

تأثیر 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 جهان و اصلی‌ترین سنگ مخزن هیدروکربنی در ایران است که عمده‌ی تولید نفت در فروافتادگی دزفول از این سازند صورت می‌گیرد. در این پژوهش برای درک عوامل کنترل‌کننده کیفیت مخزنی این سازند بررسی‌های گسترده پتروگرافی در میدان نفتی قلعه‌نار انجام گرفت. این سازند در میدان قلعه‌نار از رخساره‌های دانه‌پشتیان بیوکلستی-پلوئیدی (فرامینفری- جلبکی) ساخته شده و بر پایه بررسی ۸۰۰ بُرش نازک میکروسکوپی تهیه شده از مغزه‌ها و خرده حفاری در این میدان، ۹ رخساره رسوبی شناسایی شد. این ریزرخساره‌ها مربوط به بخش‌های لاگونی، پشته‌های زیرآبی، سکوی نومولیتی و بخش‌های دریای باز بوده که در رمپ کربناته کم شیب نهشته شده‌اند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که گسترش فرایندهای دیاژنزی انحلال و دولومیتی‌شدن مرتبط با ریزرخساره‌های دانه‌پشتیان پشته‌های زیر آبی و سدهای نومولیتی است. انحلال به همراه دولومیتی شدن از عوامل افزایش دهنده کیفیت مخزن و سیمانی شدن و فشردگی مهم‌ترین عوامل کاهش کیفیت مخزنی در سازند آسماری هستند.

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

پیشگفتار

کربناته جهان) کاملاً ضروری است. فرایندهای دیاژنزی پس از رسوب‌گذاری به طرق مختلفی کیفیت مخزنی مخازن کربناته را زیر تأثیر قرار داده و سبب افزایش یا کاهش آن می‌گردند. از آنجا که سازند آسماری مهم‌ترین سنگ مخزن میدان مورد بررسی و بسیاری از میدان‌های فروافتادگی دزفول است، 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 سویی دیگر، سازند آسماری همانند دیگر مخازن کربناته شکافدار جهان دارای توزیع ویژگی‌های مخزنی بسیار ناهمگن بوده و آگاهی از تأثیر فرایندهای رسوب‌گذاری و دیاژنزی بر ویژگی‌های مخزنی در زون‌بندی مخزن و برقراری همبستگی معنادار بین آن‌ها ضروری است. هدف اصلی این پژوهش پاسخ به این پرسش است که از عوامل سه‌گانه اصلی یادشده (یعنی محیط‌رسوبی، دیاژنز و شکستگی) کدامیک نقش مهم‌تری در کنترل کیفیت مخزنی سازند آسماری در میدان مورد بررسی داشته‌اند؟

خاورمیانه میزبان عظیم‌ترین ذخایر نفت و گاز جهان است که بخش اصلی آن در صفحه عربی واقع شده است. بیش‌تر این ذخایر هیدروکربنی، میدان‌های بزرگ و گسترده‌ای را در منطقه پدید آورده است و این مسئله، صفحه عربی را به یکی از اصلی‌ترین ایالات هیدروکربنی جهان مبدل ساخته است (شارلند، ۲۰۰۱). کربنات‌های کم‌ژرفای سازند آسماری، میزبان ذخایر هیدروکربنی عظیمی در جنوب و جنوب‌باختری ایران هستند که از ابتدای سده بیستم در تولید نفت نقش بسزایی ایفا می‌کنند. در مخازن کربناته عوامل مختلفی کیفیت مخزنی را کنترل می‌کنند که شامل بافت رسوبی اولیه، دیاژنز و شکستگی‌ها است (اھر، ۲۰۰۷) که در مورد سازند آسماری بیش‌تر شکستگی‌ها نقش ویژه‌ای ایفا می‌کنند. بنابراین، درک محیط رسوبی و تاریخچه دیاژنزی سازندهای مخزنی کربناته با بررسی دقیق رخساره‌ها و فرایندهای دیاژنز (به عنوان مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده انباشت هیدروکربن در بیش‌تر مخازن

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 نشانگر تأثیر زون گسلی بالارود بر روی این میدان است. از این میدان در افق‌های آسماری و بنگستان نقشه‌های زیرسطحی تهیه شده است (شکل ۱). ستبرای آسماری در این میدان ۳۴۰ متر است. این میدان در افق آسماری دارای درازای ۲۴/۵ کیلومتر و پهنای متغیر که به طور میانگین 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 خاوری 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 دیده می‌شود (عظیمی، ۱۳۹۲). مرز پایینی سازند آسماری در فروافتادگی دزفول سازند شیلی پابده به صورت هم‌شیب و پیوسته است. مرز بالایی 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 جنوب‌خاوری 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) آغاز می‌شود و تا میوسن پایینی (بوردیگالین) ادامه می‌یابد (مطیعی، ۱۳۷۲). سازند آسماری از جنبه‌های مختلف شامل تغییرات رخساره‌ای و محیط‌رسوبی، چینه‌نگاری سکانشی، تغییرات دیاژنزی و مطالعات ژئوشیمیایی و کیفیت مخزنی در بخش‌های مختلف زاگرس و خلیج‌فارس بررسی شده است برای مثال (بجمن 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 بررسی سازند آسماری از داده‌های ۲ چاه بهره‌گیری شد. برای شناسایی اجزای سازنده ریزرخساره‌ها و فرآیندهای دیاژنزی ۸۰۰ عدد برش نازک میکروسکوپی برگرفته از مغزه‌ها و خرده‌های حفاری بررسی و توصیف شد. برای نام‌گذاری بافتی ریزرخساره‌ها از روش تقسیم‌بندی دانهام (۱۹۶۲) و برای شناسایی کمربندهای رخساره‌ای و تفسیر محیط رسوبی از تقسیم‌بندی فلوگل (۲۰۱۰) بهره‌گیری شد. تمام برش‌های نازک برای تعیین سنگ‌شناسی با محلول آلیزارین قرمز به روش دیکسون (۱۹۶۶) رنگ‌آمیزی شدند. به منظور ارزیابی کیفیت مخزنی از داده‌های تخلخل و تراوایی تهیه شده از مغزه متعلق به شرکت مهندسی و توسعه نفت ایران بهره‌گیری شد. برای رسم نمودارها و تجزیه تحلیل آن‌ها از نرم‌افزارهای Matlab و TecLog و Excel بهره‌گیری شد.

محیط رسوبی و ریزرخساره‌ها

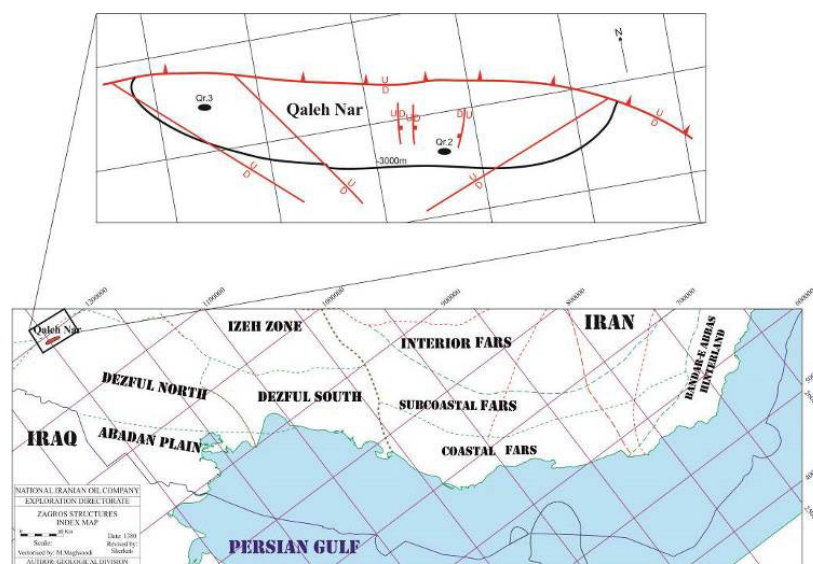
بر پایه مطالعه برش‌ها نازک میکروسکوپی در میدان مورد مطالعه ۹ ریزرخساره شناسایی شد که در محیط‌های رمپ درونی (پهنه‌کشدی، لاگون و پشته زیر آبی)، رمپ میانی و رمپ بیرونی نهشته شده‌اند. در ادامه این ریزرخساره‌ها به طور چکیده مورد توصیف و تفسیر قرار گرفته‌اند (جدول ۱).

A) کمر بند پهنه‌کشدی و لاگون (رمپ درونی)

۱- مادستون

این ریزرخساره از گل‌آهکی خالص ساخته شده و بدون هر گونه آلوکمی است. لایه‌بندی در آن دیده نمی‌شود. در برخی موارد دانه‌های کوارتز و آثار انیدریتی شدن، دولومیتی شدن در آن دیده می‌شود. (شکل ۲- الف).

¹ Double Plunge



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

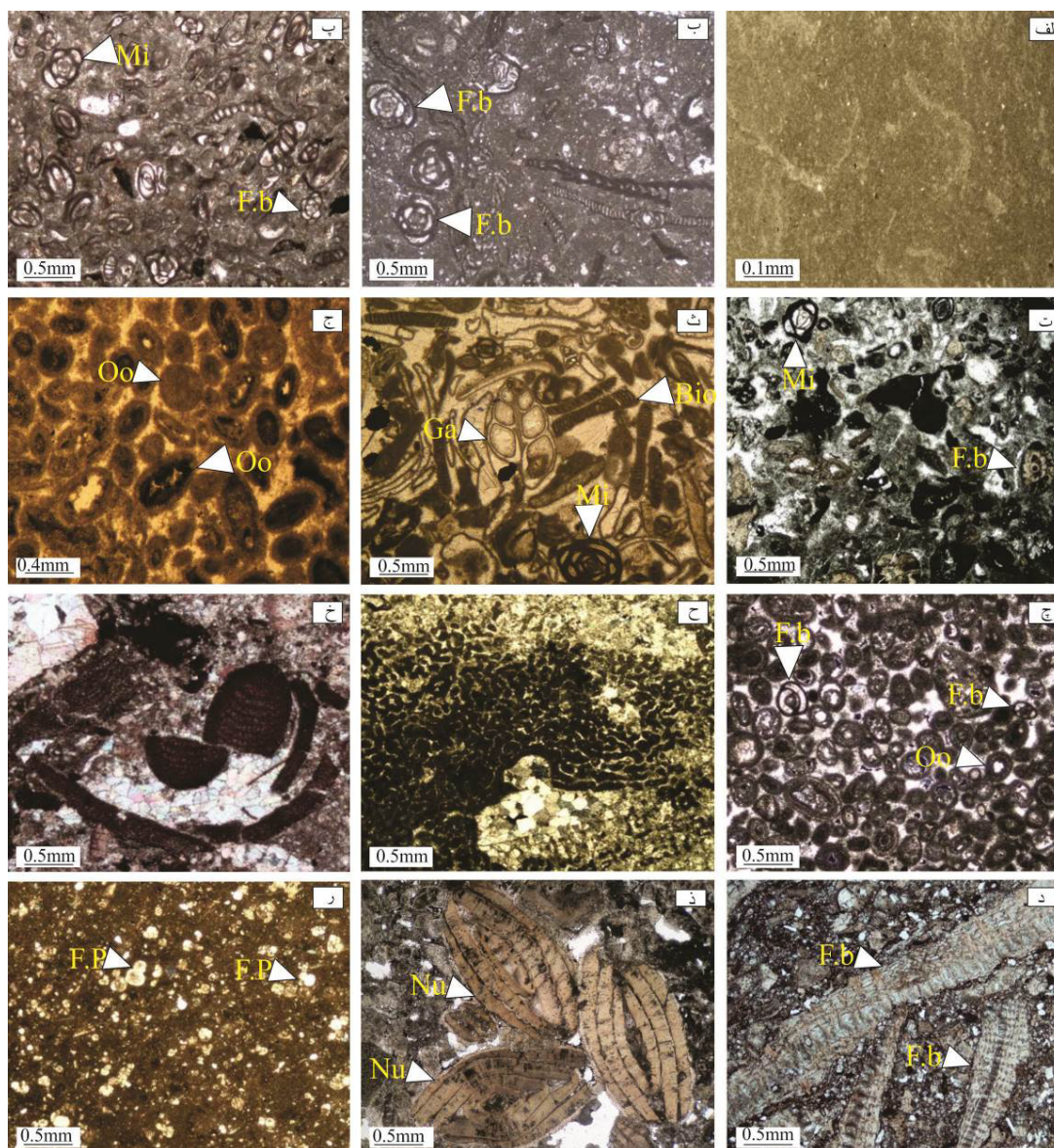
جدول ۱. ریزرخساره‌ها و کمربندهای رخساره‌ای شناسایی شده در سازند آسماری

شماره رخساره	ریزرخساره‌ها	آلوکم		سطح انرژی	فرایندهای دباژنزی اصلی	معادل کمربندهای رخساره‌ای (فلوگل، ۲۰۱۰)
		اسکلتی	غیر اسکلتی			
۱	مادستون	-	-	پایین	دولومیتی شدن، جانشینی انیدریتی	رمپ درونی (پهنه کشندی) RMF 22
۲	پکستون تا وکستون بایوکلست‌دار	میلیولید (ر)، آرکیاس، پنروپلیس، آستروتریلینا (ر)، دوکفه‌ای، اکینوئید، خرده‌های بریوزوئر (ک)	پلوتید-اینتراکلست (ک)	پایین تا متوسط	سیمانی شدن، دولومیتی شدن، استیلولیتی شدن	رمپ درونی (لاگون محدود) ۲۰RMF
۳	وکستون/پکستون (دارای روزن-داران بدون منفذ)	میلیولید (ف)، پنروپلیس، میوزیپسینوئید، بورلیس (ر)، دوکفه‌ای، اکینوئید، بریوزوئر (ک)	پلوتید (ر)	پایین تا متوسط	میکرایتی شدن، تبلور دوباره	رمپ درونی (لاگون محدود) RMF16
۴	پکستون/گرینستون (دارای روزن-داران منفذدار و بدون منفذ)	میلیولید (ر)، میوزیپسینا (ک)، نئو روتالیا، آمفستزینا، اکینوئید، جلبک قرمز، دوکفه‌ای (ر)	اینتراکلست (ک)	متوسط تا بالا	استیلولیتی شدن	رمپ درونی (لاگون باز) RMF26
۵	گرینستون تا پکستون بایوکلست‌دار	میلیولید (ک)، دندرتینا (ک)، خرده‌های دوکفه‌ای (ر)	اینتراکلست (ک)، پلوتید (ک)	بالا	تبلور دوباره، انحلال، میکریتی شدن	رمپ درونی (شول) RMF29
۶	گرینستون انیدی	-	انید (ف) پلوتید (ک)	بالا	میکرایتی شدن، سیمانی شدن، انحلال	رمپ درونی (شول) RMF29
۷	فلوتستون/باندستون (دارای مرجان و جلبک قرمز)	مرجان (ف)، جلبک قرمز، خارپوست، بریوزوئر (ک)	-	بالا تا متوسط	سیمانی شدن	رمپ میانی RMF15
۸	پکستون (دارای نومولیتید و لپیدوسیکلینید)	نومولیت (ف)، میوزیپسینا (ر)، آمفستزینا (ر)، هتروسزینا، میلیولید، جلبک قرمز، خرده‌های دوکفه‌ای (ک)	پلوتید (ک)، اینتراکلست (ک)	متوسط	دولومیتی شدن، درزه‌های انحلالی	رمپ میانی RMF8
۹	وکستون/پکستون (دارای روزن‌بران پلاتکتون)	گلوبیژرینا (ف)، میوزیپسینوئید (ک)، کرنوئید، جلبک قرمز، میلیولید (ک)	پلوتید (ک) اینتراکلست (ک)	پایین	تبلور دوباره، استیلولیتی شدن، سیمان کلسیتی	رمپ بیرونی RMF2

درصد فراوانی: ف: فراوان، ن: رایج، ک: کم

نرم‌تنان شامل خرده‌های دوکفه‌ای جلبک قرمز (ساب‌ترینی‌فیلم، لیتوفیلوم) با فراوانی (۱۰ تا ۱۵ درصد) و اجزای فرعی شامل پلوتید (۱۰ درصد) و اکینوئید ساخته شده است (شکل ۲-ب).

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



شکل ۲. الف) مادستون، ب) پکستون تا وکستون (دارای بایوکلست)، پ) وکستون / پکستون (دارای روزن‌داران بدون منفذ)، ت) پکستون / گرینستون دارای روزن‌داران منفذدار و بدون منفذ، ث) گرینستون تا پکستون (دارای بایوکلست)، ج) گرینستون آئیدی، چ) گرینستون آئیدی به همراه روزن‌داران کفزی، ح و خ) فلوتستون / باندستون دارای مرجان و جلبک قرمز، د) پکستون (دارای نومولیتید و لپیدوسیکلینید)، ذ) نومولیت‌های موجود در بنک نومولیتی، ر) وکستون / پکستون (دارای 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 بررسی دارد (شکل ۲- پ) (شکل ۴- الف).

۳- وکستون / پکستون دارای روزن‌داران بدون منفذ
این ریزرخساره از انواع مختلفی از روزن‌داران بدون منفذ مانند میلیولید (miliolids)، پنروپلیس (Peneroplis)، میوژپسینوئید، بوریس (Borelis)، دندرتینا (Dendritina) با فراوانی ۲۰ الی ۳۰ درصد ساخته 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 مانند میلیولید (۵ الی ۱۰ درصد) و روزن‌داران منفذدار مانند میوزپیسینوئید، 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 ستبرای در چاه‌های مورد بررسی 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 دیده می‌شود. وجود این آثار در این ریزرخساره نشان از نهشت آن در بخش رو به لاگون پشته‌های زیرآبی بوده که در آب‌های کم‌ژرفا و در محیطی با انرژی متوسط تا زیاد ساخته شده است (برنانس، 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، هم‌کانون و در اندازه ۱ الی ۱/۵ میلی‌متر بوده و جورشدگی خوبی نشان می‌دهند. اغلب آن‌ها در اثر فرآیندهای دیاژنزی ساختمان درونی 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 میکربیتی شدن ائیدها باشد (شکل ۲-ج وچ).

C) ریزرخساره انتهای رمپ درونی

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 حجره‌های آن‌ها توسط سیمان کلسیتی دروزی و تا حدی میکربیت 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 حجره‌های آن‌ها توسط میکربیت و سیمان کلسیتی پر شده‌اند (شکل ۲-ح و خ) (شکل ۴-ب).

تفسیر ریز رخساره‌های رمپ درونی

حضور دانه‌های کوارتز و آثار انیدریتی شدن و دولومیتی شدن در ریزرخساره مادستون، ته‌نشست در یک محیط میان‌کنش‌دهی 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 سازنده این رخساره‌ها عمدتاً شامل روزن‌داران کفزی بدون منفذ شامل آرکیاس‌ها، پنروپلیس‌ها، دندرتینا و بورلیس‌ها هستند. حضور این روزن‌داران بویژه آرکیاس‌ها و پنروپلیس‌ها مشخصه آب‌های کم ژرفای گرمسیری تا نیمه گرمسیری هستند و بخش‌های بالایی زون نوری را نشان می‌دهند (هولزمن و همکاران، ۲۰۰۱؛ براندانو و همکاران، ۲۰۰۹؛ صحراییان و همکاران، ۲۰۱۴). آشفستگی کم آب عاملی برای تنوع و گسترش روزن‌داران پورسلانوز بدون منفذ شده که در ژرفای 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) شناخته می‌شود (باسی و همکاران، ۲۰۰۷؛ وزیرمقدم و همکاران، ۲۰۱۰؛ ذبیحی و همکاران، ۲۰۱۳). شواهد ریزرخساره گریستون اووئیدی نشان از نهشته شدن آن در آب‌های

¹ Ditrupa

زمینه دارای خرده‌های ریز بایوکلاستی 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 درونی تا میانی

حضور نومولیت با مورفولوژی دوکی شکل تا بیضوی همراه با تجمع روزن‌داران کفزی بزرگ مانند میوزوپسیپسینوئید و آمفیستزینا نشان از نهشت این رسوبات در انتهای رمپ درونی ابتدای رمپ میانی، در 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 اولیگوتراپی با مواد غذایی اندک است. پژوهشگران بر این باورند که بیش‌تر انرژی آن‌ها توسط جلبک‌های همزیست آن‌ها فراهم می‌شود. اندازه بزرگ، طبیعت، چورشدگی و بافت دانه پشتیبان نومولیت‌ها نشانگر محیط بنک نومولیتی^۳ با انرژی متوسط تا زیاد است و به طور عمده، به عنوان سازنده ساختمان‌های ریفی گفته می‌شوند (بیوینگتون و همکاران، ۲۰۰۵) (شکل ۲-د).

(E) ریزرخساره رمپ بیرونی

۹- وکستون/پکستون (دارای روزن‌بران پلانکتون) از مهم‌ترین اجزای اصلی سازنده 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 دیده می‌شوند. این ریزرخساره در قسمت آسماری پائینی (قاعده سازند آسماری)، مرز تدریجی بین سازندهای آسماری و پابده و قسمت‌های بالایی سازند پابده دیده شده است. اندازه دانه‌ها در حد سیلت تا ماسه ریز تا درشت تغییر می‌کند (شکل ۲-ر).

کم‌ژرفا با انرژی متوسط تا بالا است که منجر به حرکت و جابجایی بایوکلاست‌ها و ایجاد ائیدها شده است (سیم و لی، ۲۰۰۶ و ذبیحی و همکاران، ۲۰۱۳). در این ریز رخساره وجود ائیدهای با چورشدگی خوب و نبود زمینه گلی، نشان‌دهنده تشکیل در یک محیط پرانرژی و در بالای خط امواج عادی است (سیم و لی، ۲۰۰۶ و وزیرمقدم، ۲۰۰۶). البته می‌توان گفت که وجود ائیدهای میکرایتی و نبود هسته آن‌ها نشانگر افزایش انرژی محیط به مدت کوتاه بوده و میکرایتی شدن آن‌ها به مدت طولانی نشانگر 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 برخی از برش‌ها نمایانگر نهشت این ریزرخساره در بخش رو به دریای باز^۲ است.

(D) ریزرخساره‌های رمپ درونی تا میانی

۸- پکستون (دارای نومولیتید و لپیدوسیکلینید)

روزن‌داران کفزی بزرگ نظیر نومولیت‌های دوکی تیپیک (با نسبت پهنا به درازا تقریباً برابر) و میوزوپسیپسینوئید، 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 اینتراکلاست‌های گردشده (۰/۳ میلی‌متر) به صورت پراکنده در این ریزرخساره دیده شده است. از نظر شکل ظاهری این روزن‌داران از حالت تقریباً کروی شکل تا حالت پهن و کشیده تغییر می‌کنند که پاسخی به افزایش ژرفای آب است. آلوکم‌ها با چورشدگی ضعیف در یک

³ Nummulitic bank

² Seaward shoal

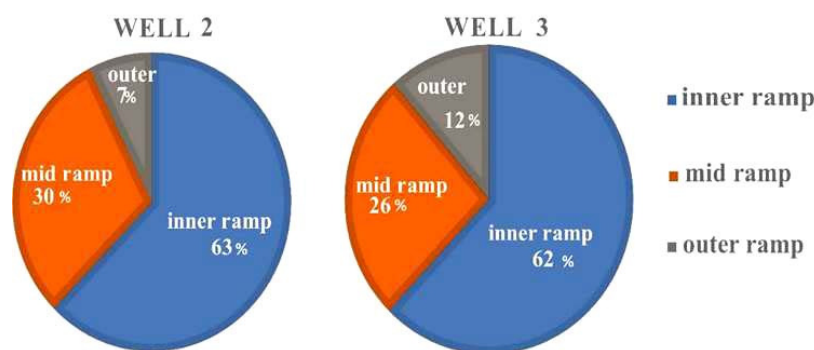
تفسیر ریزرخساره رمپ بیرونی

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

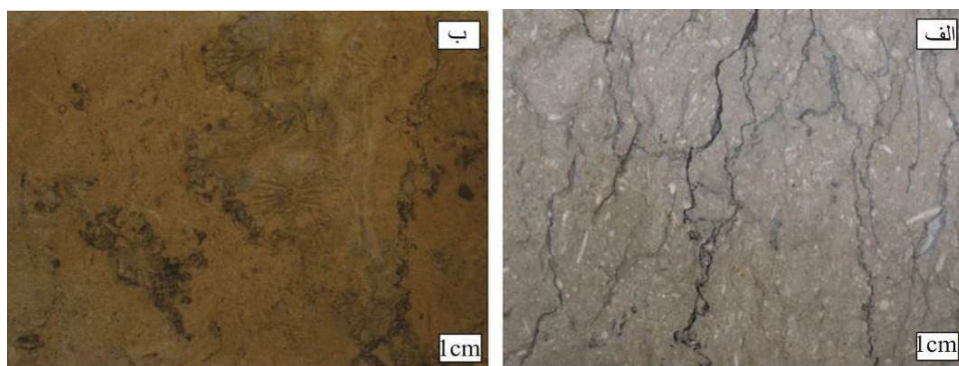
بررسی چگونگی گسترش ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی سازند آسماری

با توجه به نبود رسوبات توریدایتی، نبود رخساره‌های ریزشی و لغزشی که نشانگر 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 بررسی رمپ کربناته بوده است. از سویی عدم تمرکز نهشته‌های رسوبی در بخش‌های انتهایی رمپ و گسترش آن‌ها به ویژه در رمپ درونی 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) نشانگر نهشته شدن این کربنات‌ها در شرایط گرمسیری و

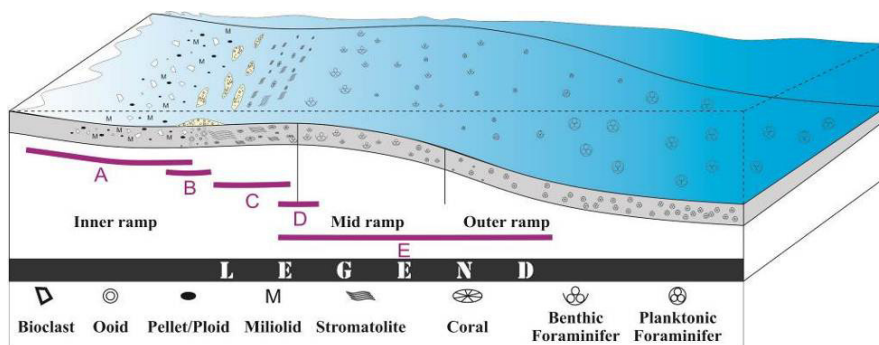
نیمه‌گرمسیری با میانگین دما ۱۸ الی ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (آدامز و بورجوییس، ۱۹۶۷؛ براندانو و کوردا، ۲۰۰۲) که با شرایط جغرافیای دیرینه و جایگاه جغرافیایی حوضه رسوب‌گذاری سازند آسماری در زمان الیگوسن-میوسن (اهرنبرگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ ون بوخم و همکاران، ۲۰۱۰) مطابقت دارد. در زمان نهشت سازند آسماری (الیگو-میوسن) شرایط محیطی از رمپ بیرونی تا رمپ میانی و درونی در تغییر بوده، اما بیش‌تر شرایط رمپ درونی حاکم بوده است (آورجانی و همکاران، ۱۳۹). تغییرات درصد فراوانی ریزرخساره‌ها در چاه‌های مورد بررسی گسترش و چیرگی ریزرخساره‌های رمپ درونی را نشان می‌دهد (شکل ۳). طی الیگوسن بیش‌تر شرایط رمپ بیرونی 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 درونی 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 ویژگی‌های بافتی و فابریک سیمان ایجاد شده در سنگ‌ها شناسایی کرد (وینسنت و همکاران، ۲۰۰۷). مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی بخش مخزنی سازند آسماری در میدان مورد بررسی به شرح زیر است:

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

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

فعالیت شدید موجودات به طور کامل میکرایتی شده‌اند و در نتیجه شناخت ماهیت دانه اسکلتی اولیه اغلب دشوار شده است. این بررسی به روشنی نقش میکرایتی شدن در پیشگیری از انحلال و گسترش تخلخل انحلالی در بخش‌های کربناته را نشان می‌دهد (شکل ۶-پ).

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

سیمانی شدن^۸: بر پایه بررسی‌های انجام شده بر روی برش‌ها نازک میکروسکوپی، سیمان‌های کلسیتی هم‌بعد، سیمان رورشدی، سیمان دروزی و سیمان هم‌ستبراً 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

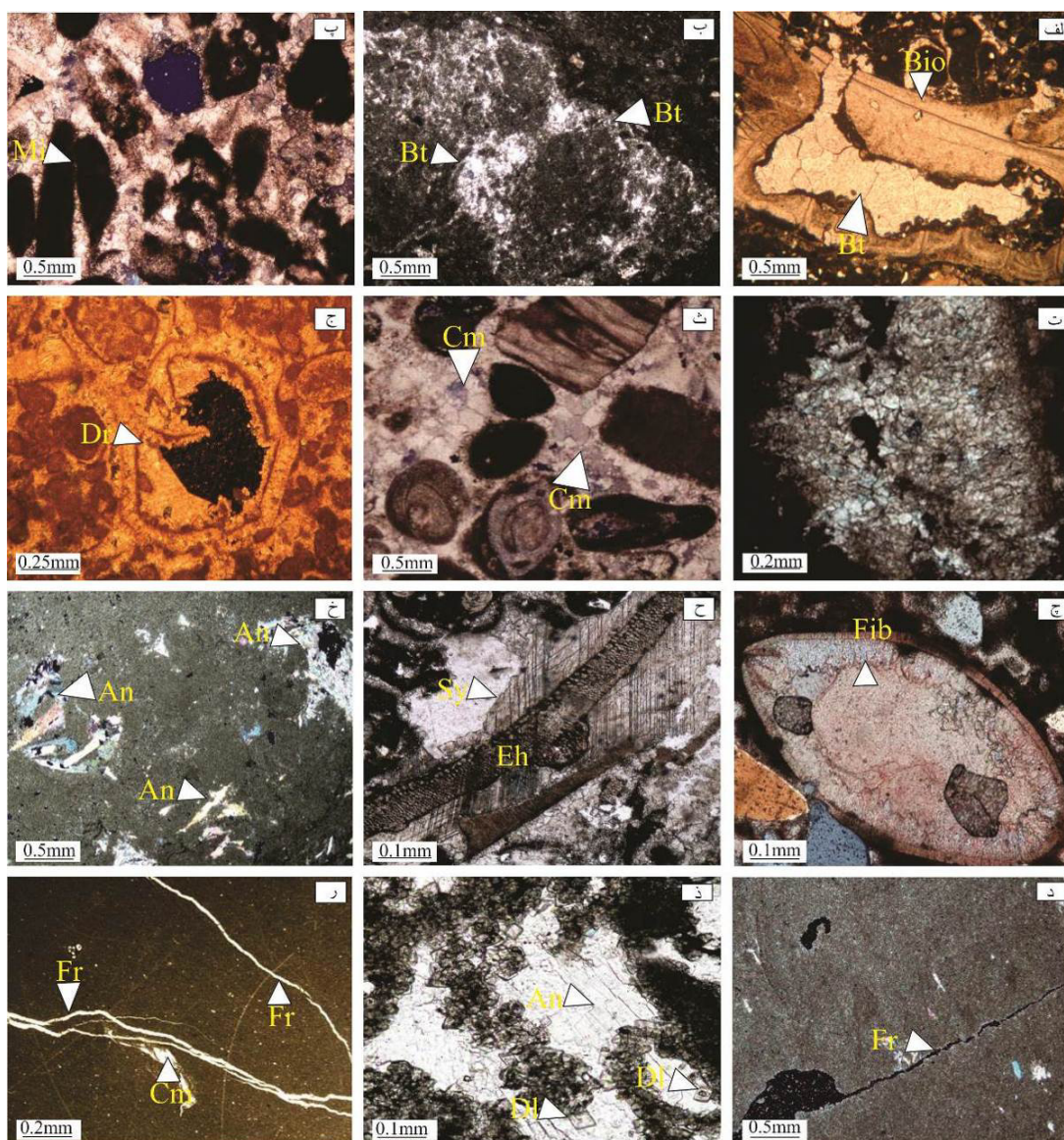
⁴ mottled Fabric

⁵ inhomogeneous micrite fabric

⁶ Micritization

⁷ Neomorphism

⁸ Cementation



شکل ۶. الف و ب) زیست آشفته‌گی. پ) فرایند کامل میکرایتی شدن و از بین رفتن ماهیت دانه‌ها (ت) تبدیل میکرایت به میکرواسپارایت (نوریختی). ث) سیمان کلسیتی هم‌بعد. ج) سیمان کلسیتی دروزی در داخل یک بایوکست. ح) سیمان هم‌ستبراً حاشیه‌ای بر روی دیواره‌ی درونی صدف اُستراکد 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، خ، د و ر در نور PPL و تصویر ذ در نور XPL تهیه شده است. علائم اختصاری؛ Bt: آشفته‌گی زیستی، Mi: میکرایتی شدن، Mi.S: میکرواسپارایت، Cm: سیمان، Dr: سیمان دروزی Sy: سیمان سین تکسیال، An: انیدریت، Fr: شکستگی، Dl: دولومیت، Nu: نومولیت، Eh: اکنودرم.

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 دانه‌پشتیان 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 میان‌بلوری نقش بارزی در افزایش کیفیت مخزنی این سازند داشته است (سلمانی، ۱۳۹۴). دولومیتی شدن به دو صورت اصلی دیده شده است: دولومیت مراحل اولیه دیاژنز، اندازه بلورهای آن ریز و نازک لایه هستند و بطور عمده در بخش بالایی آسماری بالایی و در کنار سازند تبخیری گچساران دیده می‌شوند و دولومیت ثانویه که بصورت جان‌نشینی ساخته 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. دولومیتی شدن 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 ساخته شده است. در حالت دوم فابریک اولیه سنگ حفظ و دولومیت‌های حفظ کننده فابریک^۵ ساخته شده است که اجزای مشخصی از سنگ در اثر دولومیتی شدن انتخابی، دولومیتی شده‌اند (شکل ۷- خ). این فرایند باعث افزایش کیفیت مخزنی در میدان مورد بررسی شده است.

مکانیزم دولومیتی شدن در میدان مورد بررسی

بخشی از دولومیت‌های موجود در توالی‌های بررسی شده در سازند آسماری در منطقه‌ی به صورت دولومیت‌های ریز بلور است که از شورابه‌های تبخیری در محیط‌های سبنا ساخته شده‌اند. دولومیتی شدن همراه با رشد ندول‌های انیدریت به زون‌های موئینه سبنا تعلق دارد. دولومیت‌هایی که بر پایه مدل نشتی- بازگشتی ساخته شده‌اند، در طی تدفین کم ژرفا و در زمانی که شورابه‌های چگال تبخیری به سوی پایین در رسوبات پلاتفرمی نفوذ می‌کنند، ساخته شده‌اند. این نوع مدل دولومیتی شدن

سیمان هم‌ستبر 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 برخی نمونه‌ها، همراه با سیمان‌های نسل‌های بعدی (سیمان هم‌بعد) دیده می‌شود (شکل ۶- چ).

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

سیمان‌های تبخیری: سیمان انیدریتی فراوان‌ترین سیمان در رخساره‌های مورد بررسی است که به شکل‌های مختلف در بیش‌تر رخساره‌ها دیده می‌شود، ولی در رخساره‌های منطقه کشندی و لاگون (وکستون/ پکستون دارای روزن‌بران بدون منفذ) فراوان‌تر است. در این ریزرخساره‌ها انیدریت بصورت میان دانه‌ای، پر شده در فضاهای انحلالی و بین‌بلوری وجود دارد. گسترش این سیمان بصورت تکه‌های پراکنده در متن گل آهکی (شکل ۶- خ)، حضور اولیه‌ی ژپیس 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 حفره‌ای جدا و مرتبط شده است و به دو گروه عمده شامل انحلال‌های تبعیت کننده از فابریک که از جمله تخلخل قالبی، بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای، میان بلوری (شکل ۷- الف، ب، پ، ت) و انحلال‌های غیر تبعیت کننده از فابریک تقسیم شده‌اند (شکل ۷- ث، ج) و رخساره‌های مختلف را زیر تاثیر خود قرار داده‌اند.

² Dolomitization

³ pervasive dolomitization

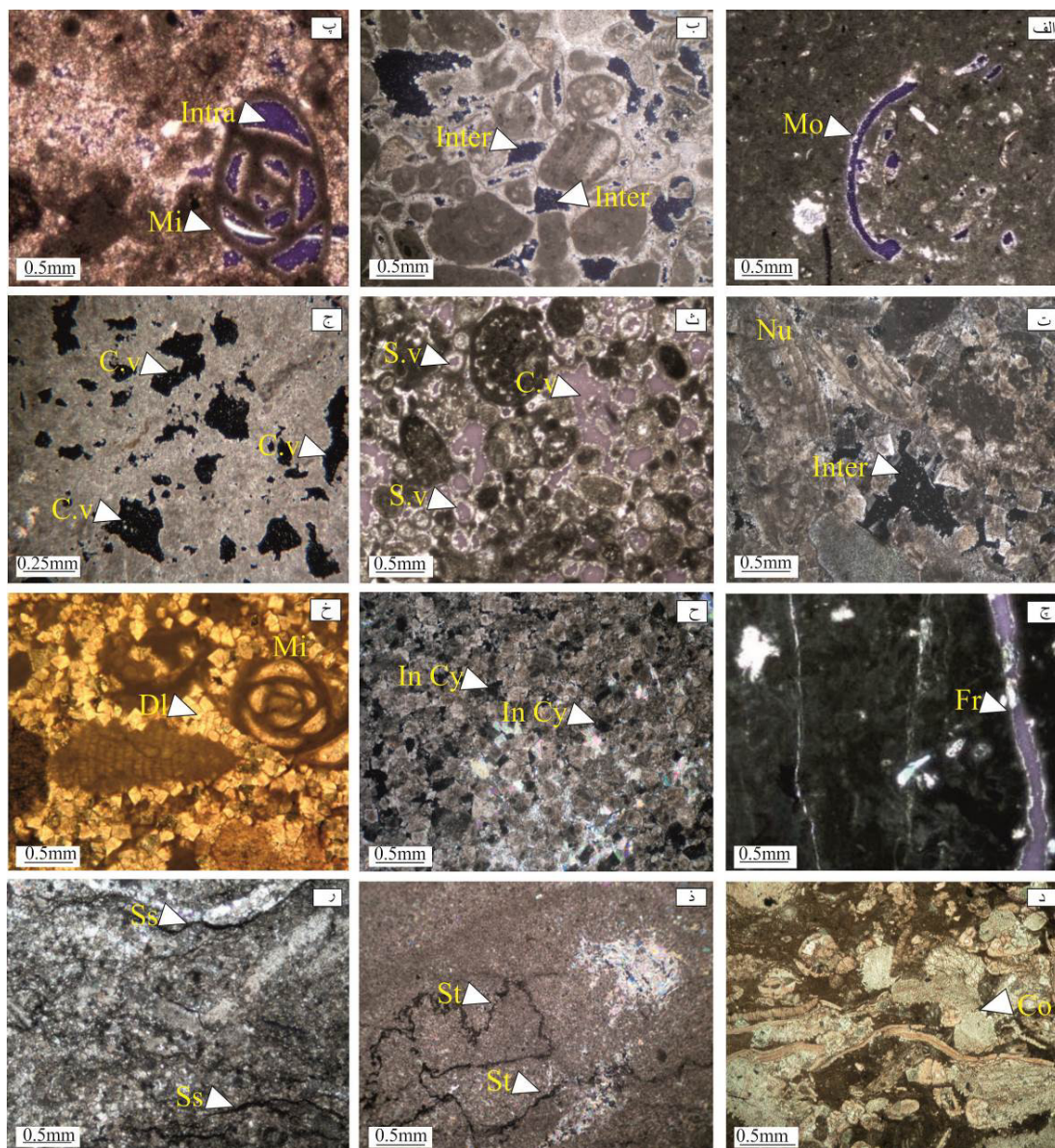
⁴ Fabric Destructive Dolomite

⁵ Fabric Retentive Dolomite

¹ Dissolution

وسیع حوضه‌ی پرمین تگزاس باختری و نیومکزیکو می‌شوند، طی تاثیر یک سیال شور فوق‌اشباع بر پایه مدل نشتی- بازگشتی ساخته شده‌اند. در واقع بسیاری از دولومیت‌های موجود در توالی مورد بررسی، طی این فرایند ایجاد شده‌اند (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۵).

نخستین بار برای دولوستون‌های چینه‌ای با گسترش ارائه شده است که در طی تدفین کم ژرفا و زمانی که شورابه‌های چگال تبخیری به سوی پایین در رسوبات پلاتفرمی نفوذ می‌کند، ساخته 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 میلیولید. ت) تخلخل میان بلوری 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 انتخاب کننده فابریک. خ) دولومیت انتخاب کننده فابریک. د) فشردگی مکانیکی ذ) استیلولیت. ر) درزه‌های انحلالی. تصاویر الف، ب، پ، ت، ث، ج، چ، ح، ذ، ر در نور PPL و تصویر د در نور XPL. علائم اختصاری: Mo: تخلخل قالبی، Intra: تخلخل درون دانه‌ای، Inter: تخلخل بین دانه‌ای، In Cy: تخلخل بین بلوری S.V: تخلخل حفره‌ای مجزا، C.V: تخلخل حفره‌ای مرتبط، Fr: شکستگی، St: استیلولیت، Ss: درزه‌های انحلالی، DI: دولومیت، Co: فشردگی مکانیکی، Nu: نومولیت.

رخداد آن‌ها میسر نیست. در مرحله‌ی آئوژن فرآیندهای دیاژنزی عمدتاً تابع محیط رسوب‌گذاری هستند و گسترش آن‌ها از محیط رسوبی تبعیت می‌کند. در حالی‌که در مرحله مزوژن در محیط دیاژنزی تدفینی پدیده‌های دیاژنزی در رخساره‌های 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 میکرایتی شدن، نوریختی، آشفستگی زیستی، انحلال، بخش مهمی از سیمانی شدن، دولومیتی شدن و فشردگی مکانیکی در مرحله‌ی آئوژن رخ داده‌اند (مادن و ویلسون، ۲۰۱۳؛ ویلسون و ایوانز، ۲۰۰۲). میکرایتی شدن دانه‌های مختلف کربناتی مانند خرده‌های خارپوست، دوکفه‌ای و ائیدها را زیر تاثیر قرار داده و به صورت حاشیه‌ی میکرایتی و میکرایتی شدن کامل دیده شده است. فارچها، باکتری‌ها و جلبک‌ها عوامل میکرایتی شدن دانه‌های کربناتی هستند (وینسنت و همکاران، ۲۰۰۷) و در رخساره‌های مورد بررسی به نظر می‌رسد نقش اصلی بر عهده جلبک‌های قرمز بوده است. سیمان هم‌ستبر حاشیه‌ای پس از میکرایتی‌شدن در اطراف دانه‌ها یا بر روی دیواره‌ی درونی حفرات ساخته شده است. آشفستگی زیستی که بلافاصله بعد از رسوب‌گذاری رخ می‌دهد (شول، ۲۰۰۱). فرآیند تبلور دوباره بصورت تشکیل میکرواسپار و اسپاریت دروغین نیز از فرآیندهای دیاژنزی مرحله آئوژن است که امکان دارد تا مرحله‌ی تدفین کم‌ژرفا ادامه یابد (مکنزی و همکاران، ۲۰۰۳). دولومیت‌ها نیز بر پایه ویژگی‌های بافتی و تشکیل سیمان انیدریتی (که خود محصول دیاژنزی آئوژن است) در تخلخل‌های میان بلوری، در مرحله‌ی آئوژن ساخته شده‌اند (ال‌آسم و همکاران، ۲۰۰۹؛ بو و همکاران، ۲۰۱۲). تغییر شکل و آرایش نزدیک‌تر دانه‌های کربناتی که برگرفته از فرآیند فشردگی مکانیکی هستند، پیش 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 نشانگر شرایط محیط دیاژنزی متئوریک در مرحله‌ی آئوژن است (میلر و همکاران،

فشردگی^۱: در نمونه‌های مورد بررسی، 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 کاو-کوژ و یا مرز مضرس شده است، فشردگی مکانیکی بیش‌تر در مراحل اولیه دفن رسوبات رخ داده است (شکل ۷-د). فشردگی شیمیایی در نمونه‌های گل‌پشتیبان که همراه با تبخیری هستند بیش‌تر دیده شده است. استیلولیت‌ها، ندول‌های تبخیری (انیدریت) را احاطه کرده‌اند و رگچه‌های انحلالی نیز به طور عمده در ریزرخساره‌های محیط کشندی و لاگون دیده 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-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 در 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 حالی‌که این فرایند تراوایی را بسیار افزایش داده است و نقش مهمی در افزایش ویژگی‌های 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- ر، شکل ۸- الف، ب).

توالی پاراژنزی فرایندهای دیاژنزی

در بررسی‌های دیاژنزی، شناخت ترتیب رخداد انواع فرایندهای دیاژنزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سنگ‌های کربناتی سازند آسماری در طی سه مرحله‌ی آئوژن، مزوژن و تلوزن زیر تاثیر فرایندهای دیاژنزی قرار گرفته‌اند. برخی از فرایندهای دیاژنزی از نظر ترتیب رخداد با همدیگر همپوشانی دارند و شناخت ترتیب

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 میکرایتی شکسته شده را احاطه کرده‌اند و نشان از ساخت آن‌ها پس از فرآیند شکستگی پوسته‌های میکرایتی دارد (جیمز و چوکت، ۱۹۹۰). سیمان رورشدی شفاف که مشخصه‌ی دیاژنز تدفینی و مرحله‌ی مزوژنز است (حاجی‌کاظمی و همکاران، ۲۰۰۸؛ بوگز و کریسلی، ۲۰۰۶)، در پیرامون خرده‌های خارپوست در این مرحله ساخته شده است. فرآیند فشردگی مکانیکی که با تغییر شکل دانه‌ها از مرحله‌ی ائوژنز آغاز شده بود با شکستگی دانه‌ها ادامه پیدا کرده (رونچی و همکاران، ۲۰۱۱) و در ادامه با تغییر نوع تماس دانه‌ها از نقطه‌ای، کاو-کوژ به حالت مضرس و انحلال در مرز دانه‌ها به فشردگی شیمیایی تبدیل شده است. شکستگی‌های بزرگ مقیاسی که بر روی مغزه‌های مورد بررسی دیده شده و بافت سنگ را قطع کرده‌اند در مرحله‌ی تلوژنز (آرین و محمدیان، ۱۳۸۸؛ نورایی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰؛ آورجانی، ۱۳۹۲) ساخته شده‌اند. در جدول شماره ۲ توالی پاراژنری فرآیندهای دیاژنری سازند آسماری در منطقه‌ی مورد بررسی ارائه شده است.

۲۰۱۲). هم‌چنین وجود رخساره‌های پهنه‌ی کشندی مانند مادستون دولومیتی شده نشانگر خارج شدن رمپ کرناتی از آب و حاکم شدن شرایط محیط سبخایی است. این فرآیندها نیز در محیط‌های ائوژنری ساخته شده است. در رخساره‌های سبخایی و پهنه‌ی کشندی 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 رخ داده‌اند (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 (هم‌ستبر)

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- **دولومیتی‌شدن**: 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 ژرفا دچار نوریختی شده و کیفیت مخزنی را افزایش داده است (شکل‌های ۹ و ۱۰). از آن جایی که میزان تراوایی دولومیت‌ها به بزرگی اندازه تخلخل‌های میان بلوری آن‌ها بستگی دارد، به نظر می‌رسد که بافت اولیه سنگی که زیر تاثیر دولومیتی شدن قرار می‌گیرد تا حد زیادی می‌تواند بر روی میزان تراوایی دولومیتی که بعداً ایجاد می‌شود تاثیر بگذارد (شکل ۱۱ الف و ب).

۴- **شکستگی‌ها**: سازند آسماری به دلیل لیتولوژی سنگ آهک، زیر تاثیر نیروهای زمینساختی حالت شکننده (مطبیعی، ۱۳۷۴) دارد. در افق آسماری میدان قلعه‌نار یک انحراف محوری چپ‌گرد در دماغه خاوری میدان دیده می‌شود. زاویه میان‌یالی این چین به طور میانگین نزدیک 138° بوده که در نتیجه این چین از نوع ملایم می‌باشد. گسل اصلی بالارود یال شمالی چین را زیر تاثیر 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 احتمالاً مؤلفه‌های امتدادی داشته این

فاکتورهای کنترل کننده کیفیت مخزنی

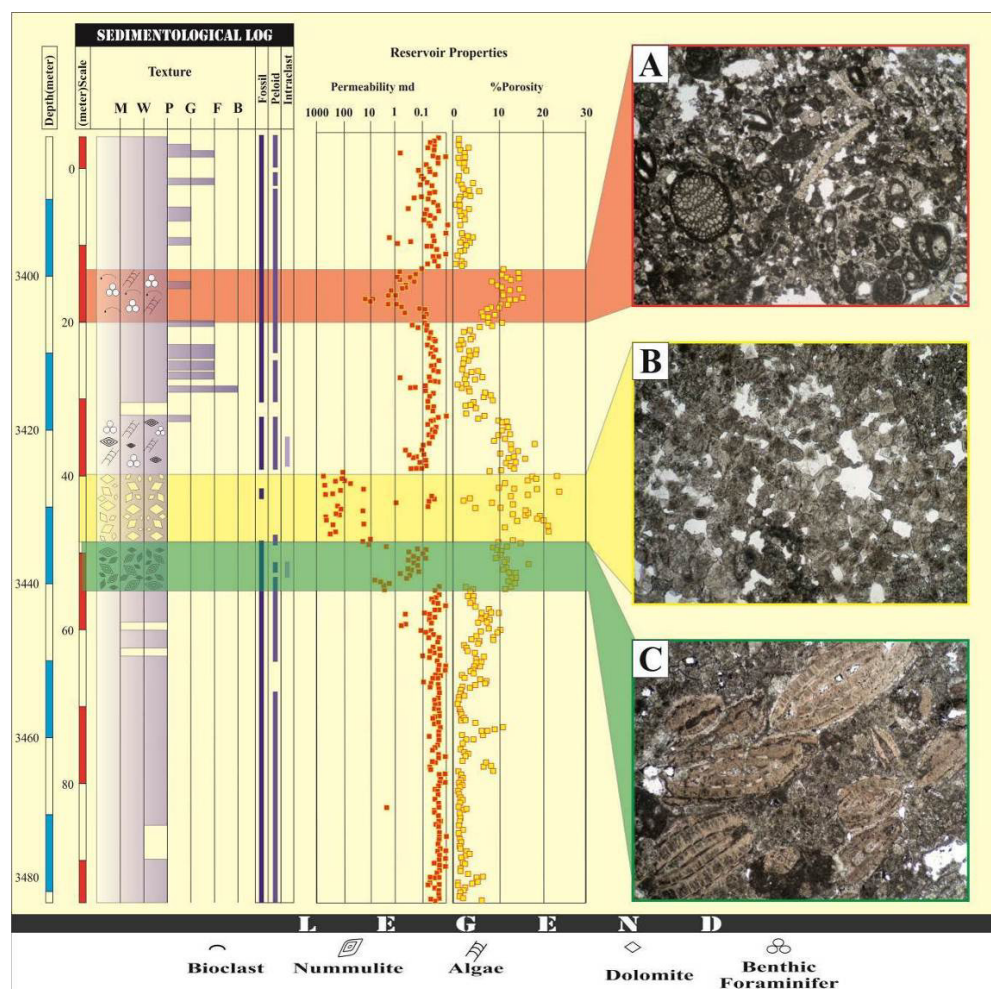
۱- **رخساره‌های مخزنی (سکو نومولیتی و رخساره‌های دانه‌پشتیبان)**: رخساره‌های رسوبی از عوامل موثر در کنترل کیفیت مخزنی است. رخساره‌های سدی و لاگونی تخلخل قالبی و درون دانه‌ای دارند و مجزا هستند و تخلخل را بالا برده‌اند ولی تراوایی در این ریزرخساره‌ها پایین است. در برخی رخساره‌های دانه‌پشتیبان و نومولیتی که کمتر زیر تاثیر فشردگی و سیمانی شدن قرار گرفته‌اند حضور نومولیت‌های نسبتاً درشت و دوکی شکل و روزن‌داران با تخلخل درون‌دانه‌ای و بین‌دانه‌ای بالا تاثیر زیادی در افزایش تخلخل در این ریزرخساره‌ها داشته‌اند. انباشت نومولیتی به صورت سکو دارای تخلخل میانگین $10/83$ درصد و تراوایی میانگین $0/85$ میلی‌داری می‌باشد. اما در برخی برش‌ها تخلخل قالبی و حفره‌ای وابسته، تخلخل در حدود ۱۸ درصد و تراوایی در حدود ۱۰ میلی‌داری افزایش یافته است. در مواردی هم‌چنین رخساره‌ها زیر 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 برش‌ها نازک نشان می‌دهد فشردگی و سیمانی شدن از مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی کاهنده حفرات بین‌دانه‌ای است. فشردگی فیزیکی موجب آرایش فشردگی دانه‌های 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 میان‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای و انحلالی تخلخل و تراوایی را کاهش داده یا

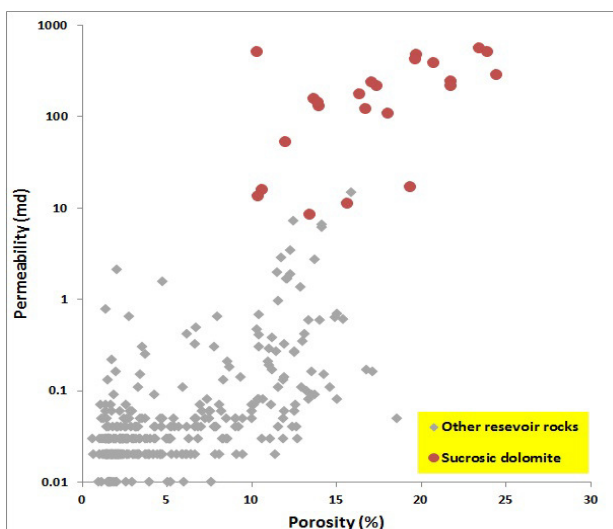
نقش کمتری در افزایش کیفیت مخزن در این میدان داشته است.

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

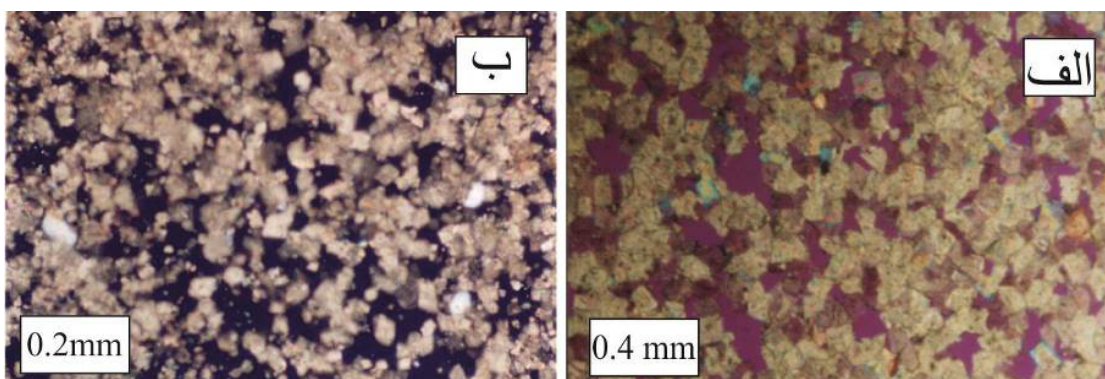
میدان را تحت تأثیر قرار داده است. ۳ گسل عرضی کوچک دیگر که ناحیه لولائی این چین را زیر تأثیر قرار داده است، از گسل‌های مشهود موجود در این ساختمان هستند (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۲). بررسی‌های ژئوفیزیکی (سراج، ۱۳۸۴) نشان می‌دهد که این سازند، زیر تاثیر چندین گسل قرار گرفته است. چین‌خوردگی و گسلش اثر خود را به 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 پایه بررسی‌های آزمایشگاهی و تجربی آزمون (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۲) این شکستگی‌ها در شکل نمایش داده شده است (شکل ۱۲). شکستگی نسبت به دیگر عوامل یادشده



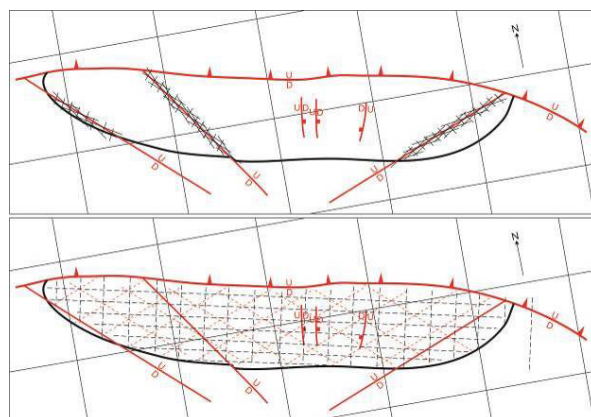
شکل ۹. ستون چینه‌شناسی همبستگی داده‌های تخلخل و تراوایی با رخساره‌های رسوبی و بررسی نقش فرایندهای دیازنزی بر گسترش زون‌های مخزنی سازند آسماری چاه ۳ میدان قلعه‌نار، A: وکستون پکستون دارای بایوکلیست (لاگون) همراه با تخلخل حفره‌ای مجزا، درون دانه‌ای و سیمانی شدن. B: رخساره دولومیتی شده که تبلور دوباره پیدا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



شکل ۱۰. اثر دولومیت درشت‌بلور دانه شکر بر کیفیت مخزنی



شکل ۱۱. الف) در این تصویر دولومیت‌های دانه شکر با بافت ایدیوتوپیک دیده می‌شود. بلورهای دولومیت بصورت لوزی‌های خود شکل تخلخل میان‌بلوری در میان بلورهای دولومیت که در آن حفره‌های چندوجهی، حفره‌های چهار وجهی و حفره‌های گلوگاه‌ها به خوبی دیده 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 تراوایی بیش‌تر می‌گردد.



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

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 پژوهش اهمیت شناسایی رخساره‌های رسوبی و مطالعه فرایندهای دیاژنزی موثر بر آن‌ها را در شناخت 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 سکانسی رسوبات الیگو-میوسن (سازند آسماری) در میدان نفتی کوپال، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، صفحات ۴۵ تا ۶۰.
- آورجانی، ش.، همت، م.، سبکرو، م.، صادقی، ر.، طاهری، م (۱۳۹۱) توصیف مغزه‌ها، چینه‌نگاری زیستی، رخساره‌ها، محیط‌رسوبی، چینه‌نگاری سکانسی 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 دولومیتی‌ها بر کیفیت مخزنی سازند آسماری، میدان نفت‌سفید، 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 بین‌المللی نفت، گاز و پتروشیمی، تهران، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

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 زرفای ۳۴۳۰ تا ۳۴۶۰ متری شاهد یک افزایش مشهود در تخلخل و تراوایی هستیم. این ژرفا با حضور و گسترش رخساره بنک نومولیتی که به خوبی دولومیتی شده است مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

- ۱- پژوهش انجام شده بر روی بُرش‌ها میکروسکوپی تهیه شده از مغزه‌ها و خرده‌های حفاری سازند آسماری در میدان نفتی قلعه‌نار منجر به شناسایی ۹ ریزرخساره شده که در محیط‌ها رمپ درونی (پهنه کشندی، لاگون و پشته‌های زیرآبی)، رمپ میانی و رمپ بیرونی نهشته شده‌اند.
- ۲- برپایه انواع رخساره‌ها، تغییرات آن‌ها در توالی‌های عمودی و جانبی و درصد فراوانی رخساره‌ها محیط رسوبی سازند آسماری بررسی شد. با توجه به نبود رسوبات توربیدیته، نبود رخساره‌های ریزشی و لغزشی که نشانگر شیب بالای محیط رسوبی در هنگام رسوب‌گذاری هستند، عدم گسترش ریف سدی پیوسته، تبدیل تدریجی رخساره‌ها به یکدیگر و نبود کورتوئیدها، آنکوئیدها، پیروئیدها و دانه‌های آگرگات که خاص پلت-فرم‌های کربناتی نوع شلف هستند، محیط رسوب‌گذاری سازند آسماری در منطقه مورد بررسی پلاتفرم کربناتی از نوع رمپ بوده است. از سویی عدم تمرکز نهشته‌های رسوبی در بخش‌های انتهایی رمپ و گسترش آن‌ها بویژه در رمپ درونی و میانی، رمپ کربناتی از نوع هم‌شیب است که احتمالاً مشابه خلیج فارس امروزی بوده است.
- ۳- مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی شامل میکرایتی شدن، تبلور دوباره، دولومیتی شدن، انحلال، سیمانی شدن، فشردگی مکانیکی و شیمیایی و شکستگی در مراحل دیاژنزی ائوژن، مزوژن و تلوژن رسوبات سازند آسماری در میدان نفتی مورد بررسی را زیر تأثیر قرار داده‌اند.
- ۴- حضور رخساره سکو نومولیتی، فرایند انحلال با ایجاد تخلخل حفره‌ای، دولومیتی شدن در برخی ژرفاها و

- 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 n 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.
- Ehrenberg, S. N., Pickard, N. A. H., Laursen, G. V., Monibi, S., Mossadegh, Z. K., Svänå, T. A., Aqrabi, A. A. M. and Thirlwall, M. F (2007) Strontium isotope stratigraphy of the عظیمی، م (۱۳۹۲) بررسی دیاژنز و کیفیت مخزنی سازند آسماری در میدان نفتی قلعه‌نار، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تهران. ۱۸۰ ص.
- محمدیان، ر. و آراین، 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, Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*, 29: 947-959.
- Aqrabi, A. A. M., Keramati, M., Ehrenberg, S. N., Pickard, N., Moallemi, A., Svänå, T., Darke

- 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.
- 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., 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 Mcllreath, 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 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.

- 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.