

سرشت نمایی مخزنی سازند ایلام با تلفیق نتایج مطالعات مغزه و لاگ های پتروفیزیکی در یکی از میادین نفتی دشت آبادان، جنوب غرب ایران

ساغرسادات قریشی^۱، حمزه مهرابی^{۲*}، وحید توکلی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی، گروه سافت راک، دانشکده زمین شناسی، دانشکدگان علوم، دانشگاه تهران

۲. استادیار گروه سافت راک، دانشکده زمین شناسی، دانشکدگان علوم، دانشگاه تهران

۳. دانشیار گروه سافت راک، دانشکده زمین شناسی، دانشکدگان علوم، دانشگاه تهران

* نویسنده مسئول: mehrabi.hamze@ut.ac.ir

چکیده

سازند ایلام یکی از مخازن مهم هیدروکربوری در ناحیه‌ی دشت آبادان به شمار می‌رود. مطالعه حاضر به دنبال بررسی خصوصیات زمین شناختی و مخزنی این سازند در سه چاه از یکی از میادین ناحیه‌ی مذکور می باشد. مطالعات رخساره‌ای منجر به تفکیک تعداد ۷ ریزرخساره‌ی رسوبی در این سازند شد که این ریزرخساره‌ها در طیفی از زیرمحیط‌های درونی، میانی و بیرونی یک پلاتفرم کربناته از نوع رمپ نهشته شده‌اند. فرآیندهای مهم دیاژنزی اثرگذار بر خصوصیات مخزنی این سازند شامل انحلال میکروسکوپی، دولومیتی شدن، فشردگی و سیمانی شدن می باشند. تعیین واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی بر مبنای نشانگر زون جریان منجر به تفکیک تعداد ۵ واحد جریان‌ی در سازند ایلام شد. با استفاده از روش اصلاح شده‌ی لورنز بر مبنای چینه نگاری، کل توالی مورد مطالعه به ۴ زون مخزنی، تله‌ای و سدی تفکیک گردید. رخساره‌های الکتریکی سازند ایلام با استفاده از لاگ‌های پتروفیزیکی گاما، نوترون، صوتی، چگالی، اشباع آب موثر و تخلخل موثر در چاه‌های مورد مطالعه تفکیک گردیده و با رخساره‌ها، واحدهای جریان‌ی و جایگاه‌های سکansı مطابقت داده شدند. نتایج مجموعه‌ی مطالعات فوق نشان داد که تجمع رخساره‌های دریای باز (مادستون، وکستون تا پکستون‌های حاوی الیگوستژینا و فرامینیفرای پلانکتون) با مقادیر بالای (تا ۲۰ درصد) تخلخل-های میکروسکوپی سبب بوجود آمدن یک زون با کیفیت مخزنی مناسب در نیمه‌ی پایینی سازند ایلام شده است. در این زون، ریزتخلخل‌های موجود در بین ذرات میکرایت به همراه حفرات ریز قالبی و درون اسکلتی منجر به ایجاد ظرفیت ذخیره‌ی قابل توجه در مخزن شده‌اند. البته تراوایی این رخساره‌ها اغلب پایین بوده و از ظرفیت جریان پایین برخوردارند. این زون مخزنی منطبق بر سیستم ترکت پیشرونده از سکانس رسوبی رده سوم سازند ایلام می باشد. بخش میانی سازند ایلام از کیفیت مخزنی چندانی برخوردار نبوده و در بخش بالایی مجدداً مقادیر تخلخل و تراوایی بهبود می یابد. دلیل بالا رفتن کیفیت مخزنی در این بخش، غلبه‌ی رخساره‌های پرانرژی و دانه‌غالب متعلق به کمر بند رخساره‌ای شول و نیز وقوع انحلال در این رخساره‌ها می باشد. این زون منطبق با بخش انتهایی سیستم ترکت پیشرونده از سکانس رده سوم سازند ایلام می باشد.

کلمات کلیدی: سازند ایلام، کیفیت مخزنی، واحد جریان‌ی، رخساره الکتریکی، چینه نگاری سکansı، دشت آبادان

مطالعات کیفیت مخازن در زمینه زمین شناسی و مهندسی نفت، به ویژه در اکتشاف و تولید هیدروکربن‌ها از اهمیت قابل توجهی برخوردار است [۱]. کیفیت و ساختار مخازن کربناته به چندین عامل وابسته است که شامل توزیع فضایی رخساره‌های رسوبی، تغییرات ثانویه (رویدادهای دیاژنزی) و چرخه‌های رسوبی (چرخه‌های فرکانس بالا و سکانس‌های رسوبی) می‌شود [۱]. به طور کلی، در مخازن کربناته، رخساره رسوبی (میکروفاسیس) کنترل‌کننده تخلخل و تراوایی اولیه می‌باشد [۲]. در صورت عدم وجود تغییرات دیاژنزی گسترده، ویژگی‌های مخزن اغلب توسط ویژگی‌ها و توزیع رخساره‌های رسوبی (در کوچک مقیاس) و محیط‌های رسوبی (در بزرگ مقیاس) کنترل می‌شود [۳].

منطقه‌ی دشت آبادان یکی از نواحی زمین شناختی حوضه رسوبی زاگرس است که در آن اکتشافات عظیم هیدروکربوری صورت گرفته و میادین بزرگ و کوچک متعددی در آن کشف شده است [۴]. بخش عمده تولید از میادین دشت آبادان از افق‌های مخزنی کرتاسه، به ویژه سازنده‌های سروک و ایلام صورت می‌گیرد [۵]. مهم ترین مخزن نفتی تولید کننده دشت آبادان، مخازن گروه بنگستان هستند که شامل مخازن موجود در سازنده‌های سروک و ایلام می‌باشند [۶ و ۷]. سازند ایلام و واحدهای معادل آن در جنوب و جنوب غرب ایران (شامل فروافتادگی دزفول و دشت آبادان) و سراسر خاورمیانه، بازه‌های مخزنی مهمی را شامل می‌شوند [۸-۱۱]. در فروافتادگی دزفول، این سازند به عنوان مخزنی برای بسیاری از میادین نفتی عمده و فوق‌العاده بزرگ مانند اهواز، گچساران، مارون، رگ سفید و آبتیمور عمل می‌کند [۱۲].

تا کنون مطالعات مختلفی بر روی سازند ایلام در نواحی مختلف حوضه زاگرس به انجام رسیده است که این سازند را از جنبه های مختلف رسوب شناسی، دیرینه شناسی، پتروفیزیکی، ژئوشیمیایی و مخزنی مورد مطالعه قرار داده‌اند [۴، ۶، ۱۲ و ۱۳]. همچنین، کیفیت مخزنی این سازند از دیدگاه های متنوع و در نواحی مختلف زاگرس مورد ارزیابی قرار گرفته و عوامل موثر بر آن مورد بحث قرار گرفته‌اند. بطور نمونه، حسنی گیو و ابرقانی [۱۴] به بررسی نقش رخساره ها و نوع تخلخل در کنترل کیفیت مخزنی سازند ایلام در یکی از میادین نفتی ناحیه دزفول شمالی پرداخته‌اند. خانجانی و همکاران [۱۵] لایه های مخزنی سازند ایلام را بر مبنای مطالعات رخساره ای و داده های لرزه ای در خلیج فارس تفکیک نموده‌اند. عباسپور و همکاران [۱۶]، محیط رسوبی، تاریخچه‌ی دیاژنزی و کیفیت مخزنی سازند ایلام را در ناحیه‌ی لرستان مورد مطالعه قرار داده‌اند. سپیانی و همکاران [۱۷] تاثیر فرآیندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی سازند ایلام را در میدان نفتی ماله کوه واقع در شمال غرب اندیمشک مورد بررسی قرار داده‌اند. تحلیل ریزرخساره‌ها، محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازند ایلام (کنیاسین؟- سانتونین) در شمال‌باختری دشت آبادان توسط خدایی و همکاران [۱۸] انجام شده است. اسدی مهماندوستی و همکاران [۱۹] ارزیابی پتروفیزیکی سازند ایلام را بر مبنای داده های لاگ رزونانس مغناطیس هسته ای (NMR) و داده های مغزه انجام داده‌اند.

با وجود این مطالعات، بررسی یکپارچه ناهمگنی‌های مخزنی این سازند در ناحیه ی دشت آبادان تا کنون از دیدگاه زمین شناسی انجام نگرفته است. سازند کربناته ایلام همانند اغلب سازندهای کربناته دنیا، دارای درجات مختلفی از ناهمگنی است که بسیاری از این ناهمگنی‌ها دارای منشا رسوبی هستند و بخشی دیگر از این ناهمگنی‌ها دارای منشا دیاژنزی و یا ناشی از شکستگی‌ها هستند [۲۰ و ۲۱]. بنابراین مدل‌سازی صحیح و بهره برداری هدفمند از مخزن ایلام، نیازمند این امر است که در درجه‌ی اول ناهمگنی‌هایی که در درون سازند ایلام وجود دارند را بتوانیم در مقیاس‌های مختلف شناسایی کنیم و در مدل‌سازی‌های خود این ناهمگنی‌ها را در نظر بگیریم تا بتوانیم یک مدل اکتشافی و توسعه‌ای درست را از سازند ایلام ارائه دهیم. هرکدام از این ناهمگنی‌ها می‌توانند در درجات و مقیاس‌های مختلفی، پارامترهای پتروفیزیکی سنگ را از جمله تخلخل، تراوایی، آب اشباع شذگی، تراوایی نسبی و پارامترهای دیگر را تحت تاثیر قرار دهند.

مطالعه‌ی حاضر به دنبال آن است که با تلفیق نتایج مطالعات پتروگرافی، پتروفیزیکی و مخزنی، سازند ایلام را در یکی از بزرگ‌ترین میادین نفتی واقع در دشت آبادان مورد مطالعه قرار بدهد. مهمترین اهداف مطالعه حاضر عبارتند از: بررسی خصوصیات رخساره‌ای و بازسازی مدل رسوبی، تحلیل تاریخچه تحولات دیاژنزی، چینه‌نگاری سکansı، تعیین انواع منافذ و گونه‌های سنگی مخزنی، زون بندی مخزن و تحلیل ناهمگنی‌های مخزنی در چهارچوب سکانس‌های رسوبی سازند ایلام در میدان مورد مطالعه.

۲- زمین‌شناسی و چینه‌شناسی

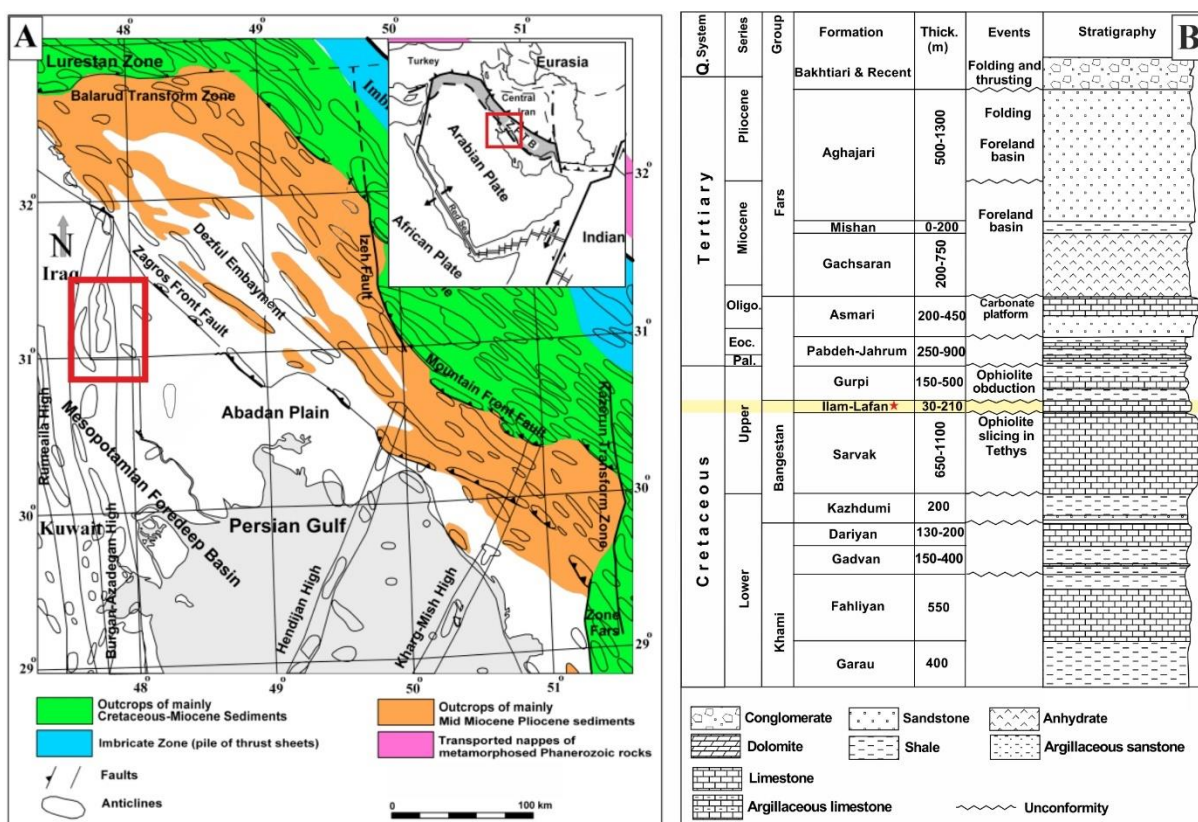
با توجه به واقع شدن دشت آبادان میان سپر عربی در جنوب غرب و کمربند چین خورده - رانده زاگرس در شمال شرق، ویژگی‌های زمین‌شناسی و ساختاری این منطقه تحت تأثیر این دو ناحیه قرار دارند. با این حال، ویژگی‌های سپر عربی در منطقه دشت آبادان برجسته‌تر هستند [۴]. در طول پرمین پسین تا سنومانین میانی، بخش شمال شرقی صفحه عربی در یک لبه قاره‌ای غیرفعال قرار داشت [۲۴-۲۲]. در سنومانین میانی، اقیانوس نئوتتیس شروع به فروانش به زیر صفحه ایران مرکزی کرد و موجب شد که یک لبه‌ی فعال در حاشیه‌ی شمال شرقی صفحه عربی شکل بگیرد [۲۷-۲۵]. شواهد این تغییر را می‌توان در مجموعه‌های افیولیتی واقع در لبه حاشیه قاره پیشرو حوضه‌های زاگرس و عمان مشاهده کرد [۲۶].

همراه با فروافتادگی دزفول، دشت آبادان بخش عمده‌ای از ذخایر نفتی ایران را در خود جای داده است [۴]. در دشت آبادان، ساختارهای میزبان هیدروکربن (تاق‌دیس‌ها) دارای شیبی آرام و طول موج بلند هستند که روند آن‌ها طیفی از روندهای شمال به جنوب، شمال شرق به جنوب غرب و شمال غرب به جنوب شرق را نشان می‌دهد. این روندها با روند اصلی شمال غرب به جنوب شرق که روند غالب ساختارها در سایر نواحی زاگرس است، مغایرت دارند [۴]. براساس مطالعات تکتونیکی و ژئوفیزیکی، تاق‌دیس‌های با روند شمال - جنوب و شمال شرق - جنوب غرب به تشکی غیرفشاری مربوط می‌شوند و منشأ و روند آنها با حرکت بلوک‌های پایه و دی‌پایریسم نمک هرمز پرکامبرین در ارتباط است [۲۸، ۲۹ و ۲۶].

میدان مورد مطالعه در غربی‌ترین قسمت دشت آبادان، به عنوان بخش غربی ناحیه زاگرس ایران قرار دارد (شکل الف). دشت آبادان بعنوان بخشی از حوضه‌ی پیش بوم مزوپوتامین در نظر گرفته می‌شود [۴]. میدان مورد مطالعه یک تاق‌دیس با محور طولانی و روند شمالی - جنوبی است که به روند عربی معروف است [۳۰ و ۳۱]. این ساختار با وجود دو بستگی در طول آن مشخص می‌باشد که ارتفاع جنوبی بالاتر از ارتفاع شمالی آن است [۳۲]. بازه هدف این مطالعه، شامل توالی‌های رسوبی کرتاسه بالایی (سانتونین) است که تحت عنوان سازند ایلام نامگذاری می‌شوند (شکل ۱). در مطالعات جغرافیای قدیمه، در کرتاسه بالایی، یک رژیم رسوبی مشتمل بر پلاتفرم‌های کربناته و حوضه‌های درون شلفی در اغلب نقاط زاگرس غلبه داشته است که محیط‌های رسوبی به میزان زیادی تحت کنترل نوسانات جهانی سطح آب دریاها و فعالیت‌های تکتونیکی بوده‌اند [۳۳]. در این دوره، صفحه‌ی عربی در عرض‌های پایین جغرافیایی (۵ تا ۱۰ درجه شمالی) قرار داشته است [۲۲ و ۳۴]. فعالیت‌های تکتونیکی شامل دی‌پایریسم محلی نمک یا حرکت بلوک‌های پی سنگی موجب بالازدگی‌های محلی و دوره‌ای و رخنمون یافتگی پلاتفرم‌های کربناته کرتاسه بالایی در نقاط مختلف حوضه زاگرس شده است [۳۵-۳۷].

برش نمونه سازند ایلام در منطقه کبیرکوه، استان لرستان واقع شده است [۳۸]. در این محل، این سازند توسط سازند سورگاه در بالا پوشیده شده است و سازند گورپی در پایین آن گسترش می‌یابد. اما در بیشتر قسمت‌های جنوب غرب ایران (شامل فروافتادگی دزفول)، سازند ایلام به طور کلی توسط سنگ‌های آهکی آب‌های کم‌عمق نشان داده می‌شود که به طور ناپیوسته بر

روی سنگ‌های کربناته سازند سروک قرار دارند و با لایه‌های شیل و مارن سازند گورپی به صورت پیوسته پوشیده شده است [۸]. در دشت آبادان، یک واحد نازک از شیل (معروف به شیل لافان) میان سازندهای سروک و ایلام قرار دارد (شکل اب).



شکل ۱- A: نقشه زمین شناسی ساده شده کمر بند چین خورده - رانده زاگرس. توزیع تاقدیس های اصلی نشان داده شده است. میدان مورد مطالعه با مستطیل قرمز مشخص شده است. B: ستون چینه‌شناسی منطقه دشت آبادان که موقعیت سازند ایلام بر روی آن با رنگ زرد مشخص گردیده است [۴].

۳- داده‌ها و روش‌های مطالعه

مطالعه‌ی حاضر بر روی سازند ایلام در سه چاه (X03، X13 و X23) از یکی از میداین نفتی واقع در دشت آبادان انجام شده است. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل داده‌های مغزه، مقاطع نازک میکروسکوپی، تصاویر میکروسکوپ الکترونی، داده‌های تخلخل و تراوایی و لاگ‌های پتروفیزیکی می‌باشند. به طور کلی، ۵۸ متر مغزه از چاه X03، ۱۷۶ مقطع نازک میکروسکوپی، ۴۰ تصویر میکروسکوپ الکترونی، ۱۷۴ داده‌ی تخاقل - تراوایی به همراه لاگ های نوترون (NPHI)، صوتی (DT)، چگالی (RHOB)، گاما (GR)، مقاومت (LLS, LLD) و اشباع آب (SW) از هر سه چاه مورد بررسی برای این مطالعه در دسترس بوده اند.

برای نام گذاری بافتی رخساره‌ها از طبقه بندی دانه‌ام [۳۹] و امری - کلوان [۴۰] استفاده شده است. تجزیه و تحلیل رخساره‌ها و محیط رسوبی بر اساس مدل استاندارد فلوگل [۴۱] صورت پذیرفته شده است. برای تفکیک سکانس‌های رسوبی

از مدل سکانشی پیش رونده - پس رونده (Transgressive - Regressive: T-R) امری [۴۲] استفاده شده است. برای تفکیک گونه‌های سنگی و زون بندی مخزن، از روش تعیین واحدهای جریانیهیرولیکی (HFU) برمبنای نشانگر زون جریان (FZI) و روش نمودار چینه‌ای تغییر یافته لورنز (SMLP) استفاده کرده‌ایم [۴۳ و ۴۴]. برای تعیین رخساره‌های الکتریکی بر مبنای لاگ‌های چاه پیمایی از روش خوشه بندی گرافیکی چند تفکیکی (MRGC) در نرم افزار ژئولاگ استفاده شده است.

۳-۱- واحدهای جریانیهیرولیکی (HFU) برمبنای نشانگر زون جریان (FZI)

در این روش، هر واحد جریانیهیرولیکی بر اساس نشانگر زون جریانیهیرولیکی (FZI) [۴۵] نشانگر زون جریانیهیرولیکی بر اساس شاخص کیفیت مخزنی (RQI) و نسبت تخلخل به سنگ زمینه (ϕZ) تعریف می‌شود [۴۳]. نشانگر زون جریان از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$(۱) \quad FZI = \frac{RQI}{\phi Z}$$

شاخص کیفیت مخزنی یا RQI از جذر نسبت تراوایی به تخلخل به دست می‌آید و تقریبی از میانگین شعاع هیرولیکی در سنگ مخزن است و کلیدی برای واحدهای هیرولیکی بوده و تخلخل، تراوایی و فشار موئینگی را به هم مرتبط می‌سازد.

$$(۲) \quad RQI = 0.0314 \sqrt{\frac{K}{\phi e}}$$

نسبت تخلخل به سنگ زمینه (ϕZ) که تخلخل نرمال شده نیز نامیده می‌شود، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$(۳) \quad \phi Z = \frac{\phi e}{1 - \phi e}$$

در رابطه فوق ϕe ، تخلخل موثر و K ، تراوایی (بر حسب میلی داریسی) می‌باشد.

۳-۲- نمودار چینه‌ای تغییر یافته لورنز (SMLP)

این روش، یکی از بهترین روش‌ها برای دستیابی به حداقل تعداد واحدهای جریانیهیرولیکی در مخزن است [۴۴]. نمودار لورنز بر اساس رسم ظرفیت جریانیهیرولیکی (KH) در برابر ظرفیت ذخیره مجموع (ΦH)، با حفظ ترتیب چینه شناسی آنها بدست می‌آید [۴۶]. نقاط عطف در نمودار SMLP، بیانگر تغییرات در خواص جریانیهیرولیکی محیط متخلخل است. دو پارامتر ظرفیت ذخیره تجمعی و ظرفیت جریان تجمعی به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$(۴) \quad Kh_{cum} = K_1(h_1-h_0)/Kh_{total} + K_2(h_2-h_1)/Kh_{total} + \dots + K_n(h_n-h_{n-1})/Kh_{total}$$

$$(۵) \quad \Phi h_{cum} = \Phi_1(h_1-h_0)/\Phi h_{total} + \Phi_2(h_2-h_1)/\Phi h_{total} + \dots + \Phi_n(h_n-h_{n-1})/\Phi h_{total}$$

۳-۳- خوشه بندی گرافیکی چند تفکیکی (MRGC)

خوشه سازی MRGC، یک روش شناخت الگوی نقطه‌ای با تفکیک پذیری چندگانه است که متکی بر اصل غیر پارامتری K نزدیک ترین همسایگی و نمایش گرافیکی داده‌ها است [۴۷]. روش مذکور از پارامترهایی به نام نمایندگی هسته (KRI) و

شاخص همسایگی (NI) استفاده می‌کند که سبب می‌شود، از روش‌های مرسوم تمایز پیدا کند. شاخص‌های مذکور طبق روابط زیر تعیین می‌شوند:

$$(۶) \quad NI(x) = \sum_{N=1}^{n-1} \exp(-mn, a)$$

$$(۷) \quad KRI = NI(x) \cdot M(x, y) \cdot D(x, y)$$

۴- نتایج

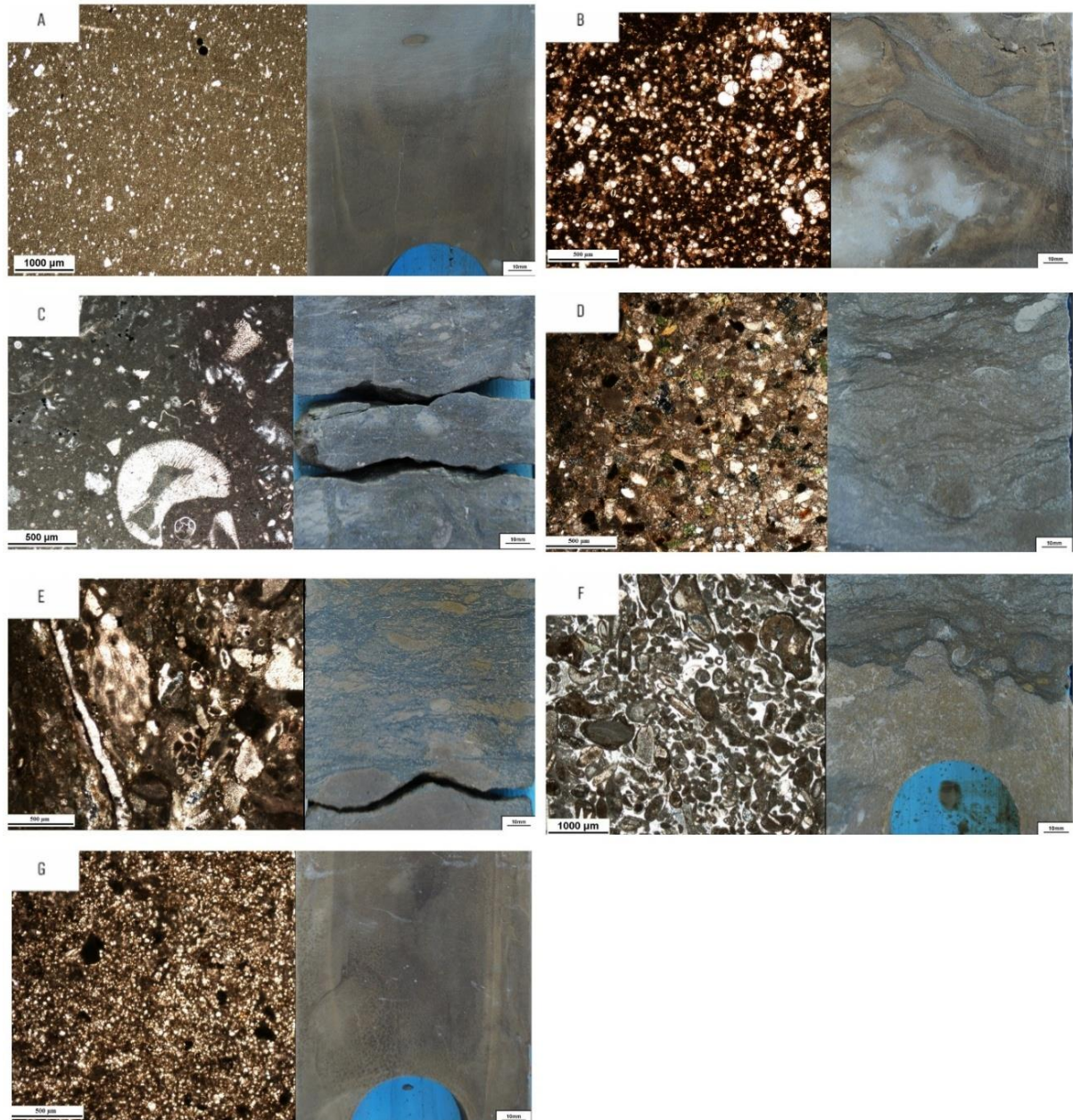
۴-۱- رسوب شناسی

رخساره‌های رسوبی سازند ایلام با استفاده از ویژگی‌هایی از جمله بافت‌ها، آلوکم‌های غالب، ساختارهای رسوبی و لیتولوژی تمایز یافته‌اند. برای تفسیر محیط‌های رسوبی، رخساره‌های این مطالعه با ریز رخساره‌های استاندارد مقایسه شده‌اند. به‌طور مطلوب، هفت ریز رخساره در سازند ایلام تفکیک شده است که اطلاعات آن‌ها بطور خلاصه در جدول ۱ آورده شده است. همچنین تصاویر مغزه و مقاطع نازک از این ریزرخساره‌ها در شکل ۲ نمایش داده شده است.

جدول ۱- خلاصه اطلاعات ریزرخساره‌های رسوبی سازند ایلام در چاه مورد مطالعه واقع در منطقه‌ی دشت آبادان.

کد رخساره	ریز رخساره‌ها	سنگ شناسی	آلوکما (اسکلتی و غیر اسکلتی)	میانگین تخلخل (%)	میانگین تراوایی (mD)	رخساره همراه	محیط رسوبی
IMF-1	فرامنیفر پلانکتونیک الیگوستژیونوئید مادستون تا وکستون	سنگ آهک آرژیلی / دولومیتی	فرامنیفر پلانکتونیک، الیگوستژیونوئید، واریزه خارپوست، پلوئیدهای ریز دانه	۱۷.۵	۳.۳	IMF-2	رمپ بیرونی- بخش انتهایی
IMF-2	میکروبايوكلست الیگوستژیونوئید وکستون تا پکستون	سنگ آهک، سنگ آهک آرژیلی	فرامنیفرهای پلانکتونیک و کوچک کفزی، خرده‌های خارپوست، دو کف‌ای و بریوزوئر، الیگوستژیونوئید، پلوئیدهای ریز دانه	۲۰	۰.۷	IMF-1	رمپ بیرونی- بخش ابتدایی
IMF-3	فرامنیفر (بنتیک و پلانکتونیک) بایوکلست وکستون	سنگ آهک	فرامنیفر (بنتیک و پلانکتونیک)، خارپوست، دوکف‌ای، جلبک قرمز و بریوزوئر، اینتراکلست، پلوئید	۴.۳	۰.۹	IMF-2 IMF-4	رمپ میانی- بخش انتهایی
IMF-4	اینتراکلست اوئید وکستون تا پکستون	سنگ آهک، سنگ آهک دولومیتی	اینتراکلست، واریزه‌های رودیست، خارپوست و دو کف‌ای، اوئید	۸	۲۷.۹	IMF-3 IMF-5 IMF-6	رمپ میانی- بخش ابتدایی
IMF-5	فرامنیفر بنتیک بایوکلست پلوئید وکستون تا پکستون	سنگ آهک	فرامنیفر بنتیک، پلوئید، رودیست، واریزه‌های خارپوست و دو کف‌ای (خوب جور شده و گرد شده)	۱۰	۰.۶	IMF-4 IMF-6	رمپ میانی- بخش ابتدایی

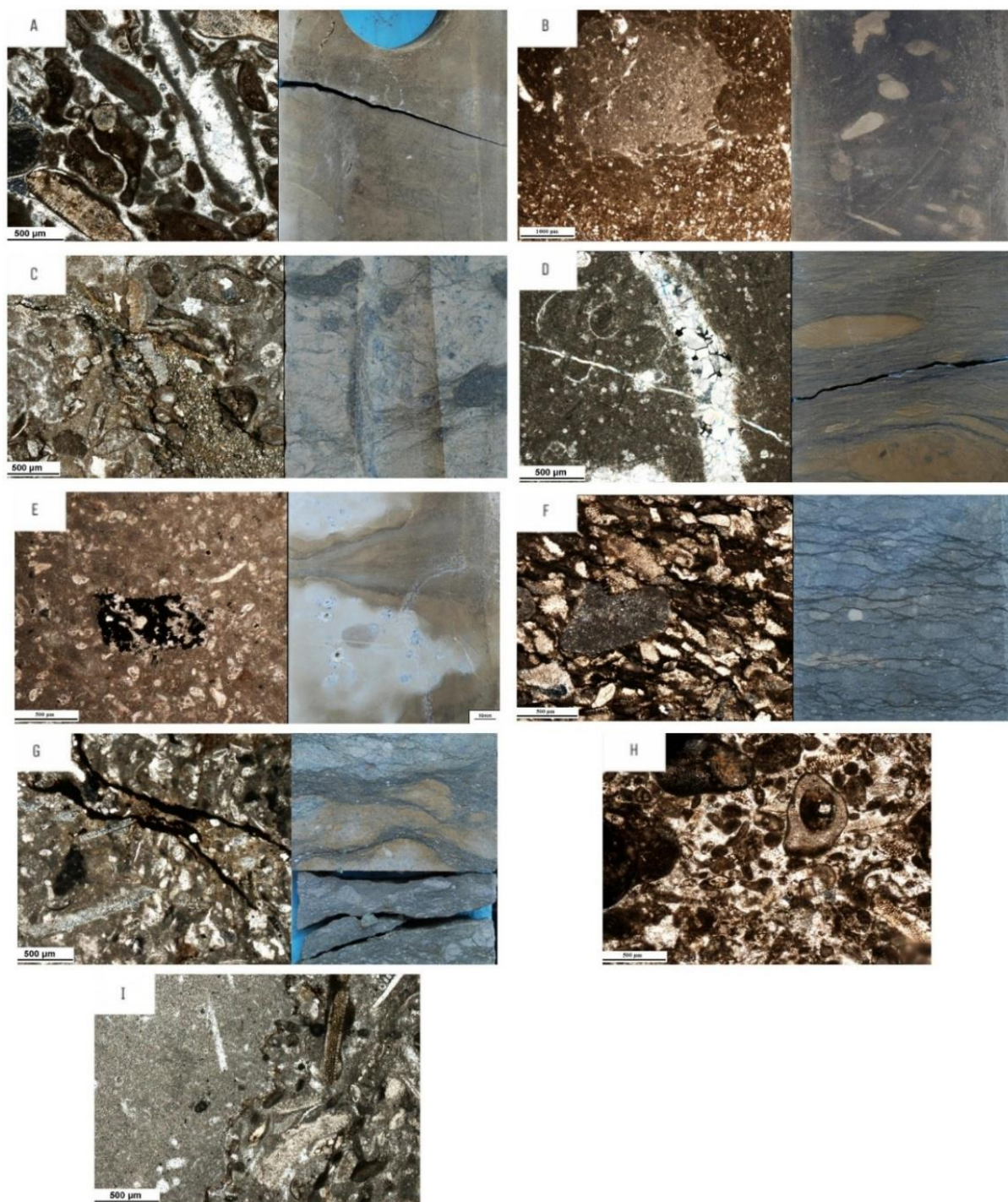
IMF-6	دانه‌های پوشش دار (اوئید و آنکوئید) بایوکلست پکستون تا گرینستون	سنگ آهک، سنگ آهک دولومیتی	اوئید، آنکوئید، خرده‌های صدف (واریزه‌های درشت روديست و دو کفه‌ای)	۷.۵	۱.۵	IMF-4 IMF-5	رمپ درونی - شول
IMF-7	بایوکلست پلوئید مادستون تا پکستون	دولومیت، سنگ آهک آرژیلی، گل‌سنگ / مارن	واریزه‌های روديست و خرده‌های جلبک قرمز تا سبز، مرجان، خارپوست	۳.۷	۰.۰۴	IMF-4 IMF-5 IMF-6	رمپ درونی - لاگون



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی از مقاطع نازک و مغزه‌های برش داده شده از ریزرخساره‌های شناسایی شده در سازند ایلام در میدان مورد مطالعه نشان داده شده اند. IMF-1 (A), IMF-2 (B), IMF-3 (C), IMF-4 (D), IMF-5 (E), IMF-6 (F), IMF-7 (G).

مطالعه پتروگرافی نمونه‌های مقطع نازک تهیه شده از مغزه‌های سازند ایلام منجر به شناسایی برخی تغییرات مهم دیاژنزی در این سازند شده است. این فرآیندها عبارتند از: میکرایتی شدن، زیست آشفستگی، تبلور مجدد، سیمانی شدن (شامل سیمان هم

ضخامت، سیمان اسپاری هم بعد، سیمان بلوکی و سیمان کلسیتی رشد اضافه هم محور)، فشردگی (شامل فشردگی مکانیکی و شیمیایی)، دولومیتی شدن، انحلال و شکستگی. مهم ترین فرایندهای دیاژنتیکی سازند ایلام در چاه مورد مطالعه، در شکل ۳ نمایش داده شده اند.



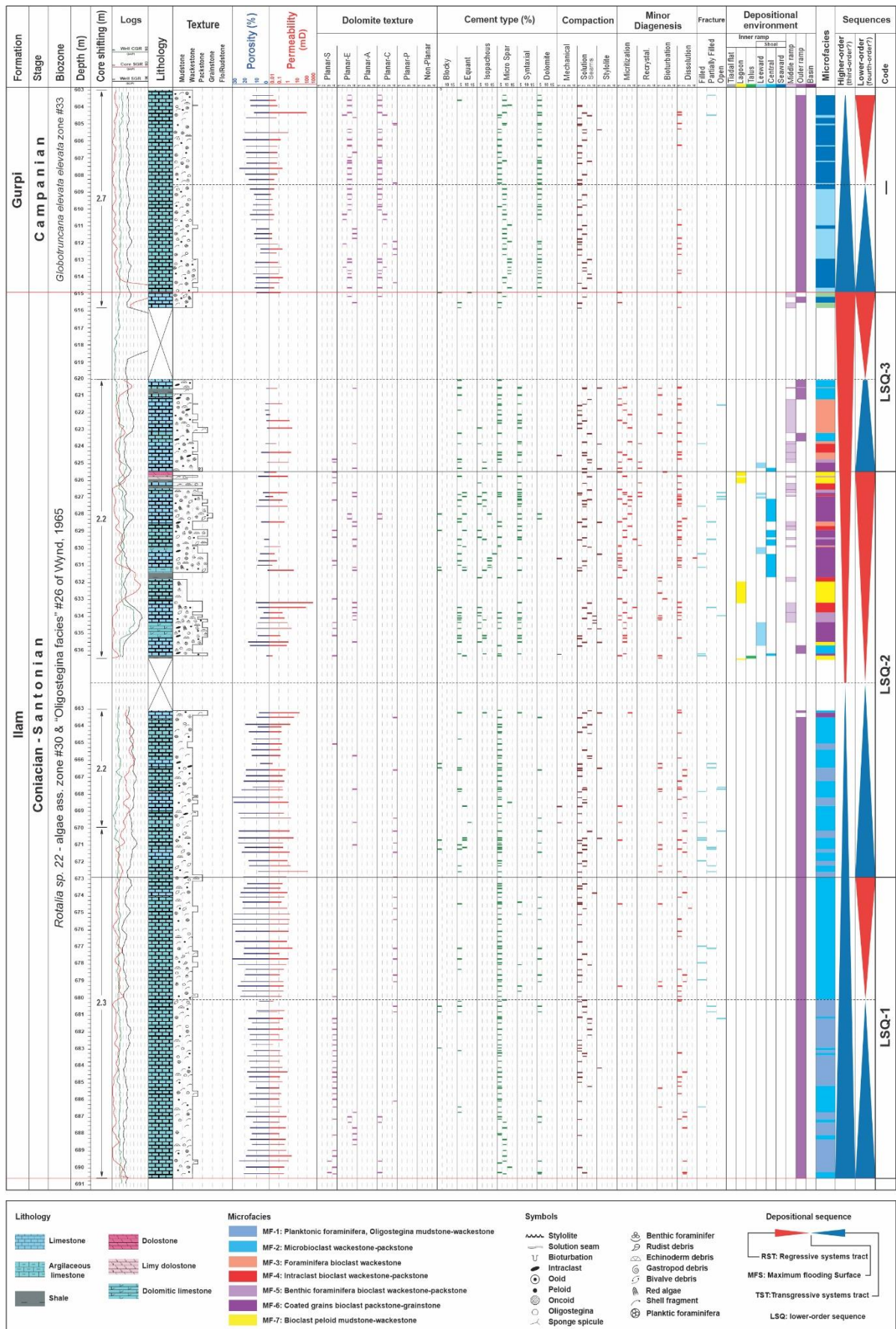
شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی و مغزه از مهم ترین فرایندهای دیاژنتیکی سازند ایلام در میدان مورد مطالعه نشان داده شده اند. (A) سیمان هم ضخامت، رشد اضافه هم محور و کلسیتی یکنواخت به همراه عکس مغزه از شکستگی. (B) زیست آشفته‌گی و دولومیتی شدن در امتداد رگچه‌های انحلالی به همراه عکس مغزه از زیست آشفته‌گی، شکستگی‌های نیمه پر شده، و خرده‌های اسکلتی. (C) دولومیتی شدن و فشردگی شیمیایی به همراه عکس مغزه از فشردگی شیمیایی و دولومیتی شدن (در امتداد استیلولیت‌ها). (D) شکستگی که به

طور کامل با سیمان پر شده است به همراه عکس مغزه از شکستگی باز و زیست آشفستگی. (E) پیریتی شدن به همراه عکس مغزه از انحلال و شکستگی. (F) فشردگی مکانیکی شدید (آرایش دانه‌ها) به همراه عکس مغزه از میکرو استیلولیت‌ها و خرده‌های اسکلتی. (G) رگچه‌های انحلالی به همراه عکس مغزه از فشردگی شیمیایی شدید، زیست آشفستگی و قطعات اسکلتی. (H) میکرایتی شدن به همراه سیمان رشد اضافه هم محور کلسیتی یکنواخت (مناطق سفید رنگ) و سیمان هم ضخامت. (I) تبلور مجدد میکرایت و فشردگی شیمیایی. مطالعات چینه نگاری سکansı نشان داده است که کل توالی سازند ایلام از یک سکانس رسوبی رده سوم تشکیل شده است (شکل ۴). این سازند دارای ضخامت کلی ۸۶ متر در چاه مورد مطالعه است که کل آن در این چاه مغزه گیری نشده است. بر این اساس، به دلیل عدم وجود مغزه‌ی کامل، تقسیم بندی چینه شناسی سکansı جامع و تفسیر سازند ایلام در چاه مورد مطالعه امکان پذیر نبود.

بر اساس نقشه‌ها و تفاسیر دیرینه جغرافیایی، یک پیشروی گسترده در سطح دریا در اوایل سانتونین در سراسر حاشیه شمال شرقی صفحه عربی رخ داده است [۲۲]. این مرحله پیش روی با توسعه رخساره‌های کربناته پلاژیک در اوایل سانتونین، در بخش پایینی سازند ایلام (و معادل‌های چینه‌شناسی آن) در ناحیه زاگرس و کشورهای مجاور مشخص می‌شود. این‌ها را می‌توان به عنوان TST (سیستم ترکت پیش رونده) از سکانس سانتونین در نظر گرفت. به سمت بالای سازند ایلام، رخساره‌های رمپ بیرونی قسمت‌های پایین‌تر عمدتاً با رخساره‌های پراثرژی مجموعه‌های شول و رخساره‌های لاگون جایگزین شده اند که نشان‌دهنده یک محیط رسوبی دریایی کم‌عمق هستند. آن‌ها را می‌توان به عنوان سیستم ترکت پس رونده (RST) سکانس رسوبی سانتونین در نظر گرفت.

علی‌رغم مغزه گیری ناقص سازند ایلام، این دو سیستم ترکت در چاه مورد مطالعه به وضوح در این سازند مشخص شده‌اند (شکل ۴). بر اساس تفاسیر و تحلیل فراوانی رخساره‌های رسوبی، تقریباً ۹۹ درصد قسمت پایینی سازند ایلام از رخساره‌های عمیق دریایی (رمپ بیرونی) تشکیل شده است (یعنی IMF-1 و IMF-2). این بازه نشان دهنده TST سکانس سانتونین در این چاه است. MFS (حداکثر سطح غرقابی) این سکانس را نمی‌توان مشخص کرد، زیرا داده‌های مغزه از بخش میانی سازند ایلام وجود ندارد.

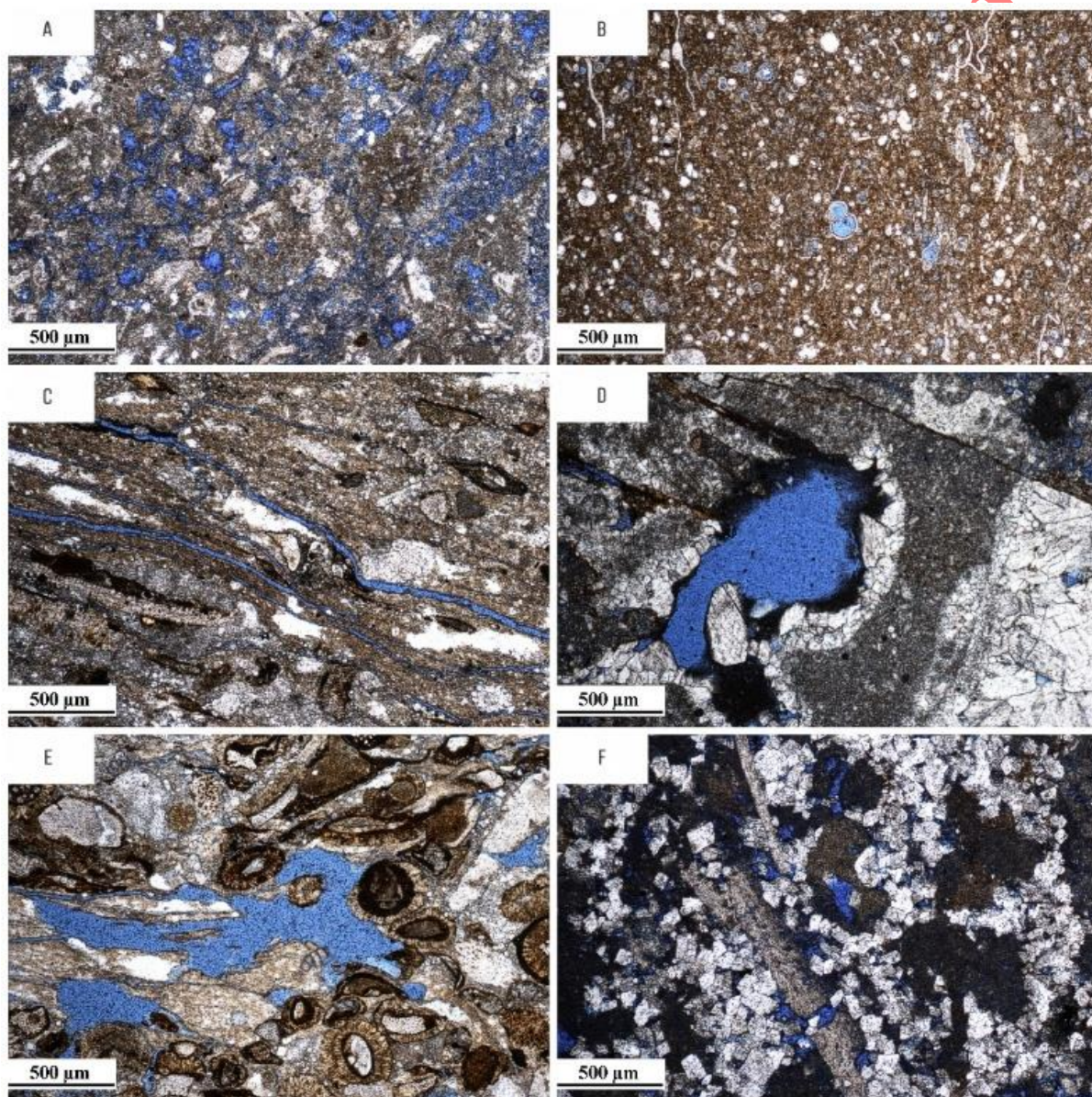
از سوی دیگر، بیش از ۹۰ درصد بازه‌ی مغزه گیری شده در بخش بالایی سازند ایلام از رخساره‌های رمپ داخلی تا میانی (IMF-3 تا IMF-7) تشکیل شده است که نشان دهنده RST سکانس سانتونین است. مرز سکansı نیز با تغییر ناگهانی رخساره‌ها از رخساره‌های کربناته کم عمق سازند ایلام به رخساره‌های عمیق دریایی (پلاژیک) سازند گورپی مشخص می‌شود. به نظر می‌رسد این توالی از سه سکانس مرتبه بالاتر (رده چهارم) تشکیل شده باشد که بر روی ستون رسوب شناسی در شکل ۴ مشخص شده‌اند.



شکل ۴- ستون رسوب شناسی شامل توزیع ریزرخساره‌ها، فرآیندهای دیژنری و ساکنس‌های رسوبی سازند ایلام در چاه X03.

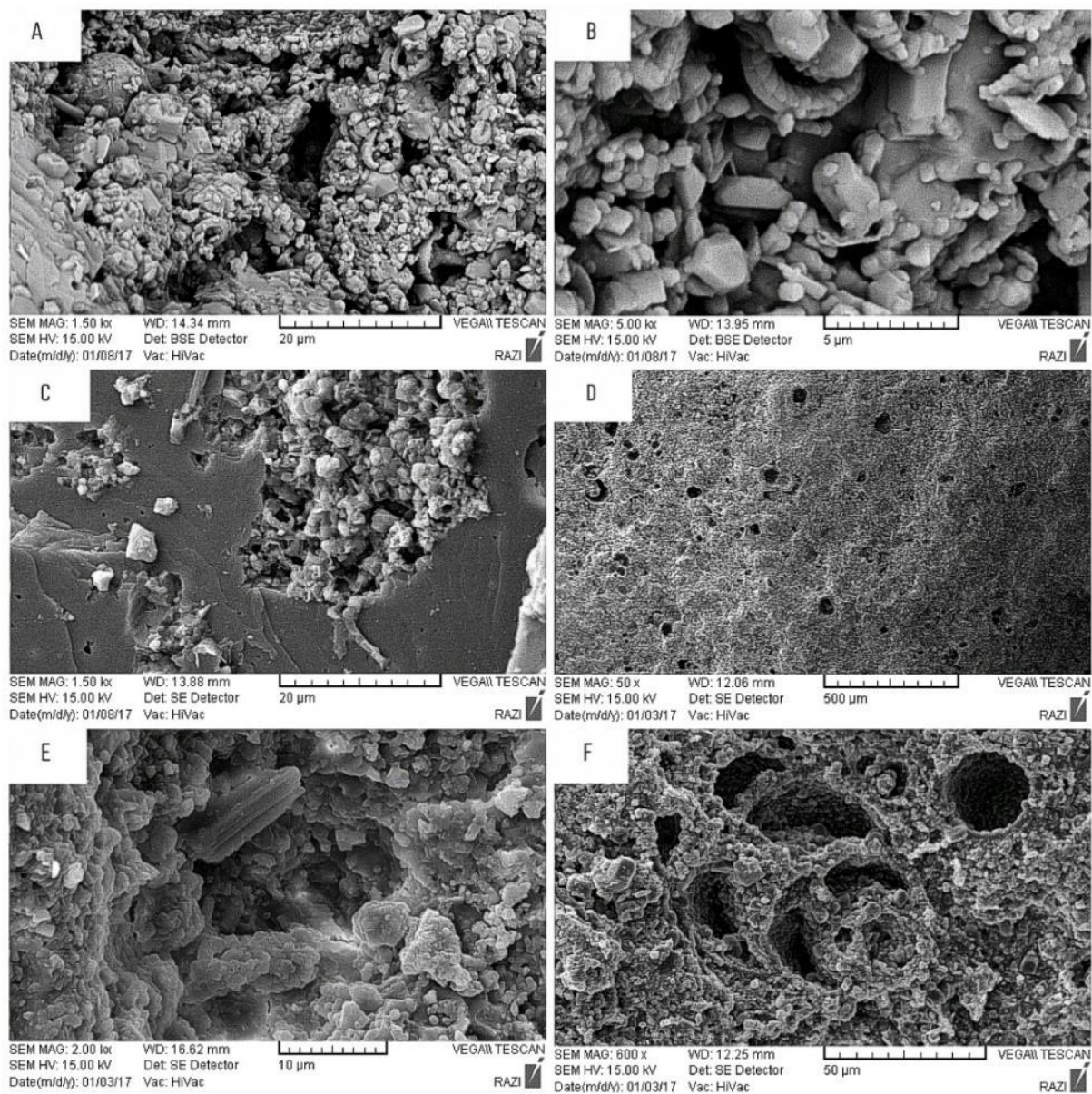
۴-۲- سیستم حفرات

بر مبنای تقسیم بندی انواع حفرات در سنگ های کربناته [۴۸] و با کمک نتایج مطالعات پتروگرافی، انواع حفرات سازند ایلام از دیدگاه زایشی و در مقیاس های مختلف تفکیک شده اند: تخلخل اولیه در سازند ایلام شامل تخلخل های بین دانه ای و درون دانه ای می باشند که اولی در رخساره های دانه غالب کمر بند شول و دیگری در رخساره های لاگونی تا دریای باز سازند ایلام در داخل حجرات فرامینیفرها و الگوسترینیدها قابل مشاهده می باشند (شکل ۵). تخلخل های ثانویه در این سازند شامل تخلخل های ناشی از انحلال، شکستگی و فضاهای بین بلوری در رخساره های دولومیتی شده می باشند. حفرات و قالب های انحلالی اغلب در بخش بالایی سازند ایلام و در رخساره های رمپ داخلی قابل مشاهده می باشند (شکل ۵).



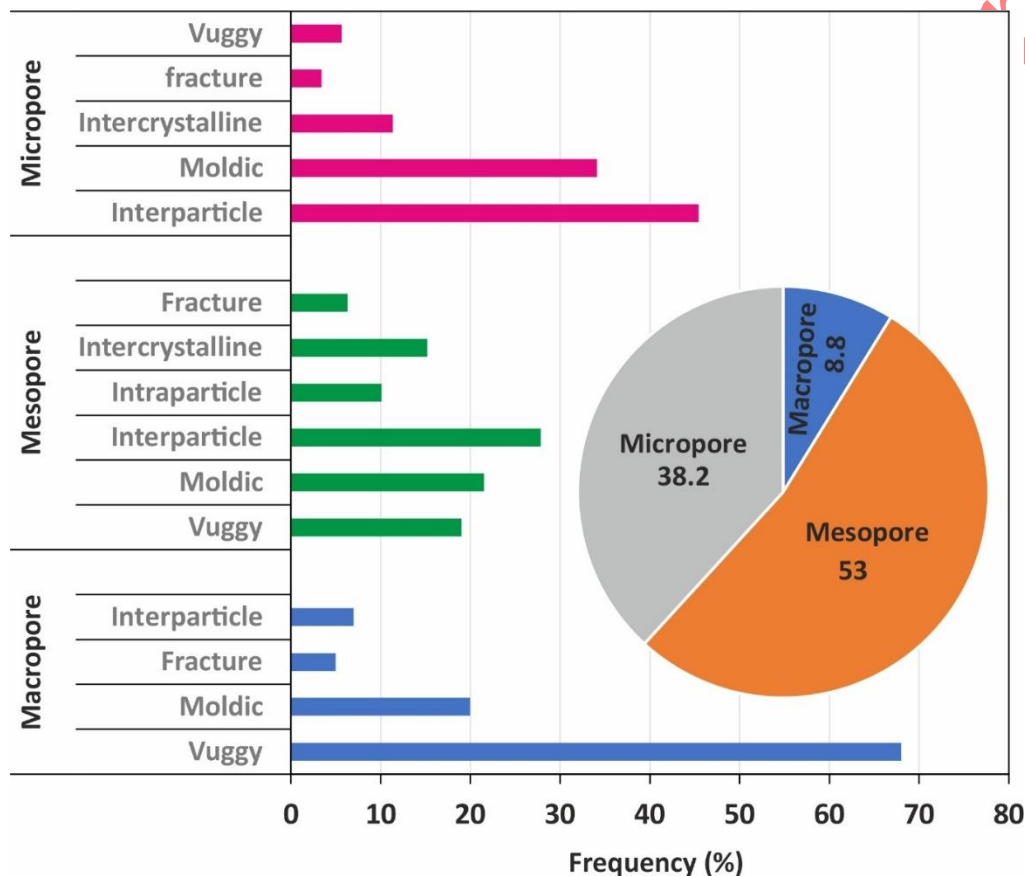
شکل ۵- تصاویر میکروسکوپی از مقاطع نازک حاوی انواع منافذ موجود در رخساره های سازند ایلام. (A) تخلخل بین دانه ای، (B) تخلخل درون دانه ای، (C) تخلخل ناشی از شکستگی، (D) تخلخل قالبی ناشی از انحلال، (E) تخلخل حفره ای ناشی از انحلال، (F) تخلخل بین بلوری.

تخلخل در سازند ایلام را می توان بر اساس مقیاس یا اندازه به تخلخل های کوچک مقیاس یا ریزتخلخل ها (micro- porosity) قابل مشاهده در تصاویر میکروسکوپ الکترونی (شکل ۶)، تخلخل های متوسط مقیاس (meso-porosity) قابل مشاهده در مقاطع نازک میکروسکوپی و تخلخل های بزرگ مقیاس (macro-porosity) قابل مشاهده در مغزه های حفاری دسته بندی کرد.



شکل ۶- تصاویر میکروسکوپ الکترونی انواع ریز منافذ موجود در سازند ایلام. (A) نمونه حاوی دانه های اسکلتی همانند الیگوسترژینا و کوکولیتوفر است. شامل ریز تخلخل های بین دانه ای و درون دانه ای می باشد. (B) نمونه حاوی سیمان میکرواسپار که به بلورهای درشت کلسیت تبلور مجدد یافته اند. شامل ریز تخلخل های بین دانه ای و درون دانه ای می باشد. (C) نمونه حاوی انحلال بلورهای درشت کلسیت که توسط کلسیت میکروکریستالین پر شده است. شامل ریز تخلخل های بین بلوری می باشد. (D) نمونه حاوی ریز تخلخل های قالبی می باشد. (E) نمونه حاوی کانی های رسی است و شامل ریز تخلخل های حفره ای و بین ذرات ماتریکس می باشد. (F) نمونه حاوی ریز تخلخل های درون ذره ای و درون اسکلتی به همراه ریزتخلخل های قالبی می باشد.

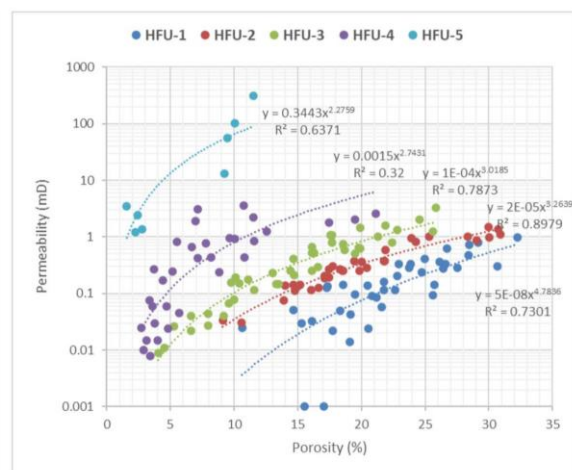
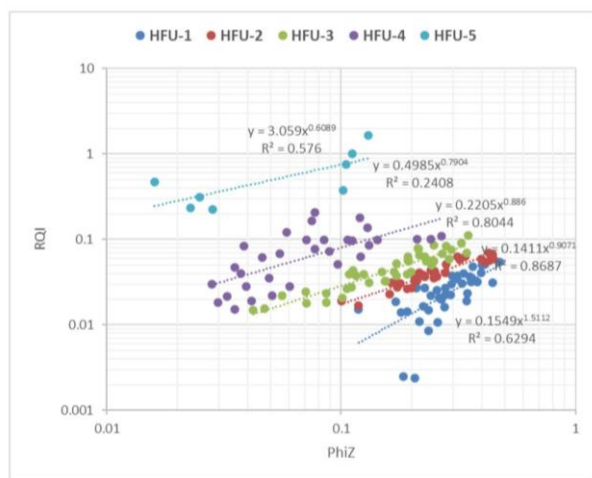
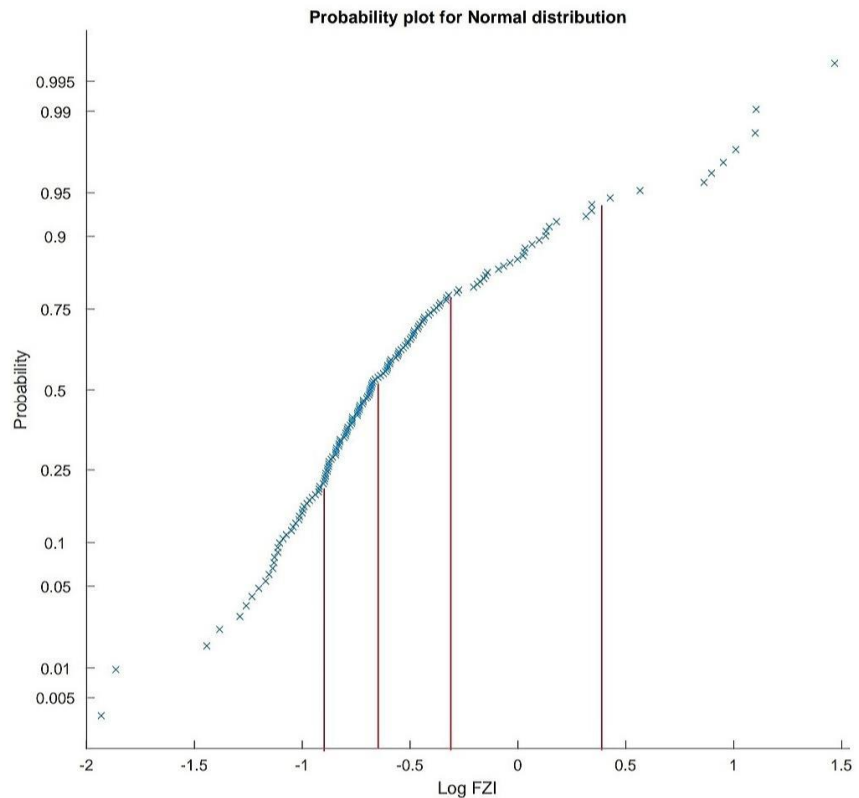
نمودار فراوانی انواع حفرات سازند ایلام در چاه مورد مطالعه (چاه X03) در شکل ۷ نشان داده شده است. بر اساس این نمودار، بیش از نیمی (۵۳ درصد) از انواع حفرات شناسایی شده در این سازند در مقیاس متوسط (یعنی در مقاطع نازک میکروسکوپی) قابل مشاهده بوده اند که در این مقیاس، تخلخل های بین دانه ای، قالبی، حفره ای و بین بلوری به ترتیب از بیشترین فراوانی برخوردار بوده اند. همچنین، بیش از ۳۸ درصد از حفرات سازند ایلام در مقیاس میکروسکوپی قرار گرفته اند که به ترتیب فراوانی شامل تخلخل های بین ذره ای، قالبی و بین بلوری می باشند. در مقیاس بزرگ (مغزه های حفاری) ۸/۸ از حفرات سازند ایلام به شکل تخلخل های حفره ای، قالبی و شکستگی مشاهده شده اند.



شکل ۷- نمودارهای فراوانی انواع حفرات در سازند ایلام در چاه X03 واقع در یکی از میادین نفتی دشت آبادان.

۳-۴- واحدهای جریانیهیدرولیکی

در این مطالعه بر اساس روش واحدهای جریانیهیدرولیکی، ابتدا محاسبات مربوطه انجام شده است. پارامترهای تخلخل نرمال شده (PhiZ)، اندیس کیفیت مخزنی (RQI) و نشانگر زون جریان (FZI) محاسبه شده و سپس نمودار توزیع احتمال نرمال برای مقادیر پارامتر لگاریتم FZI ترسیم شده است و با توجه به نقاط شکست مشخص شده موجود در نمودار، پنج واحد جریانیهیدرولیکی در چاه مورد مطالعه تشخیص داده شد که در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸- (A) نمودار احتمال نرمال برای تعیین تعداد واحدهای جریانی. (B) نمودار تخلخل در برابر تراوایی به تفکیک واحدهای جریانی هیدرولیکی. (C) نمودار اندیس کیفیت مخزنی (RQI) در برابر تخلخل نرمال شده (PhiZ) به تفکیک واحدهای جریانی هیدرولیکی.

به منظور اطمینان حاصل کردن از به درستی تفکیک شدن واحدهای جریانی، از دو نمودار متقاطع شامل نمودار تخلخل در برابر تراوایی و دیگری نمودار اندیس کیفیت مخزنی در برابر تخلخل نرمال شده به تفکیک واحدهای جریانی استفاده شده است (شکل ۸). مقادیر بدست آمده از ضریب همبستگی هر کدام از واحدهای جریانی در نمودارهای مذکور، نشان دهنده‌ی این امر است که داده‌ها همبستگی بالایی را نشان می‌دهند. همچنین، خلاصه‌ی اطلاعات آماری مربوط به واحدهای جریانی هیدرولیکی تعیین شده، در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- خلاصه‌ی اطلاعات واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی تعیین شده در سازند مخزنی ایلام در چاه مورد مطالعه.

شماره HFU	میانگین تخلخل (درصد)	میانگین تراوایی (میلی داریسی)	میانگین FZI	میانگین RQI	میانگین Φz	رخساره غالب	دیاژنز غالب	نوع تخلخل غالب
HFU-1	۲۱.۵۳	۰.۱۰	۰.۰۸	۰.۰۲	۰.۲۷	IMF-3	انحلال	درون دانه‌ای، بین بلوری، قالبی
HFU-2	۱۹.۱۸	۰.۲۹	۰.۱۶	۰.۰۳	۰.۲۴	IMF-3	انحلال	قالبی، درون دانه‌ای، ریزتخلخل
HFU-3	۱۳.۴۸	۰.۲۵	۰.۲۷	۰.۰۴	۰.۱۵	IMF-2	انحلال	قالبی، ریز تخلخل
HFU-4	۶.۶۰	۰.۲۵	۰.۸۶	۰.۰۶	۰.۰۷	IMF-7	میکرایتی شدن	ریز تخلخل
HFU-5	۴.۶۹	۱۱.۶۲	۹.۸۶	۰.۴۹	۰.۰۵	IMF-7	میکرایتی شدن	بین دانه‌ای، قالبی، حفره‌ای

۴-۴- زون بندی مخزنی

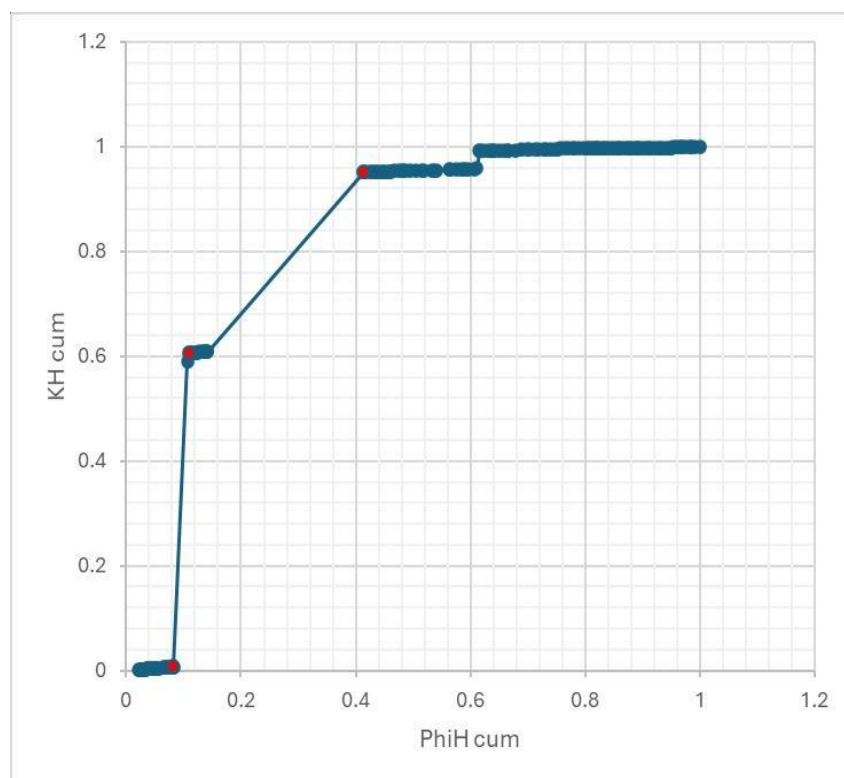
با استفاده از روش تغییر یافته چینه نگاری لورنز و با استفاده از فرمول‌هایی که در بخش داده‌ها و روش‌ها اشاره شد، پس از محاسبات مربوط به ظرفیت ذخیره (PhiH) و ظرفیت جریان (KH)، نمودار متقاطع پارامترهای KH در برابر PhiH تحت عنوان نمودار لورنز ترسیم گردیده است. با توجه به تعداد نقاط شکست موجود در نمودار لورنز، چهار زون در سازند مورد مطالعه شناسایی و تفکیک شده است (شکل ۹). بر اساس روش لورنز، دو زون بافل و یک زون مخزنی و یک زون بافل/ سدی در سازند مورد مطالعه، شناسایی شده است. خلاصه‌ی اطلاعات مربوط به زون بندی مخزنی سازند ایلام بر اساس روش لورنز، در جدول ۳ آورده شده است.

- زون شماره یک (Baffle Zone)

زون شماره یک با توجه به داده‌های مربوط به عمق آن، از عمق ۶۱۴ تا عمق ۶۳۱ متر گسترش یافته است. این زون با ضخامت حدوداً ۱۷ متر، در بخش بالایی سازند ایلام گسترش دارد. سنگ شناسی سازند ایلام در این عمق آهکی و آهکی آرژیلی می‌باشد و در برخی از بازه‌ها شاهد دولومیتی شدن و حضور کانی‌های رسی هستیم. از لحاظ رخساره‌ای، رخساره‌های متعلق به رمپ درونی و میانی در این زون غلبه دارند و در برخی از بازه‌ها، رخساره‌های مربوط به رمپ خارجی هم مشاهده می‌شوند. رخساره غالب در این بازه عمقی رخساره‌های بایوکلاست پلوئید مادستون تا وکستون هستند و فرایند دیاژنزی غالب در این زون میکرایتی شدن می‌باشد. با توجه به رخساره و فرایند دیاژنتیکی غالب در زون شماره یک، مشخص شده است که سیستم حفرات غالب در این زون، عمدتاً از حفرات بین ذرات ماتریکس (ریزتخلخل)، قالبی و درون اسکلتی تشکیل شده است. همچنین بازه عمقی زون شماره یک با بخش انتهایی سیستم ترک پسروده (late RST) در سکانس رده بالای سازند ایلام تطابق دارد.

- زون شماره دو (Reservoir Zone)

زون شماره دو از عمق ۶۳۳ متر تا عمق ۶۷۱ متر گسترش یافته است. این زون با ضخامت حدوداً ۳۸ متر، در بخش میانی سازند ایلام گسترش دارد. سنگ شناسی سازند ایلام در این عمق آهک و آهک آرژیلی می‌باشد. از لحاظ رخساره‌ای، بیشتر رخساره‌های متعلق به رمپ خارجی و میانی در این زون غلبه دارند و در برخی از بازه‌ها، رخساره‌های مربوط به رمپ داخلی هم مشاهده می‌شوند. رخساره غالب در این بازه عمقی شامل رخساره‌های فرامنیفرا (بنتیک و پلانکتونیک) بایوکلست و کستون هستند و فرایند دیاژنزی غالب در این زون انحلال می‌باشد. با توجه به رخساره و فرایند دیاژنتیکی غالب در زون شماره دو، مشخص شده است که سیستم حفرات غالب در این زون، عمدتاً از تخلخل‌های حفره‌ای، قالبی و بین ذره‌ای تشکیل شده است. همچنین بازه عمقی زون شماره دو، با بخش ابتدایی سیستم ترک‌ت پسروده (early RST) در سکانس رده بالای سازند ایلام تطابق دارد.



شکل ۹- نمودار ظرفیت جریان (KH) در برابر ظرفیت ذخیره (PhiH) و زون بندی مخزن ایلام بر اساس نقاط عطف نمودار.

- زون شماره سه (Baffle Zone)

زون شماره سه از عمق ۶۷۲ متر تا عمق ۶۸۷ متر گسترش یافته و با ضخامت حدوداً ۱۵ متر، در بخش پایینی سازند ایلام گسترش دارد. سنگ شناسی سازند ایلام در این عمق آهک و آهک آرژیلی می‌باشد. رخساره‌های متعلق به رمپ خارجی در این زون غلبه دارند که شامل رخساره‌های فرامنیفرا (بنتیک و پلانکتونیک) بایوکلست و کستون هستند. فرایند دیاژنزی غالب در این زون انحلال در مقیاس میکروسکوپی می‌باشد. با توجه به رخساره و فرایند دیاژنتیکی غالب در زون شماره سه، مشخص شده است که سیستم حفرات غالب در این زون، عمدتاً از حفرات میکروسکوپی بین ذرات ماتریکس، درون حجرات اسکلتی و قالبی تشکیل شده است. همچنین بازه عمقی زون شماره سه، با بخش انتهایی سیستم ترک‌ت پیشرونده (late TST) در سکانس رده بالای سازند ایلام مطابقت دارد.

– زون شماره چهار (Barrier/Baffle Zone)

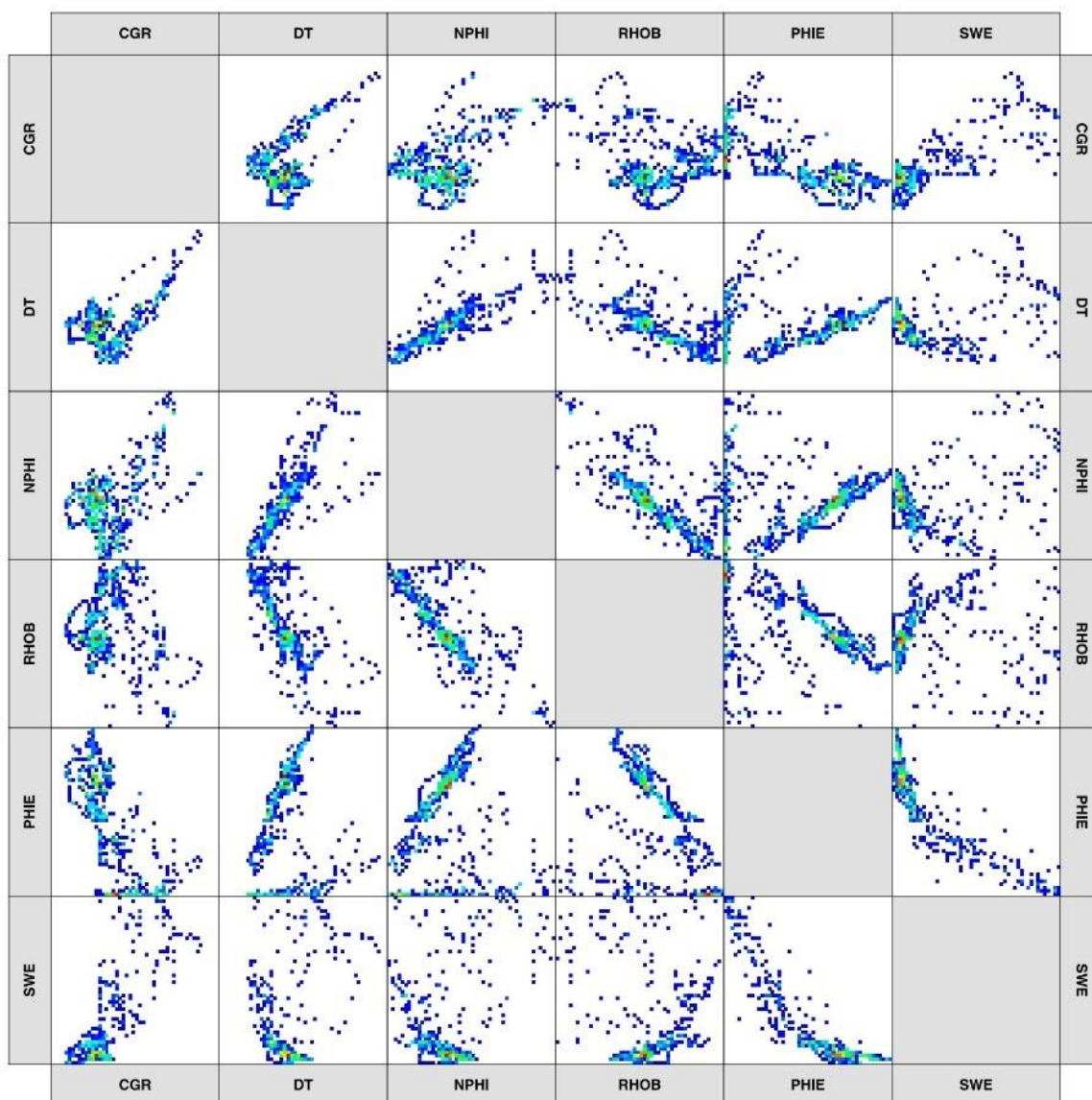
زون شماره چهار از عمق ۶۸۸ متر تا عمق ۶۹۰ متر گسترش یافته و با ضخامت حدوداً ۲ متر، در بخش پایینی سازند ایلام گسترش دارد. سنگ شناسی سازند ایلام در این عمق آهک و آهک آرژیلی می‌باشد و در برخی از بازه‌های آن دولومیتی شدن رخ داده است. رخساره‌های متعلق به رمپ خارجی شامل رخساره‌های میکروبايوکلست اليگوسترژينيد و کستون تا پکستون غلبه دارند. فرایند دیاژنزی غالب در این زون انحلال در مقیاس میکروسکوپی می‌باشد. سیستم حفرات غالب در این زون عمدتاً از ریزتخلخل‌های موجود در بین ذرات میکرایت، حفرات درون اسکلتی و قالبی تشکیل شده است. همچنین بازه عمقی زون شماره چهار، با بخش ابتدایی سیستم ترک‌ت پیشرونده (early TST) در سکانس رده بالای سازند ایلام تطابق دارد.

جدول ۳- خلاصه‌ی اطلاعات زون بندی مخزنی بر اساس روش لورنز در سازند ایلام در چاه X03.

شماره زون	نوع زون	مجموع ظرفیت جریان (درصد)	مجموع ظرفیت ذخیره (درصد)	میانگین R35 (میکرون)	رخساره غالب	دیاژنزی غالب	نوع تخلخل غالب
اول	تله‌ای	۰.۶۴	۸.۲۹	۰.۳۸	IMF-7	میکرایتی شدن	ریز تخلخل: قالبی، درون دانه‌ای
دوم	مخزنی	۹۵.۱۰	۵۲.۲۸	۰.۳۱	IMF-3	انحلال	تخلخل بزرگ مقیاس: حفره‌ای، درون دانه‌ای، قالبی
سوم	تله‌ای	۴.۰۹	۳۴.۳۸	۰.۱۸	IMF-3	انحلال میکروسکوپی، دولومیتی شدن	ریز تخلخل: قالبی، درون دانه‌ای
چهارم	تله‌ای / سدی	۰.۱۵	۵.۰۳	۰.۲۴	IMF-2	فشرده‌گی، انحلال میکروسکوپی	ریز تخلخل: قالبی

۴-۵- رخساره‌های الکتریکی

در این مطالعه برای تعیین رخساره‌های الکتریکی سازند ایلام، از داده‌های سه چاه X03، X13 و X23 استفاده شده است. در هر چاه، لاگ‌های چگالی (RHOB)، نوترون (NPHI)، صوتی (DT)، گاما (CGR)، اشباع آب موثر (SWE) و تخلخل موثر (PHIE) در دسترس بوده است. منظور از اشباع آب موثر در واقع میزان آب موجود در تخلخل‌های مفید می‌باشد. با استفاده از این لاگ‌ها، در نرم افزار ژئولاگ و از طریق روش خوشه بندی گرافیکی چندتفکیکی (MRGC)، رخساره‌های الکتریکی سازند ایلام در هر سه چاه تفکیک شده اند. بر همین اساس، در چاه X03 پنج رخساره الکتریکی و در دو چاه X13 و X23 چهار رخساره الکتریکی در سازند ایلام تعیین شده است. نمودارهای متقاطه انواع لاگ های مورد استفاده در شکل ۱۰ نشان داده شده اند. همچنین مقادیر آماری مربوط به لاگ های در رخساره های الکتریکی تعیین شده در چاه X03 در جدول ۴ آورده شده اند.



شکل ۱۰- کراس پلات‌های لاگ‌های استفاده شده در برابر هم در سه چاه مورد مطالعه.

چاه X03: بر اساس ستون مربوط به چاه X03 که در آن توزیع رخساره‌های الکتریکی و مقادیر لاگ‌های رانده شده بر اساس عمق مشخص شده است، و بر اساس جدول اطلاعات آماری رخساره‌های الکتریکی در چاه X03، استنباط شده است که رخساره‌های الکتریکی شماره یک و شماره دو به دلیل داشتن مقادیر بالاتر میانگین لاگ تخلخل موثر و مقادیر پایین تر میانگین لاگ اشباع آب موثر، رخساره‌های الکتریکی هستند که دارای کیفیت مخزنی خوب در چاه X03 می‌باشند؛ زیرا هرچه مقادیر لاگ تخلخل موثر بالاتر باشد، به منظور وجود فضاهای خالی بهم متصل بیشتری در سازند مورد مطالعه است و نشان دهنده‌ی وجود فضاهای بیشتر برای ذخیره و جریان هیدروکربن در مخزن است و هرچه مقادیر لاگ اشباع موثر پایین تر باشد به منظور وجود مقادیر کمتر از درصد اشباع آب موثر در فضاهای خالی، و وجود مقادیر بیشتر از هیدروکربن ذخیره شده در فضاهای خالی سازند است. همچنین رخساره الکتریکی شماره سه در مقایسه با دو رخساره الکتریکی شماره یک و شماره دو، به دلیل داشتن مقادیر متوسط میانگین لاگ تخلخل موثر و میانگین لاگ اشباع آب موثر، نتیجه گرفته شده است که این

رخساره الکتریکی با کیفیت مخزنی متوسط در چاه X03 تعیین شده است. رخساره الکتریکی شماره چهار و رخساره الکتریکی شماره پنج، به دلیل داشتن مقادیر پایین میانگین لاگ تخلخل موثر و داشتن مقادیر بالا از میانگین لاگ اشباع آب موثر، دارای کیفیت مخزنی ضعیف در چاه X03 می‌باشند.

توزیع رخساره های الکتریکی تعیین شده برای هر سه چاه مورد مطالعه در شکل ۱۱ نشان داده شده است. بر اساس این ستون و جدول پارامترهای آماری به آنها (جدول ۴) در چاه X13 مشخص شده است که رخساره‌های الکتریکی شماره دو، سه و چهار دارای مقادیر بالایی از میانگین لاگ اشباع موثر هستند که به معنای پر بودن فضاهای خالی سازند با آب می‌باشد و مقادیر هیدروکربن کمتری در این رخساره‌های الکتریکی مشخص شده وجود دارد. در مقایسه با سه رخساره الکتریکی قبل، رخساره الکتریکی شماره یک دارای مقادیر میانگین لاگ تخلخل موثر بیشتری است که به معنای وجود فضاهای خالی بهم متصل بیشتری در این رخساره الکتریکی می‌باشد. در مقایسه با سه رخساره الکتریکی قبل، رخساره الکتریکی شماره یک پتانسیل مخزنی بیشتر و کیفیت مخزنی بهتری را دارا می‌باشد اما همچنان میانگین لاگ اشباع آب موثر در رخساره الکتریکی شماره یک، مقدار بالایی را نمایش می‌دهد.

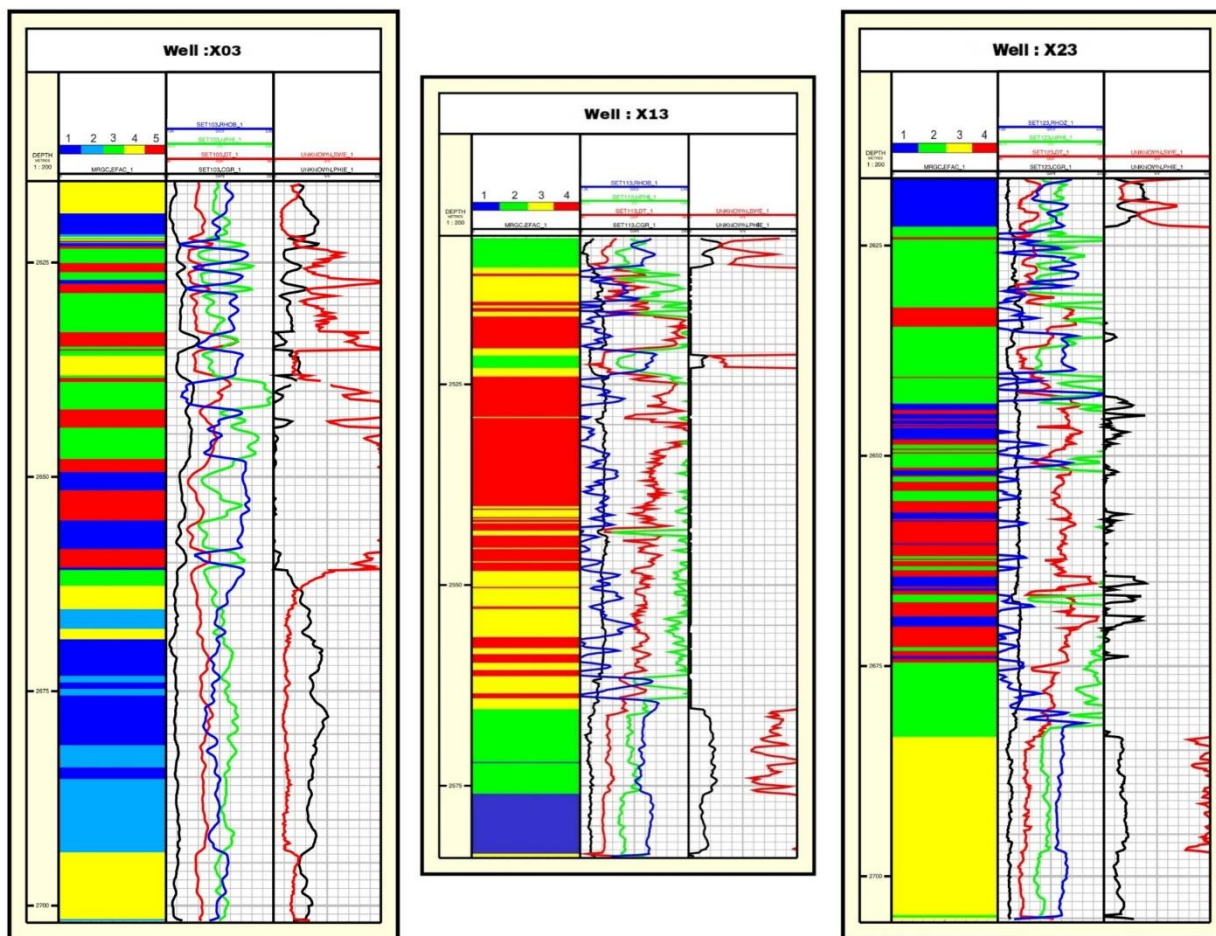
تجمع رخساره‌های الکتریکی شماره یک، شماره دو، شماره سه و شماره چهار از عمق ۶۵۵ متر تا عمق ۶۹۰ متر که با رنگ‌های آبی پر رنگ، آبی کم رنگ، سبز و زرد نمایش داده شده‌اند، در قاعده سازند ایلام در چاه X03 نشان دهنده‌ی کیفیت خوب مخزنی سازند ایلام در این ناحیه است (شکل ۱۱). همچنین در این بازه عمقی و در قاعده سازند ایلام، لاگ گاما مقادیر پایین را قرائت می‌کند و لاگ تخلخل موثر مقادیر بالایی را نشان می‌دهد. لاگ اشباع آب موثر در این ناحیه کاهش را نشان می‌دهد که نشان دهنده‌ی وجود زون مخزنی می‌باشد. از طرفی، از عمق ۶۵۵ تا عمق ۶۲۵ در افق‌های بالاتر سازند ایلام در چاه X03، شاهد تجمعی از رخساره‌های الکتریکی شماره پنج، چهار و سه هستیم که به ترتیب با رنگ‌های قرمز، زرد و سبز نشان داده شده‌اند. در این ناحیه لاگ گاما مقادیر بالاتری را نسبت به قاعده سازند ایلام قرائت می‌کند که نشان دهنده‌ی وجود عناصر رادیواکتیو بیشتر و وجود شیل بیشتر و تخلخل و تراوایی کمتر در این ناحیه از سازند ایلام است. همچنین لاگ تخلخل موثر در این ناحیه از سازند ایلام روند کاهشی را نشان می‌دهد و لاگ اشباع آب موثر مقادیر بسیار بالا و نزدیک به یک را قرائت می‌کند. همه‌ی این شواهد حاکی از کیفیت مخزنی ضعیف سازند ایلام در این بخش می‌باشند (شکل ۱۱).

از عمق ۶۲۵ متر به بالا و در قسمت فوقانی سازند ایلام در چاه X03، مجدداً شاهد تجمعی از رخساره الکتریکی شماره یک هستیم که با رنگ آبی پر رنگ نمایش داده شده است. در این ناحیه لاگ گاما مقادیر پایین تری را نسبت به بازه عمقی قبل قرائت می‌کند و لاگ تخلخل موثر یک روند افزایشی را نشان می‌دهد و لاگ اشباع آب موثر مقادیر پایینی را قرائت می‌کند که همگی نشان دهنده‌ی وجود کیفیت مخزنی خوب در قسمت فوقانی سازند ایلام در این چاه می‌باشند (شکل ۱۱).

همچنین در چاه X13، از عمق ۵۶۵ متر تا عمق ۵۸۰ متر در قاعده سازند ایلام، تجمعی از رخساره‌های الکتریکی شماره یک و دو وجود دارد که به ترتیب با رنگ‌های آبی و سبز نمایش داده شده‌اند. در این بخش، لاگ گاما مقادیر پایین را قرائت می‌کند و لاگ تخلخل موثر روند افزایشی را نشان می‌دهد و شاهد کاهش در لاگ اشباع آب موثر هستیم که همگی نشان دهنده‌ی وجود زون مخزنی در این بخش از سازند ایلام می‌باشند (شکل ۱۱).

جدول ۴- اطلاعات آماری مربوط به مقادیر لاگ‌های رخصاره‌های الکتریکی چاه X03.

	لاگ‌ها	مقادیر حداقل	مقادیر حداکثر	میانگین	انحراف معیار
رخصاره الکتریکی اول	گاما	۶.۲۱	۲۴.۶۵	۱۵.۳۸	۳.۹۲
	صوتی	۷۲.۲۵	۸۳.۵۱	۷۶.۶۱	۲.۸۷
	نوترون	۰.۱۷	۰.۲۷	۰.۲۱	۰.۰۲
	چگالی	۲.۰۹	۲.۴۵	۲.۳۸	۰.۰۵
	تخلخل موثر	۰.۱۸	۰.۲۵	۰.۲۱	۰.۰۲
	اشباع آب موثر	۰.۰۷	۰.۱۹	۰.۱۱	۰.۰۲
رخصاره الکتریکی دوم	گاما	۱۷.۰۳	۲۵.۴۰	۲۱.۲۳	۲.۰۷
	صوتی	۶۸.۰۵	۷۸.۹۰	۷۴.۳۳	۲.۱۴
	نوترون	۰.۱۵	۰.۲۴	۰.۱۹	۰.۰۲
	چگالی	۲.۱۷	۲.۴۶	۲.۴۱	۰.۰۴
	تخلخل موثر	۰.۱۵	۰.۲۰	۰.۱۷	۰.۰۱
	اشباع آب موثر	۰.۰۹	۰.۲۰	۰.۱۲	۰.۰۲
رخصاره الکتریکی سوم	گاما	۷.۲۸	۲۳.۸۶	۱۶.۸۳	۳.۹۱
	صوتی	۶۳.۶۹	۷۹.۲۴	۶۹.۴۴	۲.۳۷
	نوترون	۰.۰۶	۰.۲۱	۰.۱۴	۰.۰۳
	چگالی	۲.۳۹	۲.۶۶	۲.۵۰	۰.۰۶
	تخلخل موثر	۰.۰۸	۰.۲۳	۰.۱۴	۰.۰۳
	اشباع آب موثر	۰.۰۷	۰.۲۸	۰.۱۸	۰.۰۴
رخصاره الکتریکی چهارم	گاما	۱۹.۱۹	۳۳.۱۱	۲۵.۲۴	۳.۳۶
	صوتی	۵۹.۶۷	۹۰.۷۶	۲۵.۱۲	۴.۲۱
	نوترون	۰.۰۳	۰.۱۸	۰.۰۸	۰.۰۳
	چگالی	۲.۴۴	۲.۷۱	۲.۶۲	۰.۰۵
	تخلخل موثر	۰.۰۰	۰.۰۹	۰.۰۴	۰.۰۴
	اشباع آب موثر	۰.۲۰	۱.۰	۰.۶۵	۰.۲۹
رخصاره الکتریکی پنجم	گاما	۲۱.۴۶	۶۱.۶۰	۳۹.۹۷	۸.۱۸
	صوتی	۶۴.۴۲	۱۰۶.۷۹	۸۰.۲۸	۹.۲۱
	نوترون	۰.۱۱	۰.۴۵	۰.۲۶	۰.۰۹
	چگالی	۲.۰۸	۲.۷۳	۲.۴۲	۰.۱۹
	تخلخل موثر	۰.۰۰	۰.۲۰	۰.۰۳	۰.۰۴
	اشباع آب موثر	۰.۲۱	۱.۰۰	۰.۸۲	۰.۲۴



شکل ۱۱- ستون‌های توزیع رخساره‌های الکتریکی و مقادیر لاگ‌های پتروفیزیکی سازند ایلام در چاه‌های مورد مطالعه.

از عمق ۵۶۵ متر تا ۵۲۵ متر، تجمعی از رخساره‌های الکتریکی شماره سه و چهار وجود دارد که به ترتیب با رنگ‌های زرد و قرمز نمایش داده شده‌اند. در این بازه عمقی، لاگ گاما مقادیر بالایی را قرائت می‌کند و مقدار لاگ تخلخل موثر صفر می‌باشد و لاگ اشباع آب موثر مقادیر نزدیک به یک را نشان می‌دهد که به معنای نبودن فضاهای متخلخل بهم مرتبط و نداشتن ذخیره‌ای از هیدروکربن در این یخس از سازند ایلام می‌باشد (شکل ۱۱).

از عمق ۵۲۵ متر تا عمق ۵۲۰ متر تجمع رخساره‌های الکتریکی شماره دو و سه را داریم که با رنگ‌های سبز و زرد نمایش داده شده‌اند. در این بخش، لاگ گاما و لاگ اشباع آب موثر روند کاهشی آشکاری را نمایش می‌دهند و لاگ تخلخل موثر دارای روند افزایشی می‌باشد که نشان دهنده وجود کیفیت مخزنی خوب در این بازه عمقی می‌باشد. از عمق ۵۲۰ متر تا عمق ۵۱۲ متر، مجدداً تجمع رخساره‌های الکتریکی شماره سه و چهار با رنگ‌های زرد و قرمز در این بخش از سازند ایلام وجود دارد که بر اساس وجود مقادیر بالا از لاگ گاما و مقادیر نزدیک به یک از لاگ اشباع آب موثر و قرائت پایین لاگ تخلخل موثر، می‌توان نتیجه گرفت که در این بازه عمقی سازند ایلام از کیفیت مخزنی ضعیف برخوردار است (شکل ۱۱). از عمق ۵۱۲ متر به بالا و در قسمت فوقانی سازند ایلام تجمعی از رخساره الکتریکی شماره دو با رنگ سبز وجود دارد. همچنین در این بخش مجدداً شاهد روند کاهشی در قرائت لاگ گاما و لاگ اشباع آب موثر هستیم و لاگ تخلخل موثر مقادیر بالاتری را نسبت

با بازه عمقی قبل نمایش می‌دهد که به واسطه این عوامل می‌توان تخمین زد که در قسمت فوقانی سازند ایلام در چاه X13، کیفیت مخزنی بهتر شده است (شکل ۱۱).

در چاه X23، از عمق ۶۸۰ متر تا ۷۰۵ متر تجمعی از رخساره الکتریکی شماره سه وجود دارد که با رنگ زرد نشان داده شده است. در قاعده سازند ایلام، لاگ گاما نسبت به دیگر بازه‌های عمقی در این چاه مقادیر پایین تری را قرائت می‌کند و لاگ تخلخل موثر مقادیر بالاتری را نشان می‌دهد و چند روند کاهشی در لاگ اشباع آب موثر نشان داده شده است که به معنای وجود فضاهای خالی بهم مرتبط بیشتری در این بازه عمقی از سازند ایلام است و کیفیت مخزنی نسبت به بازه‌های عمقی دیگر تا حدودی بهتر می‌باشد. از عمق ۶۷۵ متر تا عمق ۶۲۲ متر، تجمعی از رخساره‌های الکتریکی شماره یک، دو و چهار وجود دارد که به ترتیب با رنگ‌های آبی، سبز و قرمز نمایش داده شده‌اند (شکل ۱۱).

در قسمت‌هایی از این بازه عمقی که رخساره الکتریکی شماره یک وجود دارد شاهد روندهای افزایشی در لاگ تخلخل موثر هستیم که به معنای وجود فضاهای متخلخل به هم مرتبط و وجود پتانسیل مخزنی در این رخساره الکتریکی می‌باشد. اما به طور کلی در این بازه عمقی لاگ گاما مقادیر بالاتری را نسبت به بازه‌ی عمقی قبل قرائت می‌کند و مقدار لاگ اشباع آب موثر یک می‌باشد که به معنای وجود آب در فضاهای خالی و نبود هیدروکربن است. به طور کلی، این بخش از سازند ایلام دارای کیفیت ضعیف مخزنی می‌باشد اما از عمق ۶۲۲ متر به بالا و در قسمت فوقانی این سازند، تجمعی از رخساره الکتریکی شماره یک وجود دارد که با رنگ آبی نشان داده شده است (شکل ۱۰).

در این بازه عمقی، لاگ گاما یک روند کاهشی را نشان می‌دهد که به معنای وجود کانی‌های رسی و شیل کمتر در قسمت فوقانی سازند ایلام می‌باشد. لاگ تخلخل موثر روندهای افزایشی را نمایش می‌دهد و در کنار آن شاهد قرائت‌های پایین از لاگ اشباع آب موثر هستیم که نشان دهنده‌ی افزایش کیفیت مخزنی قسمت فوقانی سازند ایلام در چاه X23 می‌باشند (شکل ۱۱).

۵- تفسیر نتایج و بحث

۵-۱- مدل رسوبی

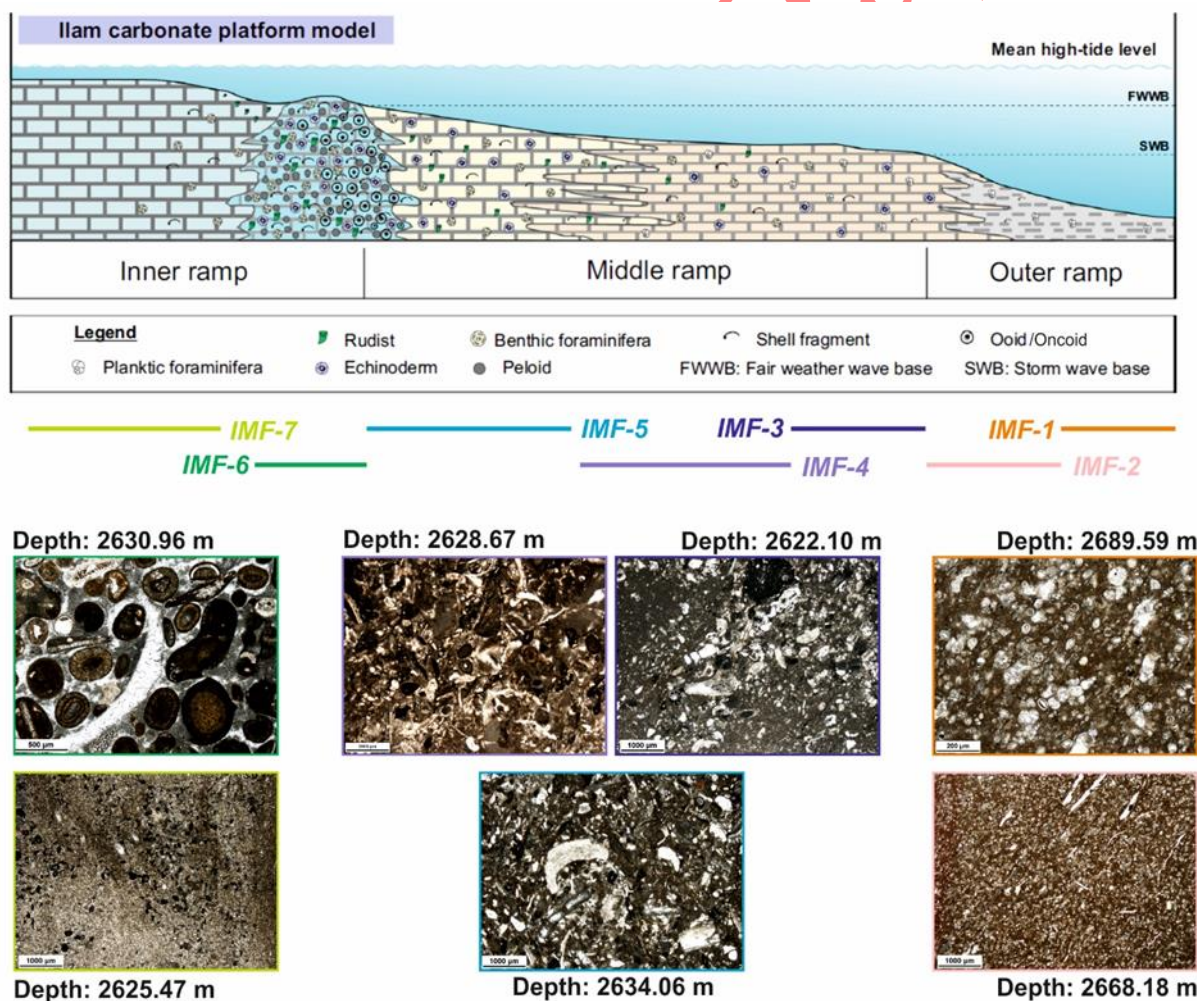
نتایج تحلیل رخساره سازند ایلام در چاه مورد مطالعه میدان مورد مطالعه با مطالعات قبلی ادغام شده است تا مدل رسوبی برای این سازند در چاه مورد مطالعه پیشنهاد شود. در این مدل، رخساره‌های رسوبی سازند ایلام به سه زیر محیط رسوبی شامل رمپ داخلی، رمپ میانی و رمپ بیرونی تقسیم می‌شوند (شکل ۱۲). رخساره‌های رمپ داخلی شامل رخساره‌های گل غالب در سیستم لاگون (IMF-7) و رخساره‌های دانه پستیان از مجموعه‌های پر انرژی شول هستند (IMF-6). رخساره‌های رمپ میانی عمدتاً از رخساره‌های گل غالب تا دانه پستیان تشکیل شده‌اند که در آن‌ها ترکیبی از فسیل‌های بنتیک و پلانکتیک ثبت شده است (IMF-3 و IMF-5). رخساره‌های رمپ بیرونی از رخساره‌های گل غالب با مجموعه‌های اسکلتی پلانکتونیک تشکیل شده‌اند. آن‌ها شامل IMF-1 و IMF-2 می‌باشند (شکل ۱۲).

در طول دوره‌ی کرتاسه فوقانی، لبه شمال شرقی صفحه‌ی عربی (شامل منطقه‌ی زاگرس در ایران) در مدار ۵-۱۰ درجه‌ی نیمکره‌ی شمالی و در نزدیکی استوا قرار داشته است. در این منطقه، در طول دوره‌ی سنومانین - تورونین، تغییرات قابل توجهی در رژیم تکتونیکی رخ داده است [۴۹]. این امر منجر به تغییرات قابل توجهی در سیستم رسوبی منطقه‌ای و پلتفرم‌های کربناته این

زمان شده است. در نتیجه، رخساره‌های رسوبی سازند ایلام بر روی توپوگرافی‌های دیرینه پلتفرم سروک که عمدتاً تحت تأثیر حرکات زمین‌ساختی قرار گرفته‌اند، رسوب کرده است [۱۲].

در زمان کنیاسین-سانتوینین منطقه دشت آبادان و بخش‌هایی از خاورمیانه، توسط پلتفرم‌های کربناته کم عمق پوشیده شده بودند که سازند ایلام هم در همین پلتفرم‌ها نهشته شده است. در منطقه زاگرس، توالی‌های رسوبی کرتاسه بالایی با تغییرات قابل توجهی در رخساره‌ها و ضخامت‌ها مشخص می‌شوند [۲۳]. این تغییرات مربوط به رسوب‌گذاری در حوضه فورلند در امتداد حاشیه شمال شرقی صفحه عربی است که به طور قابل توجهی توسط اثرات ترکیبی فعالیت‌های تکتونیکی، نوسانات یوستازیک سطح دریا و شرایط اقلیم دیرینه کنترل می‌شوند [۱۳].

به طور خلاصه، بر اساس تلفیق نتایج مطالعه‌ی حاضر با دانشته‌های بدست آمده از مطالعات پیشین می‌توان چنین نتیجه گرفت که کربنات‌های کرتاسه بالایی در نواحی جنوب و جنوب غربی ایران بر روی رمپ‌های کربناتی نهشته شده‌اند [۲۳ و ۱۵۰].



شکل ۱۲- مدل رسوبی پیشنهادی برای سازند ایلام در چاه مورد مطالعه. تصاویر میکروسکوپی‌های نماینده نیز برای ریز رخساره‌های شناسایی شده (IMF-1 تا IMF-7) نشان داده شده است.

۵-۲- توالی پاراژنزی

تاریخچه دیاژن سازند ایلام شامل دیاژن دریایی (میکرایتی شدن، زیست آشفستگی و سیمانی شدن هم ضخامت)، یک مرحله دیاژن جوی جزئی (انحلال و سیمانی شدن) و دیاژن گسترده دفنی کم عمق تا عمیق (فشردگی مکانیکی و شیمیایی، دولومیتی شدن، سیمانی شدن کلسیتی و تبلور مجدد) است. سازند ایلام در مقایسه با سازند سروک، فرآیندهای دیاژنزی متفاوت و ساده‌تری را تجربه کرده است. این تفاوت، عمدتاً ناشی از فقدان سطوح رخنمون دیرینه و ویژگی‌های دیاژنتیکی مرتبط با آن‌ها (مانند انحلال گسترده جوی، برشی شدن و سیمانی شدن جوی) در سازند ایلام است [۵۰].

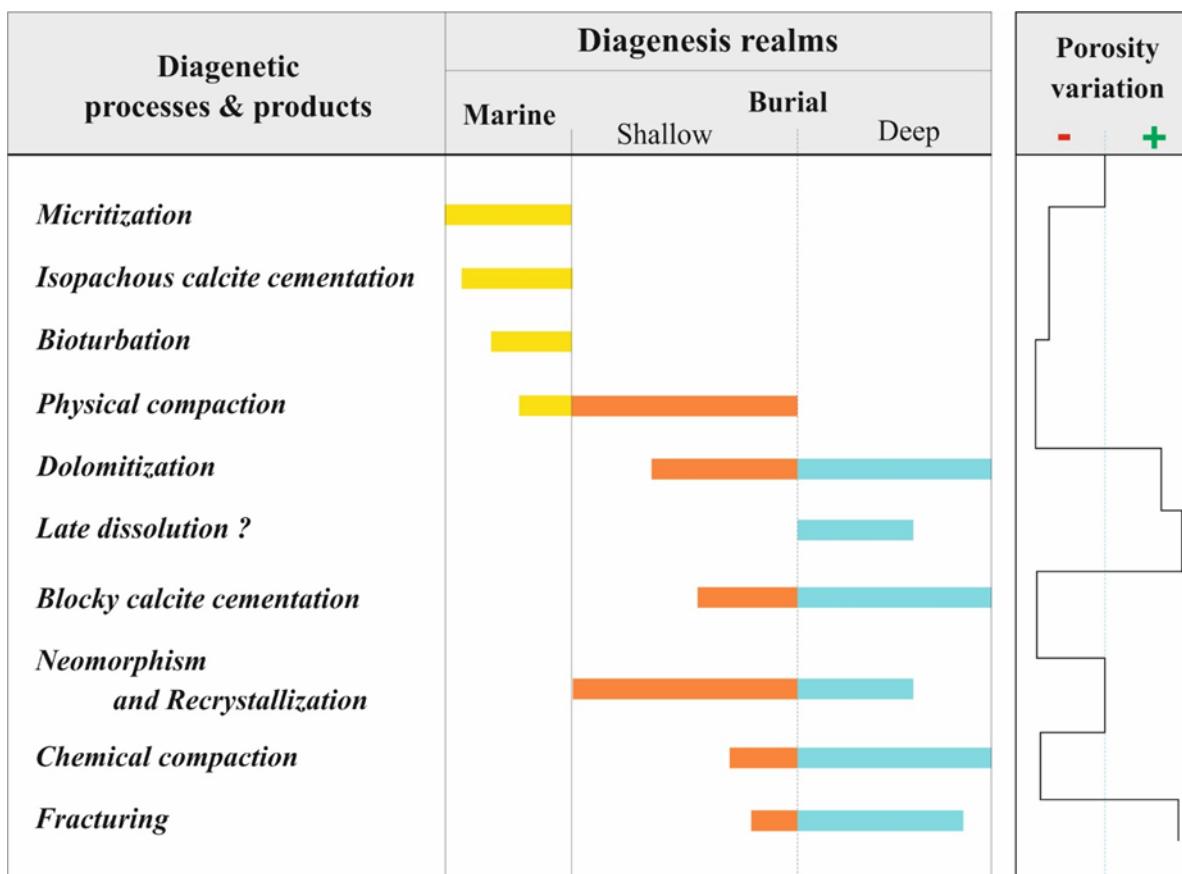
در مطالعه‌ی حاضر، توالی پاراژنتیکی فرآیندهای دیاژنتیکی سازند ایلام را می‌توان در دو مرحله خلاصه کرد (شکل ۱۳).

مرحله ۱: دیاژن دریایی

رسوبگذاری سازند ایلام در محیط‌های کم عمق تا عمیق دریایی یک پلتفرم کربناته از نوع رمپ در طول کنیاسین - سانتونین رخ داده است. در همین قلمرو دریایی، تغییرات دیاژنتیکی مهمی مانند زیست آشفستگی، میکرایتی شدن و سیمانی شدن دریایی (هم ضخامت) رخساره‌های سازند ایلام را تحت تاثیر قرار داده‌اند. مقداری فشردگی مکانیکی نیز بلافاصله پس از رسوبگذاری در محیط دریایی رخ داده است (شکل ۱۳).

مرحله ۲: دیاژن دفن کم عمق تا عمیق

پس از رسوبگذاری، غرق شدن پلتفرم کربناته منجر به رسوب سازندهای بعدی بر روی سازند ایلام شده است. این امر باعث شده است که سازند ایلام تغییرات دیاژنتیکی مختلفی را در قلمروهای تدفینی کم عمق تا عمیق تجربه کند. این فرآیندهای دیاژنزی شامل تراکم مکانیکی و شیمیایی، سیمانی شدن کلسیتی بلوکی، دولومیتی شدن و تبلور مجدد می‌باشند (شکل ۱۳). همچنین شواهد انحلال میکروسکوپی در رخساره‌های دریای باز (مادستون و وکستون‌های حاوی الگوستژینا و فرامینیفرای پلانکتون) نیز به صورت تخلخل‌های میکروسکوپی قالبی و حفره‌ای مشاهده می‌شوند که به نظر می‌رسد در اثر انحلال مزوژنتیک در طی دیاژن تدفینی و توسط سیالات زیرسطحی ایجاد شده باشند. البته این تفسیر می‌بایست توسط مطالعات تکمیلی ژئوشیمیایی مورد ارزیابی دقیق‌تر قرار گیرد. در مطالعات قبلی نیز چنین انحلال‌هایی را در سازند ایلام به قلمرو دفنی نسبت داده‌اند [۱۱].



شکل ۱۳- توالی پاراژنزی فرآیندهای دیاژنزی شناسایی شده در سازند ایلام در چاه مورد مطالعه.

۵-۳- تطابق مغزه - لاگ

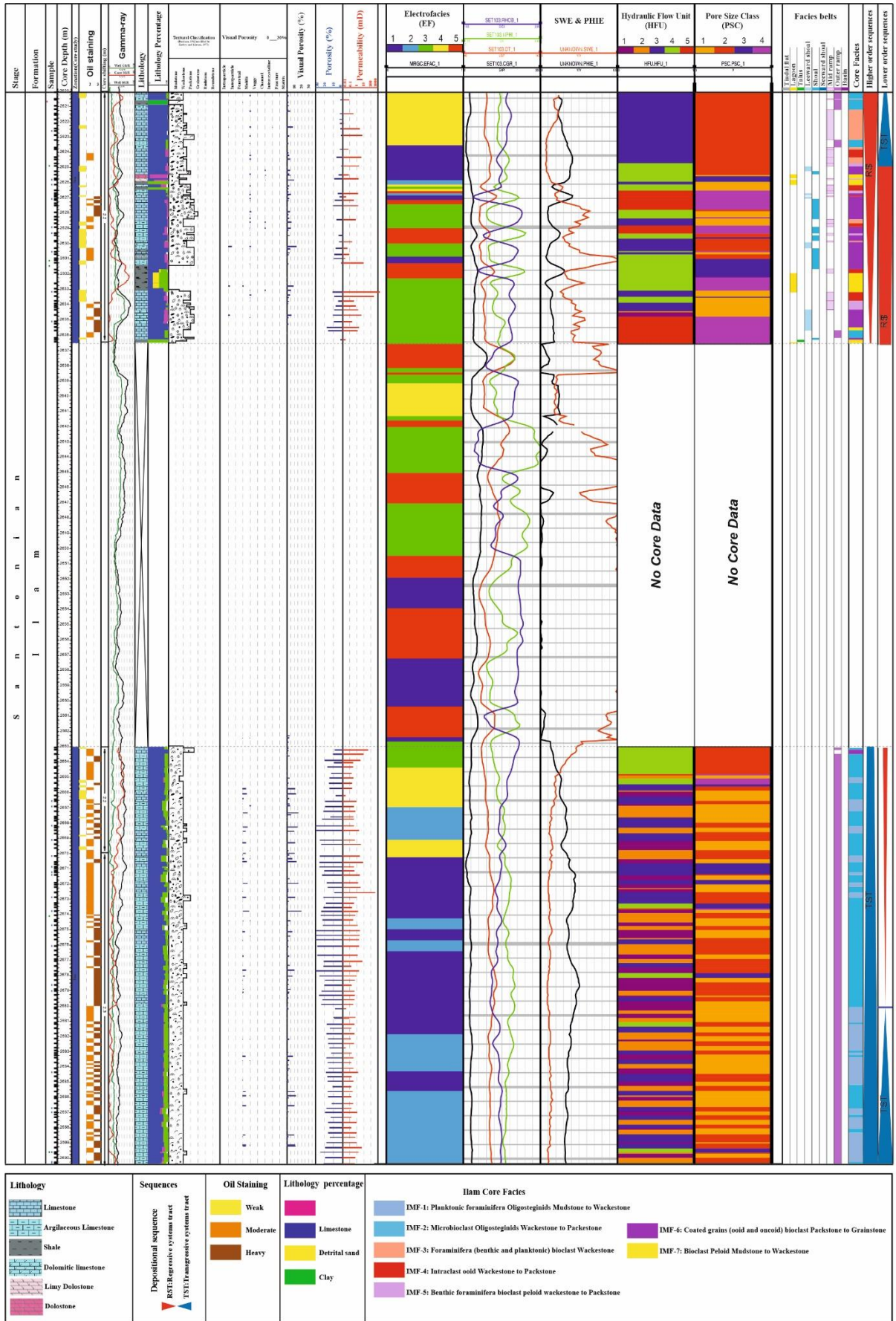
تطابق نتایج مطالعات حاصل از مغزه های حفاری و مقاطع نازک میکروسکوپی با تحلیل های بدست آمده از رخساره های الکتریکی در چاه X03 به منظور برقراری ارتباط بین داده های مغزه و لاگ و ارزیابی دقیق تر کیفیت مخزنی در سازند ایلام مورد استفاده قرار گرفته است. به همین منظور، ستون جامع مخزنی سازند ایلام در این چاه در شکل ۱۴ ارائه شده است. در این ستون، نتایج مطالعات رسوب شناسی در کنار واحدهای جریانی، کلاس های اندازه حفرات و رخساره های الکتریکی نمایش داده شده اند. همان گونه که در این ستون مشخص است، رخساره الکتریکی شماره یک بیشتر با واحدهای جریانی هیدرولیکی یک و دو که به همراه است. همچنین، این رخساره الکتریکی با کلاس اندازه حفرات شماره یک و دو همراه است. رخساره الکتریکی شماره یک بیشتر در قاعده سازند ایلام و در کمربند رخساره ای دریای باز و رمپ خارجی گسترش دارد که با بخش ابتدایی سیستم ترک ت پیشرونده از سکانس رده سوم سازند ایلام تطابق دارد. با توجه به محاسبات و داده های آماری، بالا بودن میانگین تخلخل و پایین بودن میانگین تراوایی به معنای غلبه ی تخلخل های میکروسکوپی (microporosity) در این بخش از سازند ایلام می باشد که ارتباط کمی با یکدیگر دارند (شکل ۱۴).

رخساره الکتریکی شماره دو عمدتاً با واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی دو و سه، و کلاس‌های اندازه حفرات شماره یک و دو همراه است. این رخساره الکتریکی نیز همانند رخساره الکتریکی شماره یک بیشتر در قاعده سازند ایلام و در کمربند رخساره‌ای دریای باز و رمپ خارجی گسترش دارد که با سیستم ترک‌پیشرونده از سکانس رده سوم سازند ایلام تطابق دارد. رفتار مخزنی این رخساره الکتریکی نیز کاملاً مشابه با رخساره الکتریکی شماره یک می‌باشد.

رخساره الکتریکی شماره سه بیشتر با واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی شماره چهار و پنج و کلاس اندازه حفرات شماره یک و چهار همراه است. این رخساره الکتریکی دارای میانگین تخلخل متوسط تا بالا و میانگین تراوایی پایین است و در قسمت‌های میانی و بالایی سازند ایلام گسترش یافته است. محدوده گسترش رخساره الکتریکی شماره سه منطبق با سیستم پیشرونده از سکانس رده سوم سازند ایلام می‌باشد و در کمربندهای رخساره‌ای رمپ میانی و شول گسترش دارد. به طور کلی کیفیت مخزنی در این بخش از سازند ایلام ضعیف است و فاقد ظرفیت جریان بالا می‌باشد.

رخساره الکتریکی شماره چهار عموماً با واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی شماره سه و چهار و کلاس اندازه حفرات شماره یک و دو همراه است. توزیع رخساره الکتریکی شماره چهار در سازند ایلام به گونه‌ای می‌باشد که هم در قسمت پایینی و نزدیک به قاعده و هم در قسمت فوقانی این سازند گسترش دارد (شکل ۱۴). محدوده گسترش این رخساره الکتریکی منطبق با سیستم ترک‌پیشرونده از سکانس رده سوم سازند ایلام می‌باشد و در کمربندهای رخساره‌ای رمپ میانی و رمپ خارجی گسترش دارد. این رخساره الکتریکی از مقادیر بالای تخلخل و تراوایی برخوردار بوده و منعکس‌کننده افق‌های با کیفیت مخزنی مناسب در سازند ایلام می‌باشد.

رخساره الکتریکی شماره پنج غالباً با واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی شماره چهار و پنج و کلاس اندازه حفرات شماره سه و چهار همراه است. در این رخساره الکتریکی، میانگین تخلخل بالا و میانگین تراوایی متوسط تا پایین است. رخساره الکتریکی شماره پنج در قسمت‌های بالایی و میانی سازند ایلام گسترش یافته است که منطبق با سیستم ترک‌پیشرونده از سکانس رده سوم سازند ایلام می‌باشد و در کمربندهای رخساره‌ای رمپ میانی و شول گسترش دارد. به طور کلی کیفیت مخزنی در این بخش از سازند ایلام متوسط تا خوب می‌باشد.



شکل ۱۴- ستون جامع مخزنی سازند ایلام در چاه X03 شامل داده‌های لاگ و مغزه و ارتباط آن‌ها با سطوح سکansı.

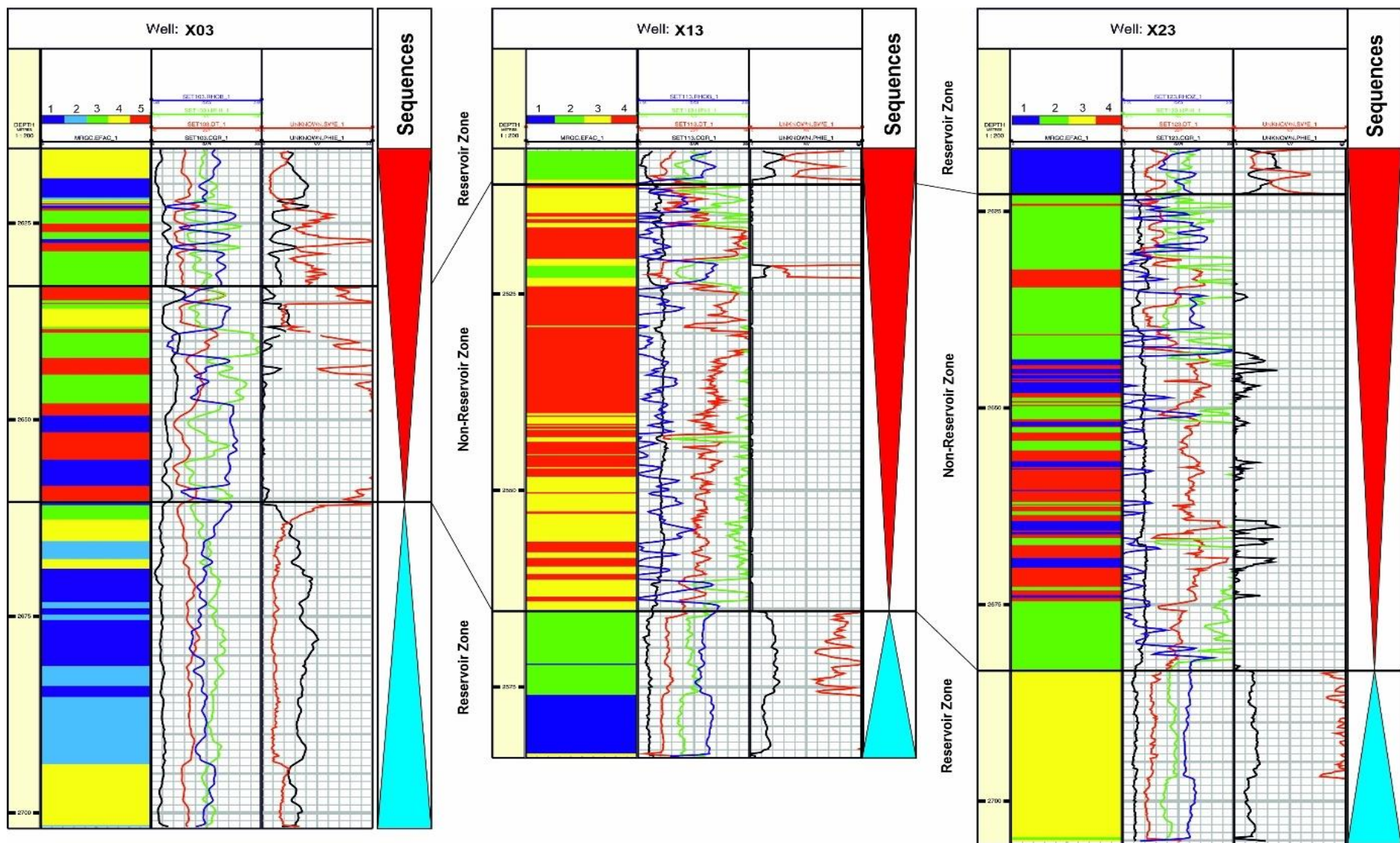
۵-۴- کیفیت مخزنی در چارچوب چینه نگاری سکانسی

با توجه به شکل ۱۵، تطابق سه چاه مورد مطالعه بر مبنای داده‌های چاه پیمایی و بر اساس رخساره‌های الکتریکی در چارچوب سکانس های رسوبی سازند ایلام انجام شده است. بر اساس مطالعات صورت گرفته و با در نظر گرفتن توزیع چینه شناسی رخساره های الکتریکی در سازند ایلام، این سازند به سه زون اصلی تفکیک شده است: بخش پایینی سازند ایلام یک زون مخزنی می‌باشد و با سیستم ترکت پیشرونده از سکانس رده سوم سازند ایلام مطابقت دارد. این زون مخزنی در اغلب میداین دشت آبادان قابل مشاهده است [۶]. قسمت میانی سازند ایلام با گسترش یک زون غیر مخزنی مشخص شده است و در قسمت فوقانی مجدداً کیفیت مخزنی افزایش می‌یابد و شاهد تفکیک زون مخزنی با پتانسیل بالا برای تولید هیدروکربن هستیم (شکل ۱۵).

با توجه به ستون رسوب شناسی - مخزنی سازند ایلام (شکل ۱۴)، می‌توان نتیجه گرفت که قاعده سازند ایلام عموماً دارای رخساره‌های رمپ میانی، رمپ خارجی و رخساره‌های دریای باز است که حاوی تخلخل‌های میکروسکوپی بسیار زیاد می‌باشند که تنها در مقیاس تصاویر میکروسکوپ الکترونی قابل مشاهده می‌باشند. غلبه این ریزحفرات سبب بالا رفتن مقادیر تخلخل و پایین بودن تراوایی در بخش پایینی سازند ایلام شده است. اینچنین مخزنی را عموماً در زمره مخازن نامتعارف از نوع کربنات متراکم (tight carbonate) لحاظ می‌کنند که برداشت بهینه از آنها نیازمند اعمال روش‌های ازدیاد برداشت می‌باشد. در این بخش از سازند ایلام (عمق ۶۶۳ تا ۶۹۰ متر)، سیستم حفرات غالب از نوع ریزتخلخل‌های موجود در بین ذرات میکرایت، حجرات درون اسکلتی و حفرات قالبی میکروسکوپی می‌باشند که در ریزرخساره‌های گل- تا دانه غلب این بخش (میکروبايوکلست الیگوستژینا وکستون تا پکستون) گسترش یافته‌اند. همچنین در این بازه عمقی، تنها فرایند دیاژنزی غالب، انحلال در مقیاس میکروسکوپی می‌باشد. بر اساس تمام موارد ذکر شده، می‌توان نتیجه گرفت که سازند ایلام در قسمت پایینی خود دارای پتانسیل مخزنی خوب می‌باشد.

در قسمت میانی سازند ایلام (عمق ۶۳۶ تا ۶۶۳ متر) مغزه گیری صورت نگرفته است و اطلاعات رسوب شناسی مربوط به این بازه عمقی در دسترس نمی‌باشد. در بازه عمقی ۶۲۷ تا ۶۳۶ متر، داده‌های مغزه موجود می‌باشد و با توجه به اطلاعات در دسترس می‌توان نتیجه گرفت که سازند ایلام در این بخش متشکل از رخساره‌های رمپ میانی و شول بوده و ریزرخساره غالب در این بخش از نوع پکستون تا گرینستون‌های حاوی دانه‌های پوشش دار اوئید و آنکوئید و بایوکلست (IMF-7) است. نوع تخلخل غالب در این بخش شامل تخلخل‌های حفره‌ای، شکستگی و ریزتخلخل می‌باشند. فرایند دیاژنزی غالب انحلال و زیست آشفته‌گی بوده و این بازه عمقی منطبق با سیستم ترکت پسروده در سکانس رده سوم سازند ایلام می‌باشد. بر اساس تمام موارد ذکر شده و با توجه به نتایج تعیین واحدهای جریانی، می‌توان نتیجه گرفت که قسمت میانی سازند ایلام دارای کیفیت مخزنی ضعیف می‌باشد.

در قسمت فوقانی سازند ایلام (عمق ۶۲۰ تا ۶۳۰ متر)، مجدداً شاهد افزایش کیفیت مخزنی در سازند هستیم. با توجه به داده‌های موجود، سازند ایلام در قسمت فوقانی خود دارای رخساره‌های رمپ میانی، شول و در مناطق محدودتر، رخساره‌های لاگون می‌باشد. ریزرخساره غالب در این بخش از نوع وکستون حاوی فرامینفرهای بنتیک و پلانکتونیک و بایوکلست (IMF-4) می‌باشد. نوع حفرات غالب شامل تخلخل‌های حفره‌ای، شکستگی و ریزتخلخل می‌باشد. فرایندهای دیاژنزی غالب شامل آثار انحلالی خفیف و تبلور مجدد می‌باشند. قسمت فوقانی منطبق با سیستم ترکت پسروده از سکانس رده سوم سازند ایلام می‌باشد. در این بخش، شاهد بهبود کیفیت مخزنی و افزایش تخلخل و نفوذ پذیری در سازند ایلام هستیم (شکل ۱۵).



شکل ۱۵- تطابق رخساره های الکتریکی و زون های مخزنی سازند ایلام در چارچوب چینه نگاری در سه چاه مورد مطالعه از یکی از میددین واقع در ناحیه دشت آبادان.

۶- نتیجه گیری

مطالعه حاضر به ارزیابی عوامل کنترل کننده خصوصیات مخزنی سازند ایلام در تعدادی از چاه های ناحیه ی دشت آبادان پرداخته است. برای این منظور، مجموعه ای از داده های بدست آمده از مغزه های حفاری، مقاطع نازک میکروسکوپی، تصاویر میکروسکوپ الکترونی، داده های تخلخل - تراوایی و لاگ های پتروفیزیکی مورد استفاده قرار گرفته اند. مهمترین نتایج حاصل از این مطالعه در زیر ارائه شده است:

- مطالعات رخساره ای نشان داد که سازند ایلام در میدان مورد مطالعه از ۷ ریزرخساره ی رسوبی تشکیل شده است که این رخساره ها در طیفی از زیرمحیط های کم عمق (لاگون، شول) تا عمیق (رمپ میانی و رمپ بیرونی) یک پلاتفرم کریناته از نوع رمپ نهشته شده اند.
- تحلیل چینه نگاری سکansı سازند ایلام منجر به تفکیک یک سکانس رسوبی رده سوم و ۳ سکانس رسوبی رده چهارم در این سازند گردید. ماهیت مرزهای سکansı، سطوح بیشینه غرقابی و سیستم ترک های پیشرونده - پسرونده به تفصیل مورد بحث قرار گرفت.
- مطالعات پتروگرافی نشان داد که میکرایتی شدن، زیست آشفستگی، سیمانی شدن هم ضخامت، انحلال، سیمانی شدن کلسیتی هم بعد و بلوکی، سیمانی شدن رشد اضافی هم محور، فشردگی فیزیکی و شیمیایی، دولومیتی شدن، تبلور مجدد و شکستگی مهمترین فرآیندهای دیاژنزی اثرگذار بر سازند ایلام بوده اند. توالی پاراژنزی این سازند شامل گذر از قلمروهای دیاژنزی دریایی، دیاژنز خفیف جوی و قلمروهای تدفینی کم عمق تا عمیق می باشد. از میان فرآیندهای مذکور، انحلال در مقیاس میکروسکوپی، دولومیتی شدن و شکستگی بیشترین تاثیر را در بهبود خصوصیات مخزنی داشته اند.
- سیستم حفرات مخزن ایلام با استفاده از نتایج مطالعات مغزه، مقاطع نازک و تصاویر میکروسکوپ الکترونی در سه مقیاس بزرگ، متوسط و کوچک مورد ارزیابی قرار گرفت. این بررسی نشان داد که در نیمه ی پایینی سازند ایلام (منطبق بر سیستم ترک پیشرونده سکانس رده سوم)، تخلخل های میکروسکوپی بین ذرات میکرایت، حفرات درون اسکلتی داخل حجرات فرامینفرای پلانکتون و کوکولیتوفرها، تخلخل های قالبی واقع در بخش مرکزی الیگوستژین ها و تخلخل های بین بلوری بین بلورهای دولومیت و سیمان های کلسیتی مهمترین انواع حفرات را تشکیل داده اند. این حفرات همگی از نوع ریزتخلخل بوده و یک بازه ی متخلخل اما کم تراوا را بوجود آورده اند.
- تعیین گونه های سنگی مخزن، واحدهای جریانیهیدرولیکی و زون بندی مخزن با کمک روش های مرسوم نظیر استفاده از مفهوم نشانگر زون جریان و روش چینه ای تغییر یافته بر مبنای چینه نگاری لورنز انجام گرفت. توزیع چینه شناسی این واحدها و تطابق آن ها با نتایج مطالعات رسوب شناسی با هدف بدست آوردن روابط معنادار بین آن ها و ارتباط دادن خصوصیات پتروفیزیکی به فابریک سنگ صورت پذیرفت.
- رخساره های الکتریکی سازند ایلام در ۳ چاه مورد مطالعه بر مبنای لاگ های گاما، نوترون، صوتی، چگالی، اشباع آب موثر و تخلخل موثر به روش خوشه بندی چند تفکیکی گرافیکی (MRGC) تعیین گردیده و با واحدهای جریانیهی، رخساره های رسوبی و جایگاه های سکansı تطابق داده شدند.

- توزیع پارامترهای پتروفیزیکی در بخش‌های مختلف سازند ایلام بر مبنای روش‌های فوق و در چهارچوب چینه نگاری سکانسی این سازند مورد بررسی قرار گرفت. بر همین اساس، مشخص شد که بخش پایینی سازند ایلام (منطبق بر بخش ابتدایی سیستم ترکت پیشرونده سکانس رده سوم) یک بازه مخزنی با کیفیت با ظرفیت ذخیره‌ی بالا اما ظرفیت جریان‌ی پایین می‌باشد. از این منظر، این زون را می‌توان بعنوان یک زون تله‌ای و از نوع مخازن کربناته متراکم در نظر گرفت. بخش میانی سازند ایلام (منطبق بر بخش انتهایی سیستم ترکت پیشرونده و ابتدای سیستم ترکت پسرونده) بدلیل غلبه‌ی رخساره‌های گل غالب و متراکم از کیفیت مخزنی چندانی برخوردار نمی‌باشد. بخش بالایی سازند ایلام (منطبق بر بخش انتهایی سیستم ترکت پسرونده سکانس رده سوم) بدلیل گسترش رخساره‌های دانه غالب متعلق به کمر بند شول و نیز وقوع انحلال محدود جوی از کیفیت مخزنی نسبتاً بالایی برخوردار است.
- مطالعه حاضر نشان داد که تغییرات کیفیت مخزنی سازند ایلام در میدان مورد مطالعه از دشت آبادان عمدتاً تحت کنترل خصوصیات رخساره‌ای بوده و انحلال میکروسکوپی، مهمترین فرآیند دیاژنزی بهبود دهنده‌ی کیفیت مخزنی به شمار می‌رود. روندهای موجود در پارامترهای پتروفیزیکی این سازند بخوبی با خصوصیات فابریک سنگی مرتبط بوده و در چارچوب چینه نگاری سکانسی قابلیت ردیابی و مدل‌سازی دارند.

منابع

- [1]. Lucia, F. J. (2007). Depositional Textures & Petrophysics. Carbonate reservoir characterization: an integrated approach, 111-141.
- [2]. Schlager, W. (2005). Carbonate facies models. Special Publications of SEPM.
- [3]. Ahr, W. M. (2008). A new genetic classification of carbonate porosity and its application to reservoir characterization. American Association of Petroleum Geology Annual convention (Abstract), San Antonio, Apr, 20-23.
- [4]. Abdollahie Fard, I., Braathen, A., Mokhtari, M., Alavi, S. A. (2006). Interaction of the Zagros Fold–Thrust Belt and the Arabian-type, deep-seated folds in the Abadan Plain and the Dezful Embayment, SW Iran. *Petroleum Geoscience* 12 (4), 347-362.
- [5]. Mehrabi, H., Bagherpour, B., & Honarmand, J. (2020). Reservoir quality and micrite textures of microporous intervals in the Upper Cretaceous successions in the Zagros area, SW Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 192, 107292.
- [6]. Khodaei, N., Rezaee, P., Honarmand, J., & Fard, A. (2021). Controls of depositional facies and diagenetic processes on reservoir quality of the Santonian carbonate sequences (Ilam Formation) in the Abadan Plain, Iran. 36:19.
- [7]. Mehrabi, H., Yahyaei, E., Navidtalab, A., Rahimpour-Bonab, H., Abbasi, R., Omidvar, M., Assadi, M., & Honarmand, J. (2023). Depositional and diagenetic controls on reservoir properties along the shallow-marine carbonates of the Sarvak Formation, Zagros Basin: Petrographic, petrophysical, and.... *Sedimentary Geology* 454, 106457.
- [8]. Motiei, H. (1993). Stratigraphy of Zagros, Treatise on the Geology of Iran, Iranian, Ministry of Mines and Metals, Geol. Surv. of Iran with cooperation of Deputy Ministry of Project and Planning, 536p.
- [9]. Aqrabi, A. A. M. (1998). Paleozoic stratigraphy and petroleum systems of the western and southwestern deserts of Iraq. *GeoArabia* 3 (2), 229-248.

- [10]. Adabi, M. H., & Asadi Mehmandosti, E. (2008). Microfacies and geochemistry of the Ilam Formation in the Tang-E Rashid area, Izeh, S.W. Iran. 267–277.
- [11]. Ghabeishavi, A., Vaziri-Moghaddam, H., & Taheri, A. (2009). Facies distribution and sequence stratigraphy of the Coniacian–Santonian succession of the Bangestan Palaeo-high in the Bangestan Anticline, SW Iran. *Facies* 55 (2), 243-257.
- [12]. Mehrabi, H., Rahimpour-Bonab, H., Enayati-Bidgoli, A., & Navidtalab, A. (2014). Depositional environment and sequence stratigraphy of the Upper Cretaceous Ilam Formation in central and southern parts of the Dezful Embayment, SW Iran. *Carbonates and Evaporites* 29, 263-278.
- [13]. Bagherpour, B., Mehrabi, H., Faghieh, A., Vaziri-Moghaddam, H., & Omidvar, M. (2021). Tectono-eustatic controls on depositional setting and spatial facies distribution of Coniacian–Santonian sequences of the Zagros Basin in Fars area, S. Iran. *Marine and Petroleum Geology* 129, 105072.
- [14]. حسنی گیو، م.، ابرقانی آ. (۱۳۸۹). بررسی نقش رخساره ها و نوع تخلخل در کنترل کیفیت مخزنی سازند ایلام در یکی از میادین نفتی ناحیه دزفول شمالی، دشت آبادان. *مجله علوم دانشگاه تهران* ۳۵(۳)، ۵۳-۶۲.
- [15]. خانجانی م.، موسوی حرمی ر.، رحیم پور بناب ح.، کمالی م.، چهارزی ع. (۱۳۹۴). تعیین لایه‌های مخزنی سازند ایلام براساس مطالعات رخساره‌ای و لرزه‌ای در جنوب شرقی خلیج فارس. *پژوهش نفت* ۲۵(۸۵)، ۱۱۳-۱۲۷.
- [16]. عباسپور ا.، مهرابی ح.، رحیم پور بناب ح.، زمان نژاد ا. (۱۴۰۱). بازسازی محیط رسوبی، تاریخچه دیاژنزی و کیفیت مخزنی سازند ایلام در یکی از میادین نفتی ناحیه لرستان، باختر ایران. *رسوب شناسی کاربردی* ۱۰(۱۹)، ۱۳-۳۴.
- [17]. سپیانی ح.، محبوبی ا.، موسوی حرمی ر.، محمودی قرانی م.ح.، غفرانی ا. (۱۳۸۹). فرایندهای دیاژنزی و تأثیر آن بر کیفیت مخزنی سازند ایلام، میدان نفتی ماله کوه، شمال باختری اندیمشک. *پژوهش نفت* ۲۰(۶۲)، ۶۵-۸۳.
- [18]. خدایی ن.، رضایی پ.، هنرمند ج.، عبدالمهدی فرد ا. (۱۳۹۹). تحلیل ریزرخساره‌ها، محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازند ایلام (کنیاسین؟- سانتونین) در شمال باختری دشت آبادان. *پژوهش های چینه نگاری و رسوب شناسی* ۳۶(۴)، ۱۰۹-۱۳۴.
- [19]. اسدی مهماندوستی ا.، عالیوند س.، قلاوند ه.، رستمی ع. (۱۳۹۷). بررسی پتروفیزیکی مخزن کربناته ایلام با استفاده از روش تشدید مغناطیس هسته‌ای (NMR) و داده‌های مغزه در یکی از میادین نفتی دشت آبادان. *فصلنامه علمی علوم زمین* ۲۷(۱۰۷)، ۲۴۱-۲۵۲.
- [20]. Mehrabi, H., Navidtalab, A., Enayati, A., & Bagherpour, B. (2022). Age, duration, and geochemical signatures of paleo-exposure events in Cenomanian–Santonian sequences (Sarvak and Ilam formations) in SW Iran: Insights from carbon and strontium. *Sedimentary Geology* 434, 106136.
- [21]. Tavakoli, V. (2020). Microscopic heterogeneity. *Carbonate Reservoir Heterogeneity: Overcoming the Challenges*, 17-51.
- [22]. Sharland, P. R., Archer, R., Casey, D. M., Davies, R. B., Hall, S. H., Heward, A. P., Horbury, A. D., & Simmons, M. D. (2001). Arabian Plate sequence stratigraphy. *GeoArabia, Special Publication*, 1-371.
- [23]. Piryaei, A., Reijmer, J. J. G., Borgomano, J., & Van Buchem, F. S. P. (2010). A transition from a passive to a tectonically active margin and foreland basin development in the Late Cretaceous of the Fars Area and Offshore (Zagros). *Second EAGE Workshop on Arabian Plate Geology*, cp-153-00026.
- [24]. Sharp, I., Gillespie, P., Morsalnezhad, D., Taberner, C., Karpuz, R., Vergés, J., Horbury, A., Pickard, N., Garland, J., & Hunt, D. (2010). Stratigraphic architecture and fracture-controlled dolomitization of the Cretaceous Khami and Bangestan groups: an outcrop case study, Zagros Mountains, Iran. *Geological Society, London, Special Publications* 329 (1), 343-396.
- [25]. Sepehr, M., & Cosgrove, J. W. (2004). Structural framework of the Zagros fold–thrust belt, Iran. *Marine and Petroleum geology* 21 (7), 829-843.

- [26]. Alavi, M. (2007). Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American Journal of science* 307 (9), 1064-1095.
- [27]. Piryaei, A., Reijmer, J. J. G., Borgomano, J., & Van Buchem, F. S. P. (2011). Late Cretaceous tectonic and sedimentary evolution of the Bandar Abbas area, Fars region, southern Iran. *Journal of Petroleum Geology* 34 (2), 157.
- [28]. Berberian, M. (1995). Master “blind” thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics* 241 (3-4), 193-224.
- [29]. Sattarzadeh, Cosgrove, J. W., & Vita-Finzi, C. (1999). The interplay of faulting and folding during the evolution of the Zagros deformation belt. Geological Society, London, Special Publications 169 (1), 187-196.
- [30]. Nairn, A. E. M., & Alsharhan, A. S. (1997). Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East. Elsevier.
- [31]. Sepehr, Cosgrove, J., & Moieni, M. (2006). The impact of cover rock rheology on the style of folding in the Zagros fold-thrust belt. *Tectonophysics* 427 (1-4), 265-281.
- [32]. Yao, J., Hu, R., Wang, C., & Yang, Y. (2015). Multiscale pore structure analysis in carbonate rocks. *International Journal for Multiscale Computational Engineering* 13 (1).
- [33]. Alsharhan, A. S. (2014). Petroleum systems in the Middle East. Geological Society, London, Special Publications 392 (1), 361-408.
- [34]. Heydari, E. (2008). Tectonics versus eustatic control on supersequences of the Zagros Mountains of Iran. *Tectonophysics* 451 (1-4), 56-70.
- [35]. Sepehr, M., & Cosgrove, J. W. (2005). Role of the Kazerun Fault Zone in the formation and deformation of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. *Tectonics* 24 (5).
- [36]. Van Buchem, F. S. P., Simmons, M. D., Droste, H. J., & Davies, R. B. (2011). Late Aptian to Turonian stratigraphy of the eastern Arabian Plate—depositional sequences and lithostratigraphic nomenclature. *Petroleum Geoscience* 17 (3), 211-222.
- [37]. Mehrabi, H., & Rahimpour-Bonab, H. (2014). Paleoclimate and tectonic controls on the depositional and diagenetic history of the Cenomanian—early Turonian carbonate reservoirs, Dezful Embayment, SW Iran. *Facies* 60 (1), 147-167.
- [38]. James, J. A., & Wynd, J. G. (1965). Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. *AAPG bulletin* 49 (12), 2182-2245.
- [39]. Dunham, R. J. (1969). Early vadose silt in Townsend mound (reef), New Mexico. Special Publications of SEPM.
- [40]. Embry, A.F., & Klovan, J.E. (1971) A Late Devonian Reef Tract on Northeastern Banks Island. *Canadian Petroleum Geology*, 19, 730-781.
- [41]. Flügel, E., & Munnecke, A. (2010). *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application*. Springer 976, 2004.
- [42]. Embry, A.F. (2002). Transgressive-Regressive (T-R) Sequence Stratigraphy. 22nd Annual Gulf Coast Section, SEPM Foundation Bon F. Perkins Research Conference, p. 151-172.
- [43]. Amaefule, J. O., Altunbay, M., Tiab D., Kersey, D. G., & Keelan, D. K. (1993). Enhanced reservoir description: using core and log data to identify hydraulic (flow) units and predict permeability in uncored intervals/wells. SPE Annual Technical Conference and Exhibition?, SPE-26436-MS.

- [44]. Gunter, G. W., Finneran, J. M., Hartmann, D. J., & Miller, J. D. (1997). Early determination of reservoir flow units using an integrated petrophysical method. SPE Annual Technical Conference and Exhibition. SPE-38679-MS.
- [45]. Gomes, J. S., Ribeiro, M. T., Strohmenger, C. J., Negahban, S., & Kalam, M. Z. (2008). Carbonate Reservoir Rock Typing – The Link between Geology and SCAL. All Days.
- [46]. Mehrabi, H., Ranjbar-Karami, R., & Roshani-Nejad, M. (2019). Reservoir rock typing and zonation in sequence stratigraphic framework of the Cretaceous Dariyan Formation, Persian Gulf. Carbonates and Evaporites, 34(4), 1833–1853.
- [47]. Ye, S. J., & Rabiller, F. (2005). Automated electrofacies ordering. Petrophysics-The SPWLA Journal of Formation Evaluation and Reservoir Description 46 (06).
- [48]. Choquette, P. W., & Pray, L. C. (1970). Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. AAPG bulletin 54 (2), 207-250.
- [49]. Madanipour, S., Najafi, M., Nozaem, R., Vergés, J., Yassaghi, A., Heydari, I., Khodaparast, S., Soudmand, Z., & Aghajari, L. (2024). The Arabia – Eurasia collision zone in Iran: tectonostratigraphic and structural synthesis. Journal of Petroleum Geology, 47(2), 123–171.
- [50]. Mehrabi, H., Rahimpour-Bonab, H., Hajikazemi, E., & Jamalain, A. (2015). Controls on depositional facies in Upper Cretaceous carbonate reservoirs in the Zagros area and the Persian Gulf, Iran. Facies 61, 1-24.

Accepted Article