

فرایندهای دیاژنز و تأثیر آن بر کیفیت مخزنی سازند ایلام، میدان نفتی ماله کوه، شمال باختری اندیمشک

پژوهش‌نفت

سال بیستم

شماره ۶۲

صفحه ۸۳-۶۵، ۱۳۸۹

حشمت‌اله سپیانی^۱، اسداله محبوبی^{۲*}، رضا موسوی حرمی^۱، محمدحسین محمودی قرایی^۱ و احسان غفرانی^۲

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- شرکت نفت مناطق مرکزی ایران

amahboobi2001@yahoo.com

چکیده

سازند ایلام سنگ مخزن میدان نفتی ماله کوه در زون چین خورده - رورانده زاگرس در منطقه لرستان واقع است. بیشتر رخساره‌های این سازند گل‌پشتیان و از مادستون تا وکستون در تغییر است. از مهمترین فرایندهای دیاژنز در این سازند می‌توان به فشردگی (مکانیکی و شیمیایی)، نئومورفیسم افزایشی، انواع جانیشینی (پیریتی شدن، دولومیتی شدن، سیلیسی شدن و گلوکونیتی شدن)، سیمانی شدن، چند نسل شکستگی‌ها و انحلال تدفینی اشاره کرد. فراوان‌ترین انواع تخلخل‌ها از نوع قالبی، حفره‌ای، استیلولیتی، بین‌بلوری و درون‌دانه‌ای است. توالی پاراژنتیکی سازند ایلام نشان‌دهنده تأثیر مجموعه‌ای از فرایندهای دیاژنزی هم‌زمان با رسوب‌گذاری در کف دریا و پس از رسوب‌گذاری در طی دفن کم عمق تا عمیق و بالا آمدگی است. ترسیم نمودار داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه برای انواع رخساره‌ها در این میدان نشان می‌دهد که رخساره‌ها از کیفیت مخزنی پایینی برخوردار بوده و فرایندهای دیاژنزی تأثیر مهمی در افزایش کیفیت مخزنی نداشته و تنها در برخی از موارد تشکیل استیلولیت و شکستگی موجب افزایش تراوایی شده است.

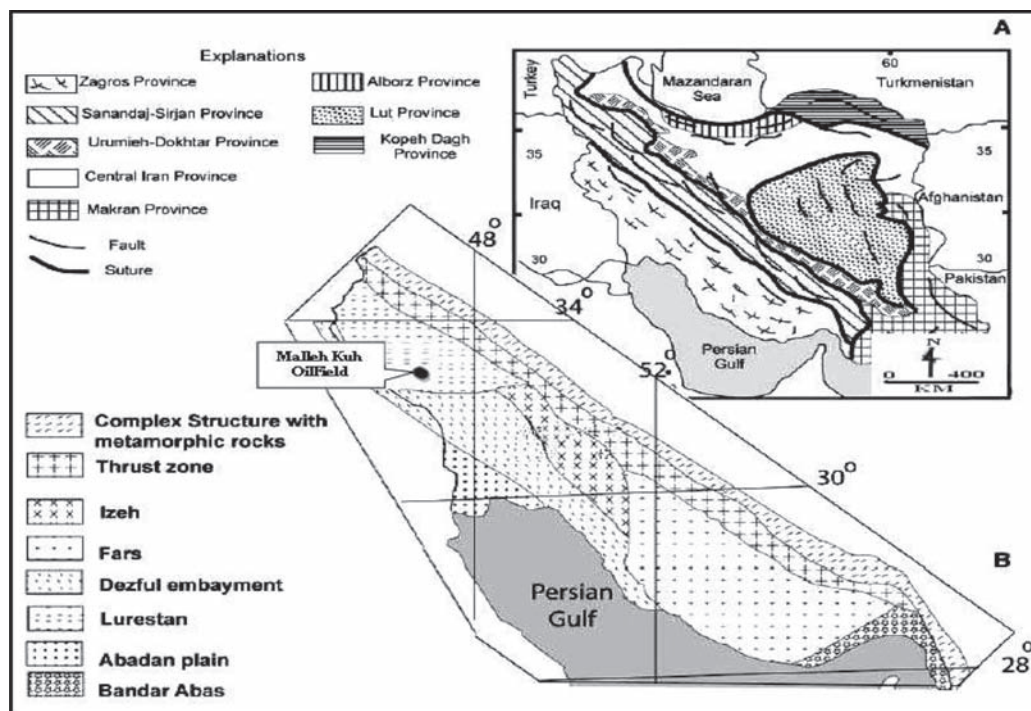
واژه‌های کلیدی: سازند ایلام، میدان نفتی ماله کوه، فرایندهای دیاژنز، توالی پاراژنتیکی، تخلخل، تراوایی

مقدمه

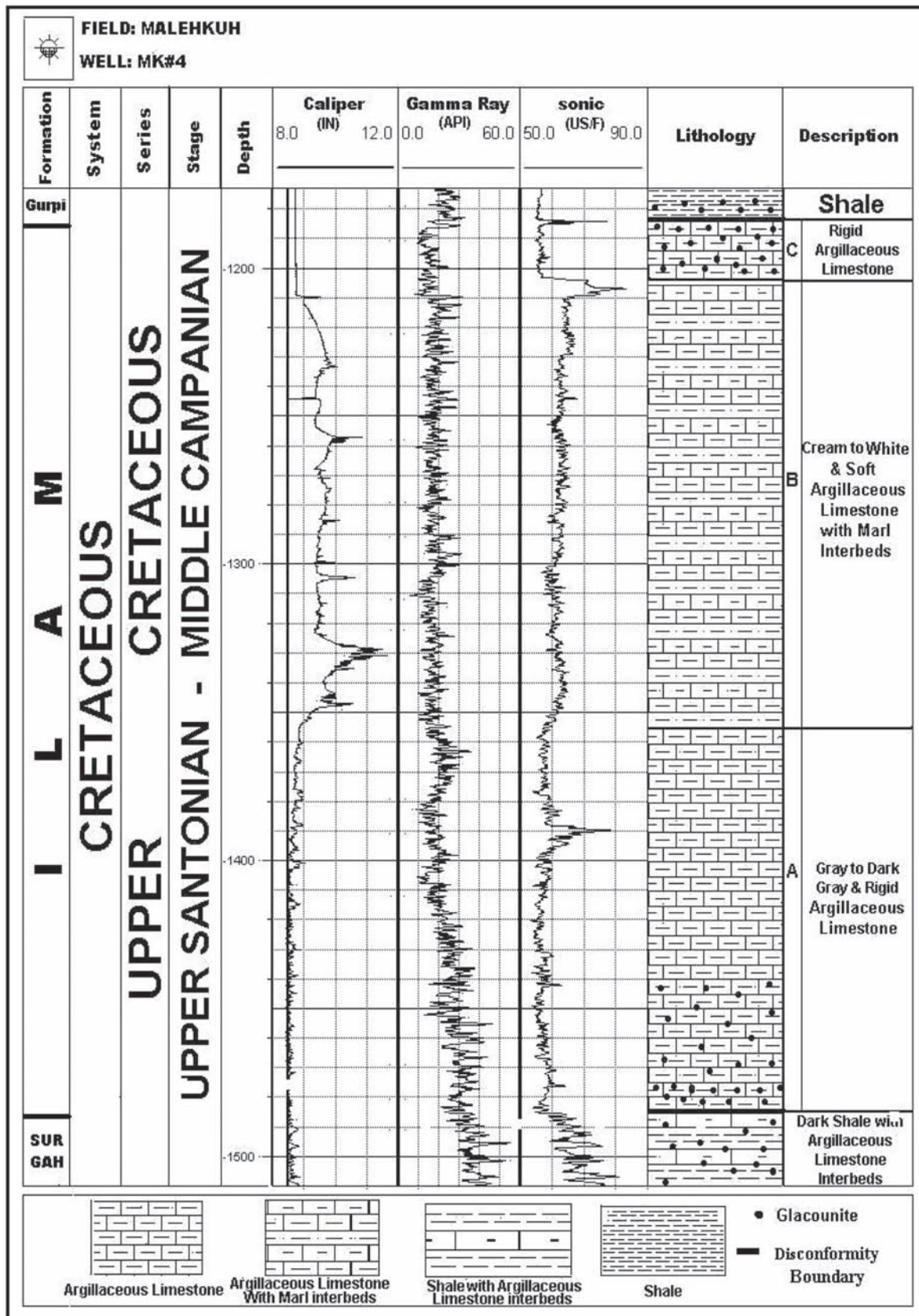
کمر بند کوه‌زایی زاگرس با یک توالی ضخیم رسوبی ۷ تا ۱۲ کیلومتری در حاشیه شمال‌خاوری ورق عربی با راستای شمال باختری - جنوب خاوری از ترکیه تا تنگه هرمز به طول بیش از ۲۰۰۰ کیلومتر گسترش یافته است. رشته‌کوه‌های زاگرس، بخشی از رشته کوه آلپ - هیمالیا است که مرز شمال باختری آن گسل امتداد لغز آناتولی خاوری در جنوب خاوری ترکیه و مرز جنوب خاوری آن خط عمان است [۱ و ۳]. زاگرس شامل سه زون تکتونیکی موازی مجموعه ماگمایی ارومیه - دختر، زون همپوشان زاگرس و کمر بند چین‌خورده - رورانده است [۲ و ۳]. کمر بند چین‌خورده - رورانده زاگرس با میدان‌های هیدروکربنی فوق‌عظیم متعدد از مستعدترین کمر بند‌های چین‌خورده - رورانده دنیا است [۲]. حوضه زاگرس در طی پرمو - تریاس دستخوش کشش قرار گرفته است که در

ساختاری ناحیه‌ای در پهنه چین خورده - روراند زاکرس در زیرحوضه لرستان واقع است (شکل ۱). این سازند با ضخامت ۲۹۹ متر در چاه شماره ۴ و ۲۷۰ متر در چاه شماره ۳، از تناوب سنگ‌آهک‌های رسی پلاژیک و همی‌پلاژیک با میان لایه‌هایی از مارن تشکیل شده است. سازند ایلام بر مبنای تغییرات نمودارهای چاه‌پیمایی (پرتو گاما، صوتی و قطر چاه) و مطالعات پتروگرافی به سه بخش پایینی (A)، میانی (B) و بالایی (C) تقسیم شده است. بخش پایینی (A) از توالی نسبتاً یکنواختی از سنگ‌آهک رسی نسبتاً سخت و متراکم با میان لایه‌های نازک شیل و مارن، بخش میانی (B) از سنگ‌آهک رسی نرم و شکننده با میان لایه‌های ضخیم مارنی و بخش بالایی (C) از سنگ‌آهک رسی سخت و اکسیده تشکیل شده است. مرز پایینی با سازند سورگاه و مرز بالایی با گورپی به دلیل حضور قلوه‌های هماتی و رسوبات اکسیده به فرم ناپیوستگی است (شکل ۲ و ۳). هدف از این مطالعه، شناسایی انواع فرایندهای دیاژنتیکی، تفسیر توالی پاراژنتیکی و تأثیر آن بر کیفیت مخزنی سازند ایلام است.

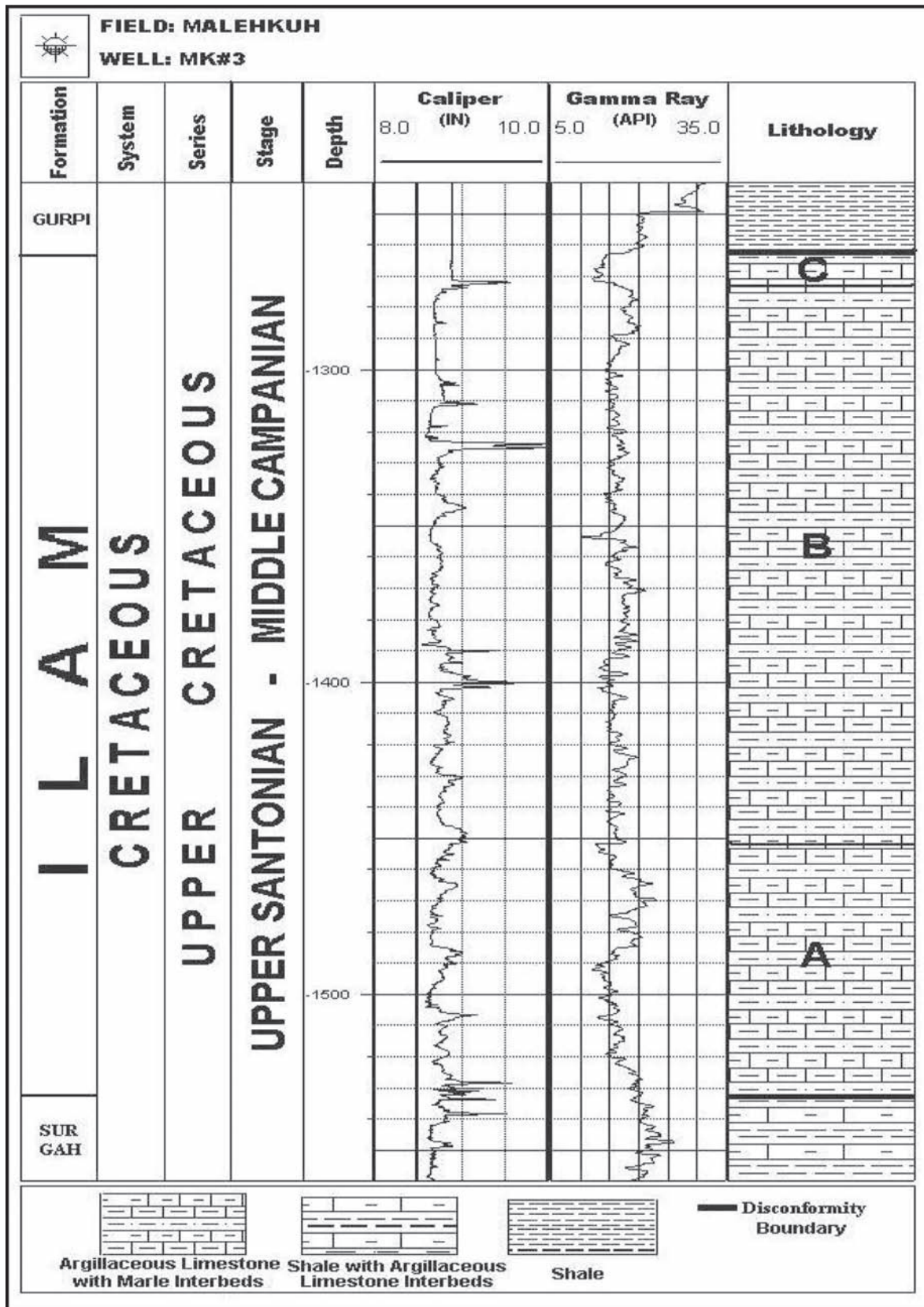
اثر ریفتی شدن به دو بخش لرستان در شمال باختر و فارس در جنوب خاور تقسیم شده است که زون حدواسط آن‌ها در طول روند امروزی زون گسله کازرون - ایزه (به صورت شمالی - جنوبی) واقع است [۵۴]. با پیشروی دریای کرتاسه، گستره وسیعی از زاگرس پوشیده شد. رسوب‌گذاری کرتاسه بالایی بر روی پستی و بلندی‌های کرتاسه میانی در فروافتادگی دزفول و فارس با سنگ‌آهک‌هایی از محیط کم‌عمق سازند ایلام آغاز و با رسوب‌گذاری شیل‌های عمیق سازند گورپی دنبال می‌شود. اما در لرستان حاکمیت محیط عمیق تداوم یافته و در طی کنیاسین، موجب رسوب‌گذاری شیل و سنگ‌آهک‌های رسی سازند سورگاه گردیده که خود در زیر سنگ‌آهک‌های رسی سازند ایلام قرار می‌گیرد [۶]. سازند ایلام با سن سانتونین پسین - کامپانین میانی [۷]، مخزن میدان نفتی ماله‌کوه را تشکیل می‌دهد. میدان نفتی ماله‌کوه یک تاکدیس سطح‌الارضی نامتقارن با امتداد شمال باختری - جنوب خاوری است. این میدان از لحاظ جغرافیایی در ۱۳۰ کیلومتری شمال باختری اندیمشک و از نظر تقسیم‌بندی



شکل ۱- موقعیت زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه: (A) تقسیمات ساختمانی ایران و زاگرس [۵۵]، (B) تقسیمات ساختمانی زاگرس چین‌خورده [۶] و موقعیت میدان نفتی ماله‌کوه در منطقه لرستان (با اندکی تغییرات).



شکل ۲- ستون چینه‌شناسی سازند ایلام در چاه شماره ۴ میدان نفتی ماله‌کوه



شکل ۳- ستون چینه‌شناسی سازند ایلام در چاه شماره ۳ میدان نفتی ماله‌کوه

روش مطالعه

در این مطالعه، تعداد ۲۱۰ مقطع نازک تهیه شده از مغزه‌ها و خرده‌های حفاری چاه‌های شماره ۳ و ۴ میدان نفتی ماله‌کوه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. برای تشخیص اجزای تشکیل‌دهنده، ماتریکس، ریزتخلخل‌ها و ریزساختارها از میکروسکوپ روبشی الکترونی مدل ۱۴۵۰ VPLEO دانشگاه فردوسی مشهد استفاده شد. مقاطع نازک پس از رنگ‌آمیزی توسط آلیزارین قرمز (برای تمایز دولومیت از کلسیت)، براساس طبقه‌بندی دانهام [۸] نام‌گذاری و رخساره‌های سنگی از یکدیگر تفکیک شدند. همچنین درصد فراوانی عناصر تشکیل‌دهنده اسکلتی و غیراسکلتی براساس مقایسه با نمودارهای فلوگل [۹] تخمین زده شد. به منظور تشخیص فازهای مختلف سیمان‌های پرکننده شکستگی‌ها از میکروسکوپ کاتدولومینسانس از نوع Technosyncold و مدل 8200km3 با حداکثر ولتاژ ۳۰ کیلوولت (kV) و شدت جریان ۱۹۵ میلی‌آمپر، دانشگاه فردوسی مشهد استفاده شد. از مقدار تخلخل (نسبت به هلیوم) و تراوایی (نسبت به هوا)، ۲۱۶ نمونه از مغزه‌های چاه شماره ۳ و ۴، برای تعیین کیفیت مخزنی و از نمودارهای چاه‌پیمایی (پرتوگاما، صوتی و قطرچاه) همراه با مطالعات پتروگرافی برای تعیین اختصاصات سنگ شناسی و نیز مرزهای سازند ایلام استفاده شد.

بحث

سنگ‌های کربناته، بیشترین گسترش جغرافیایی مخازن کرتاسه را در خاورمیانه و ایران دارا هستند [۱۰]، به طوری که در حوضه رسوبی زاگرس گروه بنگستان (کرتاسه بالایی) به تنهایی ۲۳ درصد از کل مخازن این حوضه را شامل می‌شوند [۱۱]. به دلیل واکنش‌پذیری شیمیایی رسوبات کربناته [۱۲]، سیستم حفره‌ای در کربنات‌ها بسیار پیچیده‌تر از سیلیسی‌آواری‌ها است [۱۳]، به همین دلیل برای تعیین پتانسیل هر مخزن، مطالعه پراکندگی رخساره‌های کربناته، الگوهای دیاژنز به ویژه دولومیتی‌شدن و اندازه‌گیری تخلخل و نفوذپذیری ضروری است [۱۴]. در این مطالعه ابتدا رخساره‌های سازند ایلام و سپس فرایندهای دیاژنز مورد بررسی قرار گرفتند.

رخساره‌ها

بر اساس مطالعات پتروگرافی و با استفاده از شواهد رسوب‌شناسی و فسیل‌شناسی، تعداد ۳ رخساره میکروسکوپی در سازند ایلام در چاه‌های شماره ۳ و ۴ میدان نفتی ماله‌کوه شناسایی شده است که به ترتیب عبارتند از:

رخساره مادستون با روزنداران پلانکتونی

این رخساره عمدتاً از گل‌آهکی تشکیل شده و کمتر از ۱۰ درصد اجزای اسکلتی در آن وجود دارد. مهمترین اجزای اسکلتی روزنداران پلانکتونی، میکروبیوکلاست‌ها و پوسته‌های آستراکود پلاژیک است (شکل ۴A).

رخساره وکستون با روزنداران پلانکتونی

این رخساره همانند رخساره قبلی گل‌پشتیان بوده ولی مقدار اجزای اسکلتی آن بیشتر از ۱۰ درصد است که روزنداران پلانکتونی (نظیر: *Ventilabrella*, *Globetruncana carinata*, *Globetruncana elevate*, *Globetruncana arca*, *Globetruncana ventricosa*, *Hetrohelix*) بیشترین سهم را دارند. اجزای اسکلتی فرعی این رخساره آستراکودهای پلاژیک، میکروبیوکلاست‌ها، روزنداران بتتیک کوچک، استخوان ماهی، پوسته دوکفه‌ای‌های پلاژیک، خارپوست، کلسی‌اسفر و کالپیونلا هستند که آشفنگی زیستی در آن به فراوانی دیده می‌شود. این رخساره بخش عمده سازند ایلام را به خود اختصاص داده است (شکل ۴B).

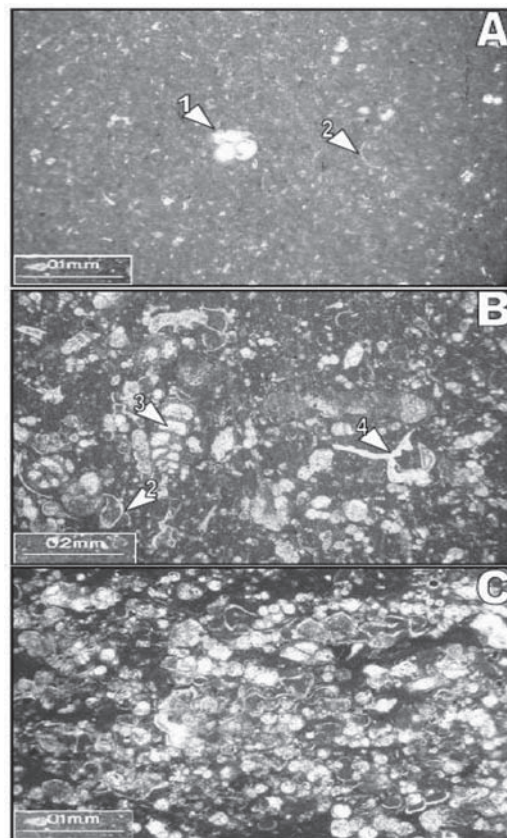
رخساره پکستون با روزنداران پلانکتونی

روزنداران پلانکتونی اجزای اصلی این رخساره است که در زمینه‌ای از گل‌آهکی قرار دارند. این رخساره نیز همانند بقیه رخساره‌ها فاقد هرگونه فونای آب‌های کم‌عمق، ذرات آواری و اجزای غیراسکلتی است. اجزای فرعی این رخساره شامل میکروبیوکلاست‌ها، روزنداران بتتیک کوچک و آستراکود پلاژیک می‌باشد (شکل ۴C).

در تمام رخساره‌های سازند ایلام تخلخل اولیه یا وجود نداشته و یا مقدار آن بسیار ناچیز است. تمام حجره‌های فسیلی توسط کلسیت اسپاری، پیریت و گل‌آهکی پر شده‌اند و استیلولیت به شدت گسترش یافته است. فراوانی روزنداران پلانکتون، حضور روزنداران بتتیک کوچک و ماتریکس ریزدانه که نشان‌دهنده رژیم هیدرودینامیکی با انرژی کم است، ته‌نشست این رسوبات را در محیط

رسوبات ناشی از سه نوع فشار هیدرواستاتیک، لیتواستاتیک و فشار مستقیم (ناشی از نیروهای تکتونیکی) است [۱۲]. تشکیل استیلولیت‌های فراوان نشان‌دهنده فشردگی زیاد رخساره‌های سازند ایلام است ولی با این حال اثرات فشردگی مکانیکی به دلیل گل‌پشتیان بودن چندان مشخص نیست [۱۸]. پرشدگی حجره‌های فسیلی توسط سیمان کلسیتی نیز توانسته است مانع از شکسته شدن فسیل‌ها در طی تدفین کم‌عمق شود. ولی در برخی از موارد که دانه‌ها در مجاورت یکدیگر قرار گرفته‌اند، فشردگی مکانیکی منجر به خمیدگی و شکستگی آن‌ها نیز شده است (شکل ۵A). انحلال فشاری در اثر افزایش عمق تدفین منجر به ایجاد تماس محدب - مقعر و مژرس (میکرواستیلولیت) بین دانه‌ها (شکل ۵B و ۵C) و همچنین سبب تشکیل رگچه‌های انحلالی و استیلولیت شده است. رگچه‌های انحلالی در این سازند گسترش کمتری نسبت به استیلولیت‌ها دارند و غالباً به وسیله دولومیت و مواد نامحلول از جمله پیریت، مواد آلی و رس پر شده‌اند (شکل ۵D). استیلولیت‌ها گسترش بسیار زیادی در تمام رخساره‌های سازند ایلام داشته و به صورت دو جهتی دیده می‌شوند، از آنجایی که استیلولیت‌ها به‌طور عمودی نسبت به جهت با بیشترین فشار اصلی تشکیل می‌شوند [۱۹]، دو جهتی بودن استیلولیت‌ها در این سازند می‌تواند ناشی از تأثیر دو نیروی متفاوت باشد. نسل اول فراوانی زیادی داشته و به موازات یکدیگر و به صورت لایه‌بندی قرار دارند و نسل دوم با فراوانی کم به طور عمودی نسبت به بقیه قرار دارند. به نظر می‌رسد که استیلولیت‌های نسل اول ناشی از فشار روباره و نسل دوم ناشی از نیروهای تکتونیکی است. استیلولیت‌ها بر طبق تقسیم‌بندی فلوگل [۹] از نوع نامنظم، پشته‌ای و حلقوی بوده و بیشتر به صورت مجموعه‌های پیچ در پیچ نامنظم دیده می‌شوند (شکل ۵E و ۵F).

عبور سیالات خورنده از مجاری و حواشی استیلولیت‌ها موجب تشکیل تخلخل استیلولیتی شده است. از آنجایی که استیلولیت‌ها در رخساره‌های رس‌دار به راحتی تشکیل می‌شوند [۲۰]، بنابراین یکی دیگر از دلایل گسترش زیاد استیلولیت‌ها در سازند ایلام، علاوه بر فشار زیاد روباره‌ای و تکتونیکی، حضور رس در همه رخساره‌ها است.



شکل ۴- انواع رخساره‌های رسوبی سازند ایلام. (A) رخساره مادستون با روزنداران پلانکتونی، (B) رخساره وکستون با روزنداران پلانکتونی، (C) رخساره پکستون با روزنداران پلانکتونی. ۱- روزندار پلانکتونی، ۲- پوسته آستراکود، ۳- روزندار بتیک کوچک و ۴- استخوان ماهی

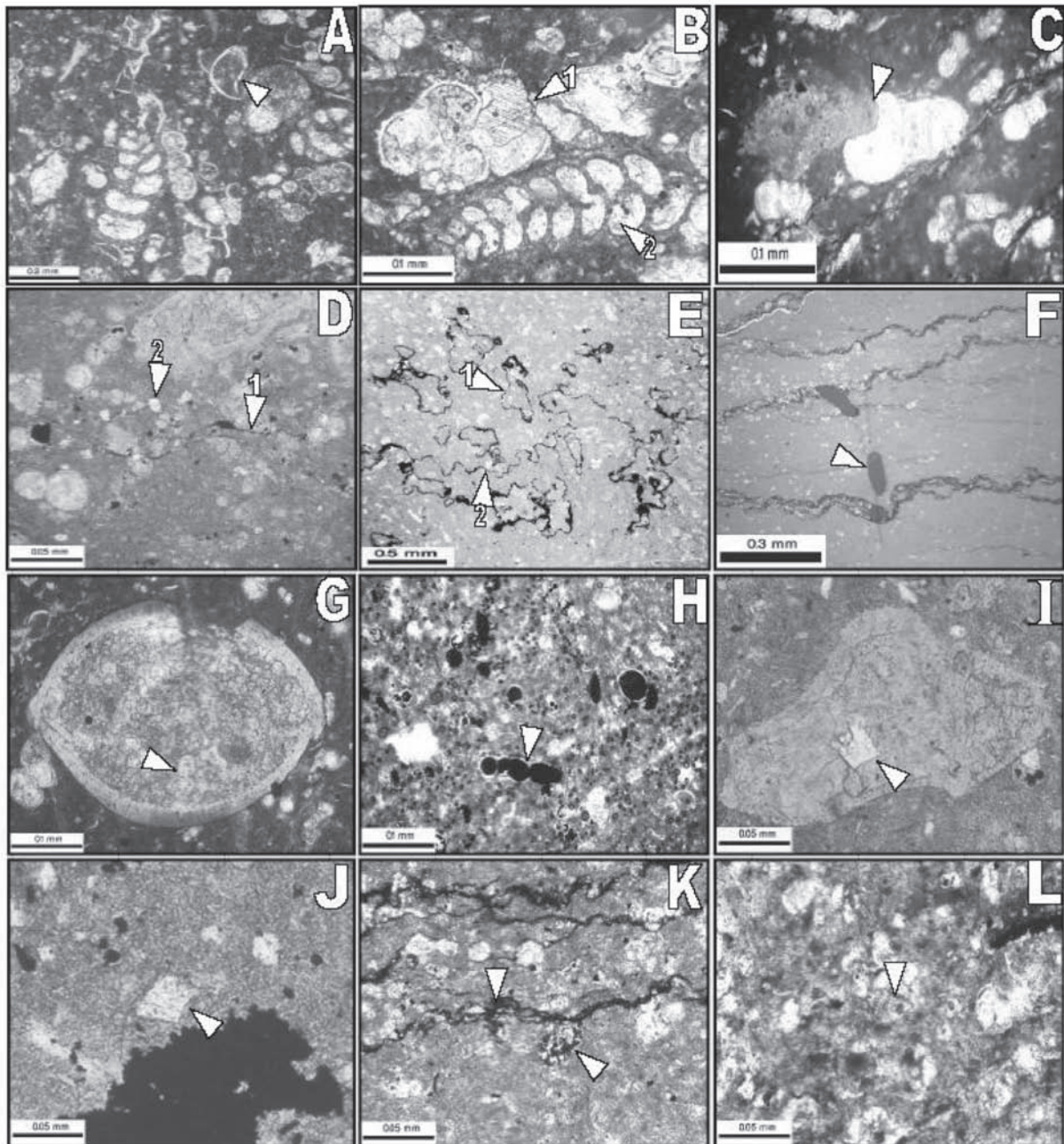
پلاژیک و در زیر قاعده اموج نرمال تأیید می‌کنند [۱۵]. عدم حضور دانه‌های غیراسکلتی و کوارتز در همه رخساره‌ها که عمدتاً به بخش کم‌عمق رمپ داخلی و در مناطق نزدیک ساحل محدود هستند، می‌تواند دلیل دیگری بر عمیق بودن محیط ته‌نشست این رخساره‌ها باشد [۱۶]. رنگ تیره و خاکستری تیره نیز احتمالاً وجود مواد آلی و شرایط احیایی پس از ته‌نشست را نشان می‌دهد [۱۷].

فرایندهای دیاژنزی

انواع فرایندهای دیاژنزی شناسایی شده براساس مطالعات پتروگرافی عبارتند از:

فشردگی

یکی از فرایندهای مهم دیاژنزی که توالی رسوبی سازند ایلام را تحت تأثیر قرار داده، فشردگی است. فشردگی



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپی از فرایندهای دیاژنزی در سازند ایلام (PPL) فشردگی مکانیکی که موجب شکستگی پوسته آستراکود شده است، (B) شماره ۱ میکرواستیلولیت تشکیل شده بین پوسته‌های فسیلی و شماره ۲ پرشدگی حجره‌های فسیلی توسط سیمان کلسیتی قبل از فشردگی را نشان می‌دهد، (C) تماس محدب - مقعر بین دانه‌ها، در اینجا حجره‌های فسیلی توسط سیمان کلسیتی قبل از فشردگی پر شده است، (D) رگچه‌های انحلالی (۱) و پرشدگی مجاری آنها توسط دولومیت (۲)، (E) شماره ۱ استیلولیت‌های حلقوی و شماره ۲ استیلولیت نامنظم را نشان می‌دهد (میکروسکوپ دوچشمی)، (F) مجموعه استیلولیت تشکیل شده به صورت مجموعه‌های پیچ در پیچ نامنظم و پیریت ثانویه پرکننده حفره‌ها که در ارتباط با استیلولیت‌ها هستند (میکروسکوپ دوچشمی)، (G) تبدیل گل‌های آهکی پرکننده پوسته آستراکود به میکرواسپار- اسپار دروغین، به دانه‌های اسکلتی شناور در اسپاریت‌های درشت بلور توجه شود، (H) پیریت پرکننده حجره‌های فسیلی، (I) دولومیت لوزی‌شکل با سطوح بلورین انحنادار که جانشین میکرواسپار شده است، (J) دولومیت زین‌اسبی که جانشین گل‌آهکی شده است، به سطوح بلورین انحنادار و انتهای خنجر مانند آن‌ها توجه شود، (K) سلیسی شدن که توسط استیلولیت قطع شده است (L)، گلوکونیتی شدن

نئومورفیسیم

این فرایند از نوع افزایشی است و در مقاطع نازک نشان می‌دهد رخساره‌های سازند ایلام که به مقدار بسیار کم را تحت تأثیر قرار داده است. در طی این فرایند و در بیشتر موارد، گل‌های آهکی پرکننده حجره‌های فسیلی و در برخی موارد گل‌های اطراف شکستگی‌ها و استیلولیت‌های پر شده توسط سیمان کلسیتی به میکرواسپار و اسپار دروغین تبدیل شده‌اند (شکل ۵G). اما تصاویر میکروسکوپ روبشی الکترونی نشان می‌دهد که نئومورفیسیم افزایشی به شدت تمام رخساره‌های سازند ایلام را تحت تأثیر قرار داده و منجر به تشکیل موزائیک‌های بلوری (میکرواسپار) بسیار فشرده‌ای شده است (شکل ۵H). کربنات کلسیم مورد نیاز برای انجام این فرایند می‌تواند از انحلال بلورهای در حد زیر میکرون و آب‌های روزنه‌ای در حال جریان مشتق شود [۱۴].

جاننشینی

جاننشینی در رخساره‌های سازند ایلام به فرم پیریتی شدن، دولومیتی شدن، سیلیسی شدن و گلوکونیتی شدن مشاهده می‌شود.

الف) پیریتی شدن

یکی از فرایندهای دیاژنزی که تمام رخساره‌های این سازند را تحت تأثیر قرار داده، پیریتی شدن است. بر حسب زمان تشکیل، این پیریت‌ها را می‌توان به دو نوع اولیه و ثانویه تقسیم کرد. پیریت‌های اولیه همزمان با رسوب‌گذاری یا کمی بعد از آن تشکیل شده و به صورت جاننشینی در گل‌آهکی و پرکننده حجره‌های فسیلی دیده می‌شوند. فراوانی پیریت در جازا در رسوبات دریایی به در دسترس بودن یون‌های سولفات، آهن و اکسید پذیر و کربن ارگانیکی ناپایدار بستگی دارد [۲۱]. فراوانی یون سولفات و آهن در آب دریا [۲۲]، همچنین حضور مواد آلی فراوان در رسوبات سازند ایلام، شرایط لازم را برای تشکیل پیریت در جازا مهیا کرده است. فراوانی پیریت در تمام رخساره‌های این سازند می‌تواند به دلیل رس‌دار بودن آنها نیز باشد، زیرا در چنین شرایطی تراوایی موثر محدود بوده و اکسیژن با سرعت توسط میکروارگانیزم‌های کانی‌ساز مصرف می‌شود [۲۳]. پیریت‌های در جازا بیشتر به شکل

دانه‌تمشکی کروی است [۲۴] که در زمینه سنگ‌آهک‌های گلی، مارن‌ها و به صورت پرکننده حجرات فسیل‌ها دیده می‌شوند و شاخص سنگ‌های آهکی محیط‌های عمیق [۹]، فاقد اکسیژن و احیایی است [۲۵ و ۲۶]. پیریت‌های ثانویه هم در شرایط تدفینی کم‌عمق تا عمیق تشکیل شده و به صورت پرکننده مجاری رگچه‌های انحلالی، استیلولیت و تخلخل‌های حفره‌ای ثانویه و نیز جاننشینی کلسیت اسپاری و بیوکلاست دیده می‌شوند. پیریت ثانویه نشان‌دهنده شرایط احیایی رخساره‌ها در مخزن است (شکل ۵F، ۵H و ۵J).

ب) دولومیتی شدن

دولومیت‌ها در رخساره‌های سازند ایلام به صورت بلورهای لوزی پراکنده و منفرد دیده می‌شوند. سطوح بلوری بیشتر لوزی‌های دولومیت و خصوصاً بلورهای با اندازه بزرگتر، کمی انحنادار بوده و دارای انتهای خنجر مانند هستند (شکل ۵I و ۵J). دولومیت‌ها در مجاری و حواشی رگچه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها تمرکز بیشتری پیدا کرده و با این حال فراوانی آن‌ها در رخساره‌ها کمتر از ۵ درصد است (شکل ۵D). دولومیت‌ها ترجیحاً جانشین زمینه گل‌آهکی و همچنین میکرواسپارهای پرکننده حجره‌های فسیلی شده‌اند (انتخاب کننده فابریک)، ولی جانشین خرده‌های فسیلی و سیمان کلسیت اسپاری نشده‌اند.

بالا بودن سطح واکنش و در دسترس بودن مکان‌های هسته‌زایی فراوان ذرات گل‌آهکی و میکرواسپار و همچنین سطح نسبتاً پایین اشباع‌شدگی دولومیت، فقط منجر به دولومیتی شدن اجزای بلوری ریز، همانند گل‌آهکی و میکرواسپار شده است [۲۷]. دولومیتی نشدن خرده‌های فسیلی، احتمالاً به سبب ساختار بلوری پیچیده و مکان‌های هسته‌زایی محدود آن‌ها است [۲۸]. همچنین تمرکز بلورهای دولومیت در مجاری و حواشی رگچه‌های انحلالی و استیلولیت نشان‌دهنده این است که آن‌ها از سیالات ناشی از انحلال فشاری در آخرین مراحل تدفینی به وجود آمده و در واقع انحلال فشاری منجر به افزایش تمرکز منیزیم و تحرک این سیالات در این نقاط شده است [۲۹]. دولومیت‌های تشکیل شده در شرایط تدفینی عمیق می‌توانند فابریک‌های متنوعی از جمله پرکننده حفره‌ها، جاننشینی و مورفولوژی موزائیکی یا زین‌اسبی داشته

سیمانی شدن

از آنجایی که بیشتر رخساره‌های سازند ایلام گل‌پشتیبانند، بنابراین سیمانی شدن گسترش چندانی ندارد. براساس مطالعات پتروگرافی، سیمان‌ها فقط از نوع کلسیتی هستند و به صورت فابریک‌های تیغه‌ای، دروزی، هم‌بعد و بلوکی دیده می‌شوند. سیمان تیغه‌ای اولین نسل سیمان بوده که فضاهای داخلی حجره‌های فسیلی را پوشانده و در ادامه سیمان کلسیتی، دروزی و بقیه فضای داخلی حجره‌های فسیلی را پر کرده‌اند (شکل ۵B، 6A، 6B، 6C، 6D، 6E، 6F). علاوه بر این، سیمان کلسیتی هم‌بعد پرکننده ریزشکستگی‌ها، حفره‌ها و مجاری استیلولیتی است (شکل 6C و 6D). منبع اصلی تأمین یون‌های کربنات و کلسیم برای سیمانی شدن در محیط‌های دریایی آب دریا بوده [۳۵] و برای سیمانی شدن تدفینی می‌تواند انحلال دانه‌ها در اثر فشردگی شیمیایی، انحلال کانی‌های ناپایدار همانند آراگونیت و جابجایی یون‌ها در طی مسافت‌های طولانی توسط آب‌های زیرسطحی باشد [۳۸]. سیمان بلوکی، پرکننده شکستگی‌های ناشی از بالآمادگی است (شکل 6E). این نوع سیمان شفاف، فاقد لومینسانس و ادخال بوده که نشان‌دهنده منشأ تدفینی آن است.

شکستگی‌ها

سه نسل شکستگی در سنگ‌های آهکی سازند ایلام شناسایی شده‌اند. شکستگی‌های نسل اول در شرایط تدفینی کم‌عمق ایجاد و توسط کلسیت اسپاری هم‌بعد پر شده‌اند. این نسل با قطع کردن استیلولیت‌های با دامنه کوچک و حجره‌های فسیلی پر شده توسط کلسیت اسپاری هم‌بعد شناخته می‌شوند. شکستگی‌های نسل دوم با قطع شدگی تمام فرایندهای دیاژنزی و از جمله استیلولیت‌های با دامنه بزرگ و شکستگی‌های نسل اول مشخص شده که در نهایت خود به وسیله کلسیت اسپاری بلوکی پر شده‌اند. شکستگی‌های نسل سوم با برش نسل دوم شکستگی‌ها، جاننشینی پیریت به جای کلسیت بلوکی پرکننده شکستگی‌های نسل دوم مشخص می‌شود. در بعضی موارد شکستگی‌های شدید منجر به تشکیل بافت برشی در رسوبات شده است (شکل 6D، 6E و 6F).

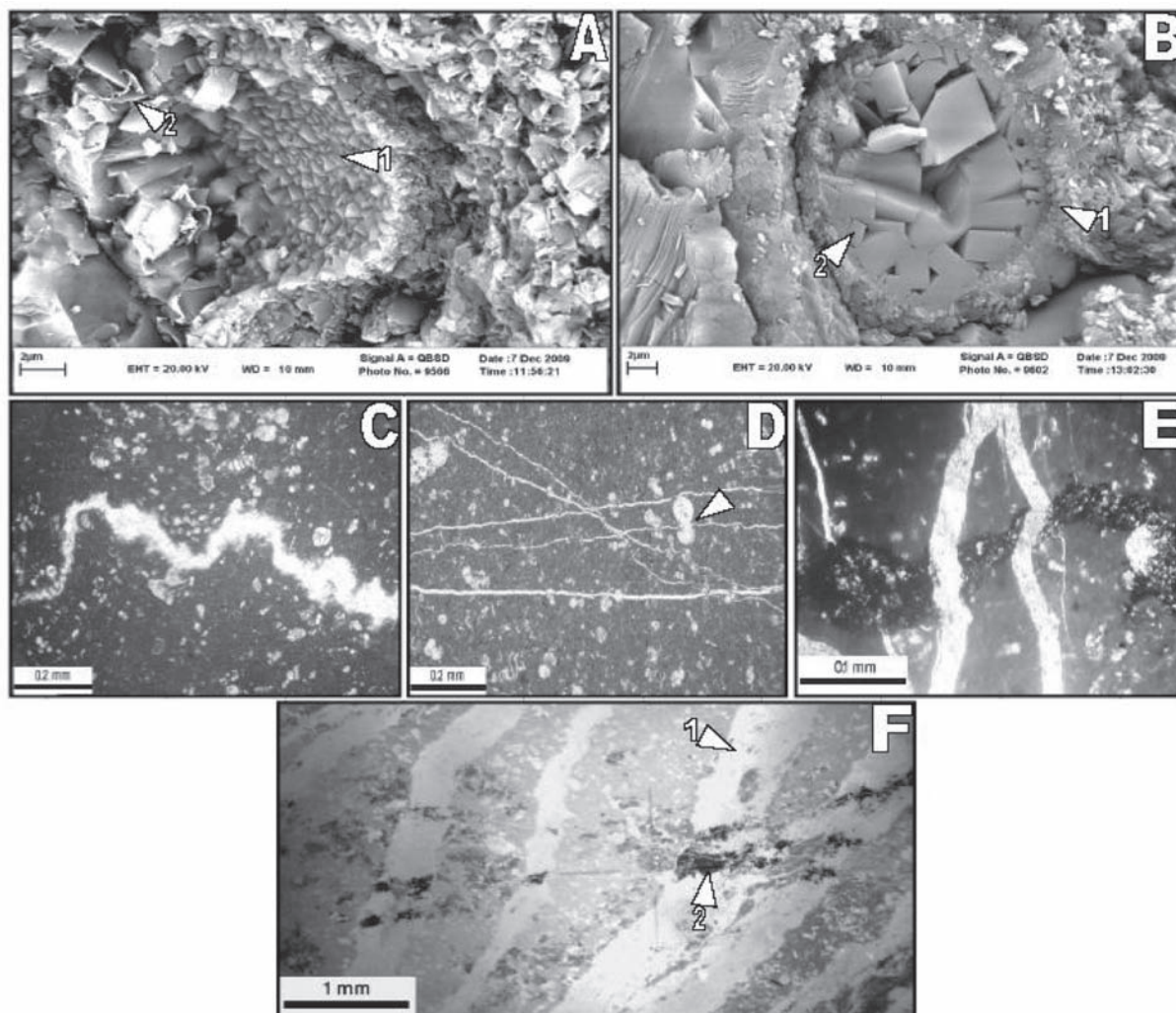
باشند [۳۰]؛ ولی دولومیت‌های جاننشینی تشکیل شده در رخساره‌های سازند ایلام به سبب سطوح بلوری انحنادار، انتهای خنجر مانند و خاموشی روبشی از نوع دولومیت زین‌اسبی هستند [۳۱]. دولومیت‌های زین‌اسبی، زمین‌دماسنج‌های بسیار مفیدی بوده و حداقل دمای تدفینی ۶۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهند [۳۱]. یون منیزیم لازم برای تشکیل دولومیت می‌تواند هم از داخل و هم از خارج سیستم دیاژنزی تأمین شود. از یک سو به دلیل عدم ارتباط دولومیت‌ها با شکستگی‌ها و از سوی دیگر به دلیل تراوایی بسیار کم رخساره‌های سازند ایلام، احتمال تأمین یون Mg^{+2} خارج از سیستم دیاژنزی بسیار کم است. گل‌آهکی که از تشکیل‌دهندگان اصلی رخساره‌های سازند ایلام است، می‌تواند یکی از مهمترین منابع داخلی تأمین یون منیزیم برای دولومیتی شدن باشد [۳۲ و ۲۹]. از منابع مهم دیگر تأمین یون منیزیم برای تشکیل دولومیت در این رخساره‌ها می‌توان به آزاد شدن یون منیزیم در طی تبدیل اسمکتیت به ایلیت، که در طی آغاز مرحله تشکیل نفت رخ می‌دهد [۳۳] و نیز به توزیع دوباره ترکیب شیمیایی سنگ میزبان به صورت محلی در اثر انحلال کلسیت فشاری [۳۴] و یون منیزیم آزاد شده بر اثر انحلال کلسیت پرمینیزیم در طی دیاژنز [۳۵] اشاره کرد.

ج) سیلیسی شدن

سیلیسی شدن به‌طور پراکنده و به مقدار کم در رخساره‌های سازند ایلام قابل مشاهده است که در شرایط تدفینی کم‌عمق و قبل از تشکیل استیلولیت‌ها ایجاد شده‌اند. منابع احتمالی سیلیس برای تشکیل این چرت‌ها می‌تواند سیلیس آزاد شده در نتیجه تبدیل اسمکتیت به ایلیت در شرایط تدفینی عمیق [۳۶] و انحلال سوزن‌های سیلیسی اسفنج‌ها که به‌طور پراکنده در رخساره‌ها سازند ایلام حضور دارند، باشد (شکل 5K).

د) گلوکونیتی شدن

گلوکونیت‌ها به مقدار بسیار کم و به‌صورت پراکنده در زمینه گل‌آهکی قابل مشاهده بوده و تنها در مرز سازند ایلام با سورگه و گورپی تشکیل شده است (شکل 5L). این نوع گلوکونیت‌ها در شرایط نیمه احیایی - نیمه اکسیدی و در شرایط پیشروی آب دریا که مقدار رسوبات ورودی بسیار کم است تشکیل می‌شوند [۳۷].



شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی از فرایندهای دیاژنزی (A) تصویر میکروسکوپ الکترونی از سیمان دریایی تیغهای پوشاننده سطح داخلی حجره فسیلی (۱) و کانی رس ایلیت (۲)، (B) تصویر میکروسکوپ الکترونی از یک حجره فسیلی که سیمان تیغهای نسل اول (۱) توسط سیمان دروزی (۲) پوشیده شده است، (C) سیمان هم بعد پرکننده استیلولیت (D) (PPL) شکستگی های نسل اول که با سیمان کلسیتی هم بعد پر شده اند. به عدم وجود شواهدی از فشردگی و قطع شدگی فسیل پر شده توسط سیمان کلسیتی توجه شود (E) (PPL) شکستگی های نسل دوم که استیلولیت را قطع کرده اند (F) (XPL) شکستگی های نسل دوم (۱) و سوم (۲) و ارتباط آنها با یکدیگر. با عبور سیالات از شکستگی های نسل سوم پیریت جانشین سیمان کلسیتی پرکننده شکستگی های نسل دوم شده است. شکستگی های شدید منجر به تشکیل بافت برشی در رخساره ها شده است (میکروسکوپ دوچشمی).

می توان اختلاط و یا سرد شدن شورابه ها در شرایط تدفینی عمیق [۴۰ و ۴۱]، اسید کربنیک ناشی از CO_2 تولید شده از تجزیه باکتریایی نفت [۴۲ و ۴۳]، انتقال دی اکسید کربن غیرارگانیکی توسط گسل ها و شکستگی ها از بیرون به داخل مخازن با منشأهای گوناگون [۳۹] اشاره کرد.

انواع تخلخل

بر اساس طبقه بندی چوکت و پری [۱۳]، تخلخل های مشاهده شده در سازند ایلام را می توان به دو گروه انتخاب

انحلال

انحلال منجر به تشکیل انواع تخلخل ثانویه قالبی، حفره ای و استیلولیتی در رخساره های سازند ایلام شده است. تأثیر این فرایند در تمام رخساره ها و در کل سازند قابل مشاهده است. این فرایند در شرایط تدفینی عمیق رخ داده است زیرا تخلخل حفره ای و قالبی همراه با تخلخل استیلولیتی بوده و از طرفی دیگر رسوبات پلاژیک به ندرت در معرض هوازدگی جوی قرار می گیرند [۳۹]. دلایل زیادی برای تشکیل تخلخل ثانویه در اعماق زمین ارائه شده است که

زیادی داشته و منجر به افزایش تراوایی شده است. غالباً در محل حفره‌های استیلولیتی دولومیت و پیریت تمرکز پیدا کرده‌اند (شکل VC، VD، VE). استیلولیت‌ها در محیط‌های تدفینی در بسیاری از موارد ممکن است محل عبور سیالات باشند که در این صورت سیالات خورنده هنگام عبور از طول چنین کانال‌هایی با انحلال کانال‌ها و حفره‌های قدیمی باعث گسترش و از بین رفتن ناهمواری خاص استیلولیت‌ها شده و تخلخل استیلولیتی را تشکیل می‌دهند [۴۰، ۴۱ و ۴۸].

توالی پاراژنتیکی

سنگ‌های کربناته سازند ایلام تحت سه محیط دیاژنزی دریایی، متئوریک (جوی) و دفنی قرار گرفته‌اند. فرایندهای دیاژنز گلوکونیتی‌شدن، پیریت درج‌ازا و سیمان کلسیتی تیغه‌ای پوشاننده حجره‌های داخلی فسیل‌ها، از مهمترین فرایندهای دیاژنزی دریایی است. در شرایط تدفینی کم‌عمق فشردگی مکانیکی، پرشدگی حجره‌های فسیلی با کلسیت اسپاری هم‌بعد و دروزی، سیلیسی‌شدن و ئومورفیزم افزایشی رخ داده است. با افزایش عمق تدفین در اثر انحلال فشاری میکرواستیلولیت‌ها، رگچه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها تشکیل و ورود سیالات خورنده به مخزن سبب انحلال شده و انواع تخلخل‌های قالبی، حفره‌ای و استیلولیتی تشکیل شده‌اند. جریان سیالات از مجاری استیلولیت‌ها منجر به تشکیل دولومیت و کلسیت اسپاری گرانولار در مجاری و حواشی استیلولیت‌ها شده و مقداری از تخلخل استیلولیتی را کم کرده‌اند. در ادامه با ورود مواد هیدروکربنی به مخزن، سیمانی‌شدن و انحلال فشاری متوقف شده و همچنین پیریت ثانویه در مجاری استیلولیت‌ها و حفره‌های انحلالی ثانویه نهشته شده‌اند. شکستگی‌ها در چند مرحله تشکیل شده‌اند. شکستگی‌های نسل اول بعد از تدفین کم‌عمق تشکیل شده و خود به وسیله‌ی سیمان کلسیتی هم‌بعد پر شده‌اند. بعد از تدفین عمیق، شکستگی‌های نسل دوم تشکیل شده و این شکستگی‌ها توسط کلسیت اسپاری بلوکی پر شده‌اند. آخرین مرحله شکستگی‌ها نیز در طی بالآمدگی تشکیل شده و با قطع شکستگی‌های نسل دوم و جانشینی پیریت به جای سیمان کلسیتی بلوکی همراه است (شکل ۸).

شده توسط فابریک (قالبی، بین‌بلوری و درون‌دانه‌ای) و بدون انتخاب فابریک (حفره‌ای و استیلولیتی) تقسیم کرد.

الف) تخلخل قالبی

این حفره‌های ثانویه در اثر انحلال انتخابی دانه‌ها (روزنداران) تشکیل شده و به صورت جدا و مستقل هستند (به دلیل گل‌پشتیبان بودن). این حفره‌ها فاقد هرگونه پرشدگی توسط سیمان کلسیتی است (شکل VA). اختلاف در میزان انحلال‌پذیری بین دانه‌ها با ماتریکس، منجر به تشکیل چنین حفره‌هایی می‌شود [۱۲].

ب) تخلخل بین‌بلوری

این تخلخل که در بین بلورهای کلسیت اسپاری و میکرواسپارها مشاهده می‌شود بسیار ریز بوده و در نتیجه تراوایی بسیار کمی خواهد داشت (شکل VF و VH).

ج) تخلخل درون‌دانه‌ای

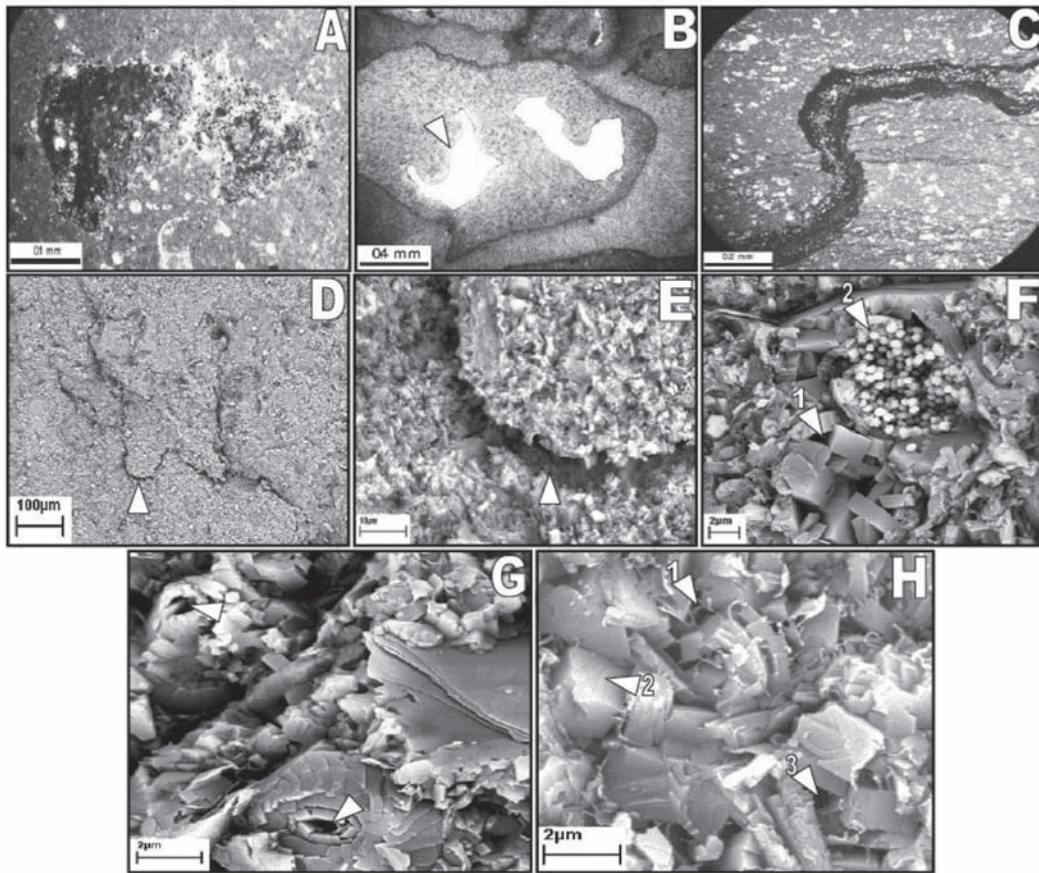
تمام حجره‌های فسیلی روزنداران توسط سیمان کلسیتی و پیریت پر شده و این نوع تخلخل تنها در درون فسیل کوکولیتوفرها دیده می‌شود. این نوع حفره‌ها بسیار کوچک بوده و تراوایی بسیار ناچیزی دارند (شکل VG).

د) تخلخل حفره‌ای

این نوع تخلخل در تمام رخساره‌ها و در کل توالی سازند ایلام قابل مشاهده بوده و فاقد هرگونه پرشدگی توسط کلسیت اسپاری است (شکل VB). عدم تشکیل سیمان اسپاری می‌تواند به دلیل ورود مواد هیدروکربنی به مخزن باشد [۴۰ و ۴۱-۴۶]. این حفره‌ها دارای اندازه‌ها (۰/۵ تا ۱ میلی‌متر) و اشکال مختلفی هستند و به نظر می‌رسد که هیچ گونه ارتباطی با یکدیگر (به خاطر گل‌پشتیبان بودن رخساره‌ها) ندارند. عدم وجود شواهد دیاژنز اولیه نظیر پرشدن حفره‌ها توسط سیمان‌های متئوریک و یا عدم تشکیل ساختمان‌های ژئوپتال [۴۱] و همچنین تشکیل این نوع تخلخل بعد از استیلولیتی‌شدن، احتمالاً این حفرات در طی تدفین عمیق تشکیل شده‌اند. انحلال تدفینی ترجیحاً در گل‌های آهکی بیشتر گسترش پیدا می‌کنند [۳۹ و ۱۸]، زیرا بلورهای ریز گل‌آهکی، سطوح بزرگی برای فرایندهای شیمیایی ایجاد می‌کنند [۴۷].

ه) تخلخل استیلولیتی

این نوع تخلخل در رخساره‌های وکستونی گسترش بسیار



شکل ۷- انواع تخلخل در رخساره‌های سازند ایلام. (A) تخلخل قالبی (B) تخلخل حفره‌ای (C) تخلخل استیلولیتی (xpl)، تصویر SEM از تخلخل استیلولیتی، (E) نمایی نزدیکتر از تصویر E در (F) تصویر SEM، (D) تصویر SEM از ریز تخلخل بین بلوری (۱) و پیریت دانه‌تمشکی پرکننده حجره فسیلی (۲)، (G) تصویر SEM از تخلخل درون‌دانه‌ای در کوکولیتوفرها، (H) تصویر SEM از گل‌آهکی حاوی موزائیک‌های بلوری با بافت بسیار فشرده. (۱) رس‌های رشته‌ای پرکننده حفرات بین‌دانه‌ای و پوشاننده گلوگاه حفره‌ها، (۲) بلورهای میکرواسپار و (۳) تخلخل بین بلورهای میکرواسپار

زمان	دیاژنز اولیه	دیاژنز میانی	دیاژنز نهایی
محیط فرآیندها	کف دریا	تدفینی کم عمق تا عمیق	بالا آمدگی
گلوکونیتی شدن	متداول	کمتز متداول	
نئومورفیسم		کمتز متداول	
سیلیسی شدن		کمتز متداول	
پیریتی شدن	متداول	کمتز متداول	
سیمان کلسیتی	متداول	کمتز متداول	
انواع فشردگی		کمتز متداول	
مکانیکی شیمیایی (استیلولیتی شدن)		کمتز متداول	
انحلال		کمتز متداول	
دولومیتی شدن		کمتز متداول	
ورود هیدروکربن‌ها به مخزن		کمتز متداول	
شکستگی‌ها		کمتز متداول	

شکل ۸- توالی پاراژنتیکی سازند ایلام در چاه‌های شماره ۳ و ۴ میدان نفتی ماله‌کوه.

کیفیت مخزنی

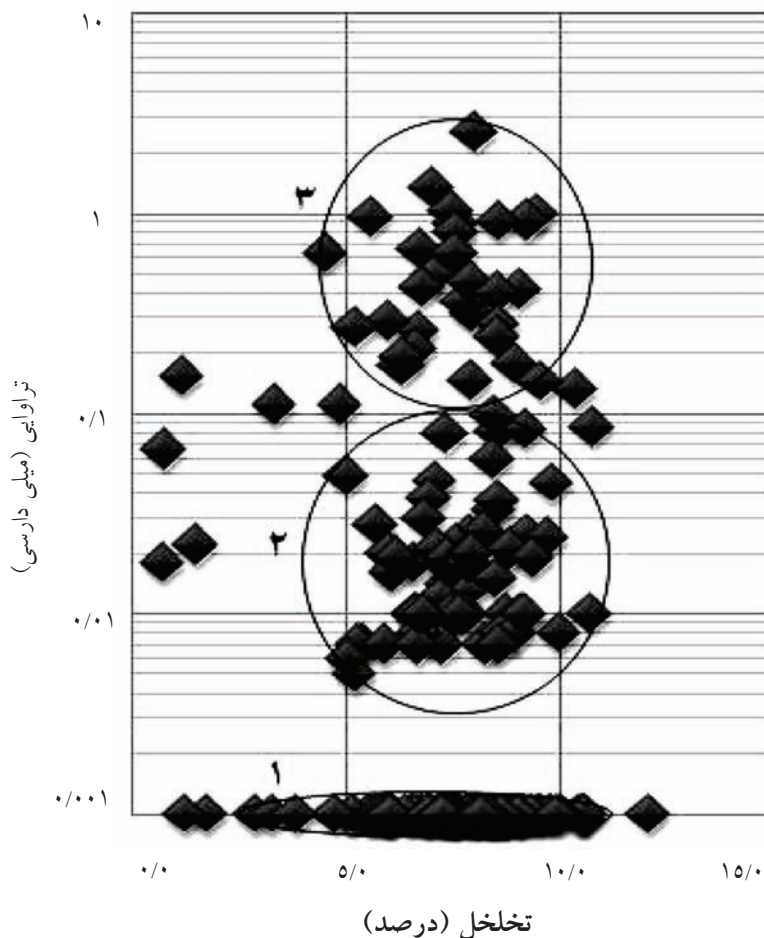
تخلخل، مقدار ظرفیت ذخیره‌سازی سیالات و تراوایی، قابلیت عبور و مرور سیالات را نشان می‌دهد که هر دو پارامتر در تعیین کیفیت مخزنی به کار می‌روند [۴۹]. عوامل بسیار زیادی همانند رخساره‌های رسوبی، تاریخچه دیاژنتیکی، شیب زمین‌گرایی و غیره در مقدار تخلخل تأثیر دارند [۱۰]. با افزایش عمق و سن رخساره‌ها که همراه با افزایش تدفین و دماست، میزان تأثیر فرایندهای دیاژنزی افزایش یافته و تخلخل بیشتر کاهش می‌یابد [۱۰]. بیشتر رخساره‌های سازند ایلام گل‌پشتیان هستند و تخلخل اولیه بسیار ناچیزی دارند. علاوه بر این، رسوبات گل‌پشتیان به دلیل سیستم حفره‌ای ریز (تراوایی بسیار کم) نسبت به رسوبات دانه‌پشتیان کیفیت مخزنی کمتری نشان می‌دهند. با این حال مطالعات نشان می‌دهد که رسوبات گل‌پشتیان نیز می‌توانند در اثر فرایندهای دیاژنتیکی انحلال، شکستگی و غیره کیفیت مخزنی بهتری کسب کرده و مخازن خوبی را تشکیل دهند [۳۹]. فرایندهای پیریتی‌شدن، سیلیسی‌شدن، گلوکونیتی‌شدن و دولومیتی‌شدن به دلیل گسترش و تأثیر کم آنها بر رخساره‌ها، تأثیر چندانی در افزایش یا کاهش تخلخل و تراوایی ندارند. بعضی از فرایندهای دیاژنزی همانند فشردگی فیزیکی و شیمیایی و سیمانی‌شدن، بیشترین تأثیر را در کاهش تخلخل و تراوایی داشته‌اند. از آنجایی که رخساره‌های سازند ایلام در چاه‌های مورد مطالعه عمدتاً دانه‌ریز و گل‌پشتیان هستند، فشردگی مکانیکی و آب‌زدایی در آنها اهمیت بسیار زیادی دارد. فشردگی مکانیکی منجر به آب‌زدایی، آرایش نزدیک‌تر دانه‌ها، ایجاد شکستگی‌های موضعی و خمش در دانه‌های ضعیف شده و در نهایت منجر به کاهش زیاد تخلخل اولیه در این نوع رخساره‌ها شده است. علاوه بر این، فشردگی شیمیایی نیز از طریق انحلال فشاری در محل تماس دانه‌ها موجب کاهش تخلخل نسبت به عمق و زمان می‌شوند [۳۸]. انحلال فشاری علاوه بر تأمین یون‌های لازم برای سیمانی‌شدن، رگچه‌های انحلالی تشکیل شده نیز موجب مغشوش کردن جریان سیالات [۴۴] و تمرکز مواد نامحلول در استیلولیت‌ها موجب کاهش تراوایی عمودی در سازند می‌شوند [۵۰].

سیمان‌های کلسیتی حجره‌های فسیلی، شکستگی‌ها و تعدادی از استیلولیت‌ها را پر کرده‌اند. به طور کلی سیمانی‌شدن، موجب مسدودشدن و کاهش اندازه فضای حفرات و در نهایت منجر به کاهش تخلخل می‌شود [۳۸]. علاوه بر تمام موارد فوق، رس‌ها نیز که در همه رخساره‌ها حضور دارد، تأثیر قابل توجهی در کاهش کیفیت مخزنی داشته است. رس‌ها در رخساره‌های سازند ایلام با پر کردن حفرات بین‌دانه‌ای و پوشاندن گلوگاه حفره‌ها منجر به کاهش تخلخل و تراوایی شده‌اند. علاوه بر این، رس‌ها تأثیر بسزایی در تسریع فرایندهای فشردگی شیمیایی و سیمانی‌شدن داشته که همه آنها منجر به کاهش کیفیت مخزنی شده‌اند. مطالعات لامبرت و همکاران [۴۷] نشان می‌دهد که کانی‌های رسی همانند کاتالیزور عمل کرده و موجب تسریع در فشردگی شیمیایی شده و با تأمین یون‌های لازم برای سیمانی‌شدن، گل‌های آهکی دارای حفره‌های ریز به گل آهکی با بافت بسیار فشرده و تخلخل بسیار کم تبدیل شده (نئومورفیسم افزایشی) و در نهایت منجر به کاهش کیفیت مخزنی می‌شوند. این مسأله کاملاً با شواهد موجود در رسوبات سازند ایلام تطابق داشته و نئومورفیسم افزایشی گل‌های آهکی رس‌دار و دارای حفره‌های ریز، موزائیک‌های بلوری فشرده‌ای تولید می‌کنند که تخلخل و تراوایی کمتری نسبت به حالت اولیه دارند (شکل ۷H). اما مهمترین عوامل در افزایش تخلخل و تراوایی، انحلال تدفینی و شکستگی است. فرایند انحلال تدفینی منجر به تشکیل انواع تخلخل قالبی، حفره‌ای و استیلولیتی شده است. توزیع و گسترش این نوع تخلخل‌ها در کل سازند ایلام تقریباً یکنواخت است. تشکیل تخلخل‌های ثانویه در شرایط دیاژنزی تدفینی عمیق، اهمیت زیادی دارند، زیرا منجر به افزایش کیفیت مخزنی می‌شوند [۳۹-۴۱ و ۵۱]. شواهد پتروگرافی و داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه‌ها نشان می‌دهد که بعضی از شکستگی‌ها توسط سیمان کلسیتی پر شده و منجر به کاهش کیفیت مخزنی شده است. علاوه بر مطالعات پتروگرافی می‌توان از روش‌های دیگری نیز برای بررسی وضعیت شکستگی‌ها در مخازن بهره گرفت. هرزروی گل حفاری در درون مخزن، یکی از روش‌های مفیدی است که در مطالعه و

در آن بخش از سازند ایلام اندازه‌گیری شده که مقدار شکستگی‌ها در آن بسیار کم است و شکستگی‌ها توسط کلسیت اسپاری پر شده‌اند (برای مثال در چاه شماره ۴ متناسب با ردیف ۲ و ۳ در جدول شماره ۱). بنابراین شکستگی‌ها در مقدار تخلخل و تراوایی اندازه‌گیری شده تأثیر چندانی ندارند. بر این اساس سه گروه سنگی مجزا که مقدار تخلخل هر سه گروه سنگی حدود ۵ تا ۱۰ درصد بوده ولی تراوایی آنها متغیر است از یکدیگر تفکیک می‌شوند. مقدار تخلخل می‌تواند هم مربوط به تخلخل اولیه و هم تخلخل ثانویه باشد و تمایز سهم هر کدام از آنها ممکن نیست. شاید در یک نگاه کلی بتوان گفت که مقدار کم تخلخل این سازند می‌تواند به دلیل افزایش زیاد فشار روباره و مهیا شدن شرایط برای فرایندهای دیاژنتیکی شیمیایی و عدم جای‌گیری زود هنگام هیدروکربن‌ها به جای آب حفره‌ای باشد [۵۳].

تحلیل شکستگی‌های مخزن از آن استفاده می‌شود. اگرچه هرزروی گل حفاری، امتداد، شیب و دیگر خصوصیات ساختاری شکستگی‌ها را مشخص نمی‌کند اما با استفاده از آن می‌توان مکان‌هایی با تراکم شکستگی بالا، همچنین محل احتمالی گسل‌ها را تعیین کرد [۵۲]. در جدول ۱ میزان هرزروی گل حفاری ثبت شده بر حسب بشکه در روز و عمق حفاری برای سازند ایلام در چاه شماره ۴ میدان نفتی ماله‌کوه، قابل مشاهده است. همانگونه که مشخص است، میزان شکستگی در تمام بخش‌های سازند ایلام یکسان نبوده و در بخش‌های خاصی تراکم شکستگی‌ها بسیار بالاست. بنابراین به نظر می‌رسد که شکستگی‌ها در بخش‌های خاصی از سازند ایلام تأثیر بسزایی در افزایش کیفیت مخزنی دارند. برای درک بهتر ارتباط تخلخل با تراوایی، نمودار داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه برای انواع رخساره‌ها در این میدان ترسیم شده است (شکل ۹). مقدار تخلخل و تراوایی مغزه

ماله کوه #۳ و ۴



شکل ۹- نمودار داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه انواع رخساره‌ها در میدان نفتی ماله‌کوه

جدول ۱- میزان هرزروی گل حفاری در چاه شماره ۴ میدان نفتی ماله کوه [۵۶]

بخش / سازند	هرزروی (بشکه در روز)	فاصله عمقی (متر)		ردیف
		تا عمق	از عمق	
گورپی پایینی				۱
ایلام	۲۰	۱۲۲۴	۱۲۲۳	۲
	۸	۱۲۳۶	۱۲۳۱	۳
	۸ - ۰	۱۳۱۵	۱۲۳۶	۴
	۴ - ۰	۱۳۱۹	۱۳۱۵	۵
	۱۲۰ - ۱۰۰	۱۳۷۱	۱۳۳۴	۶
	۱۲۰ - ۵۰	۱۴۰۳	۱۳۷۱	۷
	۳۶	۱۴۴۵	۱۴۴۴	۸
سورگه	۱۰ - ۸	۱۵۱۱	۱۵۰۸	۹

شده است که رخساره‌های سازند ایلام را تحت تأثیر قرار داده است. فرایندهای دیاژنز فشرده‌گی مکانیکی و شیمیایی، سیمانی شدن و نئومورفیسم افزایشی از مهمترین عوامل کاهنده و فرایندهای انحلال تدفینی و شکستگی از عوامل اصلی در افزایش تخلخل و تراوایی در رخساره‌ها است. رس‌ها علاوه بر کمک بر تشکیل بیشتر استیلولیت‌ها، با قرارگیری بین دانه‌ها، تخلخل و تراوایی را به مقدار زیادی کاهش داده‌اند. فرایندهای سیلیسی شدن، گلوکونیتی شدن، پیریتی شدن و دولومیتی شدن تأثیر چندانی در مقدار تخلخل و تراوایی نداشته‌اند. مهمترین انواع تخلخل شناسایی شده از نوع قالبی، حفره‌ای، استیلولیتی، بین‌بلوری و درون‌دانه‌ای است. توالی پاراژنتیکی سازند ایلام نشان‌دهنده تأثیر مجموعه‌ای از فرایندهای دیاژنزی همزمان با رسوب‌گذاری در کف دریا و پس از رسوب‌گذاری در طی دفن کم عمق تا عمیق و بالآمدگی است. ترسیم نمودار داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه برای انواع رخساره‌ها در این میدان نشان می‌دهد که فرایندهای دیاژنزی موجب افزایش تراوایی شده که این امر نیز مرتبط با تشکیل تخلخل استیلولیتی در برخی رخساره‌ها بوده که به عنوان مجرای عبور سیالات عمل کرده است.

گروه سنگی اول متناسب با رخساره‌های مادستونی و گروه دوم و سوم متناسب با رخساره‌های وکستونی و پکستونی است. دو گروه سنگی اول و دوم تراوایی بسیار کمی داشته ولی تراوایی گروه سوم نسبتاً بالاست. اختلاف قابل توجه مقدار تراوایی نشان می‌دهد که حرکت سیال از طریق شبکه‌های جریان بهینه که بخش کوچکی از حجم کل سنگ را تشکیل می‌دهند، صورت می‌گیرد [۵۴] که با نتایج مطالعه سازند ایلام همخوانی دارد. شواهد پتروگرافی نشان می‌دهد که گروه سوم متناسب با آن قسمت‌هایی است که تمرکز استیلولیت‌ها در آنها بالا بوده و بر اثر عبور سیالات خورنده در آنها تخلخل استیلولیتی تشکیل شده است. این مسأله نشان می‌دهد که فرایندهای دیاژنزی موجب افزایش تراوایی شده که این امر نیز مرتبط با تشکیل تخلخل استیلولیتی در برخی رخساره‌ها بوده که به عنوان مجرای عبور سیالات عمل کرده است.

نتیجه‌گیری

فشرده‌گی مکانیکی و شیمیایی، نئومورفیسم افزایشی، انواع جانیشینی‌ها (پیریتی شدن، دولومیتی شدن، سیلیسی شدن و گلوکونیتی شدن)، سیمانی شدن، چند نسل از شکستگی‌ها و انحلال تدفینی، از مهمترین فرایندهای دیاژنزی شناسایی

منابع

- [1] Alavi M.A., "Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran", American Journal of Science., Vol. 307, pp. 1064-1095, 2007.
- [2] Alavi M.A., "Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution", American Journal of Science., Vol. 304, pp. 1-20, 2004.
- [3] Alavi M.A., "Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretation", Tectonophysics., Vol. 229, pp. 211-238, 1994.
- [4] Sepehr M., & Cosgrove J.W., "Structural framework of the Zagros fold-thrust belt", Iran, Marine and Petroleum Geology., Vol. 21, pp. 829-843, 2004.
- [5] Sepehr M., & Cosgrove J.W., "Role of the Kazerun fault zone in the formation and deformation of the Zagros fold-thrust belt", Iran, Comptes Rendus Geosciences., Vol. 337, pp. 539-545, 2005.
- [۶] مطیعی ه.، زمین‌شناسی ایران (چینه‌شناسی زاگرس)، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۲.
- [۷] چهارده چریک غ.، زیست چینه‌نگاری سازند ایلام (مقطع تیپ) براساس فرامینفرهای پلانکتونیک، جنوب غرب ایلام، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، ایران، ۱۳۸۵.
- [8] Dunham R.J., "Classification of carbonate rocks according to depositional texture", In: Ham, W.E. (Ed.), Classification of Carbonate Rocks, AAPG Mem.1, pp. 108-121, 1962.
- [9] Flugle E., *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application*, 2th Ed., Springer Berlin Heidelberg, 2004.
- [10] Ehrenberg S.N., Nadeau P.H., & Stee n.Ø., "Petroleum reservoir porosity versus depth: Influence of geological age", AAPG Bulletin., Vol. 93, PP. 1281-1296, 2009.
- [11] Bordenave M.L., & Hegre J.A., "The influence of tectonics on the entrapment of oil in the dezful embayment, Zagros Foldbelt", Iran., Journal of Petroleum Geology., Vol. 28, PP. 339-368, 2005.
- [12] Moore C.H., *Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework (Developments in Sedimentology, 55)*, Elsevier, 2001.
- [13] Choquette P.W., & Pray L.C., "Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates", AAPG Bulletin., Vol. 54, PP. 207-250, 1970.
- [14] Tucker M.E., *Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*, 3th Ed., Blackwell Science., 2001.
- [15] Vaziri-Moghaddam H., Kimiagari M., & Taheri A., "Depositional environment and sequence stratigraphy of the Oligo- Miocene Asmari formation in SW Iran, facies.", Vol. 52, PP. 41-51, 2006.
- [16] Gischler E., & Lomando A.J., "Offshore sedimentary facies of a modern carbonate ramp", Kuwait, northwestern Arabian-Persian Gulf, Facies., Vol. 50, PP. 443-462, 2005.
- [17] Lewis D.W., & McConchie D., *practical Sedimentology*, 2th Ed., Chapman Hall., 1994.
- [18] Ahmad A.H.M., Bhat G.M., & Haris Azim Khan M., "Depositional environments and diagenesis of the kuldhar and keera dome carbonates (Late Bathonian-Early Callovian) of Western India", Journale of Asian Earth Sciences., Vol. 27, PP. 765-778, 2006.

- [19] Onasch, C.M., "Assessing brittle volume-gain and pressure solution volume-loss processes in quartz arenite", J. Struct. Geol., Vol. 16, PP. 519-530, 1994.
- [20] Ehrenberg S.N., "Porosity destruction in carbonate platforms", Journal of Petroleum Geology., Vol. 29, PP. 41-52, 2006.
- [21] Goldhaber M.B., "Sulfur-rich sediments", In: Mackenzie F.T. (Ed.), Sediments, Diagenesis, and Sedimentary Rocks, Treatise on Geochemistry, Elsevier, Amsterdam, pp. 257-288, 2004.
- [22] Schulz H.D., & Zabel M., *Marine geochemistry*, 2th Ed., Springer., 2006.
- [23] Jørgensen B.B., "Bacterial sulfate reduction within reduced micro-niches of oxidised marine sediments", Marine Biology., Vol. 41, PP. 7-17, 1977.
- [24] Wilkin R.T., Barnes H.L., & Brantley S.L., "The size distribution of framboidal pyrite in modern sediments: an indicator of redox conditions", Geochimica et Cosmochimica Acta., Vol. 60, PP. 3897-3912, 1996.
- [25] Canfield D.E., & Raiswell R., *Pyrite formation and fossil preservation*, In: Allison P.A., Briggs D.E.G. (Ed.), Taphonomy: Releasing the Data Locked in the Fossil Record, Plenum Press, pp. 337-387, 1991.
- [26] Schulke I., & Popp A., "Microfacies development, sea-level change, and conodont stratigraphy of Famennian mid to deep platform deposits of the Beringhauser Tunnel section (Rheinisches Schiefergebirge, Germany)", Facies., Vol. 50, PP. 647-664, 2005.
- [27] Sibley, D.F., & Gregg, J.M., "Classification of dolomite rock textures", Journal of Sedimentary Petrology., Vol. 57, PP. 967-975, 1987.
- [28] Purser, B.H., Tucker, M.E., & Zenger, D.H., *Problems, progress and future research concerning dolomites and dolomitisation*, In: Purser, B., Tucker, M., Zenger, D. (Eds.), Dolomites, A Volume in Honour of Dolomieu, Blackwell, PP. 3- 20, 1994.
- [29] Hood S.D., Nelson C.S., & Kamp P.J.J., "Burial dolomitisation in a non tropical carbonate petroleum reservoir: the Oligocene Tikorangi Formation", Taranaki Basin, New Zealand, Sedimentary Geology., Vol. 172, PP. 117-138, 2004.
- [30] Wilson M.E.J., Evans M.J., Oxtoby N.H., Nas D.S., Donnelly T. & Thirlwall M., "Reservoir quality, textural evolution and origin of fault-associated dolomites", AAPG Bulletin., Vol. 91, PP. 1247-1273, 2007.
- [31] Warren, J., "Dolomite: occurrence", evolution and economically important associations, Earth-Science Reviews., Vol. 52, PP. 1-81, 2000.
- [32] Torok A., "Formation of dolomite mottling in Middle Triassic ramp carbonates (southern Hungary)", Sedimentary Geology., Vol. 131, PP. 131-145, 2000.
- [33] Allen P.A., Allen J.R., *Basin analysis: principles and applications*, 2th Ed, Blackwell Science., 2005.
- [34] Heydari E., "Porosity loss, fluid flow and mass transfer in limestone reservoirs: application to the upper Jurassic Smackover formation", Mississippi, AAPG Bulletin., Vol. 84, PP. 100-118, 2000.
- [35] Tucker M.E., Wright V.P., *Carbonate sedimentology*, Blackwell Science., 1990.
- [36] McBride E.F., "Quartz cements in sandstone: a review", Earth-Science Reviews., Vol. 26, PP. 69-112, 1989.
- [37] Amorosi A., Sammartino I., Tateo F., "Evolution patterns of glaucony maturity: A mineralogical and geochemical

- approach", Deep-Sea Research II., Vol. 54, PP. 1364-1374, 2007.
- [38] Lucia F.J. *Carbonate Reservoir Characterization*, 2th Ed., Springer, 2007.
- [39] Beavington-Penney S.J., Nadin P., Wright V.P., Clarke E.d., McQuilken J. & Bailey H.W., "Reservoir quality variation on an eocene carbonate ramp", El Garia Formation, offshore Tunisia: Structural control of burial corrosion and dolomitisation, *Sedimentary Geology*, Vol. 209, PP. 42-57, 2008.
- [40] Esteban M., Taberner C., "Secondary porosity development during late burial in carbonate reservoirs as a result of mixing and/or cooling of brines", *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 78-79, PP. 355-359, 2003.
- [41] Vandeginste V., Swennen R., Gleeson S.A., Ellam R.M., Osadetz K. & Roure F., "Development of secondary porosity in the Fairholme carbonate complex (southwest Alberta, Canada)", *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 89, PP. 394-397, 2006.
- [42] Benchilla L., Swennen R., Akhtar K. & Roure F., *Sedimentology and diagenesis of the Chorgali Formation in the Potwar Plateau and Salt Range, Himalayan foothills (N-Pakistan)*, AAPG Hedberg Conference., Palermo-Mondello (Sicily, Italy), 2002.
- [43] Story C., Peng P., Heubeck C., Sullivan C. & Dong Lin J., "An integrated geoscience and reservoir simulation study of the Lihua 11-1 Field: South China Sea", 32nd Annual Offshore Technology Conference Transactions, Houston, pp. 1-11, 2000.
- [44] Heasley E.C., Worden R.H. & Hendry J.P. "Cement distribution in a carbonate reservoir: recognition of a palaeo oil-water contact and its relationship to reservoir quality in the Humbly Grove field", onshore, UK, *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 17, PP. 639-654, 2000.
- [45] Bloch S., Lander R.H. & Bonnell L., "Anomalous high porosity and permeability in deeply buried sandstone reservoirs: origin and predictability", *AAPG Bulletin*, Vol. 86, PP. 301-328, 2002.
- [46] Wilkinson M.R., Haszeldine S., Ellam R.M. & Fallick E., "Hydrocarbon filling history from diagenetic evidence: Brent Group, UK North Sea", *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 21, PP. 443-455, 2003.
- [47] Lambert L., Durllet C., Loreau J.P. & Marnier G., "Burial dissolution of micrite in Middle East carbonate reservoirs (Jurassic- Cretaceous): keys for recognition and timing", *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 23, PP. 79-92, 2006.
- [48] Jin Z., Zhu D., Hu W., Zhang X., Zhang J. & Song Y., "Mesogenetic dissolution of the middle ordovician limestone in the tahe oilfield of tarim basin", NW China, *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 26, PP. 753-763, 2008.
- [49] Ahr W.M., *Geology of Carbonate Reservoirs: The Identify Cation, Description, and Characterization of Hydrocarbon Reservoirs in Carbonate Rocks*, John Wiley & Sons, Inc. publication., 2008.
- [50] Büyüktku A.G. 2009: "Reservoir properties of Karaisalı formation in the Adana Basin", Southern Turkey. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 65, PP. 33-44, 2009.
- [51] Neilson J.E., & Oxtoby N.H., "The relationship between petroleum, exotic cements and reservoir quality in carbonates -A review", *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 25, PP. 778-790, 2008.

[۵۲] مداحی ح.، علوی س.ا.، عبداللهی فرد ا.، امیری بختیار ح.، طالبی ح.، تعیین نواحی با تراکم شکستگی بالا در مخازن آسماری و بنگستان میدان نفتی بی‌بی حکیمه با استفاده از داده‌های حفاری و شاخص بهره‌دهی مخزن، اولین کنگره ملی توسعه مخازن شکافتار و چالش‌های پیش‌رو، ۱۳۸۸.

- [53] Maliva R.G., Missimer T.M., Clayton E.A., & Dickson J.A.D., "Diagenesis and porosity preservation in Eocene microporous limestones", South Florida, USA, *Sedimentary Geology*, Vol. 217, PP. 85-94, 2009.
- [54] Ehrenberg S.N., "Whole core versus plugs: Scale dependence of porosity and permeability measurements in platform carbonates", *AAPG Bulletin*, Vol. 91, PP. 835-846, 2007.
- [55] Heydari E., Hassanzadeh J., Wade W.J., & Ghazi A.M., "Permian-triassic boundary interval in the Abadeh section of Iran with implications for mass extinction", Part 1, *Sedimentology. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol.*, Vol. 193, PP. 405- 423, 2003.
- [56] Pars Petro Zagros, *Technical supervision on Maleh Kuh Oilfield, Geological complection report for Maleh Kuh # 04*, Iranian Central Oilfields Company, Unpublished, 2008.