

# بررسی رخصاره‌ها، فرآیندهای دیاژنز و محیط رسوبی سازند شورجه در میدان گازی خانگیران

زهرا مشایخی<sup>۱</sup>، علی کدخدایی<sup>۲\*</sup>، علی سلگی<sup>۱</sup>، سید احمد بابازاده<sup>۳</sup> و سید محسن آل علی<sup>۱</sup>

۱- گروه علوم زمین، دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۲- گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران.

۳- گروه علوم زمین، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱

## چکیده

سازند شورجه در حوضه رسوبی کپه داغ نهشته شده و یکی از سنگ‌های مخزن گازی در شمال خاور ایران است. میدان گازی خانگیران با یک ساختار شمال غربی جنوب شرقی در بخش شمال شرقی استان خراسان رضوی واقع شده است. هدف از این مطالعه بررسی رخصاره‌ها، محیط رسوبی و فرآیندهای دیاژنتیکی است که بر کیفیت مخزنی سازند شورجه در چاه‌های مورد مطالعه موثر بوده‌اند. بررسی پتروگرافی ۴۸۰ عدد مقطع نازک سازند شورجه در چاه‌های مورد مطالعه منجر به شناسایی ۹ رخصاره رسوبی شامل کنگلومرای ماسه‌ای، کوارتز آرنایت، ساب لیتارنایت، ساب آرکوز، کوارتز وک، رس‌سنگ/شیل، انیدریت نودولار، دولومادستون ماسه‌ای و دولوگرینستون ماسه‌ای متعلق به پهنه‌های جزر و مدی، رودخانه‌ای، دشت سیلابی و رسوبی مئاندری شده است. مطالعات پتروگرافی مقاطع نازک میکروسکوپی نشان می‌دهد که فرآیندهای دیاژنتزی در سه محیط دریایی، جوی و تدفینی، سازند شورجه را تحت تأثیر قرار داده‌اند. از فرآیندهای دیاژنتیکی اثر گذار در رخصاره‌های سازند شورجه می‌توان به سیمانی‌شدن، آشفستگی زیستی، دولومیتی‌شدن اولیه، انیدریتی‌شدن، تخلخل، شکستگی، تراکم و انحلال اشاره کرد. در نهایت با استفاده از نمودار تصویرگر، نمودار پتروفیزیکی و تلفیق نتایج حاصل از مطالعات مقاطع نازک در چاه کلیدی چاه‌های مورد مطالعه میدان خانگیران مشخص گردید که در اکثر موارد انطباق خوبی بین نتایج حاصل از نمودار تصویرگر، مقاطع نازک و نمودار پتروفیزیکی وجود دارد.

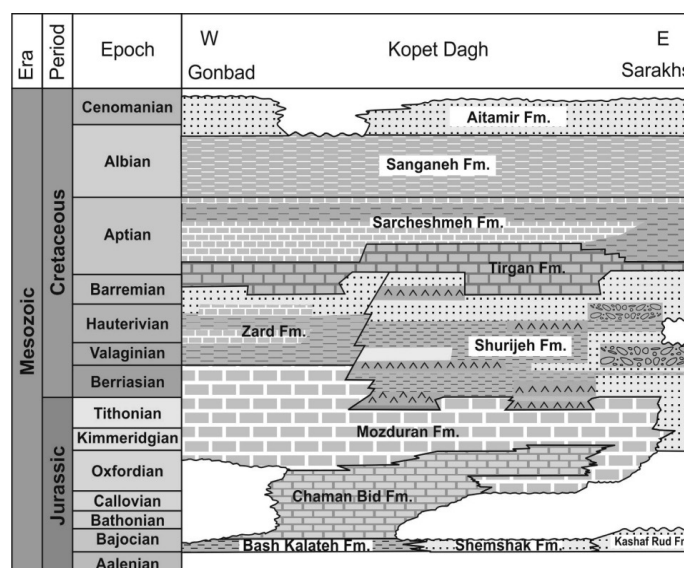
**کلمات کلیدی:** میدان گازی خانگیران، رخصاره‌ها، فرآیندهای دیاژنز، محیط رسوبی، نمودار پتروفیزیکی و نمودار تصویرگر

## مقدمه

و شمال افغانستان را نیز در بر می‌گیرد [۱]. سازند شورجه به سن کرتاسه پیشین (نئوکومین-بارمین) متشکل از رخصاره‌های غالب آواری سرخ‌رنگ و کربناتی است که در حوضه کپه داغ گسترش دارد (شکل ۱).

پهنه رسوبی ساختاری کپه داغ در شمال خاور ایران واقع شده است. این پهنه بخش‌هایی از ترکمنستان

\*مسئول مکاتبات  
آدرس الکترونیکی: kadkhodaie\_ali@tabrizu.ac.ir  
شناسه دیجیتال: (DOI:10.22078/PR.2022.4650.3090)

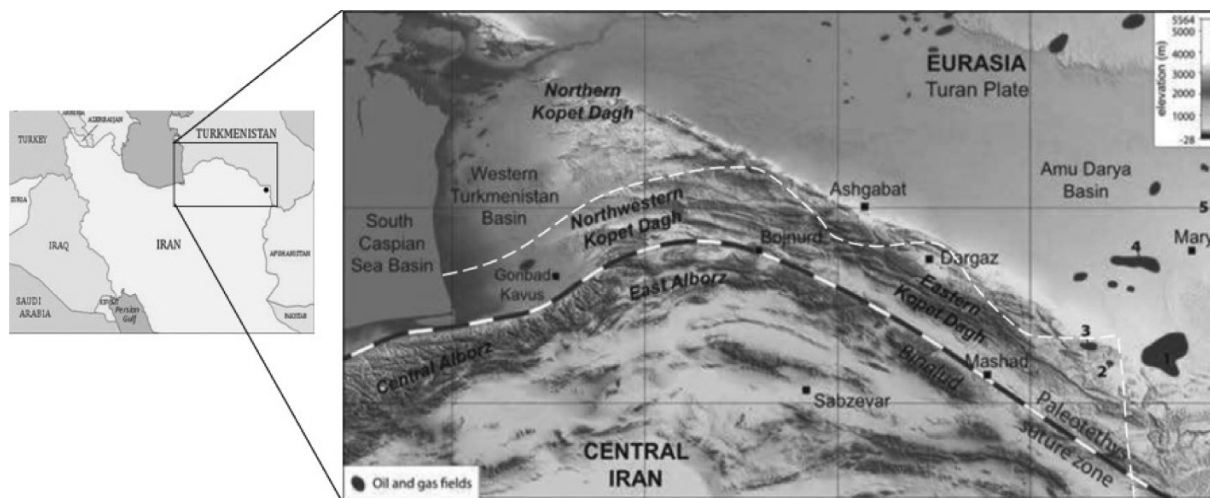


شکل ۱ ستون چینه‌شناسی ژوراسیک پسین-کرتاسه پیشین در حوضه کپه داغ [۴]

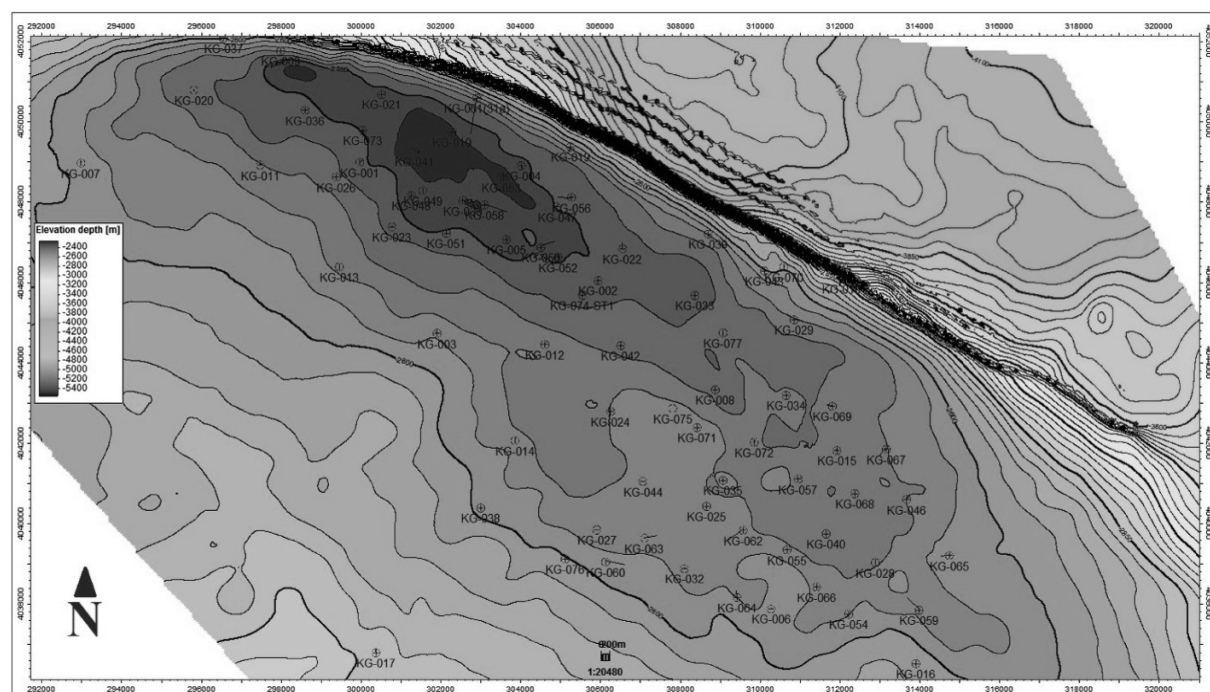
C به طرف چاه‌های شمال غربی میدان افزایش می‌یابد. ضخامت زون D از چاه‌های جنوب شرقی میدان به سمت چاه‌های شمال غربی کاهش می‌یابد. میزان تخلخل در زون‌های D1 و D2 سازند شوربچه از غرب به شرق افزایش پیدا می‌کند. زون E نیز تغییرات قابل توجهی در کل میدان ندارد [۴]. سازند شوربچه برای اولین بار توسط افشارحرب و انصاری در روستای شوربچه در شرق شهر مشهد تعریف شد و برش دره خور با ضخامت ۹۸۰ m در مسیر مشهد-کلات نادری به‌عنوان برش الگو تعریف شد [۵]. رضا نداف‌کهنه قوچان و همکاران به بررسی مطالعات لیتواستراتیگرافی و پتروگرافی سازند شوربچه در منطقه مورد مطالعه پرداختند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد سازند شوربچه محیط مردابی-دریایی در این منطقه داشته و رخساره‌های مقطع چشمه گیلان بیانگر محیطی قاره‌ای-مردابی است، در مقطع دره خور، سازند تحت تأثیر وضعیتی قاره‌ای-مردابی بوده و بالاخره رسوبات سازند شوربچه در گردنه مزدوران در یک محیط رودخانه‌ای تشکیل شده‌اند [۶].

توالی‌های ماسه‌ای این سازند در ایران، بخش مخزنی میداین گازی ناحیه سرخس (خانگیران و گنبدلی) را تشکیل می‌دهد و معادل آن (سازندهای کارابیل<sup>۱</sup>، الموراد<sup>۲</sup> و شاتلیک<sup>۳</sup>) سنگ مخزن مهم گاز در ترکمنستان (به‌ویژه در میداین دولت آباد و بایراملی) هستند [۲]. میدان گازی خانگیران یکی از میداین مهم واقع در شمال شرق ایران در حوضه کپه داغ است (شکل ۲). این میدان با ساختار شمال غربی-جنوب شرقی در بخش شمال شرقی استان خراسان رضوی، در نزدیکی مرز جغرافیایی با کشور ترکمنستان، در ۲۵ km شمال غربی سرخس و ۱۸۰ km شمال شرقی مشهد قرار دارد [۴]. ضخامت سازند شوربچه در میدان گازی خانگیران از شمال غرب به جنوب شرق روند کاهشی را نشان می‌دهد (شکل ۳). این تغییر ضخامت بیشتر مربوط به زون‌های A و C است و به‌طور مساوی بین آنها تقسیم شده است. ضخامت زون‌های D و B در این روند تقریباً ثابت است. زون A در سازند شوربچه که پوشاننده سازند مزدوران است تغییر ضخامت قابل توجهی در کل میدان ندارد. زون B یک روند افزایشی به طرف چاه‌های غربی و جنوب غربی میدان را نشان می‌دهد. میزان تخلخل در زون B سازند شوربچه از غرب به شرق کاهش پیدا می‌کند. ضخامت زون

1. Karabil Fm  
2. Almurad Fm  
3. Shatlyk Fm



شکل ۲ محل میدان خانگیران در شمال شرق ایران و محل میدان‌های گاز، میدادین اصلی گاز شامل: ۱- دولت آباد، ۲- گندلی، ۳- خانگیران، ۴- شاتلیک؛ ۵- بایرام علی، خط سفید: مرز کشورها [۳]



شکل ۳ محل حفاری چاه‌های میدان خانگیران روی خطوط هم‌تراز زیر سطحی سازند شورججه

مریم مرتضوی مهریزی و همکاران به بررسی محیط رسوبی و دیاژنز سازند شورججه در منطقه مورد نظر پرداختند. نتایج مطالعات آن‌ها منجر به تشخیص دو مجموعه رخساره آواری و رخساره کربناته مرتبط با دشت ساحلی گردید. رخساره‌های مذکور در محیط رسوبی قاره‌ای- حدواسط (دشت ساحلی) نهشته شده‌اند.

پریسا طباطبایی و همکارانش به بررسی رخساره‌ها و محیط رسوبی سازند شورججه، خاور حوضه رسوبی کپه داغ پرداختند. نتایج تحقیقات آن‌ها منجر به شناسایی رخساره‌های سیلیسی آواری و تبخیری سازند شورججه در برش‌های مورد مطالعه شده است. این رخساره‌ها در محیط رسوبی رودخانه‌های بریده بریده، مئاندری و دریاچه‌ای نهشته شده‌اند [۷].

آن‌ها براساس طبقه‌بندی مایال تفسیر شده است. همچنین، انواع فرآیندهای دیاژنزی در سازند شوربجه شناسایی شده و تأثیر آن‌ها بر روی کیفیت مخزنی مورد بحث قرار گرفته است. برای بررسی خصوصیات پتروفیزیکی و نمودارهای تصویرگر جهت انطباق با نتایج حاصل از مقاطع نازک از نرم‌افزار ژئولاگ<sup>۵</sup> استفاده شده است.

### بررسی رخساره‌ها در سازند شوربجه

براساس مطالعات میکروسکوپی انجام شده بر روی مقاطع نازک توالی سازند شوربجه در چاه‌های مورد مطالعه، ۹ رخساره سنگی اصلی شامل کنگلومرای ماسه‌ای، کوارتز آرنایت، ساب لیتارنایت، ساب آركوز، کوارتز وک، رس‌سنگ/ شیل، انیدریت نودولار، دولومادستون ماسه‌ای و دولوگرینستون ماسه‌ای شناسایی گردیده است.

### میکروکنگلومرا

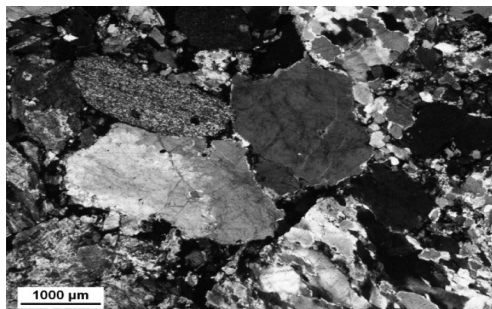
این پتروفاسیس در بخش قاعده زون B توالی سازند شوربجه قابل مشاهده است که متشکل از ذرات دانه درشت چرت و کوارتز پلی کریستالین نیمه گرد شده دارای پوشش هماتیتی است (شکل ۴). اجزای دیگر در این رخساره شامل خرده‌های ماسه‌سنگی، کربناته و گاهی سنگ‌های دگرگونی درجه پایین هستند. جورشدگی قطعات ضعیف تا متوسط است. مهم‌ترین سیمان‌های مشاهده شده در این رخساره سیمان سیلیسی، کلسیتی و دولومیتی آغشته به اکسید آهن همراه با سیمان انیدریتی هستند. این رخساره به‌صورت تناوبی از کنگلومرا تا کنگلومرای ماسه‌ای و ماسه سنگ درشت دانه گراولی در زون B در چاه‌های مختلف مشاهده شده است. که در بخش بالایی این افق به ماسه متوسط تا زیر دانه، شیل رسی و سیلنتی انیدریت‌دار تبدیل می‌گردد.

1. Eogenic
2. Mesogenic
3. Telogenic
4. Bioturbation
5. Geolog

همچنین، بررسی‌های پتروگرافی صورت گرفته توسط آن‌ها نشان داد که فرآیندهای دیاژنتیکی این سنگ‌ها در سه رژیم آئوژنیک<sup>۱</sup>، مزوژنیک<sup>۲</sup> و تلوزنیک<sup>۳</sup> ساخته شده است. این فرآیندها در سنگ‌های سیلیسی آواری شامل فشردگی فیزیکی و شیمیایی، سیمانی‌شدن، هماتیتی شدن، دگرسانی، انحلال و جاننشینی فلدسپات، ایجاد شکستگی و پرشدگی رگه است. در سنگ‌های آهکی مورد مطالعه فرآیندهای دیاژنتیکی شامل فشردگی فیزیکی و شیمیایی، میکریتی شدن، آشفستگی زیستی<sup>۴</sup>، سیمانی‌شدن کلسیتی، دولومیتی‌شدن، نئومورفیسم، پیدایش شکستگی و پرشدگی رگه است [۸]. مریم منصوری هفتجانی و همکاران به کاربرد نمودارهای تصویرگر در شناسایی ویژگی‌های رخساره‌های رسوبی و پدیده‌های دیاژنزی پرداختند و نتیجه گرفتند نمودارهای تصویرگر در موارد بسیاری با نمونه‌های مغزه و مقاطع نازک مطابقت داشتند [۹]. هدف از این مطالعه تشخیص و تفکیک رخساره‌ها، محیط رسوبی، ارائه مدل رسوبی و همچنین مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنتیکی است که بر کیفیت مخزنی سازند شوربجه در چاه‌های مورد مطالعه مؤثر بوده‌اند. آگاهی دقیق از این پارامترها به متخصصین این امکان را می‌دهد که برای بررسی دقیق مراحل تولید در یک میدان اطلاعات کافی در اختیار داشته باشند و با آگاهی از آن‌ها توانایی بیشتری در توسعه میادین نفتی خواهند داشت.

### روش مطالعه

در این مطالعه جهت دستیابی به اهداف تحقیق، تعداد ۴۸۰ عدد مقطع نازک میکروسکوپی از ۵ چاه مورد مطالعه سازند شوربجه تحت بررسی‌های پتروگرافی قرار گرفت. این مقاطع به‌طور عمده (بیش از ۸۰٪) از خرده‌های حفاری بوده و فواصل نمونه‌برداری از ۳۰ cm تا ۱/۵ m متغیر است. نام‌گذاری رخساره‌های آواری براساس طبقه‌بندی فولک و پتی جان و صورت گرفته و شرایط محیطی



شکل ۴ میکروکنگومرا

دانه‌های چرت کوارتز چند بلوری، کوارتز دارای خاموشی موجی، فلدسپات‌های تجزیه شده، خرده سنگ‌های کربناته و فلدسپار (کلسیم‌دار) هستند (شکل ۶). میزان ذرات کوارتز در این پتروفاسیس ۵۰ تا ۶۰٪ است. ذرات لیتارنایت‌ها به‌طور معمول فشرده بوده و دارای سطوح تماسی محدب مقعر و گاهی اوقات مضرس هستند. این پتروفاسیس به‌طور عمده در زون‌های B و D و به‌صورت میان لایه‌های نازکی در بخش‌هایی از زون C نیز مشاهده شده است. ساب لیتارنایت‌ها بیانگر حمل و نقل اندک و نرخ بالای رسوب‌گذاری هستند [۱۱].

#### ساب آرکوز

در تعداد اندکی از نمونه‌ها پتروفاسیس ساب آرکوز که اندازه ذرات آن در حد ماسه ریز تا ماسه متوسط است، مشاهده شده است. این پتروفاسیس‌ها به‌طور معمول زاویه‌دار بوده و جورشدگی خوبی دارند. اجزای اصلی سازنده این پتروفاسیس شامل کوارتز (با رشد اضافی هم محور)، فلدسپار (۱۰ تا ۱۵٪) و به‌میزان کمتر کانی‌های سنگین (۲ تا ۳٪) هستند (شکل ۷). این پتروفاسیس دارای مقادیر زیادی اکسید آهن در زمینه بوده و از نظر بلوغ بافتی و کانی‌شناسی، این پتروفاسیس در حد نابالغ تا نیمه‌بالغ است. این پتروفاسیس در زون‌های B و D مشاهده شده است.

این پتروفاسیس به‌سمت چاه‌های بخش شمال غربی میدان به‌صورت ماسه گراولی تغییر رخساره می‌دهد. این پتروفاسیس به‌صورت نهشته‌های برجای مانده<sup>۱</sup> پیش‌رونده در بخش پایینی زون B در چاه‌های مختلف مشاهده شده و از نظر محیط تشکیل، به بخش پرانرژی رودخانه‌های بریده بریده شامل پشته‌های طولی<sup>۲</sup> و رسوبات غربال شده<sup>۳</sup> حاصل از مهاجرت جانبی کانال‌ها نسبت داده می‌شود [۱۰].

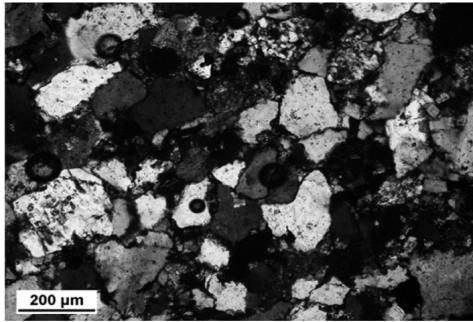
#### کوارتز آرنایت

اجزای اصلی تشکیل‌دهنده این پتروفاسیس، به‌طور عمده از ذرات دانه ریز تا متوسط کوارتز، با جورشدگی متوسط تا خوب و نیمه زاویه‌دار تشکیل شده است (شکل ۵). سایر اجزای فرعی شامل چرت، گلاکونیت، مسکوویت و کانی‌های سنگین هستند. ماتریکس نیز در این پتروفاسیس وجود نداشته یا در تعدادی از نمونه‌های ۲ تا ۳٪ است. مهم‌ترین سیمان‌های موجود در این پتروفاسیس شامل سیمان سیلیسی (به‌صورت رشد اضافه در اطراف ذرات و سیمان بین دانه‌های)، سیمان کلسیتی (به شکل بین دانه‌ای و پویکیلوتوپیک<sup>۴</sup>) و گاهی سیمان دولومیتی پرکننده فضاهای خالی است. ذرات کوارتز در برخی موارد تا حد زیادی فشرده شده و دارای مرزهای مضرس هستند [۲]. این پتروفاسیس به‌طور عمده در زون D و به‌صورت میان لایه‌های نازکی در بخش‌هایی از زون‌های B و C نیز مشاهده شده است.

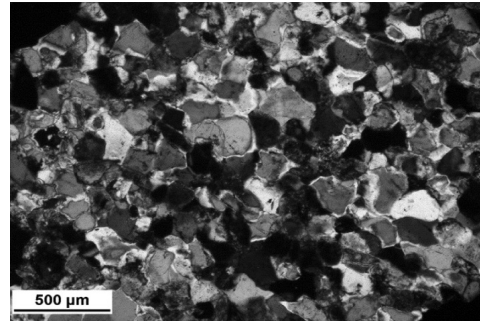
#### ساب لیتارنایت

ذرات تشکیل‌دهنده در ساب لیتارنایت‌ها شامل

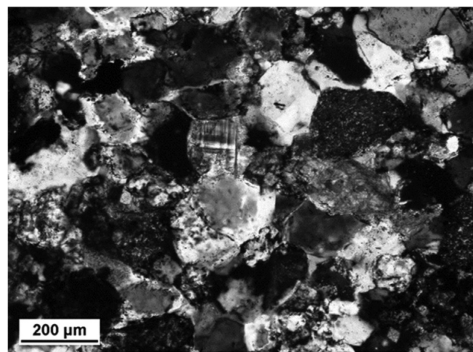
1. Lag Deposit
2. Longitudinal Bars
3. Sieve Deposits
4. Poikilotopic



شکل ۶ ساب لیتارنایت



شکل ۵ کوارتز آرنایت به‌همراه سیمان‌های بین دانه‌ای کربناته و رو رشدی سیلیس



شکل ۷ ساب آرکوز

ذرات کوارتز در اندازه سیلت تا ماسه ریز دانه به فرم زاویه‌دار تا نیمه زاویه‌دار در اکثر مقاطع قابل مشاهده هستند. در برخی مقاطع ذرات زاویه‌دار تا نیمه زاویه‌دار کوارتز در اندازه سیلت مشاهده شده است. در برخی دیگر به‌علت فراوانی کانی‌های ورقه‌ای، این پتروفاسیس به شیل‌های ماسه‌ای - سیلتی تغییر رخساره داده است. رس سنگ قرمز به‌طور عمده در زون‌های E و A و همچنین به‌صورت متناوب با پتروفاسیس ماسه‌سنگ در زون‌های D و C سازند شوربچه مشاهده می‌شود.

#### انیدریت نودولار

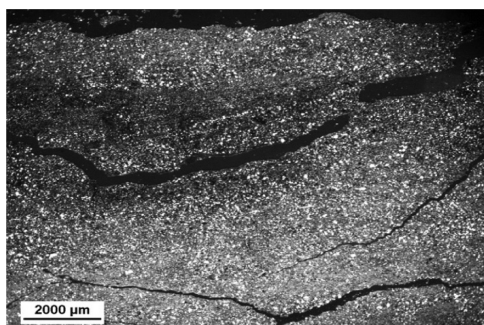
این رخساره به‌صورت ترکیبی از بلورهای درشت و رشته‌ای انیدریت قابل مشاهده است (شکل ۱۰). در مواردی نیز آثاری از بلورهای ریز دولومیت در زمینه وجود دارد. این رخساره به‌طور عمده به‌صورت نودول انیدریتی وجود دارد. در برخی موارد این رخساره دارای ساخت توده‌ای است و گاهی با پیریت همراهی دارد.

#### کوارتزوک

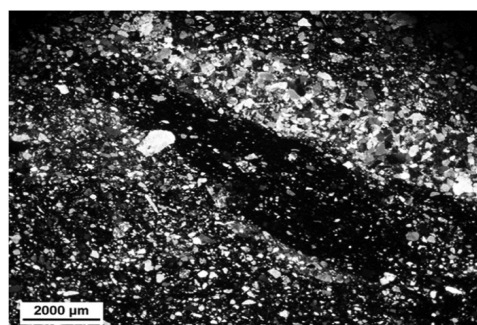
پتروفاسیس ماسه‌ای کوارتزوک به‌طور عمده از ذرات کوارتز (۴۰ تا ۶۰٪) تک بلور با خاموشی مستقیم در زمینه بسیار دانه ریز از رس هماتیستی که گاهی کمی آهکی هستند، تشکیل شده است. ذرات کوارتز دارای جورشدگی ضعیف و زاویه‌دار هستند (شکل ۸). میزان ماتریکس در این پتروفاسیس از ۱۵ تا ۴۵٪ متغیر است که در برخی از نمونه‌ها با آشفستگی زیستی همراه است. این پتروفاسیس به‌طور عمده در زون D همراه با رخساره‌های شیلی مشاهده شده است.

#### رس سنگ/ شیل

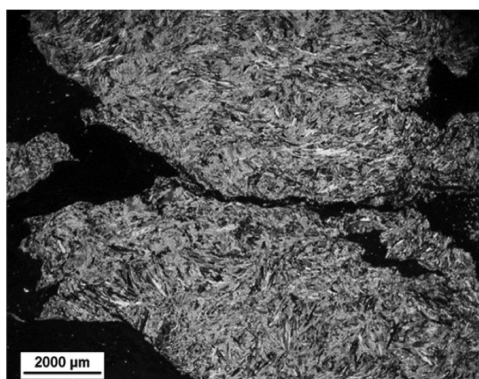
این پتروفاسیس در توالی سازند شوربچه در چاه‌های مورد مطالعه به‌صورت رس سنگ قرمز رنگ و هماتیستی وجود دارد (شکل ۹). بخش عمده رس سنگ قرمز رنگ از ذرات رس، مقداری سیلت و ماسه ریز تشکیل شده و دارای بافت توده‌ای و گاهی لامیناسیون ضعیف و آثار آشفستگی زیستی است.



شکل ۹ رس سنگ دارای ذرات پراکنده سیلت



شکل ۸ کوارتز وک با جورشدگی ضعیف و آشفته‌گی زیستی



شکل ۱۰ انیدریت نودولار

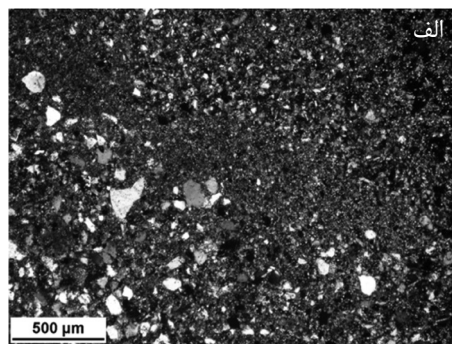
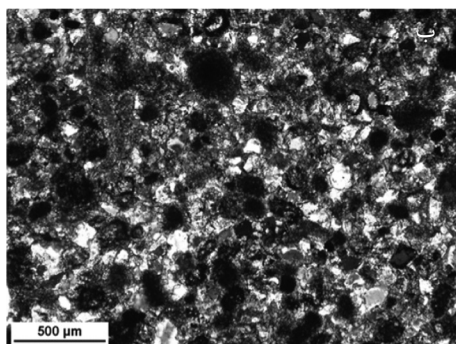
کوارتزی و دارای فابریک مماسی هستند. در برخی مقاطع اوویدها آغشته‌گی زیادی با اکسید آهن پیدا کرده‌اند که بیانگر شرایط اکسیدان در زمان رسوب‌گذاری آن‌ها می‌باشد. مهم‌ترین سیمان موجود در این پتروفاسیس، سیمان کلیستی دور دانه‌ای در اطراف ذرات اووید و پرکننده فضاهای خالی است. اجزای فرعی شامل پیریت و در مواردی انیدریت می‌باشد. وجود بیوکلسیت‌های نامشخص (دوکفه‌ای) از دیگر اجزای با فراوانی اندک در این رخساره است. رخساره دولومادستون ماسه‌ای در بخش‌هایی از زون C، ابتدای زون‌های A و E وجود دارد که به‌نظر می‌رسد گسترش آن به‌سمت شمال شرقی میدان بیشتر می‌باشد. پتروفاسیس دولوگرینستون اوویدی ماسه‌ای در اکثر چاه‌های مورد مطالعه در بخش‌های میانی و بالایی زون C مشاهده شده است. ضخامت این رخساره متغیر بوده و به‌طور کلی، از سمت جنوب شرقی به شمال غربی میدان خانگیران، افزایش می‌یابد.

1. Ooid

تراکم و پهن شدگی نودول‌ها از فرآیندهای قابل ذکر دیاژنزی در این رخساره است. انیدریت به‌طور غالب در زون‌های A و C مشاهده شده است.

#### رخساره‌های هیبرید (کربناته - آواری)

رخساره هیبرید در مقاطع مورد مطالعه به دو صورت دولومادستون ماسه‌ای و دولوگرینستون اوویدی<sup>۱</sup> ماسه‌ای مشاهده شده است (شکل ۱۱). رخساره دولومادستون ماسه‌ای متشکل از ذرات آواری کوارتز بوده که در یک زمینه دولومیتی پراکنده هستند (شکل ۱۱-الف). دولومیتی‌شدن در این رخساره در مراحل اولیه دیاژنز اتفاق افتاده چون اندازه بلورهای دولومیت در حد میکرایت تا میکرواسپار است. ذرات کوارتز تشکیل‌دهنده جورشدگی پایین داشته و زاویه‌دار هستند. پیریت و در مواردی نودول‌های انیدریت به‌میزان کم در این رخساره مشاهده شده است. ذرات اصلی تشکیل‌دهنده رخساره دولوگرینستون ماسه‌ای شامل اووید و کوارتز در یک زمینه آهک دولومیتی تا دولومیتی می‌باشد (شکل ۱۱-ب). اوویدها به‌طور عمده دارای هسته



شکل ۱۱ الف) دولومادستون ماسه‌ای با ذرات پراکنده کوارتز ب) رخساره دولوگریستون ماسه‌ای.

۱۳). براساس نقشه نشانگر همسانی و مطالعات انجام شده توسط حسین یار در افق A، جهت جریان دیرینه سیستم رودخانه‌ای میدان خانگیران در امتداد جنوب غرب شمال شرق بوده است که در پایین دست مسیر حرکت رودخانه به سمت شمال-شمال غرب تغییر کرده است. سیستم رودخانه‌ای از نوع بریده بریده با کانال‌های مختلف و پیچیدگی کم در واحدهای A و B در بخش جنوبی میدان خانگیران، در جهت شمال شرق شرق جریان داشته که در بخش شمال میدان به دلیل عملکرد گسل پی سنگی کپه داغ (عشق آباد) به سمت شمال غرب - غرب تغییر جهت داده‌اند [۱۲].

### فرآیندهای دیاژنزی کنترل کننده کیفیت مخزنی در سازند شوربچه آشفته‌گی زیستی

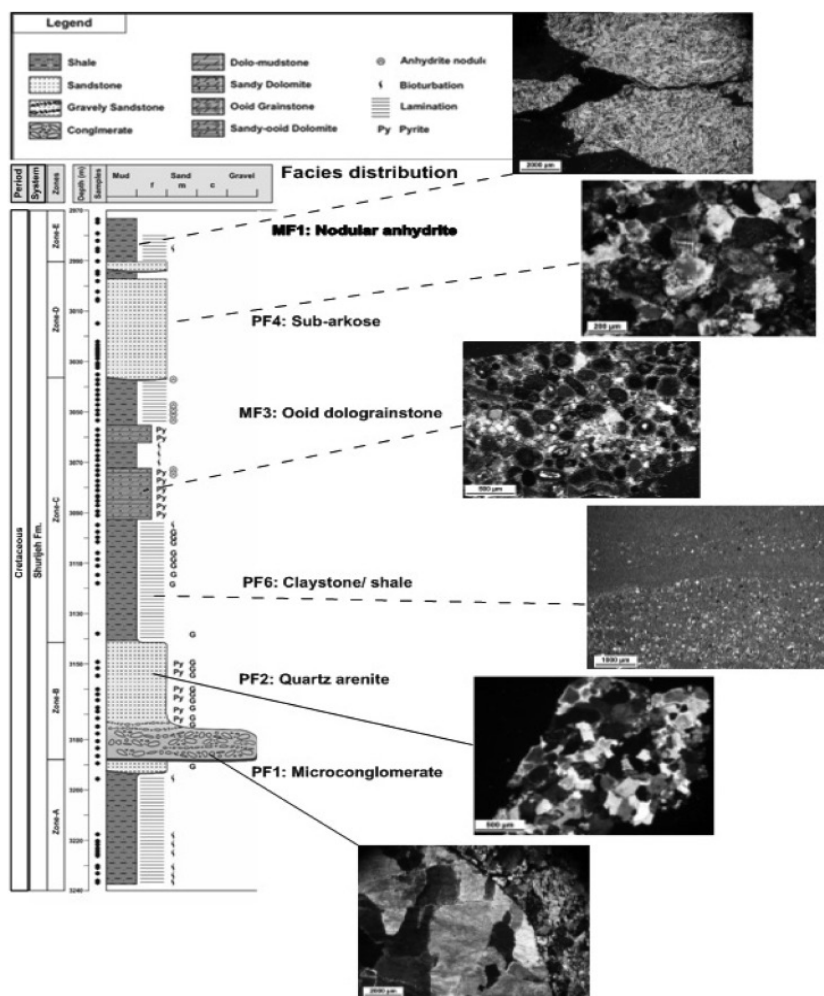
آشفته‌گی زیستی پدیده‌ای رایج در سنگ‌های رسوبی بوده و به عوامل مختلفی از جمله نرخ رسوب‌گذاری، وجود مواد غذایی و اکسیژن در محیط رسوبی بستگی دارد [۱۳]. فرآیند آشفته‌گی زیستی یا بهم ریختگی رسوبات توسط موجودات زنده در سازند شوربچه به‌طور غالب در رخساره‌های گلی و ریز دانه و گل غالب (کوارتز وک) مشاهده می‌شود (شکل ۱۴). پدیده آشفته‌گی زیستی می‌تواند اثر مثبت یا منفی بر روی خصوصیات مخزنی به‌ویژه تراوایی مخزن داشته باشد [۱۴].

پراکندگی رخساره‌های رسوبی در امتداد توالی سازند شوربچه در چاه کلیدی نشان داده شده است (شکل ۱۲).

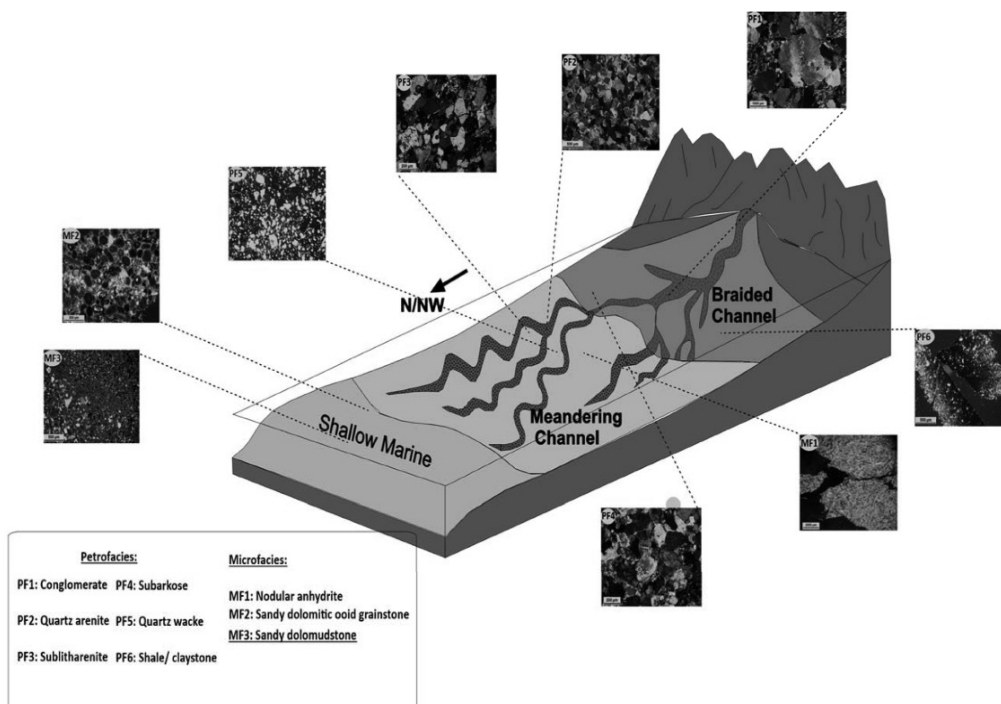
### محیط و مدل رسوبی سازند شوربچه

مطالعات میکروسکوپی رخساره‌های سازند شوربچه در چاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که بخش عمده توالی سازند شوربچه در زون‌های B و D چاه‌های مورد مطالعه در میدان خانگیران، به‌ویژه در بخش‌های شرق و جنوب شرق، از پتروفاسیس‌های ماسه‌سنگ و میکروکنگلومرا تا ماسه گراولی ریز شونده به سمت بالا مربوط به رودخانه‌های بریده بریده و گاهی مئاندری تشکیل شده است. به‌نظر می‌رسد گسترش این پتروفاسیس‌ها در ارتباط با مهاجرت جانبی کانال‌ها می‌باشد. علاوه‌بر این، میزان کمی از نهشته‌های رسی و سیلتی قرمز رنگ مربوط به بخش دشت سیلابی در این بخش مشاهده می‌گردد. بخش میانی توالی سازند شوربچه (زون C) نیز به‌نظر می‌رسد در بخش پر انرژی کولاب تا سدهای جزر و مدی گسترش پیدا کرده است. در ادامه، بخش‌های A و E به‌طور عمده در محیط دشت سیلابی تا پهنه جزر و مدی نهشته شده‌اند. جایگزینی نودول‌های انیدریت در رخساره‌های رس سنگ و نسبت کم ماسه به شیل بیانگر رسوب‌گذاری آن‌ها در یک محیط رسوبی بسته (دریاچه‌های شاخ گاوی و دشت سیلابی) در شرایط آب و هوای گرم و خشک می‌باشد (شکل

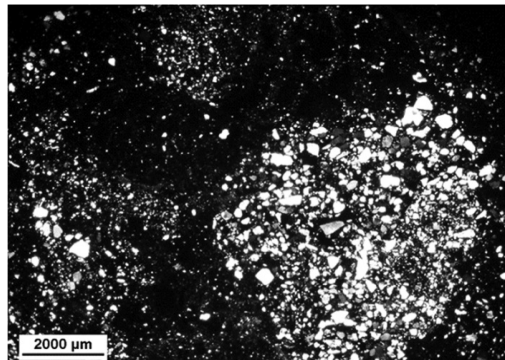




شکل ۱۲ توزیع رخساره‌های رسوبی در امتداد توالی چاه کلیدی سازند شوربجه



شکل ۱۳ مدل شماتیکی از محیط رسوب‌گذاری سازند شوربجه در سیستم‌های رودخانه‌ای بریده بریده و مئاندری



شکل ۱۴ اشفتگی زیستی در پتروفاسیس کوارتز وک

### سیمانی شدن

سیمانی شدن یکی از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی است و در زمانی که سیال‌های منفذی از فاز سیمان فوق اشباع هستند تشکیل می‌شود. ترکیب و مورفولوژی سیمان در تفسیر منشاء آن و بازسازی تاریخچه دیاژنزی ارزشمند است [۱۵]. سیمانی شدن از فراوان‌ترین پدیده‌های دیاژنزی در سازند شوربچه می‌باشد. فراوان‌ترین سیمان‌های موجود شامل سیمان‌های سیلیسی، کربناته، هماتیتی و به‌مقدار کمتر انیدریتی می‌باشند. در مقاطع نازک مورد مطالعه از سازند شوربچه، سیمان‌های سیلیسی، کلسیتی، دولومیتی، هماتیتی و انیدریتی به‌شرح زیر مشاهده شده‌اند.

### سیمان سیلیسی

سیمان‌های سیلیسی در مراحل اولیه تدفین در سازند شوربچه نهشته شده و فضاهای خالی بین ذرات را پر کرده‌اند، هر چند در مقایسه با سیمان‌های کربناته از گسترش و فراوانی کمتری برخوردار هستند. از انواع سیمان‌های سیلیسی قابل مشاهده در سازند شوربچه می‌توان به سیمان کوارتزی رورشدی اشاره کرد (شکل ۱۵). سیمان رشد ثانویه کوارتز به‌طور معمول در زون‌های حاوی آب نهشته می‌شود زیرا سیلیس در آب قابل حل بوده اما در نفت قابل حل نمی‌باشد [۱۶]. در نتیجه، عدم حضور یا کم بودن این نوع سیمان در ماسه‌سنگ‌ها علاوه بر اثبات مواردی چون عدم وجود منبع سیلیس مورد نیاز می‌تواند نشان‌دهنده

مهاجرت زود هنگام هیدروکربن به داخل سازند بوده که مانع از گسترش سیمان‌های سیلیسی شده‌اند [۱۷ و ۱۸].

### سیمان کلسیتی

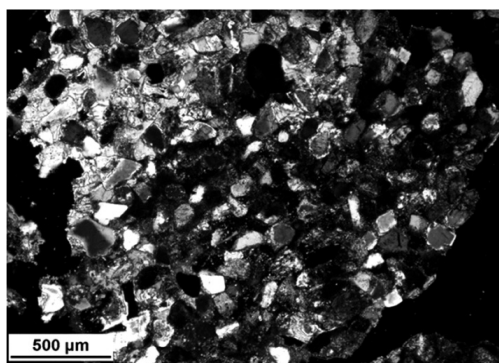
سیمان کلسیتی در سازند شوربچه طی دیاژنز اولیه و دفنی و به‌صورت بلورهای موزاییکی و پوکلیوتوپیک تشکیل شده است (شکل ۱۶). ماسه‌سنگ‌های سازند شوربچه قبل از دفن عمیق و اثر تراکم رسوبات فوقانی، تحت تأثیر سیمانی شدن کلسیتی قرار گرفته‌اند و گاهی باعث تشکیل ماسه‌سنگ‌های دارای سطوح تماسی بسیار کم بین دانه‌ها شده‌اند. [۱۹].

### سیمان اکسید آهن (هماتیتی)

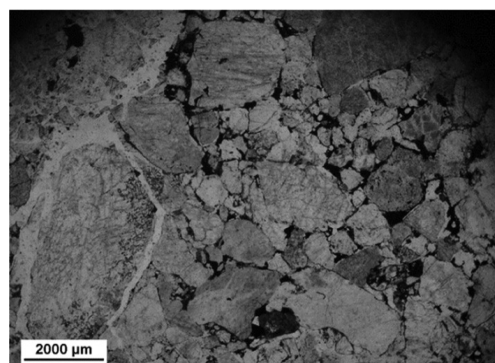
ماسه‌سنگ‌های سازند شوربچه در مقاطع میکروسکوپی به رنگ قرمز بوده که این رنگ قرمز به‌دلیل وجود سیمان هماتیتی در اطراف ذرات، در مرز بین دانه‌های کوارتز و سیمان رشد اضافی و همچنین به‌صورت پراکنده در زمینه نمونه‌های حاوی ذرات گل می‌باشد (شکل ۱۷). وجود سیمان هماتیتی نشان‌دهنده ته نشست این رسوبات در اقلیم نیمه‌خشک و شرایط فیزیکوشیمیایی اکسیدی است [۲۰ و ۲۱].

### سیمان انیدریتی

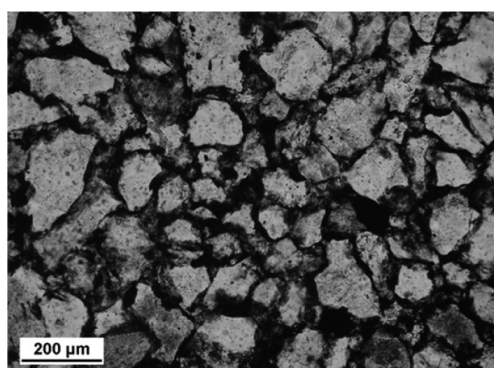
سیمان‌های انیدریتی و همچنین سایر سولفات‌ها به‌عنوان سیمان‌های دیاژنتیک در ماسه‌سنگ‌ها دیده می‌شوند که گاه اثر بسیار زیادی بر روی کیفیت مخزنی سازندها ایفا می‌کنند [۲۲].



شکل ۱۶ سیمان کلسیتی پوکیلوپوئیک



شکل ۱۵ سیمان دور دانه‌ای در پتروفاسیس کنگلومرا

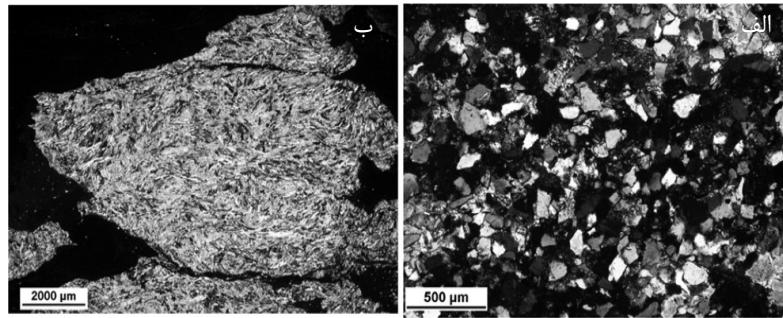


شکل ۱۷ سیمان هماتی در پتروفاسیس ساب‌آرکوز

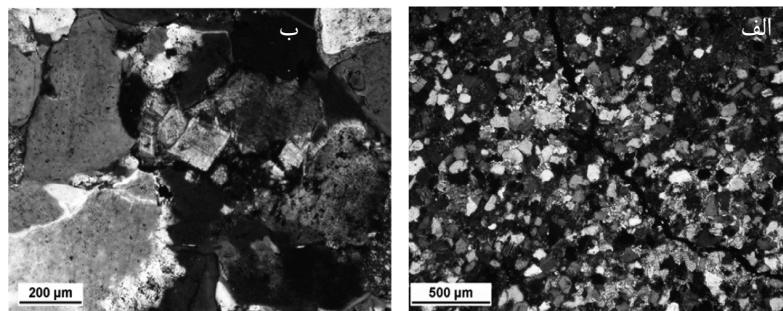
دولومیتی شدن در نمونه‌های مطالعه شده سازند شوربچه، در دو مرحله دیاژنزی صورت گرفته و در نتیجه دو نوع دولومیت از نظر اندازه بلوری تشکیل شده است. نوع اول این دولومیت‌ها بسیار ریز بلور بوده که پس از ته نشست و قبل از سیمانی شدن رسوب در طی دیاژنز اولیه تشکیل شده‌اند [۲۵]. در بعضی نمونه‌ها، بلورهای دولومیت در اندازه اسپار و میکرواسپار به‌طور کامل زمینه ماسه‌سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند، به‌طوری که تماس بین دانه‌ها در آن‌ها بسیار کم شده و در برخی موارد به دولوستون ماسه‌ای تبدیل شده‌اند (شکل ۱۹-الف). نوع دوم از دولومیت‌ها به‌صورت بلورهای درشت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار تشکیل شده است (شکل ۱۹-ب). این بلورهای دولومیت به‌طور معمول به‌صورت جانشینی کلسیت و یا کوارتز رشد اضافی بوده که این نشان‌دهنده تاخیری بودن این نوع دولومیت‌ها در توالی پاراژنتیکی و تشکیل آن‌ها در طی دیاژنز دفنی است.

نمونه‌هایی با درصد انیدریت پایین‌تر دارای بافت پوکیلوپوئیک هستند و توزیع پراکنده انیدریت، تخلخل و تراوایی بالاتری را نشان می‌دهد و نمونه‌هایی با درصد انیدریت بالاتر، دارای بافت نودولار هستند و توزیع یکنواخت انیدریت را نشان می‌دهند [۲۳]. در سازند شوربچه، سیمان‌های انیدریتی به‌صورت پرکننده فضاهای خالی (شکل ۱۸-الف) و در برخی افق‌ها به‌ویژه در رخساره‌های رس‌سنگی به‌صورت نودول‌های انیدریتی نیز مشاهده می‌شوند (شکل ۱۸-ب). میزان فراوانی این سیمان به‌ویژه در رخساره‌های رس سنگ بیشتر می‌باشد. مطالعات پتروگرافی نشان می‌دهد که سیمان‌های انیدریتی از انواع اولیه بوده و قبل از اولین مرحله از سیمان‌های کربناته نهشته شده‌اند. **سیمان دولومیتی و دولومیتی شدن**

یکی از مهم‌ترین و متداول‌ترین نوع جابه‌جایی در سنگ‌های آهکی، جایگزینی کربنات منیزیم و کربنات کلسیم و تشکیل دولومیت است [۲۴]. فرآیند



شکل ۱۸ الف) سیمان انیدریتی پرکننده فضاهای خالی، ب) نودول انیدریتی در پتروفاسیس رس سنگ



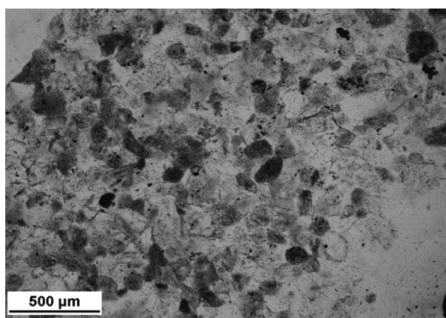
شکل ۱۹ الف) دولومیتی شدن و تشکیل بلورهای ریز دولومیت، ب) بلورهای خودشکل دولومیتی پرکننده حفرات در رخساره ساب آرکوز

### تراکم

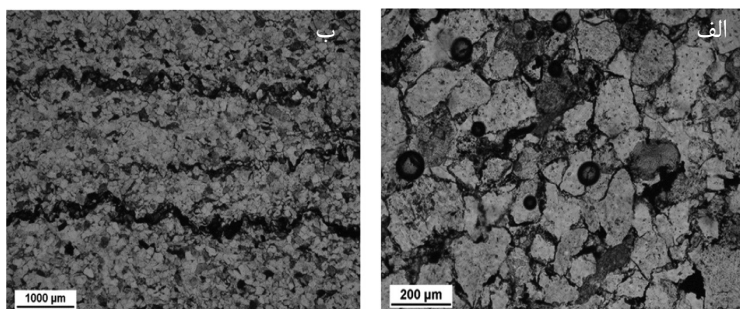
تراکم به‌طور معمول از مراحل اولیه دیاژنز آغاز شده و در مرحله دیاژنز میانی به حداکثر میزان خود می‌رسد. این فرآیند به‌طور معمول ناشی از افزایش بار طبقات بالایی در طی دفن عمیق اتفاق می‌افتد اما گاهی اوقات می‌تواند ناشی از نیروهای تکتونیکی مؤثر در منطقه نیز باشد. این فرآیند در سازند شوربجه به دو صورت مکانیکی و شیمیایی قابل مشاهده است. فشردگی مکانیکی در مراحل اولیه و انتهای دیاژنز صورت گرفته و به شکل‌های مختلفی (شکل ۲۱-الف) از جمله تغییر شکل ذرات شکل‌پذیر (مانند قطعات خرده سنگی و فلدسپات‌ها)، خمیدگی یا شکستگی برخی دانه‌ها، خاموشی موجی دانه‌های کوارتز و انواع تماس بین دانه‌های قابل مشاهده است [۲]. تراکم شیمیایی نیز به‌میزان کم و به‌صورت انحلال فشاری و استیلولیتی شدن، درزه‌های انحلالی و سطح تماس مضرسی دانه‌ها دیده می‌شود (شکل ۲۱-ب).

رومبوهدرهای دولومیت در برخی موارد، فضاهای خالی موجود را به‌طور کامل پر کرده‌اند [۲].  
کانی‌زایی پیریت (پیریتی شدن)

پیریت یکی از محصولات دیاژنزی اولیه و خاص محیط‌های احیایی است که تشکیل آن، ناشی از عبور اکسید آهن از محیط سولفیدی و واکنش سولفید هیدروژن تولید شده توسط باکتری‌های احیاکننده است [۲۴]. کانی پیریت در سازند شوربجه، به‌صورت بلورهای ریز و پراکنده قابل مشاهده است (شکل ۲۰). به‌طور کلی، تشکیل پیریت‌ها هم در مرحله دیاژنز آغازین و هم در طی دیاژنز دفنی اتفاق می‌افتد. پیریت‌های اولیه به‌طور معمول به‌صورت بلورهای خوشه‌ای بوده و در طی مراحل اولیه دفن به‌وجود می‌آیند [۲۵]. در مقابل پیریت‌های دفنی دارای بلورهای درشت‌تر بوده و نیمه شکل‌دار هستند. این پیریت‌ها یکی از آخرین سیمان‌هایی بوده که همراه با احیای هماتیت و در حضور هیدروکربن‌ها تشکیل می‌شوند [۲۶].



شکل ۲۰ پیریت خوشه‌ای در رخساره کوارتز آرنایت

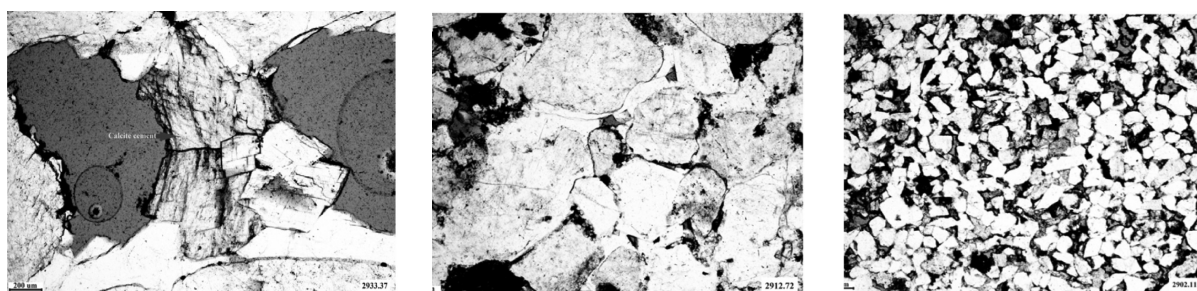


شکل ۲۱ الف) سطح تماس مقعر - محدب بین دانه‌های کوارتز در اثر تراکم مکانیکی در رخساره کوارتز آرنایت (ب) استیلولیت و درز انحلالی در اثر تراکم شیمیایی در رخساره کوارتز آرنایت

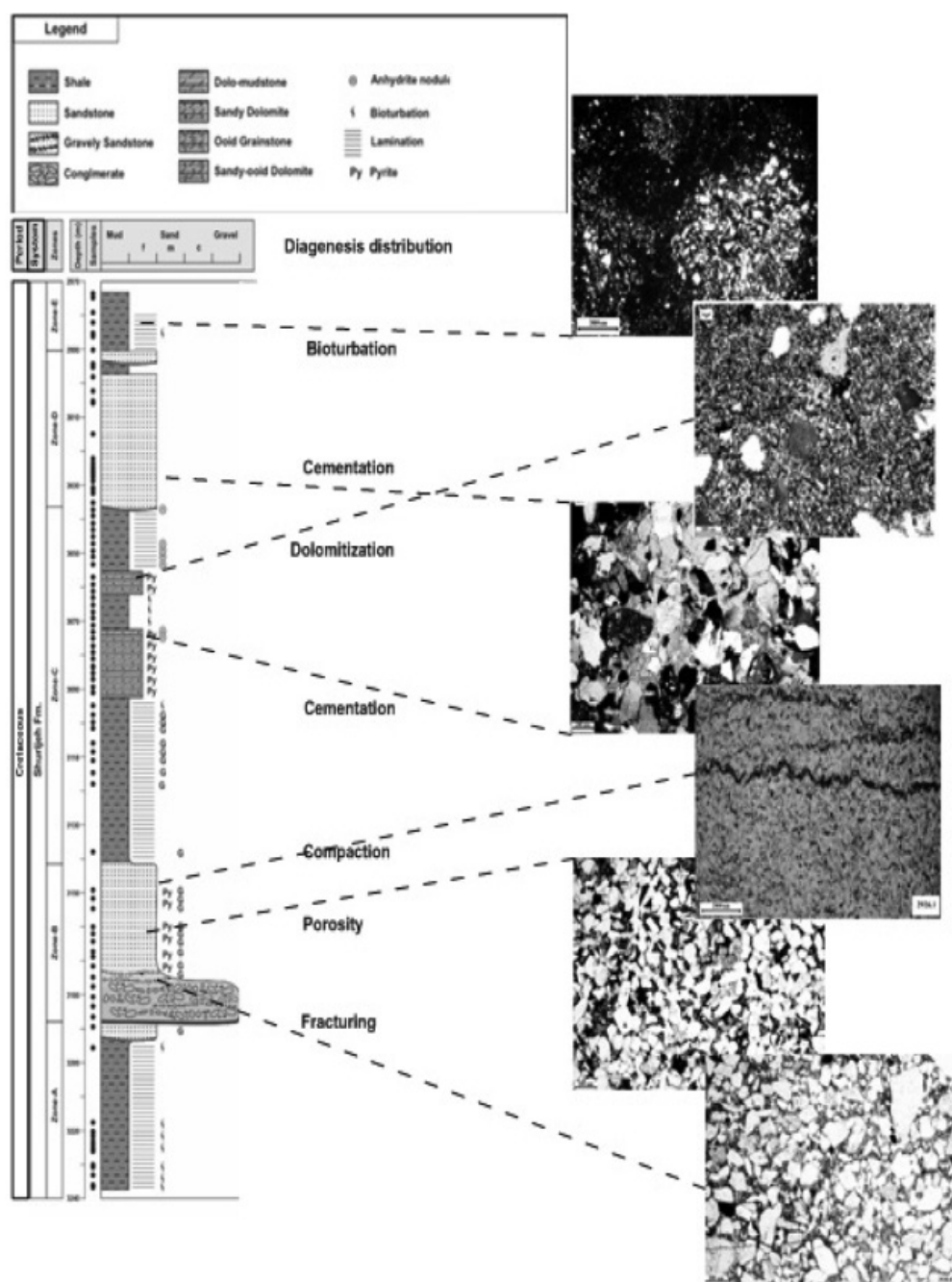
ثانویه در بخش‌های مطالعه شده این سازند شامل خلل و فرج ناشی از انحلال سیمان‌های کربناته می‌باشد. اندازه بزرگ این خلل و فرج و حضور بقایای سیمان‌های کربناته در آن‌ها بیانگر این مطلب است که این فضاهای خالی در نتیجه انحلال سیمان‌های کربناته تولید شده‌اند (شکل ۲۲-ج). انحلال انیدریت نیز می‌تواند تا حد کمی در تولید تخلخل ثانویه مؤثر باشد اما شواهد خاصی مبنی بر این مطلب در مقاطع مورد مطالعه به‌ندرت مشاهده شده است. انحلال کلسیت در زمانی که این ماسه‌سنگ‌ها در معرض آب‌هایی با pH پایین در رژیم فشارشی قرار گرفته‌اند، صورت گرفته است [۲۷]. لازم به ذکر است که تخلخل ناشی از شکستگی نیز به‌ندرت در مقاطع مورد مطالعه مشاهده شده است (شکل ۲۲-د). پراکندگی فرآیندهای مختلف دیاژنزی در امتداد توالی چاه کلیدی سازند شورپیچه نشان داده شده است (شکل ۲۳).

### تخلخل

براساس مطالعات پتروگرافی انجام شده تخلخل در ماسه‌سنگ‌های سازند شورپیچه از نوع اولیه (بین دانه‌ای) و ثانویه (انحلالی) می‌باشد (شکل ۲۲-الف). این تخلخل‌ها بیشتر در رخساره‌های دانه درشت شامل ماسه‌سنگ‌های درشت دانه، میکروکنگلوмера و ماسه‌های گراولی بخش پایینی این سازند رواج دارند (شکل ۲۲-ب). سایر واحدهای ماسه‌سنگی این سازند به‌علت حضور گسترده انواع سیمان‌های کلسیتی، سیلیسی و انیدریتی و همچنین وجود رس، دارای کیفیت ضعیف‌تری هستند. جدایش چینه‌ای و ایزوله شدن هیدرولوژیکی این واحدهای ماسه‌ای توسط لایه‌های نازک گل‌سنگ و شیل نفوذناپذیر باعث جلوگیری از ایجاد تخلخل ثانویه حاصل از انحلال سیمان‌های کربناته توسط سیالات اسیدی ناشی از تراکم و فشارش ستون رسوبات می‌شود که این امر نیز باعث ضعیف‌تر شدن کیفیت مخزنی این بخش‌ها در سازند شورپیچه می‌شود. تخلخل



شکل ۲۲ الف) تخلخل‌های انحلالی و بین دانه‌ای، ب) تخلخل بین دانه‌ای حفظ شده در بین سیمان‌های کوارتزی رشد اضافی، ج) بقایای سیمان کلسیتی در خلل و فرج نمونه



شکل ۲۳ توزیع فرآیندهای دیازنزی در امتداد توالی چاه کلیدی سازند شوربچه

توالی پاراژنتیکی در سازند شوربجه

دانه‌ریز زیاد بوده است، تراکم فیزیکی بیشتر بوده و مانع تشکیل سیمان‌های کلسیتی شده است، درحالی‌که ته‌نشست انیدریت به‌صورت نودول در این بخش‌ها صورت گرفته و گاهی به‌صورت سیمان به داخل لایه‌های پایین‌تر نفوذ کرده است. در مرحله تدفینی، فشردگی مکانیکی ادامه داشته و با افزایش عمق تدفین، انحلال فشاری و استیلولیتی شدن در مرز تماس بین ذرات ماسه‌سنگی رخ داده است. سیلیس حاصل از فرایند انحلال فشاری به‌همراه سایر سیلیس موجود در فضاهای خالی به‌صورت سیمان رورشدی هم‌محور در اطراف ذرات کوارتز ته‌نشست پیدا کرده است. همچنین، تشکیل پیریت در حضور احیای اکسید آهن در این مرحله صورت گرفته است. در نهایت، بالآمدگی تکنونیک باعث رخنمون یافتن بخش‌هایی از توالی سازند شوربجه شده که دوباره تحت تأثیر اکسیداسیون و تشکیل سیمان اکسید آهن و تراکم فیزیکی قرار گرفته‌اند.

مطالعات پتروگرافی نشان می‌دهد چاه‌های مورد مطالعه سازند شوربجه تحت تأثیر فرآیندهای دیاژنتیک در سه مرحله پیشین، تدفینی و بالا آمدگی قرار گرفته‌اند (جدول ۱). در مرحله پیشین دیاژنز، چرخش آب‌های متوریک در داخل رسوبات ماسه‌سنگی باعث دگرسانی فلدسپات‌ها و میکاها شده است. با توجه به ترکیب اکسیدی آب‌های درون حفره‌ای در این مرحله، پوشش‌های اکسید آهن (هماتیت) بر روی دانه‌های آواری مانند کوارتز صورت گرفته است. همچنین، به‌هم‌ریختگی رسوبات توسط جانداران در این مرحله با توجه به‌وجود اکسیژن و شرایط مناسب اتفاق افتاده است. در بخش‌هایی که میزان تراکم فیزیکی رسوبات ماسه‌سنگی کمتر بوده است، تشکیل سیمان‌های کلسیتی و دولومیتی صورت گرفته و تا مرحله تدفینی دیاژنز نیز ادامه داشته است. اما در بخش‌هایی که میزان رسوبات

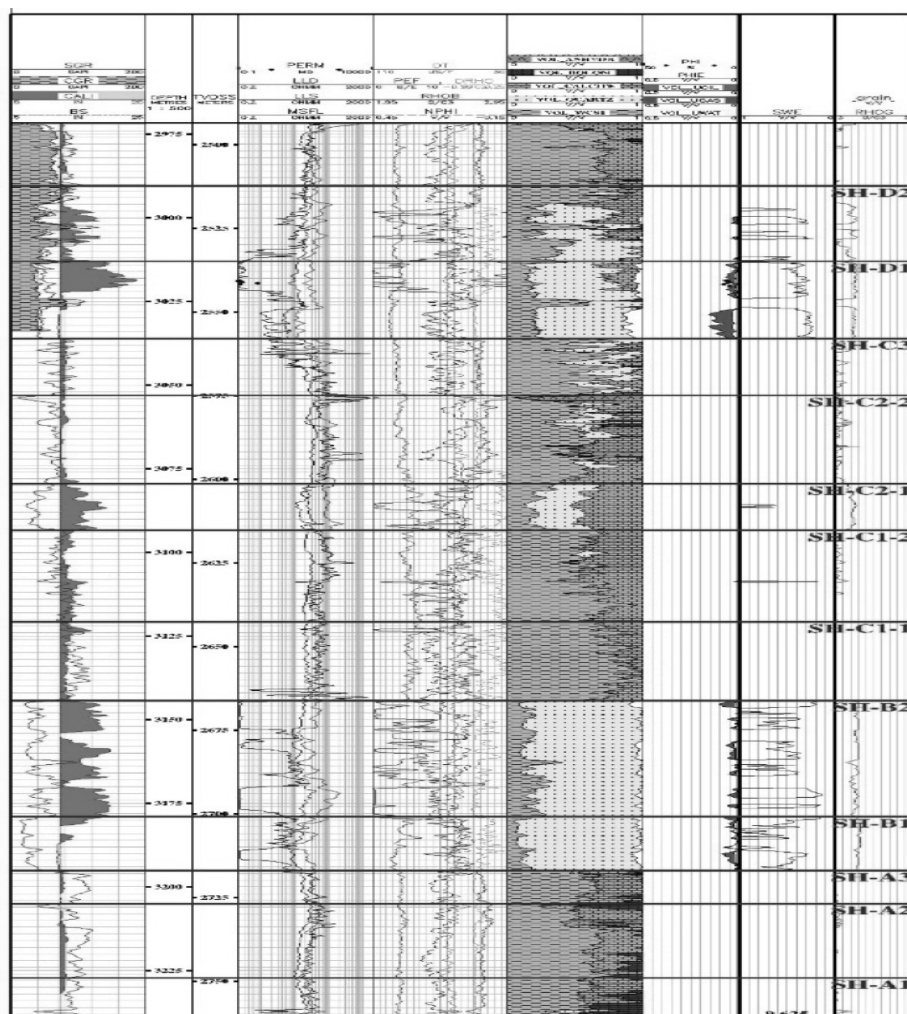
جدول ۱ توالی پاراژنتیکی سازند شوربجه در چاه‌های مورد مطالعه

			مراحل دیاژنز
دیاژنز انتهایی	دیاژنز میانی	دیاژنز اولیه	فرآیندهای دیاژنز
		-----	آشفتگی زیستی
-----		-----	سیمان هماتیته
		-----	دولومیتی‌شدن اولیه
	-----		سیمان کلسیتی
	-----		سیمان سیلیسی
	-----		سیمان دولومیتی
	-----		سیمان انیدریتی
-----	-----		تراکم فیزیکی
	-----		تراکم شیمیایی
	-----		پیریتی‌شدن
	-----		فرآیند دیاژنزی منفی
	-----		فرآیند دیاژنزی مثبت
	-----		فرآیند دیاژنزی خنثی

مقایسه مطالعات پتروگرافی و پتروفیزیکی

نتایج حاصل از ارزیابی پتروفیزیکی برای سازند شوربچه در چاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد از نظر ترکیب کانی‌شناسی، سازند شوربچه به‌طور عمده از کانی‌های کوارتز، کلسیت، دولومیت و انیدریت تشکیل شده است. شرایط مخزنی زون‌های موجود را می‌توان در ارتباط با ویژگی‌هایی مانند ترکیب کانی‌شناسی، اندازه و جورشدگی ذرات، نوع سیمان بین آن‌ها و غیره مورد بررسی قرار داد. براساس محاسبات و تغییرات پارامترهای پتروفیزیکی و تلفیق این نتایج با مطالعات پتروگرافی، سازند شوربچه در چاه کلیدی میدان مورد مطالعه به ۱۱ زون تقسیم شده است (شکل ۲۴). همان‌طور که

در شکل ۲۴ مشاهده می‌شود زون‌های B و D با ظهور و غلبه رخساره‌های ماسه‌سنگی و با پوشش رخساره‌های شیلی و همچنین به‌علت تخلخل بیشتر در رخساره‌های دانه درشت، با خصوصیات مخزنی خوب مشخص است که قابل انطباق با نتایج حاصل از مطالعات مقاطع نازک می‌باشد. طبق مطالعات مقاطع نازک زون B و D سازند شوربچه از رخساره‌های ماسه‌سنگی تشکیل شده‌اند که تحت تأثیر فرآیندهای دیاژنتیکی چون تخلخل، شکستگی ناشی از انحلال، استیلولیت و دولومیتی شدن قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۱۲ و ۲۳). افق D از نظر مخزنی بهتر از زون B است که می‌توان آن را در ارتباط با دولومیتی شدن، اندازه ذرات ماسه و جورشدگی آن‌ها در نظر گرفت.



شکل ۲۴ نمایی گرافیگی از نتایج محاسبات احتمالی انجام شده در چاه کلیدی میدان خانگیران



لامیناسیون، شکستگی‌ها و ریزش‌های متقارن<sup>۴</sup> در طی حفاری شناسایی شده‌اند. این بررسی نشان می‌دهد که در اکثر موارد انطباق خوبی بین بررسی فرآیندهای دیاژنز براساس مطالعات مقاطع نازک و مطالعه فرآیندهای دیاژنز براساس نمودارهای تصویرگر وجود دارد.

#### لایه‌بندی

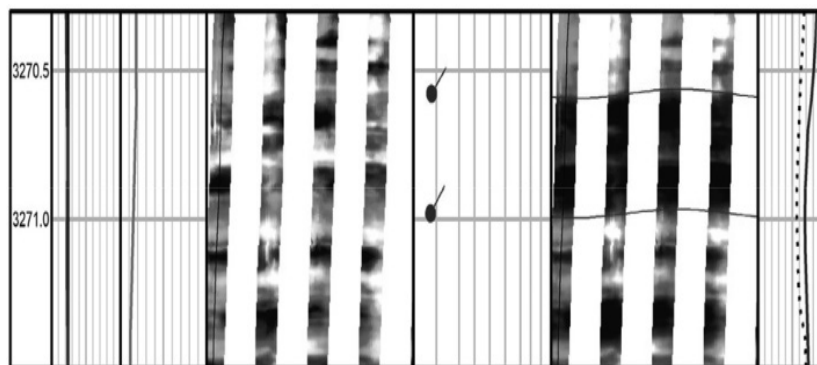
شیب ساختاری با استفاده از مرزهای لایه‌بندی شناسایی شده از روی لاگ تصویری تعیین شد. این سطوح به‌طور معمول نشان‌دهنده تغییرات ناگهانی لیتولوژی می‌باشند، که توسط پدیده‌های دیاژنزی و تکنونیک‌کی تحت تأثیر قرار نگرفته‌اند [۳۰]. در نمودار تصویرگر لایه‌ها با رنگی تیره در زمینه روشن‌تر مشاهده می‌شوند. این خطوط تیره اغلب به‌صورت موجی تا مستقیم در نمودار مشاهده می‌شوند. نمونه‌ای از لایه‌بندی چاه کلیدی مورد مطالعه بر روی نمودار تصویرگر FMS نشان داده شده است (شکل ۲۵).

#### لامیناسیون

لامیناسیون نشان‌دهنده تغییرات جزئی در رسوبات به‌هنگام رسوب‌گذاری می‌باشد. به‌طور معمول تغییرات دوره‌ای در تامین رسوبات باعث ایجاد لامینه‌ها می‌شود.

#### بررسی فرآیندهای دیاژنز با نمودارهای تصویرگر

نمودارهای تصویرگر سازند اطلاعات مهمی در مورد شکستگی‌ها ارائه می‌دهند. به‌علاوه با تفسیر آن‌ها میتوان سایر پدیده‌های زمین‌شناسی مانند لایه‌بندی، استیلولیت، گسل‌ها و گرهک‌های انیدریت را شناسایی نمود. تخلخل، تراوایی و ناهمگونی مخزن<sup>۱</sup> از سنج‌های مهم دیگر هستند که می‌توان از تحلیل نمودارهای تصویری محاسبه نمود. به‌طور کلی شکستگی‌ها نقش مهمی در تولید از مخازن شکاف‌دار ایفا می‌کنند [۲۹]. اگر هدف از مطالعه سنگ‌ها و توالی‌های رسوبی رسیدن به محیط و فرآیندهای رسوبی باشد، در ابتدا باید رخساره‌های مختلف موجود در آن محیط را شناخت. به‌دلیل مشکلات ناشی از تهیه مغزه، نمودارهای تصویرگر جانشین مناسبی برای شناخت و مطالعه بافت‌ها هستند. نمودارهای تصویرگر در شناخت ساخت‌ها و عوارض رسوبی کوچک مقیاس کمک زیادی می‌کنند. در این مطالعه با استفاده از نمودار تصویرگر توسط نرم‌افزار ژئولاگ نسخه ۸ به تفسیر فرآیندهای دیاژنز در چاه کلیدی چاه‌های مورد مطالعه برای تطابق با نتایج حاصل از مطالعه مقاطع نازک پرداخته شده است. در تفسیر نمودارهای تصویری، ویژگی‌های ساختاری مانند لایه‌بندی<sup>۲</sup>، استیلولیت، رگچه‌های انحلالی<sup>۳</sup>،



شکل ۲۵ نمونه‌ای از لایه‌بندی چاه مورد مطالعه در لاگ تصویری FMS

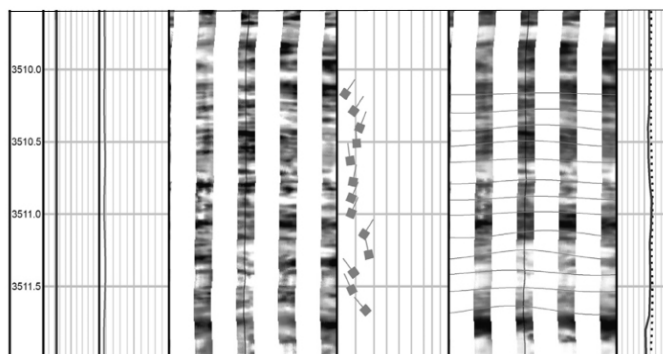
1. Heterogeneity
2. Bedding
3. Solution Seam
4. Breakout

مطالعه بیشتر استیلولیت‌ها موازی و یا نیمه موازی با لایه‌بندی‌ها هستند [۹]. استیلولیت‌ها معمولاً به صورت دسته‌ای دیده می‌شوند و در مقطع عرضی به صورت مضرسی (زیگ زاگ) دیده می‌شوند. استیلولیت‌ها به طور معمول با مواد نامحلول مانند کانی‌های رسی، اکسید آهن و مواد ارگانیک پر می‌شوند. عمود بر جهت استیلولیت‌ها معمولاً سدهای تراوایی ایجاد می‌شود، در حالی که در امتداد آن‌ها ممکن است انتقال جریان در سنگ تسهیل شود. همچنین در زون‌های استیلولیتی، تخلخل به میزان زیادی (در اثر انحلال فشارشی) کاهش می‌یابد [۳۰]. تراکم استیلولیت‌ها در چاه مورد مطالعه بالا می‌باشد. استیلولیت‌ها در نمودار تصویرگر اغلب به رنگ تیره دیده می‌شوند. تفاوت استیلولیت‌ها با لایه‌های شیلی نازک، بی‌نظمی استیلولیت‌هاست. نمونه‌ای از استیلولیت‌های شناسایی شده در چاه کلیدی مورد مطالعه بر روی لاگ تصویری FMS نشان داده شده است (شکل ۲۷).

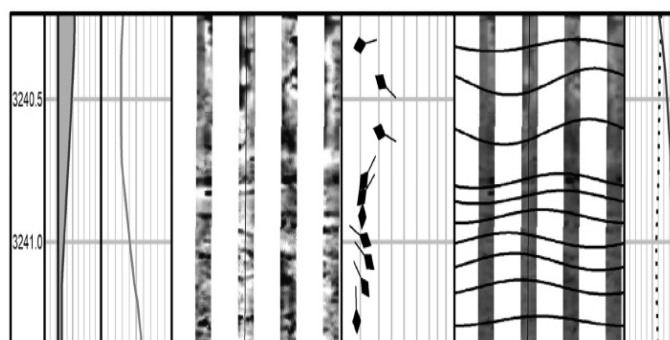
این تغییرات می‌تواند در اندازه دانه‌ها، درصد رس، محتوای میکروفسیل و میزان ماده آلی ایجاد شود. به دلیل قدرت تفکیک بالا در نمودارهای تصویرگر، لامینه نیز به صورت بسیار نازک که به طور کامل پیوسته نیستند در نمودار مشاهده می‌شوند و بیانگر محیطی با انرژی پایین می‌باشند [۳۰]. نمونه‌ای از لامیناسیون شناسایی شده در چاه کلیدی مورد مطالعه بر روی لاگ تصویری FMS نشان داده شده است (شکل ۲۶).

### استیلولیت

استیلولیت نشان‌دهنده انحلال شیمیایی و تراکم است. عمده‌ترین مواد پرکننده استیلولیت‌ها کانی‌های رسی هستند و به همین دلیل در نمودارهای تصویرگر به جهت رسانایی بالای الکتریکی تیره‌تر دیده می‌شوند، ولی گاهی امکان دارد مواد هیدروکربوری در صفحه استیلولیت‌ها متجمع شوند که در این صورت روشن‌تر به نظر می‌رسند. استیلولیت‌ها در کرنات‌ها به وفور دیده می‌شوند. در چاه‌های مورد



شکل ۲۶ تعدادی از لامینه‌های برداشت شده چاه مورد مطالعه از لاگ تصویری FMS



شکل ۲۷ تعدادی از استیلولیت‌های شناسایی شده در چاه مورد مطالعه از لاگ تصویری FMS

## رگچه انحلالی

مورد مطالعه برروی نمودار تصویرگر FMS نشان داده شده است (شکل ۲۹).

## شکستگی القایی

وقتی که وزن گل زیاد باشد مقدار تنشی که گل حفاری در اعماق به دیواره چاه وارد می‌کند بیشتر از تنش بیشینه در آن اعماق است. بنابراین در دو قسمت متقابل دیواره چاه شکستگی کششی به وجود می‌آید که شکستگی القایی در اثر حفاری نامیده می‌شود [۳۱]. شکستگی‌های القایی در چاه‌های قائم به صورت متقارن در دو طرف چاه و به موازات محور چاه دیده می‌شوند. نمونه‌ای از شکستگی‌های باز شناسایی شده در چاه کلیدی مورد مطالعه برروی نمودار تصویرگر FMS نشان داده شده است (شکل ۳۰).

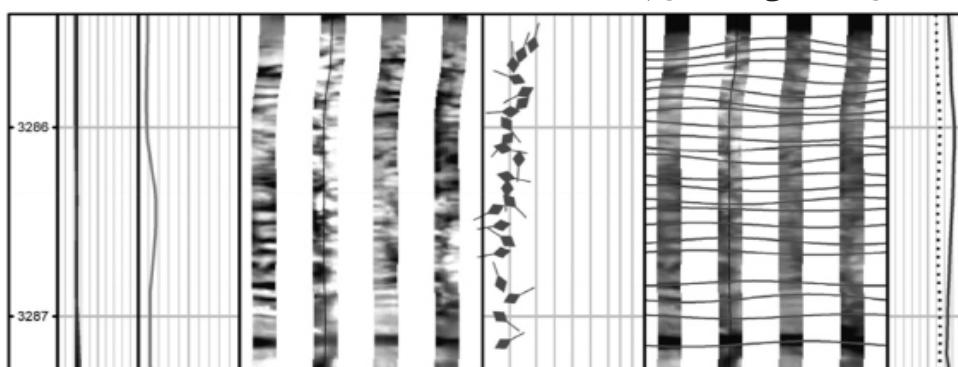
## شکستگی‌های طبیعی توسعه یافته

این شکستگی‌ها به صورت طبیعی در مخزن وجود دارد و فرآیند حفاری باعث بازتر شدن آن‌ها شده و امکان تشخیص آن‌ها برروی لاگ تصویری فراهم می‌شود [۳۰].

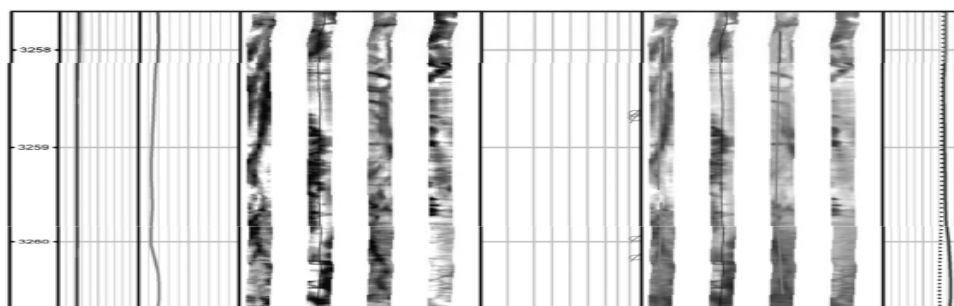
رگچه‌های انحلالی نیز مانند استیلولیت‌ها محصول انحلال فشارشی می‌باشند. رگچه‌های انحلالی دارای ظاهر صاف‌تری نسبت به استیلولیت‌ها می‌باشند و با توجه به این تفاوت، می‌توان آن‌ها را نسبت به استیلولیت‌ها متمایز کرد [۳۰]. تعدادی از رگچه‌های انحلالی چاه کلیدی مورد مطالعه در نمودار تصویرگر FMS نشان داده شده است (شکل ۲۸).

## شکستگی‌های باز

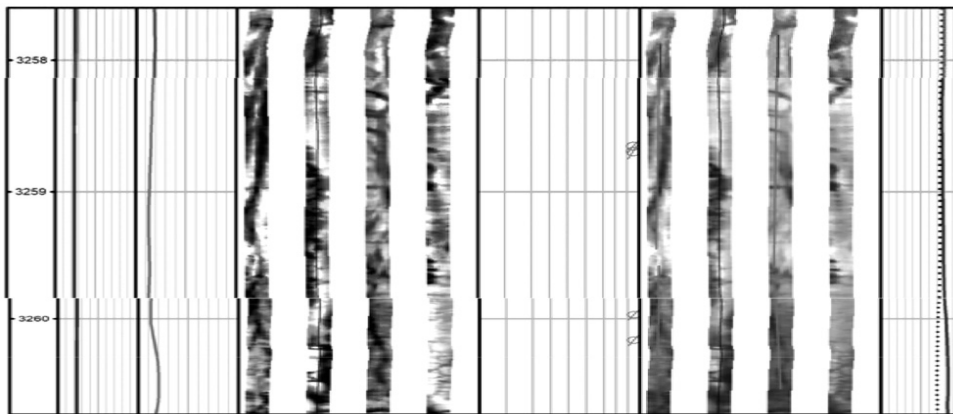
به‌طور کلی تراوایی سازند در موازات شکستگی‌های باز افزایش می‌یابد. تراوایی حاصل از شکستگی‌های باز تابعی از بازشدگی آن‌ها، میزان تنش وارده عمود بر امتداد شکستگی و زبری سطوح شکستگی است. برخی از پارامترهای زمین‌شناسی برروی تراکم شکستگی‌های طبیعی مؤثر می‌باشند. این پارامترها عبارتند از: لیتولوژی، اندازه دانه، تخلخل، ضخامت لایه‌بندی، موقعیت ساختاری [۳۰]. شکستگی‌های باز به صورت یک موج سینوسی کامل یا ناپیوسته و تیره‌رنگ در نمودار تصویرگر دیده می‌شود. نمونه‌ای از شکستگی‌های باز شناسایی شده در چاه کلیدی



شکل ۲۸ تعدادی از رگچه‌های انحلالی چاه مورد مطالعه برروی لاگ تصویرگر FMS



شکل ۲۹ تعدادی از شکستگی‌های باز شناسایی شده چاه مورد مطالعه برروی لاگ تصویری FMS



شکل ۳۰ تعدادی از شکستگی‌های القایی شناسایی شده چاه مورد مطالعه بر روی لاگ تصویری FMS

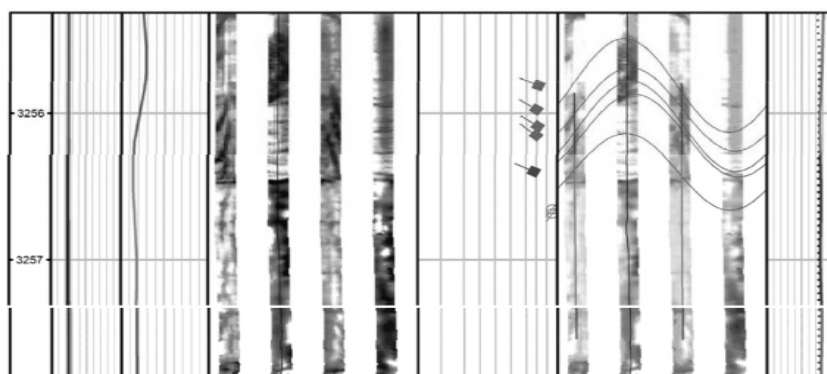
ساختار لایه ای گفته می‌شود که حاصل از نهشته شدن لایه‌های مورب به‌صورت سطح شیب‌دار باشد. چینه‌بندی متقاطع یک نوع لایه‌بندی با مقیاس کوچک‌تر است که به‌طور غالب ضخامت آن‌ها کم است و نسبت به طبقه‌بندی اصلی به حالت متقاطع قرار گرفته‌اند. چینه‌بندی متقاطع نتیجه محیط ویژه‌ای از رسوب‌گذاری است و نه تغییر شکل هندسی سنگ بر اثر تنش [۳۰]. در لاگ تصویرگر، چینه‌بندی‌های متقاطع، با تغییرات ناگهانی (و به‌صورت عمود بر هم) در شیب لایه‌ها شناسایی می‌شوند. جهت شیب چینه‌بندی‌های متقاطع به‌طور غالب به سمت شمال می‌باشد. نمونه ای از چینه‌بندی متقاطع چاه کلیدی مورد مطالعه بر روی نمودار FMS نشان داده شده است (شکل ۳۳).

تعدادی از شکستگی‌های طبیعی توسعه یافته در اثر حفاری که با موج سینوسی بر روی نمودار FMS مشخص شده، نشان داده شده است (شکل ۳۱) ریزش متقارن

ریزش‌های متقارن<sup>۱</sup> هنگامی ایجاد می‌شوند که تنش‌های اطراف دیواره چاه از مقاومت فشارشی سنگ فزونی یابد [۳۲]. ریزش‌های متقارن در راستای عمود بر تنش افقی بیشینه ایجاد می‌شوند. هنگامی که یک چاه حفاری می‌شود دیگر سنگی در آن محل وجود ندارد که تنش را تحمل کند، بنابراین تنش به سنگ‌های اطراف منتقل می‌شود [۳۰]. نمونه‌ای از ریزش متقارن دیواره چاه بر روی نمودار تصویرگر FMS نشان داده شده است (شکل ۳۲).

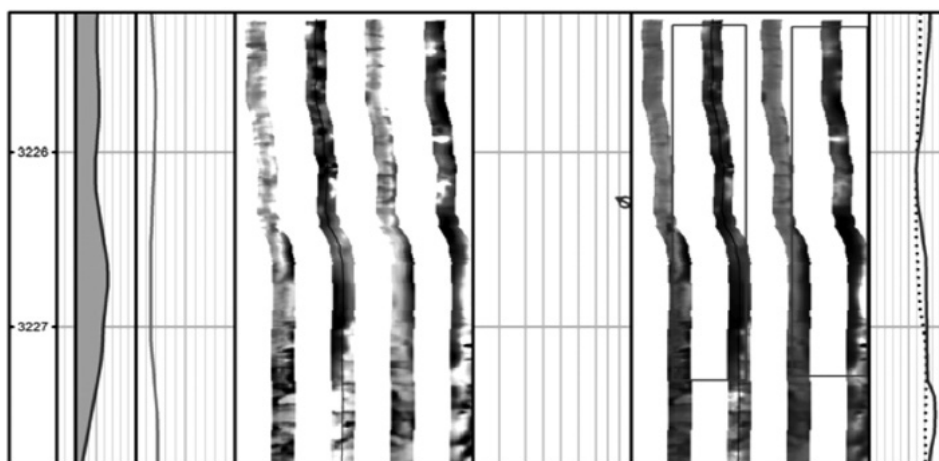
#### چینه‌بندی متقاطع

چینه‌بندی متقاطع با لایه‌بندی چلیپایی به نوعی

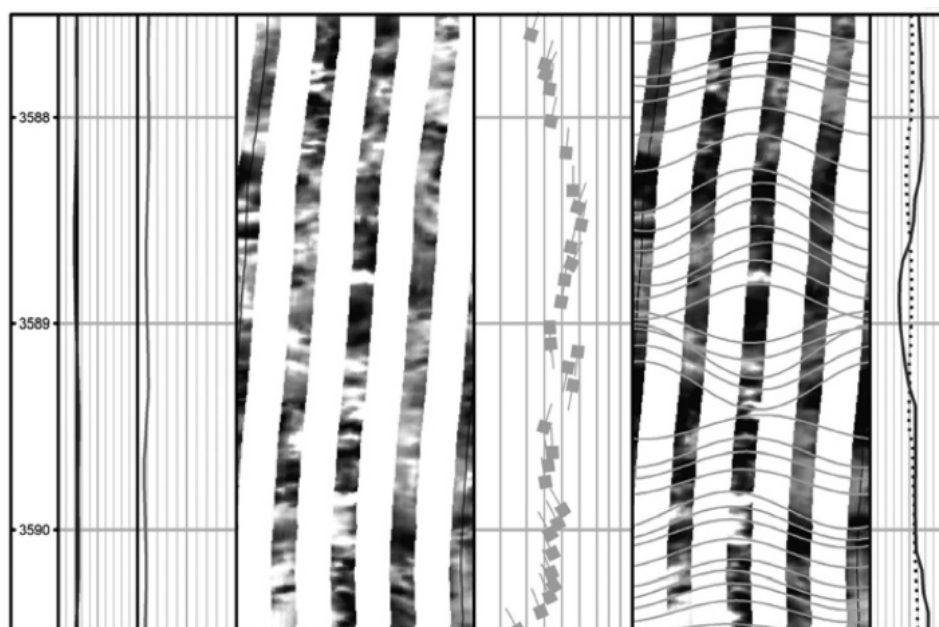


شکل ۳۱ نمونه‌ای از شکستگی‌های طبیعی توسعه یافته در اثر حفاری به‌همراه شکستگی‌های القایی در چاه مورد مطالعه بر روی نمودار FMS

1. Breakout



شکل ۳۲ یک جفت از ریزش‌های متقارن دیواره چاه برروی نمودار FMS



شکل ۳۳ نمونه‌ای از چین‌بندی‌های متقاطع چاه مورد مطالعه برروی نمودار FMS

### نتیجه‌گیری

است که در پهنه‌های جزر و مدی، رودخانه‌ای، دشت سیلابی و رسوبی مئاندری قرار گرفته‌اند. بخش عمده توالی سازند شورپیچه در زون‌های B و D چاه‌های مورد مطالعه میدان خانگیران، به‌ویژه در بخش‌های شرق و جنوب شرقی آن، از پتروفاسیس‌های ماسه‌سنگ و میکروکنگومرا تا ماسه گراولی تشکیل شده است که بیانگر تشکیل این رخساره‌ها در رودخانه‌های بریده بریده و مئاندری می‌باشد. بخش میانی توالی سازند شورپیچه (زون C) نیز به‌نظر می‌رسد در بخش پراورزی کولاب تا

• مطالعات پتروگرافی سازند شورپیچه نشان می‌دهد که شرایط آب و هوایی منطقه در زمان رسوب‌گذاری این ذرات نیمه خشک تا مرطوب بوده است.  
• براساس بررسی‌های پتروگرافی برروی مقاطع نازک سازند شورپیچه در چاه‌های مورد مطالعه، ۹ رخساره سنگی اصلی شامل کنگومرای ماسه‌ای، کوارتز آرنایت، ساب لیتارنایت، ساب آرکوز، کوارتز وک، رس‌سنگ/شیل، انیدریت نودولار، دولومادستون ماسه‌ای و دولوگرینستون ماسه‌ای شناسایی گردیده

انیدریت تشکیل شده است.

- براساس توزیع فرآیندهای دیاژنز و رخساره‌ها در امتداد توالی چاه‌های مورد مطالعه در سازند شوربجه، زون B با ظهور و غلبه رخساره‌های ماسه‌سنگی و وجود میکروکنگومرا در قاعده این زون و فرآیندهای دیاژنتیکی با تأثیر مثبت مانند تخلخل و شکستگی دارای خصوصیات مخزنی است. همچنین زون D نیز به دلیل وجود رخساره‌های ماسه‌سنگی و دولومیتی شدن دارای خصوصیات مخزنی خوب است.
- براساس محاسبات و تغییرات پارامترهای پتروفیزیکی و تلفیق این نتایج با مطالعات پتروگرافی زون B و D با ظهور و غلبه رخساره‌های ماسه‌سنگی با خصوصیات مخزنی خوب مشخص است.
- تراکم پدیده‌های حاصل از انحلال فشاری (رگچه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها) در چاه کلیدی مورد مطالعه بسیار زیاد می‌باشد. تراکم زیاد استیلولیت و رگچه‌های انحلالی در مخزن می‌تواند تراوایی عمودی را کاهش دهد.
- در اکثر موارد انطباق خوبی بین مطالعات حاصل از مقاطع نازک، نمودار پتروفیزیکی و نمودارهای تصویرگر وجود دارد.

سدهای جزر و مدی گسترش پیدا کرده است. در ادامه، بخش‌های A و B به‌طور عمده در محیط دشت سیلابی تا پهنه جزر و مدی نهشته شده‌اند.

- بررسی‌های پتروگرافی نشان می‌دهد که فرآیندهای دیاژنتیکی این سنگ‌ها را در سه مرحله دیاژنز آغازین، دفنی و بالآمدگی تحت تأثیر قرار داده است. مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنتیزی تأثیرگذار در سازند شوربجه شامل آشفستگی زیستی، سیمانی شدن (سیلیسی، کلسیتی، دولومیتی، همتیتی و انیدریتی)، تراکم و تخلخل می‌باشند. سیمان‌های کلسیتی و دولومیتی در سازند شوربجه، اصلی‌ترین سیمان کربناته بوده و از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنتیزی کاهش‌دهنده تخلخل در این سازند محسوب می‌شوند.

- براساس مطالعات پتروگرافی انجام شده تخلخل در ماسه سنگ‌های سازند شوربجه از نوع اولیه (بین دانه‌ای) و ثانویه (انحلالی) می‌باشد. تخلخل بیشتر در رخساره‌های دانه درشت سازند رواج دارد.
- نتایج حاصل از ارزیابی پتروفیزیکی برای سازند شوربجه در چاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد از نظر ترکیب کانی‌شناسی، سازند شوربجه به‌طور عمده از کانی‌های کوارتز، کلسیت، دولومیت و

## مراجع

- [1]. Lyberis N, Manby G (1999) Oblique to orthogonal convergence across the Turan Block in the PostMiocene, AAPG Bulletin, 83, 7: 1135-1160.
- [۲]. کدخدایی ع، تقوی م (۱۳۹۷) گزارش رسوب‌شناسی سازند شوربجه در میدان گازی خانگیران، شرکت نفت مناطق مرکزی ایران، شرکت خدمات مهندسی نفت کیش، ۴۹-۱.
- [3]. Robert A M, Letouzey J, Kavooosi M A, Sherkati S, Müller C, Vergés J, Aghababaei A (2014) Structural evolution of the Kopeh Dagh fold-and-thrust belt (NE Iran) and interactions with the South Caspian Sea Basin and Amu Darya Basin, Marine and Petroleum Geology, 57: 68-87.
- [۴]. تقوی م (۱۳۹۷) گزارش مطالعه به روز رسانی میدان گازی خانگیران، شرکت نفت مناطق مرکزی ایران، شرکت خدمات مهندسی نفت کیش، ۵۲-۱.
- [5]. Afshar- Harab A (1979) The stratigraphy, tectonic and petroleum geology of Kopeh Dagh region, Northern Iran, Ph.D. thesis, Petroleum geology of Iran, Royal School of Mines, Imperial College, London, 316.
- [۶]. نداف - کهنه قوچان ر، نجفی م، موسوی - حرمی ر (۱۳۷۷) مطالعات لیتواستراتیگرافی و پتروگرافی سازند شوربجه در دره رادکان بارو واقع در جنوب شرق قوچان و مقایسه آن با مقاطع چشمه گیلان. دره خور و گردنه مزدوران، رساله دکتری، وزارت علوم، تحقیقات و فن‌آوری، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

[۷]. طباطبایی پ، لاسمی ی، جهانی د، اصیلان - مهابادی ح (۱۳۹۲) رخساره‌ها و محیط‌های رسوبی سازند شوربچه در برش‌های قرقره و خانگیران، خاور حوضه رسوبی کپه داغ، ماهنامه اکتشاف و تولید نفت و گاز، ۹۲، ۱۰۴: ۷۸-۷۲.

[۸]. مرتضوی - مهریزی م، موسوی - حرمی ر، محبوبی ا، نجفی م، قائمی ف (۱۳۹۲) بررسی رخساره‌های سنگی، تاریخچه رسوب‌گذاری و پس از رسوب‌گذاری و چینه‌نگاری سکانسی سازند شوربچه (کرتاسه تحتانی) در بخش مرکزی و غربی حوضه رسوبی کپه داغ، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، رساله دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

[۹]. منصوری هفشجانی م، رحیم‌پور- بناب ح، توکلی و (۱۳۹۳) کاربرد نمودار ریز تصویرگر سازند دالان در شناسایی رخساره‌های رسوبی و پدیده‌های دیاژنزی در یکی از مخازن هیدروکربوری جنوب ایران، نشریه علمی پژوهشی رخساره‌های رسوبی، ۲۰۷: ۲۸۶-۲۶۸.

[10]. Miall AD (2014) The geology of fluvial deposits sedimentary facies basin analysis and petroleum geology, Published by Springer-Verlag, 582.

[11] Tucker M E (2001) Sedimentary petrology, blackwell scientific publications, Oxford, Geological Magazine, 01, 139: 97- 104.

[۱۲]. حسین‌یار غ ر، موسوی حرمی ر، عبدلهی‌فرد ا، محبوبی ا، مصفی ح ر (۱۳۹۷) شناسایی دسته رخساره FSST در توالی‌های رودخانه‌ای با مثالی از سازند شوربچه، علوم زمین، ۹۷، ۱۱۳: ۲۸۳-۲۹۰.

[13]. Nichols G (2009) Sedimentology and stratigraphy, 10:1405135921, Blackwell Science Ltd, London, 1- 335.

[14]. Pemberton S G, Gingras M K (2005) Classification and characterizations of biogenically enhanced permeability, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 5, 89: 1493-1517.

[15]. Moore C H, Wade W J (2013) Carbonate reservoirs: Porosity and diagenesis in a sequence stratigraphic framework, Newnes.

[16]. Barclay S A, Worden R H (2000) Effects of reservoir wettability on quartz cementation in oil fields, Quartz Cementation in Sandstones, 29: 103-117.

[17]. Walderhaug O (1994) Precipitation rates for quartz cement in sandstones determined by fluid-inclusion microthermometry and temperature-history modeling, Journal of Sedimentary Research, 64, 2a: 324-333.

[18]. Bjorlykke K, Egeberg P k, (1993) Quartz cementation in sedimentary Basins, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 77, 9: 1518- 1538.

[19]. Moussavi-Harami R, Brenner R (1992) Geohistory analysis and petroleum reservoir characteristics of lower cretaceous (Neocomian) sandstones, eastern Kopet Dagh basin, Northeastern Iran, Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, 92, 76: 1200-1208.

[20]. Hendry J P (1993) Calcite cementation during bacterial manganese, iron and sulphate reduction in Jurassic shallow marine carbonates, Blackwell Publishing Ltd, 87-106.

[21]. Nordahl K, Ringrose PS (2008) Identifying the representative elementary volume for permeability in heterolithic deposits using numerical rock models, Mathematical Geosciences, 40, 7: 753-771.

[22]. Hubert J F, Reed A A (1978) Red-bed diagenesis in the East Berlin formation, Newark Group, Connecticut Valley, Journal of Sedimentary Petrology, 48, 1: 175-184.

[۲۳]. اسعدی ع، شاکری ع ر، کدخدایی ع، رحیم‌پور- بناب ح، چهارزی ع (۱۳۹۵) تاثیر کانی‌زایی انیدریت بر کیفیت مخزنی دولومیت‌های سازند عرب: مطالعه موردی در یکی از میادین هیدروکربنی خلیج فارس، پژوهش نفت، ۲۶، ۴: ۱۳-۲۴.

[۲۴]. فیض‌نیا س (۱۳۸۸) سنگ‌های رسوبی کربناته، دیاژنز کربنات‌ها، ۹فک/۴۷۱/۱۵، انتشارات آستان قدس رضوی، ۲۶۱-۲۰۶.

[25]. Barbier M, Lepretre R, Callot J P, Gasparrini M, Daniel J M, Hamon Y, Lacombe O, Floquet M (2012) Impact of fracture stratigraphy on the paleo-hydrogeology of the madison limestone in two basement-involved folds in the Bighorn basin (Wyoming, USA), Elsevier Journal, 567- 577, 5: 116- 132.

[26]. Love L G (1967) Early diagenetic iron sulphide in recent sediments of the Wash England, Geology Sedimentology, 9, 4: 265-361.

[27]. Elmore R D, Engel M, Crawford L, Nick K, Imbus S, Sofer, Z (1987) Evidence for a relationship between hydrocarbons and authigenic magnetite, Nature, 325, 119: 428-430.

[۲۸]. کدخدایی ع (۱۴۰۰) گزارش مطالعه تلفیقی نوع منافذ با استفاده از نمودارهای تصویری، نمودار انحراف سرعت و تجزیه طیفی نمودار صوتی، شرکت نفت مناطق مرکزی ایران، شرکت خدمات مهندسی نفت کیش، ۷۰-۱.

[۲۹]. کدخدایی ع (۱۳۹۷) ارزیابی سازندهای نفت دار، ۹۷۸۶۰۰۷۱۱۶۸۰، انتشارات دایره دانش، ۴۴۲ - ۳۹۹.

[۳۰]. تقوی م (۱۳۹۷) گزارش مطالعات نمودارهای تصویرگر، شرکت نفت مناطق مرکزی ایران، شرکت خدمات مهندسی نفت کیش، ۱۰۳ - ۱.

[31]. Movahed Z, Dashti R, Chakravorty S (2007) Geological and petrophysical analysis of Full Bore Formation Micro Imager (FMI), Feild Ahvaz, Well No.383. Well Services of Iran (Schlumberger Methods), Report No. 5627: 1-64.

[32]. Serra O (1989) Formation microscanner image interpretation, Schlumberger Educational Service, Houston, 117.





## Petroleum Research

Petroleum Research, 2022(October-November), Vol. 32, No. 125, 12-15

DOI: 10.22078/PR.2022.4650.3090

# Facies Analysis, Diagenesis Processes and Sedimentary Environment of Shurijeh Formation in Khangiran Gas Field

Zahra Mashayekhi<sup>1</sup>, Ali Kadkhodaie<sup>2\*</sup>, Ali Solgi<sup>1</sup>, Seyed Ahmad Babazadeh<sup>3</sup>, Seyed Mohsen Ale Ali<sup>1</sup>

1- Department of Earth Sciences, Faculty of Convergent Sciences and Technologies, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

2- Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Iran

3- Department of Earth Sciences, Faculty of Basic Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran

kadkhodaie\_ali@tabrizu.ac.ir

DOI: 10.22078/PR.2022.4650.3090

Received: November/16/2021

Accepted: May/08/2022

## Introduction

The Kope Dagh structural sedimentary zone is located in the northeast of Iran and includes parts of Turkmenistan and northern Afghanistan [1]. Shurijeh Formation is of Early Cretaceous (Neocomian-Barremian) age and consists of predominantly red-colored clastic and carbonate facies, which deposited in the Kopet Dagh basin. Sandstone successions of this formation; in Iran, constitute the reservoir zone of gas fields in the Sarakhs area (Khangiran and Gonbadli). The formation is equivalent to Karabil, Al'Murad, and Shatlik Formations, essential gas reservoir rocks in Turkmenistan (especially in Dolatabad and Bayramli fields) [2]. The Shurijeh Formation was firstly introduced by Afshar-Harb and Ansari in Shurijeh village in the east of Mashhad. However; regional studies revealed that this section is not an appropriate section of the thickness and lithology of the Shurijeh Formation (about 100 meters). Therefore; the Darreh Khor section with a thickness of 980 meters on the Mashhad-Kalat-e Naderi road introduced as a new type section. From a regional geological point of view, Khangiran Field located in the Kopet Dagh Basin, and its adjacent fields include Gonbadli Field in the southeast of this field (in Iran) and Dolatabad Field in the east in Turkmenistan. Khangiran and Gonbadli fields were discovered in 1968 and 1969, respectively. Khangiran field is located 25 km northwest of Sarakhs and 180 km northeast of Mashhad, in Khorasan Razavi province [3]. The purpose of this study is to identify the facies, sedimentary environment, sedimentary model and the most important diagenetic processes that were effective on the reservoir quality of Shourije Formation in the studied wells. Accurate knowledge of these parameters

allows experts to have enough information to accurately check the production stages in a field, and by knowing them, they will have more ability to develop petroleum fields.

## Materials and Methods

To determine the sedimentary facies in Shurijeh Formation, about 480 thin sections were prepared and studied from cuttings and cores in five wells of Khangiran gas field. Thin sections are mainly (more than 80%) of cuttings, and sampling intervals vary from 1 foot to 5 feet. Siliciclastic facies are nomenclatures according to Folk (1974), and PettiJohn et al. (1987) classifications, and their environmental conditions are interpreted according to Miall's (2006) type. Also; various diagenetic processes in Shurijeh Formation have been identified, and their effect on reservoir quality has been discussed. Geolog software has been used for petrophysical evaluation and image logs for correlation with the results obtained from thin sections.

## Facies Analysis of the Shurijeh Formation

Analysis of facies in Shurijeh Formation based on microscopic studies carried out through the study of thin sections of cores and cuttings in the studied wells. Accordingly; nine main facies, including sandy conglomerate, quartz arenite, sub-litharenite, sub-arkose, quartz wacke, claystone/ shale, nodular anhydrite, sandy dolomudstone, and sandy dolograinstone, been recognized.

## Depositional Model of the Shurijeh Formation

Petrographic studies and facies analyses of the Shurijeh Formation in the studied wells indicate that

most parts of the Shurijeh Formation in zones B and D in the studied wells in Khangiran field, especially in the eastern and southeastern regions, are composed of sandstones and micro conglomerates to fining-upward sandy gravel, which associated with braided and sometimes meandering fluvial systems. The distribution of these petrofacies appears to be related to the lateral migration of channels. In addition, a small amount of red shaly and silty deposits related to the floodplain is observed. The middle part of the Shurijeh Formation (Zone C) also seems to have deposited in the high-energy parts of the lagoon to tidal islands. Zones A and E are mainly deposited in the floodplain to the tidal flat environment. Replacement of anhydrite nodules in claystone and low sandy shale facies indicates their deposition in a closed sedimentary basin (oxbow lake lakes and floodplains) an arid climate.

#### Diagenetic Processes of the Shurijeh Formation

Petrographic studies of thin sections show that diagenetic processes have affected the Shurijeh succession in three diagenetic realms: marine, meteoric, and burial. Early diagenetic processes occurred in a marine environment in which there was a water circulation between marine water and loose sediments. The main diagenetic processes affecting the sedimentary facies of the Shurijeh Formation include marine cementation, bioturbation, early dolomitization, anhydrite cementation, and formation of anhydrite nodules.

#### A Paragenetic Sequence in the Shurijeh Formation

Based on petrographic studies in the Shurijeh Formation, diagenesis processes have occurred in three stages: Eodiagenesis, Mesodiagenesis, and Telodiagenesis. During eodiagenesis, the circulation of meteoric water in the sandstone sediments has led to an alteration in feldspars and mica. At this stage, Fe-oxide coatings (hematite) have been precipitated on the surface of detrital grains such as quartz due to the oxidative composition of the pore water. The bioturbation process has also taken place at this stage due to the presence of oxygen and suitable conditions for the existence of various organisms. In the parts where the compaction rate of sandstone sediments is low, calcite and dolomite cement have formed, and this process has continued till the stage of mesodiagenesis. On the other hand, in the parts where the proportion of fine-grained sediments is high, the compaction rate of the sediments is higher, so, the formation of calcite cement has been occluded. However, in this part, anhydrite precipitated as nodules and sometimes penetrated the lower layers in the form of cement.

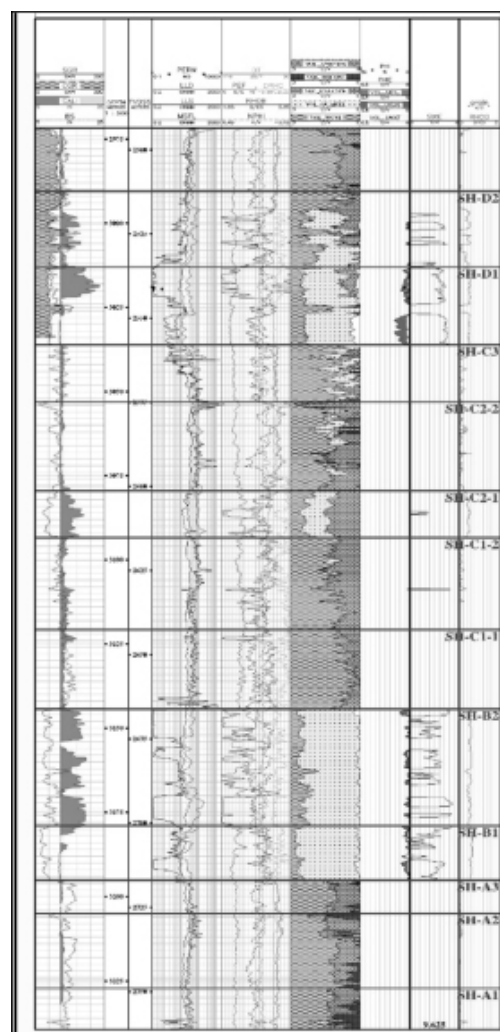
At the stage of mesodiagenesis, the compaction process has continued, and with increasing depth of the sediments, pressure dissolution and stylolitization have occurred at the contact boundary of the grains. The silica from the pressure dissolution process, along with other silica

present in the pores, has precipitated as an overgrowth on the quartz grains. In addition, the pyrite mineral formed during this stage in the presence of reduced iron oxide. Finally, at the telodiagenesis stage, some parts of the Shurijeh Formation have been exposed by tectonic uplift. These parts have been re-affected by meteoric diagenesis (such as oxidation and creation of iron oxide cement) and compaction.

## Results and Discussion

#### Comparison of Petrographic and Petrophysical Studies

The results of the petrophysical evaluation in the studied wells show that the Shaurije formation is mainly composed of quartz, calcite, dolomite and anhydrite. Based on the petrophysical evaluation, the Shaurijeh Formation in the key well of the studied field is divided into 11 zones. As shown in [Figure 1](#), zone B and D are characterized by good reservoir characteristics, which are compatible with the results of thin-wall studies ([Figure 2](#)).



**Fig. 1** The results of the petrophysical evaluation in the key well.

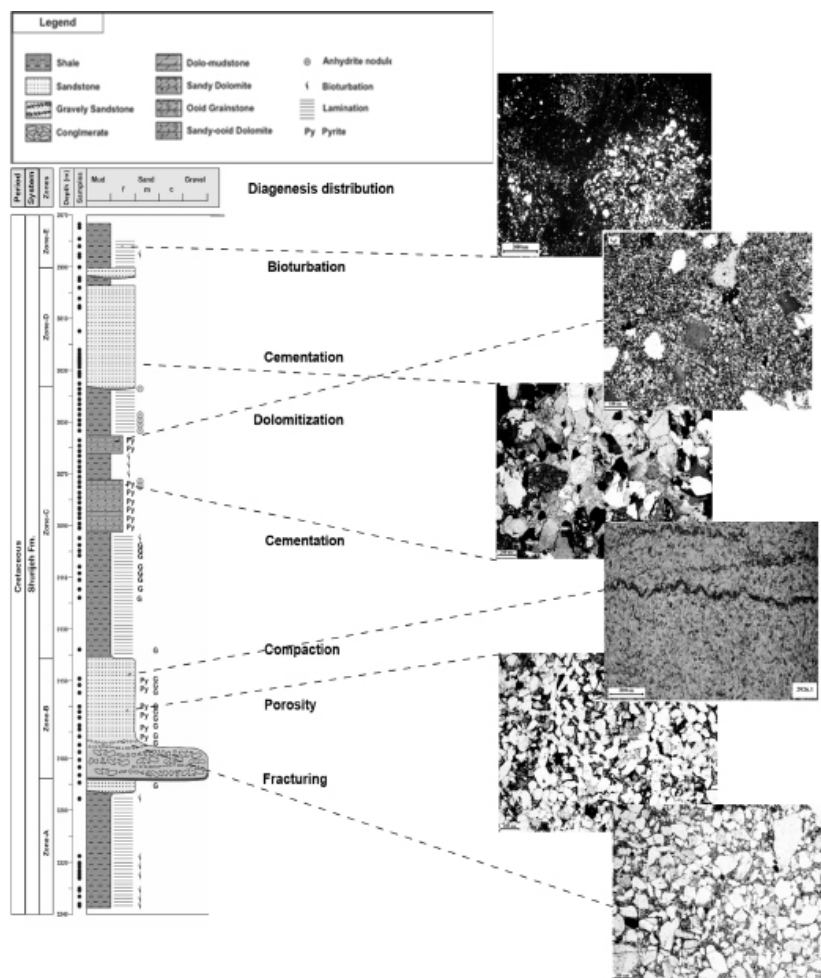


Fig. 2 Distribution of diagenetic processes along the key well sequence of Shurijeh Formation.

**Investigation of Diagenesis Processes with Image Logs**

In this study, using image logs by Geolog software, the diagenesis processes in the key well have been interpreted to match the results of the thin section study.

In the interpretation of the image logs, structural features such as bedding, stylolite, Solution seam, lamination, fractures and Breakout have been identified.

This review shows that in most cases there is a good match between the investigation of diagenesis processes based on thin section studies and the study of diagenesis processes based on image log.

**Conclusions**

- Petrographic studies of Shourije Formation show that the weather conditions of the region were semi-dry to humid at the time of deposition of these particles.
- A total of nine major facies has been recognized in the Shurijeh Formation based on petrographic studies. These facies include sandy conglomerate, quartz arenite, sub-lith arenite, sub-arkose, quartz wacke, claystone/shale, nodular anhydrite, sandy

dolomudstone, and sandy dolograinstone, which have been deposited in tidal, fluvial, and floodplain sub-environments.

- The main sequence of the Shurijeh Formation in zones B and D of the studied wells, especially in the eastern and southeastern parts, is composed of sandstone, microconglomerate, and fining-upward gravelly sandstone that related to braided rivers and sometimes meandering systems. The middle part of the Shurijeh Formation (Zone C) appears to be deposited in the high-energy lagoon to the tidal barrier settings. Zones A and E were mainly deposited in the floodplain and tidal flat sub-environments.
- Petrographic studies represent that this formation was influenced by three diagenetic processes, which are the early, burial, and telogenetic. The most effective diagenetic processes in the Shurijeh Formation include bioturbation, cementation (silica, calcite, dolomite, hematite, and anhydrite), and compaction. Calcite and dolomite are the main carbonate cement in the Shurijeh Formation, which lead to a decrease in the porosity of the formation
- According to the petrographic studies, the porosity in

the sandstones of Shaurije Formation is primary (intergranular) and secondary (dissolving).

- The results of the petrophysical evaluation in the studied wells show that the Shaurije formation consists of quartz, calcite, dolomite and anhydrite.
- Based on the distribution of diagenesis processes and facies along the sequence of studied wells in Shaurije formation, zone B has reservoir characteristics with the appearance of sandstone and microconglomerate facies and the positive effect of porosity and fracture. Zone D also has good reservoir characteristics due to the presence of sandstone facies and dolomitization.
- Based on the petrophysical evaluation and the integration of these results with the petrographic studies of zone B and D, it has reservoir quality.
- Density of solution seam and stylolite in the studied

well is very high, which can reduce the vertical permeability.

- In most cases, there is a good match between studies obtained from thin sections, petrophysical diagram and image log.

#### **Reference**

1. Lyberis N, Manby G (1999) Oblique to orthogonal convergence across the Turan Block in the PostMiocene, AAPG Bulletin, 83, 7: 1135-1160.
2. Kadkhodai A, Taghavi M (2018) Sedimentological report of Shurijeh Formation in Khangiran gas field, Central Iran Oil Company, Kish Petroleum Engineering Services Company, 49-1.
3. Taghavi M (2018) Report on Khangiran gas field upgrade study, Central Iranian Oil Company, Kish Petroleum Engineering Company, 1-52.