

تأثیرات محیط رسوبی و فرایندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی سازند آسماری در میدان قلعه‌نار، فروافتادگی دزفول

حسین رحیم‌پور بناب^{۱*}، عایشه سلمانی^۲، محسن رنجبران^۳ و سیدمحسن آل‌علی^۴

۱ و ۳- دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران

۲ و ۴- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

نویسنده مسئول: *rahimpor@ut.ac.ir

دریافت: ۹۶/۲/۳۰ پذیرش: ۹۶/۱۲/۹

چکیده

سازند آسماری، به سن الیگومیوسن سنگ مخزن کربناتی شناخته شده در دنیا و اصلی‌ترین سنگ مخزن هیدروکربوری در ایران است که عمده‌ی تولید نفت در فروافتادگی دزفول از این سازند صورت می‌گیرد. در این مطالعه به منظور درک عوامل کنترل‌کننده کیفیت مخزنی این سازند مطالعات تفصیلی پتروگرافی در میدان نفتی قلعه‌نار صورت گرفته است. این سازند در میدان قلعه‌نار از رخساره‌های دانه‌پشتیبان بیوکلستی-پلونییدی (فرامینفری- جلبکی) تشکیل شده و بر اساس مطالعات انجام شده بر روی ۸۰۰ مقطع نازک میکروسکوپی تهیه شده از مغزه‌ها و خرده حفاری در این میدان ۹ رخساره رسوبی شناسایی شده است. این ریزرخساره‌ها مربوط به بخش‌های لاگونی، پشته‌های زیرآبی، سکو نومولیتی و بخش‌های دریای باز بوده که در رمپ کربناته کم شیب نهشته شده‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که گسترش فرایندهای دیاژنزی انحلال و دولومیتی شدن مرتبط با ریزرخساره‌های دانه‌پشتیبان پشته‌های زیر آبی و سدهای نومولیتی می‌باشد. انحلال به همراه دولومیتی شدن از عوامل افزایش دهنده کیفیت مخزن و سیمانی شدن و تراکم مهم‌ترین عوامل کاهش کیفیت مخزنی در سازند آسماری هستند.

واژه‌های کلیدی: سازند آسماری، رخساره، دیاژنز، دولومیتی شدن، کیفیت مخزنی، میدان نفتی قلعه‌نار

مقدمه

تجمع هیدروکربن در اغلب مخازن کربناته دنیا) کاملاً ضروری است. فرایندهای دیاژنزی پس از رسوب‌گذاری به طرق مختلفی کیفیت مخزنی مخازن کربناته را تحت تأثیر قرار داده و سبب بهبود یا کاهش آن می‌گردند. از آنجا که سازند آسماری مهم‌ترین سنگ مخزن میدان مورد مطالعه و بسیاری از میدان‌های فروافتادگی دزفول است، لذا بررسی دقیق آن از لحاظ تاریخچه رسوب‌گذاری و پس از رسوب‌گذاری می‌تواند درک بهتری از جایگاه رسوبات سازند آسماری در جغرافیای دیرینه زاگرس ارائه کند. از طرفی سازند آسماری همانند دیگر مخازن کربناته شکاف‌دار دنیا دارای توزیع خواص مخزنی بسیار ناهمگن بوده و لذا آگاهی از تأثیر فرایندهای رسوب‌گذاری و دیاژنزی بر خواص مخزنی در زون‌بندی مخزن و برقراری ارتباط معنادار بین آن‌ها ضروری است. هدف اصلی این مطالعه پاسخ به این سوال است که از عوامل سه‌گانه اصلی فوق (یعنی محیط رسوبی، دیاژنز و شکستگی)

خاورمیانه میزبان عظیم‌ترین ذخایر نفت و گاز جهان است که بخش اصلی آن در صفحه عربی واقع شده است. اغلب این ذخایر هیدروکربوری، میدان‌های بزرگ و گسترده‌ای را در منطقه ایجاد کرده و این مسئله، صفحه عربی را به یکی از اصلی‌ترین ایالات هیدروکربوری جهان مبدل ساخته است (شارلند، ۲۰۰۱). کربنات‌های کم‌عمق سازند آسماری، میزبان ذخایر هیدروکربنی عظیمی در جنوب و جنوب‌غربی ایران هستند که از ابتدای قرن بیستم در تولید نفت نقش بسزایی ایفا می‌کنند. اصولاً در مخازن کربناته عوامل مختلفی در کنترل کیفیت مخزنی نقش دارند که شامل بافت رسوبی اولیه، دیاژنز و شکستگی‌ها است (اهر، ۲۰۰۷) که در مورد سازند آسماری غالباً شکستگی‌ها نقش ویژه‌ای ایفا می‌کنند. بنابراین، درک محیط رسوبی و تاریخچه دیاژنزی سازندهای مخزنی کربناته با استفاده از بررسی دقیق رخساره‌ها، مطالعه فرایندهای دیاژنز (به عنوان مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده

کدامیک نقش مهم‌تری در کنترل کیفیت مخزنی سازند آسماری در میدان مورد مطالعه داشته‌اند؟

زمین‌شناسی منطقه و چینه‌شناسی

میدان قلعه‌نار در منطقه زاگرس چین‌خورده، در حاشیه شمالی فروافتادگی دزفول قرار دارد. روند این میدان شمال باختر- جنوب خاور بوده که مبین تأثیر زون گسلی بالارود بر روی این میدان است. از این میدان در افق‌های آسماری و بنگستان نقشه‌های زیرسطحی تهیه شده است (شکل ۱). ضخامت آسماری در این میدان ۳۴۰ متر است. این میدان در افق آسماری دارای طول ۲۴/۵ کیلومتر و عرض متغیر که به طور متوسط ۳/۵ کیلومتر بوده و ۱۱ حلقه چاه در آن حفاری شده است. از لحاظ مورفولوژیکی، میدان قلعه‌نار در افق آسماری یک چین دو پلانژه^۱ بوده که دماغه شرقی آن با میدان بالارود تداخل پیدا کرده و به خوبی مشخص نیست. میدان قلعه‌نار در افق آسماری دارای دو کوهانک با اعماق ۲۳۰۶ متر و عمق ریزش آب و نفت ۲۸۴۰ متر بوده که در نتیجه، میزان بستگی قائم نفتی حدوداً ۵۳۴ متر می‌باشد. نقشه خطوط هم‌تراز زیرزمینی (UGC map) افق آسماری در میدان قلعه‌نار در منطقه مورد مطالعه، در شکل ۱ مشاهده می‌شود (عظیمی، ۱۳۹۲). مرز پایینی سازند آسماری در فروافتادگی دزفول سازند شیلی پابده به صورت هم‌شیب و پیوسته است. مرز فوقانی این سازند با سازند تبخیری گچساران به صورت همساز و در برخی مناطق ناهم‌ساز است. سازند آسماری در فروافتادگی دزفول بیش‌ترین گسترش را داشته و برش الگوی آن در تنگ گل‌ترش در جنوب‌شرقی مسجد سلیمان با ستبرای ۳۱۴ متر قرار دارد (آقانباتی، ۱۳۸۳). این سازند از سنگ‌آهک فسیل‌دار، سنگ‌آهک دولومیتی، سنگ‌آهک رسی، ماسه‌سنگ و شیل تشکیل شده است (جیمز و وایند، ۱۹۶۵). سازند آهکی آسماری در برش‌های کامل دارای دو بخش شامل عضو ماسه‌سنگی اهواز و عضو تبخیری کلهر است (آقانباتی، ۱۳۸۳). از نظر سنی این سازند از الیگوسن (روپلین) شروع می‌شود و تا میوسن پایینی (بوردیگالین) ادامه می‌یابد (مطیعی، ۱۳۷۲). سازند آسماری از جنبه‌های مختلف شامل تغییرات رخساره‌ای و محیط‌رسوبی، چینه‌نگاری سکansı، تغییرات

دیاژنزی و مطالعات ژئوشیمیایی و کیفیت مخزنی در بخش‌های مختلف زاگرس و خلیج‌فارس مطالعه شده است برای مثال (بچمن و هیرسچ، ۲۰۰۶؛ امیرشاه کرمی، ۲۰۰۷؛ اهرنبرگ، ۲۰۰۷؛ مصدقی و همکاران، ۲۰۰۹؛ رحیم‌پوربناب، ۲۰۱۰؛ سلطانیان، ۲۰۱۱؛ بهرامی و همکاران، ۱۳۹۳). با بررسی رخساره‌ها و چگونگی گسترش آن‌ها بازسازی محیط‌های رسوبی دیرینه، ارائه‌ی مدل رخساره‌ای می‌توان پیش‌بینی بهتری نسبت به محل و نحوه گسترش شکل هندسی رخساره‌های رسوبی و تحلیل حوضه‌ی رسوب‌گذاری رسوبات سازند آسماری در زاگرس انجام داد.

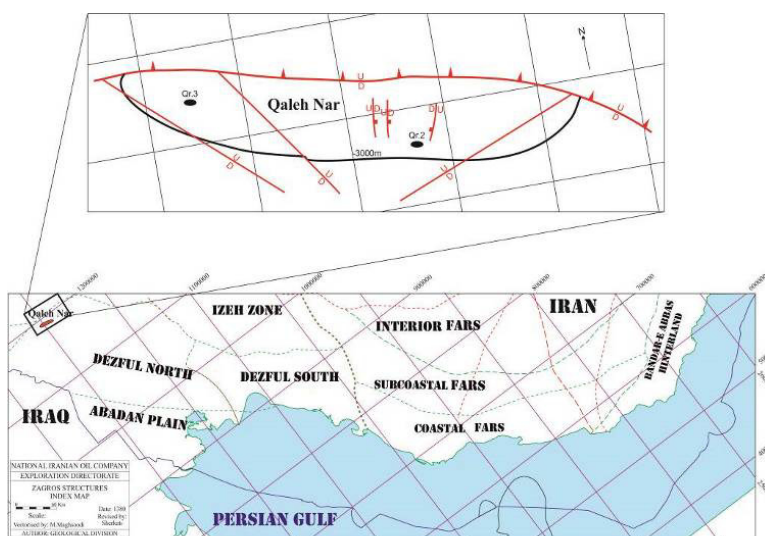
داده‌ها و روش‌های مطالعه

در این پژوهش برای مطالعه سازند آسماری از داده‌های ۲ چاه استفاده شده است. جهت تشخیص اجزای سازنده ریزرخساره‌ها و فرآیندهای دیاژنزی ۸۰۰ عدد مقطع نازک میکروسکوپی حاصل از مغزه‌ها و خرده‌های حفاری مطالعه و توصیف شده است. برای نام‌گذاری بافتی ریزرخساره‌ها از روش تقسیم‌بندی دانه‌ها (۱۹۶۲) و برای شناسایی کمربندهای رخساره‌ای و تفسیر محیط رسوبی از تقسیم‌بندی فلوگل (۲۰۱۰) استفاده شده است. تمام مقاطع نازک جهت تعیین سنگ‌شناسی با محلول آلزاین قرمز به روش دیکسون (۱۹۶۶) رنگ‌آمیزی شده‌اند. به منظور ارزیابی کیفیت مخزنی از داده‌های تخلخل و تراوایی تهیه شده از مغزه متعلق به شرکت مهندسی و توسعه نفت ایران استفاده شده است. برای رسم نمودارها و تجزیه تحلیل آن‌ها از نرم‌افزارهای Matlab, TecLog و Excel بهره‌گیری شده است.

محیط رسوبی و ریزرخساره‌ها

بر اساس مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی در میدان مورد مطالعه ۹ ریزرخساره شناسایی شده است که در محیط‌های رمپ داخلی (پهنه جزر و مدی، لاگون و پشته زیر آبی)، رمپ میانی و رمپ خارجی نهشته شده‌اند. در ادامه این ریزرخساره‌ها به طور خلاصه مورد توصیف و تفسیر قرار گرفته‌اند (جدول ۱).

¹ Double Plunge



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی میدان قلعه‌نار در فروافتادگی دزفول و خطوط هم‌تراز زیرزمینی (UGC map)

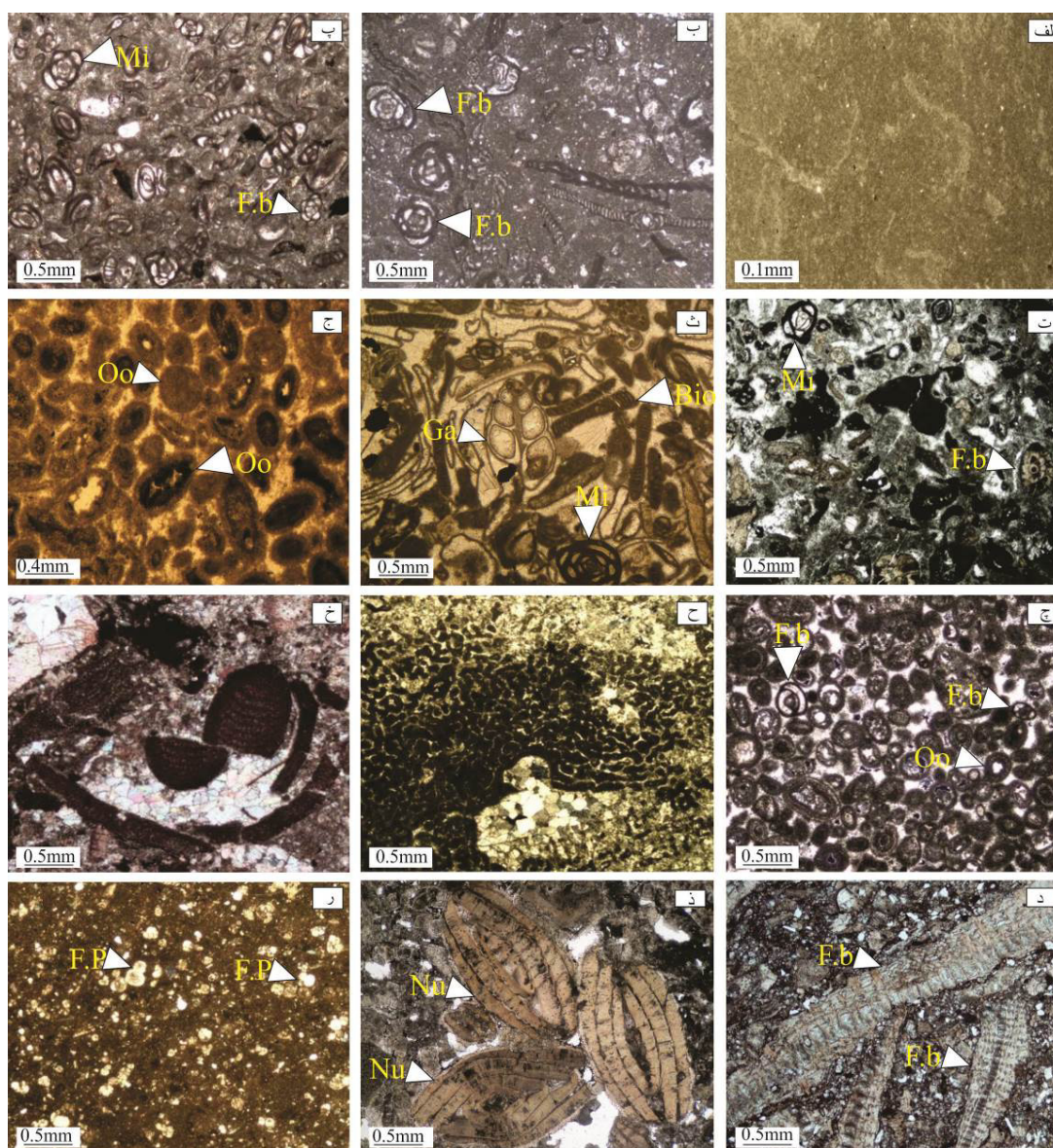
جدول ۱. ریزرخساره‌ها و کمربندهای رخساره‌ای شناسایی شده در سازند آسماری

شماره رخساره	ریزرخساره‌ها	آلومک		سطح انرژی	فرایندهای دیاژنزی اصلی	معادل کمربندهای رخساره‌ای (فلوگل، ۲۰۱۰)
		اسکلتی	غیر اسکلتی			
۱	مادستون	-	-	پایین	دولومیتی شدن، جانشینی انیدریتی	رمپ داخلی (پهنه جزر و مدی) RMF 22
۲	پکستون تا وکستون بایوکلست‌دار	میلیولید (ر)، آرکیاس، پنروپلیس، آستروتریلینا (ر)، دوکفه‌ای، اکینودرم، خرده‌های بریوزوئر (ک)	پلونیید- اینتراکلت (ک)	پایین تا متوسط	سیمانی شدن، استیلولیتی شدن	رمپ داخلی (لاگون محدود) ۲۰-RMF
۳	وکستون / حاوی روزن‌داران بدون منفذ	میلیولید (ف)، پنروپلیس، میوزیپسینوئید، بوریس (ر)، دوکفه‌ای، اکینوئید، بریوزوئر (ک)	پلونیید (ر)	پایین تا متوسط	میکریتی شدن، تبلور مجدد	رمپ داخلی (لاگون محدود) RMF16
۴	پکستون/گرینستون (حاوی روزن‌داران منفذدار و بدون منفذ)	میلیولید (ر)، میوزیپسینا (ک)، نئو روتالیا، آفستزینا، اکینوئید، جلبک قرمز، دوکفه‌ای (ر)	اینتراکلت (ک)	متوسط تا بالا	استیلولیتی شدن	رمپ داخلی (لاگون باز) RMF26
۵	گرینستون تا پکستون بایوکلست‌دار	میلیولید (ک)، دندریتینا (ک)، خرده‌های دوکفه‌ای (ر)	اینتراکلت (ک)، پلونیید (ک)	بالا	تبلور مجدد، انحلال، میکریتی شدن	رمپ داخلی (شول) RMF29
۶	گرینستون انیدیدی	-	انید (ف) پلونیید (ک)	بالا	میکریتی شدن، سیمانی شدن، انحلال	رمپ داخلی (شول) RMF29
۷	فلوتستون/باندستون (حاوی مرجان و جلبک قرمز)	مرجان (ف)، جلبک قرمز، خارپوست، بریوزوئر (ک)	-	بالا تا متوسط	سیمانی شدن	رمپ میانی RMF15
۸	پکستون (حاوی نومولیتید و لیدوسیکلینید)	نومولیت (ف)، میوزیپسینا (ر)، آفستزینا(ر)، هتروستزینا، میلیولید، جلبک قرمز، خرده‌های دوکفه-ای (ک)	پلونیید (ک)، اینتراکلت (ک)	متوسط	دولومیتی شدن، درزه‌های انحلالی	رمپ میانی RMF8
۹	وکستون/پکستون (حاوی روزن‌بران پلانکتون)	گلوبیژینا (ف)، میوزیپسینوئید (ک)، کربونئید، جلبک قرمز، میلیولید (ک)	پلونیید (ک) اینتراکلت (ک)	پایین	تبلور مجدد، استیلولیتی شدن، سیمان کلسیتی	رمپ خارجی RMF2

درصد فراوانی: ف: فراوان، ر: رایج، کم: کم

۲- پکستون تا وکستون دارای بایوکلست و روزن‌داران بدون منفذ
این ریزرخساره از انواع مختلفی از روزن‌داران بدون منفذ نظیر آرکیاس، پنروپلیس (Peneroplis)، آستروتریلینا و نرم‌تنان شامل خرده‌های دوکفه‌ای جلبک قرمز (ساب‌ترینی‌فیوم، لیتوفیلوم) با فراوانی (۱۰ تا ۱۵ درصد) و اجزای فرعی شامل پلونیید (۱۰ درصد) و اکینودرم تشکیل شده است (شکل ۲-ب).

A) کمر بند پهنه جزر و مدی و لاگون (رمپ داخلی) -۱ مادستون
این ریزرخساره از گل‌آهکی خالص تشکیل شده و فاقد هر گونه آلومکی است. لایه‌بندی خاصی در آن مشاهده نمی‌شود. در برخی موارد دانه‌های کوارتز و آثار انیدریتی شدن، دولومیتی شدن در آن دیده می‌شود. (شکل ۲-الف).



شکل ۲. الف) مادستون، ب) پکستون تا وکستون (حاوی بایوکلست)، پ) وکستون / پکستون (حاوی روزن‌داران بدون منفذ)، ت) پکستون / گرینستون دارای روزن‌داران منفذدار و بدون منفذ، ث) گرینستون تا پکستون (حاوی بایوکلست)، ج) گرینستون آئیدی، چ) گرینستون آئیدی به همراه روزن‌داران کفزی، ح و خ) فلوتستون / باندستون دارای مرجان و جلبک قرمز، د) پکستون (حاوی نومولیتید و لپیدوسیکلینید)، ذ) نومولیت‌های موجود در بنک نومولیتی، ر) وکستون / پکستون (حاوی روزن‌بران پلانکتون). تصاویر ب، ث و ذ در نور XPL و تصاویر الف، پ، چ، ح، د و ر در نور PPL تهیه شده است. علائم اختصاری: Nu نومولیت، Mi: میلیولید، Fb: روزن‌بران بنتیک، Oo: اوئید، Co: مرجان، F.P: روزن‌بران پلانکتونیک.

ندرت خرد شده‌اند. پلوئیدها از اجزای غیراسکلتی با فراوانی کمتر از ۱۰ درصد در یک زمینه میکرایتی قرار دارند. دانه‌های این ریزرخساره در اندازه ماسه متوسط هستند. این ریزرخساره بیش‌ترین درصد فراوانی را در چاه‌های مورد مطالعه دارد (شکل ۲- پ) (شکل ۴- الف).

۳- وکستون / پکستون دارای روزن‌داران بدون منفذ
این ریزرخساره از انواع مختلفی از روزن‌داران بدون منفذ نظیر میلیولید (miliolids)، پتروپلیس (Peneroplis)، میوزیپسینوئید، بوریس (Borelis)، دندرتینا (Dendritina) با فراوانی ۲۰ الی ۳۰ درصد تشکیل شده است. این روزن‌داران شکل کامل خود را حفظ کرده و به

۴- پکستون/گریستون دارای روزن‌داران منفذدار و بدون منفذ

دانه‌های اصلی شامل مجموعه‌ای از روزن‌داران کفزی بدون منفذ نظیر میلیولید (۵ الی ۱۰ درصد) و روزن‌داران منفذدار نظیر میوژپسینوئید، نئوروتالیا (Neorotalia)، آمفیسترتینا (Amphistegina) به میزان ۲۰ الی ۲۵ درصد به همراه خرده‌های اکینوئید، جلبک قرمز و دوکفه‌ای به میزان کمتر از ۱۵ درصد هستند. اینتراکلت در اندازه ۰/۴ میلی‌متر زاویه‌دار با فراوانی ۵ درصد از اجزای غیر اسکلتی این ریزرخساره است. دانه‌ها در اندازه ماسه متوسط تا درشت دیده شده‌اند. بعد از ریزرخساره شماره ۳، این رخساره بیش‌ترین درصد فراوانی را از نظر ضخامت در چاه‌های مورد مطالعه دارد (شکل ۲-ت).

B) کمر بند پشته‌های زیرآبی

۵- گریستون تا پکستون بایوکلت

این ریزرخساره شامل روزن‌داران بدون منفذ (میلیولید، فرامینیفراهای تک‌ردیفه و دوردیفه، دندرتینا، آرکیاس) و خرده‌های دوکفه‌ای و آلوکم‌های فرعی شامل اینتراکلت، پلوئید، گاستروپود، بریوزوئر، کراینوئید، جلبک قرمز و غلاف کرم^۱ است. جورشدگی، گردشدگی و سیمانی شدن خوبی در ذرات مشاهده می‌شود. وجود این آثار در این ریزرخساره حاکی از نهشت آن در بخش رو به لاگون پشته‌های زیرآبی بوده که در آب‌های کم‌عمق و در محیطی با انرژی متوسط تا زیاد تشکیل شده است (برناس، ۲۰۰۳) (شکل ۲-ث).

۶- گریستون اووئیدی

ائیدها در این ریزرخساره با فراوانی ۵۰ الی ۶۰ درصد همراه با پلوئیدها با فراوانی کمتر از ۱۰ درصد در یک زمینه سیمان اسپاری قرار گرفته‌اند. ائیدها عمدتاً بیضوی تا گرد، متحدالمرکز و در اندازه ۱ الی ۱/۵ میلی‌متر بوده و جورشدگی خوبی نشان می‌دهند. اغلب آن‌ها در اثر فرآیندهای دیاژنزی ساختمان داخلی خود را از دست داده و فابریک اولیه را نشان نمی‌دهند. هسته برخی نیز بر اثر عمل انحلال از بین رفته است. به نظر می‌رسد منشأ برخی از پلوئیدهای این ریزرخساره از میکریتی شدن ائیدها باشد. (شکل ۲-ج وچ).

C) ریزرخساره انتهای رمپ داخلی

۷- فلوتستون/باندستون دارای مرجان و جلبک قرمز

اجزای اصلی این ریزرخساره قطعات مرجانی با فراوانی ۳۰ درصد و جلبک قرمز با فراوانی ۱۵ درصد بوده که حجرات آن‌ها توسط سیمان کلسیتی دروزی و تا حدی میکرایت پر شده‌اند. خرده‌های اکینوئید و بریوزوئر نیز به میزان ۵ الی ۱۰ درصد در این ریزرخساره نیز حضور دارند. اسکلت این مرجان‌ها میکروفابریک مئاندری داشته و حجرات آن‌ها توسط میکرایت و سیمان کلسیتی پر شده‌اند. (شکل ۲-ح و خ) (شکل ۴-ب).

تفسیر ریز رخساره‌های رمپ داخلی

حضور دانه‌های کوارتز و آثار انیدریتی شدن و دولومیتی شدن در ریزرخساره مادستون، ته‌نشست در یک محیط بین جزرومدی را نشان می‌دهد. ریزرخساره‌های پکستون تا وکستون دارای بایوکلت، وکستون/پکستون دارای روزن‌داران بدون منفذ و پکستون/گریستون دارای روزن‌داران منفذدار و بدون منفذ، به دلایل میزان بالای گل، حضور روزن‌داران بنتیک (عمدتاً پورسلانوز)، گاستروپود و دوکفه‌ای در محیط لاگون تشکیل شده‌اند (بچمن و هریسچ، ۲۰۰۶؛ پالما و همکاران، ۲۰۰۷؛ ذبیحی و همکاران، ۲۰۱۳؛ صحراییان، ۲۰۱۴) و دانه‌های تشکیل‌دهنده این رخساره‌ها عمدتاً شامل روزن‌داران کفزی بدون منفذ شامل آرکایاس‌ها، پتروپلیس‌ها، دندرتینا و بورلیس‌ها هستند. حضور این روزن‌داران بویژه آرکایاس‌ها و پتروپلیس‌ها مشخصه آب‌های کم عمق گرمسیری تا نیمه گرمسیری هستند و بخش‌های فوقانی زون نوری را نشان می‌دهند (هولزمن و همکاران، ۲۰۰۱؛ براندانو و همکاران، ۲۰۰۹؛ صحراییان و همکاران، ۲۰۱۴) تلاطم کم آب عاملی برای تنوع و گسترش روزن‌داران پورسلانوز بدون منفذ شده که در اعماق کم آب رشد می‌کنند (رومرو و همکاران، ۲۰۰۲؛ براتلو و همکاران، ۲۰۰۷) شرایط لاگون باز با مخلوط فسیل‌های دریایی نرمال (روزن‌داران منفذدار) و فسیل‌های محیط محدود (روزن‌داران بدون منفذ) (ریزرخساره ۴) مشخص می‌شود (باسی و همکاران، ۲۰۰۷؛ وزیرمقدم و همکاران، ۲۰۱۰؛ ذبیحی و همکاران، ۲۰۱۳) شواهد ریزرخساره گریستون اووئیدی حاکی از نهشته شدن آن در آب‌های

¹ Ditrupa

یک زمینه دارای خرده‌های ریز بایوکستی قرار گرفته و اندازه آن‌ها از ماسه درشت تا گرانول متغیر است. در بیش‌تر نمونه‌ها خردشدگی و شکستگی در مجموعه فسیلی این ریزرخساره دیده می‌شود. این ریزرخساره عمدتاً در بخش پائینی سازند آسماری دیده می‌شود (شکل ۲-د).

تفسیر ریز رخساره رمپ داخلی تا میانی

حضور نومولیت با مورفولوژی دوکی شکل تا بیضوی همراه با تجمع روزن‌داران کفزی بزرگ از قبیل میوزپسیپسینوئید و آمفیسترینا حاکی از نهشت این رسوبات در انتهای رمپ داخلی ابتدای رمپ میانی، تحت شرایط شوری نرمال آب دریا، با گردش آزاد آب و انرژی هیدرودینامیکی متوسط است (امیرشاه کرمی، ۲۰۰۸ و امیرشاه کرمی و همکاران، ۲۰۰۷). فراوانی نومولیت‌ها (در چاه شماره ۳)، نشانگر شرایط اولیگوتراپیک با مواد غذایی اندک است. در حالی‌که عقیده بر این است که بیش‌تر انرژی آن‌ها توسط جلبک‌های همزیست آن‌ها فراهم می‌شود. اندازه بزرگ، طبیعت، جورشدگی و بافت دانه پشتیبان نومولیت‌ها نشانگر محیط بنک نومولیتی^۳ با انرژی متوسط تا زیاد است و به طور عمده، به عنوان شکل‌دهنده ساختمان‌های ریفی بیان می‌شوند (بیونگتون و همکاران، ۲۰۰۵) (شکل ۲-د).

(E) ریزرخساره رمپ خارجی

۹- وکستون/پکستون (دارای روزن‌بران پلانکتون) از مهم‌ترین اجزای اصلی تشکیل‌دهنده آن روزن‌داران پلانکتونیک مانند گلوبوژرینا در حدود ۱۵ درصد بوده و اجزای فرعی آن شامل خرده‌های خارپوست، جلبک قرمز، دوکفه‌ای با فراوانی ۱۵ الی ۲۰ درصد هستند. پلوئیدها از اجزای غیراسکلتی در اندازه ۰/۲ میلی‌متر و کمتر از ۱۰ مشاهده می‌شوند. این ریزرخساره در قسمت آسماری پائینی (قاعده سازند آسماری)، مرز تدریجی بین سازندهای آسماری و پابده و قسمت‌های فوقانی سازند پابده مشاهده شده است. اندازه دانه‌ها در حد سیلت تا ماسه ریز تا درشت تغییر می‌کند (شکل ۲-ر).

کم‌عمق با انرژی متوسط تا بالا است که منجر به حرکت و جابجایی بایوکست‌ها و ایجاد الئیدها شده است (سیم و لی، ۲۰۰۶ و ذبیحی و همکاران، ۲۰۱۳). در این ریز رخساره وجود الئیدهای با جورشدگی خوب و نبود زمینه گلی، نشان‌دهنده تشکیل در یک محیط پرانرژی و در بالای خط امواج عادی است (سیم و لی، ۲۰۰۶ و وزیری‌مقدم، ۲۰۰۶). البته می‌توان گفت که وجود الئیدهای میکرایتی و نبود هسته آن‌ها بیانگر افزایش انرژی محیط به مدت کوتاه بوده و میکرایتی شدن آن‌ها به مدت طولانی بیانگر کاهش انرژی محیط است. ریزرخساره فلوئستون/باندستون دارای مرجان و جلبک قرمز نشان‌دهنده بالاترین میزان انرژی در محیط می‌باشد که سیمانی شدن همزمان با رشد اجتماعات مرجان‌ها باعث استحکام چارچوب مرجانی در مقابل انرژی شده است (تاکر و رایت، ۱۹۹۰). گسترش این ریزرخساره عمدتاً به صورت توده‌های کوچک ریفی است. فراوانی جلبک قرمز به همراه خرده‌های خارپوست، بریوزوئر و روزن‌بران کفزی، رسوب‌گذاری در ناحیه کم نور ابتدای رمپ میانی را نشان می‌دهد (براتلو و همکاران، ۲۰۰۷ و براندانو و کوردا، ۲۰۰۲). هم‌چنین وجود زمینه سیمانی در بعضی از مقاطع نمایانگر نهشت این ریزرخساره در بخش رو به دریای باز^۲ است.

(D) ریزرخساره‌های رمپ داخلی تا میانی

۸- پکستون (دارای نومولیتید و لپیدوسیکلینید)

روزن‌داران کفزی بزرگ نظیر نومولیت‌های دوکی تیپیک (با نسبت عرض به طول تقریباً برابر) و میوزپسیپسینوئید، لپیدوسیکلینا (Lepidocyclina) و روتالیا از اجزای مهم این ریزرخساره بوده که با فراوانی ۲۰ الی ۲۵ درصد در یک زمینه میکرایتی قرار گرفته‌اند. از اجزای دیگر این ریزرخساره خرده‌های خارپوست، مرجان، جلبک قرمز، نرم‌تنان و بریوزوئر در مجموع با فراوانی ۱۰ الی ۱۵ درصد است. پلوئیدهای ریز (۰/۲ میلی‌متر) و اینتراکست‌های گردشده (۰/۳ میلی‌متر) به صورت پراکنده در این ریزرخساره مشاهده شده است. از نظر شکل ظاهری این روزن‌داران از حالت تقریباً کروی شکل تا حالت پهن و کشیده تغییر می‌کنند که پاسخی به افزایش عمق آب است. آلوک‌ها با جورشدگی ضعیف در

³ Nummulitic bank

² Seaward shoal

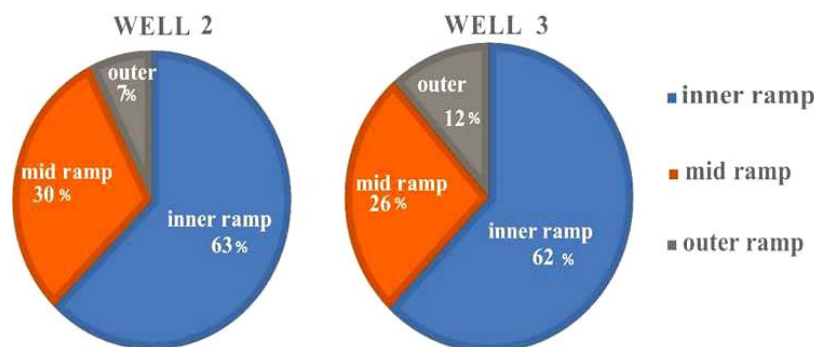
تفسیر ریزرخساره رمپ خارجی

حضور روزن‌داران پلانکتونیک در متن گلی تقریباً تیره رنگ همراه با خرده‌های فسیلی پراکنده از قبیل میوژیبسیئوئید، کراینوئید و جلبک قرمز حاکی از نهشت رسوبات مذکور در ابتدای رمپ خارجی است. بطور کلی شواهدی نظیر دانه‌ریز بودن، حضور پوسته‌های سالم روزن‌داران پلانکتون نمایانگر نهشت این ریزرخساره در محیطی آرام، عمیق، با شوری نرمال آب دریا و زیر خط اثر امواج حالت طوفانی است (کوسویک و همکاران، ۲۰۰۴ و گیل، ۲۰۰۰).

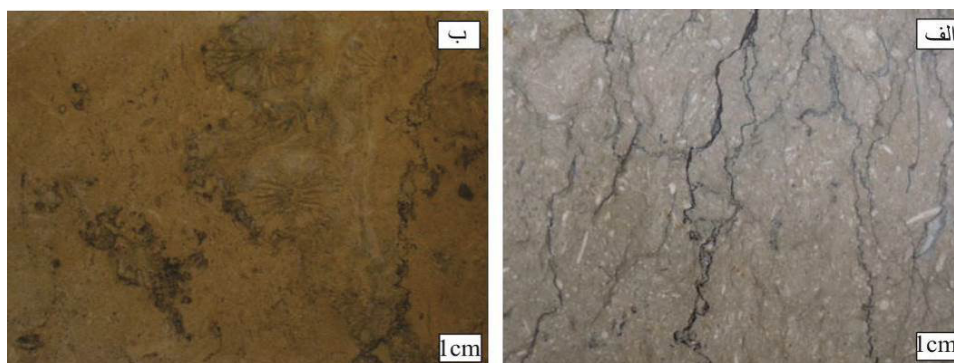
بررسی چگونگی گسترش ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی سازند آسماری

با توجه به نبود رسوبات توربیدیتی، عدم وجود رخساره‌های ریزشی و لغزشی که بیانگر شیب بالای محیط رسوبی در هنگام رسوب‌گذاری است، عدم گسترش ریف سدی پیوسته، تنوع کم رخساره‌ای و تبدیل تدریجی رخساره‌ها به یکدیگر احتمالاً محیط رسوب‌گذاری سازند آسماری در منطقه مورد مطالعه رمپ کربناته بوده است. از طرفی عدم تمرکز نهشته‌های رسوبی در قسمت‌های انتهایی رمپ و گسترش آن‌ها به ویژه در رمپ داخلی و میانی، رمپ کربناتی از نوع هم‌شیب (بورچت و رایت، ۱۹۹۲)، (که احتمالاً مشابه خلیج فارس امروزی بوده) برای محیط رسوبی آسماری در این میدان می‌توان در نظر گرفت. حضور همزمان جلبک‌های قرمز و روزن‌داران هیالین بزرگ (نومولیتیده و لپیدوسیکلینیده) بیانگر نهشته شدن این کربنات‌ها در

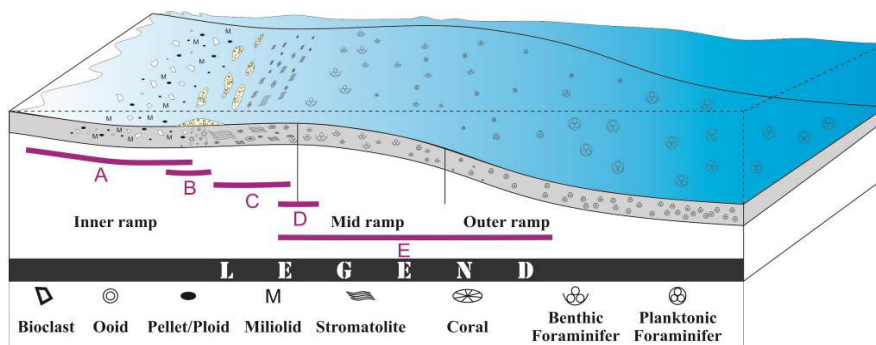
شرایط گرمسیری و نیمه‌گرمسیری با میانگین درجه حرارت ۱۸ الی ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (آدامز و بورجوییس، ۱۹۶۷؛ براندانو و کوردا، ۲۰۰۲) که با شرایط جغرافیای دیرینه و موقعیت جغرافیایی حوضه رسوب‌گذاری سازند آسماری در زمان الیگوسن-میوسن (اهرنبرگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ ون بوخم و همکاران، ۲۰۱۰) مطابقت دارد. در زمان نهشت سازند آسماری (الیگو-میوسن) شرایط محیطی از رمپ خارجی تا رمپ میانی و داخلی در تغییر بوده، اما بیش‌تر شرایط رمپ داخلی حاکم بوده است (آورجانی و همکاران، ۱۳۹۹). تغییرات درصد فراوانی ریزرخساره‌ها در چاه‌های مورد مطالعه گسترش و غلبه ریزرخساره‌های رمپ داخلی را نشان می‌دهد (شکل ۳). طی الیگوسن بیش‌تر شرایط رمپ خارجی حاکم بوده، به گونه‌ای که رسوبات حد تدریجی آسماری و پابده و رسوبات آسماری زیرین، در این شرایط نهشته شده است و به سمت راس سازند آسماری (میوسن) محیط رمپ میانی و داخلی گسترش یافته است و در اواخر آشکوب بوردیگالین (میوسن زیرین) با خروج کامل رمپ کربناته آسماری از زیر آب و تثبیت شرایط سبخایی، سازند تبخیری گچساران نهشته شده است (حیدری و همکاران، ۲۰۰۸). از طرف دیگر با توجه به تغییر سریع ریزرخساره‌های دریای باز به ریزرخساره‌های لاگون/پهنه‌های کشندی و سبخا (از قاعده به سمت راس سازند آسماری) یک حوضه رسوبی محدود و رو به بسته شدن بوده است (حیدری و همکاران، ۲۰۰۸) و نهشت سازند گچساران بر روی سازند آسماری نیز مؤید این موضوع است (شکل ۵).



شکل ۳. درصد فراوانی نسبی کمربندهای رخساره‌ای شناسایی شده در چاه‌های مورد مطالعه



شکل ۴. الف) تصویر مغزه از ریزرخساره شماره ۳ ب) تصویر مغزه از ریزرخساره شماره ۷



شکل ۵. مدل رسوبی مفهومی سازند آسماری در میدان نفتی قعله‌نار

فرایندهای دیاژنزی

دیاژنز سنگ‌های کربناتی در محیط‌های دریایی، متئوریک نزدیک سطح و دفنی رخ می‌دهد که هر کدام از این محیط‌ها را می‌توان با مشخصات بافتی و فابریک سیمان ایجاد شده در سنگ‌ها شناسایی کرد (وینسنت و همکاران، ۲۰۰۷). مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی بخش مخزنی سازند آسماری در میدان مورد مطالعه به شرح زیر است:

آشفستگی زیستی^۱: در نمونه‌های مورد مطالعه آشفستگی زیستی به دو صورت حفاری در رسوبات نرم^۲ و سخت^۳ دیده شده است. یکی از مهم‌ترین خصوصیات این فرآیند در نمونه‌های مورد مطالعه ایجاد ساخت لکه‌لکه^۴ و بافت میکریتی ناهمگن^۵ است (فلوگل، ۲۰۱۰) (شکل ۶-الف و ب).

میکریتی شدن^۶: در ریزرخساره لاگون حاشیه بیش‌تر دانه‌های اسکلتی میکریتی شده و بعضی از آن‌ها در اثر

فعالیت شدید موجودات به طور کامل میکریتی شده‌اند و در نتیجه تشخیص ماهیت دانه اسکلتی اولیه اغلب مشکل شده است. این بررسی به وضوح نقش میکریتی شدن در جلوگیری از انحلال و گسترش تخلخل انحلالی در بخش‌های کربناته را نشان می‌دهد (شکل ۶-ب).

نوریختی^۷: در رخساره‌های کربناتی سازند آسماری، بافت‌های نوریختی افزایشی با فراوانی قابل توجه مشاهده می‌شود که در طی آن اندازه ذرات ماتریکس میکریتی بزرگ‌تر شده و ظاهر روشن‌تری را پیدا کرده است و باعث تشکیل میکرواسپار و سودواسپار در مادستون‌ها و وکستون‌ها شده است (شکل ۶-ت).

سیمانی شدن^۸: بر پایه بررسی‌های انجام شده بر روی مقاطع نازک میکروسکوپی، سیمان‌های کلسیتی هم‌بعد، سیمان رورشدی، سیمان دروزی و سیمان هم‌ضخامت حاشیه‌ای، هم‌چنین سیمان انیدریتی در سازند آسماری شناسایی شد. در مجموع سیمانی شدن سبب کاهش کیفیت مخزن شده است.

¹ Bioturbation

² burrowing

³ boring

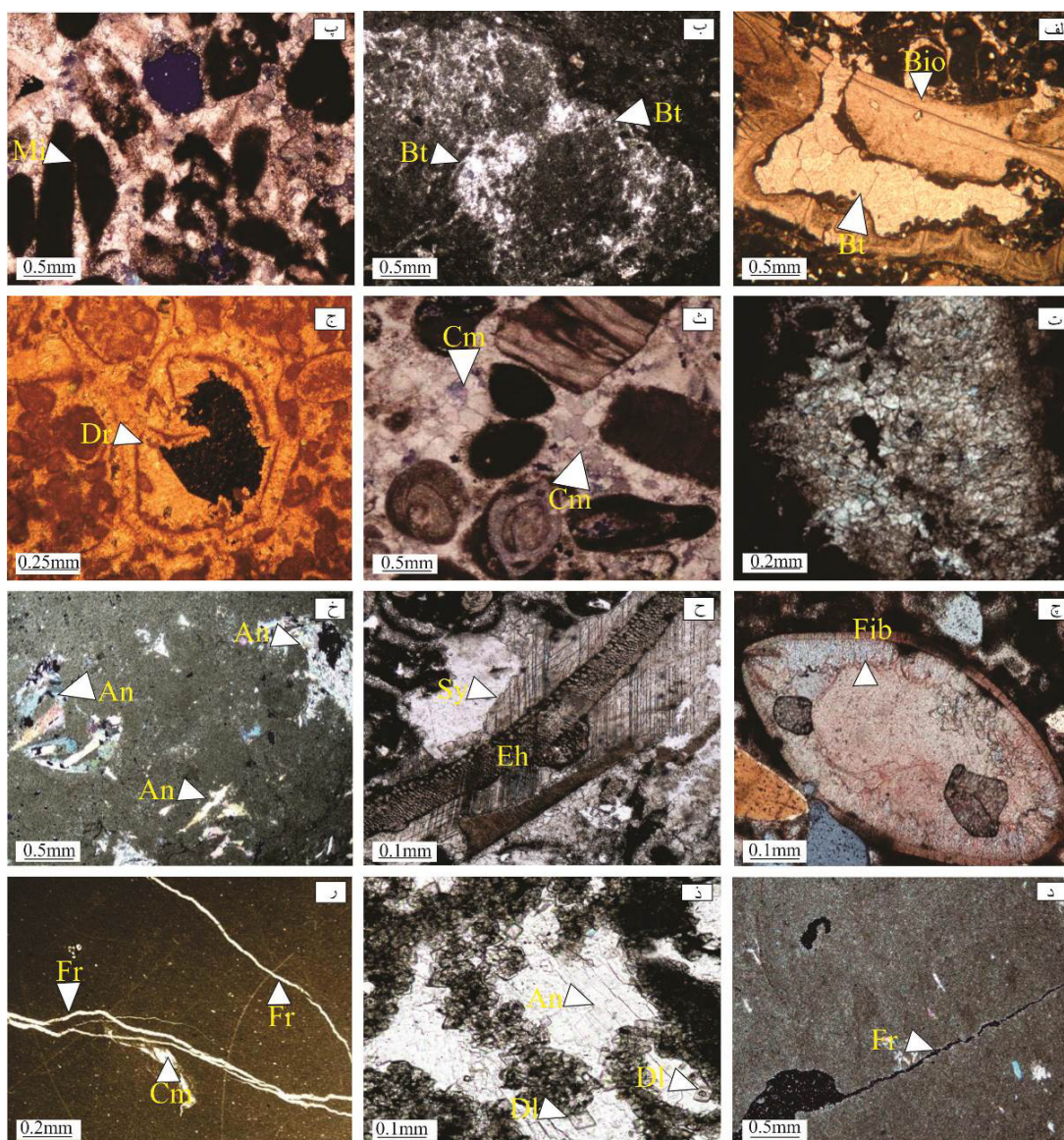
⁴ mottled Fabric

⁵ inhomogeneous micrite fabric

⁶ Micritization

⁷ Neomorphism

⁸ Cementation



شکل ۶. الف و ب) زیست آشفستگی. پ) فرایند کامل میکریتی شدن و از بین رفتن ماهیت دانه‌ها (ت) تبدیل میکریت به میکرواسپارایت (نوریختی). ث) سیمان کلسیتی هم‌بعد. ج) سیمان کلسیتی دروزی در داخل یک بایوکست. ح) سیمان هم‌ضخامت حاشیه‌ای بر روی دیواره‌ی داخلی صدف استراکد ح) سیمان هم‌محور در اطراف خارپوست خ) سیمان انیدریتی بصورت تکه‌های پراکنده در متن گل آهکی. د) سیمان انیدریتی پرکننده شکستگی. ذ) سیمان انیدریت در برگیرنده بلور دولومیت. ر) شکستگی در نمونه‌های با تخلخل پائین منجر به افزایش تراوایی شده است. تصاویر الف، ب، پ، ت، ث، ج، ح، خ، د و ر در نور PPL و تصویر ذ در نور XPL تهیه شده است. علایم اختصاری؛ Bt: آشفستگی زیستی، Mi: میکریتی شدن، S: Mi، Cm: سیمان، Dr: سیمان دروزی Sy: سیمان سین تکسیال، An: انیدریت، Fr: شکستگی، Dl: دولومیت، Nu: نومولیت، Eh: اکتینودرم.

سیمان کلسیتی دروزی: در این سیمان اندازه بلورها از دیواره حفره به سمت مرکز حفره افزایش می‌یابد. در نمونه‌های مطالعه شده بعد از سیمان هم‌بعد، این سیمان فراوان‌ترین نوع سیمان بوده که عمدتاً تخلخل شبکه‌ای مرجان‌ها و تخلخل درون دانه‌ای را تحت تاثیر قرار داده است (شکل ۶-ج).

سیمان کلسیتی هم‌بعد: این سیمان فراوان‌ترین نوع سیمان کربناتی مشاهده شده در ریزرخساره‌های سازند آسماری است. این نوع سیمان تخلخل‌های قالبی و انحلالی را پر کرده و اغلب در رخساره‌های دانه‌پشتیبان دیده شده و نقش مهمی را در کاهش کیفیت مخزنی نشان می‌دهد (شکل ۶-ث)

دولومیتی شدن^۲: یکی از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی مشاهده شده در سنگ‌های کربناتی سازند آسماری است که با ایجاد تخلخل بین‌بلوری نقش با ارزشی در افزایش کیفیت مخزنی این سازند داشته است (سلمانی، ۱۳۹۴). دولومیتی شدن به دو صورت اصلی مشاهده شده است: دولومیت مراحل اولیه دیاژنز، اندازه بلورهای آن ریز و نازک لایه هستند و بطور عمده در بخش فوقانی آسماری بالایی و در مجاورت سازند تبخیری گچساران مشاهده می‌شوند و دولومیت ثانویه که بصورت جانیشینی تشکیل شده و دارای ابعاد بزرگ‌تری است (اخروی و همکاران، ۲۰۰۶؛ ال‌آسم و همکاران، ۲۰۰۹؛ سلمانی و همکاران، ۱۳۹۴) و در بخش‌های مختلف سازند گسترش دارد. نوع و میزان دولومیتی شدن در نهشته‌ها متفاوت بوده و در برخی رخساره‌ها دولومیتی شدن به صورت بخشی و انتخابی رخ داده است ولی در مواردی نیز یک رخساره به طور کامل دولومیتی شده است. دولومیتی‌شدن کامل یا فراگیر^۳ (شکل ۷-ح) به دو حالت دیده شده که حالت اول فابریک اولیه سنگ تخریب و دولومیت‌های تخریب کننده فابریک^۴ تشکیل شده است. در حالت دوم فابریک اولیه سنگ حفظ و دولومیت‌های حفظ کننده فابریک^۵ تشکیل شده که اجزای مشخصی از سنگ در اثر دولومیتی شدن انتخابی، دولومیتی شده‌اند (شکل ۷-خ). این فرایند باعث افزایش کیفیت مخزنی در میدان مورد مطالعه شده است.

مکانیزم دولومیتی شدن در میدان مورد مطالعه

بخشی از دولومیت‌های موجود در توالی‌های مطالعه شده در سازند آسماری در منطقه‌ی مورد مطالعه به صورت دولومیت‌های ریز بلور است که از شورابه‌های تبخیری در محیط‌های سبختشکیل شده‌اند. دولومیتی شدن همراه با رشد ندول‌های انیدریت به زون‌های موئینه سبختعلق دارد. دولومیت‌هایی که طبق مدل نشتی- بازگشتی به وجود آمده‌اند، در طی تدفین کم عمق و در زمانی که شورابه‌های چگال تبخیری به طرف پایین در رسوبات پلاتفرمی نفوذ می‌کنند، تشکیل شده‌اند. این نوع مدل

سیمان هم‌ضخامت حاشیه‌ای: این نوع سیمان به طور عمده در رخساره‌های شول و در اطراف اجزای پلوئیدی و خیلی کم درون حفرات درون دانه‌ای مشاهده می‌شود. این نوع سیمان گسترش کمی دارد و به عنوان سیمان نسل اول در بعضی نمونه‌ها، همراه با سیمان‌های نسل‌های بعدی (سیمان هم‌بعد) دیده می‌شود (شکل ۶-چ).

سیمان کلسیتی رورشدی: در سازند آسماری سیمان رورشدی هم‌محور در رخساره‌های غنی از خارپوست وجود دارد. اندازه‌ی بلورهای این سیمان گاهی تا ۲۰۰ میکرون می‌رسد و عمدتاً در رخساره‌های پکستونی و گرینستونی رمپ داخلی و میانی بصورت شفاف و بدون اینکلوزیون دیده شده است. در مواردی که ساقه خارپوست پوشش میکریتی داشته، این نوع سیمان تشکیل نشده است (ویلسون و همکاران، ۲۰۰۲) (شکل ۶-ح).

سیمان‌های تبخیری: سیمان انیدریتی متداول‌ترین سیمان در رخساره‌های مورد مطالعه است که به شکل‌های مختلف در بیش‌تر رخساره‌ها دیده می‌شود، ولی در رخساره‌های منطقه جزر و مدی و لاگون (وکستون/ پکستون دارای روزن‌بران بدون منفذ) فراوان‌تر است. در این ریزرخساره‌ها انیدریت بصورت بین‌ذره‌ای، پر شده در فضاهای انحلالی و بین‌بلوری وجود دارد. گسترش این سیمان بصورت تکه‌های پراکنده در متن گل آهکی (شکل ۶-خ)، حضور اولیه‌ی ژپس در گل و همزمان با رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد (شکل ۶-خ). این سیمان در برخی رخساره‌ها به صورت پرکننده شکستگی دیده می‌شود (شکل ۶-د). سیمان انیدریتی گاهی بصورت سیمان فراگیر (پوئیکیلوتاپیک) دانه‌ها یا بلورهای دولومیت را در بر می‌گیرد (شکل ۶-ذ).

انحلال^۱: این فرآیند باعث ایجاد تخلخل‌های قالبی و حفره‌های مجزا و مرتبط شده است و به دو گروه عمده شامل انحلال‌های تبعیت کننده از فابریک که از جمله تخلخل قالبی، بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای، بین‌بلوری (شکل ۷-الف، ب، پ، ت) و انحلال‌های غیر تبعیت کننده از فابریک تقسیم شده‌اند (شکل ۷-ث، ج) و رخساره‌های مختلف را تحت تاثیر خود قرار داده‌اند.

² Dolomitization

³ pervasive dolomitization

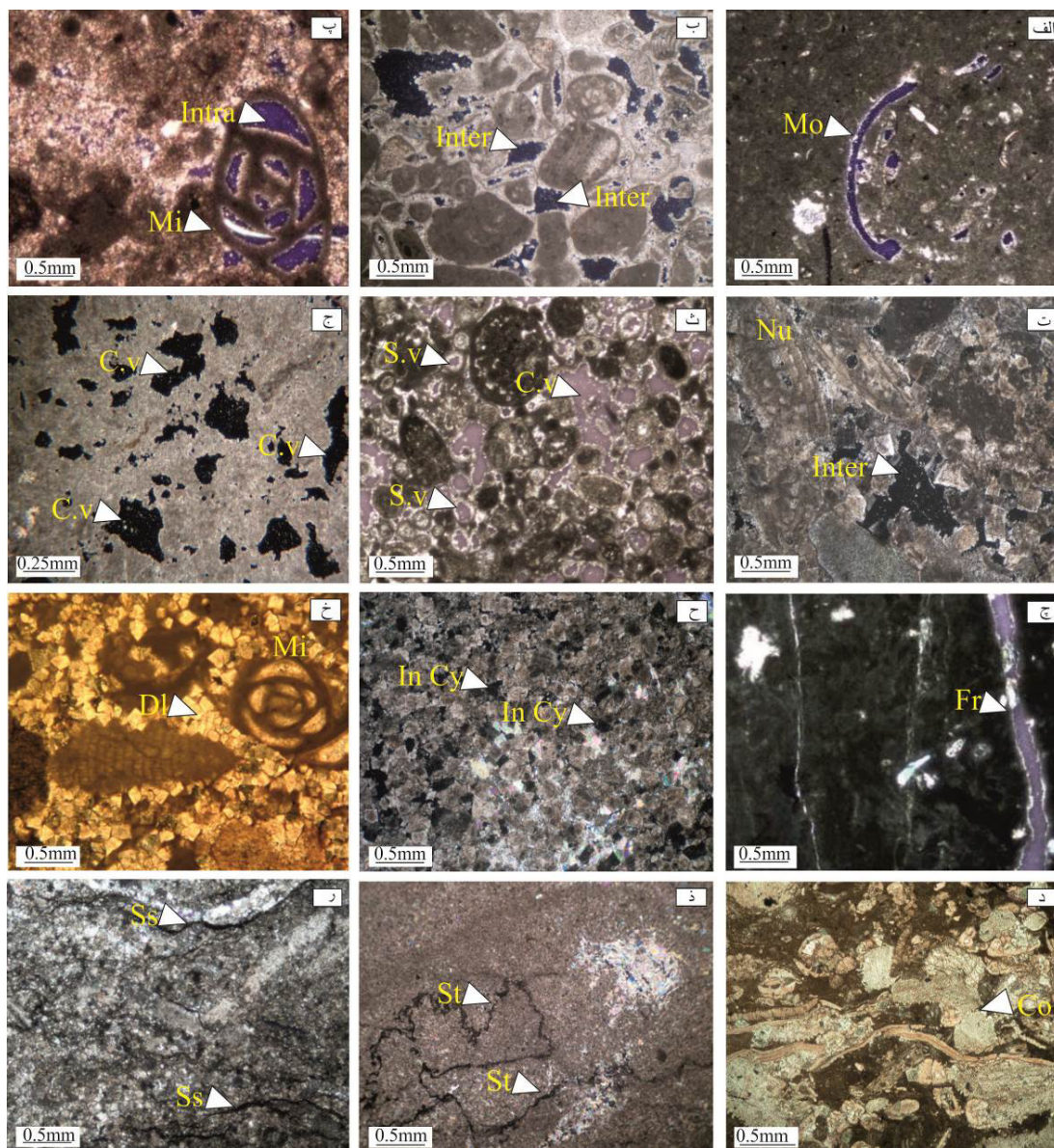
⁴ Fabric Destructive Dolomite

⁵ Fabric Retentive Dolomite

¹ Dissolution

گسترش وسیع حوضه‌ی پرمین نگزاس غربی و نیومکزیکو می‌شوند، طی تاثیر یک سیال شور فوق‌اشباع طبق مدل نشتی- بازگشتی تشکیل شده‌اند. در واقع بسیاری از دولومیت‌های موجود در توالی مورد مطالعه، طی این فرایند ایجاد شده‌اند (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۵).

دولومیتی شدن اولین بار برای دولواستون‌های چینه‌ای با ارائه شده است که در طی تدفین کم عمق و زمانی که شورابه‌های چگال تیخیری به طرف پایین در رسوبات پلاتفرمی نفوذ می‌کند، تشکیل می‌شوند (ماشل، ۲۰۰۵) شواهد نشان می‌دهد دولومیت‌های جانشینی تابع فابریک که حجم بسیاری از دولومیت‌های سنگ مخزن را شامل



شکل ۷. الف) تخلخل قالبی در داخل یک دوکفه‌ای. ب) تخلخل بین‌دانه‌ای. پ) تخلخل درون‌دانه‌ای درون میلیولیت. ت) تخلخل بین‌بلوری در بین بلورهای دولومیت در بنک نومولیتی. ث و ج) تخلخل حفره‌ای مجزا در داخل اوئید و تخلخل حفره‌ای مرتبط. چ) تخلخل شکستگی. ح) دولومیت غیر انتخاب‌کننده فابریک. خ) دولومیت انتخاب‌کننده فابریک. د) فشردگی مکانیکی ذ) استیلولیت. ر) درزه‌های انحلالی. تصاویر الف، ب، پ، ت، ث، ج، ح، خ، ذ، ر در نور PPL و تصویر د در نور XPL. علائم اختصاری: Mo: تخلخل قالبی، Intra: تخلخل درون‌دانه‌ای، Inter: تخلخل بین‌دانه‌ای، In Cy: تخلخل بین بلوری S.V: تخلخل حفره‌ای مجزا، C.V: تخلخل حفره‌ای مرتبط، Fr: شکستگی، Ss: استیلولیت، St: تراکم مکانیکی، Nu: نومولیت، DI: دولومیت، Co: تراکم مکانیکی.

میسر نیست. در مرحله‌ی ائوژنز فرآیندهای دیاژنزی عمدتاً تابع محیط رسوب‌گذاری هستند و گسترش آن‌ها از محیط رسوبی تبعیت می‌کند، در حالی که در مرحله مزوژنز در محیط دیاژنزی تدفینی پدیده‌های دیاژنزی در رخنساره‌های مربوط به محیط‌های مختلف رسوبی یکنواختی خاصی را نشان می‌دهند و به خوبی عدم تاثیر شرایط محیطی در گسترش آن‌ها را آشکار می‌سازد که گویای شرایط دیاژنزی مزوژنتیک است. فرآیندهای میکربیتی شدن، نئومورفیسم، آشفستگی زیستی، انحلال، بخش مهمی از سیمانی شدن، دولومیتی شدن و فشردگی مکانیکی در مرحله‌ی ائوژنز رخ داده‌اند (مادن و ویلسون، ۲۰۱۳؛ ویلسون و ایوانز، ۲۰۰۲). میکربیتی شدن دانه‌های مختلف کربناتی نظیر خرده‌های خارپوست، دوکفه‌ای و ائیدها را تحت تأثیر قرار داده و به صورت حاشیه‌ی میکربیتی و میکربیتی شدن کامل مشاهده شده است. قارچ‌ها، باکتری‌ها و جلبک‌ها عوامل میکربیتی شدن دانه‌های کربناتی هستند (وینسنت و همکاران، ۲۰۰۷) و در رخنساره‌های مورد مطالعه به نظر می‌رسد نقش اصلی بر عهده جلبک‌های قرمز بوده است. سیمان هم‌ضخامت حاشیه‌ای پس از میکربیتی شدن در اطراف دانه‌ها یا بر روی دیواره‌ی داخلی حفرات تشکیل شده است. آشفستگی زیستی که بلافاصله بعد از رسوب‌گذاری رخ می‌دهد (شول، ۲۰۰۱). فرآیند تبلور مجدد بصورت تشکیل میکرواسپار و اسپاریت دروغین نیز از فرآیندهای دیاژنزی مرحله ائوژنز است که امکان دارد تا مرحله‌ی تدفین کم‌عمق ادامه یابد (مکنزی و همکاران، ۲۰۰۳). دولومیت‌ها نیز بر اساس مشخصات بافتی و تشکیل سیمان انیدریتی (که خود محصول دیاژنزی ائوژنز است) در تخلخل‌های بین‌بلوری، در مرحله‌ی ائوژنز تشکیل شده‌اند (ال‌آسم و همکاران، ۲۰۰۹؛ بو و همکاران، ۲۰۱۲). تغییر شکل و آرایش نزدیک‌تر دانه‌های کربناتی که حاصل فرآیند فشردگی مکانیکی هستند، قبل از سنگ‌شدگی رسوبات رخ می‌دهند (رونچی و همکاران، ۲۰۱۱؛ مادن و ویلسون، ۲۰۱۳؛ ویلسون و ایوانز، ۲۰۰۲). هم‌چنین در این مرحله اتفاق افتاده‌اند. انحلال گسترده‌ی قطعات ناپایدار آراگونیتی و ایجاد فضاهای خالی انحلالی و سیمانی شدن برخی از این فضاها توسط سیمان هم‌بعد متئوریک و دروزی بیانگر شرایط محیط دیاژنزی متئوریک در مرحله‌ی ائوژنز است (میلر و همکاران،

فشردگی^۱: در نمونه‌های مورد مطالعه، فشردگی مکانیکی باعث شکستگی، دگرشکلی، خرد شدن دانه‌های اسکلتی شده و بافت فشرده‌ای را در ریزرخساره‌های لاگون ایجاد کرده است. بر اثر این فرآیند ذرات به یکدیگر فشرده شده و باعث ایجاد مرز محدب-مقعر و یا مرز مضرس شده است، فشردگی مکانیکی بیش‌تر در مراحل اولیه دفن رسوبات رخ داده است (شکل ۷-۵). فشردگی شیمیایی در نمونه‌های گل‌پشتیبان که همراه با تخییری‌ها هستند بیش‌تر مشاهده شده است. استیلولیت‌ها، ندول‌های تخییری (انیدریت) را احاطه کرده‌اند و رگچه‌های انحلالی نیز به طور عمده در ریزرخساره‌های محیط جزرومدی و لاگون مشاهده شده است. مجرای استیلولیت‌ها و رگچه‌های انحلالی با ماده آلی و به میزان کمتر توسط سیمان اکسید آهن پر شده است. در واقع، تشکیل رگچه‌های انحلالی آخرین مرحله دیاژنزی موثر در این ریزرخساره‌ها است (شکل ۷-۵، ذ، ر).

شکستگی^۲: در سازند آسماری شکستگی نقش مهمی در افزایش کیفیت مخزنی دارد. گسترش شکستگی‌ها در ریزرخساره‌های دولومیتی نسبت به ریزرخساره‌های آهکی بیش‌تر است، زیرا دولومیت شکننده‌تر از سنگ آهک بوده و سنگ‌آهک معمولاً اثر فشردگی تا حدی جریان یافته و یا فشار-انحلال در آن صورت می‌گیرد (سراج، ۱۳۸۴). تخلخل ایجاد شده به وسیله شکستگی اندک است، در حالی که این فرآیند تراوایی را به میزان قابل‌ملاحظه‌ای افزایش داده است و نقش قابل‌توجهی در افزایش خواص مخزنی دارد. در مواردی، شکستگی‌ها باعث ارتباط فضاهای خالی مجزا شده و لذا تاثیر مثبتی بر افزایش تخلخل و تراوایی و کیفیت مخزنی در سازند آسماری دارند (شکل ۶-۶، ر، شکل ۸-الف، ب).

توالی پاراژنزی فرآیندهای دیاژنزی

در مطالعات دیاژنزی تعیین ترتیب وقوع انواع فرآیندهای دیاژنزی از اهمیت خاصی برخوردار است. سنگ‌های کربناتی سازند آسماری در طی سه مرحله‌ی ائوژنز، مزوژنز و تلوژنز تحت تأثیر فرآیندهای دیاژنزی قرار گرفته‌اند. برخی از فرآیندهای دیاژنزی از نظر ترتیب وقوع با همدیگر همپوشانی دارند و تعیین ترتیب وقوع آن‌ها

¹ Compaction

² Fracturing

حاشیه‌ای) بر روی آن رشد کرده‌اند و مشخصه‌ی نسل دوم هستند (مادن و ویلسون، ۲۰۱۳). هم‌چنین این سیمان‌ها در برخی نمونه‌ها پوشش‌های میکریتی شکسته شده را احاطه کرده‌اند و نشان از تشکیل آن‌ها بعد از فرآیند شکستگی پوسته‌های میکریتی دارد (جیمز و چوکت، ۱۹۹۰). سیمان رورشدی شفاف که مشخصه‌ی دیاژنز تدفینی و مرحله‌ی مزوژنز است (حاجی‌کاظمی و همکاران، ۲۰۰۸؛ بوگز و کرینسلی، ۲۰۰۶)، در اطراف خرده‌های خارپوست در این مرحله تشکیل شده است. فرآیند فشردگی مکانیکی که با تغییر شکل دانه‌ها از مرحله‌ی ائوژنز شروع شده بود با شکستگی دانه‌ها ادامه پیدا کرده (رونچی و همکاران، ۲۰۱۱) و در ادامه با تغییر نوع تماس دانه‌ها از نقطه‌ای، محدب-مقعر به حالت مضرس و انحلال در مرز دانه‌ها به فشردگی شیمیایی تبدیل شده است. شکستگی‌های بزرگ مقیاسی که بر روی مغزه‌های مورد مطالعه مشاهده شده و بافت سنگ را قطع کرده‌اند در مرحله‌ی تلوژنز (آرین و محمدیان، ۱۳۸۸؛ نورایی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۸؛ آورجانی، ۱۳۹۲) تشکیل شده‌اند. در جدول شماره ۲ توالی پاراژنری فرآیندهای دیاژنری سازند آسماری در منطقه‌ی مورد مطالعه ارائه شده است.

۲۰۱۲). هم‌چنین وجود رخساره‌های پهنه‌ی جزر و مدی مانند مادستون دولومیتی شده بیانگر خارج شدن رمپ کرناتی از آب و حاکم شدن شرایط محیط سبخایی است. این فرآیندها نیز در محیط‌های ائوژنری تشکیل شده است. در رخساره‌های سبخایی و پهنه‌ی جزر و مدی به دلیل تغییرات نسبی سطح آب دریا فرآیند انحلال رخ داده و توسعه‌ی تخلخل در این رخساره‌ها را سبب شده است. در این رخساره‌ها هم‌چنین برخی از تخلخل‌ها توسط سیمان انیدریتی پر شده‌اند. شکستگی‌هایی که توسط سیمان‌های تبخیری یا کلسیتی پر شده‌اند ممکن است مربوط به این مرحله از دیاژنز باشند (وندیگینست و همکاران، ۲۰۱۳). فرآیندهای دیاژنری سیمانی شدن با فابریک‌های بلوکی، هم‌بعد، دروزی، رورشدی و پوئیکیلوتاپیک، فشردگی مکانیکی و شیمیایی شامل فابریک درهم، رگچه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها و بالاخره انحلال انتخابی در امتداد سطوح استیلولیتی در مرحله مزوژنز اتفاق افتاده‌اند (ویلسون و ایوانز، ۲۰۰۲؛ مادن و ویلسون، ۲۰۱۳). پر شدن حفرات انحلالی ایجاد شده در مرحله‌ی ائوژنز توسط انواع مختلف سیمان‌های تدفینی در این مرحله رخ داده است. این سیمان‌ها در نمونه‌های دارای سیمان اولیه‌ی دریایی (هم‌ضخامت

جدول ۲. توالی پاراژنری فرایندهای دیاژنری سازند آسماری در میدان مورد مطالعه

Diagenetic Processes	Diagenetic environments				Telogenesis
	Eogenesis		Mesogenesis		
	Marine	Meteoric	Burial		
			Shallow	Deep	
Micritization	_____	_____	_____	_____	
Physical Compaction	_____	_____	----	----	
Chemical Compaction	_____	_____	----	_____	
Isopachous Calcite Cements	_____	_____	_____	_____	
Equant Calcite	_____	_____	_____	_____	
Drusy Calcite	_____	_____	_____	_____	
Overgrowth Calcite	_____	_____	_____	_____	
Evaporate Cement Anhydrite	_____	_____	_____	----	
Neomorphism	_____	_____	_____	----	----
Bioturbation	_____	_____	_____	_____	
Dolomitization	----	_____	_____	_____	
Meteoric Dissolution	----	_____	_____	_____	
Burial Dissolution	_____	_____	_____	_____	
Fracturing	_____	_____	_____	_____	_____



شکل ۸. الف) شکستگی‌هایی که منجر به ایجاد تخلخل در مغزه‌های سازند آسماری شده است. ب) شکستگی منطبق بر استیلولیت

از بین می‌برد و در کل باعث کاهش کیفیت مخزنی می‌شود (شکل ۶-د و ر).

۳- **دولومیتی شدن:** مطالعات نشان می‌دهد که یکی از عوامل موثر بر افزایش کیفیت مخزن سازند آسماری دولومیتی شدن است. در شکل ۹ مشهود است که دولومیتی شدن در فاصله عمقی ۳۴۳۰ تا ۳۴۶۰ موجب افزایش تخلخل و تراوایی شده، رخساره‌های دولومیتی شده دارای مقادیر تخلخل در حدود ۲۰ درصد و تراوایی بیش از ۱۰ میلی‌داری می‌باشد. به نظر می‌رسد بلورهای دولومیتی اولیه، در اعماق دچار نوریختی شده و کیفیت مخزنی را افزایش داده است (شکل‌های ۹ و ۱۰). با توجه به اینکه میزان نفوذپذیری دولومیت‌ها به بزرگی اندازه تخلخل‌های بین‌بلوری آن‌ها بستگی دارد لذا به نظر می‌رسد که بافت اولیه سنگی که تحت تاثیر دولومیتی شدن قرار می‌گیرد تا حد زیادی می‌تواند بر روی میزان نفوذپذیری دولومیتی که بعدا ایجاد می‌شود تاثیر گذار است (شکل ۱۱ الف و ب).

۴- **شکستگی‌ها:** سازند آسماری به دلیل لیتولوژی آهکی، تحت تاثیر نیروهای تکتونیکی حالت شکننده (مطبیعی، ۱۳۷۴) دارد. در افق آسماری میدان قلعه‌نار یک انحراف محوری چپ‌گرد در دماغه شرقی میدان دیده می‌شود. زاویه بین‌یالی این چین به طور متوسط حدود 138° بوده که در نتیجه این چین از نوع ملایم می‌باشد. گسل اصلی بالارود یال شمالی چین را تحت تأثیر قرار داده است. این گسل به موازات یال شمالی و نشان‌دهنده مرز فروافتادگی دزفول می‌باشد (اختلاف ارتفاع دو سمت گسل مشهود می‌باشد) و یک گسل تراستی دیگر در یال جنوبی و به موازات آن قرار گرفته است. ۴ گسل عرضی بزرگ دیگر که احتمالا مؤلفه‌های امتدادی داشته این

فاکتورهای کنترل کننده کیفیت مخزنی

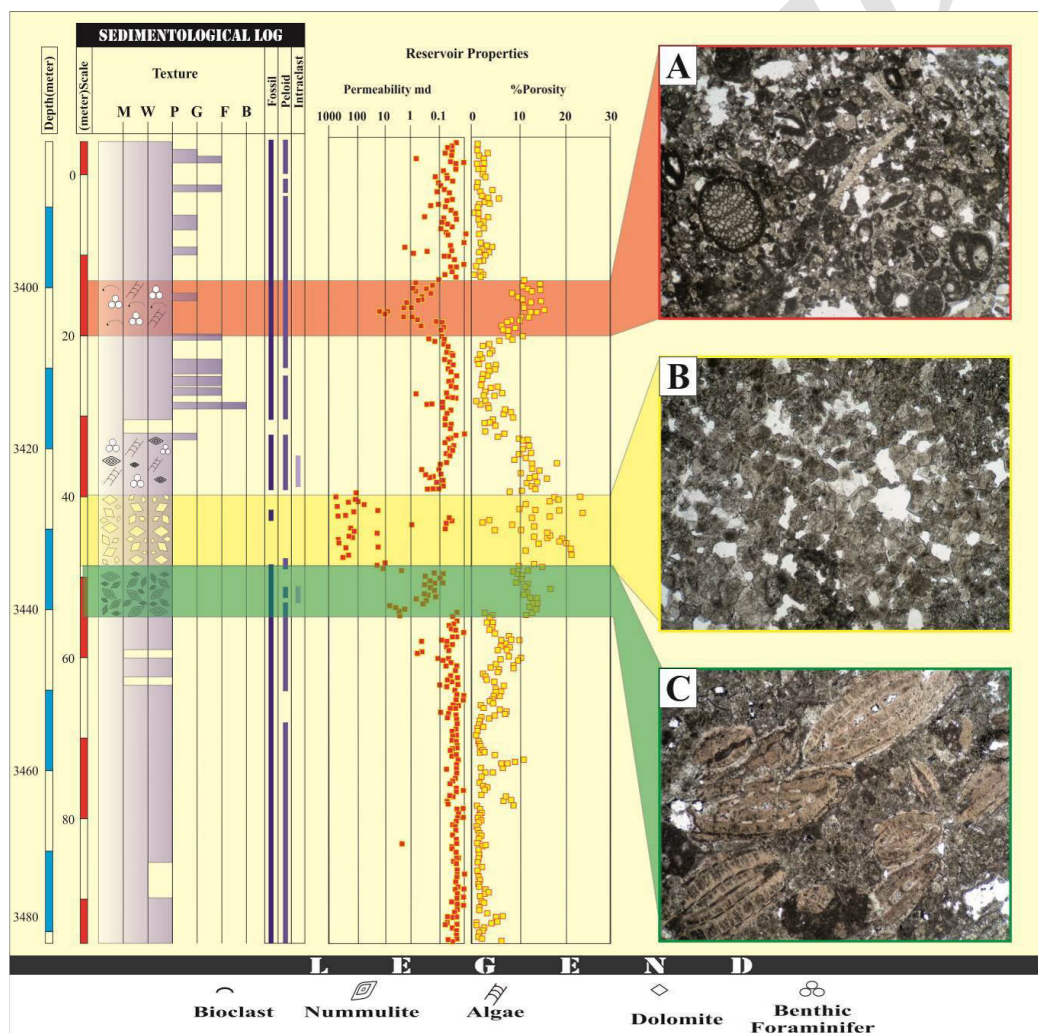
۱- **رخساره‌های مخزنی (سکو نومولیتی و رخساره‌های دانه‌پشتیبان):** رخساره‌های رسوبی از عوامل موثر در کنترل کیفیت مخزنی است. رخساره‌های سدی و لاگونی تخلخل قالبی و درون دانه‌ای دارند و مجزا هستند و تخلخل را بالا برده‌اند ولی تراوایی در این ریزرخساره‌ها پایین است. در برخی رخساره‌های دانه‌پشتیبان و نومولیتی که کمتر تحت تاثیر فشردگی و سیمانی شدن قرار گرفته‌اند حضور نومولیت‌های نسبتا درشت و دوکی شکل و روزن‌داران با تخلخل درون‌دانه‌ای و بین‌دانه‌ای بالا تاثیر زیادی در افزایش تخلخل در این ریزرخساره‌ها داشته‌اند. تجمعات نومولیتی به صورت سکو دارای تخلخل میانگین $10/83$ درصد و تراوایی میانگین $0/85$ میلی‌داری می‌باشد. اما در برخی مقاطع تخلخل قالبی و حفره‌ای مرتبط، تخلخل در حدود ۱۸ درصد و تراوایی در حدود ۱۰ میلی‌داری افزایش یافته است. در مواردی همین رخساره‌ها تحت تاثیر دولومیتی شدن، سیمانی شدن و فشردگی قرار گرفته و کیفیت مخزنی به شدت کاهش یافته است (شکل ۹).

۲- **فشردگی و سیمانی شدن:** بررسی و مطالعه مقاطع نازک نشان می‌دهد فشردگی و سیمانی شدن از مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی کاهنده حفرات بین‌دانه‌ای است. تراکم فیزیکی موجب آرایش متراکم ذرات رسوبی شده و تاثیر منفی در کیفیت مخزنی دارد (شکل ۷-د). فشردگی شیمیایی نیز با تشکیل رگچه‌های انحلالی و استیلولیتی شدن موجب تامین کرنات کلسیم برای فرایندهای سیمانی شدن تاخیری می‌گردد. این سیمان‌ها با پر کردن شکستگی‌ها و فضاهای خالی بین‌ذره‌ای، درون‌ذره‌ای و انحلالی تخلخل و تراوایی را کاهش داده یا

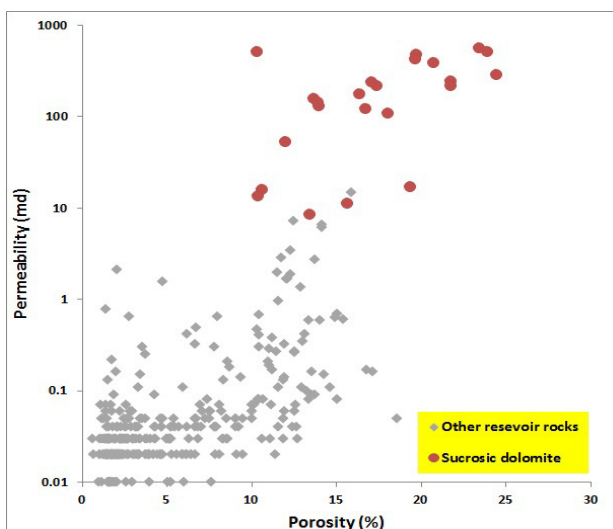
(شکل ۱۲). شکستگی نسبت به دیگر عوامل ذکر شده نقش کمتری در افزایش کیفیت مخزن در این میدان داشته است.

۵- انحلال: این فرایند باعث ایجاد تخلخل‌های قالبی و حفره‌ای شده است. حفرات حاصل از انحلال در میدان مورد مطالعه در مقایسه با سایر انواع تخلخل، کمتر تحت تاثیر سیمانی شدن قرار گرفته‌اند، لذا با توجه به اینکه دارای گسترش نسبتاً زیادی در این سازند هستند باعث ایجاد شرایط مخزنی خوبی شده‌اند. توسعه خوب تخلخل حفره‌ای در سازند آسماری در چاه‌های مورد مطالعه موجب افزایش کیفیت مخزنی شده است (شکل ۷ ث، ج).

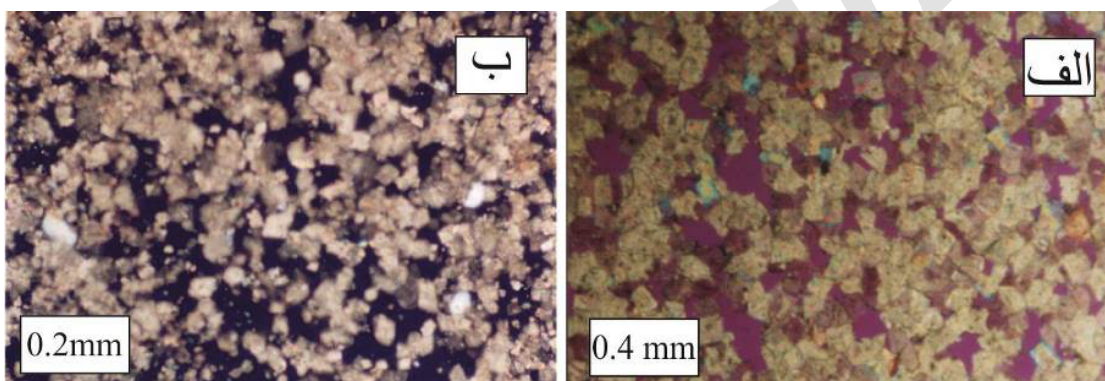
میدان را تحت تاثیر قرار داده است. ۳ گسل عرضی کوچک دیگر که ناحیه لولائی این چین را تحت تاثیر قرار داده است، از گسل‌های مشهود موجود در این ساختمان هستند (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۲). بررسی‌های ژئوفیزیکی (سراج، ۱۳۸۴) نشان می‌دهد که این سازند، تحت تاثیر چندین گسل قرار گرفته است. چین خوردگی و گسلش اثر خود را به صورت وجود ریز شکستگی‌ها نشان می‌دهند. بر حسب امتداد چین و گسل‌ها چندین دسته شکستگی در ارتباط با چین و گسلش قابل توسعه می‌باشند (مطیعی، ۱۳۷۴). بر اساس مطالعات آزمایشگاهی و تجربی آزیموت (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۲) این شکستگی‌ها در شکل نمایش داده شده است



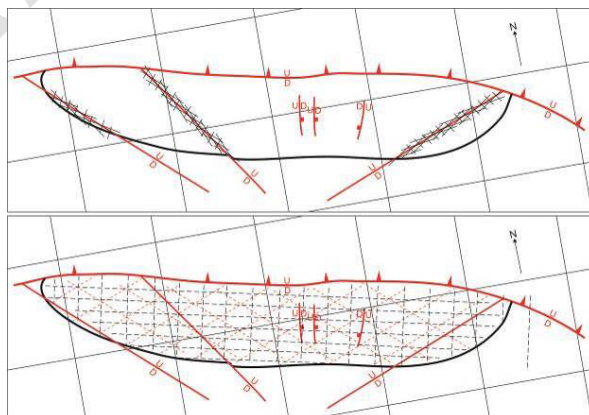
شکل ۹. ستون چینه‌شناسی تطابق داده‌های تخلخل و تراوایی با رخساره‌های رسوبی و بررسی نقش فرایندهای دیاژنزی بر گسترش زون‌های مخزنی سازند آسماری چاه ۳ میدان قلعه‌نار، A: وکستون پکستون حاوی بایوکلیست (لاگون) همراه با تخلخل حفره‌ای مجزا، درون دانه‌ای و سیمانی شدن. B: رخساره دولومیتی شده که تبلور مجدد پیدا کرده است و دارای تخلخل بین‌بلوری و حفره‌ای مرتبط و مجزا است C: رخساره بنک نومولیتی (رمپ داخلی تا رمپ میانی) دارای تخلخل درون‌دانه‌ای و تخلخل حفره‌ای.



شکل ۱۰. اثر دولومیت درشت‌بلور دانه شکر بر کیفیت مخزنی



شکل (الف) در این تصویر دولومیت‌های دانه شکر با بافت ایدیوتوپیک مشاهده می‌شود. بلورهای دولومیت بصورت لوزی‌های خود شکل تخلخل بین بلورین در بین بلورهای دولومیت که در آن حفره‌های چندوجهی، حفره‌های چهار وجهی و حفره‌های گلوگاه‌ها به خوبی مشاهده می‌شوند. (ب) دولومیت‌های دانه شکر با بافت ایدیوتوپیک که نتیجه دولومیتی شدن گل‌های آهکی می‌باشند در این تصویر دولومیتی شدن گل‌های آهکی موجب بزرگ‌تر شدن حفره‌های موجود در سنگ شده است، زیرا بر اثر دولومیتی شدن، بزرگی تخلخل‌های ثانویه بین‌بلوری ایجاد شده (بخش‌های تیره رنگ) از بزرگی تخلخل‌های اولیه بین ذرات گل (که قبل از دولومیتی شدن وجود داشته‌اند) بیش‌تر بوده و موجب نفوذپذیری بیش‌تر می‌گردد.



شکل ۱۲. شکستگی‌های موجود در تاقدیس قلعه‌نار در افق آسماری بر حسب محاسبات تجربی (عظیمی، ۱۳۹۲)

۴- حضور رخساره سکو نومولیتی، فرایند انحلال با ایجاد تخلخل حفره‌ای، دولومیتی شدن در برخی عمق‌ها و شکستگی‌ها در چاه ۳ یکی از عوامل موثر در افزایش مقادیر کلی تخلخل و تراوایی بوده و باعث بهبود کیفیت مخزنی شده‌اند. در مقابل، پراکندگی فضایی رخساره‌های گل‌پشتیان، فشردگی فیزیکی، فشردگی شیمیایی و سیمانی شدن موجب کاهش کیفیت مخزنی شده است.

۵- این مطالعه اهمیت تعیین رخساره‌های رسوبی و مطالعه فرایندهای دیاژنزی موثر بر آن‌ها را در تعیین گسترش زون‌های مخزنی با تلفیق داده‌های پتروفیزیکی را نشان می‌دهد.

منابع

- آقاباتی، ع (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- آورجانی، ش.، محبوبی، ا.، موسوی‌حرمی، ر (۱۳۹۰) ریزرخساره، محیط‌های رسوبی و چینه‌نگاری سکانشی رسوبات الیگو-میوسن (سازند آسماری) در میدان نفتی کوپال، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، صفحات ۴۵ تا ۶۰.
- آورجانی، ش.، همت، م.، سیکرو، م.، صادقی، ر.، طاهری، م (۱۳۹۱) توصیف مغزه‌ها، چینه‌نگاری زیستی، رخساره‌ها، محیط‌رسوبی، چینه‌نگاری سکانشی و دیاژنزی سازند آسماری در میدان نفتی مارون، گزارش شماره پ-۷۴۸۹، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، ۸۵ ص.
- بهرامی، ف.، موسوی‌حرمی، س.، ر.، خانه‌باد، م.، محمودی‌قرائی، م.، ح.، صادقی، ر. ا (۱۳۹۳) رخساره‌ها، محیط‌رسوبی و عملکرد فرایندهای دیاژنزی موثر بر کیفیت مخزنی سازند آسماری در میدان نفتی رامین، دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، جلد ۲، شماره ۴، ص. ۱۶-۳۶.
- رحیم‌پور بناب، ح (۱۳۸۴) سنگ‌شناسی کربناته: ارتباط دیاژنزی و تکامل تخلخل، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۸۷ ص.
- سراج، م (۱۳۸۴) تحلیل ساختاری مقدماتی میدانی نفتی مناطق نفت‌خیز جنوب محدوده دزفول شمالی. (گزارش منتشر نشده شماره پ-۵۶۱۳)، ۲۶۰۹ ص.
- سلمانی، ع.، رحیم‌پور بناب، ح.، رنجبران، م.، آل‌علی، م (۱۳۹۵) بررسی تاثیر دولومیت‌ها بر کیفیت مخزنی سازند آسماری، میدان نفت سفید، سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین، تهران.
- سلمانی، ع.، رحیم‌پور بناب، ح.، رنجبران، م.، آل‌علی، م (۱۳۹۵) بررسی گسترش رخساره‌ها و فرایندهای دیاژنزی و تاثیر آن بر کیفیت مخزنی سازند آسماری، سومین همایش

تطابق داده‌های تخلخل و تراوایی با رخساره‌های رسوبی و بررسی نقش فرایندهای دیاژنزی بر گسترش زون‌های مخزنی

تطابق داده‌های تخلخل و تراوایی حاصل از مغزه با گسترش رخساره‌های رسوبی و فرایندهای دیاژنزی حاکم بر آن‌ها (شکل ۹) نشان می‌دهد در فاصله عمقی ۳۴۳۰ تا ۳۴۶۰ متری شاهد یک افزایش مشهود در تخلخل و تراوایی هستیم. این اعماق با حضور و گسترش رخساره بنک نومولیتی که به خوبی دولومیتی شده است مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

۱- مطالعات انجام شده بر روی مقاطع میکروسکوپی تهیه شده از مغزه‌ها و خرده‌های حفاری سازند آسماری در میدان نفتی قلعه‌نار منجر به شناسایی ۹ ریزرخساره شده که در محیط‌ها رمپ داخلی (پهنه جزرومدی، لاگون و پشته‌های زیرآبی)، رمپ میانی و رمپ خارجی نهشته شده‌اند.

۲- براساس انواع رخساره‌ها، تغییرات آن‌ها در توالی‌های عمودی و جانبی و درصد فراوانی رخساره‌ها محیط رسوبی سازند آسماری بررسی گردید. با توجه به نبود رسوبات توربیدیتی، عدم وجود رخساره‌های ریزشی و لغزشی که بیانگر شیب بالای محیط رسوبی در هنگام رسوب‌گذاری هستند، عدم گسترش ریف سدی پیوسته، تبدیل تدریجی رخساره‌ها به یکدیگر و عدم حضور کورتوئیدها، آنکوئیدها، پیروئیدها و دانه‌های آگرگات که خاص پلت‌فرم‌های کربناتی نوع شلف هستند، محیط رسوب‌گذاری سازند آسماری در منطقه مورد مطالعه پلاتفرم کربناتی از نوع رمپ بوده است. از طرفی عدم تمرکز نهشته‌های رسوبی در قسمت‌های انتهایی رمپ و گسترش آن‌ها بویژه در رمپ داخلی و میانی، رمپ کربناتی از نوع هم‌شیب است که احتمالاً مشابه خلیج فارس امروزی بوده است.

۳- مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی شامل میکربیتی شدن، تبلور مجدد، دولومیتی شدن، انحلال، سیمانی شدن، تراکم مکانیکی و شیمیایی و شکستگی در مراحل دیاژنزی ائوژن، مزوژن و تلوژن رسوبات سازند آسماری در میدان نفتی مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده‌اند.

- Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*, 29: 947-959.
- Aqrawi, A. A. M., Keramati, M., Ehrenberg, S. N., Pickard, N., Moallemi, A., Svånå, T., Darke G., Dickson, J. A. D. and Oxtoby, A (2006) Origin of dolomite in the Asmari Formation (Oligocene-lower Miocene), Dezful Embayment, SW Iran, *Journal of Petroleum Geology*, 29: 381-402.
- Bachmann, M. and Hirsch, F (2006) Lower Cretaceous carbonate platform of the eastern Levant (Galilee and Golan Heights): Stratigraphy and second-order sea-level change, *Cretaceous Research*, 27: 467-512.
- Barattolo, F., Bassi, D. and Romero, R (2007) Upper Eocene larger foraminiferal-coralline algal facies from the Klokova Mountain (south continental Greece), *Facies*, 53: 361-375.
- Beavington-Penney, S. J., Wright, V. P. and Racey, A (2005) Sediment production and dispersal on foraminifera-dominated early Tertiary ramps: the Eocene El Garia Formation, Tunisia. *Sedimentology*, 52: 537-569.
- Bernaus, J. M., Vanneau, A. A. and Caus, E (2003) Carbonate platform sequence stratigraphy in a rapidly subsiding area: the Late Barremian-Early Aptian of the northern part of the Organya basin, Spanish Pyrenees *Sedimentary Geology*, 159: 177-201.
- Bo, Z., Ming, L., Shufu, D., Changjian, Z., Guanghui, W., Changmin, Z. and Li, G (2012) Dolomitization mechanism of Cambrian carbonates in the Bachu area, Tarim Basin, NW China, *Petroleum Exploration and Development*, 39 (2): 212-217.
- Boggs, S. Jr. and Krinsley, D (2006) Application of Cathodoluminescence Imaging to Study of Sedimentary Rocks, Cambridge University Press, Cambridge, 165 p.
- Brandano, M. and Corda, L (2002) Nutrients, sea level and tectonics constraints for the facies architecture of a Miocene carbonate ramp in central Italy, *Terra Nova*, 14 (4): 257-262.
- Burchette, T. P. and Wright, V. P (1992) Carbonate ramp depositional systems: *Sedimentary Geology*, 79 (1-4): 3-57.
- Carozzi, A. V (1993) *Sedimentary Petrography*, Prentice Hall, New Jersey, 263 p.
- Cosovic, V., Drobne, K. and Moro, A (2004) Paleoenvironmental model for Eocene foraminiferal limestones of the Adriatic carbonate platform (Istrian Peninsula), *Facies*, 50: 61-75.
- Dunham, R. J (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W. E., ed., *Classification of Carbonate rocks: AAPG-Publ-Memoris 1*, Tulsa, Oklahoma, pp. 108-121.
- بین‌المللی نفت، گاز و پتروشیمی، تهران، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
- عظیمی، م (۱۳۹۲) بررسی دیاژنز و کیفیت مخزنی سازند آسماری در میدان نفتی قلعه‌نار، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تهران. ۱۸۰ ص.
- محمدیان، ر. و آرین، م (۱۳۸۹) تحلیل شکستگی‌های مخزن آسماری میدان نفتی مارون، نشریه علوم‌زمین، سال بیستم، شماره ۷۸، ص ۸۷ تا ۹۶.
- مطیعی، ه (۱۳۷۴) زمین‌شناسی ایران، زمین‌شناسی نفت زاگرس جلد ۱، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۵۸۹ ص.
- نادرپور، ز، محسنی، ح، حیدری، خ، خدابخش، س (۱۳۸۶) مطالعه پتروگرافی دولومیت‌های سازند آسماری در میدان نفتی هفتکل (جنوب‌غربی ایران)، پانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- نورایی‌نژاد، خ، امیری‌بختیار، ح، محمدیان، ر، ساعدی، ق (۱۳۹۰) تعیین غیرمستقیم گسترش شکستگی‌ها در مخزن آسماری میدان مارون، مجله اکتشاف و تولید، شماره ۸۰، صفحات ۵۲ تا ۵۶.
- Adams, T. D. and Bourgeois, F (1967) Asmari biostratigraphy, Iranian Oil Operating Companies, Geological and Exploration Division, Report no. 1074 (unpublished).
- Ahr, W. A (2007) *Geology of Carbonate Reservoirs*, Wiley Publication, 270 p.
- Al-Aasm, I. S., Ghazban, F. and Ranjbaran. M (2009) Dolomitization and related fluid evolution in the Oligocene - Miocene Asmari Formation, Gachsaran Area, SW Iran: petrographic and isotopic evidence, *Journal of Petroleum Geology*, 32 (3): 287-304.
- Allahkarampour Dill, M., Seyrafiyan, A. and Vaziri-Moghaddam, H (2010) Asmari Formation, north of the Gachsaran (Dill anticline), southwest Iran: facies analysis, depositional environments and sequence stratigraphy, *Carbonates and Evaporates*, 25: 145-160.
- Amirshahkarami, M (2008) Distribution of miogypsinoides in the Zagros Basin, in southwest Iran. *Hist Biol*, 20: 175-184.
- Amirshahkarami, M., Vaziri-Moghaddam, H. and Taheri, A (2007) a-Paleoenvironmental model and sequence stratigraphy of the Asmari Formation in southwest Iran, *Hist Biol*, 19 (2): 173-13.
- Amirshahkarami, M., Vaziri-Moghaddam, H. and Taheri, A (2007) b-Sedimentary facies and sequence stratigraphy of the Asmari Formation at Chaman-Bolbol, Zagros Basin,

- Society of London Special Publication, 235: 7-63.
- Mackenzie, F. T (2003) Carbonate Mineralogy and Geochemistry. In: Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks (Ed. Middleton, G. V.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 91-100.
- Madden, R. and Wilson, M (2013) Diagenesis of a SE Asian Cenozoic carbonate platform margin and its adjacent basinal deposits, *Sedimentary Geology*, 286-287: 20-38.
- Miller, C. R., James, N. P. and Bone, Y (2012) Prolonged carbonate diagenesis under an evolving Late Cenozoic climate; Nullarbor Plain, southern Australia, *Sedimentary Geology*, 261-262: 33-49.
- Mossadegh, Z. K., Haig, D. W., Allan, T., Adabi, M. H. and Sadeghi, A (2009) Salinity changes during Late Oligocene to Early Miocene Asmari Formation deposition, Zagros Mountains, Iran, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 272: 17-36.
- Rahimpour-Bonab, H., Esrafil-Dizaji, B. and Tavakoli, V (2010) Dolomitization and anhydrite precipitation in Permo-Triassic carbonate at the South Pars gasfield, offshore Iran, controls on reservoir quality, *Journal of Petroleum Geology*, 33 (2): 1 - 24.
- Ronchi, P., Jadoul, F., Ceriani, A., Giulio, A. D., Scotti, P., Ortenzi, A. and Massara, E. P (2011) Multistage dolomitization and distribution of dolomitized bodies in Early Jurassic carbonate platforms (Southern Alps, Italy), *Sedimentology*, 58: 532-565.
- Sharland, P. R., Archer, R., Casey, D. M., Davies, R. B., Hall, S. H., Heward, A. P., Horbury, A. D. and Simmon, M. D (2001) Arabian Plate sequence stratigraphy, *GeoArabia*, Special Publication, Oriental Press, Manama Bahrain, 2, 371 p.
- Shull, D. H (2001) Transition-matrix model of bioturbation and radionuclide diagenesis, *Limnology and Oceanography*, 46 (4): 905-916.
- Sim, M. S. and Lee, Y. I (2006) Sequence stratigraphy of the Middle Cambrian Daegi Formation (Korea) and its bearing on the regional stratigraphic correlation, *Sedimentary Geology*, 191: 151-169.
- Sooltanian, N., Seyrafian A. and Vaziri-Moghaddam, H (2011) Biostratigraphy and paleo-ecological implications in microfacies of the Asmari Formation (Oligocene), Naura anticline (Interior Fars of the Zagros Basin), Iran, *Carbonates Evaporites*, 26 (2): 167- 180.
- Tucker, M. E. and Wright, V. P (1990) Carbonate Sedimentology, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 482 p.
- Ehrenberg, S. N., Pickard, N. A. H., Laursen, G. V., Monibi, S., Mossadegh, Z. K., Svänä, T. A., Aqrabi, A. A. M. and Thirlwall, M. F (2007) Strontium isotope stratigraphy of the Asmari Formation (Oligocene-Miocene), SW Iran: *Journal of Petroleum Geology*, 30 (2): 107-128.
- Flügel, E (2010) *Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application* (2th edition), Springer, Heidelberg, 976 p.
- Fournier, F., Montaggioni, L. and Borgomano, J (2004) Paleoenvironments and high-frequency cyclicity from Cenozoic South-East Asian shallow water carbonates: a case study from the Oligo-Miocene buildups of Malampaya (Offshore Palawan, Philippines), *Marine and Petroleum Geology*, 21: 1-21.
- Geel, T (2000) Recognition of Stratigraphic sequence in carbonate platform and slope deposits: empirical models based on microfacies analyses of Paleogene deposits in southeastern Spain: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 155: 211-238.
- Hajikazemi, E., Al-Aasm, I. S. and Coniglio, M (2010) Subaerial exposure and meteoric diagenesis of the Cenomanian-Turonian Upper Sarvak Formation, southwestern Iran, *Geological Society, London, Special Publications*, 330: 253-272.
- Hakimzadeh, S. and Seyrafian, A (2008) Late Oligocene-Early Miocene benthic foraminifera and biostratigraphy the Asmari Formation, south Yasuj, north-central Zagros basin, Iran: *Carbonates and Evaporites*, 23 (1): 1-10.
- Heydari, E (2008) Tectonics versus eustatic control on super sequences of the Zagros Mountains of Iran, *Tectonophysics*, 451: 56-70.
- Jahnert, R. and Collins, L (2012) Characteristics, distribution and morphogenesis of subtidal microbial systems in Shark Bay, Australia, *Marine Geology*, 303-306: 115-136.
- James, G. A. and Wynd, J. G (1965) *Stratigraphic Nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement Area*, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 49: 2182-2245.
- James, N. P. and Choquette, P. W (1990) Limestone the sea floor diagenetic environment: In McIlreath, I. A. and Morrow, D. W., (Eds), *Diagenesis*, Geological Association of Canada.
- Machel, H. G (2004) Concepts and models of dolomitization: A critical reappraisal, in Braithwaite, C. J. R., Rizzi, G. and Darke, G., (eds.), *The Geometry and Petrogenesis of Dolomite Hydrocarbon Reservoirs: Geological*

- Tucker, M. E (1991) *Sedimentary Petrology: An introduction to the origin of sedimentary rocks*, Blackwell Scientific Publication, England, 260 p.
- Van-Buchem, F. S. P., Allan, T. L., Laursen, G. V., Lotfpour, M., Moallemi, A., Monibi, S., Motiei, H., Pickard, N. A. H., Tahmasbi, A. R., Vedrenne, V. and Vincent, B (2010) Regional stratigraphic architecture and reservoir types of the Oligo-Miocene Miocene deposits in the Dezful Embayment (Asmari and Pabdeh Formations) SW Iran, Geological Society of London, Special Publications, 329: 219-263.
- Vandeginste, V., John, C. and Manning, Ch (2013) Interplay between depositional facies, diagenesis and early fractures in the Early Cretaceous Habshan Formation, Jebel Madar, Oman, *Marine and Petroleum Geology*, 43: 489-503.
- Vaziri-Moghaddam H., Kimiagari M. and Taheri A (2006) Depositional environment and sequence stratigraphy of the Oligo Miocene Asmari Formation in SW Iran. *Facies* 52: 41–51.
- Vincent, B., Emmanuel, L., Houel, P. and Loreau, J (2007) Geodynamic control on carbonate diagenesis: petrographic and isotopic investigation of the Upper Jurassic Formations of the Paris Basin (France), *Sedimentary Geology*, 197: 267–289.
- Wanas, H. A. and Soliman, H. E (2014) Calcretes and palustrine carbonates in the Oligo-Miocene clastic-carbonate unit of the Farafra Oasis, Western Desert, Egypt: Their origin and palaeoenvironmental significance, *Journal of African Earth Sciences*, 95: 145-154.
- Wilson, M. E. J., and Evans, M. E. J (2002) Sedimentology and diagenesis of Tertiary carbonates on the Mangkalihat Peninsula, Borneo: implications for subsurface reservoir quality, *Marine and Petroleum Geology*, 19: 873-900.
- Zabihi-Zoeram, F., Vahidinia, M., Mahboubi, A. and Amiri-Bakhtiar, H (2013) Facies analysis and sequence stratigraphy of the Asmari Formation in the northern area of Dezful Embayment, south-west Iran, *Studia UBB Geologia*, 58 (1): 45-56.