

## کنترل محیط رسوبی و فرایندهای دیاژنزی بر ویژگی‌های پتروفیزیکی سازند فهلیان

حسین نوری<sup>\*</sup>، حسین رحیم پور بناب، اکبر زمانی نژاد، دانشگاه تهران

### چکیده

سازند فهلیان شامل توالی کربناته نسبتاً ضخیمی از گروه خامی به سن نئوکومین - بارمین می‌باشد. مطالعات صورت گرفته بر روی این سازند در منطقه مورد مطالعه واقع در دزفول جنوبی، منجر به شناسایی ۱۹ ریزرخساره در ۵ کمر بند رخساره‌ای رمپ خارجی، رمپ میانی، پشته‌های سدی، لاگون و پهنه کشندی شده است. مهمترین فرایندهای دیاژنزی شناسایی شده در سازند فهلیان عبارتند از انحلال، میکرایتی شدن، تراکم، دولومیتی شدن، سیلیسی شدن، پیریتی شدن، سیمانی شدن و شکستگی که در طی مراحل مختلف دیاژنزی دریایی، متئوریک و دفنی ایجاد شده‌اند. به طور کلی محیط رسوبی تأثیر مستقیم و چندانی بر روی خصوصیات مخزنی سازند فهلیان در چاه A نداشته است و اغلب فرایندهای دیاژنزی نظیر تراکم مکانیکی و سیمانی شدن نیز سبب کاهش ویژگی‌های مخزنی این سازند شده‌اند. بنابراین چاه مورد مطالعه از شرایط مخزنی مطلوبی برخوردار نیست. فرایندهای دیاژنزی نظیر دولومیتی شدن، استیلولیتی شدن، شکستگی‌های ریز و سیمان نسل اول هم‌ضخامت اطراف دانه‌ها به طور محدود نقش موثری را در افزایش کیفیت مخزنی این سازند ایفا نموده‌اند. بر اساس اطلاعات حاصل از نگاره‌های چاه‌پیمایی نوترون، چگالی و زمان گذر صوت در کمر بندهای رخساره‌ای شناسایی شده، مقادیر این نگارها موید بالاتر بودن کیفیت مخزنی در زیر محیط‌های رمپ میانی و لاگون از سایر زیر محیط‌ها می‌باشد.

### اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۶/۱۱/۱۲  
تاریخ ارسال به داور: ۹۶/۱۱/۱۸  
تاریخ پذیرش داور: ۹۷/۰۲/۲۶

### واژگان کلیدی:

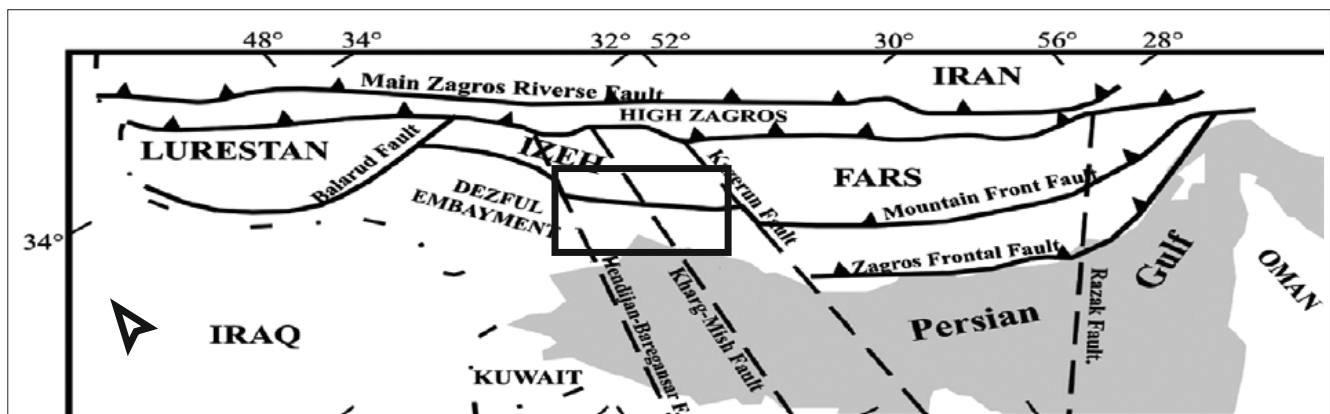
سازند فهلیان، ریزرخساره، محیط رسوبی، فرایندهای دیاژنزی، خصوصیات مخزنی

### مقدمه

رسوبی اولیه، در حال باز آرای و آرایش مجدد در گستره مخزن، قرار می‌گیرد. از این رو همین فرایندها، مسبب افزایش میزان ناهمگنی در مقیاس‌های مختلف، در مخازن کربناته می‌باشند [۳]. خواص اصلی سنگ‌ها معمولاً با مطالعات توصیفی در صحرای یاروی مغزه (لیتوفاسیس) و مطالعات آزمایشگاهی (ریزرخساره) تعریف می‌گردد. با توجه به اینکه داده‌های مغزه از چاه مورد مطالعه تهیه نشده است، لذا در این پژوهش با تکیه بر داده‌های چاه‌پیمایی در دسترس و مطالعات آزمایشگاهی بر روی خرده‌های حفاری (ریزرخساره‌ها و دیاژنزی) و شناسایی کمر بندهای رخساره‌ای و ارزیابی هر یک از آنها با استفاده از نمودارهای چاه‌پیمایی صورت گرفته می‌توان نقش و کنترل نسبی شرایط محیطی و فرایندهای دیاژنزی بر خصوصیات مخزنی

سازند کربناته فهلیان (گروه خامی بالایی) ضخامت زیادی از توالی کرتاسه زیرین را در بر می‌گیرد که عمدتاً در یک محیط کربناته دریایی کم عمق در حاشیه شمال شرقی و غیر فعال صفحه عربی نهشته شده است [۱]. بر اساس زون بندی صورت گرفته توسط وایند [۲]، سازند فهلیان در منطقه مورد بررسی دارای زون‌های زیستی ۱۴ و ۱۵، به سن نئوکومین - بارمین است.

امروزه ارزیابی خصوصیات مخزنی از اهمیت ویژه‌ای در صنعت نفت برخوردار است. ویژگی‌های بنیادی سنگ تحت تأثیر فرایندهای رسوبی، دیاژنزی و تکنونیک، در طی یک فرایند طولانی مدت، مدام در حال تکوین و تکامل بوده و به دنبال آن سیستم تخلخل، تحت کنترل الگوهای



شکل ۱ | نقشه منطقه‌ی مورد مطالعه، اقتباس از [۴]

\* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (hnoori1991@ut.ac.ir)

در سازند فهلیان را تعیین نمود.

#### ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و داده‌های در دسترس

در این پژوهش برش تحت‌الارضی یکی از چاه‌های میداین فروافتادگی دزفول مورد مطالعه قرار گرفته است. این میدان در بیست و پنج کیلومتری جنوب - جنوب شرقی شهرستان گچساران واقع می‌باشد (شکل-۱). سازند فهلیان در چاه A با ضخامت ۴۷۵ متر بر روی سازند هیث قرار گرفته و مرز بالایی آن با سازند گدوان قابل انطباق است. داده‌های در دسترس از چاه مطالعاتی، تعداد ۳۰۱ مقطع نازک میکروسکوپی تهیه شده از خرده‌های حفاری، به همراه نمودارهای چاه‌پیمایی تهیه شده از این چاه می‌باشد.

#### ۲- ریزرخساره و کمربندهای رخساره‌ای تعیین شده در سازند مورد مطالعه

در این مطالعه نامگذاری انواع بافت‌های آهکی بر اساس طبقه‌بندی دانه‌ها [۵] و امری و کلوان [۶] صورت گرفته و در تقسیم‌بندی کمربندهای رخساره‌ای در ارتباط با انواع ریزرخساره‌ها نیز از طبقه‌بندی فلوگل [۷] استفاده شده است. مطالعات صورت گرفته بر روی سازند فهلیان در چاه مورد مطالعه، منجر به شناسایی ۱۹ ریزرخساره در ۵ کمر بند رخساره‌ای شده است.

#### ۱-۲- کمر بند رخساره‌ای حوضه / رمپ خارجی

##### ریزرخساره شماره ۱: مادستون آهکی فسیل‌دار

اجزای عمده تشکیل دهنده این ریزرخساره شامل بقایای سوزن اسفنج، رادیولر، خارپوست، رودیست و همچنین در برخی مقاطع قطعاتی از خارپوستان پلاژیک است. مجموعه این اجزا و فرایندها به ویژه فراوانی پیریت اولیه که در مراحل اولیه دیاژنز دریایی و تحت شرایط احیایی تشکیل می‌شوند [۸]، مبین تشکیل آن در بخش شیب حوضه (رمپ خارجی) می‌باشد. این ریزرخساره قابل مقایسه با RMF۲ فلوگل [۷] است.

##### ریزرخساره شماره ۲: پکستون پلوئیدی

این ریزرخساره متشکل از پلوئیدهای دانه‌ریز، بقایای خارپوست و روزنبران کفزی با پوسته هیالین و در مواردی حاوی سوزن اسفنج می‌باشد. پلوئیدها فاقد سیمان دریایی و بسیار ریز می‌باشند و کمی قطعات اسکلتی ریف‌ساز شکسته و حمل شده نظیر رودیست نیز در آن مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد این بائوکست‌ها مخلوطی از خرده‌های حمل شده از حاشیه پلتفرم باشند که به سمت پایین منتقل شده‌اند [۷]. با توجه به شواهد بیان شده و همراهی با رخساره‌های مربوط به قسمت‌های نسبتاً عمیق دریا، معادل RMF۴ فلوگل [۷] و در رمپ خارجی در نظر گرفته شده‌اند.

##### ریزرخساره شماره ۳: وکستون حاوی سوزن اسفنج و بائوکست

اجزای اصلی تشکیل دهنده این ریزرخساره، سوزن اسفنج، خارپوست، رادیولر و کمی روزنبران کفزی حمل شده با فراوانی ۵ تا ۱۰ درصد می‌باشد. اسفنج‌ها هم در دریای باز و هم در تالاب می‌توانند رشد کنند و

شرایط بی‌هوازی و کمبود اکسیژن را نشان می‌دهند [۹]. با توجه به همراهی این ریزرخساره با رخساره‌های دریای باز، محیط تشکیل آن در قسمت‌های عمیق حوضه در نظر گرفته شده است. اهمیت سوزن اسفنج‌های سیلیسی به دلیل عملکرد آنها به عنوان منشأی برای سیلیسی کردن رسوبات کربناته است [۱۰]. با توجه به شواهد موجود احتمال می‌رود این ریزرخساره مربوط به قسمت‌های رمپ خارجی و قابل مقایسه با RMF۳ فلوگل [۷] باشد.

##### ریزرخساره شماره ۴: نهشته‌های توفانی رمپ خارجی

در این ریزرخساره آلوکم‌های اصلی شناسایی شده شامل پلوئید، اوئید، اینتراکست، رادیولر، سوزن اسفنج و بائوکست‌های پلاژیک می‌باشد. در این ریزرخساره، ریز شدن ذرات به سمت بالا بیانگر کاهش انرژی در محیط است [۱۱] و به صورت میان لایه‌هایی در بین نهشته‌های پلاژیک تشکیل شده است. لایه‌های نشان دهنده توفان، تنوع زیادی در ضخامت، اندازه دانه‌ها و ساختار داخلی نشان می‌دهند [۱۱، ۱۲] و با توجه به شواهد موجود احتمال می‌رود این رسوبات در شرایط توفانی حوضه رسوبی نهشته شده باشند. شواهد بافتی، فسیلی و وجود آثار آلی در این نهشته‌ها، حاکی از بستر رسوبی با سطح انرژی آرام و غنی از مواد آلی با اکسیژن کم است که می‌تواند نشان‌دهنده عمق زیاد آب بوده [۷] و احتمال می‌رود این ریزرخساره جزو نهشته‌های توفانی دور از خاستگاه (Distal Tempestites) باشند. وجود قطعات اوئیدی، پلوئید و خارپوست در این رسوبات، نشان‌دهنده حمل این رسوبات از مناطق کم‌ژرفا به وسیله جریان‌های توفان برگشتی به بخش‌های ژرف تر است.

##### ۲-۲- کمر بند رخساره‌ای رمپ میانی

##### ریزرخساره شماره ۵: وکستون بائوکستی

اجزای تشکیل دهنده این ریزرخساره به طور عمده شامل خارپوست، روزنبران کفزی، سوزن اسفنج و شکم‌پا می‌باشد. به دلیل عدم وجود سد نسبتاً گسترده و وسیع، در بخش‌های مختلف خرده‌های حمل شده جلبک‌های سبز و روزنبران کفزی نواحی کم‌عمق قابل مشاهده است که از محیط‌های کولاب و یا از بدنه سدهای ماسه‌ای کنده شده و در بخش‌های کم‌عمق محیط دریای باز ته‌نشست شده‌اند [۱۳]. با توجه به فراوانی اجزای اسکلتی شاخص دریای باز، محیط تشکیل این میکروفاسیس به رمپ میانی نسبت داده شده است و قابل مقایسه با RMF۹ فلوگل [۷] می‌باشد.

##### میکروفاسیس شماره ۶: وکستون حاوی خارپوست و بائوکست

این ریزرخساره حاوی خارپوست و سایر اجزای اسکلتی نظیر شکم‌پا، سوزن اسفنج، میزان کمی روزنبران کفزی و جلبک سبز می‌باشد. با توجه به فراوانی اجزای اسکلتی شاخص دریای باز و فراوانی موجودات استوئالین نظیر بریوزرها و خارپوست و گل فراوان، این ریزرخساره احتمالاً در محیطی با انرژی پایین و زیرخط اثر امواج دریای باز تشکیل شده است [۷] و با توجه به شواهد، متعلق به رمپ میانی بوده و معادل RMF۷ فلوگل [۷] می‌باشد.

### ریزرخساره شماره ۷: وکستون دارای اسیکلاریا و خارپوست

در این ریزرخساره مهم‌ترین اجزای تشکیل دهنده شامل جلبک سبز اسیکلاریا، خارپوست با فراوانی ۵ تا ۱۰ درصد به همراه سوزن اسفنج و قطعات بایوکلستی نسبتاً بزرگ که به صورت پراکنده در برخی مقاطع مربوط به این ریزرخساره مشاهده شده‌اند، می‌باشد. این ریزرخساره با توجه به مشخصات رسوب‌شناسی و فسیل‌شناسی و رخساره‌های همراه، به نظر می‌رسد در حدفاصل کمربندهای رخساره‌ای رمپ میانی تا رمپ داخلی نهشت شده است و قابل مقایسه با RMF۷ فلوگل [۷] می‌باشد.

### ۲-۳- کمر بند رخساره‌ای رمپ داخلی

#### گروه رخساره‌ای پشته‌های سدی

### ریزرخساره شماره ۸: گریستون حاوی اووئید و پلوئید

این ریزرخساره شامل اووئید و پلوئید می‌باشد. گسترش میکرایت در این ریزرخساره می‌تواند ناشی از کاهش انرژی محیط بر اثر پیشروی دریا، یا دوره‌های عدم رسوب گذاری در سازند فهلیان باشد. از جمله اجزای اسکلتی مشاهده شده نیز می‌توان قطعات دو کفه‌ای و روزنبران کفزی که از فراوانی اندکی برخوردار می‌باشند، را نام برد. در این ریزرخساره نبود گل و پر شدن فضای بین دانه‌ها با سیمان اسپاری و حضور اووئید و دانه‌هایی با جورشدگی خوب، تشکیل این ریزرخساره را در محیط پر انرژی نشان می‌دهد [۱۴]. توده‌های اووئیدی با جورشدگی خوب با ساخت‌های جریانی از ویژگی‌های شاخص سدهای ماسه‌ای فعال می‌باشند و جزء محیط‌های پرانرژی پیوسته در حال مهاجرت محسوب می‌شوند [۱۵]. این ریزرخساره مربوط به قسمت مرکزی بدنه تپه‌های ماسه‌ای و قابل مقایسه با RMF۲۹ فلوگل [۷] می‌باشد.

### ریزرخساره شماره ۹: پکستون / گریستون پلوئیدی اینتراکستی

اجزای اصلی تشکیل دهنده این ریزرخساره شامل پلوئید و اینتراکست، آگرگات به همراه روزنبران کفزی و کمی جلبک سبز می‌باشد. بافت گریستونی، وجود دانه‌هایی مانند اینتراکست و جورشدگی نسبتاً خوب، حاکی از تشکیل در یک محیط پر انرژی مانند سد است [۷]. با توجه به حضور پلوئید، اینتراکست‌ها و دانه‌های تجمعی در یک زمینه اسپاریتی می‌توان این رخساره را به محیط‌های پر انرژی مانند کانال‌های قطع کننده سد نسبت داد [۱۰]، همچنین رخساره گریستون پلوئیدی اینتراکلاستی را می‌توان به بخش پشت به دریای باز بدنه سدهای ماسه‌ای در نظر گرفت. این ریزرخساره قابل مقایسه با RMF۲۷ فلوگل [۷] می‌باشد.

### ریزرخساره شماره ۱۰: پکستون / گریستون پلوئیدی

اجزای اصلی تشکیل دهنده این ریزرخساره پلوئیدها با فراوانی ۴۵ تا ۵۵ درصد هستند. اما آلوکم‌هایی نظیر اووئیدهای سطحی، اینتراکست و بایوکلست‌های میکرایتی نیز در بخش‌های مختلف این ریزرخساره قابل مشاهده است. نبود میکرایت، جورشدگی و گردشگی خوب و پر شدن فضای بین دانه‌ها با سیمان اسپاری از ویژگی‌های این رخساره می‌باشد.

در برخی بخش‌های این رخساره فابریک درهم (Fitted fabric) قابل مشاهده است. توسعه سیمان دریایی هم‌ضخامت، تشکیل این ریزرخساره را در محیط فریاتیگ دریایی با انرژی بالا تأیید می‌کند [۱۶]. اگرچه پلوئیدها در محیط‌های محدود و کم انرژی ساخته می‌شوند [۱۰]، اما می‌توانند جابه‌جا شده و در بخش‌های سدی نهشته شوند. این ریزرخساره نیز مربوط به بخش‌های پشت به دریای باز بدنه تپه‌های ماسه‌ای و قابل مقایسه با RMF۳۰ فلوگل [۷] می‌باشد.

### ریزرخساره شماره ۱۱: گریستون حاوی بایوکلست و اینتراکست

مهم‌ترین دانه‌های تشکیل دهنده این ریزرخساره روزنبران کفزی، جلبک‌های سبز، دو کفه‌ای‌ها، فیلوئیدهای جلبکی به همراه اینتراکست می‌باشد. در بخش‌هایی از این ریزرخساره، در فضاهای بین دانه‌ای و حفره‌ای توسط بیتومین و مواد هیدروکربنی پر شده است. با توجه به محیط تشکیل بایوکلست‌ها، به نظر می‌رسد به این محیط حمل شده‌اند. این ریزرخساره از جورشدگی نسبتاً خوبی برخوردار است و مربوط به بخش‌های رو به دریای باز بدنه تپه‌های ماسه‌ای و معادل RMF۲۷ فلوگل [۷] می‌باشد.

### ریزرخساره شماره ۱۲: پکستون پلوئیدی اووئیدی

اجزاء اصلی این رخساره شامل پلوئیدها و اووئیدهای سطحی به همراه میزان کمی بایوکلست می‌باشد. اووئیدها و پلوئیدهای شناور در ماتریکس گلی در رخساره‌های رو به سمت کولاب سدهای زیرآبی دیده می‌شوند. حضور ذرات آلو کمی پرانرژی مانند اووئیدهای شناور در ماتریکس گلی نشان‌دهنده معکوس شدگی بافتی است [۱۵]. فراوانی کم اووئیدها نسبت به پلوئیدها، همراهی با رخساره‌های کم انرژی تر سدهای زیرآبی، میکرایتی شدن و افزایش میزان بیو کلاست‌های کولابی نظیر استراکود، تشکیل این رخساره در سمت رو به کولاب سدهای زیرآبی را نشان می‌دهد. این ریزرخساره قابل مقایسه با RMF۲۷ فلوگل [۷] می‌باشد.

### گروه رخساره‌ای کولاب

### ریزرخساره شماره ۱۳: وکستون حاوی روزنبران کفزی و بایوکلست

در این ریزرخساره مهم‌ترین دانه‌های اسکلتی تشکیل دهنده انواع مختلف روزنبران کفزی نظیر سودو کریسالیدینا، تکستولاریا، تروکلینا و میلیوید می‌باشد. فراوانی میلیوید و جلبک سبز مانند سالپینگوپورلا به صورت پراکنده و منفرد که در محیط‌های محدود به راحتی گسترش می‌یابند، شرایط محیطی نسبتاً بسته و محدود را نشان می‌دهند. این ریزرخساره بر اساس مشاهدات قابل مقایسه با RMF۱۶ فلوگل [۷] می‌باشد.

### ریزرخساره شماره ۱۴: وکستون حاوی جلبک سبز و بایوکلست

مهم‌ترین اجزای اسکلتی تشکیل دهنده این ریزرخساره جلبک‌های سبز خانواده داسی کلا داسه‌آ می‌باشند. سایر اجزای تشکیل دهنده شامل روزنبران کفزی، دو کفه‌ای، گاسترپود می‌باشند. در محیط‌های عهد حاضر داسی کلا داسه‌آ در مناطق استوایی و نیمه‌استوایی و در کولاب‌های باز و خلیج‌های محافظت شده یافت می‌شوند. حضور این جلبک‌ها مشخص کننده محیطی با عمق کم، زیر حد جزر و عموماً عمق کمتر از

۵ متر، دمای ۲۰ درجه سانتی گراد، هیدرودینامیسم کم و نوری متوسط می‌باشد [۷]. بر اساس مطالعات این ریزرخساره مربوط به زیر محیط کولاب و قابل مقایسه با RMF۱۷ فلوگل [۷] می‌باشد.

#### ریزرخساره شماره ۱۵: وکستون حاوی بایوکلست

این ریزرخساره دارای مقادیر زیادی از انواع بقایای اسکلتی همانند دوکفه‌ای، شکم‌پا، روزنبران کفزی، جلبک سبز، لیتو کودیوم و مقادیر ناچیزی خارپوست می‌باشد. با توجه به حضور انواع قطعات اسکلتی شاخص شرایط کولاب، زیست‌آشفته‌گی و از طرفی پوشش میکرایتی گسترده بر روی بایو کلاست‌ها که حاکی از نرخ پایین رسوبگذاری و قرار گیری طولانی مدت دانه‌های اسکلتی در شرایط آب‌های آرام و محدود شده نظیر محیط کولابی می‌باشد [۱۰]، محیط تشکیل این ریزرخساره را نیز به زیر محیط کولاب نسبت داده و معادل RMF۲۰ فلوگل [۷] در نظر گرفته شد.

#### ریزرخساره شماره ۱۶: فلوئستون (وکستون) حاوی لیتو کودیوم و بایوکلست

در این ریزرخساره مهم‌ترین اجزای اسکلتی تشکیل دهنده، جلبک لیتو کودیوم به همراه سایر بایوکلست‌ها نظیر روزنبران کفزی و جلبک‌های سبز به همراه پلئوئید می‌باشد. محیط تشکیل لیتو کودیوم معمولاً در کولاب محدود و گاهی محیط‌های ریفی [۷]، و همچنین به صورت ریف‌های کومه‌ای عمدتاً در حاشیه داخلی سدها در نظر گرفته می‌شود [۱۰]. این جلبک‌ها به نظر می‌رسد در سازند فهلیان، در برخی نقاط در نقش مانع و به دام اندازنده عمل نموده و منجر به تجمع پلئوئیدها، خرده‌های بایوکلستی و سایر آلوکم‌ها در بخش‌هایی از زیر محیط کولاب شده است.

#### ریزرخساره شماره ۱۷: وکستون/پکستون دارای اوئید و پلئوئید

اجزای تشکیل دهنده این ریزرخساره به‌طور عمده شامل پلئوئیدها و اوئید می‌باشد که در بافت و کستونی تا دانه‌غالب به همراه فونای کولاب در بخش‌هایی از سازند فهلیان در برش‌های مورد مطالعه قابل مشاهده است. بر اساس محتویات فسیلی و همراهی این ریزرخساره با نهشته‌های رمپ داخلی، محیط تشکیل آن را به بخش‌های رو به کولاب پشته‌های ماسه‌ای نسبت داده‌اند.

#### ریزرخساره شماره ۱۸: مادستون آهکی

این ریزرخساره حاوی ۲ تا ۵ درصد از بقایای روزنبران کفزی، جلبک سبز و شکم‌پا می‌باشد. در بخش‌هایی از این ریزرخساره اجزای غیراسکلتی پلت قابل مشاهده است. وجود روزنبران کفزی به همراه بقایای جلبک‌های سبز حاکی از نهشت این ریزرخساره در شرایط آرام و چرخش محدود آب در بخش‌های نسبتاً ژرف کولاب می‌باشد. این ریزرخساره قابل مقایسه با RMF ۲۰ فلوگل [۷] می‌باشد.

#### گروه رخساره‌ای پهنه جزر و مدی

#### ریزرخساره شماره ۱۹: پکستون به گریستون حاوی آگرگات و پلئوئید

در این ریزرخساره اجزای اصلی تشکیل دهنده بافت سنگ، دانه‌های آگرگات به همراه پلئوئیدها و همچنین اوئیدهایی با ساخت شعاعی و

متحدالمرکز می‌باشد. در این ریزرخساره جورشدگی دانه‌ها ضعیف می‌باشد و اغلب دانه‌های آگرگات تحت تأثیر جریان‌ات آب دچار شکستگی شده‌اند. این ریزرخساره احتمال می‌رود در پهنه‌های کشندی و یا کانال‌های کشندی تشکیل شده باشد.

در تصاویر ۲ و ۳ میزان فراوانی هر یک از ریزرخساره‌ها و کمربندهای رخساره‌ای شناسایی شده از سازند فهلیان در چاه A ارائه شده است.

#### ۳- دیاژنز

دیاژنز رسوبات کربناته شامل تمام فرایندهایی است که بر روی نهشته‌های کربناته، پس از رسوب‌گذاری تا آغاز قلمرو دگرگونی موثر هستند، می‌باشد [۱۰]. مطالعات میکروسکوپی صورت گرفته بر روی سازند فهلیان در چاه A منجر به شناسایی فرایندهای دیاژنزی نظیر فشردگی، سیمانی شدن، انحلال، سیلیسی شدن، دولومیتی شدن، میکرایتی شدن، تبلور مجدد و شکستگی‌های موئی شکل شد. مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی موثر بر تحولات مخزنی سازند فهلیان به شرح زیر است:

#### ۳-۱- سیمانی شدن

##### سیمانی شدن دریایی

سیمان‌های حاشیه‌ای هم‌ضخامت از جمله سیمان‌های اولیه تشکیل شده در محیط دیاژنز دریایی و جزء سیمان‌های نسل اول محسوب می‌شود [۱۷]. این سیمان به‌طور عمده در محیط‌های فریاتیکی دریایی فعال و در حواشی رو به دریای باز پلتفرم ایجاد می‌شود [۱۸] و در سازند فهلیان نیز عمدتاً در اطرف پلئوئیدها، بایوکلست‌ها و سایر اجزای تشکیل دهنده رخساره‌های مربوط به زیر محیط تپه‌های ماسه‌ای و به مقدار کم در پشته‌های ساحلی ایجاد شده است. این سیمان‌ها در مواردی منجر به ایجاد چارچوبی سخت در برخی رخساره‌های پرانرژی شده و تا حدی مانع از تراکم بیش از حد در مراحل بعدی دیاژنز دفنی شده است.

##### سیمانی شدن جوی

سیمانی شدن جوی جزء مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی مشاهده شده در سازند فهلیان می‌باشد، این فرایند به‌طور عمده تحت کنترل رخساره‌های رسوبی می‌باشد. از جمله سیمان‌های دیاژنز تحت‌الجوی مشاهده شده می‌توان به سیمان تیغه‌ای، بلوکی شفاف، دروزی، سیمان رشد اضافه هم‌محور و هم بعد اشاره کرد. بیشترین گسترش سیمان‌های جوی در بخش‌های زیرین سازند فهلیان و در رخساره‌های رمپ داخلی ایجاد شده‌اند.

##### فرایند سیمانی شدن دفنی

از جمله سیمان‌های دیاژنز دفنی شناسایی شده در سازند فهلیان می‌توان به سیمان پوئی کیلوتوپیک، سیمان بلوکی، سیمان درشت بلور دولومیت و سیمان پرکننده شکستگی‌ها اشاره کرد. سیمان‌های بلوکی دارای ماکل و رخ در اندازه‌های متوسط تا بزرگ طی مراحل دیاژنز دفنی عمیق به



صورت پرکننده حفرات و قالب‌های حل شده بایوکلس‌ها می‌باشند. سیمان پوئی کیلو توپیک نیز به نظر می‌رسد تحت تأثیر دیاژنز دفنی عمیق ایجاد شده باشد و بیشتر در فابریک‌های دانه پشتیبان قابل مشاهده است. سیمان پرکننده شکستگی‌ها که به طور عمده به صورت کلسیت هم‌بعد، دروزی و بلوکی قابل مشاهده است، به نظر می‌رسد جزء فازهای نهایی ته‌نشست‌های شیمیایی دیاژنز دفنی است که در بخش‌های زیادی از سازند فهلیان قابل مشاهده می‌باشد.

### ۲-۳- فرایند انحلال انحلال جوی

انحلال در بیشتر موارد یکی از آثار دیاژنز جوی است [۱۸]. در قاعده سازند فهلیان، در برخی از رخساره‌های سدی و رخساره‌هایی که در پهنه جزر و مدی تشکیل شده‌اند، فرایند انحلال در بخش‌های بسیار محدودی به صورت غیرانتخاب کننده فابریک عمل نموده و منجر به ایجاد حفرات انحلالی شده است. به نظر می‌رسد این حفرات انحلالی تحت تأثیر دیاژنز متوریک و در زمانی که هنوز رسوبات سخت نشده‌اند، رخ داده و تحت تأثیر تغییرات سطح آب دریا و قرار گرفتن کوتاه مدت رسوبات در شرایط دیاژنز جوی تشکیل شده‌اند. اغلب این حفرات طی مراحل بعدی دیاژنز توسط فرایندهایی مانند سیمانی شدن و سیلیسی شدن پر شده‌اند.

### انحلال دفنی

در رخساره‌های نسبتاً عمیق که به ندرت تحت تأثیر دیاژنز جوی و فرایند پایدارسازی کانی‌شناسی قرار می‌گیرند، نیز حفرات انحلالی در بخش‌های مختلف سازند به میزان کم قابل مشاهده است. این حفرات در مجاورت استیلولیت‌ها و رگچه‌های انحلالی و در مواردی بدون ارتباط با سطوح فشاری-انحلالی، به صورت تخلخل قالبی و حفره‌ای و در مواردی کانالی مشاهده شده‌اند.

### ۳-۳- دولومیتی شدن

دولومیت‌های مشاهده شده در سازند فهلیان عمدتاً دارای ارتباط مشخصی با استیلولیت‌ها و درزه‌های انحلالی می‌باشند. این سطوح انحلالی به عنوان مجاری انتقال سیالات و افزایش تمرکز منیزیم در این نقاط شده است [۱۹]. در سازند فهلیان دولومیتی شدن به طور عمده انتخاب کننده فابریک بوده و تنها بافت میکرایتی سنگ به دلیل اندازه ریز ذرات میکرایتی و بالا بودن سطح واکنش و در دسترس بودن مکان‌های هسته‌زایی و همچنین سطح نسبتاً پایین اشباع‌شدگی دولومیت، منجر به هسته‌زایی دولومیت به صورت انتخابی در ماتریکس ریزبلور شده است [۲۰].

### ۴-۳- تراکم

پدیده تراکم به دو صورت تراکم شیمیایی و فیزیکی بر رسوبات اثرگذار است. تراکم فیزیکی تا حد زیادی وابسته به محیط رسوب‌گذاری و فرایند

دیاژنز سطحی می‌باشد [۲۱]. در اثر تأثیر سیمانی شدن طی دیاژنز در محیط دیاژنز دریایی و فربایتیک جوی، در برخی رخساره‌های دانه پشته‌های سدی و پشته‌های ساحلی سازند فهلیان، منجر به ایجاد چارچوب مناسب و سخت در برابر تأثیر فرایند تراکم مکانیکی شده است. در طی دفن عمیق به نظر می‌رسد سیمان‌های بلوکی دفنی در اثر نیروهای ناشی از فشار لیتواستاتیک و یا تنش‌های تکتونیکی دارای ماکل و رخ شده‌اند و تحت تأثیر این فرایند قرار گرفته‌اند. در محیط دیاژنز دفنی عمیق فشردگی شیمیایی باعث تشکیل استیلولیت شده است [۱۸]. مهمترین محصول فشردگی شیمیایی در رسوبات کربناتی، استیلولیت‌ها و درزه‌های انحلالی هستند که در سازند فهلیان نیز از گسترش قابل ملاحظه‌ای برخوردارند و به عنوان مجرای برای انتقال سیالات دولومیت‌کننده عمل نموده‌اند.

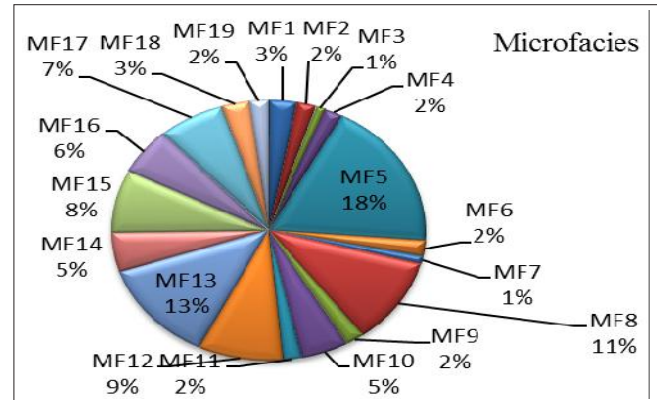
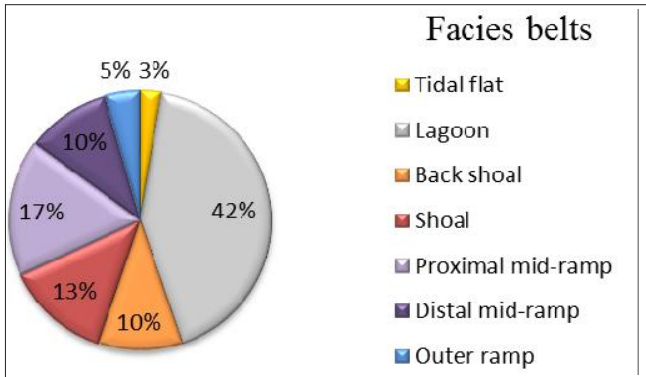
### ۴-۳- بررسی خصوصیات مخزنی سازند فهلیان بر اساس نمودارهای چاه‌پیمایی

همانطور که در بخش مقدمه اشاره شد، به دلیل عدم وجود داده‌های تخلخل و تراوایی در چاه مورد مطالعه، از اطلاعات پیوسته نمودارهای چاه‌پیمایی برای تعیین کیفیت مخزنی در کمربندهای رخساره‌ای استفاده شده است.

### ۱-۴- نگار چاه‌پیمایی صوتی

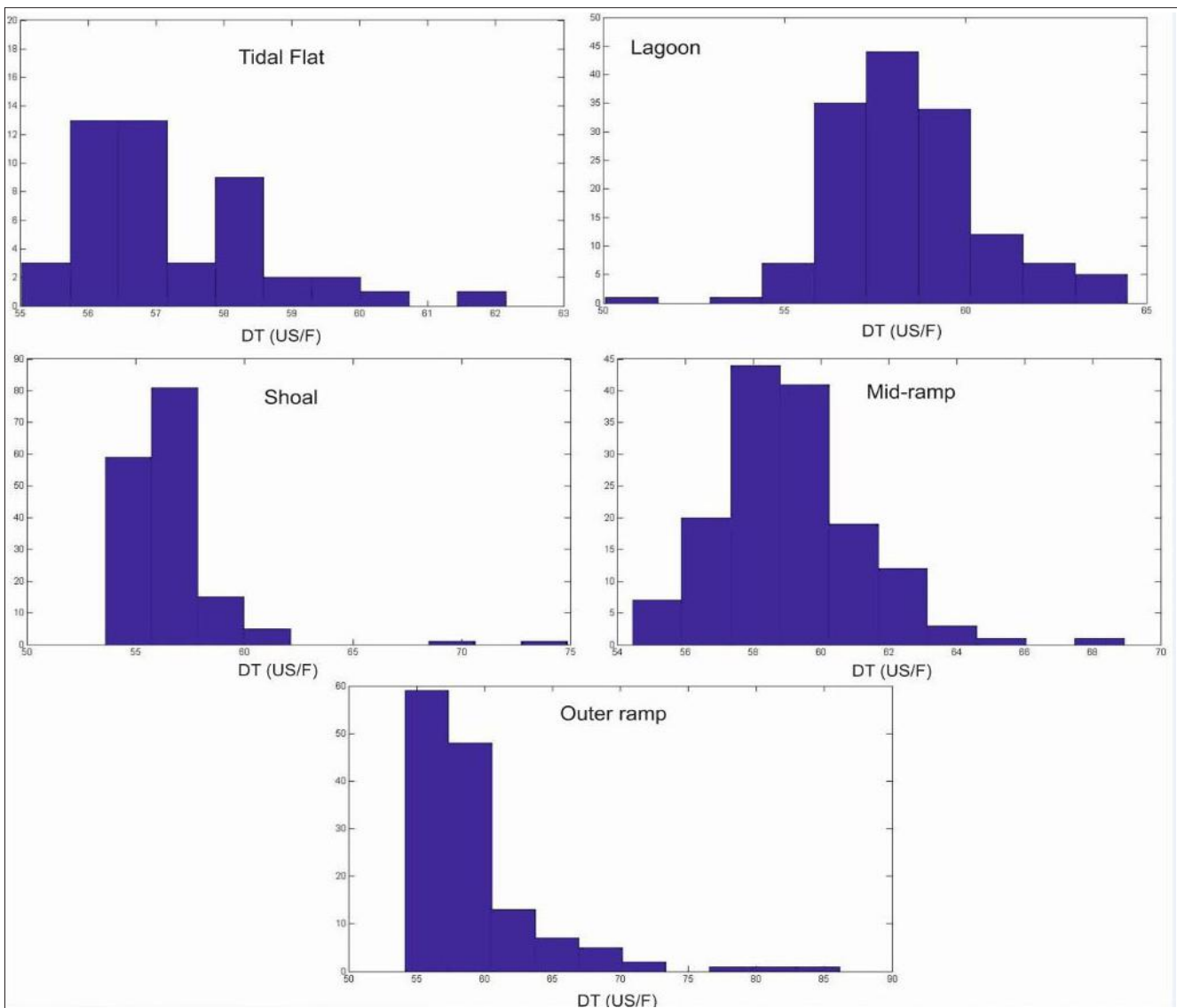
می‌توان تمام نگارهایی که به ثبت پارامترهای مرتبط با حرکت امواج صوتی در سازند می‌پردازند را در یک گروه و تحت عنوان نگارهای صوتی دسته‌بندی کرد. این پارامترها اصولاً شامل سرعت انتشار موج در سازند، دامنه اولین یا دومین موج فشارشی یا برشی دریافتی در گیرنده و دامنه و موقعیت مقاطع ثبت سیگنال‌های دریافت شده هستند [۲۲].

در این نگار، افزایش مقادیر ثبت شده توسط آن گویای افزایش تخلخل است و با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات تخلخل و تراوایی مغزه، تخلخل نتیجه شده از این نگار به عنوان معیاری برای سنجش کیفیت مخزنی شناخته شده است. در شکل ۴-۴ هیستوگرام زمان گذر صوت برای ۵ کمر بند رخساره‌ای شناسایی شده بر اساس مطالعات مقاطع نازک در چاه A ارائه شده است. بر اساس هیستوگرام ترسیم شده، میانگین مقادیر این نگار در زیر محیط رمپ میانی و کولاب از سایر زیر محیط‌ها بالاتر بوده و بر این اساس، این بخش‌ها از کیفیت بهتری نسبت به سایر کمر بندهای رخساره‌ای برخوردار هستند. در زیر محیط کولاب به نظر می‌رسد عمده تخلخل موجود در ارتباط با محیط رسوبی و جلبک‌های قشر ساز لیتو کودیومی ایجاد شده است، اما در بخش رمپ میانی با توجه به ماهیت رخساره‌های گل پشتیبان این بخش، تخلخل به دست آمده به طور عمده تحت تأثیر فرایندهای دیاژنری نظیر دولومیتی شدن، استیلولیت‌ها و انحلال دفنی ناشی شده است و با توجه به عدم گسترش قابل ملاحظه این دسته از فرایندها در رخساره‌های رمپ میانی، تخلخل حاصله به صورت ریز تخلخل بوده و از کیفیت مطلوبی برخوردار نمی‌باشد. زیر محیط‌های رمپ خارجی، تپه‌های ماسه‌ای و پهنه



۳ | میزان فراوانی کمربندهای رخساره‌ای شناسایی شده از سازند فهلان در چاه A

۲ | میزان فراوانی هر یک از ریزرخساره‌ای شناسایی شده در سازند فهلان واقع در برش زیرزمینی A



۴ | توزیع هیستوگرام زمان‌گذر صوت در پنج کمر بند رخساره‌ای در چاه A

جزر و مدی در مراتب بعدی کیفیت مخزنی با استناد به این نگار چاه‌پیمایی قرار می‌گیرند.

#### ۲-۴- نگار چاه‌پیمایی چگالی

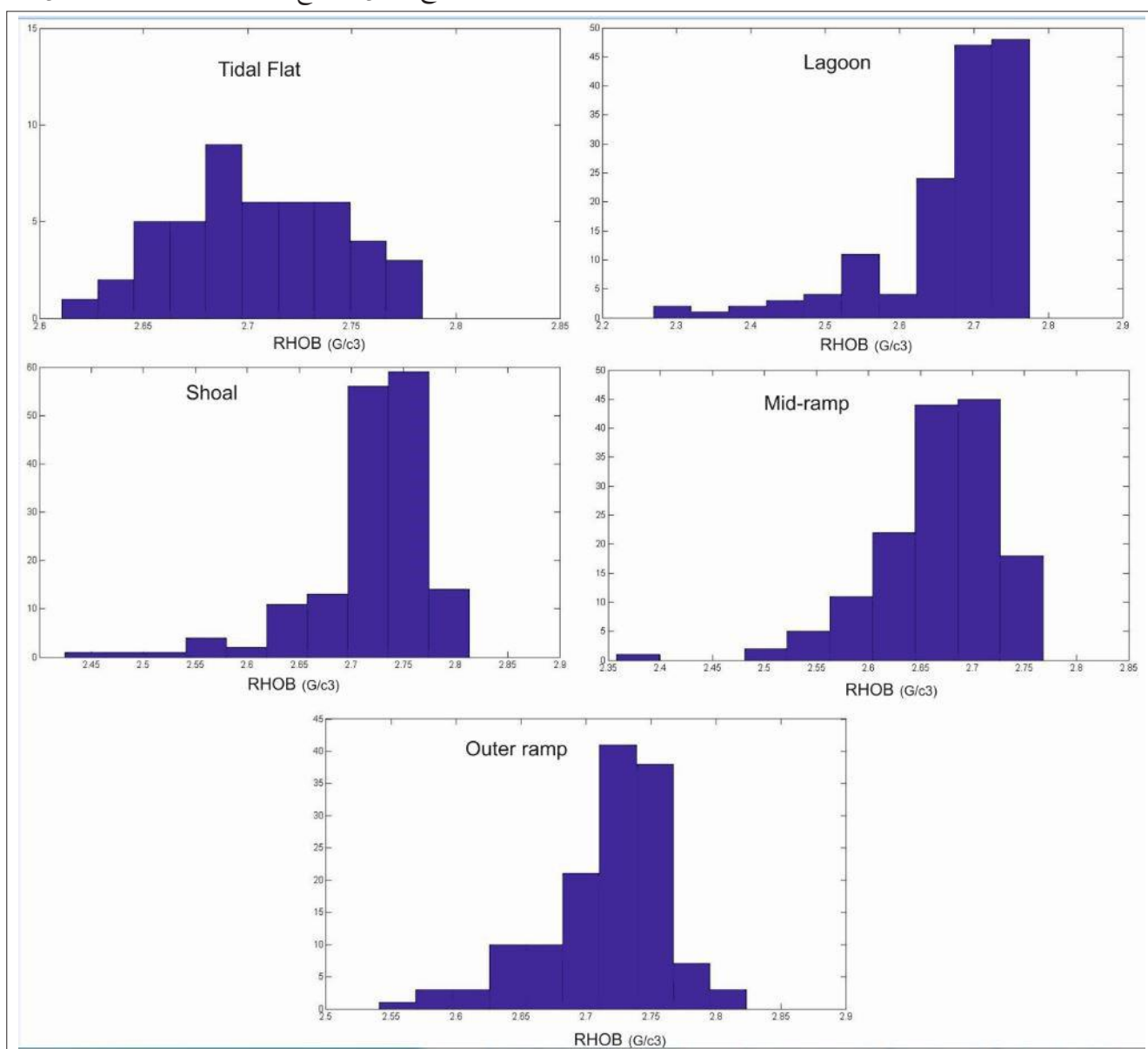
تخلخل با چگالی ارتباط معکوس دارد، یعنی هرچه تخلخل بیشتر شود، چگالی کاهش می‌یابد. البته عوامل مختلفی روی نگار چگالی تأثیر می‌گذارند. مثلاً کانی‌های رسی موجود در ماسه‌سنگ، تقریباً چگالی مشابه دانه‌های ماسه را در سنگ دارند و باید به آنها توجه نمود. همچنین، سیالات پرکننده فضاهای خالی، بر چگالی کلی سنگ اثر می‌گذارند، لذا چگالی دانه‌ها و مایعات در محاسبه تخلخل

بایستی در نظر گرفته شود.

در این قسمت چگالی ثبت شده معیار سنجش کیفیت مخزنی می‌باشد. در شکل ۵- هیستوگرام چگالی بر روی پنج کمر بند رخساره‌ای در چاه A نمایش داده شده است. بر اساس این نمودار، کیفیت مخزنی همانند نتایج حاصل از نگار چاه‌نگاری سرعت صوت می‌باشد و تغییرات کیفیت مخزنی از زیر محیط کولاب، رمپ میانی، رمپ خارجی، تپه‌های ماسه‌ای و پهنه‌کشدی کاهش می‌یابد.

#### ۳-۴- نگار چاه‌پیمایی نوترون

بر اساس نتایج حاصل از توزیع نگار نوترون در چاه A (شکل ۶-)

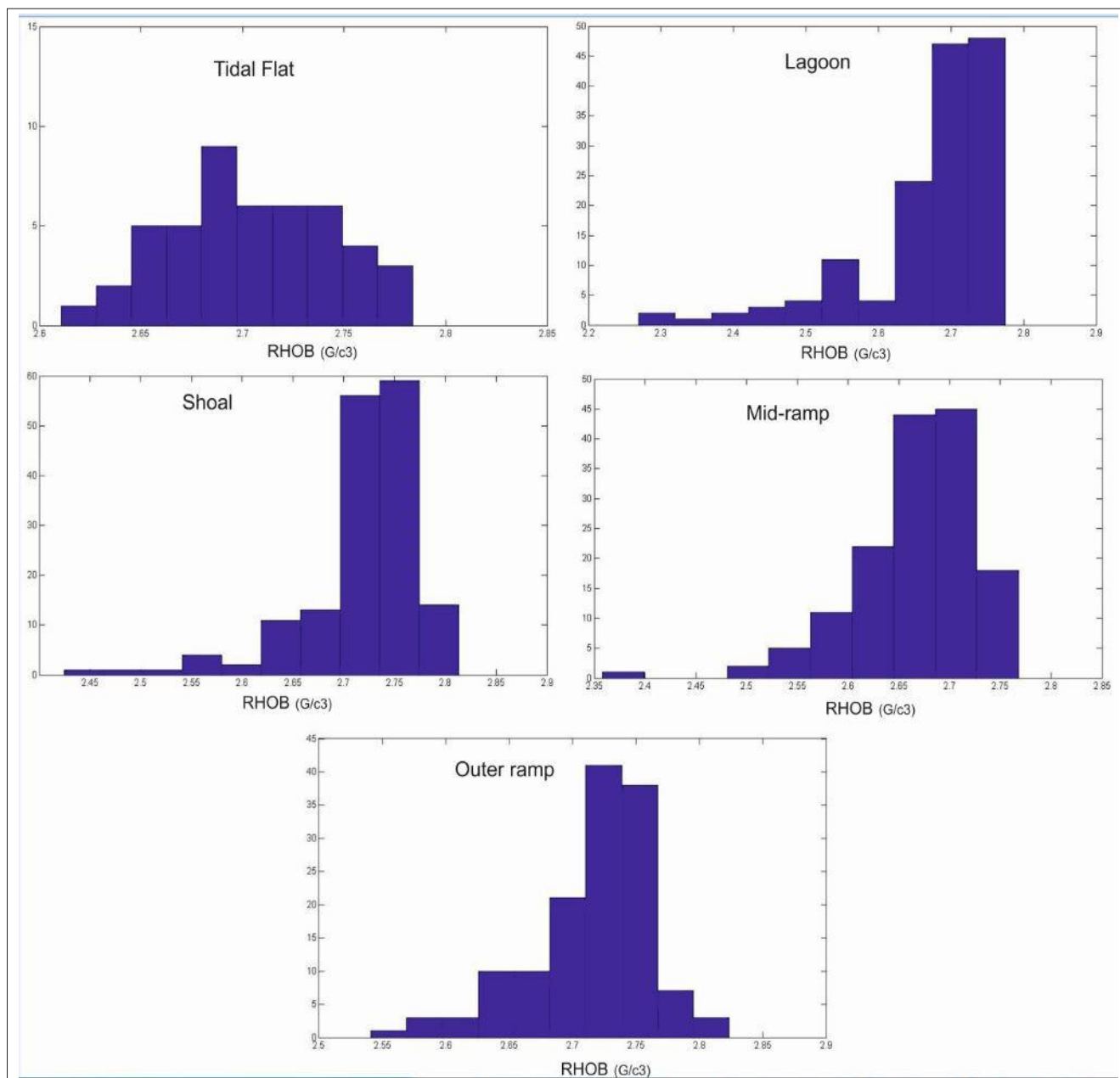


شکل ۵ | توزیع هیستوگرام چگالی در پنج کمر بند رخساره‌ای در چاه A

کیفیت مخزنی عمل نموده است به طوری که در رخساره‌های دانه‌پشتیبان تپه‌های ماسه‌ای در چاه A فضاهای خالی بین دانه‌ای به طور عمده در مراحل بعدی دیاژنزی از بین رفته‌اند. همچنین تحت تأثیر فشردگی مکانیکی و سیمانی شدن، دیگر شرایط مخزنی شدن در این کمر بند رخساره‌ای فراهم نمی‌باشد.

در شکل ۷- تصاویری از فرایندهای دیاژنزی مهم و آغستگی هیدروکربن در بخش‌هایی از رخساره‌های مربوط به چاه A نشان داده شده است. در شکل ۸- نیز تلفیق نتایج به دست آمده از مطالعات رخساره‌ای،

میانگین مقادیر این داده‌ها مطابق نگارهای قبل در کولاب و رمپ میانی از کیفیت بهتری برخوردار می‌باشد. اما همانطور که در بررسی سایر نگارهای چاه پیمایی نیز مشاهده می‌شود، این مقادیر تفاوت قابل توجهی در کمر بندهای رخساره‌ای مختلف با یکدیگر نداشته و تنها با میزان بسیار اندکی تفاوت نسبت به یکدیگر در کیفیت مخزنی برتری دارند. این امر حاکی از این است که محیط رسوبی در ایجاد شرایط مخزنی مطلوب در چاه A از اهمیت کمتری برخوردار بوده و کیفیت مخزنی تحت تأثیر دیاژنزی قرار داشته است که آن‌هم به طور عمده به صورت یک عامل کاهنده در



شکل ۶ | توزیع هیستوگرام تخلخل نوترون در پنج کمر بند رخساره‌ای شناسایی شده در چاه A



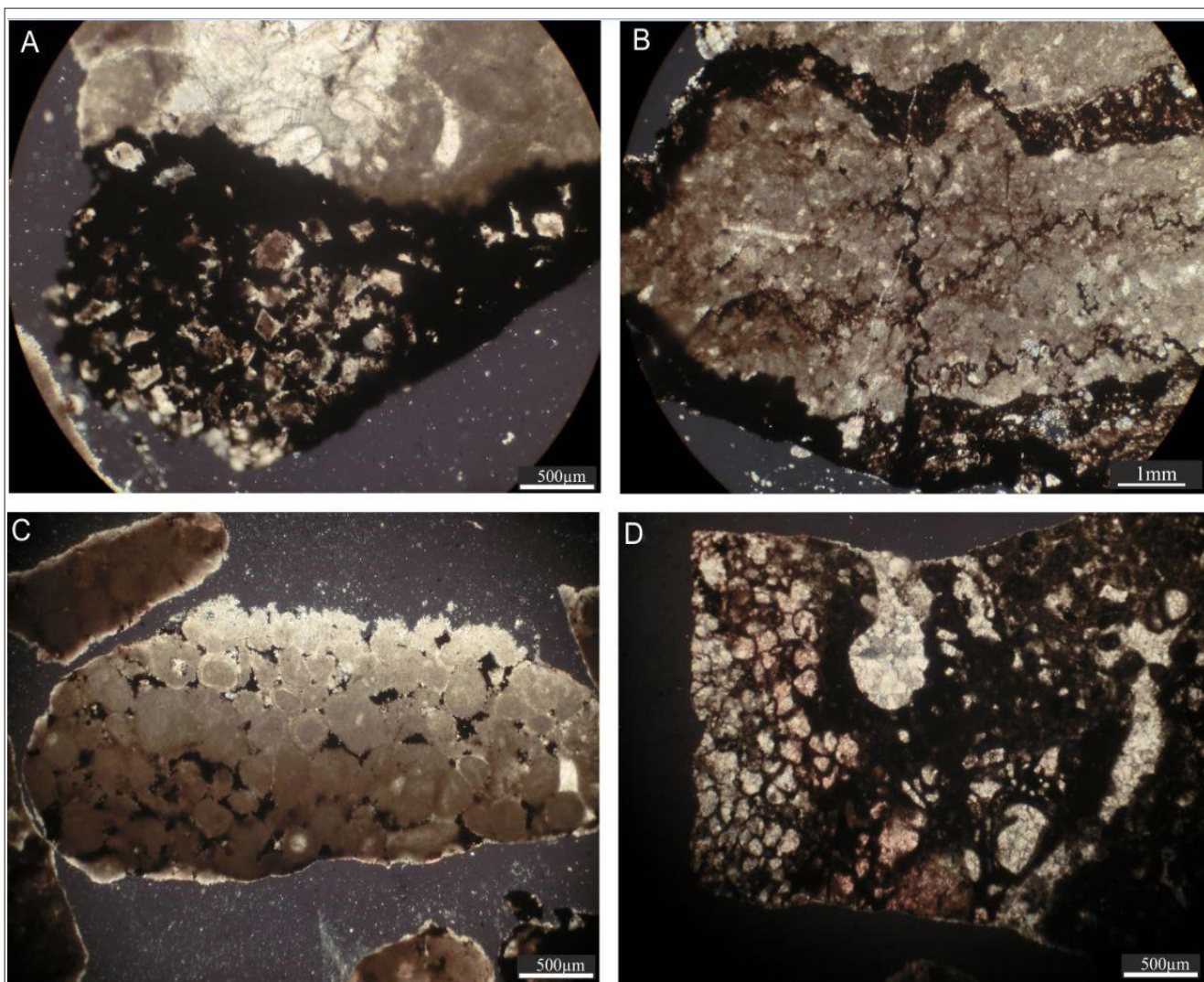


دیاژنزی و نگارهای چاه‌پیمایی ارائه شده است.

### نتیجه‌گیری

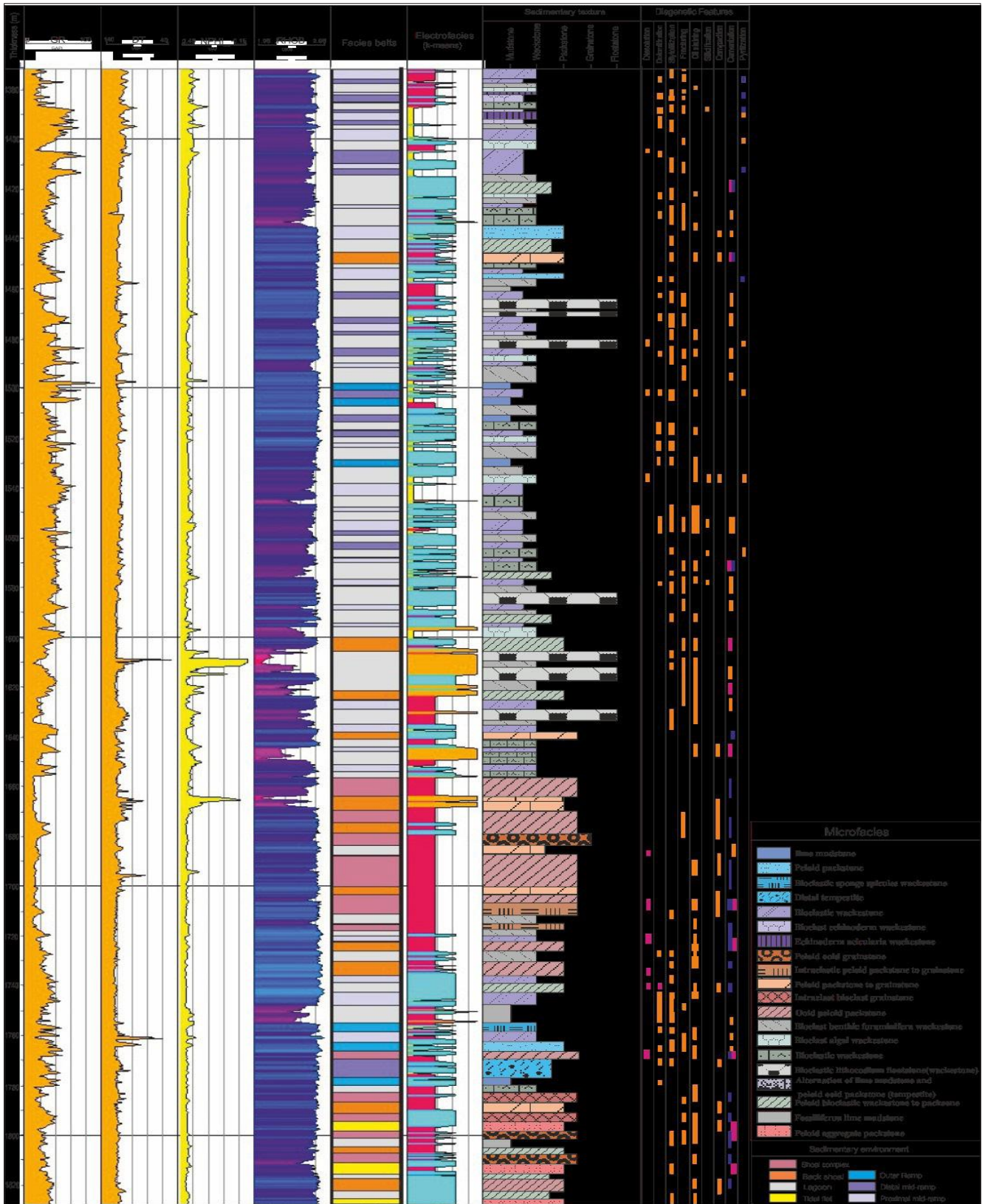
۱- بر اساس بررسی‌های پتروگرافی صورت گرفته بر روی سازند فهلیان در منطقه مورد مطالعه، تعداد ۱۹ ریزرخساره در ۵ کمر بند رخساره‌ای شناسایی گردید. طبق آنالیز رخساره‌ای صورت گرفته در سازند فهلیان، موجودات چارچوب‌ساز نظیر مرجان‌های هرما تیبیک و جلبک‌ها، به‌منظور ایجاد سد و تقسیم کردن پلاتفرم کربناته به دو بخش مجزا، فاقد گسترش

می‌باشند و تغییرات رخساره‌ای در این سازند عمدتاً به‌صورت تدریجی و پیوسته صورت گرفته و تغییرات ناگهانی نیم‌رخ پلتفرم و عمیق‌شوندگی ناگهانی ایجاد نشده است. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، محیط رسوبی سازند فهلیان یک پلاتفرم رمپ کربناته در نظر گرفته شده است. ۲- در بررسی‌های پتروگرافی صورت گرفته، محیط‌های دیاژنزی شناسایی شده در سازند فهلیان شامل محیط دیاژنزی بستر دریا، جوی و تدفینی می‌باشند. فرایندهای دیاژنزی دریایی به‌طور عمده در محیط فریاتییک دریایی فعال (سیمان‌های حاشیه‌ای هم‌ضخامت) و فریاتییک



۷ مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی مشاهده شده در چاه A، A: تخلخل بین بلورین ایجاد شده در فضای بین بلورهای دولومیت که به نظر می‌رسد در راستای استیلولیت ایجاد شده است. عمق ۱۷۴۴ متری در رخساره رمپ میانی. (نور طبیعی) B: گسترش فرایند استیلولیتی شدن که به عنوان مجرای برای انتقال هیدروکربن در عمق ۱۷۵۹ متری عمل نموده است. (نور طبیعی) C: فابریک در هم ایجاد شده در رخساره‌های دانه‌پشتیبان سدی که منجر به از بین رفتن فضای تخلخل بین دانه‌ای در طی تدفین شده است و تنها در موارد اندکی فضای بین‌دانه‌ای در طی تدفین حفظ شده است. عمق ۱۷۰۳ متری (نور طبیعی) D: جلبک لیتوکودیموم در زیر محیط کولاب، که در مواردی فضای بین حجرات توسط هیدروکربن پر شده است. عمق ۱۶۲۸ متری (نور طبیعی)





شکل ۸ | تلفیق نتایج به دست آمده از مطالعات رخساره‌ای، دیاژنزی و نمودارهای چاه‌پیمایی در چاه A



نسبت به سایر کمربندهای رخساره‌ای برخوردار هستند. در زیر محیط کولاب به نظر می‌رسد عمده تخلخل موجود در ارتباط با محیط رسوبی و جلبک‌های قشر ساز لیتو کودیومی ایجاد شده است، اما در بخش رمپ میانی با توجه به ماهیت رخساره‌های گل‌پشتیبان این بخش، تخلخل به‌دست آمده به‌طور عمده تحت تأثیر فرایندهای دیاژنزی نظیر دولومیتی شدن، استیلولیت‌ها و انحلال دفنی ناشی شده است. با توجه به عدم گسترش قابل ملاحظه این دسته از فرایندها در رخساره‌های رمپ میانی، تخلخل حاصله به‌صورت ریزتخلخل بوده و از کیفیت مطلوبی برخوردار نمی‌باشد. زیر محیط‌های رمپ خارجی، تپه‌های ماسه‌ای و پهنه جزر و مدی در مراتب بعدی کیفیت مخزنی با استناد به این نگارهای چاه‌پیمایی قرار می‌گیرند. ■

دریایی غیرفعال (میکریتی شدن و پیریتی شدن اولیه) روی داده‌اند. فرایندهای دیاژنزی شناسایی شده در محیط دیاژنزی جوی شامل انحلال، سیمانی شدن، نئومورفیسم، سیلیسی شدن و به میزان کمی دولومیت‌های ناشی از اختلاط آب‌های جوی و دریایی می‌باشند. در محیط دیاژنزی دفنی نیز به‌طور عمده فرایند تراکم، انحلال دفنی، سیمانی شدن، پیریتی شدن ثانویه، سیلیسی شدن، دولومیتی شدن و شکستگی ایجاد شده است.

۳- در ارتباط با خصوصیات مخزنی سازند فهلپان بر اساس اطلاعات حاصل از نگارهای چاه‌پیمایی نوترون، چگالی و زمان گذر صوت در ۵ کمر بند رخساره‌ای شناسایی شده مبتنی بر مطالعات مقاطع نازک در چاه A، میانگین مقادیر این نگارها در زیر محیط رمپ میانی و کولاب از سایر زیر محیط‌ها بالاتر بوده و بر این اساس، این بخش‌ها از کیفیت بهتری

### منابع

- [1] James, G.A., Wynd, J.G., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. American Association of Petroleum Geologist, Bulletin 49, 2182-2245.
- [2] Wynd, J.C., 1965. Biofacies of the Iranian Oil Consortium Agreement Area, IOOC. Rep. no. 10.
- [3] Ahr, W. M., 2008. Geology of carbonate reservoirs. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 296 pp.
- [4] Farzipour-Saein, A., Yassaghi, A., Sherkati, S., Koyi, H., 2009. Basin evolution of the Lurestan region in the Zagros fold-and-thrust belt, Iran. Journal of Petroleum Geology 32 (1), 5-19.
- [5] Dunham, R. J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 1, p. 108121-.
- [6] Embry, A.F., Klovan, J.E., 1971. A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island: Can. Journal of Petroleum Geology, v. 19, 51p.
- [7] Flugel, E (2010) Microfacies of carbonate rocks. Analysis, interpretation and application: Springer, Berlin Heidelberg, New York, 144p.
- [8] Butler, I.B., Rickard, D., 2000. Framboidal pyrite formation via the oxidation of iron (II) monosulfide by hydrogen sulphide: Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 64, p. 2665-2672.
- [9] Madi, A., Bourque, P.A., Mamet, B.L., 1996. Depth - related Ecological Zonation of a Carboniferous Carbonate Ramp, Upper Visean of Bechar Basin, Western Algeria, Facies, Erlangen, No.35., P. 59-80.
- [10] Tucker, M.E., Wright, V.P., 1990. Carbonate Sedimentology: Black well, London, 482 p.
- [11] Aigner, T., 1985. Storm Deposital systems. Springer-Verlag, Berlin, 174p
- [12] Myrow, P.M. & Southard, J.B., 1996. Tempestite deposition. Journal of Sedimentary Research 66: 875887
- [13] Tucker, M.E., 1991. Sedimentary petrography, Black scientific pub., 260p
- [14] Armella, C., Cabaleri, N., Leanza, H., 2007. Tidally dominated, rimmed-shelf facies of the Picu Leufu Formation (Jurassic/Cretaceous boundary) in Southwest Gondwana, Neuquen Basin, Argentina, Cretaceous Research, 28, p. 961-979.
- [15] Wilson, J.L., 1975. Carbonate facies in geological history. Springer, Berlin-Heidelberg, New York. p. 471.
- [16] Bathurst, R.G.C., 1975. Carbonate Sediments and their Diagenesis, Development in sedimentology, v. 12, Elsevier, Amsterdam, 658p.
- [17] Sanders, D., 2001. Burrow-mediated carbonate dissolution in rudist biostromes (Aurisina, Italy), implications for taphonomy in tropical, shallow subtidal carbonate environments. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 168, 39-74.
- [18] Moore, C.H., 2001. Carbonate reservoir porosity evolution and diagenesis in a sequence stratigraphic framework. Elsevier, Amsterdam, 444 p.
- [19] Hood S.D., Nelson C.S., Kamp P.J.J., 2004. Burial dolomitisation in a non tropical carbonate petroleum reservoir: the Oligocene Tikorangi Formation, Taranaki Basin, New Zealand, Sedimentary Geology, v. 172, PP. 117-138.
- [20] Sibley, D.F., Gregg, J.M., 1987. Classification of Dolomite Rock Textures: Journal of Sedimentary Petrology, no.57, p. 967-975.
- [21] Machel, H.M., 2004. Concepts and models of dolomitization: a critical reappraisal. In: Braithwaite, C.J.R., Rizzi, G., Darke, G. (Eds), The Geometry and petrogenesis of dolomite hydrocarbon reservoirs, Geological Society, London, Special Publication, 235, 7-63.
- [۲۲] رضایی، م.، ر.، ۱۳۸۷. زمین‌شناسی نفت، انتشارات فریختگان علوی، ۴۷۲ صفحه.