

## سنگ شدگی و اثرات آن بر کیفیت مخزنی سازند ایلام در میدان جفیر با استفاده از پتروگرافی و نگارهای چاه پیمایی

سروش میرزاقرچه<sup>1</sup>، مهناز آقاپور<sup>2</sup>، محسن خدرصلح<sup>3</sup>، بهرام حبیب نیا<sup>4</sup>

کارشناسی ارشد زمین شناسی نفت<sup>1</sup>،

کارشناسی زمین شناسی<sup>2</sup>،

کارشناس ارشد مهندسی نفت، حفاری/بهره برداری<sup>3</sup>،

دکترای مهندسی نفت، استادیار دانشگاه

### چکیده

سنگ شدگی از فرآیندهای مهم و تأثیرگذار بر کیفیت مخزنی است. سازند ایلام (سانتونین)، در میدان جفیراز توالیهای سنگ آهک، شیل و دولومیت تشکیل شده است. استفاده از روشهای پتروگرافی و پتروفیزیکی به عنوان مکمل یکدیگر در شناسایی ویژگیهای سنگشدگی و تأثیرات آن بر کیفیت مخزنی دارای اهمیت بسزایی است. بررسیهای پتروگرافی نشان میدهد که فرآیندهای دیاژنزی گوناگونی بر این سازند تأثیر گذاشته است. مهمترین فرآیندهای دیاژنزی شامل، انحلال، شکستگی، دولومیتی شدن، میکریتی شدن، سیمانی شدن و فشردگی است. با توجه به شواهدی چون انحلال گسترده و تشکیل تخلخل های قالبی و حفره ای و تشکیل انواع سیمان های مربوط به محیط متئوریک (تیغه ای، هم بعد و ...) و ترتیب این فرآیندها می توان نتیجه گرفت که رسوبات مورد مطالعه، پس از طی محیط دیاژنزی دریایی مستقیماً وارد محیط تدفینی نشده اند، بلکه حداقل بخش هایی مانند پشته های سدی ابتدا وارد محیط دیاژنزی متئوریک شده و پس از طی فرآیندهای مربوط به این محیط وارد محیط دیاژنزی تدفینی شده اند. همچنین مطالعات پتروفیزیکی تأیید کننده ویژگیهای پتروگرافی است. زون D که مخزن اصلی سازند ایلام در میدان جفیر است عمدتاً تحت تأثیر فرآیند انحلال قرار گرفته است.

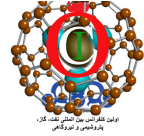
واژه های کلیدی : سنگشدگی، کیفیت مخزنی، سازند ایلام و میدان جفیر

1- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گچساران، باشگاه پژوهشگران جوان، گچساران، ایران Mail: Soroush.gharacheh@gmail.com

2- دانشگاه فردوسی مشهد Mail: 5902191@gmail.com

3- شرکت ملی حفاری ایران mail: mkhedersolh@yahoo.com

4- دانشگاه صنعت نفت اهواز، دانشکده نفت Mail: bhabibnia@gmail.com



## 1- مقدمه

دیاژنز به مجموعه تغییرات در ماهیت رسوب یا ترکیب رسوب پس از رسوبگذاری اطلاق می‌شود، این محدوده تغییرات از لحظه رسوبگذاری آغاز و تا قبل از دگرگون شدن ادامه پیدا می‌کند. فرآیندهای دیاژنزی باعث آرایش و نظم بلوری کانی‌های تشکیل دهنده سنگ می‌شوند. این فرآیندها یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین کننده در میزان تخلخل به خصوص تخلخل ثانویه در توالی‌های رسوبی می‌باشند. به همین دلیل بهره‌دهی نهایی مخازن هیدروکربنی ارتباط تنگاتنگ با تغییرات دیاژنزی دارد. رسوبات در طی زمان معمولاً در چند محیط دیاژنتیکی قرار می‌گیرند، چرخه قرارگیری آنها در سیستم سنگ - سیال به طور متناوب صورت گرفته و واکنش بین سنگ و سیال به صورت حفره‌ها، سیمانی شدن، دولومیتی شدن و غیره مشاهده می‌شود. (رحیم پور بناب، 1384).

فرآیندهای دیاژنزی در رسوبات کربناته در سه محیط اصلی دریایی، آب شیرین و تدفینی صورت می‌گیرند. از فرآیندهای دیاژنزی دریایی میکریتی شدن، سیمان دریایی نسل اول را می‌توان نام برد. از فرآیندهای دیاژنزی آب شیرین می‌توان به سیلیسی شدن، سیمان‌های حاشیه‌ای هم ضخامت، بلوکی، هم بعد و فرآیند انحلال اشاره داشت. از فرآیندهای شناسایی شده در محیط تدفینی می‌توان تراکم و انحلال فشاری را نام برد.

## 2- روش بحث و بررسی

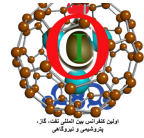
برای مطالعه، از مقاطع نازک و نگارهای چاه پیمایی و همچنین از نرم‌افزار ژئولاگ برای پردازش داده‌ها استفاده شده است. برخی از فرآیندهای دیاژنتیکی باعث افزایش تخلخل (انحلال) و برخی کاهنده تخلخل (سیمانی شدن، فشردگی و دولومیتی شدن) می‌شوند (Tucker, 2004). ویژگی‌های مخزنی عموماً با فرآیندهای سنگ‌شدگی (Diagenetically) کنترل می‌شوند (Lucia.J.F., 1999; Moore, 2004). از جمله فرآیندهای سنگ‌شدگی تأثیرگذار سازند ایلام: میکریتی شدن، سیمانی شدن، انحلال، دولومیتی شدن و فشردگی است.

### 1- میکریتی شدن (Micritization)

در سازند ایلام بخش‌های میکریتی شده در اطراف اکتیوئیدها به صورت میکریت حاشیه‌ای (micritic rims) مشخص است. میکریتی شدن وقتی که روزن‌داران اصلی جایجا شده‌اند منشأ دانه‌ها به سختی قابل تشخیص است. میکریتی شدن احتمالاً بوسیله جلبک‌ها، قارچها و باکتریها در محیط‌های با آبهای آرام صورت گرفته است. بیشترین میکریتی شدن در اطراف خرده‌های زیستی صورت می‌گیرد (Tucker and Wright, 1990). میکریتی شدن که یک فرآیند نزدیک به سنگ‌شدگی است بیانگر نهشته شدن رسوبات در یک محیط دریایی کم عمق و یا تالاب است (Bathurst, 1975; Jordan, et al, 1985; Scoffin, 1987) پر شدن حفرات یا کاهش اندازه دانه‌های ماتریکس سبب کاهش تراوایی می‌گردد. به هر حال میکریتی شدن اولیه ممکن است با جلوگیری از فرآیند فشردگی سبب افزایش تخلخل نیز شده باشد (شکل 1-1-A).

### 2- سیمان شدن (Cementation)

سیمانی شدن پدیده‌ای است که در طی آن بلورهای سیمان در حفره‌ها تشکیل می‌شوند. در نتیجه این عمل رسوبات محکم‌تر می‌شوند، تراکم کاهش می‌یابد و سنگ شدن (Lithification) شروع می‌شود. مقدار کافی کربناتهای محلول در محیط‌های دریایی کم عمق و آب شیرین برای تشکیل سیمان وجود دارد (فیض‌نیا، 1377). چهار نوع سیمان کلسیتی در



سازند ایلام شناسایی شد که شامل: سیمان بلوکی (Blocky)، سیمان سینتکسیال (Syntaxial)، سیمان تیغه ای (Bladed) و سیمان دروزی (Drusy) است.

### 2-1- سیمان بلوکی (Blocky)

این سیمان به صورت بلورهای با اندازه متوسط تا درشت می‌باشند که هیچ گونه جهت‌یابی ترجیحی خاصی ندارند و بلورها اغلب مرزهای مشخصی را نشان می‌دهند. کانی شناسی این سیمان کلسیت با منیزیم کم و کلسیت پر منیزیم می‌باشد. این نوع سیمان شاخص محیطهای دیاژنزی متئوریک و وادوز و فریاتیکی است. این سیمان به صورت پر کننده فضای خالی ته نشست می‌یابد. همچنین این احتمال وجود دارد که حاصل تبلور دوباره سیمان‌های نسل قبل نیز باشد (Loucks, 1999; Flugel, 2004) با توجه به بررسی‌های بافتی، این سیمان متعلق به محیط متئوریک است. برای مثال نمونه‌هایی که تحت تأثیر این سیمان در مرحله متئوریک قرار گرفته بودند در مرحله تدفین فواصل بین دانه‌ها تغییر نکرده است. این نشان می‌دهد که رسوبات پس از تحمل دیاژنز مستقیماً وارد محیط تدفین نشده‌اند بلکه ابتدا دیاژنز تحت جوی و محیط فراتیک را تحمل کرده‌اند. این سیمان شبیه سیمان‌هایی است که در منطقه فریاتیکی متئوریک کم عمق در سدهای ایلیتی تشکیل می‌شود (Halley & Harris, 1979; James & Choquette, 1984; Heasley et al., 2000). هنگامی که سیمانهای بلوکی بین حفرات را پر می‌کنند، معمولاً تخلخل کاهش می‌یابد و در نتیجه سبب کاهش کیفیت مخزنی شده است (شکل 1- B).

### 2-2- سیمان تیغه ای (Bladed)

سیمان تیغه‌ای در اطراف دانه‌ها و حفرات درون دانه‌ای رشد می‌کند. بلورهای ریز تا متوسط کلسیت سبب پر شدن تخلخل درون دانه‌ای شده است. این چنین تجمع سیمان تیغه‌ای در منطقه آبهای جوی تازه نیز بوسیله جردن و همکاران (Jordan, et al, 1985) در سازند میشریف در خلیج فارس گزارش شده است. این سیمان در احتمالاً همان م و حله ابتدایی در منطقه کم عمق سد تشکیل شده و بدین گونه از فشردگی رسوبات جلوگیری کرده و در نتیجه تخلخل درون دانه‌ای دانه اولیه را حفظ کرده است.

### 2-3- سیمان دروزی (Drusy)

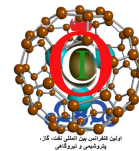
این سیمان به صورت حفره پر کن در فضای بین ذره‌ای و درون حجرات اسکلتی در تخلخل‌های حاصل از انحلال و نیز در طول شکستگیها تشکیل می‌شود. این سیمان دارای خصوصیات بلورین هم بعد تا کشیده و بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار می‌باشد. از خصوصیات بارز این سیمان افزایش اندازه بلورها به سمت مرکز حجرات است. اندازه بلورها معمولاً بزرگتر از 10 میکرون است. این سیمان در محیط دیاژنزی جوی نزدیک به سطح و همچنین محیط دفنی تشکیل می‌شود (Flugel, 2004). با توجه به خصوصیت بارز درشت شدن اندازه بلورها به سمت مرکز حجره‌ها این سیمان در توالیهای سازند ایلام قابل شناسایی است.

### 2-4- سیمان سین تکسیال (Syntaxial)

این سیمان بر روی قطعات اسکلتی مختلف بویژه اکتینودرمها در محیطهای دریایی تشکیل می‌شود که البته در دریاهای امروزی گسترش چندانی ندارند، این نوع سیمان در گرینستونهای پالئوزوئیک و مزوزوئیک گسترش بیشتری داشته است. (رحیم‌پوربناب، 1384). در سازند ایلام سیمان سین تکسیال بیشتر در اطراف قطعات اکتینوئید تشکیل شده است (شکل 1- C).

### 3- انحلال (Dissolution)

یکی از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنیتیکی در رابطه با ایجاد تخلخل در سنگ‌های کربناته انحلال می‌باشد و بنابراین نقش بسزایی در کیفیت مخزن دارد. انحلال تنها به توانایی حل شدن کانیها بستگی دارد (Moore, 2001).



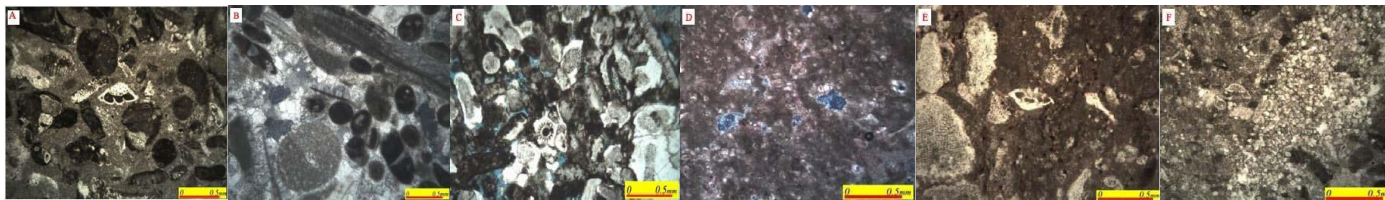
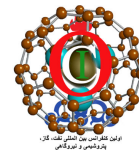
فرآیند انحلال در سنگها و سیمان کربناته تحت تأثیر سیالات درون منفذی و ترکیب کانی شناسی سنگ انجام می شود. از تخلخلهای ایجاد شده در نتیجه انحلال می توان به تخلخلهای حفره ای، درون دانه ای و قالبی اشاره کرد (Flugel, 2004). ترکیب عمده فسیلهای تشکیل دهنده سازند ایلام نشان می دهد که اکینوئیدها نسبت به روزنداران کفزی و پلاژیک بیشترین حساسیت را نسبت به انحلال داشته اند. انحلال سبب بوجود آمدن انواع تخلخل (حفره های، قالبی و ...) و گسترش تخلخل درون دانه ای شده است. تخلخل حفره ای بیشترین درصد تخلخل را در سازند ایلام داراست. تخلخل حفره ای بیشتر در رخساره های وکستونی و پکستونی محیط تالاب، سد، جلوی سد و قسمتهای کم عمق دریای باز است در این محیطها تخلخل بالایی وجود دارد اما در قسمتهای عمیق تر دریا به مقدار خیلی کمتر تخلخل ایجاد شده است. این انحلال ممکن است در اثر فرآیندهایی جداگانه بوجود آمده باشد (1) تغییرات در ترکیب سیالات موجود در حفرات، ناشی از تغییرات سطح آب دریا: انتشار آب احاطه کننده اطراف شیلها در حیه فشردگی شیلها و انحلال فشاری (Moore, 1986) در ناحیه آبهای جوی (meteoric)، دانه های ناپایداری از قبیل آراگونیت و کلسیت منیزیم بالای شسته می شوند و تخلخل حفره ای شکل می گیرد (شکل D).

#### 4- فشردگی (Compaction)

فشردگی در دیاژنز سنگهای آهکی به دو صورت مکانیکی و شیمیایی دیده می شود. فشردگی مکانیکی ناشی از وزن طبقات بالایی است و منجر به آرایش نزدیک تر دانه ها و کاهش تخلخل می شود. گل های آهکی معمولاً فشردگی بیشتری را در طی دفن عمیق تحمل می کنند. فشردگی می تواند وکستون های اسکلتی را به پکستون های اسکلتی تبدیل کند. فشردگی شیمیایی در موقع افزایش فشار در محل تماس دانه ها به صورت انحلال فشاری (Dissolution pressure) نمایان می شود. در محل تماس دانه ها معمولاً تماس مضرس و محدب- مقعر ایجاد می شود (Tucker, 2004). شکل سطح تماس به عواملی همچون خصوصیات سنگ شناسی، حضور یا عدم حضور سیمان و قابلیت حلالیت مواد در طرفین سطح تماس بستگی دارد. دانه های با حلالیت کمتر در دانه های با حلالیت بیشتر فرو می روند (فیض نیا، 1377) (شکل E).

#### 5- دولومیتی شدن (Dolomitization)

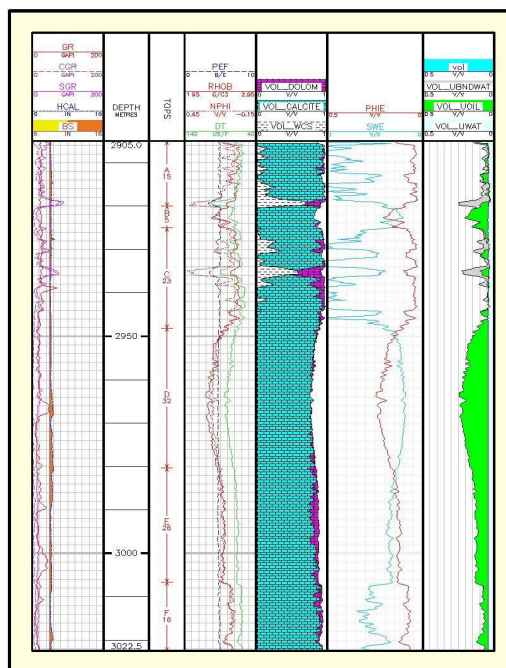
جانشینی کانی های کربنات کلسیم توسط دولومیت و ته نشست سیمان دولومیتی، هم در حین رسوبگذاری (دیاژنز اولیه) و هم بعد از رسوبگذاری در طی دیاژنز ثانویه می تواند انجام گیرد. فرآیند دیاژنتیکی دولومیتی شدن معمولاً فابریک رسوب را تغییر داده و ظاهر آلوکمها را مبهم می کند. دولومیت های شناسایی شده در برش مورد مطالعه بیشتر از نوع دیاژنتیکی (ثانویه) بوده و براساس تقسیم بندی سیبلی و گرگ (1987) تقسیم بندی شده است. بیشتر دولومیت های شناسایی شده در سازند ایلام از نوع صفحه ای (Planar) و غیر هم اندازه شکل دار (Polymodal) هستند (شکل F).



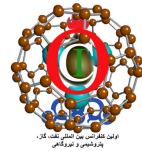
شکل 1 - A : peloid bioclast packstone ، اطراف دانه های اکینودرم می توان میکریته حاشیه ای را دید. B : peloid  
 bioclast packstone ، سیمان بلوکی سیمان غالب در تصویر بالاست. C : bioclast peloid grainstone ، سیمان سین تکسیال  
 احاطه کننده خرده های اکینوتید است. D : bioclast packstone ، انحلال سبب ایجاد تخلخل حفرهای بین دانه ای و درون دانه ای شده  
 است. E : bioclast packstone ، اثر فشردگی را می توان در به هم فشردگی خرده های اکینودرم دید. F : Polymodal planar  
 bioclast dolomite wackestone ( دولووکتون بایوکلستی با بلورهای صفحه ای غیر هم اندازه شکل دار) : در این رخساره  
 دولومیتی شده درصد دولومیتی شدن بین 40 تا 50 درصد متغیر است. در اثر فابریک مخرب پدیده دیازنتیکی دولومیتی شدن ظاهر  
 آلوکم ها محو شده و فقط آثار و شبحی از پلوئیدها باقی مانده است.

## 6- سنگ شدگی و اثرات آن بر نگارهای چاه پیمایی

نگارهای چاه پیمایی متأثر از سنگ شدگی دچار تغییراتی شده اند که این تغییرات هم در نمودارها و هم در ارزیابی صورت  
 گرفته توسط نرم افزار ژئولاگ به خوبی قابل مشاهده است.



شکل 2- تصویر ساخته شده توسط نرم افزار ژئولاگ، انحلال سبب مخزنی شدن زون های D , B ، میکریته شدن و فشردگی در  
 زون های A , C سبب از بین رفتن خاصیت مخزنی و در زون F فشردگی سبب از بین رفتن تخلخل و در نتیجه از بین رفتن ویژگی مخزن  
 شده است. Zون E به عنوان زون انتقالی در این چاه عمل کرده است.



## 3- نتیجه گیری

1. فرآیندهای دیاژنزی گوناگونی بر سازند ایلام تأثیر گذاشته است. مهمترین فرآیندهای دیاژنزی شامل، انحلال، شکستگی، دولومیتی شدن، میکریتی شدن، سیمانی شدن و فشردگی است.
2. در نمونه‌های چاه مورد مطالعه فرآیندهایی چون میکریتی شدن و سیمان حاشیه هم ضخامت دلالت بر طی محیط دیاژنز دریایی است. با توجه به شواهدی چون انحلال گسترده و تشکیل تخلخل‌های قالبی و حفره‌ای تشکیل انواع سیمان‌های مربوط به محیط متئوریک (تیغه‌ای، هم بعد و ...) و ترتیب تقدم، تأخر فرآیندها می‌توان نتیجه گرفت که رسوبات چاه مذکور پس از طی محیط دیاژنز دریایی مستقیماً وارد محیط تدفینی نشده‌اند، بلکه حداقل بخش‌هایی مانند پشته‌های سدی (Shoal) ابتدا وارد محیط دیاژنزی متئوریک شده و پس از طی فرآیندهای مربوط به این محیط وارد محیط دیاژنز تدفینی شده‌اند.
3. تراکم فیزیکی به صورت خرد شدن بیوکلس‌ها و قالب‌های آئیدی و جهت‌یابی ترجیحی در نمونه‌ها تراکم شیمیایی به شکل انحلال فشاری، تشکیل فابریک درهم و انواع استیلولیت‌های مجاور استیلولیت‌ها، در ادامه فرآیند تدفین رخ داده است.
4. زون‌های A, C تحت تأثیر میکریتی شدن و فشردگی و زون F در اثر فشردگی فاقد ویژگی شده‌اند و زون‌ها B, D در اثر انحلال به عنوان مخزن هیدروکربور عمل می‌نمایند. زون E نیز یک زون انتقالی است.

## مراجع:

1. Bathurst, R.G.C. 1975. Carbonate Sediments and their diagenesis. Developments in Sedimentology, 12. Elsevier, Amsterdam.
2. Halley, R.B. and Harris, P.M., 1979. Fresh-water cementation of a 1.000 year-old Oolite. J. Sed. Petrol., 49: 969-988.
3. Heasley, E.C., Worden, K.H., Hendry, J.P., 2000, Cement distribution in a carbonate reservoir: recognition of a palaeo oil-water contact and its relationship to reservoir quality in the Humbly Grove field, onshore, UK. Mar. and petrol. Geol. V. 17, P. 639-654.
4. James, N.P., and Choquette, P.W., 1984. Diagenesis 9. Limestone- The meteoric seafloor diagenetic environment: Geosci Canada, v.11, p.161-194.
5. Loucks, R.G. 1999. Paleocave carbonate reservoirs: origin, burial-depth modification, spatial complexity, and reservoir implication. Journal of Sedimentary Research, 83, 1795-1834.
6. Lucia, F. J., 1995. Rock-Fabric/Petrophysical Classification of Carbonate Pore Space for Reservoir Characterization. AAPG Bulletin, V. 79, p. 1275-1300.
7. Moore, C.H. 2001. Carbonate reservoirs- porosity evolution and diagenesis in a sequence stratigraphic framework. Developments in Sedimentology, 55. Elsevier, Amsterdam.
8. Scoffin, T.P. 1987. An introduction to carbonate sediments and rocks. Blackie, Glasgow.
9. Tucker, M.E. and Wright, V.P., 1990. Carbonated Sedimentology, Blackwell. Sci. Pub., p. 482.
10. Tucker, M.E., 1991. Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of sedimentary rocks : Blackwell, Sci. Publ., London, p. 260.