

نقش سیمانی شدن و فشردگی در میزان تخلخل ماسه سنگهای ژوراسیک میانی، در کمر بند رخنمونی شمال شرق ایران

مهدی رضا پورسلطانی^{۱*}، رضا موسوی حرمی^۲

^۱ گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، خراسان رضوی، ایران

^۲ گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

*مسئول مکاتبات - آدرس الکترونیکی: mrpoursoltani@gmail.com

(دریافت: ۸۸/۱۰/۱؛ پذیرش: ۸۹/۵/۱۱)

چکیده

سازند سیلیسی آواری کشف رود (ژوراسیک میانی)، در حوضه رسوبی کپه داغ، در منطقه مورد مطالعه بطور ناهم شیب بر روی سنگهای رسوبی آذر آواری تریاس (سازند سینا) و بر روی سنگهای اولترابازیک قدیمی تر قرار گرفته است. این سازند بطور هم شیب توسط سازند کربناته مزدوران (آکسفوردین-کیمریجین) پوشیده شده است. بر اساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، سه مجموعه رخساره (در قالب ۱۲ رخساره سنگی) شناسایی گردیده که در محیط رودخانه ای-دلتایی و توربیدیتی نهشته گردیده اند. ماسه سنگها بطور عمده لیتیک آرکوز و فلدسپاتیک لیت آرنایت غنی از خرده سنگهای ولکانیکی و رسوبی هستند. مهمترین سیمانهای شناسایی شده اکسید آهن، کربناتها (کلسیت، دولومیت، سیدریت و آنکریت)، سیلیس، کانیهای رسی (کائولن، ایلیت، سریسیت و عمدتاً کلریت)، پیریت و ندرتاً باریت است. بنابر این سیمانی شدن و فشردگی (شیمیایی و مکانیکی) می تواند از عوامل کاهنده تخلخل این سازند محسوب گردد. بر اساس مطالعات پترولوژیکی و ژئوشیمیایی، تاریخچه دیاننتیکی ماسه سنگهای کشف رود را چنین تفسیر نموده ایم که شامل مراحل دیاننز اولیه، دفنی عمیق و انتهایی است. بر اساس شمارش نقطه ای ۱۵۰ مقطع نازک، میانگین تخلخل در حدود ۲۷٪ می باشد. تخلخل موجود بطور عمده ثانویه بوده که در اثر دگرسانی فلدسپاتها، میکاها و خرده سنگهای ولکانیکی، انحلال کربناتها و در برخی جاها فلدسپاتها و شکستگی حاصل شده است. ما معتقدیم که با میزان پایین تخلخل، ماسه سنگهای کشف رود دارای پتانسیل مخزنی پایینی می باشند. نتایج حاصل بر مبنای مطالعات سطح الارضی بوده، و امکان تغییر در عمق نیز وجود دارد. بنابر این، امیدواریم که نتایج این تحقیق بتواند در مطالعات اکتشافی بعدی، در شرق حوضه کپه داغ مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: شمال شرق ایران، ژوراسیک میانی، تخلخل، سازند کشف رود، دیاننز.

مقدمه

باژوسین، در حوضه رسوبی کپه داغ، با میزان ماسه سنگ نسبتاً بالا معرفی شده است (پورسلطانی و همکاران، ۱۳۸۵) (Poursoltani & Gibling, 2006; Poursoltani et al. 2007; Madani 1977) ، لذا مطالعه ماسه سنگهای ضخیم لایه با گسترش زیاد مربوط به مخروطهای زیر دریایی در برخی مناطق این سازند، نقطه عطفی جهت متمرکز نمودن مطالعات سنگ شناسی بر روی رخساره های ماسه سنگی (این سازند است. بنا بر این مطالعات دقیق سنگ شناسی، خصوصاً با تأکید بر فرآیندهای دیاننتیکی، همچون سیمانی شدن و فشردگی و تأثیر آنها در کاهش و یا افزایش تخلخل حائز اهمیت است. منطقه مورد مطالعه در شمال شرق ایران و در جنوب ناحیه سرخس واقع است (شکل ۱).

در صورتی که ماسه سنگها دارای گسترش جانبی و ضخامت قابل توجهی باشند، می توان تخلخل و نفوذ پذیری نیز به منظور سنگ مخزن مواد هیدروکربوری مورد نظر قرار می گیرند، که در این راستا مطالعات سنگ شناسی دقیقی را باید انجام داد. ترکیب سنگ نیز بسیار حائز اهمیت است، بنا بر این سنگهای در حد آرکوز، لیتیک آرکوز، فلدسپاتیک لیت آرنایت و لیت آرنایت معمولاً بیشتر تحت تاثیر فرآیندهای دیاننتیکی واقع شده، و قابلیت بهتری از نظر ایجاد تخلخل و یا افزایش آن داشته که از نظر اقتصادی اهمیت دارد (پورسلطانی و موسوی حرمی، ۱۳۸۷؛ Poursoltani et al. 2006).

نظر به اینکه سازند کشف رود به عنوان یک سازند رودخانه ای-دلتایی تا توربیدیتی، دارای ۱۲ رخساره سنگی، با سن باتونین -

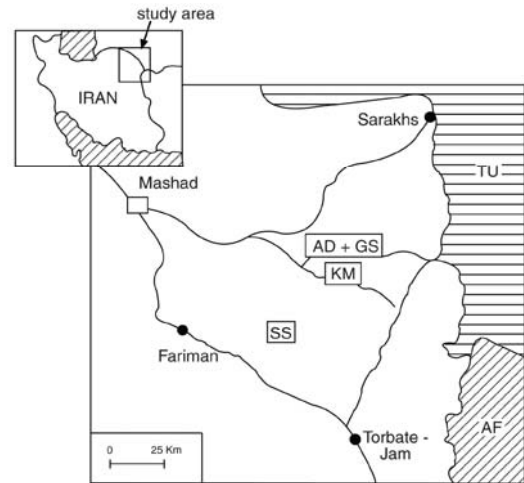
ای، طولی، محدب - مقعر و مفرس شده، که کنتاکت محدب- مقعر بیشترین نوع آن است (شکل A-B2). از دیگر دانه های اصلی شناسایی شده که دارای نسبت زیادی است فلدسپات می باشد که از این میان بیشتر دانه ها از نوع فلدسپات پتاسیم دار (ارتوکلاز) است. خرده سنگهای شناسایی شده نسبت به کوارتز و فلدسپات درصد کمتری را تشکیل می دهند. عمده خرده سنگهای شناسایی شده از نوع رسوبی است که از این میان خرده سنگهای کربناته و چرت بیشترین نوع می باشند. خرده سنگهای رسوبی کربناته در بسیاری از مقاطع قابل شناسایی است که حاصل فرسایش سنگهای کربناته قدیم تر است، اما هیپگونه فسیلی جهت تعیین سن احتمالی آنها شناسایی نشده است. از خرده سنگهای رسوبی دیگر نیز می توان به ماسه سنگ، شیل و سیلت استون اشاره نمود. خرده سنگهای شیلی و سیلت استونی احتمالاً بیشتر درون حوضه ای بوده و حاصل فرسایش لایه های زیرین است. بعلاوه خرده سنگهای آذرین شناسایی شده است که بطور عمده از نوع حد واسط و بازیکی اند، و از سنگهای قدیم تر حاصل شده اند. خرده سنگهای دگرگونی نیز از دیگر اجزاء شناسایی شده می باشند که نسبت به سایر خرده سنگها درصد کمتری دارند. خرده سنگهای دگرگونی عمدتاً کوارتز پلی کریستالین دگرگون شده است.

بیوتیت و مسکویت نیز از کانیهای فرعی بوده که در برخی از نمونه ها دگرسان شده اند و منشأ آهن، منیزیم و کانیهای رسی همچون کلریت محسوب می گردند (شکل C2). کانیهای سنگین درنمونه های مورد مطالعه نادر بوده، اما آنچه مورد شناسایی قرار گرفته است شامل زیرکان، اسفن و گارنت است، گرچه گاهی تورمالین نیز شناسایی شده است، که از این میان زیرکان بیشترین نسبت را دارا است.

در بسیاری از مقاطع اثراتی از خرده های فسیلی همچون مرجان، جلبک، گاستروپود و براکیوپود شناسایی شده است. خرده های فسیلی شناسایی شده احتمالاً حاصل فرسایش سنگهای آهکی دیرینه است که در منشأ رخنمون داشته اند.

میزان ماتریکس در ماسه سنگهای سازند کشف رود متغیر بوده و از کمتر از یک درصد تا حدود ۱۹٪ در تغییر است. در میان رخساره های شناسایی شده، عمدتاً ماسه سنگهای خیلی ریز تا ریز بیشترین درصد ماتریکس را داشته که مربوط به ماسه سنگهای نازک لایه است.

سیمانهای شناسایی شده در ماسه سنگهای سازند کشف رود متنوع است. از عمده سیمانهای شناسایی شده اکسید آهن، کربناته (کلسیت، دولومیت، سیدریت و آنکریت)، سیلیس، رس و گاهاً پیریت است، گرچه ندرتاً باریت در برخی نمونه ها شناسایی گردیده است، که میزان آن بسیار ناچیز بوده و قابل اندازه گیری نیست، لیکن توسط مطالعات ژئوشیمیایی شناسایی شده است. شکل ۳، نمودار رسم شده توسط میکروسکوپ الکترونی است، که جهت صحت وجود کانی باریت بعنوان



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در حوضه رسوبی کبه داغ (شمال شرق ایران). برش های برداشت شده نیز نشان داده شده است AD (آق دربند)، GS (قلعه سنگی)، KM (کل ملک آباد)، SS (سفید سنگ).

روش مطالعه

به منظور مطالعات سنگ شناسی، از چهار برش آق دربند، قلعه سنگی، سفید سنگ و کل ملک آباد بطور سیستماتیک تعداد ۷۵۰ نمونه ماسه سنگی برداشت شده است که از این میان تعداد ۳۰۰ مقطع نازک جهت مطالعات سنگ شناسی انتخاب شده اند. نامگذاری ماسه سنگها بر مبنای طبقه بندی فولک (Folk 1980) انجام شده است. در این تحقیق تعداد ۱۰ نمونه نیز با روکش سربی جهت مطالعه با میکروسکوپ الکترونی مدل JKA-8200 مجهز به دستگاه WDX، برش ماکروپروب جهت مطالعات ژئوشیمیایی در دانشگاه دالهاوزی کانادا مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین تعداد ۱۵۰ نمونه از برش کل ملک آباد با چسب اپاکسی که به رنگ آبی آغشته شده اند، جهت تعیین تخلخل تهیه و مورد مطالعات قرار گرفته است.

مطالعات پتروگرافی

طی مطالعات انجام شده، دانه های آواری (شامل کوارتز، فلدسپات، انواع خرده سنگها و کانیهای فرعی)، ماتریکس و سیمانهای موجود شناسایی شده اند، که در نمونه های مورد مطالعه دارای درصد های متفاوتی هستند (جدول ۱). گفتنی است کلیه نتایج پتروگرافی به تفکیک برای هر یک از نمونه ها موجود است، که از حوصله این مقاله خارج است.

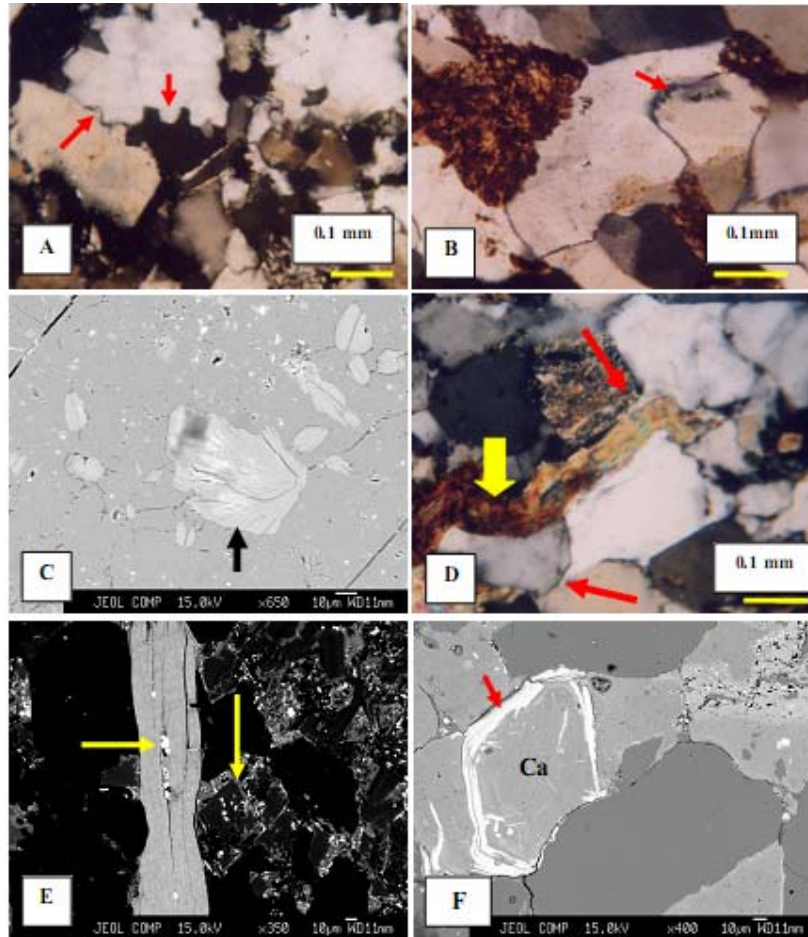
دانه های کوارتز عمدتاً از نوع منوکریستالین است، هرچند در برخی نمونه ها انواع کوارتز پلی کریستالین نسبت بالایی را دارد. عامل فشردگی باعث ادغام دانه ها از جمله دانه های کوارتز در یکدیگر گردیده، که در نهایت باعث تغییر شکل دانه های اولیه شده است. همچنین میزان فشردگی، باعث تنوع تماس دانه ها از نوع تماس نقطه

در حد نابالغ و فوق بالغ نیز شناسایی شده اند. بنا بر نوع دانه ها، بلوغ بافتی، نوع سیمان، اندازه دانه ها و وجود کانیهای فرعی، ماسه سنگهای سازند کشف رود، بر مبنای طبقه بندی پنجگانه فولک (Folk 1980) نامگذاری شده اند. لذا تمرکز ماسه سنگها در محدوده های لیتیک آرکوز (۳۰٪)، فلدسپاتیک لیتارنایت (۴۴٪) و لیتارنایت (۲۶٪) است، که از این میان لیتارنایت ها به ویژه نوع سد آرنایت (چرت آرنایت و کلک لیتایت) و ولکانیک آرنایت شناسایی شده اند (شکل ۴).

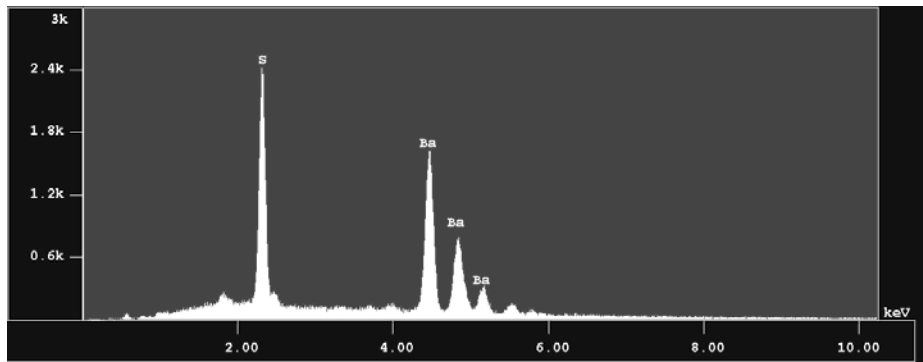
یک سیمان نادر، حاصل شده است. در این نمودار عناصر S و Ba تشخیص داده شده اند. از میان سیمانهای مذکور اکسید آهن فراوان ترین نوع بوده و سیمان رسی کمترین فراوانی را دارد. اندازه دانه ها در ماسه سنگها متغیر بوده و از خیلی ریز تا خیلی دانه درشت تغییر می کند، اما عمدتاً دانه متوسط و دانه ریزند، گرچه برخی از ماسه سنگها دانه درشت و خیلی دانه درشت بوده، که درصد چشمگیری را بخود اختصاص می دهد. بلوغ بافتی ماسه سنگهای این سازند عمدتاً بالغ تا نیمه بالغ است، گرچه ماسه سنگهای دارای بلوغی

جدول ۱: میانگین فراوانی دانه های تشکیل دهنده و سیمان و ماتریکس موجود در ماسه سنگ های سازند کشف رود بر حسب درصد (در ستون اول درصد دانه ها، ماتریکس و سیمان در کل سنگ بر آورد گردیده است. اما در ستون دوم دانه ها و سیمانها بطور مجزا درصد گیری شده اند. بطوریکه درصد هر نوع دانه نسبت کل دانه ها و هر نوع سیمان نسبت به کل سیمان موجود محاسبه شده است.)

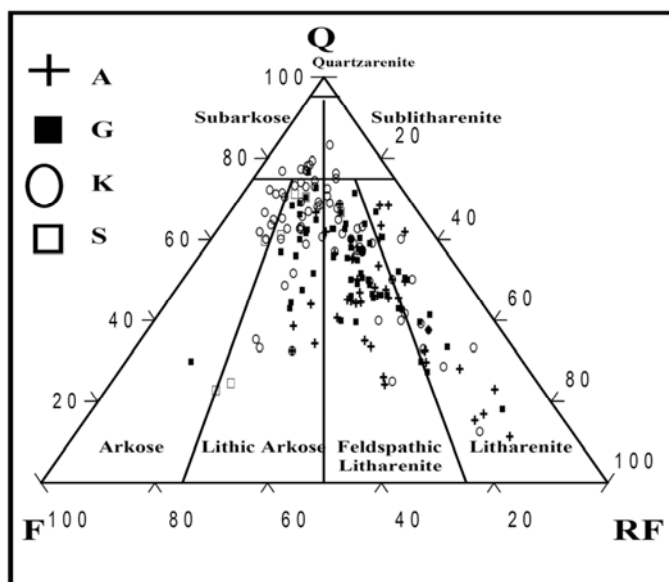
MONOCRYSTALI NE (35.26)	(QUARTZ) 52.66 (MAX: 78.9-MIN: 33)		
POLYCRYSTALI NE (17.4)			
ORTHOCLEASE (16.71)	FELDSPARS (23.37)		
PLAGIOCLASE (6.66)	(MAX: 36.6-MIN: 9.9)		
CHERT (6.8)	SEDIMENTERY (12.43)		
CARBONATE (4.48)	(MAX: 43.6-MIN: 1.5)		
SANDSTONE & SHALE (1.15)		ROCK FRAGMENTS (20.61)	
	VOLCANIC (5.58)		GRAIN S (74.2%)
	(MAX: 9.3- MIN: 0)		
	METAMORPHIC (2.6)		
	(MAX: 4.9- MIN: 0)		
		MICA (3.16)	
		HEAVY MINERALS (RARE)	
		FOSSIL FRAGMENTS (RARE)	
			MATRI X (~6.7%)
		Fe-OXIDE (38.35)	
		CARBONATES (30.04)	
		SILICA (22.29)	CEMEN T (19%)
		CLAY (8.32)	
		PYRITE (RARE)	
		BARITE (RARE)	



شکل ۲: تماس دانه های کوآرتز: (A) تصویر میکروسکوپی از تماس مضرس، (B) تصویر میکروسکوپی از تماس محدب - مقعر (X400)، (C) بخشی از یک دانه فلدسپات دگرسان شده و تشکیل کانی کلریت، بر مبنای آنالیز عنصری WDX، (D) انحلال فشاری و ایجاد سیمان سیلیسی و نفوذ آن به داخل فضای بین دانه ها (فلش های قرمز)، فلش ضخیم تر کانی میکا که در اثر فشار تغییر شکا داده است را نشان می دهد، (E) گرهک های اکسید آهن داخل میکا (فلش افقی)، کانی های دولومیت در مجاورت کانی تشکیل گردیده است (فلش عمودی)، این شناسایی ها بر مبنای آنالیزهای ژئوشیمیایی WDX صورت گرفته است. (F) هاله اکسید آهن بدور دانه کربناته (Ca)، (هاله اکسید آهن با فلش نشان داده شده است). (تصاویر C, D, E, F به روش Back scattered تهیه شده اند).



شکل ۳: کانی باریت ندرتاً در ماسه سنگهای سازند کشف رود بصورت سیمان ظاهر گردیده است. عناصر S و Ba که در ساختمان ملکولی عنصر باریت شرکت نموده اند توسط نمودار مشخص شده است (نمودار توسط میکروسکوپ الکترونی تهیه شده است).



شکل ۴: طبقه بندی ماسه سنگهای سازند کشف رود بر اساس طبقه بندی فولک (۱۹۸۰) (جهت اطلاعات بیشتر به متن مراجعه شود). (A) ماسه سنگهای برش آق دربند، (G) ماسه سنگهای برش قلعه سنگی، (K) ماسه سنگهای برش کل ملک آباد، (S) ماسه سنگهای برش سفید سنگ [اختلاف در علائم صرفاً جهت نمایش فراوانی نمونه ها در برشهای مختلف است].

انواع سیمانها

همانگونه که قبلاً اشاره شد، سیمانهایی که مورد شناسایی قرار گرفته اند، به ترتیب فراوانی آنها، شامل اکسید آهن، کربنات، سیلیس، کانیهای رسی و به مقدار بسیار کم پیریت است.

۱ - اکسید آهن

یکی از فراوانترین سیمانها در ماسه سنگهای سازند کشف رود اکسید آهن با میانگین ۳۸ درصد از سیمانها است، که بین دانه ها را پر نموده است. در جدول ۲ نتایج آنالیز برخی از نمونه ها با ماکروپروب نشان داده شده است. لذا بدلیل اینکه در برخی بخشها اکسید آهن قابل تشخیص نبوده، لذا سعی گردیده است مطالعات ژئوشیمیایی نیز بر روی آنها انجام گیرد. نتایج برخی از این آنالیزها در جدول ۲ آورده شده است. همانطور که مشهود است میزان FeO نسبت به دیگر اکسیدهای شناسایی شده موجود بسیار بالا است که مؤید حضور اکسید آهن می باشد. یون آهن موجود می تواند از منابع متفاوت تأمین شده باشند که عبارتند از:

الف) حاصل دگرسانی کانیهای فرومنیزیم همچون میکا و خرده سنگهای اولترابازیکی است. در رخساره های سازند کشف رود، دگرسانی میکا می تواند باعث آزاد سازی یون آهن گردیده باشد که بر اثر افزایش آنها، گرهکهایی از آن در مجاورت و یا داخل دانه های میکا تشکیل شده است (شکل ۲E). برای مثال می توان به مطالعات مشابهی که توسط مراد و آلداهام (Morad & Aldaham 1986)، بر روی رسوبات ماسه سنگی پروتروژوئیک سودان انجام شده است اشاره کرد.

ب) یون آهن که ممکن است از هوازدگی سنگهای دیرینه حاصل شده و بصورت محلول وارد محیط جدید گردیده باشد و سپس بصورت سیمان ته نشست کرده باشد. برای مثال می توان به مطالعات راس و همکاران (Ros et al. 1997) بر روی رسوبات سیلیسی آواری کرتاسه و میوسن در حاشیه شمال غرب آفریقا اشاره نمود.

ج) منشأ دیگر جهت تأمین یون آهن موجود، وجود هاله ای از اکسید آهن بدور دانه های آواری بصورت اولیه است. لذا چنین استنباط می گردد که چنین دانه هایی قبل از حمل به داخل حوضه، در محیطی اکسیدان قرار داشته اند. از اینرو اکسید آهن موجود در اطراف این دانه ها پس از انحلال می تواند بعنوان منبعی جهت تأمین یون آهن محسوب گردد همانگونه که مک براید و همکاران (McBride et al. 1987) در ارتباط با ماسه سنگهای سازند نورفلت (ژوراسیک فوقانی) در ایالت آلاباما چنین اظهار داشته اند (شکل ۲F).

د) قرار گیری رسوبات در محیط اکسیدان می تواند عاملی جهت تأمین سیمان اکسید آهن باشد. ماسه سنگهای قرمز بخش فوقانی برشهای آق دربند و قلعه سنگی سازند کشف رود مؤید این واقعیت است (Poursoltani et al. 2006). بنا به مطالعات راس و همکاران (Ros et al. 1997) بر روی رسوبات سیلیسی آواری کرتاسه و میوسن در حاشیه شمال غرب آفریقا، ترکیبات اکسید آهن عمدتاً در اثر هوا زدگی ایجاد گردیده که پس از تشکیل در حفرات و خلل و فرج رسوبات ته نشست شده اند.

جدول ۲: آنالیز ژئوشیمیایی سیمان اکسید آهن برخی از نمونه های ماسه سنگی سازند کشف رود

Sample	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	MnO	Cr ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	FeO
135	0.2538	0.1092	0.2572	0.1072	0.4286	0.5427	0.2652	0.1564	0.1918	97.6955
216	0.1325	0.0592	0.0386	0.0112	0.9193	0.3476	1.1773	1.7063	4.3465	91.9678
297	0.1406	0.2407	0.0596	2.2494	0.2869	0.3291	0.8138	1.3842	9.4219	84.4064
479	0.1249	0.0482	0.0389	0	0.1669	3.0604	0.6612	0.3611	5.3160	92.9763
9	0	0	0	0	0	0	2.0394	2.0855	12.8782	82.544

۲- کربنات

در اطراف دانه های بیوتیت این نظریه را تأیید می کند (Poursoltani *et al.* 2006). همانطوری که در شکل ۲E مشهود است، در اثر دگرسانی کانیهای میکا، گرگههایی از اکسید آهن در داخل آن تشکیل گردیده که در مجاورت این دانه ها نیز کانیهای دولومیت غنی از آهن شکل گرفته اند.

آنکریت گرچه درصد بسیار ناچیزی را شامل می گردد، اما از جمله کانیهای کربناته شناسایی شده، که بصورت سیمان ظاهر شده است. این کانی نسبت به کلسیت و دولومیت کمتر است. بر اساس آنالیزهای ژئوشیمیایی انجام شده در جدول ۳، نمونه ۴ آنکریت می باشد. حضور اکسیدهای منیزیم، کلسیم و آهن دلیلی بر این ادعا می باشد. سیدریت نیز از کانیهای کربناته نادر بوده که عمدتاً در درزه ها و حفرات شناسایی گردیده است (شکل ۶C). این کانی نسبت به دیگر کانیهای کربناته درصد ناچیزی را شامل می گردد. از نظر تشکیل، حضور کاتیون آهن (Fe²⁺) که نتیجه دگرسانی کانیهای فرومنیزین و احتمالاً وجود محیط اکسیدان است، در تشکیل کانی سیدریت نقش اساسی دارد. در جدول ۳، نمونه های ۷۶ و ۱۰۹ بدلیل وجود ترکیب اکسیدهای آهن، منیزیم و کلسیم، نشانگر حضور کانی سیدریت می باشد. نتایج حاصل مطالعات انجام شده توسط واناس (Wanas 2008)، بر روی ماسه سنگهای ائوسن زیرین در مصر نیز مشابه نتایج مطالعات انجام شده بر روی سیمان کربناته ماسه سنگهای مورد مطالعه می باشند.

در ماسه سنگهای سازند کشف رود می توان دو منشاء برای تأمین یون کربنات برای تشکیل سیمان پیشنهاد کرد:

الف) کربنات حاصل از انحلال خرده های کربناته فسیلی

ب) کربنات حاصل از انحلال دانه های کربناته آواری

از آنجائیکه وجود مواد ارگانیکی در رسوبات شیلی سازند کشف رود محرز و مشخص است (Afshar Harb, 1979) بنا بر این منبعی جهت تولید Co²⁺ محسوب می گردند. از طرفی انحلال خرده سنگهای آواری کربناته و خرده ها فسیلی، باعث ایجاد یا افزایش یون Ca²⁺ شده است که با CO₂ حاصل از فساد مواد آلی تشکیل CaCO₃ را داده و در نهایت بصورت سیمان کربناته ته نشست کرده است. تفاسیر فوق بر اساس مطالعات مشابه انجام شده توسط ماتایاس (Matyas 1998) بر روی

سیمان کربناته یکی از اصلی ترین سیمان های موجود با میانگین ۳۰ درصد در ماسه سنگ های سازند کشف رود محسوب می گردد. نتایج آنالیز نمونه ها با ماکروپروب در جدول ۳ ارائه شده است. برخی از نمونه های مورد مطالعه بدون سیمان کربناته بوده، ولی در بعضی دیگر میزان سیمان کربناته موجود تا ۶۰٪ می رسد (شکل ۶A-C-D). سیمانهای کربناته یکی از عوامل مهم کاهش تخلخل، اعم از اولیه و ثانویه، محسوب می گردند. گرچه در بسیاری از نمونه ها سیمان کربناته باعث کاهش تخلخل گردیده است، اما در مقابل، انحلال بخشهایی از سیمان کربناته، خود نیز به افزایش تخلخل ثانویه کمک نموده است. برای مثال به مطالعات مشابه رید و همکاران (Reed *et al.* 2005) بر روی ماسه سنگهای کربنیفر در کوههای آپالاش جنوب غرب ویرجینیا در آمریکا، و هال و همکاران (Hall *et al.*, 2004)، بر روی ماسه سنگهای پلیو-پلیستوسن نیومکزیکو در آمریکا می توان اشاره نمود.

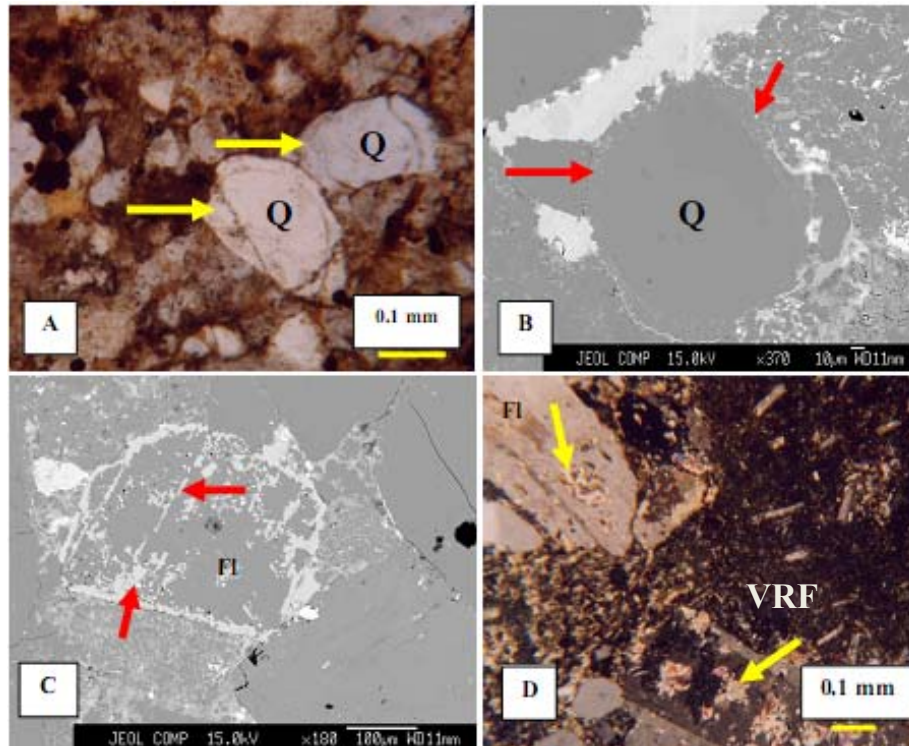
از میان سیمانهای کربناته، کلسیت غنی از آهن، دولومیت، سیدریت و آنکریت از جمله سیمانهای شناسایی شده در ماسه سنگهای سازند کشف رود می باشند. بر اساس آنالیزهای ژئوشیمیایی نقطه ای انجام شده، کلسیت خالص (CaCO₃) بیشترین درصد را دارا است. بنا بر اطلاعات ارائه شده در جدول ۳ نمونه های ۷ و ۴۲۹ نشانگر وجود کلسیت خالص می باشد، در صورتیکه نمونه های ۶۱، ۸۲ و ۲۶۱ دارای اکسید آهن است و مؤید حضور سیمان کلسیتی غنی از آهن می باشد. دولومیت نیز از کانیهای کربناته شناسایی شده در ماسه سنگهای سازند کشف رود است. این کانی در طی دیاژنز جانشین کلسیت گردیده است (شکل ۶A). طبق نتایج ارائه شده در جدول ۳، بر اساس آنالیزهای ژئوشیمیایی انجام شده، نمونه های ۸۱ و ۱۲۰ غنی از اکسید آهن و منیزیم است. لذا با حضور درصد قابل توجهی از FeO، کانی های دولومیتی شناسایی شده غنی از آهن می باشند. احتمالاً کاتیونهای مذکور در نتیجه دگرسان شدن کانیهای فرومنیزین، خصوصاً از میکا حاصل شده است. برای مثال می توان به مطالعات مراد و آلداهام (Morad & Aldaham 1986)، بر روی رسوبات ماسه سنگی پروتروزوئیک سودان اشاره کرد. حضور کلسیت و دولومیت غنی از آهن

همچنین بدلیل نهشته شدن سازند کربناته مزدوران در بالای سازند کشف رود، احتمال تأمین این نوع سیمان خصوصاً در بخش های بالایی سازند، توسط رسوبات کربناته سازند مزدوران وجود دارد. البته باید توجه داشت که این تأثیر بطور عمده در مرحله دیاژنز انتهایی، هنگامی که در معرض دخالت آبهای جوی قرار گرفته بیشتر مؤثر بوده است. در نهایت حضور لایه های شیلی آهکی، و همچنین تجزیه رسها به یکدیگر می توانند از دیگر منشأ های تأمین سیمان کربناته محسوب گردند.

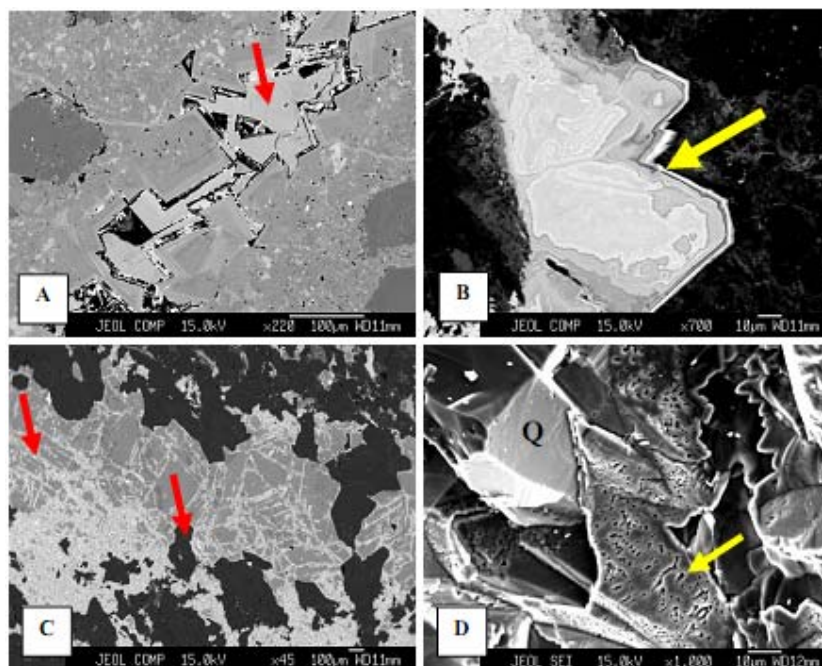
رخساره های ماسه سنگی ترشیاری در حوضه موملاس سوئیس، والدرهاگ و بژرکام (Walderhaug & Bjørkum 1998) بر روی ماسه سنگهای دریایی، سوزا و سیلوا (Souza & Silva, 1998) بر روی رسوبات ماسه سنگی کرتاسه نامورادو در برزیل و سالم و همکاران (Salem et al. 2005) بر روی ماسه سنگهای میوسن فوقانی در حوضه دلتای نیل در مصر استوار است. از موارد دیگر تأمین سیمان کربناته احتمالاً پس از نهشته شدن در محیط دریایی، حضور کاتیون و آنیون مورد نیاز در آب دریا در تشکیل این نوع سیمان نقش داشته اند.

جدول ۳: آنالیز ژئوشیمیایی سیمان کربنات در برخی از نمونه های ماسه سنگی سازند کشف رود (AK: آنکریت، CA: کلسیت، SD: سیدریت، DOL: دولومیت)

Sample	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	MnO	Cr ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	FeO	TYPE OF MINERAL
4	0	0	0	0	2.1707	0.161	52.0942	20.3228	0	25.2375	AK
7	0	0	0	0	0.0721	0	97.8522	0.6044	0	1.471	CA
61	0	0.0672	0.018	0.5504	0.8352	0.2096	69.4323	5.9486	2.8876	20.0513	FE-CA
76	0.0521	0.0333	0.0157	1.4987	1.2094	0.322	50.2042	2.8058	5.7778	38.0799	SD?
81	0	0.3685	0.0504	1.3228	0.4255	0.1739	59.0612	31.5648	2.6919	4.3918	FE-DOL
82	0	0.1098	0.0383	0.2172	0.2719	0.2163	93.531	0.95	0.5879	4.077	FE-CA
109	0	0.3689	0.0712	1.7874	0.5704	0.2908	30.3322	0.9205	7.0543	58.6057	SD?
120	0	0.0695	0.036	0	0.4394	0.1037	64.7052	31.9067	0.1603	2.5824	FE-DOL
261	0.0827	0.0145	0.038	0.0879	1.8756	0.3272	77.2935	5.8546	1.2387	13.1864	FE-CA
429	0	0	0.0711	0.0777	0.9272	0.1985	98.1844	0.2297	0	0.311	CA



شکل ۵: (A و B) سیمان سیلیسی که بصورت رورشدی در اطراف دانه های کوارتز (Q) تشکیل شده است (فلش)، (C و D) دگرسانی فلدسپات (Fl)، که کانی کلسیت ریز تخلخل های حاصل از دگرسانی در امتداد رخها را پر نموده است (فلش)، خرده سنگ ولکانیکی (VRF) دگرسان شده نیز نشان داده شده است. (تصاویر B و C به روش Back scattered تهیه شده اند.)



شکل ۶: A) رشد بلورهای دولومیت در درزه های ایجاد شده و جانیشینی بجای کلسیت نیز در دیواره درزه ها (فلش)، B) اکسید آهن که بعنوان سیمان بین دانه ها را پر نموده است. زون بندی مؤید تغییر در میزان یون آهن است که در هر قدر رنگ روشن تر باشد میزان این عنصر افزایش نشان می دهد. این آنالیزها توسط آنالیز عنصری WDX مشخص شده است (فلش)، C) درزه های ایجاد شده توسط کانی کربناته از نوع سیدریت (رنگ روشن) و سیلیس (کانی های تیره منفرد) پر شده است (فلش)، D) رشد کانی شکلدار کوارتز (Q) و کلسیت (فلش) که پر کننده درزه ها می باشد. (تصاویر A, B, C به روش Back scattered و تصویر D با استفاده از دستگاه SEM تهیه شده اند).

۳- سیلیس

سیمان سیلیسی یکی از سیمانهای عمده است که در ماسه سنگهای سازند کشف رود با میانگین ۲۲٪ شناسایی شده است، که به دو شکل رورشدی (overgrowth) و پرکننده حفرات در مجاورت دانه های تحت فشار دیده می شود.

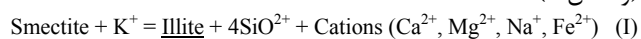
الف) سیمان سیلیسی که بصورت رو رشدی نهشته شده است. این سیمان در بسیاری از نمونه ها شناسایی شده است، و به راحتی توسط اثرات غبار و یا اکسید آهن باقیمانده در سطح خارجی دانه های کوارتز اولیه قابل تفکیک است (شکل B-A). طبق مطالعات انجام شده، بطور معمول دو فاکتور اصلی شامل زمان طولانی و دمای بالا توام با یکدیگر در تشکیل سیلیس بصورت رو رشدی موثر است، (Goldstein & Rossi 2002; Bennett & Siegel 1987; Fournier 1985) لذا با در نظر گرفتن زمان تشکیل و تاثیر مرحله دیاژنز دنی بر ماسه سنگهای سازند کشف رود، این دو عامل نیز در تشکیل سیمان سیلیسی ماسه سنگهای مورد مطالعه این سازند تاثیر گذاشته است.

ب) سیلیس حاصل از فرآیند انحلال فشاری است که به دلیل فشردهگی دانه های کوارتز با یکدیگر یا دیگر دانه های آواری ایجاد شده است، و باعث ته نشست سیلیس و کاهش تخلخل گردیده است. بطور

مثال می توان به مطالعات گلدستاین و راسی (Goldstein & Rossi 2002) بر روی ماسه سنگهای سازند خاتاتبا (ژوراسیک) در شمال غرب مصر اشاره نمود که مشابهت با سیمانهای سیلیسی شناسایی شده در اکثر نمونه های ماسه سنگی سازند کشف رود قابل مطالعه دارد (شکل ۲D).

چندین منشأ توسط مکیبراید (McBride, 1989) تامین سیلیس در ماسه سنگها عنوان گردیده است، که ذیلاً آنهائیکه در ایجاد سیلیس موجود در ماسه سنگهای سازند کشف رود موثر بوده اند با استناد به مطالعات انجام شده بر روی رسوبات مشابه تشریح می گردند:

دیاژنز کانیهای رسی (clay minerals diagenesis): تبدیل کانیهای رسی به یکدیگر همانند تبدیل اسمکتیت به ایلیت (illitization) را می توان یکی از منابع تأمین سیلیس دانست. مطالعات انجام شده توسط بالز و فرانکس (Boles & Franks 1979) بر روی ماسه سنگهای ویلکاکس در شمال غرب تگزاس آمریکا نشان می دهد که ترکیب K^+ با اسمکتیت باعث تشکیل ایلت و آزاد سازی سیلیس می گردد. سیلیس حاصله می تواند به عنوان سیمان در خلل و فرج ته نشست نماید (واکنش ۱).



ماسه سنگهای ائوسن ویلکاکس، در جنوب مرکزی تگزاس در آمریکا است.

تأثیر اسیدهای آلی (The effect of organic acids): با نظر به اینکه برخی از لایه های شیلی سازند کشف رود از مواد ارگانیکی غنی می باشد، لذا می توان چنین تصور نمود که وجود مواد آلی می تواند یکی از منابع تولید اسیدهای آلی باشد. یونهای سیلیس آزاد شده می توانند بصورت محلول به قسمتهای مختلف حمل شده و در صورت اشباع و وجود محیطی اسیدی بصورت سیمان در برخی قسمتها ته نشین شوند. اونتس (Evans 1964)، نیز که بر روی رسوبات مشابه مطالعاتی را انجام داده است نتایج مشابهی را ارائه نموده است.

۴- کانیهای رسی

کانیهای رسی شناسایی شده که بصورت سیمان در نمونه های سازند کشف رود شناسایی شده اند، شامل کلریت، ایلیت، کائولن، سرسیت و ندرتاً زوئزیت می باشد که عمدتاً از دگرسانی فلدسپاتها، میکاها و خرده سنگهای ولکانیکی حاصل گردیده اند. مطالعات کتزر و همکاران (Ketzer et al. 2002)، در رابطه با دگرسانی رسوبات ماسه سنگی رودخانه ای-دلتایی و دریایی سازند مولانگمور با سن کربنیفر در شمال غرب ایرلند که مشابه رسوبات ماسه سنگی سازند کشف رود است، نیز نشان داده است که دگرسانی اجزای فوق در تشکیل کانیهای رسی نقش عمده ای را دارد. ایجاد کانیهای رسی بطور چشمگیری از میزان تخلخل و نفوذپذیری ماسه سنگها کاسته است. برخی نمونه ها فاقد سیمان رسی بوده، اما در بعضی دیگر حدود ۱۶/۳۶٪ سیمان رسی شناسایی شده است. میانگین سیمان رسی موجود در نمونه های مورد مطالعه حدود ۸/۳٪ می باشد. بر اساس آنالیزهای انجام شده، ترکیب کلریتهای شناسایی شده عمدتاً غنی از Fe^{2+} و Mg^{2+} است. همانطور که در جدول ۴ مشهود است، بنابر آنالیزهای ژئوشیمیایی که بر روی کانیهای رسی انجام گرفته است، کلریت فراوانترین نوع محسوب می گردد. در نمونه های ۵۸، ۱۶۰، ۳۱۷، ۴۰۰، ۴۵۱ و ۲۷۳ میزان اکسید های منیزیم و آهن افزایش چشمگیری داشته است که می تواند دلیل بر تشکیل کانی کلریت باشد. این کانی بیشتر در رخساره هایی که دارای دانه های غنی از Fe^{2+} و Mg^{2+} همانند میکا و خرده سنگهای ولکانیکی هستند، شناسایی شده، و احتمالاً در اثر دگرسانی این دانه ها تشکیل شده است (مثال: رید و همکاران (Reed et al. 2005)، ماسه سنگهای آپالاش کربنیفر در جنوب غرب ویرجینیا در آمریکا). کانی رسی دیگر نظیر ایلیت احتمالاً در اثر دگرسانی فلدسپاتها حاصل شده و عمدتاً در طول رخها مشهود است، اما بیان اینکه ایلیت در ماسه سنگهای مورد مطالعه در جازا بوده و یا در اثر دگرسانی حاصل شده باشد، قدری مشکل است. از طرفی احتمال اینکه ایلیت در اثر تبدیل اسمکتیت تشکیل شده باشد نیز وجود دارد. لی یو (Liu

به دلیل وجود رسوبات شیلی فراوان در سازند کشف رود، احتمالاً در طی مراحل دیاژنز دفنی با تبدیل اسمکتیت به ایلیت سیلیس آزاد شده، که بعداً بصورت سیمان در لایه های ماسه سنگی ته نشست کرده است. بسیاری از لایه های ماسه سنگی این سازند با میان لایه های رسی تناوب نشان داده که این لایه های رسی بعنوان یک عامل در تشکیل سیمان سیلیسی نقش داشته باشد. بدین صورت که تبدیل اسمکتیت به ایلیت در این لایه های رسی باعث آزاد سازی سیلیس شده که بصورت سیمان در برخی قسمت از لایه های ماسه سنگی ته نشست می کند (Towe 1962). محققانی همچون وبر و ریکن (Weber & Ricken 2005)، مطالعاتی در این خصوص بر روی رسوبات سازند سالینگ (تریاس)، در حوضه رسوبی رینهاردسوالد آلمان، که مشابهت با رسوبات سازند کشف رود دارند، نتایج مشابهی را ارائه نموده اند. لذا بر اساس مطالعات افراد فوق می توان نتیجه گرفت که احتمالاً یکی از منشأ های تشکیل سیلیس در ماسه سنگهای سازند کشف رود تبدیل کانیهای اسمکتیت به ایلیت می باشد.

دگرسانی (alteration): بخشی از سیلیس حاصل را می توان در نتیجه دگرسانی دانه های آواری همچون فلدسپاتها، میکا و خرده سنگهای ولکانیکی دانست. بسیاری از این دانه ها در نمونه های مورد مطالعه دگرسان شده اند (شکل ۵C-D). دگرسانی فلدسپات را می توان توسط واکنش زیر توجیه نمود (Siebert et al. 1984).

$$2NaAlSi_3O_8 + CaAl_2SiO_8 + 4H^+_{(aq)} + 2H_2O = 2Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 4SiO_2$$

سیلیس حاصل از دگرسانی می تواند به فرم آزاد در آب درون حفره ای وارد شده و پس از اشباع شدن، در بین دانه ها و یا به فرم رو رشدی ته نشین نماید. دگرسانی فلدسپاتها به وفور در ماسه سنگهای سازند کشف رود مشاهده شده است. این فرآیند بیشتر در نمونه هایی که دارای فلدسپات فراوان می باشند، قابل مشاهده است (مثال: وبر و ریکن (Weber & Ricken 2005) رسوبات سازند سالینگ (تریاس)، حوضه رسوبی رینهاردسوالد در آلمان).

انحلال فشاری (Pressure solution): فرآیند انحلال فشاری یکی از مهمترین عوامل موثر در تشکیل سیمان سیلیسی است. وجود کنتاکتهای محدد-مقعر و مضرس در نمونه های مورد مطالعه تأییدی بر فشردگی بالا است (شکل ۲A-B). در این فرآیند سیلیس حل شده و سپس در بین خلل و فرج بصورت سیمان ته نشین شده است. نتایج مطالعات انجام شده بر روی ماسه سنگهای سازند مورد مطالعه مشابه نتایج حاصل از مطالعات محققانی همچون کتزر و همکاران (Ketzer et al. 2005)، بر روی ماسه سنگهای ابومدی (میوسن فوقانی) حوضه دلتای نیل در مصر و فیشر و لند (Fisher & Land 1986)، بر روی

رود مطابقت نشان می دهد. از این میان کانیهای رسی سریزیت تشخیص داده شده نیز بصورت درجا تشکیل شده است که در بین برخی دانه ها بصورت رشته ای شناسایی شده است.

جدول ۴: آنالیز ژئوشیمیایی سیمان رسی در برخی از نمونه های ماسه سنگی سازند کشف رود

Sample	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	MnO	Cr ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	FeO
58	0.0916	0.0299	0	26.3258	0.2867	0.2122	0	11.7409	27.1689	34.3681
160	0.0315	0.0117	0.0438	27.5454	0.0423	0.159	0.1113	9.5648	28.2986	33.8224
317	0.0085	0.0572	0.0401	21.2941	0.0538	0.1341	0.2835	24.8028	36.7928	16.5228
323	0.0809	0.2485	0.0455	6.4631	0.1684	0.1326	0.1621	1.9662	82.7061	8.0159
400	0.2377	1.2961	0.069	25.9777	0.357	0.1811	0.2325	10.2852	35.5964	25.8651
451	0.0321	0.1732	0.8167	0.2806	0.037	0.142	1.284	16.8731	38.8771	13.6888
273	0	0.0477	0.5673	0.3194	0.0228	0.1529	0.4588	15.6161	39.2405	11.9160

فرو رفته اند. این فرآیند نیز توسط مکربراید (McBride *et al.* 1987) و هاسکنچت (Houseknecht 1984) از سازند هارتشورن در کواچیتاس و کیم و لی (Kim & Lee 2003) از رسوبات اردویسین تحتانی، سازند دوگجوان کره مطالعه و گزارش شده است، که مشابهت با نتایج بدست آمده بر روی ماسه سنگهای کشف رود دارد.

توالی پاراژنتیکی (paragenetic sequences)

مطالعات انجام شده بر روی نمونه های ماسه سنگی سازند کشف رود منجر به شناسایی و معرفی مراحل مختلف دیاژنتیکی، اولیه، دفنی عمیق و انتهایی در این سازند گردیده است. در این تحقیق بیشتر مراحل سیمانی شدن، فشردگی و تخلخل مورد بحث قرار گرفته شده است (Poursoltani *et al.* 2006) (شکل ۵).

رخدادهای دیاژنتیکی

سیمانی شدن از جمله رخدادهایی است که بر مبنای آن می توان مراحل مختلف دیاژنتیکی را شناسایی کرد و سپس مورد تعبیر و تفسیر قرار داد. این رخداد معمولاً در تمام مراحل ممکن است اتفاق افتد، اما در هر یک از مراحل نوع سیمان تشکیل شده ممکن است متفاوت باشد. در سازند کشف رود نیز این فرآیند تقریباً بطور گسترده اتفاق افتاده است. همانگونه که قبلاً بیان گردید، عمده سیمانهایی که در ماسه سنگهای سازند کشف رود طی رخداد سیمانی شدن شناسایی شده اند شامل کربنات، اکسید آهن، سیلیس و رس می باشند.

از سیمانهای کربناته شناسایی شده می توان به کلسیت، دولومیت، سیدریت و آنکریت اشاره نمود. کلسیت بدون آهن از انواع کربناتهایی محسوب می گردد که عمدتاً طی مراحل دیاژنز اولیه و انتهایی ته نشست کرده است. بسیاری از کربنات های پر کننده بین دانه به شکل بلوکی هستند (شکل YE-F). همچنین کربناتها از جمله سیمانهایی می باشند که پر کننده درزه و ترکها می باشند (شکل D ۶). بنا به مطالعاتی که توسط دیل و همکاران (Dill *et al.* 2005) بر روی رسوبات پالئوژن سازند هرژلین زو در منطقه اردن سام مغولستان و سالم و همکاران

فشردگی (Compaction)

فشردگی نیز یکی از فرآیندهایی است که به محض رسوبگذاری به میزان کم یا زیاد بر روی رسوبات اثر می گذارد. نتایج حاصل از مطالعات نشانگر این است که فشردگی در ماسه سنگهای کشف رود به دو صورت مکانیکی و شیمیایی عمل کرده است:

فشردگی مکانیکی: بدلیل تنوع بلوغ ترکیبی در ماسه سنگهای سازند کشف رود، در اثر فشار های مکانیکی وارده دانه های سخت و مقاوم همچون فلدسپاتها و کوارتز شکسته شده و بسیاری از آنها در یکدیگر فرو رفته اند. اما در مقابل، دانه های قابل انعطاف، همانند میکا و خرده سنگهای رسوبی تغییر شکل پیدا کرده اند (شکل ۵C). فرو رفتن دانه های سخت در یکدیگر و همچنین نفوذ دانه های نرم تر و قابل انعطاف، در بین دانه های مقاوم تر عاملی جهت کاهش حجم رسوبات و همچنین پر شدن خلل و فرج بین دانه ها محسوب می گردد. لذا می توان چنین استنباط کرد که عامل فشردگی در کاهش حجم و نهایتاً کاهش تخلخل، تاثیر مستقیم دارد. مشابه این حالت توسط کتزر و همکاران (Ketzer *et al.* 2005)، از ماسه سنگهای ابومدی با سن میوسن فوقانی در حوضه رسوبی دلتای نیل در مصر گزارش شده است. از طرفی دیگر، بسیاری دانه ها در اثر فشارهای مکانیکی شکسته شده، که شکستگیهای حاصل عاملی جهت افزایش تخلخل است (شکل ۷D).

فشردگی شیمیایی: این نوع فشردگی که از آن به انحلال فشاری نیز می توان یاد کرد، از جمله فرآیندهای دیاژنتیکی محسوب می گردد. بیشترین اثرات انحلال فشاری در ماسه سنگها، ایجاد سیمان سیلیسی است که در بین دانه ها ته نشین شده و تخلخل موجود را کاهش داده است. در برخی موارد فرآیند انحلال فشاری در رخساره های دانه ریز نسبت به دانه درشت ها بیشتر مشاهده شده است. این فرآیند اینگونه تفسیر می گردد که بدلیل اینکه ماسه سنگهای دانه ریز دارای تخلخل بیشتری بوده و از طرفی نسبت به دانه درشتها زاویه دارترند، لذا بیشتر تحت تاثیر فشارهای مکانیکی قرار گرفته و دانه ها بیشتر در یکدیگر

مطالعات کیم و لی (Kim & Lee 2003) بر روی رسوبات اردویسین تحتانی سازند دوگجوان در کره، فرآیند رو رشدی کوارتز احتمالاً در دمای بین ۹۰ الی ۱۲۰ درجه سانتیگراد اتفاق می افتد، که احتمال وقوع آن در طی مرحله دیاژنز دفنی عمیق بیشتر است. لذا یکی از دلایل مهم وقوع دیاژنز دفنی عمیق در سازند کشف رود پدیده رو رشدی کوارتز می باشد. همانطور که در مباحث قبل مورد بحث قرار گرفت، رشد بلوری کوارتز از مرحله دیاژنز اولیه شروع شده است، اما دلیل فراهم شدن شرایط، از جمله افزایش میزان سیلیس و افزایش دما (Kim & Lee 2003)، این فرآیند در مرحله دیاژنز دفنی عمیق کامل تر اتفاق افتاده است.

تشکیل کانیهایی رسی از رخدادهای مهم دیاژنتیکی بوده که در تفسیر مراحل دیاژنز کاربرد دارند. گرچه هر یک از کانیهایی رسی در مراحل مختلفی تشکیل می شود. کلریت، کائولن و سربیسیت از کانیهایی رسی می باشند که بطور عمده در ماسه سنگهای سازند کشف رود شناسایی شده است، که از این میان کلریت فراوان ترین آنها است. در ماسه سنگهای سازند کشف رود بطور عمده، کانی کلریت، از دگرسانی دانه های موجود در ماسه سنگها همچون میکا و خرده سنگهای آذرین حاصل شده اند. بر اساس مطالعاتی که توسط هیلیر (Hillier 1994) به روش SEM و XRD بر روی کانیهایی رسی انجام داده است و همچنین مطالعاتی که توسط اسپوتل و همکاران (Spötl et al. 1994) بر روی کلریتهای رسوبات حوضه آرکوما در آمریکا؛ و رید و همکاران (Reed et al. 2005) بر روی ماسه سنگهای آپالاش (کربونيفر) جنوب غرب ویرجینیا در آمریکا، و همکاران (El-ghali et al. 2009) بر روی ماسه سنگهای (تریاس)، حوضه پاریس انجام داده اند، تشکیل کلریت را زمانی تعیین نموده اند که فشار بالا و دمای بیشتر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد وجود داشته است. مطالعات انجام شده توسط موسوی حرمی و برنر (Moussavi Haramia & Brenner 1992) بر روی رسوبات حوضه رسوبی کپه داغ، بیانگر تدفین رسوبات این حوضه در عمق زیاد می باشد، که ممکن است سازند کشف رود نیز در این عمق تحت تأثیر درجه حرارت بالا قرار گرفته باشد. بنا بر این، زمان تشکیل کانی کلریت در ماسه سنگهای این سازند را می توان به انتهای دیاژنز اولیه و ابتدای دیاژنز دفنی عمیق نسبت داد، گرچه حدود تشکیل آن را نمی توان بطور دقیق تعیین نمود. همچنین در اثر دگرسانی فلدسپاتها نیز، کانیهایی دیگری همچون سریزیت و ایلیت بصورت درجا تشکیل گردیده اند.

از دیگر کانیهایی رسی که در طی دیاژنز تشکیل شده است کائولن می باشد، که حاصل دگرسانی فلدسپاتها می باشد، گرچه در نمونه های مورد مطالعه کمتر ظهور نموده است. محققانی چون خان و همکاران (Lanson et al. 1997)؛ لانسون و همکاران

(Salem et al. 2005)، بر روی ماسه سنگهای مخزن گازی ابومدی (میوسن فوقانی) در حوضه دلتای نیل در مصر انجام شده است، چنین استنباط می گردد که یکی از فاکتورهای موثر در ته نشست این نوع کربنات، دمای بالاتر از ۶۵-۴۶ درجه سانتیگراد است. لذا این تفسیر می تواند مؤید شروع تشکیل این نوع کربنات در رخساره های سازند کشف رود، طی دیاژنز اولیه، و ابتدای مرحله دیاژنز دفنی عمیق باشد. از طرفی بنا به مطالعاتی که هارتمن و همکاران (Hartmann et al. 2000) بر روی ماسه سنگهای سازند گاریف (پرمین) در عمان؛ کیم و لی (Kim & Lee 2003)، بر روی رسوبات اردویسین تحتانی سازند دوگجوان در کره و رید و همکاران (Reed et al. 2005) بر روی ماسه سنگهای آپالاش (کربونيفر) جنوب غرب ویرجینیا در آمریکا انجام داده اند، چنین نتیجه گیری شده است، که تشکیل کانیهایی کربناته که عمدتاً شامل کلسیت بدون آهن می باشد، طی مرحله دیاژنز انتهایی تشکیل گردیده است. بر این اساس می توان چنین استنباط نمود که کربنات پر کننده حفرات ماسه سنگهای سازند کشف رود همانند کلسیت بدون آهن می تواند بیان کننده تاثیر مرحله انتهایی دیاژنز بر روی ماسه سنگهای این سازند باشد.

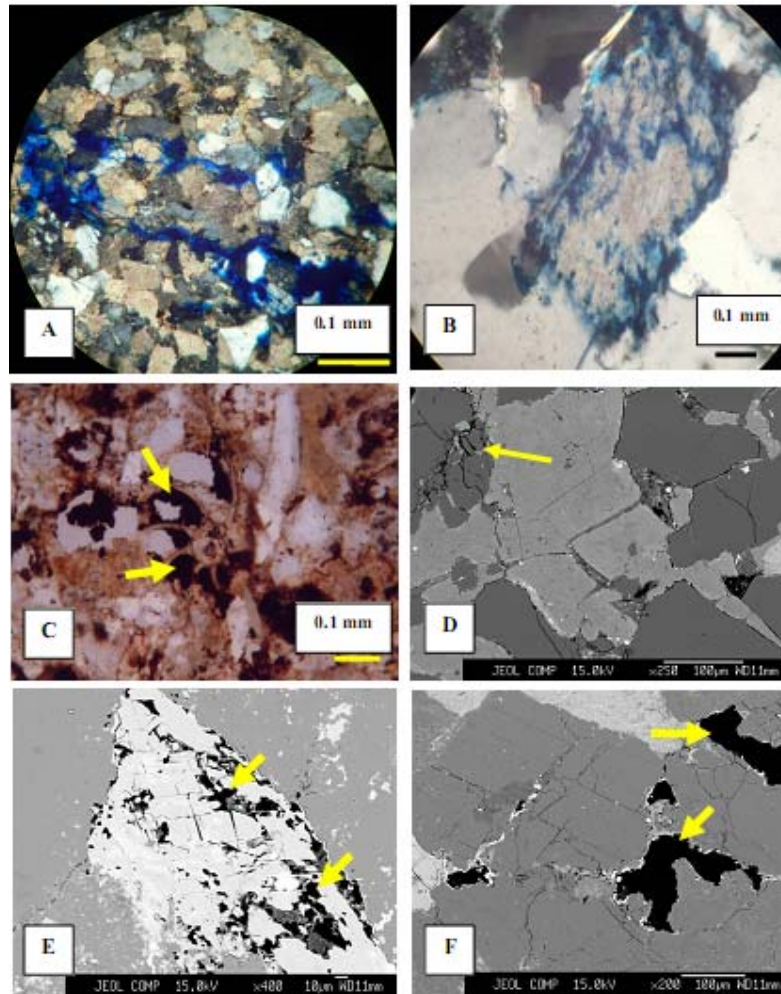
سیمان های کربناته آهن دار به عنوان یک رخداد دیاژنتیکی طی مراحل دیاژنز دفنی عمیق و دیاژنز انتهایی معرفی می گردد (مثال: دیل و همکاران (Dill et al. 2005) رسوبات پالئوژن سازند هرژلین زو در منطقه اردن سام مغولستان و رید و همکاران (Reed et al. 2005) ماسه سنگهای آپالاش (کربونيفر) جنوب غرب ویرجینیا در آمریکا). کربناتهای غنی از آهن همانند کلسیت آهن دار، سیدریت، آنکریت و دولومیت آهن دار عمدتاً در انتهای مرحله دیاژنز دفنی در اثر فرآیند جانیشینی کلسیت در حفرات تشکیل می گردند (مثال: رید و همکاران (Reed et al. 2005)؛ کیم و لی (Kim & Lee 2003)، سالم و همکاران (Salem et al. 2005)). بنا بر این ظهور کربناتهای آهن دار در ماسه سنگهای مورد مطالعه بیانگر نهشته شدن آنها طی دیاژنز دفنی عمیق و دیاژنز انتهایی است.

با توجه به مباحث قبل در مورد سیمان اکسید آهن، این سیمان بعنوان یکی از رخدادهای نسبتاً مشخص دیاژنتیکی، در طی دیاژنز اولیه و انتهایی بعد از رخنمون محسوب می گردد، که فضای خالی بین دانه ها، حفرات درون دانه ها و درزه ها اعم از اولیه و یا ثانویه را پر نموده است. در شکل ۶B که با استفاده از ماکروپروب تهیه شده است سیمان اکسید آهن پر کننده فضای بین دانه ها را نشان می دهد. همچنین پرشدن حفرات (تخلخل اولیه) توسط سیمان اکسید آهن شناسایی شده است (شکل ۷C).

سیلیس نیز از جمله سیمانهای مهم است که در ماسه سنگهای سازند کشف رود به اشکال مختلف تشکیل شده است. بر اساس

فلدسپات و میکا در طی مراحل دیاژنتیکی ظاهر می شود. بنا بر این کانیهای فلدسپات و میکا دگرسان شده در ماسه سنگهای سازند کشف رود، چنین تفسیر می گردد که کائولن موجود در مرحله دیاژنز اولیه، بطور عمده در انتهای دیاژنز دفنی عمیق و همچنین دیاژنز انتهایی تشکیل گردیده است (Hartmann *et al.* 2000).

2002) و رید و همکاران (Reed *et al.* 2005) بر روی کائولن حاصل از دیاژنز به ترتیب بر روی ماسه سنگهای منطقه تامپن اسپار (تریاس زیرین- ژوراسیک) در دریای شمال و ماسه سنگهای آپالاش (کربونیفر) جنوب غرب ویرجینیا در آمریکا مطالعاتی را انجام داده اند، و چنین نتیجه گرفته اند که کانی کائولن در اثر دگرسانی کانیهای همچون



شکل ۷: (A) تخلخل ثانویه حاصل از درزه و ترک که توسط چسب آبی نشان داده شده است. (B) تخلخل ثانویه حاصل از آلتراسیون فلدسپاتها، تخلخل توسط ماده آبی نشان داده شده است. (C) حضور گاسترپود که حجره های آن (تخلخل اولیه) توسط اکسید آهن پر شده است (فلش). (D) تخلخل ثانویه که در اثر فشردگی باعث شکستگی در دانه های سخت همچون کوارتز بوجود آمده است (فلش). (E, F) تخلخل ثانویه حاصل از انحلال سیمان کربناته (فلش). سیمان کربناته که بشکل بلوکی بین دانه ها را پر نموده مشهود است. جاهای تیره رنگ (سیاه) تخلخل می باشد. (تصاویر D, E, F بروش Back scattered تهیه شده اند).

ادامه پیدا کرده است. بسیاری از شواهد از جمله انحلال فشاری، تماسهای مختلف دانه ها با یکدیگر، فرو رفتن کانیهای نرم در بین کانیهای سخت تر و شکستگی کانیهای شکننده مانند کوارتز حاکی از تاثیر فرآیند فشردگی در ماسه سنگهای مورد مطالعه در طی دیاژنز است (شکل D ۶).

فشردگی از جمله رخدادهای دیاژنتیکی بوده که به محض رسوبگذاری در رسوبات به میزان کم یا زیاد اتفاق می افتد و عموماً در طول مراحل دیاژنتیکی اعم از اولیه و دفنی عمیق ادامه دارد (MacBride *et al.* 1987; Liu 2003; Kim & Lee 2003). تاثیر رخداد فشردگی در ماسه سنگهای سازند کشف رود نیز کاملاً محرز و مشخص است، که از ابتدای مرحله دیاژنز اولیه شروع شده و تا انتهای دیاژنز دفنی عمیق

تخلخل (Porosity)

ماسه سنگهای سازند کشف رود پس از رسوبگذاری، طی مراحل دیاژنتیکی، دو فرآیند شیمیایی (سیمانی شدن، انحلال و انحلال فشاری، دگرسانی و جانشینی) و مکانیکی (شکستگی، فشردگی و ایجاد درزه) را تحمل نموده اند. با توجه به اینکه فشردگی مهمترین فرآیند مکانیکی محسوب می شود، لذا طی دیاژنز، تخلخل اولیه بیشتر کاهش یافته است. اما مشاهدات میکروسکوپی نمایانگر این واقعیت است که در برخی از رخساره ها سیمانی شدن مانع فشردگی در مراحل اولیه گردیده است. این در صورتی اتفاق می افتد که سیمانی شدن قبل از فرآیند فشردگی رخ داده باشد. از طرفی دیگر، در برخی رخساره ها، که میزان کانیهای فلدسپات، میکا و خرده سنگهای آذرین نسبتاً بالا است، به دلیل فرآیند دگرسانی، حفراتی در داخل کانیها ایجاد شده که در افزایش تخلخل تاثیر بسزایی دارد. لذا در این صورت فرآیندهای دیاژنتیکی شیمیایی، بیشترین اثر را در ایجاد تخلخل ثانویه ایفا می نماید (شکل A-B). گرچه ممکن است بسیاری از تخلخل حاصل مجدداً توسط سیمان پر شده اند (مثال: سالم و همکاران (Salem et al. 2005)، ماسه سنگهای مخزن گاز ابو مدی (میوسن فوقانی) در حوضه دلتای نیل در مصر، مولنار و همکاران (Molenaar et al. 2007) ماسه سنگهای کامبرین، بالتیک).

بر اساس مطالعات انجام شده بر روی رخساره های متفاوت ماسه سنگی سازند کشف رود سه نوع تخلخل تشخیص داده شده است: الف) تخلخل ثانویه که در درون دانه ها بوجود آمده اند، و عمدتاً در ماسه سنگهای در حد آرکوز، لیتیک آرکوز، فلدسپاتیک لیت آرنایت و لیت آرنایت قابل مشاهده است. این نوع تخلخل در اثر فرآیندهای دگرسانی و انحلال در فلدسپاتها (پلاژیوکلاز و ارتوکلاز)، خرده سنگهای ولکانیکی و میکا ایجاد شده است. بخش زیادی از تخلخل بر اثر دگرسانی پلاژیوکلازها و گاهاً انحلال حاصل شده است، گرچه برخی از این خلل و فرج توسط سیمان پر شده اند. این تخلخل نسبت به تخلخل ثانویه بین دانه ای کمتر است. در این رابطه می توان به مطالعات انجام شده توسط تانگ و همکاران (Tang et al. 1997)، بر روی رسوبات ماسه سنگی با سن پرمین - تریاس، در حوضه رسوبی جانگار در جنوبی در شمال غرب چین، و رید و همکاران (Reed et al. 2005) بر روی ماسه سنگهای آپالاش با سن کربونیفر در جنوب غرب ویرجینیا در آمریکا اشاره نمود. نتایج حاصل از مطالعات این محققان با نتایج حاصل از مطالعات انجام شده بر روی ماسه سنگهای سازند کشف رود مؤید تأثیر فرآیندهای مؤثر بر ایجاد تخلخل همچون دگرسانی و انحلال در برخی دانه ها می باشد. انحلال عمده دانه ها پس از مرحله فشردگی و سیمانی شدن شروع شده که خود باعث افزایش تخلخل در بیشتر ماسه سنگها شده است. در برخی از نمونه ها حدود نیمی از دانه

ها فرآیند انحلال را تحمل نموده اند. همچنین احتمال آن می رود که در برخی رخساره ها، وجود سیالات و اسیدهای آلی حاصل از مواد ارگانیکی باعث انحلال در دانه ها گردیده است. عامل دیگر جهت ایجاد تخلخل درون دانه ای، شکستگی دانه ها است که در اثر فشردگی مکانیکی حاصل شده است. این تخلخل عمدتاً در طی دیاژنز دفنی عمیق و انتهایی، ایجاد شده است.

ب) تخلخل ثانویه بین دانه ای، که عمدتاً در اثر انحلال سیمان کربناته حاصل شده است. همانطور که در مباحث قبل بیان گردید وجود اسیدهای آلی ایجاد شده در برخی از لایه های این سازند از عوامل انحلال سیمان کربناته می گردد. تخلخل حاصل از انواع اصلی تخلخل ثانویه شناسایی شده است (شکل E-F).

ج) میکرو تخلخلهای موجود در بین بلورهای کانیهای رسی همانند سرسیت، کائولن و کلریت که از دگرسانی دانه هایی همچون فلدسپاتها و خرده سنگهای آذرین بوجود آمده اند. گرچه این واقعیت نیز وجود دارد که ممکن است حضور کانیهای رسی باعث افزایش تخلخل شود (البته از نوع غیر مفید)، اما بطور چشمگیری باعث کاهش نفوذ پذیری در ماسه سنگها می گردد. بطور نمونه می توان به مطالعات کتزر و همکاران (Ketzer et al. 2002)، که بر روی آلتراسیون رسوبات ماسه سنگی رودخانه ای دلتایی و دریای کم عمق در سازند مولانگمور (کربنیفر) در شمال غرب ایرلند انجام شده است اشاره نمود. این نوع تخلخل به روش SEM بر روی ماسه سنگهای سازند کشف رود، شناسایی شده است گرچه از نظر اقتصادی اهمیت چندانی ندارد.

در نهایت طی مطالعات انجام شده بر روی نمونه های ماسه سنگی سازند کشف رود، چنین نتیجه گیری شده است که اولاً نسبت بالایی از تخلخل اولیه موجود به تدریج توسط فشردگی و سیمانی شدن از بین رفته است، اما تخلخل ثانویه در اثر رخدادهای دیاژنتیکی همچون انحلال، درزه و ترک حاصل شده است، گرچه میزان آن در برخی رخساره ها قابل توجه نیست. دوم اینکه تخلخل اولیه و ثانویه بین دانه ها در بیشتر موارد از یکدیگر قابل تمیز نیستند، لذا تعیین نسبت تخلخل ثانویه بطور دقیق مقدور نخواهد بود. سوم اینکه در طی بالا آمدگی، افزایش میزان فشردگی باعث ایجاد شکستگی در برخی دانه ها گردیده است که وجود شکستگی ها باعث افزایش میزان تخلخل ثانویه شده است. نتیجه آنکه بعضی از نمونه ها فاقد تخلخل بوده، اما برخی دارای تخلخل بالایی می باشند. بنابراین، میانگین تخلخل محاسبه شده در رخساره های مورد مطالعه حدود ۲/۷٪ برآورد شده است، که عمدتاً مربوط به ماسه سنگهای بخش بالایی این سازند است. شکل ۸ درصد تخلخل را در لایه های ماسه سنگی نشان می دهد، که می تواند از نظر اقتصادی حائز اهمیت باشد در شکل ۹ نیز حدود

نتیجه گیری

بر اساس مطالعات انجام شده، ماسه سنگهای سازند کشف رود عمدتاً لیتیک آرکوز و فلدسپاتیک لیت آرنایت می باشد. همچنین نتایج حاصل از آنالیزهای ژئوشیمیایی و مطالعات پتروگرافی نشانگر این است که فرآیندهای مهم دیاژنتیکی مؤثر بر روی ماسه سنگهای این سازند سیمانی شدن و فشردگی است. از عمده سیمانهای شناسایی شده اکسید آهن، کربناتها، سیلیس و رس است. از میان سیمانهای مذکور بطور میانگین اکسید آهن بیشترین درصد و رس کمترین درصد را شامل می شود. لذا بر مبنای این فرآیند، توالی دیاژنتیکی حاکم بر سازند کشف رود که شامل دیاژنز اولیه، دیاژنز دفنی عمیق و دیاژنز انتهایی است، مطرح می گردد.

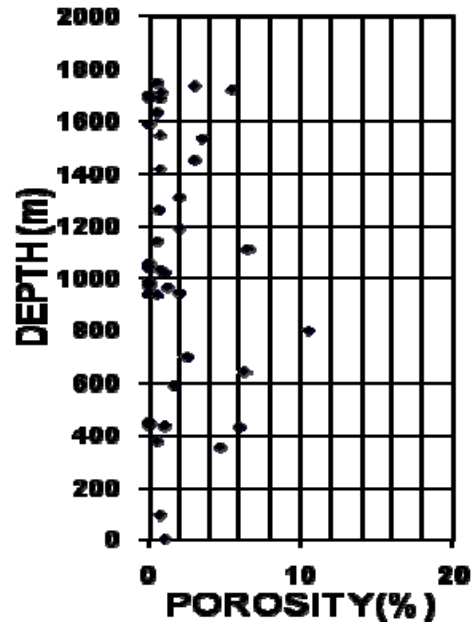
در طی دیاژنز اولیه کلسیت بدون آهن، اکسید آهن، سیلیس، کائولن، در دیاژنز دفنی عمیق کربناتهای آهن دار، سیلیس، کلریت، و در دیاژنز انتهایی کلسیت بدون آهن، کربناتهای آهن دار، اسید آهن و کائولن تشکیل شده اند.

تخلخل اولیه در ماسه سنگهای سازند کشف رود کمتر شناسایی گردیده است. از بین رفتن تخلخل اولیه را می توان به فرآیندهای سیمانی شده و فشردگی در طی مراحل اولیه دیاژنز نسبت داد. اما تخلخل ثانویه حاصل از فرآیندهای دیاژنتیکی، مورد شناسایی قرار گرفته است. سه نوع تخلخل ثانویه در ماسه سنگهای سازند کشف رود شناسایی شده است. تخلخل درون دانه ای که در اثر دگرسانی و انحلال فلدسپاتها، خرده سنگهای اولترابازیک و میکاها حاصل شده است. در نهایت میانگین تخلخل در نمونه های مطالعه شده در حدود ۲/۷٪ برآورد شده است.

تشکر و قدر دانی

در پایان از دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، حوزه پژوهشی جهت تامین بودجه طرح تحقیقاتی و از دانشگاه دالهاوزی کانادا جهت انجام برخی آنالیزهای ژئوشیمیایی به روش ماکروپروب تشکر و قدردانی می گردد.

رخداد تخلخل و میزان آن در بخشهای ماسه سنگی سازند کشف رود در طی مراحل مختلف دیاژنتیکی را نشان داده شده است.



شکل ۸: نمایش درصد تخلخل ماسه سنگهای کشف رود در مقابل عمق بر متر که بروش شمارش نقاط نمونه هایی که با چسب آبی رنگ آغشته شده اند تعیین گردیده است. میزان تخلخل فقط در رخنمون یک برش نمایش داده شده است.

Diagenetic Stage	(Early Diagenetic) (Burial Diagenetic) (Uplift Diagenetic)		
	→	→	→
Event			
COMPACTION	—————	—————	-----
CEMENTATION Non Ferroan Calcite Ferroan Calcite Dolomite	—————	—————	—————
Iron Oxides	—————	—————	—————
Quartz Overgrowth	-----	—————	—————
Chlorite Kaolinite SECONDARY POROSITY	-----	-----	—————

شکل ۹: توالی دیاژنتیکی سازند کشف رود [خطوط پر رنگ رخدادهای اصلی، خطوط کم رنگ رخدادهای فرعی و خطوط نقطه چین رخدادهای احتمالی را نشان می دهد].

منابع:

- پورسلطانی، م. ر.، موسوی حرمی، ر. و لاسمی، ی. ۱۳۸۵، شناخت مجموعه های رخساره ای سازند کشف رود (ژوراسیک میانی) و تفسیر محیط رسوبی آن، مجموعه مقالات دهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، صفحه ۲۴۸.
- پورسلطانی، م. ر. و موسوی حرمی، ر. ۱۳۸۷، تفسیر تاریخچه سیمانی شدن سنگهای سیلیسی آواری ژوراسیک میانی در شمال شرق ایران، مجموعه مقالات دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ۳۳۵-۳۲۹.

- Afshar Harb A. 1979: The Stratigraphy, Tectonics and Petroleum Geology of the Kopet Dagh Region, Northern Iran: Doctoral Imperial College of Science and Technology, University of London, London, England, 316 p.
- Bennett P., Siegel D. I. 1987: Increased solubility of quartz in water due to complexing by organic compounds. *Nature*, **326**: 684-686.
- Boles J. R., Franks S. G. 1979: Clay diagenesis in Wilcox sandstone of southwest Texas: implications of smectite diagenesis on sandstone cementation. *Journal of Sedimentary Petrology*, **49**: 55-70.
- Dill H.G., Khishigsuren S., Melcher S., Bulgamaa J., Bolorma Kh., Bot, R., Schwarz-Schampera U. 2005: Facies-related diagenetic alteration in lacustrine-deltaic red beds of the Paleogene Ergeliiin Zoo Formation (Erdene Sum area, S. Gobi, Mongolia). *Sedimentary Geology*, **181**: 1-24.
- El-ghali M.A.K., Morad S., Mansurbeg H., Miguel A., Caja M., Sirat N., Ogle. 2009: Diagenetic alterations related to marine transgression and regression in fluvial and shallow marine sandstones of the Triassic Buntsandstein and Keuper sequence, the Paris Basin, France. *Marine and Petroleum Geology*, **26**: 289-309.
- Evans W.D. 1964: Facets of organic geochemistry. In: E.G. Hallsworth and D.V. Crawford (Editors), *Experimental Petrology*, Butterworth, London, 14-28.
- Fisher R.S., Land, L.S. 1986: Diagenetic history of Eocene Wilcox sandstone, South – Central Texas, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **50**: 551 – 561.
- Folk R.L. 1980: *Petrology of Sedimentary Rock*, Hemphill Publishing Co., Texas, 182 p.
- Fournier R.O. 1985: The behavior of silica in hydrothermal solution, in Berger, B. R., and Bethke, P.M., eds., *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems*. Society of Economic Geologists, *Reviews in Economic Geology*, **2**: 45-61.
- Goldstein R.H., Rossi C. 2002: Recrystallization in quartz overgrowths. *Journal of Sedimentary Research*, **72**: 432-440.
- Hall J.S., Mozley P., Davis J.M., Roy N.D. 2004: Environments of formation and controls on spatial distribution of calcite cementation in Plio-Pleistocene fluvial deposits, New Mexico, U. S. A. *Journal of Sedimentary Research*, **74**: 643-653.
- Hartmann B. H., Ramseyer K., Matter A. 2000: Diagenesis and pore-water evolution in Permian sandstones, Gharif Formation, Sultanate of Oman. *Journal of Sedimentary Research*, **70**: 533-544.
- Hillier S. 1994: Pore-lining chlorites in siliciclastic reservoir sandstones: electron microprobe, SEM and XRD data, and implications for their origin. *Clay Minerals*, **29**: 665-679.
- Houseknecht D.W. 1984: Influence of grain size and temperature in intragranular pressure solution, quartz cementation, and porosity in a quartzose sandstone. *Journal of Sedimentary Petrology*, **54**: 348-361.
- Ketzer J.M., Morad S., Evans R., Al-Aasm I.S. 2002: Distribution of diagenetic alteration in fluvial, deltaic, and shallow marine sandstones within a sequence stratigraphic framework: evidence from the Mullaghmore Formation (Carboniferous), NW Ireland. *Journal of Sedimentary Research*, **72**: 760-774.
- Ketzer J.M., De Ross L.F., Norberto D. 2005: Kaolinitic meniscus bridges as an indicator of early diagenesis in Nubian sandstone, Sinai, Egypt – discussion. *Sedimentology*, **52**: 3213-217.
- Khanna M., Saigal G.C., Borlykke K. 1997: Kaolinitization of Upper Triassic-Lower Jurassic sandstones of the Tampen Spur area, North Sea: implications for early diagenesis and fluid flow. In: I.P. Montañez J.M., Gregg K.L., Shelton Editors, *Basin-wide diagenetic patterns: integrated petrologic, geochemical, and hydrologic considerations*. *SEPM Special Publication*, **57**: 253–268.
- Kim Y., Lee Y.I. 2003: Diagenesis of shallow marine sandstones, the Lower Ordovician Dongjeom Formation, Korea: response to relative sea-level changes. *Journal of Asian Earth Sciences*, **23**: 235-245.
- Lanson B., Beaufort D., Berger G., Bauer A., Cassagnabère A., Meunier A. 2002: Authigenic kaolin and illitic minerals during burial diagenesis of sandstones: a review. *Clay Mineral*, **37**: 1–22.
- Liu K.W. 2003: Deep-burial diagenesis of the siliciclastic Ordovician Natal Group, South Africa. *Sedimentary Geology*, **154**: 177-189
- Madani M. 1977: A study of the sedimentology, stratigraphy and regional geology of the Jurassic rocks of eastern Kopet Dagh (NE Iran). Unpublished Ph.D. thesis, Royal School of Mines, Imperial College, London, 246.
- Mansurbeg H., El-ghali M.A.K., Morad S., Plink-Björklund P. 2006: The impact of meteoric water on the diagenetic alterations in deep-water, marine siliciclastic turbidites. *Journal of Geochemical Exploration*, **89**: 254-258.
- Matyas J. 1998: Carbonate cements in the Tertiary sandstones of the Swiss Molasse basin, relevance to palaeohydrodynamic reconstruction. *Sedimentology*, **26**: 141 – 162.
- Mcbride E.F. 1989: Quartz cement in sandstones: A review. *Earth-Science Reviews*, **26**: 69 – 112.
- Mcbride E.F., Land L.S., Mack L.E. 1987: Diagenesis, Norphler Formation (Upper Jurassic), Rankin County, Mississippi, and Mobile County, Alabama. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, **71**: 1019-1034.
- Molenaar N., Cyziene J., Sliupa S. 2007: Quartz cementation mechanisms and porosity variation in Baltic Cambrian sandstones. *Sedimentary Geology*, **195**: 135-159.
- Morad S., Aldaham A.A. 1986: Diagenetic alteration of detrital biotite in Proterozoic sedimentary rocks from Sweden. *Sedimentary Geology*, **47**: 95-107.
- Moussavi-Harami R., Brenner R.L. 1992: Geohistory analysis and petroleum reservoir characteristics of Lower Cretaceous (Neocomian) sandstones, eastern Kopet Dagh Basin, northeastern Iran. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, **76**: 1200-1208.

- Poursoltani M.R., Gibling R.M. 2006: The Kashafud Formation of Iran: the Jurassic turbidites in the Neotethys Ocean, and their reservoir evolution. The Atlantic Geoscience Society, 32nd Colloquium and Annual Meeting, Canada, Abstracts. 61.
- Poursoltani M.R., Gibling R.M., Moussavi Harami R. 2006: Sedimentology and diagenesis of a turbidite succession: the Jurassic Kashafud Formation of the Kopet-Dagh Basin. 17th International Sedimentological Congress, Japan, Abstracts, **B**: 121.
- Poursoltani M.R., Moussavi Harami R., Gibling R.M. 2007: Jurassic deep-water fans in the Neo-Tethys Ocean: The Kashafud Formation of the Kopet-Dagh Basin, Iran. *Sedimentary Geology*, **198**: 53-74.
- Reed J.S., Eriksson K.A., Kowalewski M. 2005: Climatic, depositional and burial controls on diagenesis of Appalachian Carboniferous sandstones: qualitative and quantitative methods. *Sedimentary Geology*, **176**: 225-246.
- Ros L.F.De., Morad S., Al-Aasm I.S. 1997: Diagenesis of siliciclastic and volcanoclastic sediments in the Cretaceous and Miocene sequences of the NW African margin (DSDP Leg 47A, Site 397). *Sedimentary Geology*, **112**: 137-156.
- Salem A.M., Ketzer J.M., Morad S., Rizk, R.R., Al-Aasm I.S. 2005: Diagenesis and Reservoir-Quality evolution of incised-valley sandstones: Evidence from the Abu Madi Gas Reservoirs (Upper Miocene), The Nile Delta Basin, Egypt. *Journal of Sedimentary Research*, **75**: 572-584.
- Siebert R.M., Moncure G.K., Lanham R.W. 1984: A theory of framework grain dissolution in sandstones, In: Clastic Diagenesis (Ed, D. A. McDonald and R. C. Surdan). pp. 163-176. AAPG Memoir 37. Tulsa. Oklahoma. U. S. A.
- Souza R.S., Assis Silva C.M. 1998: Origin and timing of carbonate cementation of the Namorado Sandstone (Cretaceous), Albacora Field, Brazil: implications for oil recovery. *Sedimentology*, **26**: 309 – 325.
- Spötl C., Houseknecht D.W., Longstaffe F.J. 1994: Authigenic chlorites in sandstones as indicators of high-temperature diagenesis, Arkoma foreland basin, USA. *Journal of Sedimentary Research*, **64**: 553–566.
- Tang Z., Parnell J., Longstaffe F.J. 1997: Diagenesis and reservoir potential of Permian – Triassic fluvial/lacustrine sandstone in the Southern Junggar Basin, Northwestern China. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, **81**: 1843 – 1865.
- Towe K.M. 1962: Clay mineral diagenesis of a possible source of silica cement in sedimentary rocks. *J. Sediment. Petrol.* **32**: 26-28.
- Walderhaug O., Bjørkum P.A. 1998: Calcite cement shallow marine sandstones: growth mechanisms and geometry. *Sedimentology*, **26**: 179 – 192.
- Wanas H.A. 2008: Calcite-cemented concretions in shallow marine and fluvial sandstones of the Birket Qarun Formation (Late Eocene), El-Faiyum depression, Egypt: Field, petrographic and geochemical studies: Implications for formation conditions. *Sedimentary Geology*, **212**: 40-48.
- Weber J., Ricken W. 2005: Quartz cementation and related sedimentary architecture of the Triassic Solling Formation, Reinhardswald Basin, Germany. *Sedimentary Geology*, **175**: 459 – 477.