌موازی در سطح دانه کوارتز. هم‌چنین سبلیس ثانویه که در سطح دانه رسوب کرده است در این شکل دیده می‌شود



شکل ۵- خطوط کمّانی پله مانند در سطح دانه کوارتز در گوشه بالای سمت راست تصویر دیده می‌شود

حمل و نقل بادی مجدداً از رسوبات یخچالی غیرهوازده برداشته شده و به طور موضعی پراکنده شده‌اند

Mazzulla and Anderson (1987) نشان دادند که تغییر در شکل دانه‌های کوارتز از زاویه‌دار به نیمه گرد شده بر اثر مشتق شدن آن‌ها از تیل‌ها یا رسوبات یخچالی- دریایی است. آن‌ها اظهار داشتند که بیش‌تر دانه‌های کوارتز یخچالی- دریایی دارای ظاهری زاویه‌دار و بی‌نظم‌اند، و فقط مقدار کمی از ماسه‌های یخچالی- دریایی شکل نیمه گرد شده دارند. به طور کلی باید توجه داشت که تمام دانه‌هایی که توسط یخچال‌ها خرد شده‌اند دارای خراشیدگی بیش‌تر و لبه‌های تیزتر از سایر دانه‌هایی هستند که در محیط‌های ساحلی، بادی، و رودخانه‌ای رسوب کرده‌اند. مطالعات انجام شده بر روی ماسه‌های پرمین نشان داده است که بیش از ۵۰ درصد از دانه‌های کوارتز در این ماسه‌ها آثاری از خراشیدگی و سایش دارند و کم‌تر از ۵۰ درصد بقیه هیچ‌گونه آثاری از خراشیدگی ندارند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که دانه‌های بدون خراشیدگی مؤید حمل و نقل کوتاه‌اند. تصور می‌شود که اشکال کمّانی، پله‌ای، و هلالی از اشکال سایشی، و مشابه اشکالی

تأثیر فرسایش شدید قرار گرفته و توسط یخچال‌ها تا مسافتی بر روی کف بستر کشیده شده‌اند، و سپس در سایر محیط‌های آبی دوباره به حرکت درآمده و رسوب کرده‌اند. بنابراین، علائم موجود در سطح دانه‌ها نشان می‌دهد که بیش‌تر ماسه‌های پرمین ممکن است از رسوبات یخچالی قاره‌ای مشتق شده باشند. شیارهای موازی با طول متفاوت در سطح دانه‌ها بسیار فراوان‌اند و یکی از بهترین خصوصیات برای شناسایی رسوبات با منشأ یخچالی به شمار می‌روند (شکل ۴) که به احتمال زیاد بر اثر کشیده شدن دانه‌ها بر روی کف بستر حاصل شده‌اند. دانه‌های کوارتز نوع دوم گرد شده تا نیمه گرد شده‌اند. این نوع مورفولوژی معمولاً توسط فرایندهای مکانیکی در محیط‌های رودخانه‌ای یا بادی تشکیل می‌شود (شکل ۳). بافت نوع دوم در سطح دانه‌های کوارتز در ماسه‌های پرمین می‌تواند مؤید فرضیه موضعی پراکندگی مجدد دانه‌های ماسه بر اثر افزایش فعالیت‌های بادی در طی رسوب‌گذاری رسوبات یخچالی باشد، که توسط Mahaney et al. (1988b) ارائه شده است. آن‌ها اظهار داشتند که به نظر می‌رسد مقادیر زیادی از دانه‌های کوارتز خرد شده توسط فرایندهای



شکل ۶- خطوط کمائی پله مانند و سطح شکست مدفی در گوشه بالای سمت راست این دانه کوارتز دیده می‌شود

Langway, 1980; Whalley and Krinsley, 1974; Williams and Morgans 1993).

برخی از دانه‌های کوارتز آثار ته‌نشینی سیلیس در سطح دانه را نشان می‌دهد که نشان دهنده رسوبات مورنی (morains) است. تصور می‌شود که ته‌نشینی سیلیس در سطح دانه‌ها بر اثر فشار بالا در محل تماس بین دانه‌ها بوده باشد که تولید یک شبکه به هم ریخته فعال بزرگ‌تر در کوارتز می‌کند. در PH بالاتر از ۹، کوارتز آمورف به سادگی به حالت محلول در می‌آید بنابراین، مقادیر کمی از آب موئینه (آب بین ذره‌ای) در رسوبات تحت فشار ممکن است شرایط مناسبی را برای انحلال سیلیس از دانه‌های کوارتزی که شبکه به هم ریخته دارند ارائه کند. به ویژه، این شرایط احتمال دارد تا در جایی که یک دانه فلدسپات در فشار بالا در محل تماس با دانه کوارتز باشد به وقوع پیوندد (Whalley and Krinsley, 1964). در خاتمه می‌توان اظهار داشت که بافت سطح دانه‌های کوارتز در ماسه‌های پرمین نشان دهنده این است که آن‌ها تحت تاثیر چندین مرحله خردشدگی و سایش یخچالی قرار گرفته‌اند

باشند که در سطح دانه‌های کوارتز موجود در دیامیکتون (diamicton) سانی بروک (Sunnybrook) در آمریکا نیز مشاهده شده است (Mahaney 1990). این اشکال ممکن است بر اثر فشار موجود در داخل یخ‌ها در طی حمل و نقل یا جا به جایی در زیر یخ‌ها تشکیل شده باشند (Mahaney et al. 1988a,b). هم‌چنین زاویه دار بودن لبه‌های این دانه‌ها اغلب نشان دهنده آن است که آن‌ها ممکن است توسط یخ‌های قاره‌ای به صورت تیل‌های قاعده‌ای رسوب کرده باشند و حمل و نقل زیاد نیز صورت نگرفته باشد (Mahaney et al. 1988a,b).

رشته‌های پله‌ای و کمائی نیمه موازی، که در شکل ۵ نشان داده شده است، در سطح دانه‌های کوارتز در ماسه‌های پرمین به گمان یکی از خواص موروثی دانه‌هاست که تصور می‌شود در ارتباط با جهت شکستگی دانه نیز هست. این دانه‌ها، هم از نظر بزرگی علائم خراشیدگی در سطح دانه و هم از نظر زاویه دار بودن اشکال، شبیه به دانه‌هایی هستند که از رسوبات یخچالی شناخته شده در نقاط دیگر دنیا گزارش شده‌اند

(Krinsley and Donahue, 1968; Whalley, 1978; Whalley and

نتیجه گیری

حمل شده و در محیط های یخچالی به صورت تیل ها یا رسوبات رودخانه ای- یخچالی و سپس بادی برجای گذاشته شده اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله براساس بخشی از کارهای تحقیقاتی دوره دکتری آقای اسدا ۰۰۰ گرانمایه گرد آمده و با تغییراتی در این جا ارائه شده است. در این جا لازم می دانیم از معاونت امور دانشجویی وزارت فرهنگ و آموزش عالی که امکانات انجام این پروژه را به صورت بورس دکتری برای آقای گرانمایه فراهم نموده اند تشکر نماییم. هم چنین برخود لازم می دانیم از مسئولین گروه زمین شناسی دانشگاه آدلاید، استرالیا، به ویژه پرفسور ویکتور گاستین، که در انجام این پروژه کمال مساعدت را نموده اند، تشکر کنیم.

یافت سطح دانه های در اندازه ماسه گارنت و کوارتز از رسوبات پرمین استرالیای جنوبی به وسیله میکروسکوپ الکترونی (SEM) مورد مطالعه قرار گرفته است. بیش از ۵۰ درصد از دانه های گارنت آثار خراشیدگی در سطح دارند که بر اثر کشیده شدن دانه ها به یکدیگر در هنگام حمل و نقل یا کشیده شدن دانه ها بر روی سطح بستر سخت توسط یخ ها ایجاد شده اند. آثار موجود در سطح دانه های کوارتز عبارتند از: خطوط موازی و نیمه موازی، اشکال کمانی شکل، شکستگی های پله مانند، و شکستگی های صدفی، که مؤید سایش شدید و کشیده شدن آن ها به یکدیگر و کف بستر است. در خاتمه با استفاده از آثار موجود در سطح دانه های گارنت و کوارتز می توان چنین نتیجه گرفت که رسوبات ماسه ای پرمین استرالیای جنوبی توسط یخچال ها

References

- Bull, B. A., 1981- Environmental reconstruction by scanning electron microscopy. *Progress in Physical Geography*, V. 5, no. 3, 368- 397.
- Coch, N., and Krinsley, D., 1971- Comparison of stratigraphic and electron microscopic studies in Virginia, Pleistocene sediments. *Journal. Geology*, V. 79, 426- 437.
- Crowell, J. C., and Frakes, L. A., 1972- Late Palaeozoic glaciation of Australia, *Journal. Geol. Soc. Australia*, V. 17 (2), 115-155.
- Folk, R. L., 1975- Glacial deposits identified by chattermark trails in detrital garnets. *Geology*, V. 3, 473- 475.
- Frakes, L. A.; Kemps, S. M., and Crowell, J. C., 1975- Late paleozoic glaciation, Part III. Antarctica. *Geol. Soc. America. Bull.* V. 82, 1581- 1604.
- Gravenor, C. P., 1980- Chattermarked garnets and heavy minerals from the Late Paleozoic glacial deposits of southeastern Brazil; *Can. Journal of Earth Science*, V. 17, 156- 160.
- Gravenor, C. P., 1980- The nature of the Late Paleozoic glaciation in Gondwana as determined from an analyses of garnets and other heavy minerals; *Reply Can Journal of Earth Sci.*, V., 284- 286.
- Gravenor, C. P., Mclellain, T. A., and Stupavsky, M., 1978- Chattermark trails on heavy minerals in glacial sediments. *Geology*, V. 6, 61- 63.
- Krinsley, D. H., and Donahue, J., 1968- Environmental interpretation of sand grain surface texture by electron microscopy. *Geological Society of America Bulletin*, V. 79, 743- 748.
- Krinsley, D. H., and Doornkamp, J. C., 1973- *Atlas of quartz sand surface textures*. Cambridge, England, Cambridge University Press, 91p.
- Krinsley, D. H., and Takahashi, T., 1962- The surface texture of sand grain: An application of electron microscopy. *Science*, V. 135, 23- 25.
- Krinsley, D., and Trusty, P., 1985- Environmental interpretation of quartz grain surface textures. G. G. Zuffa (ed.), *Provenance of Arenites*, 213- 229.

- Mahaney, W. C., 1990- Macrofabrics and quartz microstructures confirm glacial origin of Sunnybrook drift in the Lake Ontario basin. *Geology*, V. 18, 145- 148.
- Mahaney, W. C., Vortisch, W. B., and Julig, P., 1988a- Relative differences between glacially crushed quartz transported by mountain and continental ice:some examples from North America and East Africa. *American Journal of Science*, v. 288, 810- 826.
- Mahaney, W. C., Vortisch, W. B., and Spence, J. R., 1988b- Pollen study and scanning electron microscopy of aeolian grains in a compound paleosol in the Mutonga drainage, Mount Kenya. *Journal of African Earth Sciences*, v. 7, 895-902.
- Margolis, S. V., and Kennett, J. P., 1971- Cenozoic paleoglacial history of Antarctica recorded in subantarctic deep- sea cores. *American Journal of Science*, v.271, 1-36.
- Margolis, S. V., and Krinsley, D. H., 1974- Processes of formation and environmental occurrence of microfractures on detrital quartz grains. *American Journal of Science*, v. 274, 449- 464.
- Mazzullo, J., and Anderson, J. B., 1987- Grain shape and surface texture analysis of till and glacial marine sand grains from the Weddell and Ross Seas, Antarctica. *Clastic particles, Scanning electron microscopy and shape analysis of sedimentary and volcanic clasts* (edited by Marshall, J. R), 314- 327.
- Whalley, W. B., 1978- An SEM examination of quartz grains from sub- glacial and associated environments and some methods for their characterization. *Scanning Electron Microscopy*, v. 1, 353- 360.
- Whalley, W. B., and Langway, C. C., 1980- A scanning electron microscope examination of subglacial quartz grains from Camp Century core, Greenland: A preliminary study. *Journal of Glaciology*, V. 25(91), 125- 131.
- Whally, W. B., and Krinsley, D. H., 1974- A scanning electron microscope study of surface textures of quartz grains from glacial environments. *Sedimentology*, v. 21, 87- 105.
- Williams, A. T., and Morgan, P., 1993- Scanning electron microscope evidence for offshore- onshore and transport at Fire Island, N. Y, U.S.A. *Sedimentology* ,v. 40(1), 63- 77.

✱ گروه زمین شناسی دانشگاه آدلاید، استرالیا و گروه زمین شناسی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
✱✱ گروه زمین شناسی دانشگاه آدلاید، استرالیا و گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

* Department of Geology and Geophysics, Adelaide University, Australia and Department of Geology, Shahid Beheshti University, Teheran, Iran.

** Department of Geology and Geophysics, Adelaide University, Australia and department of Geology, Mashhad University, Mashhad, Iran.

