

نقش تغییرات سطح نسبی آب دریا در فرآیندهای دیاژنزی و الگوی انباشتگی رسوبات سازند کنگان در یکی از میداین خلیج فارس

مهرنوش رفیعی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ایران*

حسین رحیم پور بناب، استاد دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، ایران

وحید توکلی، استادیار دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، ایران

حسن اشراقی، کارشناس ارشد زمین‌شناسی، شرکت نفت و گاز پارس، ایران

چکیده

سازند کنگان به سن تریاس زیرین تا میانی یکی از مهم‌ترین سنگ مخزن‌های گازی کربناته در ایران است. جهت شناخت ریز رخساره‌ها، تعیین محیط رسوبی، بررسی تأثیر فرآیندهای دیاژنزی و ارتباط آن‌ها با الگوی انباشتگی رخساره‌ها در چارچوب چینه‌نگاری سکانسی از داده‌های مقاطع نازک استفاده شده است. مطالعات پتروگرافی مقاطع نازک به شناسایی ۸ ریزرخساره مربوط به ۳ کمربند رخساره‌ای پهنه جزرومدی، لاگون و پشته‌های سدی در این مقاطع منجر شده است. با توجه به ریزرخساره‌های شناسایی شده، این توالی کربناته بر روی یک پلتفرم کربناته از نوع رمپ نهشته شده است. براساس مطالعات پتروگرافی فرآیندهای دیاژنزی غالب سازند کنگان شامل میکرایتی شدن، تشکیل سیمان‌های هم‌ضخامت و فیبری (دیاژنز اولیه دریایی)، انحلال و ایجاد تخلخل قالبی (دیاژنز جوی)، تراکم و استیلولیتی شدن (دیاژنز ثانویه) می‌باشد. دو سکانس رسوبی درجه ۳ بر اساس تغییرات رخساره‌ای تشخیص داده شده است که هر سکانس قابل تقسیم به دو سیستم تراکت پیشرونده و تراز بالا می‌باشد و مرز بین سکانس‌ها با رخساره انیدریت، به صورت لایه‌ای، توده‌ای و ندولار مشخص می‌شود. این رخساره در زیرمحیط سابخا نهشته شده و معرف حداکثر پایین افتادگی سطح آب دریا است. فرآیندهای دیاژنزی سازند کنگان ارتباط نزدیکی با تغییرات نسبی سطح آب دریا دارد به نحوی که تغییرات دیاژنزی مؤثر بر توالی رسوبی مورد مطالعه، تحت تأثیر الگوی انباشتگی رسوبات در زمان پیشروی و پسروی آب دریا است. فرآیندهای دیاژنزی غالب در رخساره‌های پشته سدی در زمان پیشروی و بالا بودن سطح آب دریا سیمان دریایی و در رخساره‌های لاگون و پهنه جزرومدی دولومیتی شدن می‌باشد. در حالی که این فرآیندها در طی پایین آمدن تدریجی سطح آب دریا در رخساره‌های پشته سدی انحلال و در رخساره‌های لاگون و پهنه جزرومدی دولومیتی شدن، ندول و سیمان انیدریتی هستند.

کلیدواژه‌های: سازند کنگان، چینه‌نگاری سکانسی، فرآیندهای دیاژنزی، ریزرخساره، خلیج فارس.

مقدمه

کربناته به دلیل تأثیر فرآیندهای دیاژنزی ارتباط مشخص و قابل پیش‌بینی بین مدل رخساره‌ای و مدل توزیع تخلخل و تراوایی در مخزن وجود ندارد، بنابراین ضروری است ارتباط بین تغییرات نسبی سطح آب دریا، الگوی انباشتگی رخساره‌های رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی مرتبط با آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. هدف از این تحقیق بررسی ارتباط بین تغییرات نسبی سطح آب دریا و فرآیندهای دیاژنزی در سازند کنگان در یکی از میدانی خلیج فارس می‌باشد. با توجه به اینکه دیاژنز باعث افزایش یا کاهش کیفیت مخزنی در مخازن هیدروکربوری می‌شود، در این مطالعه سعی شده است که فرآیندهای دیاژنزی غالب در واحدهای رسوبی نهشته شده ناشی از پیشروی و پسروی آب دریا در توالی سازند کنگان بررسی شود.

زمین‌شناسی منطقه

میدان مورد نظر در بخش مرکزی حوضه خلیج فارس که بخشی از صفحه عربی می‌باشد، قرار گرفته است (شکل ۱). این صفحه از شمال توسط درز بتلیس، در غرب به زون گسترش دریای سرخ، از شرق به تراست زاگرس و از جنوب به وسیله زون شکستگی اوون (Owen) به دریای عرب ختم می‌شود.

قدیمی‌ترین بخش صفحه عربی در زمان پروتروزوئیک میانی تا پسین شکل گرفته است. در پرمین پسین یک فاز کشتی ناشی از ریف‌زایی و کشش پوسته ایجاد شده که باعث می‌شود ایران مرکزی از بلوک اصلی جدا شده و به سمت شمال حرکت کند و اقیانوس نئوتتیس در میان آن‌ها گسترش یابد (Stocklin 1974; Ziegler 2001). پس از آن در قسمت‌های شرقی صفحه عربی و حوضه رسوبی خلیج فارس، که در جنوب نئوتتیس قرار داشته است، ته‌نشست رسوبات دریایی به طور پیوسته تا زمان ترشیاری ادامه داشته است (Sharland et al. 2001). در این بخش‌ها، در طی پرمین میانی تا پسین، شرایط آب و هوایی به تدریج گرم‌تر و خشک‌تر

سازند کنگان به سن تریاس زیرین تا میانی از مخازن اصلی گاز در خاورمیانه محسوب می‌شود. در جنوب کشور و خلیج فارس در حدود ۱۸ درصد از منابع گازی جهان در سازندهای دالان بالایی (پرمین پسین) و کنگان وجود دارد (Kashfi 2000). به همین دلیل این سازند و معادل آن (سازند خوف) در مناطق مختلف، از جنبه‌های متفاوتی همچون محیط رسوبی، چینه‌نگاری، چینه‌نگاری سکانسی، فرآیندهای دیاژنزی و تغییرات کیفیت مخزنی مورد توجه و مطالعه بسیاری از محققان قرار گرفته است (پورامینی بزنجان و همکاران ۱۳۹۱؛ کدخدائی ایلخچی و همکاران ۱۳۹۰؛ آل‌علی و همکاران ۱۳۹۲؛ Szabo & Kheradpir 1978; Alsharhan and Naim 1997; Konert et al. 2001; Khalifa 2005; Insalaco et al. 2006; Rahimpour-Bonab 2007; Moradpour et al. 2008; Maurer et al. 2008 & 2009; Esrafil-Dizaji and Rahimpour-Bonab 2009; Fontana et al. 2010; Koehrer et al. 2010; Tavakoli et al. 2011; Rahimpour-Bonab et al. 2010; Peyravi et al. 2010).

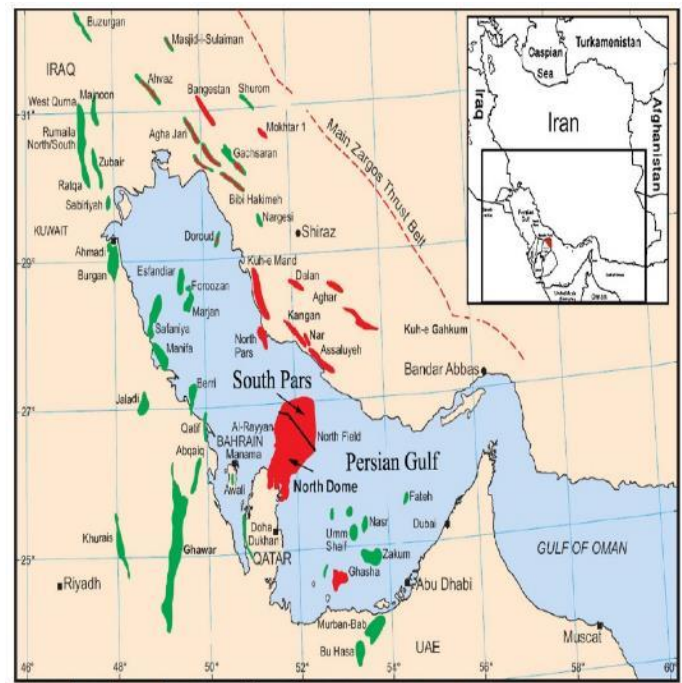
تغییرات نسبی سطح آب دریا در نوع و شدت فرآیندهای دیاژنزی اولیه و الگوی انباشتگی رخساره‌ها بسیار تأثیرگذار است (Buijs et al. 2012; Coffey 2012; Morad et al. 2012; Smeester et al. 2012; Esrafil-Dizaji and Rahimpour-Bonab 2014). این امر سبب تنوع فرآیندهای مختلف رسوبی، شرایط محیطی و فرآیندهای دیاژنزی می‌شود. از این رو جهت شناخت بهتر ویژگی‌های مخزنی سازند کنگان و ارائه مدل مناسبی از ارتباط بین تغییرات سطح آب دریا، محیط رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی آن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. به طور کلی کیفیت مخزنی سنگ‌های کربناته تحت کنترل محیط رسوبی (رخساره) و فرآیندهای دیاژنزی می‌باشد (Elias et al. 2004; Abid and Hesse 2007; Alvarez and Roser 2007; Ehrenberg et al. 2008; Rahimpour-Bonab et al. 2010; Tavakoli et al. 2011). توزیع و گسترش رخساره‌های رسوبی مرتبط با تغییرات نسبی سطح آب دریا بوده و بر اساس گسترش سکانس‌های رسوبی قابل پیش‌بینی است. بدون در نظر گرفتن تأثیر دیاژنز بر توالی‌های کربناته، تخلخل و تراوایی مخزن با استفاده از مدل توزیع رخساره‌ها به‌طور دقیق قابل پیش‌بینی نیست. از آنجایی که در بسیاری از مخازن

سازند بر اثر باز شدگی نئوتتیس در یک حاشیه غیر فعال نهشته شده است (Stampfli and Borel 2002). سازند کنگان به لحاظ مخزنی به دو واحد مخزنی K1 و K2 تقسیم شده است. بخش K2 معادل کنگان زیرین و بخش K1 معادل کنگان بالایی است. واحد K1 با سطح تماس پیوسته توسط شیل آغار پوشیده می‌شود (Ziegler 2001; Aali et al. 2006). این واحد از لحاظ سنگ‌شناسی در چاه مورد مطالعه بیشتر قسمت‌های آن دولومیتی و در بخش‌هایی دولومیت آهکی و آهک دولومیتی می‌باشد. واحد K2 که زیر واحد K1 قرار می‌گیرد و دارای کیفیت مخزنی بهتری نسبت به آن می‌باشد، عمدتاً دولومیتی و در بخش‌هایی آهک دولومیتی است و توسط مرز ناپیوسته پرمین-تریاس از سازند دالان جدا می‌شود (Rahimpour-Bonab et al. 2009) (شکل ۱).

شده و با ایجاد پلاتفرم وسیع کربناته-تبخیری، توالی‌های ضخیم کربناته-تبخیری ته‌نشست می‌یابند. در طی تریاس پیشین، رسوب‌گذاری در پلاتفرم غیرفعال کربناته-تبخیری صورت می‌گیرد که با سطحی ناپیوسته بر روی سازند دالان قرار می‌گیرند (Setudehnia 1978; Koop and Stoneley 1982). شیل‌های قرمز (شیل آغار) و انیدریت‌های ضخیم نهشته شده در طی تریاس میانی و پسین، سنگ پوش مناسب برای مخازن کربناته پرمین و تریاس را به وجود آورده‌اند که با توجه به ماهیت آواری این سازند، سطح آب دریا در زمان تشکیل آن همچنان به پایین آمدن ادامه داده است؛ به گونه‌ای که به طور پیوسته بر روی سازند کنگان قرار گرفته‌اند (Szabo and Kheradpir 1978; Tavakoli et al. 2011; Aali et al. 2006).

سازند کنگان به سن تریاس زیرین تا میانی واحد سنگ‌چینه‌ای کربناته ضخیمی است که یکی از مهم‌ترین سنگ‌های مخزن کربناته در این میدان محسوب می‌شود. این

System	Formation/Main Lithology
Triassic	Dashtak
	Kangan K1
	K2
Permian	K3
	Dalan K4
	K5
	Faraghan
	Zakeen
Devonian	
	Sandstone
	Shale
	Anhydrite
	Dolomite



شکل ۱- نقشه جغرافیایی میدانی هیدروکربوری خلیج فارس و توالی چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه (Tavakoli et al. 2010)

روش مطالعه

سازند کنگان در چاه مورد مطالعه دارای ضخامتی حدود ۱۶۲ متر است. در این تحقیق تعداد ۶۵۰ عدد مقطع نازک میکروسکوپی از ۱۶۲ متر مغزه در یک چاه که با فواصل ۱۰ الی ۴۰ سانتی‌متری تهیه شده بودند، به منظور تعیین رخساره‌های میکروسکوپی، ارائه مدل رسوبی و همچنین فرآیندهای دیاژنزی مورد بررسی پتروگرافی دقیق قرار گرفته است. یک سوم از هر مقطع نازک توسط محلول آلیزارین رداس^۱ به منظور تشخیص کانی کلسیت از دولومیت رنگ‌آمیزی شد (Dickson 1965). در این مطالعه بافت‌های رسوبی بر اساس طبقه‌بندی دانام (1962) نام‌گذاری شدند و شناسایی سکانس‌های رسوبی بر اساس اصول چینه‌نگاری سکانشی (Haq et al. 1987; Van Wagoner et al. 1988; Emery and Myers 1996; Simmons et al. 2007) و مدل امری و مایرز (1996) بررسی شده است.

نتایج

شرح زیرمحیط‌ها و ریزرخساره‌ها

بررسی مشخصاتی از قبیل بافت رسوبی، ساخت‌های رسوبی، دانه‌های اسکلتی و غیر اسکلتی در سازند کنگان در ناحیه مورد مطالعه به شناسایی ۸ ریزرخساره وابسته به زیر محیط‌های پشته‌سدا^۲، لاگون^۳، پهنه جزرومدی^۴ و سابخه^۵ منجر شده است (جدول ۱).

مادستون با فابریک فنسترال، باندستون استروماتولیتی و انیدریت لایه‌ای نشانگر ته‌نشست رسوبات در زیرمحیط پهنه جزرومدی هستند. به دلیل حد واسط بودن پهنه جزرومدی رسوبات آن به‌طور منظم یا نامنظم از آب خارج شده و ساخت‌های مخصوصی در آن‌ها به وجود آمده است. از جمله این ساخت‌ها می‌توان به فابریک چشم پرنده‌ای و ندول‌های

انیدریت اشاره نمود. رخساره انیدریت لایه‌ای تا توده‌ای معرف نهشته‌های سابخی پهنه جزرومدی و شرایط آب و هوایی گرم و خشک هستند (Tucker 2001; Warren 2006; Lucia 2007; Flügel 2010; Tavakoli et al. 2011; Dehcheshmehi et al. 2013).

این محیط با ریزرخساره‌های F1 (انیدریت با بافت‌های درهم فشرده، رشته‌ای و شعاعی)، F2 (مادستون/ دولومادستون‌های همراه با سوزن و ندول انیدریت)، استروماتولیت باندستون (F3) و ترومبولیت باندستون (F4) مشخص می‌شود (شکل ۲). مشابه این رخساره‌ها توسط آل‌علی و همکاران (۱۳۹۲)، پورامینی بزنجانی و همکاران (۱۳۹۱)، پورامینی بزنجانی و آدابی (۱۳۹۲)، حسین‌یار و رحیم‌پور بناب (۱۳۹۰)، کدخدائی ایلخچی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش شده است.

زیر محیط لاگون، به دلیل پشته‌های سدی اییدی دارای انرژی کمی بوده و همچنین بر اثر چرخش محدود آب، شوری آن افزایش می‌یابد. بنابراین تنوع گونه‌ها در این منطقه کم و تنها جانوران محدودی که با این شرایط سازگاری دارند، فراوان یافت می‌شوند. فقدان تنوع جانوری، عدم وجود ساختمان‌های خروج از آب رسوبات (ترک‌های گلی، بافت چشم پرنده‌ای و ...) فراوانی گل کربناته و پلویید حاکی از تشکیل ریزرخساره بیوکلاست پلویید و کستون پکستون در زیر محیط لاگون است (Tucker and Wright 1990; Alsharhan 2006; Flügel 2010; Peyravi et al. 2010).

این زیر محیط دربرگیرنده ریزرخساره بیوکلاست پلویید و کستون/ پکستون (F5) است (شکل ۲). در این ریزرخساره‌ها دانه‌های غالب پلویید و دوکفه‌ای هستند. در برخی مقاطع منحصراً از پلویید تشکیل شده و ریزرخساره پلویید پکستون را تشکیل می‌دهد. مشابه این رخساره توسط کدخدائی ایلخچی و همکاران (۱۳۹۰)، گزارش شده است.

رخساره پشته سدی با گرینستون اییدی و پلوییدی مشخص می‌گردد. این ریزرخساره‌ها با توجه به فراوانی دانه‌های ائید و پلویید در حد ماسه، فقدان گل آهکی و

¹ Alizarin Red-S

² Shoal

³ Lagoon

⁴ Tidal Flat

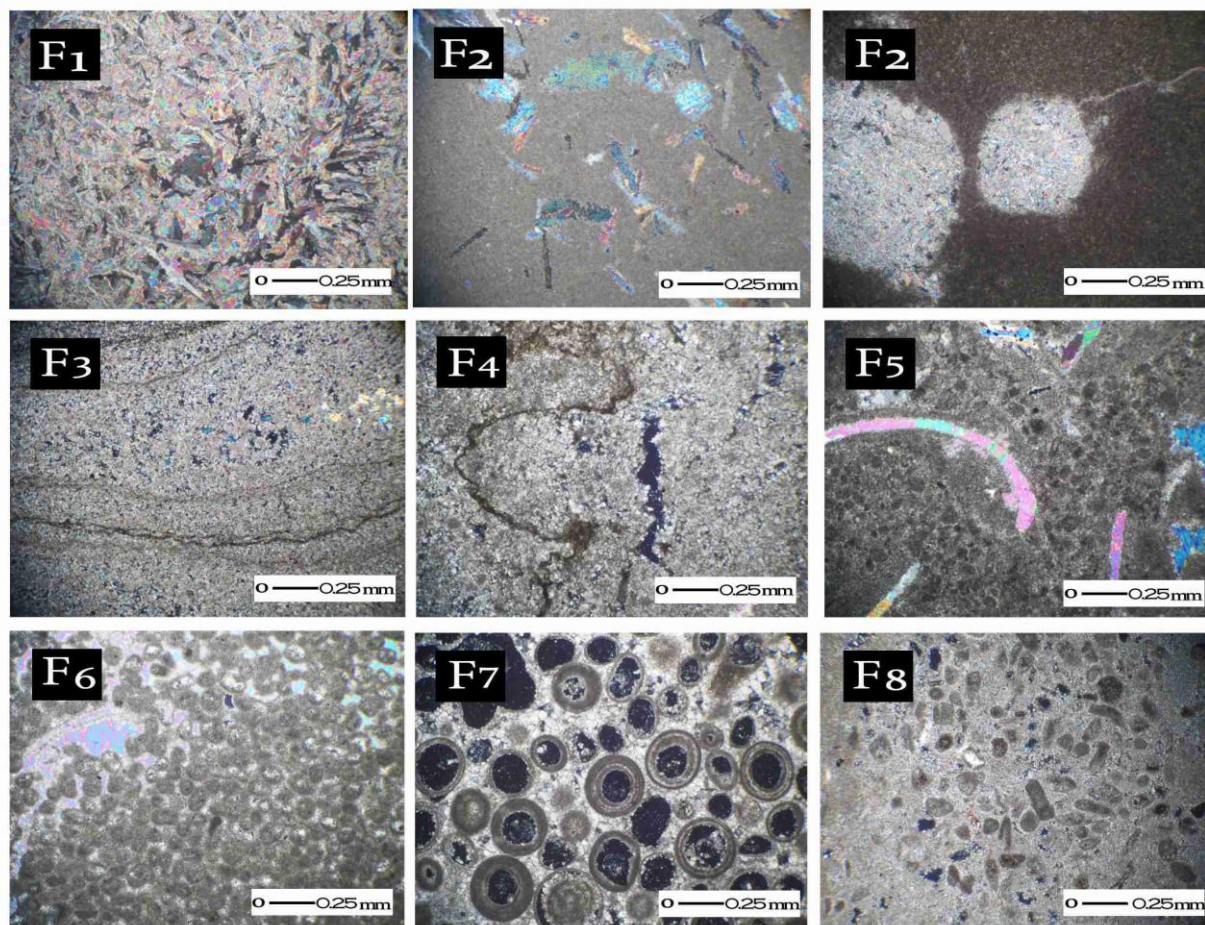
⁵ Sabkha

بخش پشته سد به سمت لاگون، F7 در مرکز پشته سد و F8 در بخش رو به دریا آن نهشته شده‌اند. این ریزرخساره‌ها با فراوانی دانه‌های ائید، پلویید و اینتراکست مشخص می‌شوند. مشابه این ریزرخساره‌ها توسط پورامینی بزنجانی و همکاران (۱۳۹۱)، آل‌علی و همکاران (۱۳۹۲)، پورامینی بزنجانی و آدابی (۱۳۹۲) گزارش شده است.

جورشدهگی خوب در شرایط انرژی بالای پشته سدی و بالای خط اثر امواج نهشته شده‌اند. این رخساره، پرانرژی‌ترین رخساره سازند کنگان در ناحیه مورد مطالعه است (Insalaco et al. 2006; Esrafil-Dizaji and Rahimpour-Bonab 2014). این زیر محیط با ریزرخساره‌های F7 (ایید گریستون) F8 (اینتراکست پلویید گریستون) و F6 (پلویید پکستون/گریستون) مشخص می‌گردد (شکل ۲). رخساره F6 در

جدول ۱- مشخصات ریزرخساره‌های شناسایی شده در سازند کنگان در منطقه مورد مطالعه

کد رخساره	نام ریزرخساره‌ها	مشخصات	محیط رسوبی	اجزای تشکیل دهنده غالب	فرآیندهای دیاژنزی غالب
F1	انیدریت	بافت‌های درهم فشرده، رشته‌ای و شعاعی	سایخا	-	-
F2	مادستون/ دولومادستون‌های همراه با سوزن‌های انیدریت	گل پش‌تیبان، دارای سوزن و ندول انیدریت	پهنه جزرومدی	-	دولومیتی شدن
F3	استروماتولیت باندستون	دارای لامیناسیون نواری	پهنه جزرومدی	-	دولومیتی شدن
F4	ترومبولیت باندستون	دارای بافت لخته‌ای	پهنه جزرومدی	-	سیمان کلسیت
F5	بیوکلاست پلویید و کستون/ پکستون	گل پش‌تیبان تا دانه پش‌تیبان همراه با مقدار کمی گل، تنوع جانوری کم، جورشدهگی ضعیف، دانه‌ریز تا درشت	لاگون	قطعات دوکفه‌ای، پلویید، میلیولید	میکرایتی شدن، دولومیتی شدن، سیمان انیدریت
F6	پلویید پکستون/ گریستون	دانه پش‌تیبان همراه با مقدار کمی گل، جورشدهگی خوب، دانه‌ریز	پشته سدی رو به لاگون	پلویید	میکرایتی شدن، سیمان انیدریت
F7	ایید گریستون	دانه پش‌تیبان، اغلب دارای تخلخل قالبی، جورشدهگی خوب، دانه متوسط تا درشت	مرکز پشته سدی	ایید	انحلال، سیمانی شدن دریایی
F8	اینتراکست پلویید گریستون	دانه پش‌تیبان، جورشدهگی متوسط، دانه متوسط	پشته سدی رو به دریا	اینتراکست، پلویید	سیمان دریایی



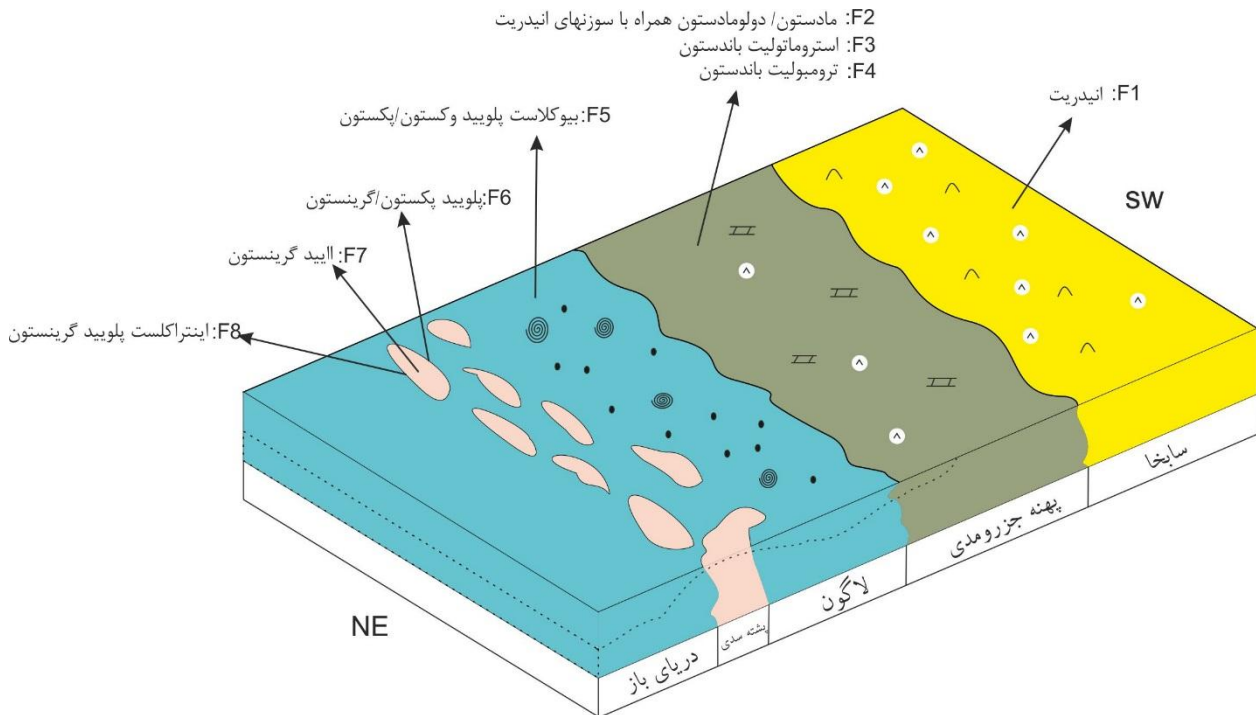
شکل ۲- ریزرخساره‌های شناسایی شده در سازند کنگان. F1: انیدریت با بافت رشته‌ای (با بلورهای کشیده و درهم فشرده)، F2: مادستون/ دولومادستون‌های همراه با سوزن و ندول انیدریت، F3: استروماتولیت باندستون F4: ترومولیت باندستون، F5: بیوکست پلویید پکستون، F6: پلویید پکستون/ گرینستون، F7: ائید گرینستون، F8: اینتراکست پلویید گرینستون. (تصاویر در نور پلاریزه).

مدل رسوبی

تغییرات تدریجی بین انواع ریزرخساره‌ها و فقدان ریف سازنده سد نشانگر شیب بسیار ملایم و کم پلاتفرم کربناته می‌باشد. فقدان یک دامنه پرشیب نیز با عدم حضور ساخت‌های حاصل از ریزش^۱ و واریزه‌های حاصل از ریف^۲ تأیید می‌گردد. هر کدام از این محیط‌ها رخساره‌های خاص خود را دارند. ریزرخساره‌های شناسایی شده، تغییرات عمودی آن‌ها، مقایسه با محیط‌های امروزی و قدیمی (Wilson 1975; Tucker and Wright 1990; Reading 1996; Read 1985; Burchette and Wright 1992; Flügel 2010) فراوانی آئیدها و

گسترش رسوبات پهنه جزرومدی، حاکی از آن است که رخساره‌های سازند کنگان در منطقه مورد مطالعه در یک پلاتفرم کربناته نوع رمپ نهشته شده‌اند و مطالعات پیشین نیز این مطلب را تأیید می‌نمایند (پورامینی بزنجانی و همکاران ۱۳۹۱؛ آل علی و همکاران ۱۳۹۲؛ Khalifa 2005; Al-Aswad 1997; Insalaco et al. 2006; Ehrenberg et al. 2007; Maurer et al. 2008 & 2009; Esrafil-Dizaji and Rahimpour-Bonab 2009; Rahimpour-Bonab et al. 2009 & 2010; Koehrer et al. 2010; Peyravi et al. 2010) (شکل ۳).

¹ Slumping
² Reef Talus



شکل ۳- مدل رسوبی سازند کنگان در منطقه مورد مطالعه

ایجاد می‌شوند (Tucker and Wright 1990; Moore 2013; Flügel 2010) (شکل ۴a). یکی دیگر از این فرآیندها میکرایتی شدن می‌باشد که در طی این فرآیند در مناطق کم عمق، توسط موجودات حفار در دانه‌ها حفرات ریزی به وجود می‌آید. سپس سیانوباکتری‌ها و قارچ‌ها بر روی این سطوح کلنی‌زایی کرده و سبب پر شدن حفرات با میکرایت می‌شوند (Garcia-Pichel 2006; Flügel 2010). پوشش میکرایتی در حاشیه ائیدها باعث می‌شود که در طی فرآیندهای دیاژنزی بعدی همچون انحلال و دولومیتی شدن مقاوم شوند. در توالی مورد مطالعه میکرایتی شدن غالباً در رخساره‌های پشته سدی و لاگون دیده می‌شود. سیمان انیدریت اولیه به صورت پرکننده تخلخل‌های بین‌دانه‌ای و پوئیکیلوتوپیک در رخساره‌های زیر محیط لاگون بسته ناشی از شورابه‌های فوق اشباع این قسمت دیده می‌شود (شکل ۴b و ۴h). بخش اعظم توالی سازند کنگان از دولومیت تشکیل شده است. دولومیتی شدن در این سازند در دو نوع تخریب‌کننده فابریک و حفظ‌کننده فابریک دیده می‌شود

دیاژنزی

فرآیندهای دیاژنزی بسیاری از ویژگی‌های پتروفیزیکی سنگ‌های کربناته را تغییر می‌دهند. فرآیندهای دیاژنزی غالب که بر کیفیت مخزنی سازندکنگان تأثیرگذار بوده و در مقاطع میکروسکوپی مشاهده شده‌اند بر اساس محیط دیاژنزی به شرح زیر می‌باشند.

دیاژنزی دریایی

رسوبات پس از نهشته شدن در معرض سیالات دریایی قرار می‌گیرند و دیاژنزی دریایی اولین مرحله از عملکرد فرآیندهای دیاژنزی می‌باشد. فرآیندهای دیاژنزی دریایی مشاهده شده در سازند کنگان به طور کلی شامل سیمانی شدن دریایی، میکرایتی شدن، سیمان انیدریت و دولومیتی شدن اولیه می‌باشد (Tavakoli et al. 2010; Rahimpour-Bonab et al. 2010). سیمان‌های دریایی با کانی‌شناسی کلسیت به صورت هم‌ضخامت و فیبری در اثر پمپاژ آب دریا در اطراف دانه‌ها

دفعی قرار می‌گیرند. در این مرحله از دیاژنز فرآیندهای مشاهده شده شامل دولومیتی شدن تخریب کننده فابریک، سیمانی شدن انیدریت و کلسیت و تراکم می‌باشد (پورامینی بزنجانی و همکاران ۱۳۹۱). دولومیت‌های اولیه به دلیل ناپایداری بودن با افزایش عمق تدفین بر اثر تبلور مجدد دارای بلورهای بزرگ‌تر و شکل‌دار شده‌اند و تشکیل دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک را می‌دهند (شکل ۴f). دولومیت ثانویه به صورت بلورهای خودشکل مشاهده می‌شود (شکل ۴i). سیمان‌های کلسیت (به صورت بلوکی و دروزی) و انیدریت در صورتی که همراه با عوارض تدفینی یا به عبارتی پرکننده حفرات ناشی از استیلولیت‌ها و شکستگی‌ها باشند به دیاژنز تدفینی مربوط می‌باشند (Choquette and James 1987; Tucker and Wright 1990) (شکل ۴d). فرآیند تراکم ناشی از افزایش فشار طبقات بالایی با افزایش عمق تدفین است. فرآیند تراکم در مقاطع مورد مطالعه به دو صورت مکانیکی و شیمیایی دیده می‌شود. تراکم مکانیکی در عمق کم و مراحل اولیه دیاژنز تدفینی صورت گرفته و با فشرده شدن و نزدیک شدن دانه‌ها به یکدیگر مشخص می‌گردد (Tucker and Wright 1999; Machel 1990). در توالی مورد مطالعه این فرآیند سبب ایجاد تماس نقطه‌ای و مضرسی در رخساره‌ها و گاهی باعث ایجاد فابریک بهم فشرده در رخساره‌ها شده است (شکل ۴e). تراکم شیمیایی در سازند کنگان با ایجاد رگچه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها مشخص می‌شود (Tucker 2001). رگچه‌های انحلالی ناشی از ناچیز بودن سیمان دریایی بوده و در رخساره‌های گل پشتیبان دیده می‌شوند. سطوح استیلولیت به دلیل تجمع مواد نامحلول در سطح خود سبب کاهش کیفیت مخزنی می‌گردند. در برخی موارد سطوح استیلولیتی به صورت مجاری عبور سیالات عمل کرده و سبب افزایش کیفیت مخزنی می‌شوند. به طور کلی این فرآیند دیاژنزی نقش قابل توجهی در کاهش فضاها و خالی و کاهش کیفیت مخزنی دارد.

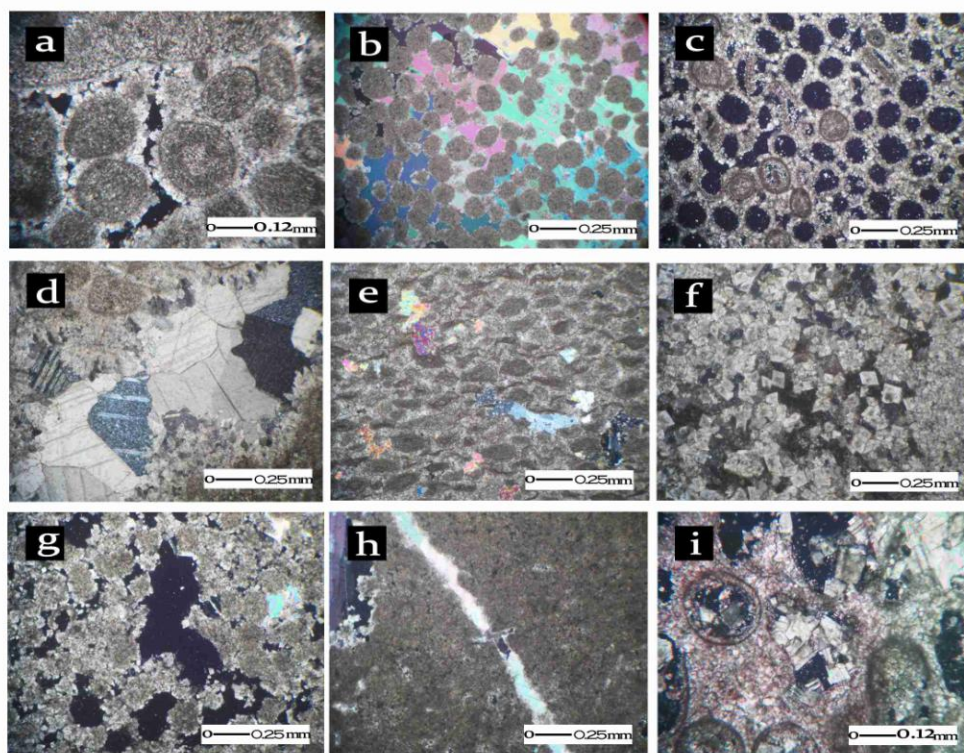
(Rahimpour-Bonab et al. 2010). دولومیت‌های اولیه به صورت حفظ کننده فابریک، با توجه به اینکه توسط شکستگی‌ها و استیلولیت‌ها قطع می‌شوند قبل از تدفین عمیق و توسط سیالات فوق‌اشباع تشکیل شده و غالباً بلورهای آن ریز و بی‌شکل می‌باشد (شکل ۴g, b).

دیاژنز جوی

رسوبات پس از متحمل شدن دیاژنز دریایی ممکن است تدفین شده و در معرض دیاژنز دفعی قرار گیرند و یا در سطح قرار گرفته و در معرض دیاژنز جوی قرار گیرند. به طور کلی فرآیندهای دیاژنزی جوی مشاهده شده شامل سیمانی شدن، ترک گلی، انحلال و ایجاد تخلخل قالبی می‌باشند (کدخدائی ایلخچی و همکاران ۱۳۹۰). انحلال توسط سیالات تحت اشباع از کربنات کلسیم در طی دیاژنز جوی، توالی مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده است. این فرآیند به قابلیت انحلال کانی‌ها بستگی دارد (Tucker 2001; Moore 2013). در توالی مورد مطالعه انحلال در ذرات ناپایداری مانند ایدید و بیوکلاست رخ داده است. انحلال سبب ایجاد تخلخل کنترل شده توسط فابریک (قالبی) و بدون کنترل فابریک (حفره‌ای) در کربنات‌های سازند کنگان شده است (شکل ۴g, c). تخلخل قالبی سبب افزایش تخلخل کل در رخساره‌های سازند کنگان شده است ولی به دلیل غیر مرتبط بودن آن‌ها تأثیر چندانی بر افزایش تراوایی، تخلخل مفید و کیفیت مخزنی ندارد. سیمان کلسیت جوی به صورت بلوکی و دروزی دیده می‌شوند که همراه با عوارضی همچون انحلال و به صورت پرکننده حفرات ثانویه و یا همراه با ساخت‌هایی همچون ژئوپتال دیده می‌شود (Tucker and Wright 1990; Flügel 2010). آثار خروج از آب در رسوبات مادستونی پهنه جزرومدی به صورت ترک‌های گلی دیده می‌شوند.

دیاژنز تدفینی

با تدفین، رسوبات در اعماق تحت عملکرد فرآیندهای دیاژنز



شکل ۴- انواع فرآیندهای دیاژنزی مشاهده شده در سازند کنگان. a: سیمان دریایی ضخیم و کوتاه در اطراف دانه‌های ائید دولومیتی شده (حفظ کننده فابریک) در رخساره ائید گرینستون، b: دولومیتی شدن دانه‌های ائید و سیمان انیدریت فراگیرنده، c: تخلخل قالبی و درون دانه‌ای و سیمان کلسیت بین دانه‌ای در اثر آب‌های جوی طی دیاژنز جوی، d: سیمان کلسیت بلوکی در اثر عملکرد دیاژنز دفنی، e: فشردگی دانه‌های پلوتید در طی دیاژنز دفنی، f: تبلور مجدد و شکلدار شدن بلورهای دولومیت طی تدفین، g: تخلخل حفره‌ای ایجاد شده با عملکرد انحلال در رخساره ائید گرینستون دولومیتی شده، h: شکستگی‌های پر شده با سیمان انیدریت طی دیاژنز تدفینی، i: سیمان دولومیتی ایجاد شده طی دیاژنز تدفینی در حفرات درون دانه‌ای و بین‌دانه‌ای (تصاویر در نور پلاریزه).

چینه‌نگاری سکانس

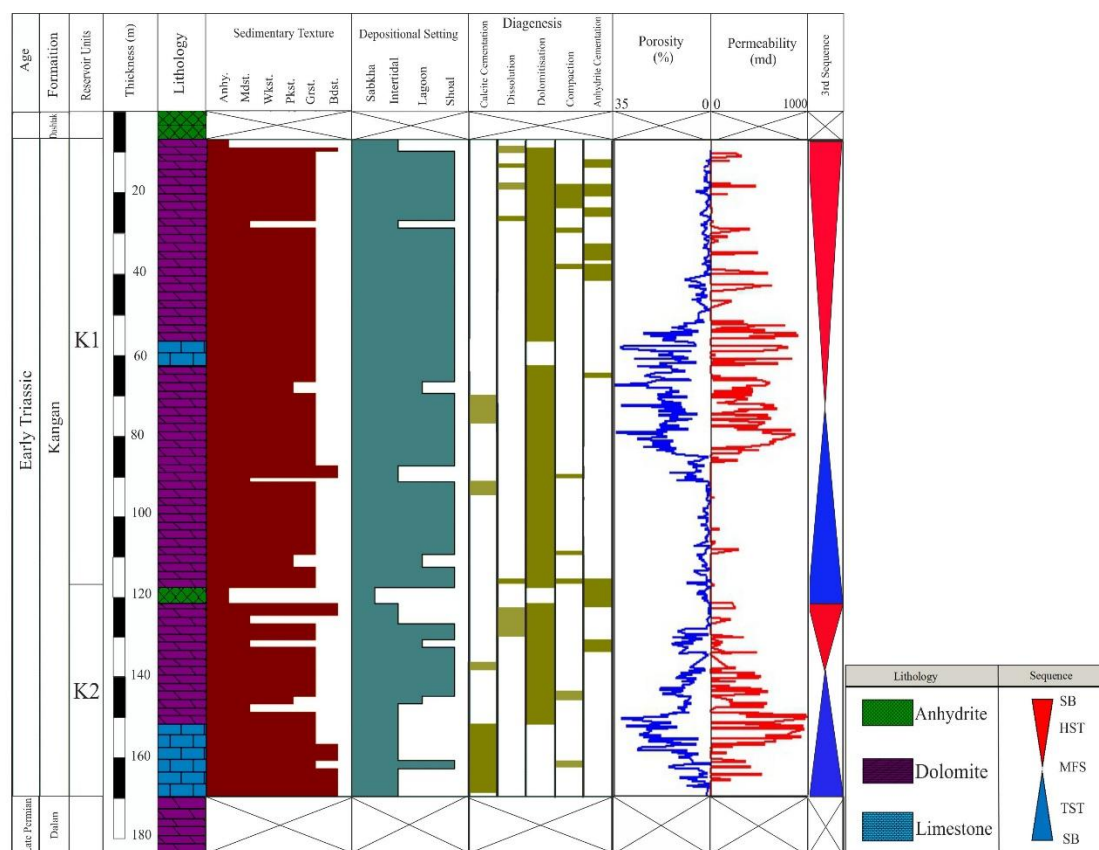
سکانس‌های موجود در سازند کنگان تاکنون توسط افراد مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته است. پیروی و همکاران (2010) و کاووسی و همکاران (2011) سه سکانس رسوبی درجه سوم، اسرافیلی دیزجی و رحیم‌پوریناب (2014) و آل علی و همکاران (۱۳۹۲) دو سکانس رسوبی درجه سوم در این سازند تشخیص داده‌اند.

در این مطالعه به منظور تعیین ارتباط بهتر بین تغییرات سطح آب دریا و فرآیندهای دیاژنزی و همچنین با توجه به اطلاعات موجود، از مدل امری و مایرز (1978) برای تعیین سکانس‌ها استفاده شده است. بر این اساس توالی سازند

کنگان در چاه مورد مطالعه قابل تقسیم به دو سکانس رسوبی درجه سوم (KS1, KS2) می‌باشد. هر سکانس قابل تقسیم به دو سیستم تراکت تراز پیشرونده (TST)^۱ و سیستم تراکت تراز بالا (HST)^۲ است. مطالعات میکروسکوپی حاکی از ارتباط فرآیندهای دیاژنزی و بسته‌های رسوبی هر سکانس است به نحوی که در هر سیستم تراکت فرآیندهای دیاژنزی خاصی غالب هستند (شکل ۵).

¹ Transgressive Systems Tract

² Highstand Systems Tract



شکل ۵- ریز رخساره‌ها، ویژگی‌های بافتی، فرآیندهای دیاژنزی، درصد تخلخل و تراوایی و چینه‌نگاری سازند کنگان در چاه مورد مطالعه.

سکانس KS2

سیستم تراکت پیشرونده (TST)

سیستم تراکت تراز پیشرونده ۳۱ متر ضخامت داشته و لیتولوژی عمده آن آهک می‌باشد. مرز زیرین این سکانس منطبق بر مرز پرمین-تریاس است. تغییرات رخساره‌ای در این توالی نشانگر بالا آمدن سطح آب دریا و تشکیل سیستم تراکت پیشرونده هستند. این بخش با رخساره ترومبولیت باندستون شروع می‌شود و بارخساره‌های لاگون و پشته سدی ادامه پیدا می‌کند. سطح حداکثر بالا آمدگی آب دریا (MFS)^۱ با رخساره‌های پشته سدی رو به دریا مشخص می‌شود.

رخساره ترومبولیتی که بالای مرز قرار دارد، در مقیاس پلاتفرمی به دلیل داشتن تخلخل و تراوایی ناچیز به عنوان یک پوش سنگ بین مخزنی عمل می‌نماید (Insalaco et al. 2006). در نزدیکی مرز پایینی این سکانس فرآیند دیاژنزی غالب

سیمان‌های کلسیتی است. گسترش این سیمان‌ها به دلیل عدم حضور موجودات با پوسته آهکی می‌باشد که سبب فوق اشباع شدن محیط نسبت به کربنات کلسیم می‌شود (توکلی ۱۳۹۰). این فرآیند سبب کاهش تخلخل شده است (شکل ۶a). سیمان و ندول انیدریت در این سیستم تراکت در ابتدای پیشروی مشاهده می‌شود و در قسمت‌های نزدیک به سطح حداکثر پیشروی (غرقابی) به دلیل افزایش عمق آب از گسترش کمی برخوردار است و برخلاف آن سیمان دریایی در رخساره‌های پشته سدی مشاهده می‌شوند (شکل b, c, d). دولومیتی شدن ناشی از تأثیر شورابه‌های موجود در لاگون و سابخا، رخساره‌های پشته سدی و لاگون را تحت تأثیر قرار داده است (شکل ۶c, d). فرآیندهای دیاژنزی ذکر شده ناشی از بالا آمدن و پیشروی سطح آب دریا هستند (Morad et al. 2012; Esrafilizadeh and Rahimpour-Bonab 2014). در این بخش تخلخل بین دانه‌ای حفظ شده که دلیل آن می‌تواند گسترش سیمان‌های دریایی اولیه که به جلوگیری

¹ Maximum Flooding Surface

انیدریت (لایه‌ای و توده‌ای) و جزرومدی شروع و سپس به لاگون و در نهایت به رخساره‌های پشته سدی رو به دریا ختم می‌شوند. این تغییرات رخساره‌ای نیز تأییدی بر بالا آمدن سطح آب دریا و تشکیل سیستم تراکت پیشرونده هستند.

از فرآیندهای دیاژنزی غالب در قاعده این سیستم تراکت سیمان انیدریت و دولومیتی شدن الیدها در رخساره الیید گرینستون و رخساره‌های لاگون و سابخا می‌باشد. این فرآیند ناشی از تأثیر نفوذ شورابه‌های فوق‌اشباع زیرمحیط‌های لاگون و سابخا است (شکل ۶ b, c, d). با بالا آمدن سطح آب دریا و نزدیک شدن به مرز سطح حداکثر پیشروی (MFS) سیمان دریایی فرآیند غالب دیاژنزی می‌شود (شکل ۶f).

سیستم تراکت تراز بالا (HST)

این سیستم تراکت ۶۸ متر ضخامت داشته و مرز بالایی آن مرز سکانسی بین سازندهای کنگان و سازند دشتک است. لیتولوژی غالب آن دولومیت و در بخش‌های پایین آهک می‌باشد. این واحد با رخساره‌های لاگون شروع و به تدریج تبدیل به رخساره‌های بین جزرومدی (استروماتولیت باندستون) و انیدریت‌های لایه‌ای و ندولار محیط سابخا می‌شود.

دیاژنزی غالب در این قسمت به دلیل پایین آمدن سطح آب دریا، تخلخل قالبی ناشی از انحلال (دیاژنزی متئوریک)، دولومیتی شدن اولیه، سیمان کلسیت جوی، انیدریت جایگزینی و فراگیرنده است (شکل ۷). توکلی (۱۳۹۰) مشابه این فرآیندهای دیاژنزی را از سیستم تراکت تراز بالای سازند کنگان گزارش کرده است. در بعضی قسمت‌ها پوشش میکرایتی ناشی از دیاژنزی دریایی (که در زمان بالا بودن سطح نسبی آب دریا در بین اطراف دانه‌های الیید ایجاد شده‌اند) سبب حفظ آن‌ها در مقابل فشار و انحلال طی مراحل بعدی شده است. در رخساره‌هایی که دانه‌ها فاقد پوشش میکرایتی و سیمان کلسیت جوی هستند، دانه‌ها در اثر فشردگی خرد و شکسته شده‌اند.

از تراکم سنگ در هنگام تدفین منجر شده و همچنین ایجاد یک لایه رسوب سخت باشد که از نفوذ بیشتر سیالات به درون رسوبات جلوگیری کرده است (توکل ۱۳۹۰) (شکل ۶f).

سیستم تراکت تراز بالا (HST)

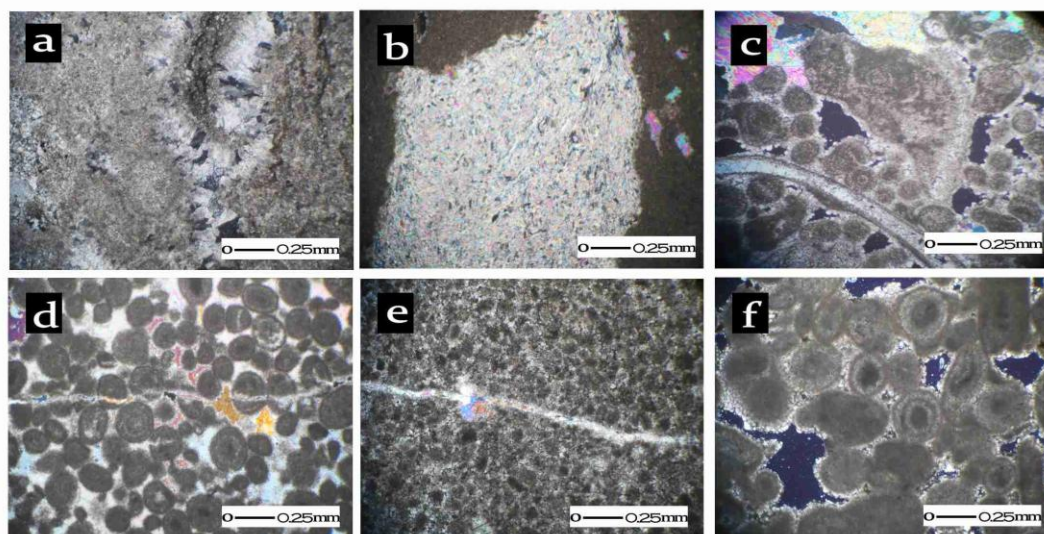
این سیستم تراکت به ضخامت ۱۶ متر و عمدتاً دولومیتی است. تغییرات رخساره‌ای در این بخش نشانگر سکون نسبی و پایین آمدن تدریجی سطح آب دریا هستند. این بخش از توالی از رخساره‌های لاگون و پهنه جزرومدی تشکیل شده است. رخساره‌های بین جزرومدی (استروماتولیت باندستون) و بالای جزرومدی (انیدریت لایه‌ای و توده‌ای) نشانگر حداکثر پایین آمدن سطح آب دریا و معرف مرز سکانسی نوع ۲ بین سکانس اول و دوم است.

فرآیند دیاژنزی غالب در این سیستم تراکت دولومیتی شدن و سیمان انیدریتی است. شورابه‌های فوق‌اشباع غنی از منیزیم موجود در لاگون‌های بسته و سابخا باعث دولومیتی شدن و تشکیل سیمان انیدریت در رخساره‌های این زیر محیط‌ها می‌شوند (شکل Va, b). در بعضی قسمت‌ها سیمان انیدریت از نوع فراگیرنده می‌باشد که در تدفین کم عمق ایجاد شده است (Aleali et al. 2013). از آنجایی که مرز سکانسی با خروج از آب همراه نبوده لذا فرآیندهای دیاژنزی همچون انحلال شدید در این رخساره‌ها مشاهده نمی‌شود. سیمان انیدریتی به طور گسترده در این سیستم تراکت دیده می‌شود که میزان آن با نزدیک شدن به مرز سکانسی افزایش پیدا می‌کند. این سیمان عمدتاً سبب پر شدگی تخلخل بین دانه‌ای شده و تشکیل آن مرتبط با اثر شورابه‌های دیاژنزی در تدفین کم عمق است. انیدریت لایه‌ای، توده‌ای و ندولار به صورت اولیه و در اثر شورابه‌های فوق‌اشباع در محیط سابخا ایجاد شده‌اند (Aleali et al. 2013).

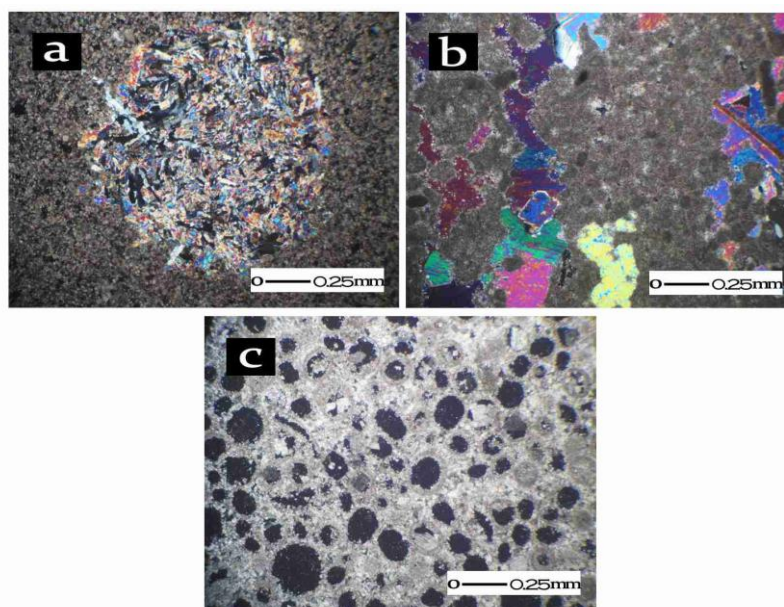
سکانس KS1

سیستم تراکت پیشرونده (TST)

این سیستم تراکت ۴۷ متر ضخامت داشته و عمدتاً از دولومیت تشکیل شده است. توالی رخساره‌ای با رخساره‌های



شکل ۶- فرآیندهای دیاژنزی غالب در سیستم تراکت پیشرونده (TST). a: رخساره ترومبولیت باندستون با سیمان کلسیت تیغه‌ای منشوری در حاشیه و موزایک‌های بزرگ اسپاری کلسیتی در بالای مرز پرمین-تریاس که باعث کاهش تخلخل شده‌اند، b: حضور ندول‌های انیدریت و دولومیتی شدن در رخساره مادستونی پهنه جزرومدی در شروع پیشروی سطح آب دریا، c: حضور سیمان انیدریت در رخساره بایوکلست پلویید پکستون در ابتدای بالا آمدن سطح آب دریا، d: حضور سیمان انیدریت فراگیرنده و دولومیتی شدن دانه‌های ایید در رخساره ایید گرینستون در اثر شورابه‌های هایپر سالین لاگون و سایخا در ابتدای بالا آمدن سطح آب دریا، e: فقدان سیمان انیدریتی به صورت اولیه در رخساره پلویید پکستون ناشی از حداکثر بالآمدگی سطح آب دریا (حضور سیمان انیدریت در شکستگی به صورت ثانویه می‌باشد)، f: سیمان دریایی ضخیم و کوتاه طی حداکثر بالآمدگی سطح آب دریا (MFS) در رخساره ایید گرینستون (تصاویر در نور پلاریزه)



شکل ۷- فرآیندهای دیاژنزی غالب در سیستم تراکت تراز بالا (HST). a: حضور ندول‌های انیدریت و دولومیتی شدن در رخساره‌های مادستونی جزرومدی، b: حضور گسترده سیمان انیدریت ناشی از پایین آمدن سطح نسبی آب دریا در رخساره پلویید پکستون، c: تخلخل قالبی در رخساره ایید گرینستون که فضای بین دانه‌ای توسط سیمان کلسیت هم بعد (دیاژنزی جوی) پر شده است (تصاویر در نور پلاریزه)

بحث

ارتباط بین تغییرات سطح نسبی آب دریا، سکانس ها و فرآیندهای دیاژنزی

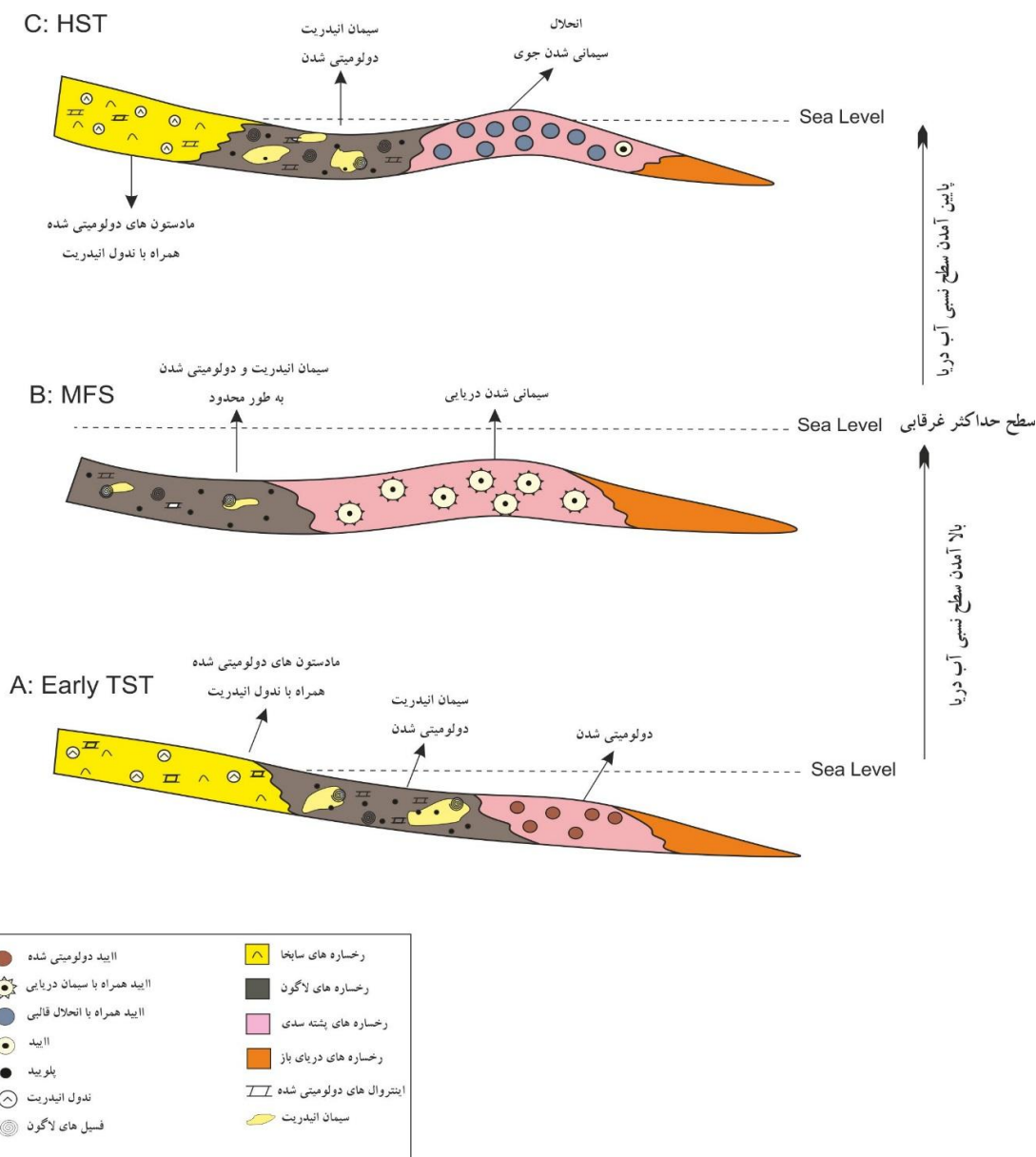
تغییرات نسبی سطح آب دریا به تغییر در شرایط محیطی و در نهایت فرآیندهای دیاژنزی متفاوت در زمان‌های بالا و یا پایین بودن سطح آب دریا منجر می‌شود. این تغییرات در توالی مورد مطالعه سبب شده که رخساره‌های رسوبی فرآیندهای دیاژنزی مختلفی را متحمل شوند. تغییرات سطح آب دریا کنترل‌کننده اصلی الگوی انباشتگی رسوبات و فرآیندهای دیاژنزی هستند. فرآیندهای دیاژنزی متفاوتی در رخساره‌های رسوبی سیستم تراکت پیشرونده و تراز بالا وجود دارد. در شکل (۸) ارتباط بین بسته‌های رسوبی سکانس‌ها و فرآیندهای دیاژنزی سازند کنگان در چاه مورد مطالعه نشان داده شده است.

در شروع پیشروی دریا که رخساره‌های پشته سدی در حال تشکیل می‌باشند، رخساره‌های لاگون و پهنه جزرومدی گسترش بیشتری داشته و به طور میانگین شورابه‌های ناشی از آن‌ها در دولومیتی شدن ۸۰ درصد از دانه‌ها و ته‌نشست سیمان انیدریتی تا ۳۰ درصد در رخساره‌های پشته سدی نقش اساسی داشته‌اند. با پیشروی بیشتر سطح آب دریا در طی سیستم تراکت پیشرونده که فضای کافی برای گسترش پشته سدی فراهم می‌شود، رخساره‌های آن گسترش بیشتری پیدا کرده و در توالی قائم بر روی رخساره‌های لاگون و پهنه

جزرومدی قرار می‌گیرد. همچنین در توالی افقی و جانبی، این امر سبب ایجاد لاگون‌های محافظت شده و کم عمق شده است. بنابراین فرآیندهای دیاژنزی ناشی از تأثیر آب‌های فوق‌اشباع در رخساره‌های لاگون و پهنه جزرومدی در این زمان غالب است. سیمان انیدریتی در این رخساره‌ها متداول می‌باشد، به گونه‌ای که میزان این سیمان به طور متوسط در این رخساره‌ها به ۲۰ درصد و ندول انیدریت به ۱۵ درصد می‌رسد.

با بالا آمدن سطح آب دریا تا سطح حداکثر غرقابی (MFS) و گسترش پشته‌های سدی فرآیند دیاژنزی غالب ته نشست سیمان دریایی تا ۵۰ درصد در رخساره‌های پشته سدی و دولومیتی شدن در رخساره‌های جزرومدی است.

در سیستم تراکت تراز بالا بر اثر خروج از آب رخساره ایید گریستون و تأثیر فرآیندهای دیاژنزی متئوریک، اییدها تحت تأثیر انحلال قرار گرفته‌اند. بنابراین فرآیند دیاژنزی غالب در این مرحله انحلال و ایجاد گریستون‌های اییدی همراه با تخلخل قالبی تا ۲۰ درصد است. بیشتر اییدها به طور کامل یا بخشی تحت تأثیر انحلال قرار گرفته‌اند. به دلیل مدت زمان کوتاه خروج از آب یا شرایط آب و هوایی گرم و خشک، ویژگی‌های خروج از آب مانند افق‌های کارستی یا کالکریت در رأس رخساره گریستون اییدی با تخلخل قالبی مشاهده نمی‌شود.



شکل ۸- ارتباط بین تغییرات سطح آب دریا و فرآیندهای دیاژنزی در سازند کنگان. A: در ابتدای پیشروی که سطح آب دریا در حال بالا آمدن می‌باشد، رخساره‌های لاگون و پشته سدی گسترش کمی داشته و فرآیند دیاژنزی غالب در لاگون سیمان انیدریت و دولومیتی شدن و در پشته سدی دولومیتی شدن ناشی از تأثیر شورابه‌ها می‌باشد. B: در سطح حداکثر بالآمدگی دریا (MFS) سیمان دریایی فرآیند دیاژنزی غالب در رخساره‌های پشته سدی بوده و حضور سیمان و ندول های انیدریت در رخساره‌های لاگون کاهش می‌یابد. C: در سیستم تراکت تراز بالا (HST) که سطح آب دریا پایین می‌باشد، ندول‌های انیدریت و دولومیتی شدن به فراوانی در رخساره‌های جزرومدی مشاهده می‌شوند. فرآیندهای دیاژنزی غالب در رخساره‌های لاگون دولومیتی شدن و سیمان انیدریت و در رخساره‌های پشته سدی انحلال و سیمان جوی می‌باشد.

نتیجه

مطالعه در مجموع ۸ ریز رخساره رسوبی شناسایی شده است. این ریزرخساره‌ها به زیرمحیط‌های، سابخا، پهنه جزرومدی، لاگون و پشته‌های سدی نسبت داده می‌شود. با توجه به

با بررسی ویژگی‌هایی مانند بافت رسوبی، ساختارهای رسوبی، عناصر اسکلتی و غیراسکلتی در سازند کنگان در ناحیه مورد

آل علی، م.، ح. رحیم پور بناب، ر. موسوی حرمی، د. جهانی، و ا. اسدی، ۱۳۹۲، محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازند کنگان در میدان پارس جنوبی: مجله علوم زمین، ش. ۸۷، ص. ۷۴-۶۵.

پورامینی بزنجان، س.، و م. ح. آدابی، ۱۳۹۲، تأثیر دیاژنز بر کیفیت مخزنی سازند کنگان در میدان لاوان، خلیج فارس: زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ش. ۱۰، ص. ۳۳-۴۷.

پورامینی بزنجان، س.، م. ح. آدابی، م. حسینی برزی، و ج. حناچی، ۱۳۹۱، میکروفاسیس، محیط رسوبی و دیاژنز بخش فوقانی سازندهای دالان و کنگان در ناحیه کوه سورمه، زاگرس چین‌خورده: مجله پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ش. ۴۶، ص. ۷۴-۵۵.

توکلی، و.، ۱۳۹۰، بررسی کیفیت مخزنی سازندهای دالان و کنگان با استفاده از داده‌های پتروگرافی، ژئوشیمیایی و چینه‌نگاری سکانسی در میدان گازی پارس جنوبی: رساله دکتری، دانشگاه تهران، تهران.

حسین یار، غ. ر.، و ح. رحیم پور بناب، ۱۳۹۰، عوامل کنترل‌کننده خصوصیات مخزنی رخساره‌های اوئیدی و مادستونی سازند کنگان در میدان پارس جنوبی: مجله پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ش. ۴۴، ص. ۱-۱۶.

کدخدائی ایلخچی، ر.، ح. رحیم پور بناب، ر. موسوی حرمی، و ع. کدخدائی ایلخچی، ۱۳۹۰، فاکتورهای کنترل‌کننده گسترش بافت‌های مختلف سیمان انیدریت و ارتباط آن با کیفیت مخزنی در مخازن کربناته دالان بالایی و کنگان- میدان پارس جنوبی: پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ش. ۴۲، ص. ۱-۲۶.

شواهدی نظیر عدم وجود رخساره‌های اسکلت‌ساز ریفی، گسترش پهنه‌های جزرومدی و تغییر تدریجی رخساره‌ها محیط رسوبی این سازند احتمالاً رمپ کربناته است. بر اساس مطالعات پتروگرافی فرآیندهای دیاژنزی غالب در سازند کنگان شامل دیاژنز اولیه دریایی، دیاژنز جوی و دیاژنز تدفینی است.

تغییرات سطح آب دریا سبب تشکیل دو سکانس رسوبی درجه سوم در سازند کنگان در چاه مورد مطالعه شده است. در هر سیستم تراکت فرآیندهای دیاژنزی خاصی غالب هستند. حضور انیدریت‌ها به صورت لایه‌ای، توده‌ای و ندولار معرف مرز سکانسی نوع ۲ هستند. این رخساره در زیرمحیط سابخا نهشته شده و معرف حداکثر پایین افتادگی سطح آب دریا است. دیاژنز غالب در شروع پیشروی سیمان انیدریت فراگیرنده و دولومیتی شدن به طور محدود می‌باشد. با افزایش پیشروی در بخش میانی و بالایی سیستم تراکت پیشرونده دیاژنز غالب ته نشست سیمان کلسیت دریایی و عدم حضور سیمان‌های انیدریت است. دیاژنز غالب در سیستم تراکت تراز بالا (HST) شامل سیمان انیدریت، انحلال و دولومیتی شدن می‌باشد. افزایش انحلال در این بخش ناشی از پایین آمدن سطح آب دریا و قرار گرفتن رسوبات در نزدیک سطح زمین می‌باشد. در این مرحله ورود آب‌های جوی سبب ایجاد تخلخل قالبی شده است. فرآیند دولومیتی شدن و حضور انیدریت ناشی از پایین افتادگی سطح آب دریا در نزدیکی مرز سکانس غالب می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان از دانشگاه تهران به دلیل قرار دادن امکانات آزمایشگاهی و شرکت نفت و گاز پارس به منظور در اختیار قرار دادن داده‌های مورد نیاز سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Aali, J., H. Rahimpour-Bonab, and M. R. Kamali, 2006, Geochemistry and origin of the

- Dehcheshmehi, S. M., M. H. Adabi, and S. H. Hejazi, 2013, Depositional facies and geochemistry of the Kangan Formation in the South Pars Field, Persian Gulf (Iran): Carbonates and Evaporites, v. 28(3), p. 297-30.
- Dickson, J. A. D., 1965, A modified staining technique for carbonates in thin section: Nature, v. 205, (4971), p. 587.
- Dunham, R. J., 1962, Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: E. D. Ham, (Eds.), Classification of carbonate rocks—Asymposium: American Association of Petroleum Geology, Memoir, v. 1, p. 108–121.
- Ehrenberg, S.N., A. A. M. Aqrabi, and P. H. Nadeau, 2008, An overview of reservoir quality in producing Cretaceous strata of the Middle East: Petroleum Geoscience, v. 14, p. 307–318.
- Ehrenberg, S. N., P. H. Nadeau, and A. A. M. Aqrabi, 2007, A comparison of Khuff and Arab reservoir potential throughout the Middle East: American Association of Petroleum Geology, Bulletin, v. 86, (10), p. 1709–1732.
- Elias, A.R., D. L. F. Ros, A. M. Mizusaki, and S. M. Anjos, 2004, Diagenetic patterns in eolian/coastal sabkha reservoirs of the Solimoes Basin, north- ern Brazil: Sedimentary Geology, v. 169, p. 191–217.
- Emery, D., and K. J. Myers, 1996, Sequence Stratigraphy: Blackwell Science, London, 297 p.
- Esfafili-Dizaji, B., and H. Rahimpour-Bonab, 2009, Effects of depositional and diagenetic characteristics on carbonate reservoir quality: a case study from the South Pars gas field in the Persian Gulf: Petroleum Geoscience, v. 15, p. 325–344.
- Esfafili-Dizaji, B., and H. Rahimpour-Bonab, 2014, Generation and evolution of oolitic shoal reservoirs in the Permo-Triassic carbonates, the South Pars Field, Iran: Facies, v. 60, p. 921-940.
- Flugel, E., 2010, Microfacies Analysis of Carbonate Rocks, Analyses, Interpretation and Application: Springer Verlag, 976 p.
- Fontana, S., F. H. Nader, S. Morad, A. Ceriani, and I. S. Al-Aasm, 2010, Diagenesis of the Khuff Formation (Permian–Triassic), Northern United Arab Emirates: Arabian Journal of Geosciences, p. 95-111.
- Garcia-Pichel, F., 2006, Plausible mechanisms for the boring on carbonates by microbial phototrophs: Sedimentary Geology, v. 185, p. 205-213.
- world's largest gas field from Persian Gulf, Iran: Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 50, p. 161–175.
- Abid, I., and R. Hesse, 2007, Illitising fluids as precursors of hydrocarbon migration along transfer and boundary faults of the Jeanne d'Arc Basin offshore Newfoundland, Canada: Marine and Petroleum Geology, v. 24, p. 237–245.
- Al-Aswad, A.A., 1997, Stratigraphy, sedimentary environment and depositional evolution of the Khuff Formation in south-central Saudi Arabia: Journal of Petroleum Geology, v. 20, p. 1–20.
- Aleali, M., H. Rahimpour-Bonab, R. Moussavi-Harami, and D. Jahani, 2013, Environmental and sequence stratigraphic implications of anhydrite textures: A case from the Lower Triassic of the Central Persian Gulf: Journal of Asian Earth Sciences, v. 75, p. 110-125.
- Alsharhan, A.S., 2006, Sedimentological character and hydrocarbon parameters of the Middle Permian to Early Triassic Khuff Formation, United Arab Emirates: GeoArabia, v. 11, p. 121–158.
- Alsharhan, A. S., and A. E. M. Naim, 1997, Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle East: Elsevier, Netherlands, 843 p.
- Alvarez, N.O.C., and B. P. Roser, 2007, Geochemistry of black shales from the Lower Cretaceous Paja Formation, Eastern Cordillera, Colombia: Source weathering, provenance, and tectonic setting: Journal of South American Earth Sciences, v. 23, p. 271–289.
- Buijs, G. J. A., and R. H. Goldstein, 2012, Sequence architecture and palaeoclimate controls on diagenesis related to subaerial exposure of icehouse cyclic Pennsylvanian and Permian carbonates: International Association of Sedimentologists, Special. Publication, v. 45, p. 55–80.
- Burchette, T. P., and V.P. Wright, 1992, Carbonate ramp depositional systems: Sedimentary Geology, v. 79, p. 3–57.
- Choquette, P. W., and N. P. James, 1987, Diagenesis# 12. Diagenesis in Limestones-3. The deep burial environment: Geoscience Canada, v. 14(1).
- Coffey, B. P., 2012, Sequence stratigraphic influence on regional diagenesis of a mixed carbonate-siliciclastic passive margin, Eocene, N.C., USA: Association of Sedimentologists. Special Publication, v. 45, p. 81-104.

- outcrop analogues in the Musandam Peninsula, United Arab Emirates and Oman: *GeoArabia*, v. 14, p.125–158.
- Maurer, F., R. Rettori, and R. Martini, 2008, Triassic stratigraphy, facies and evolution of the Arabian shelf in the northern United Arab Emirates: *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, v. 97, p.765–784.
- Morad, S., J. M. Ketzer, and L.F. Deros, L. F., 2012, Linking diagenesis to sequence stratigraphy: an integrated tool for understanding and predicting reservoir quality distribution: *International Association of Sedimentologists, Special Publication*, v. 45, p. 1-36.
- Moradpour, M., Z. Zamani, and S. A. Moallemi, 2008, Controls on reservoir quality in the lower Triassic Kangan Formation, Southern Persian Gulf: *Journal of Petroleum Geology*, v. 31, p. 367-385.
- Moore, C. H., and Wade, 2013, Carbonate Reservoirs: Porosity, evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework: *Developments in Sedimentology*, Elsevier, Amsterdam, v. 55, 369 p.
- Peyravi, M., M. R. Kamali, and M. Kalani, 2010, Depositional environments and sequence stratigraphy of the early Triassic Kangan Formation in the northern part of the Persian Gulf: Implications for reservoir characteristics: *Journal of Petroleum Geology*, v. 33, 4, p. 371-386.
- Rahimpour-Bonab, H., 2007, A procedure for appraisal of a hydrocarbon reservoir continuity and quantification of its heterogeneity: *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 58 (1-2), p. 1-12.
- Rahimpour-Bonab, H., A. Asadi-Eskandar, and R. Sonei, 2009, Permian–Triassic boundary and its control over reservoir characteristics in South Pars gas field, Persian Gulf: *Geological Journal*, v. 44, p. 341–364.
- Rahimpour-Bonab, H., B. Esrafil-Dizaji, and V. Tavakoli, 2010, Dolomitization and anhydrite precipitation in Permo-Triassic carbonates at the South Pars gasfield, offshore Iran: Controls on reservoir quality: *Journal of Petroleum Geology*, v. 33(1), p. 43-66.
- Read, J. F., 1985, Carbonate Platform Facies Models: *American Association of Petroleum Geology, Bulletin* 69/1, p. 1–21
- Reading, H. G., 1996, *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy: Third edition*, Blackwell, 688 p.
- Haq, B.U., J. Hardenbol, and P. R. Vail, 1987, Chronology of fluctuating sea level since the Triassic: *Science*, v. 235, p. 1156-1167.
- Insalaco, E., A. Virgone, B. Courme, J. Gaillot, M. Kamali, A. Moallemi, M. Lotfpour, and S. Monibi, 2006, Upper Dalan Member and Kangan Formation between the Zagros Mountains and offshore Fars, Iran: Depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture: *GeoArabia*, v. 11, p.75–176.
- Kashfi, M. S., 2000, Greater Persian Gulf Permian–Triassic stratigraphic nomenclature requires study: *Oil and Gas Journal, Tulsa*, No v. 6, p. 36-44.
- Kavoosi, M. A., A. Jamali, M. Naiji, and R. Nematollahi, 2011, Depositional sequences of the lower Triassic Kangan Formation, Southwest Iran. Paper presented at the Third Arabian Plate Geology Workshop.
- Khalifa, M. A., 2005, Lithofacies, diagenesis and cyclicity of the ‘Lower Member’ of the Khuff Formation (Late Permian), Al Qasim Province, Saudi Arabia: *Journal of Asian Earth Sciences* v. 25, p.719–734.
- Koehrer, B., C. Heymann, F. Prousa, and T. Aigner, 2010, Multiple-scale facies and reservoir quality variations within a dolomite body – Outcrop analog study from the Middle Triassic, SW German Basin: *Marine and Petroleum Geology*, v. 27, Issue 2, p. 386-411.
- Konert, G., A. M. Afifi, S. A. Al-Hajri, K. M. de Groot, A. A. Al Naim, and H. J. Droste, 2001, Paleozoic stratigraphy and hydrocarbon habitat of the Arabian Plate: *American Association of Petroleum Geology, Memoir* 74, p. 483-515.
- Koop, W.J. and R. Stoneley 1982, Subsidece history of the Middle East Zagros basin, Permian to Recent. In: P. Kent, M.H.P. Bott, D.P. McKenzie and C.A. Williams (Eds.), *The Evolution of Sedimentary Basins*, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Part A*, v. 305, p. 149-168.
- Lucia, F. J., 2007, *Carbonate Reservoir Characterization: An Integrated Approach: Springer Berlin Heidelberg*, Second Edition, 366 p.
- Machel, H. G., 1999, Effects of groundwater flow on mineral diagenesis, with emphasis on carbonate aquifers: *Hydrogeology Journal*, v. 7, p. 94-107.
- Maurer, F., R. Martini, R. Rettori, H. Hillgärtner, and S. Cirilli, 2009, *The geology of Khuff*

- west Iran: *Journal of Petroleum Geology*, v. 1(2), p. 57–82.
- Tavakoli, V., H. Rahimpour-Bonab, and B. Esrafilidizaji, 2011, Diagenetic controlled reservoir quality of South Pars gas field, an integrated approach: *Comptes Rendus Geoscience*, 343(1): 55-71.
- Tucker, M. E., 2001, *Sedimentary Petrology*, Third edition, Blackwell, Oxford, 260 p.
- Tucker, M. E., and V. P. Wright, 1990, *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, 482 p.
- Van Wagoner, J.C., H. W. Posamentier, and R. M. J. R. Mitchum, 1988, An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definition. In: C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.St.C. Kendall, H.W. Posamentier, C.A. Ross, and J.C. Van Wagoner (Eds.), *Sea- Level Changes: An integrated approach*: Society for Sedimentary Geology, Special Publication, v. 42, p. 39–45.
- Warren, J. K., 2006, *Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons*: Springer, Brunei, 1035 p.
- Wilson, J. L., 1975, *Carbonate Facies in Geological History*: Springer, New York, 471 p.
- Ziegler, M.A., 2001, Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian Plate and its hydrocarbon occurrences: *GeoArabia*, v. 6, p. 445–5.
- Setudehnia, A. 1978, The Mesozoic sequence in southwest Iran and adjacent areas: *Journal of Petroleum Geology*, v. 1, (1), p. 3-42.
- Sharland, P.R., R. Archer, D. M. Casey, R. B. Davies, S. H. Hall, A. P. Heward, A. D. Horbury, and M. D. Simmons, 2001, *Arabian Plate Sequence Stratigraphy: GeoArabia Special Publication*, Bahrain, v. 2, 371 p.
- Simmons, M.D., P.R. Sharland, D.M. Casey, R.B. Davies, and O.E. Sutcliffe, 2007, Arabian Plate sequence stratigraphy: Potential implications for global chronostratigraphy: *GeoArabia*, v. 12, (4), p. 101-130.
- Smeester, A., P. Muchez, R. Swennen, and E. Keppens, 2012, Diagenesis at exposure surfaces in a transgressive systems tract in a third order sequence (Lower Carboniferous, Belgium): *International Association of Sedimentologists, Special Publication*, v. 45, p. 133-150.
- Stampfli, G., and G. D. Borel, 2002, A plate tectonic model for the Palaeozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 196, p.17–33.
- Stöcklin, J. 1974, Possible ancient continental margins in Iran. In: C.A. Burk, and C.L. Drake (Eds.), *The Geology of Continental Margins*, Springer-Verlag, New York, p. 873-887.
- Szabo, F., and A. Kheradpir, 1978, Permian and Triassic stratigraphy, Zagros basin, south-