

غرق شدن ناگهانی پلاتفرم کربناته کرتاسه پسین در حوضه رسوبی زاگرس مرکزی: مطالعه موردی از عضو شیلی لافان در یکی از میادین نفتی دشت آبادان، جنوب غربی ایران

مریم کیانی‌فرد^۱، علی حسین جلیلیان^(۲) و ناصر ارزانی^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲. استادیار، گروه زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۳. استاد، گروه زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۰۶

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۱۸

چکیده

پیشروی سریع آب دریاها و غرق شدن پلاتفرم‌های کربناته یکی از رویدادهای مهم زمین‌شناسی کرتاسه پسین بعد از ناپیوستگی جهانی تورونین است. در بخش‌های مرکزی و شرقی حوضه رسوبی زاگرس، نهشته‌های حاصل از پیشروی دریای کرتاسه پسین بر روی سازند سروک با نام عضو لافان شناخته شده‌اند که متشکل از رسوبات شیلی همراه با لایه‌های نازک آهک رسی می‌باشد که در بعضی از میدان‌های نفتی جنوب ایران، سنگ‌پوش مخزن سازند سروک است. با استناد به جایگاه چین‌نگاری عضو لافان در میان سازندهای سروک و ایلام و حضور زون زیستی Charophytes-Ostracods در این عضو، می‌توان سن کنیاسین را برای آن در نظر گرفت و از این نظر با سازند شیلی سورگه در ناحیه لرستان هم‌ارز دانست. به‌منظور آگاهی از رویدادهای کرتاسه پسین در جنوب زاگرس مرکزی، به‌خصوص مطالعه شواهد تغییرات سطح آب دریا، داده‌های مربوط به عضو لافان در دو چاه از میدان نفتی آزادگان در دشت آبادان مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مطالعه نمونه‌ها و پتروگرافی این واحد سنگ‌چینه‌ای، یک رخساره شیلی و دو ریزرخساره کربناته از نوع بایوکلاست مادستون تا وکستون کاروفیت‌دار با و بایوکلاست وکستون فرامینیفر پلانکتونیک شناخته شده‌اند. این ریزرخساره‌ها گواه نهشته شدن مجموعه رسوبات عضو لافان در محیط‌های متفاوتی از نوع حدواسط لب‌شور و بخش‌های عمیق‌تر دریا هستند. نتایج این تحقیق نشان داد که با پایین افتادن سطح آب دریا در زمان تورونین، بخش‌هایی از پلاتفرم کربناته سازند سروک از آب خارج و امکان فعال شدن آبراه‌ها در حواشی آن فراهم شد. با پیشروی دریای کرتاسه پسین بر روی سطح فرسایش یافته متشکل از کربنات‌های سنومانین-تورونین و غرق شدن کانال‌های حاصل از ورود آبراه‌های ساحلی، محیط‌های حدواسط از جمله خلیج‌های دهانه‌ای به‌وجود آمدند. با اختلاط آب‌های شیرین و شور در این خلیج‌ها، رسوبات بخش پایینی عضو لافان در زمانی محدود بر جای گذاشته شدند که با افزایش سریع عمق آب ناشی از بالا آمدن سطح آب دریا و فرونشینی حوضه توسط رخساره‌های مربوط به بخش عمیق‌تر دریای باز (شیل پلاژیک) پوشانده شده‌اند. این تغییر ناگهانی و بدون واسطه نهشته‌های محیط حدواسط به رخساره‌های بخش عمیق‌تر دریا نشانه غرق شدن پلاتفرم کربناته مناطق مرکزی زاگرس در کنیاسین است. شواهدی همچون قاعده فرسایشی، توالی به‌سمت بالا عمیق‌شونده، فراوانی رخساره مادستونی (شیل) و پیوستگی و پوشیده شدن با کربنات‌های دریایی نیز مؤید چنین نتیجه‌ای است. بررسی تغییرات عمودی ریزرخساره‌ها و شدت پرتوگامای نمودار چاه‌پیمایی بُرش‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که عضو لافان، دسته رخساره‌های تراز پایین^۱، دسته رخساره‌های پیش‌رونده^۲ و سطح حداکثر غرق‌شدگی^۳ یک سکانس رسوبی رده سوم (۵-۵/۵ میلیون سال) را در بر می‌گیرد. این سکانس با ناپیوستگی فرسایشی آغاز و پس از تشکیل رسوبات خلیج دهانه‌ای و بخش‌های عمیق‌تر دریا توسط بخش زیرین کربنات‌های سازند ایلام (سانتونین) به‌عنوان دسته رخساره‌های تراز بالا^۴ تکمیل شده‌است.

واژه‌های کلیدی: غرق شدن پلاتفرم، کرتاسه پسین، عضو لافان، زاگرس مرکزی، دشت آبادان.

1. Lowstand Systems Tracts (LST)
2. Transgressive Systems Tracts (TST)
3. Maximum Flooding Surface (MFS)
4. Highstand Systems Tracts (HST)

* نویسنده مرتبط: jalilian@pnu.ac.ir

مقدمه

تاکنون مطالعات زمین‌شناسی محدودی در مورد عضو لافان در ایران انجام شده است که آن هم بیشتر شامل بررسی‌های چینه‌نگاری است. در این مقاله سعی شده است با بررسی ریزرخساره‌ها، محیط رسوبی، زیست‌چینه‌نگاری و چینه‌نگاری سکانشی این عضو در میدان نفتی آزادگان در دشت آبادان، بخشی از تاریخچه تحولات کرتاسه پسین در زاگرس بازسازی شود. نتایج این پژوهش می‌تواند ضمن توضیح جنبه‌های مختلف زمین‌شناسی عضو لافان، در صنعت حفاری و برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از منابع نفتی جنوب ایران مفید فایده باشد.

روش مطالعه

اساس پژوهش حاضر بر مطالعات آزمایشگاهی (داده‌های پتروگرافی) و بررسی نمودارهای چاه‌پیمایی از نوع پرتوگاما استوار است. پس از جمع‌آوری داده‌های اولیه، تعداد ۵۰ مقطع نازک از عضو لافان مربوط به دو چاه A و B از میدان نفتی آزادگان تهیه و مورد بررسی قرار گرفتند. ستبرای عضو لافان در چاه A حدود ۱۱ متر و در چاه B نزدیک به ۱۵ متر می‌باشد. نام‌گذاری سنگ‌های کربناته بر اساس طبقه‌بندی Dunham (1962) صورت گرفته است. ریزرخساره‌های تعیین شده با ریزرخساره‌های استاندارد (Flügel 2010) و زون‌های زیستی مشخص شده نیز با زون‌بندی Wynd (1965) و Khalili (1974) مقایسه شده‌اند.

زمین‌شناسی منطقه

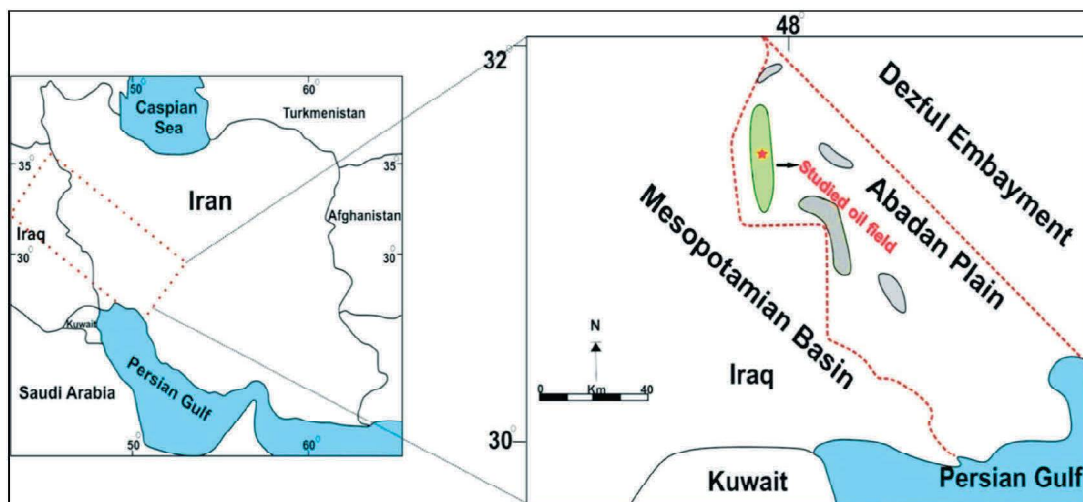
میدان نفتی آزادگان در دشت آبادان و در جنوب شرقی حوضه میانرودان^۱ (بین‌النهرین) قرار گرفته است که از نظر زمین‌شناسی پایانه شمالی سکوی عربی می‌باشد (شکل ۱). به عبارتی دیگر دشت آبادان بین سیر عربی در جنوب غربی و کمربند چین‌خورده-رانندگی زاگرس^۲ در شمال شرقی قرار گرفته است. زیر پهنه ساختاری دشت آبادان به واسطه وجود دو نوع ساختمان چین‌خورده مشخص می‌شود؛ یک سری چین‌های با شیب ملایم و روندهای شمال شرقی- جنوب غربی و شمالی-جنوبی که تحت تأثیر از روندهای

غرق شدن پلاتنفرم‌های کربناته و تغییر ناگهانی در روند رسوب‌گذاری و تولید کربنات در کارخانه‌های آهک‌ساز، پدیده‌ای مهم در زمین‌شناسی است که با پیشروی سریع آب دریا و گسترش بدون واسطه رخساره‌های عمیق و آهک‌های پلاژیک بر روی کربنات‌های کم‌عمق و پهنه‌های کشنندی مشخص می‌شود (Walker and James, 1992; Schlager et al., 1994; Mutti and Hallock, 2003; Marino and Santantonio, 2010; Brandano et al., 2016). وقوع این پدیده یکی از ویژگی‌های زمین‌شناسی بارز کرتاسه پسین در نقاط مختلف جهان است که بعد از ناپیوستگی جهانی تورونین و با پیشروی سریع و ناگهانی سطح آب دریا و رسوب‌گذاری رخساره‌های دریایی عمیق و نیمه عمیق بر روی رسوبات دریایی کم عمق و یا به طور هم‌زمان در جهت جانبی بر روی رسوبات قاره‌ای اتفاق افتاده است (Martinez and Hernandez, 1994; Sharland et al., 2001; Schlager, 2005). به منظور مطالعه تغییرات سطح آب دریا و شواهد مربوط به رسوب‌گذاری آن در رسوبات کرتاسه پسین زاگرس مرکزی، رسوبات عضو لافان که به طور مشخص بر روی ناپیوستگی تورونین (حداصل سازندهای سروک و ایلام) قرار دارد، در دو چاه از میدان نفتی آزادگان در دشت آبادان مورد بررسی قرار گرفته است. عضو لافان نخستین واحد سنگ‌چینه‌ای کرتاسه پسین در مناطق مرکزی و شرقی زاگرس، از جمله، فروافتادگی دزفول، دشت آبادان، فارس ساحلی و شمال خلیج فارس است (مطیعی، ۱۳۷۲؛ آقاباتی، ۱۳۸۳). در مناطق جنوبی خلیج فارس از جمله قطر، این واحد سنگ‌چینه‌ای با نام سازند شیلی لافان معرفی و شناخته می‌شود (Ziegler, 2001; Alsharhan, 2003 and Nairn, 2003). بُرش الگوی این عضو در ایران در چاه شماره هفت میدان نفتی بینک در شمال بندر گناوه انتخاب شده و شامل ۸۴/۵ متر شیل خاکستری مایل به سبز همراه با میان لایه‌های نازک آهک رسی است (مطیعی، ۱۳۷۲). به دلیل فقدان رخنمون‌های قابل دسترسی، سنگ‌شناسی بیشتر شیلی و ضخامت اندک در حفاری‌های انجام شده،

1. Mesopotamian basin
2. Zagros fold-thrust belt

می‌شود (Berberian, 1995; Abdollahie-Fard et al., 2007; Alavi, 2007). یکی از رویدادهای قابل توجه در تاریخچه تکامل دشت آبادان، با شروع بسته شدن اقیانوس نئوتتیس و فروانش پوسته اقیانوسی آن به زیر ورقه ایران مرکزی در کرتاسه پسین روی داده است که پیامد آن تبدیل بخش شمال شرقی ورقه عربی به یک حاشیه قاره‌ای فعال بود (Sharland et al., 2001; Sepehr and Cosgrove, 2004; Heydari, 2008; Piryaei et al., 2010, 2011). به گمان قوی چنین تغییری سبب فعالیت دوباره گسل‌های بی‌سنگ، تحرک بیشتر نمک‌های سری هرمز و تشکیل ساختارهای با روند شمالی-جنوبی در دشت آبادان شده است (Assadi et al., 2016).

بی‌سنگ عربی هستند و دیگری چین‌های باز تا بسته با روند شمال غربی-جنوب شرقی که وابسته به کمربند چین‌خورده-راندگی زاگرس می‌باشند (سپه‌وند، ۱۳۹۰). میدان مورد مطالعه با روند شمالی-جنوبی در نزدیکی مرز ایران و عراق واقع شده است. ناقدیس‌های بزرگ با روند شمالی-جنوبی در دشت آبادان با ناقدیس‌های مشابه در جنوب عراق، شمال خلیج فارس و شرق ورقه عربی قابل مقایسه هستند (Beiranvand et al., 2007; Hollis and Sharp, 2011). بر پایه مطالعات تکتونیکی و ژئوفیزیکی، دشت آبادان با داشتن ویژگی‌هایی مثل ناقدیس‌های پوشیده شده با نهشته‌های عهد حاضر، ساختارهای هیدروکربنی با شیب ملایم، گسل‌های بی‌سنگی با روند شمالی-جنوبی، تکاپوهای تکتونیکی ناشی از تحرک گنبد‌های نمکی شناخته



شکل ۱. موقعیت میدان نفتی آزادگان و میدان‌ها مجاور آن در دشت آبادان؛ میدان مورد مطالعه با علامت ستاره مشخص شده است (Esrafil-Dizaji and Rahimpour-Bonab, 2019)

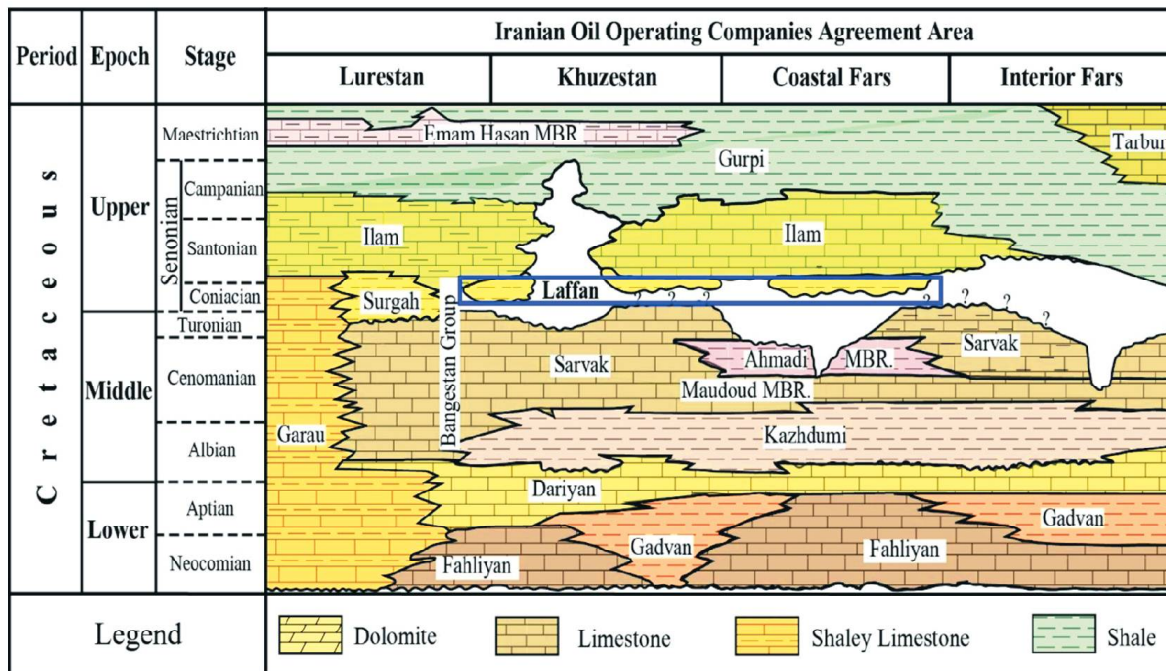
کرتاسه بالایی است که با ستبرای کم، ناپیوستگی تورونین را پوشانده است (شکل ۲). در بعضی از میدان‌های نفتی جنوب ایران، این عضو به‌عنوان سنگ‌پوش مخزن سروک بالایی عمل می‌کند و با سازند سورگاه (کنیاسین) در منطقه لرستان هم‌ارز است (Alavi, 2004; Ghazban, 2007). مرز زیرین عضو لافان با سازند سروک بر ناپیوستگی در مرز کرتاسه میانی و بالایی منطبق است و مرز بالایی آن با سازند ایلام (سانتونین) پیوسته و تدریجی می‌باشد (Setudehnia, 2001; Sharland et al., 1978). ناپیوستگی یاد شده

چینه‌نگاری منطقه

دشت آبادان یکی از ایالت‌های نفتی ایران با پتانسیل هیدروکربنی بالا است که به‌عنوان نمونه می‌توان به بعضی از میدان‌های نفتی بزرگ و خیلی بزرگ از جمله آزادگان، دارخوین و یادآوران در این ناحیه اشاره کرد (مطیعی، ۱۳۷۲). توالی رسوبی کرتاسه میانی در دشت آبادان شامل سازندهای کژدمی (آلبین) و سروک (سنومانین-تورونین) است که به‌ترتیب به‌عنوان سنگ منشأ و سنگ مخزن ایفای نقش می‌کنند. عضو شیلی لافان نخستین واحد سنگ‌چینه‌ای

در توالی رسوبی ناحیه مورد مطالعه، بخشی از رسوبات تورونین (بخش بالایی سازند سروک) و کنیاسین (عضو لافان) تشخیص داده شده‌اند که می‌تواند نشانه کوتاه‌تر بودن مدت زمان ناپیوستگی در دشت آبادان نسبت به سایر نواحی زاگرس از جمله کوه بنگستان در فروافتادگی دزفول (Ghabeishavi et al., 2010) و شروع زودتر پیشروی آب دریا و رسوب‌گذاری عضو لافان باشد.

به‌عنوان پایان بخش توالی رسوبی سازند سروک مطرح و در مناطق گسترده‌ای از حوضه زاگرس شناخته شده است (Sharland et al., 2001; Razin et al., 2010; Van et al., 2011). توقف رسوب‌گذاری در تورونین را حاصل بالآمدگی تکتونیکی ناشی از فرارانش افیولیت‌ها به روی لبه شمال شرقی ورقه عربی و پایین افتادن سطح آب دریا در آن زمان دانسته‌اند (Vincent et al., 2015).



شکل ۲. هم‌ارزی واحدهای سنگ‌چینه‌ای کرتاسه در مناطق مختلف زاگرس (با اندکی تغییرات از James and Wynd, 1965)، جایگاه عضو شیلی لافان بر روی ناپیوستگی تورونین در میان سازندهای سروک و ایلام با مستطیل آبی رنگ مشخص شده است

زیست‌چینه‌نگاری

این پژوهش، زیست‌چینه‌نگاری بخش بالایی سازند سروک (تورونین پیشین) و عضو لافان، با هدف تعیین مرز این دو واحد سنگ‌چینه‌ای در میدان نفتی آزادگان مطالعه شده‌است. در توالی مورد نظر، دو زون زیستی شناسایی شده که زون زیستی شماره ۱ متعلق به بخش بالایی سازند سروک و زون زیستی شماره ۲ متعلق به عضو لافان می‌باشد. زون‌های زیستی شناسایی شده با زون‌های زیستی ارائه شده توسط Wynd (1965) و Khalili (1974) مقایسه شده و با سایر مطالعات انجام شده نیز مطابقت داده شده‌اند.

Wynd (1965) یک طرح چینه‌نگاری استاندارد را برای توالی‌های رسوبی تریاس تا پلیوسن در جنوب غربی ایران ارائه کرد. در مطالعات بعدی که توسط Khalili (1974) و Bolz (1977) و Rahimpour-Bonab et al. (2013) بر روی توالی کربناته کرتاسه انجام شده‌است، تقسیم‌بندی چینه‌نگاری Wynd (1965) مورد ویرایش جزئی قرار گرفت. به‌عنوان نمونه، نتایج مطالعات Khalili (1974) با طرح کلی زون‌های زیستی Wynd (1965) مطابقت دارد و تنها در مواردی معدود، زون زیستی جدید معرفی شده‌است. در

1. Obduction

زون زیستی شماره ۱:

Nezzazatinella–Dicyclina assemblage zone

این زون زیستی بین اعماق ۲۶۳۰ تا ۲۶۶۵ متری به ضخامت ۳۵ متر در چاه A و اعماق ۲۶۴۵ تا ۲۶۸۵ متری به ضخامت ۴۰ متر در چاه B شناسایی شده است. زون زیستی یاد شده، آخرین زون زیستی سازند سروک است که در رأس این سازند تشخیص داده شده است. این زون زیستی بین دو سطح ناپیوستگی مهم سنومانین-تورونین در زیر و تورونین میانی در بالا محدود شده است. زون زیستی یاد شده معادل با بیوزون شماره ۲۹ Wynd (1965) می باشد. در طرح زیست‌چینه‌نگاری (Wynd (1965)، زون زیستی Valvulammia–Dicyclina Assemblage Zone را که فونای شاخص آن Valvulammia spp. و Dicyclina spp. است، برای بالاترین بخش سازند سروک معرفی و زمان آن نیز تورونین تعیین شده است. در اغلب مطالعات بعدی از جمله (Khalili (1974)، Bourgeois (1969) و Bolz (1977) نیز به این موضوع اشاره و پذیرفته شده است. با توجه به این که با شروع این زون زیستی، جنس‌های شاخص سنومانین نظیر خانواده آلوتولینیده ناپدید می شوند و گونه Moncharmontia apenninica ظهور می کند و همچنین با توجه به فراوانی Dicyclina schlumbergeri و Nezzazatinella picardi، سن این زون زیستی تورونین تعیین شد. ضخامت کم این زون زیستی و شواهد دیاژنزی از جمله اثرات انحلال و افق‌های اکسید آهن در بالای این زون می تواند بیانگر وجود ناپیوستگی تورونین میانی در میدان نفتی آزادگان باشد. در واقع ناپیوستگی تورونین میانی باعث فرسایش بخشی از نهشته‌های سازند سروک و کاهش ضخامت آن شده است (Setudehnia, 1978; Assadi et al., 2016). برخی از میکروفسیل‌های شناسایی شده در این زون به شرح زیر می باشند:

Nezzazatinella picardi, *Dicyclina schlumbergeri*,
Moncharmontia apenninica, *Rotalia skourensis*,
Textularia spp., *Nezzazata conica concava*,
Mangashtia viennoti, *Quinqueloculina* spp
(شکل ۳-۱-۶a).

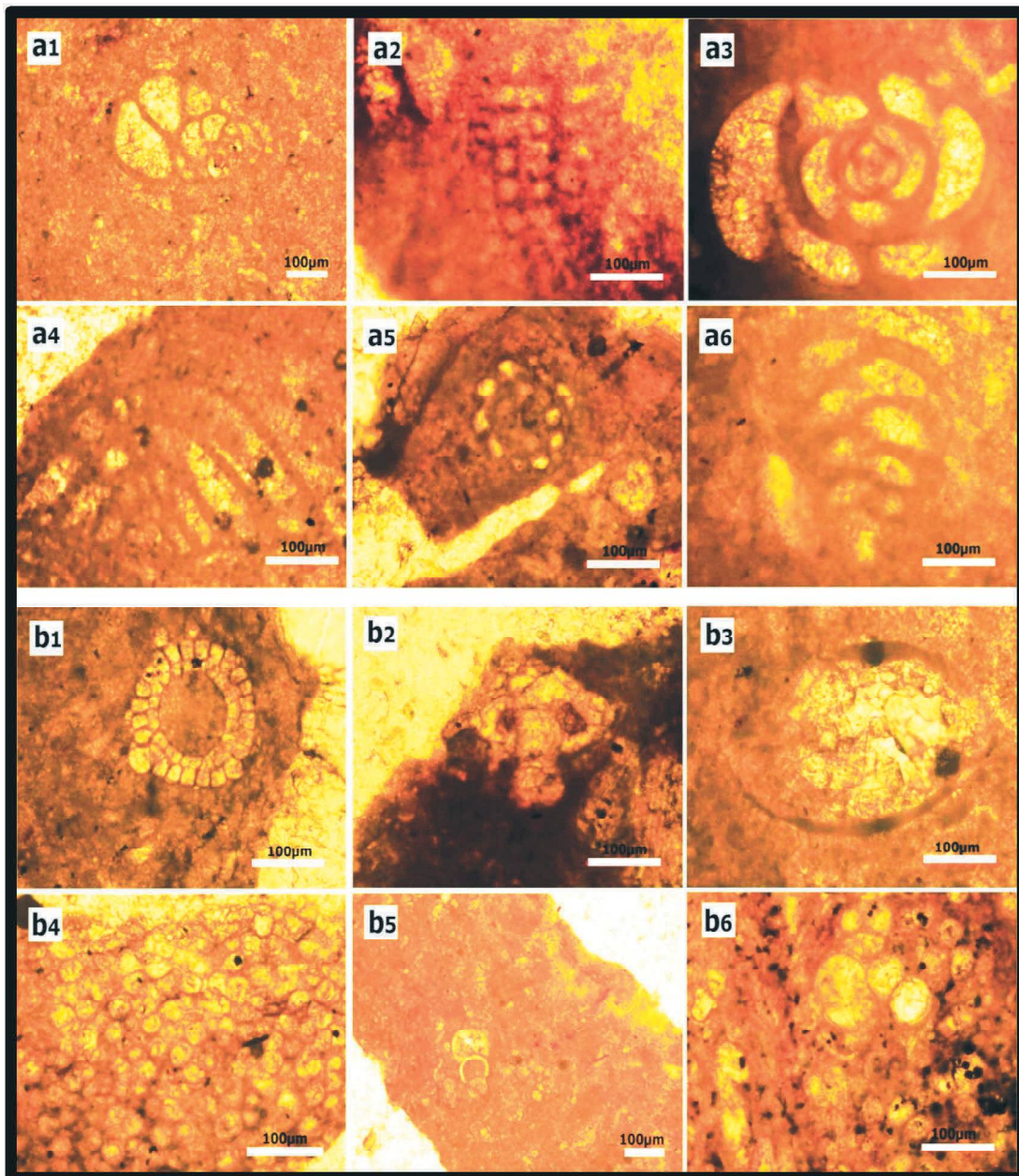
زون زیستی شماره ۲:

Charophytes–Ostracods zone

این زون زیستی بین اعماق ۲۶۱۹ تا ۲۶۳۰ متری با ضخامت ۱۱ متر در چاه A و اعماق ۲۶۳۰ تا ۲۶۴۵ متری با ضخامت ۱۵ متر در چاه B شناسایی شده است. زون زیستی یاد شده که با زون زیستی Chara-Ostracods Khalili (1974) مطابقت دارد، با فراوانی کاروفیت و درصد کمتر استراکود مشخص می شود. این زون زیستی که به عنوان زون زیستی عضو لافان محسوب شده است، بین بخش بالایی سازند سروک و قاعده سازند ایلام محدود می باشد. نکته مهم این که مرز فرسایشی بین زون زیستی حاضر و زون زیستی شماره ۲۹ Wynd (1965) با ناپیوستگی میان سازند سروک و عضو لافان مطابقت دارد و با افزایش ناگهانی مقدار پرتو گاما مشخص است و از فرسایش رسوبات پیشین و فراوانی کانی‌های رسی حکایت می کند. با توجه به تعیین زمان کنیاسین برای زون زیستی Chara-Ostracods توسط (Khalili (1974) و جایگاه چینه‌نگاری عضو لافان، پیشنهاد سن کنیاسین برای این عضو منطقی به نظر می رسد. نتایج حاصل از مطالعات (Athersuch (1994)، Bolz (1977) و Alsharhan and Nairn (1997) نیز این موضوع را تأیید می کنند. میکروفسیل‌های شناسایی شده در این زون زیستی عبارتند از: *Charophyte algae*, *Ostracods*, *Echinoids debris*, *Rotalia skourensis*, *Heterohelix* sp., *Oligosteginids*, *Murichohedbergella* sp., *Praeglobotruncana* sp.
(شکل ۳-۱-۶b).

شرح و تفسیر ریزرخساره‌های عضو لافان

بر اساس مطالعات میکروسکوپی نمونه‌ها، یک رخساره آواری و دو ریزرخساره کربناته در عضو لافان میدان نفتی آزادگان شناسایی شدند که در زیر جنبه‌های مختلف آنها توصیف و تا حد امکان محیط تشکیل آنها تفسیر شده است.



شکل ۳. میکروفسیل‌های شاخص بخش بالایی سازند سروک و عضو لافان در میدان نفتی آزادگان.
 Zون زیستی عضو لافان؛ (a۶-a۱): (BZ1) زون زیستی بخش بالایی سازند سروک
 BZ1 (*Nezzazatinella-Dicyclina* Assemblage Zone): a1 *Nezzazatinella picardi*; a2 *Dicyclina schlumbergeri*;
 a3 *Quinqueloculina* sp.; a4 *Nezzazata conica*; a5 *Moncharmontia apenninica*; a6 *Textularia* spp.
 BZ2 (Charophytes-Ostracods Zone): b1 Charophyta algae; b2 *Rotalia skourensis*; b3 Ostracods shells; b4
 Oligosteginids; b5 *Heterohelix* sp.; b6 *Murichohedbergella* sp.

از حضور و تمرکز رس‌ها دیده می‌شود (شکل ۴-ا). بر اساس فراوانی رس‌ها می‌توان این رخساره را تحت عنوان شیل رسی معرفی کرد. رخساره شیلی مورد بحث، در اصل مادستون‌هایی است که در قالب بار معلق رودخانه‌ها و آبراهه‌های منشعب

شیل^۱

این رخساره در قاعده توالی رسوبی عضو لافان و در مرز این عضو با سازند سروک گسترش قابل توجهی دارد که نشانه ورود آواری‌های دانه‌ریز به حوضه در زمان اُفت نسبی سطح آب دریا است. در پتروگرافی نمونه‌های این رخساره شواهدی

1. Shale

دریایی بیش از ۵/۰۰۰ ppm تعیین شده است (Prothero and Schwab, 2014). با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، محیط تشکیل این جلبک‌ها، خلیج‌های دهانه‌ای در نظر گرفته شده است.

بایوکلاست^۲ وکستون فرامینیفرا پلانکتونیک

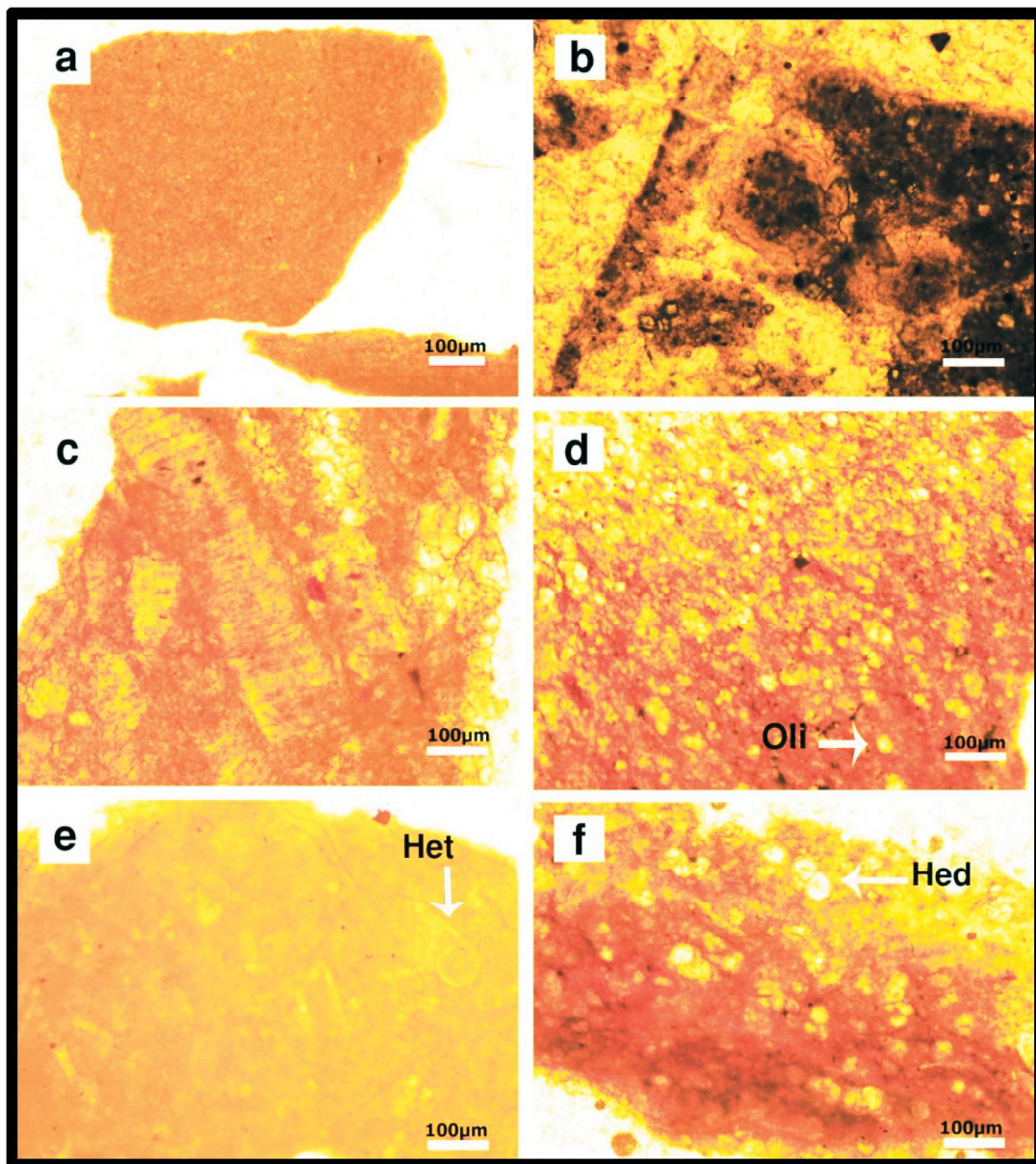
این ریزرخساره فابریک گل پشتیبان (آهک شیلی) دارد و آلوکوم‌های اصلی آن شامل فرامینیفراهای پلانکتون (هتروهلکس و موریکو هدرگلا)، الیگوسترین‌ها، خرده‌های اکینودرم، دوکفه‌ای‌های کوچک و سوزن اسفنج می‌باشند. از اجزای فرعی می‌توان به اُستراکود، تکستولاریا و روتالیاهای کوچک اشاره کرد (شکل ۴-d,e,f). این ریزرخساره بخش بالایی توالی رسوبی عضو لافان تا مرز سازند ایلام در ناحیه مورد مطالعه را شامل می‌شود. حضور فونای پلانکتونیک، الیگوسترین‌ها و سوزن اسفنج، فابریک گل غالب و فقدان بایوکلاست‌های درشت در این ریزرخساره نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در زیر سطح اثر امواج توفانی^۳ و در محیطی کم اکسیژن و با انرژی پایین است (Burchette and Wright, 2003; Tucker, 1992). محیط تشکیل این ریزرخساره به دلیل عمق زیاد، خارج از گستره نفوذ نور بوده است؛ بنابراین موجودات کفزی نمی‌توانسته‌اند در آن رشد کنند (Flügel, 2010). همچنین در بین طبقات آهکی این بخش، رس به صورت شیل و مارن مشاهده می‌شود. فرآیند مهم دیاژنزی در این ریزرخساره، پیریتی شدن است که خود مؤید یک محیط احیایی است. این فرآیند که توسط باکتری‌های احیاکننده سولفات‌ها در حضور مواد آلی و در شرایط فاقد اکسیژن رخ می‌دهد، دلیل دیگری بر تشکیل این ریزرخساره در زیر منطقه نفوذ نور می‌باشد (Tucker, 2003). با توجه به این توصیف‌ها، ریزرخساره یاد شده به بخش‌های عمیق‌تر دریای باز تعلق دارد و معادل RMF5 Flügel (2010) است. مشابه این ریزرخساره توسط غبیشاوی (۱۳۸۷) در نمونه‌های سازند ایلام در تاقدیس بنگستان و میدان پارس در خوزستان گزارش شده است.

از آنها به دشت ساحلی و نواحی کم عمق پلاتفرم منتقل و نهشته شده‌اند (Nichols and Biggs, 1985; Nichols, 2009). برخی نمونه‌های شیلی، مادستون‌های آهکی و یا مارن‌هایی هستند که به دلیل تراکم زیاد در هم فشرده و متورق شده‌اند. این رخساره با افزایش ناگهانی در منحنی نمودار پرتو گاما مشخص است. مقدار زیاد پرتو گاما می‌تواند دلیل بر حضور شیل و فلدسپات‌های پتاسیم، میکا و یا آب‌های غنی از اورانیوم باشد (موحد، ۱۳۸۹). لازم به ذکر است که نگاره پرتو گاما در کل توالی عضو لافان، لایه‌هایی با مقادیر بیشتر از ۱۰ درصد محتوای رس را نشان می‌دهد که این لایه‌ها بسته به میزان پرتو گاما، نشان‌دهنده شیل (مادستون رسی) یا مادستون آهکی هستند. با توجه به بافت سنگ و همچنین موقعیت چین‌نگاری این رخساره، می‌توان محیط تشکیل آن را به آبراهه‌ها و کانال‌های ساحلی نسبت داد (Boggs, 2009; Nazeer et al., 2016).

بایوکلاست^۱ مادستون تا وکستون کاروفیت‌دار

آلوکوم اصلی این ریزرخساره جلبک‌های کاروفیت هستند که به صورت پراکنده در یک زمینه میکرایتی (گل آهکی) مشاهده می‌شوند. از اجزای فرعی نیز اُستراکودها به میزان خیلی کم حضور دارند (شکل ۴-b و c). ریزرخساره یاد شده به صورت محدود در بخش پایینی عضو لافان رسوب‌گذاری کرده است. حضور جلبک‌های کاروفیت به همراه اُستراکودها بیانگر محیط‌های نیمه محصور و به نسبت آرام با عمق کم و تحت نفوذ نور می‌باشند (Kelman et al., 2003; Leliaert, 2012; et al.). جلبک‌های کاروفیت از نظر فیزیولوژی و زیستی شباهت زیادی به جلبک‌های سبز دارند، ولی از نظر مورفولوژی با آنها متفاوت هستند. کاروفیت‌ها از خانواده جلبک‌های کاراسه‌آهستند و اندازه آنها از چند سانتی‌متر تا یک متر هم می‌رسد (خسروتهرانی، ۱۳۸۶). جلبک‌های کاروفیت شاخص آب‌های شیرین تا لب‌شور (رقیق‌تر از آب دریا) می‌باشند (Berger and Kaeffer, 1992; Bucur, 2010; Flügel, 2010; and Sasaran, 2005) و به عنوان شاخص محیط‌های حدواسط شناخته شده‌اند (Khalili, 1974; De Vries and Archibald, 2018). میزان کل املاح جامد در آب‌های لب‌شور ۵۰۰-۵/۰۰۰ ppm و در آب‌های

1. Bioclastic charophyte mudstone-wackestone
2. Bioclastic planktonic foraminifera wackestone
3. Storm Wave Base (SWB)



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی ریزرخساره‌های عضو لافان در میدان نفتی آزادگان. (a) رخساره شیلی (عمق ۲۶۲۹ متر در چاه A، نور XPL)، (b) مادستون تا وکستون کاروفیت‌دار با بایوکلاست (عمق ۲۶۴۲ متر در چاه B، نور XPL)، (c) مادستون تا وکستون کاروفیت‌دار با بایوکلاست؛ در این تصویر بُرش طولی جلبک کاروفیت مشاهده می‌شود (عمق ۲۶۲۶ متر در چاه A، نور XPL)، (d) وکستون فرامینیفر پلانکتونیک‌دار با بایوکلاست؛ الیگوستژین با پیکان مشخص شده‌است (عمق ۲۶۲۳ متر در چاه A، نور XPL)، (e) وکستون فرامینیفر پلانکتونیک‌دار با بایوکلاست؛ فرامینیفر پلانکتونیک (هتروهلکس) با پیکان مشخص شده‌است (عمق ۲۶۳۲ متر در چاه B، نور XPL)، (f) وکستون فرامینیفر پلانکتونیک‌دار با بایوکلاست؛ فرامینیفر پلانکتونیک (موریکو هدبرگلا) با پیکان مشخص شده‌است (عمق ۲۶۲۰ متر در چاه A، نور XPL)

محیط رسوبی عضو لافان

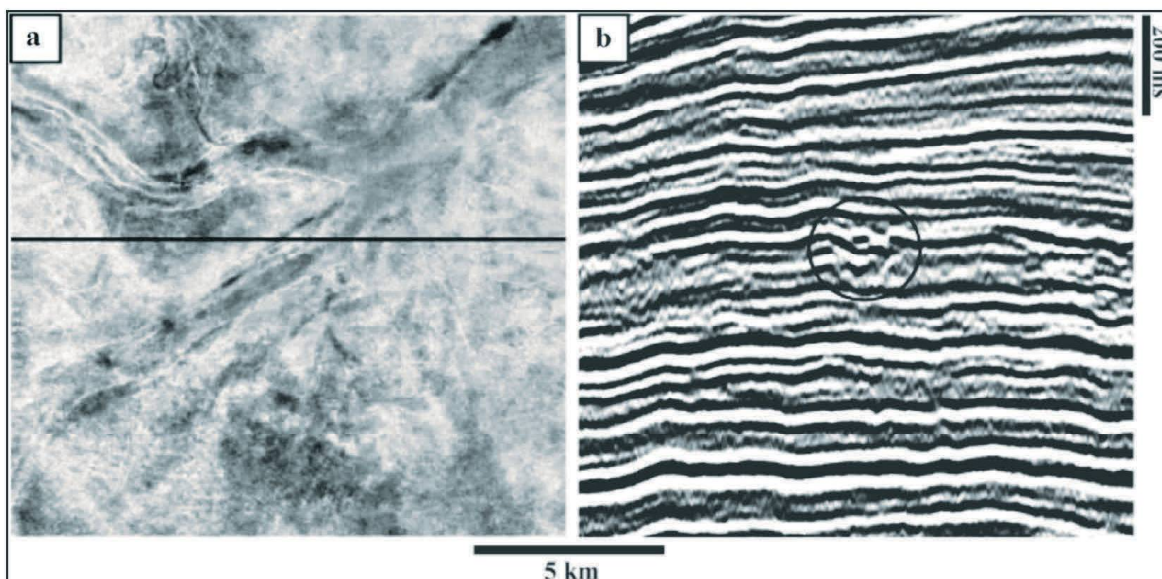
عضو لافان به‌خوبی گواه این ادعا است. با توجه به چیدمان رخساره‌ها و موقعیت رخساره شیلی در ستون سنگ‌شناسی، به نظر می‌رسد که مجموعه نهشته‌های شیلی عضو لافان در دو شرایط محیطی متفاوت تشکیل شده‌اند. شیل‌های موجود در قاعده عضو لافان در زمان پایین بودن سطح نسبی آب دریا و در نتیجه انتقال بار معلق رودخانه‌ها نهشته شده‌اند؛ در مقابل

شواهد به‌دست‌آمده از مطالعه توالی رسوبی عضو لافان در بُرش‌های مختلف میدان نفتی آزادگان گویای تغییرات محیطی قابل‌توجهی در کرتاسه پسین این ناحیه است. حضور رخساره شیل و میکروفسیل‌های آب شیرین تالاب شور به ترتیب در قاعده و بخش پایینی و میکروفسیل‌های دریای باز در بخش بالایی

Hassanzadeh Azar et al., 2009; Honarmand et al., 2014). وجود نهشته‌های کانالی در بخش بالای سازند سروک در میدان نفتی آزادگان با استناد به داده‌های لرزه‌ای نیز به‌عنوان یکی از عوارض رسوبی مرتبط با رویداد تورونین شناخته شده‌اند (هنرمند و مداحی، ۱۳۹۰؛ Abdollahie Fard et al., 2006) (شکل ۵). بالآمدگی به‌نسبت سریع سطح آب دریا در زمان کنیاسین (Golonka and Kiessling, 2002; Simmons et al., 2007) هم‌زمان با فرونشست حاشیه شمال شرقی ورقه عربی (Burchette, 1993; Sharland et al., 2001) سبب غرق‌شدن آبراهه‌ها و اختلاط آب‌های شور و شیرین شد. به‌عبارت‌دیگر، با پیشروی دریای کرتاسه پسین بر روی کربنات‌های فرسایش‌یافته سازند سروک، امکان ته‌نشست بخش پایینی توالی لافان در یک محیط حدواسط از نوع خلیج دهانه‌ای با آب لب‌شور فراهم شد (Einsele, 2000; Boggs, 2009).

میان لایه‌های شیلی بخش بالایی که با آهک‌های پلاژیک و رسوبات بخش عمیق‌تر دریا همراه هستند، در زمان بیشترین پیشروی و غرق‌شدن پلاتفرم تشکیل شده‌اند. با استناد به توصیف و تفسیر ریزرخساره‌های شناخته‌شده و جایگاه چینه‌ای عضو لافان در میان کربنات‌های پلاتفرمی سازنده‌های سروک و ایلام می‌توان تغییر مشخص کانال‌های ساحلی به یک محیط حدواسط به‌نسبت کوتاه مدت و سپس تثبیت شرایط دریایی را استنباط کرد.

با عملکرد رویداد تکتونیکی تورونین و فاز فرسایشی ناشی از آن، بخش عمده‌ای از مناطق مرکزی و شرقی حوضه زاگرس از آب خارج شد و بخشی از کربنات‌های بخش بالایی سازند سروک دچار فرسایش شدند (Piryaei et al., 2010). در چنین شرایطی آبراهه‌های مختلف در حاشیه حوضه فعال شده و کانال‌های حفر شده توسط آنها گسترش یافتند. داده‌های لرزه‌ای، وجود چنین کانال‌هایی در بالای سازند سروک و معادل‌های آن در نواحی مختلف را تأیید کرده‌اند



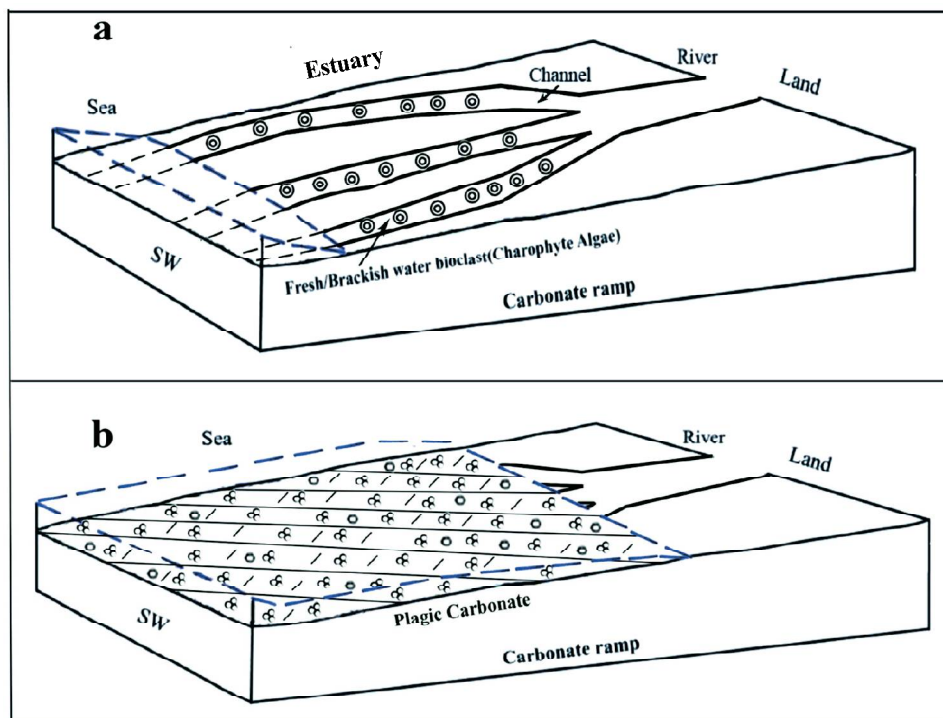
شکل ۵. (a) کانال‌ها و دره‌های حفر شده در رأس سازند سروک در ناقدیس آزادگان که توسط رسوبات کانالی پر شده‌اند، (b) نیم‌رخ لرزه‌ای ناقدیس آزادگان، به کانال شناخته‌شده (دایره سیاه) در بخش میانی تصویر توجه کنید. این کانال‌ها منعکس‌کننده فعالیت‌هایی هستند که به علت پایین آمدن سطح آب دریا و فرسایش بعد از تورونین رخ داده‌اند (Abdollahie Fard et al., 2006)

ناگهانی و بدون واسطه نهشته‌های کم‌عمق خلیج دهانه‌ای به رخساره‌های پلاژیک و بخش‌های عمیق‌تر دریا نشانه افزایش سریع عمق حوضه و غرق‌شدن ناگهانی پلاتفرم است

به‌دلیل آهنگ بالای افزایش سطح نسبی آب دریا و فضای رسوب‌گذاری در زمانی به‌نسبت کوتاه شرایط کاملاً دریایی حکمفرما شد و رخساره‌های وابسته به بخش عمیق‌تر دریا در بخش بالایی توالی رسوبی لافان نهشته شدند. تغییر

فرآوانی رخساره مادستونی (شیل) و پیوستگی و پوشیده شدن با کربنات‌های دریایی نشان‌دهنده چنین نتیجه‌ای است. مدل رسوبی پیشنهادی برای عضو لافان در شکل ۶ نشان داده شده است.

(Schlager, 2005; Flugel, 2010). ادامه بالا بودن سطح آب دریا و تثبیت دوباره پلاتفرم کرتاسه پسین به رسوب‌گذاری کربنات‌های سازند ایلام منتهی شد. ملاحظه شواهدی همچون قاعده فرسایشی، توالی به سمت بالا عمیق‌شونده،



شکل ۶. مدل پیشنهادی برای محیط رسوبی عضو لافان در میدان نفتی آزادگان، (a) مدل رسوبی خلیج دهانه‌ای، با شروع بالا آمدن سطح آب دریا و اختلاط آب شیرین رودخانه با آب شور دریا، این محیط حدواسط و لب‌شور شکل گرفته است، (b) ادامه پیشروی سریع سطح آب دریا و پوشیده شدن کانال‌های رودخانه که در نهایت به غرق شدن ناگهانی پلاتفرم و تشکیل رسوبات بخش‌های عمیق‌تر دریا منجر شد

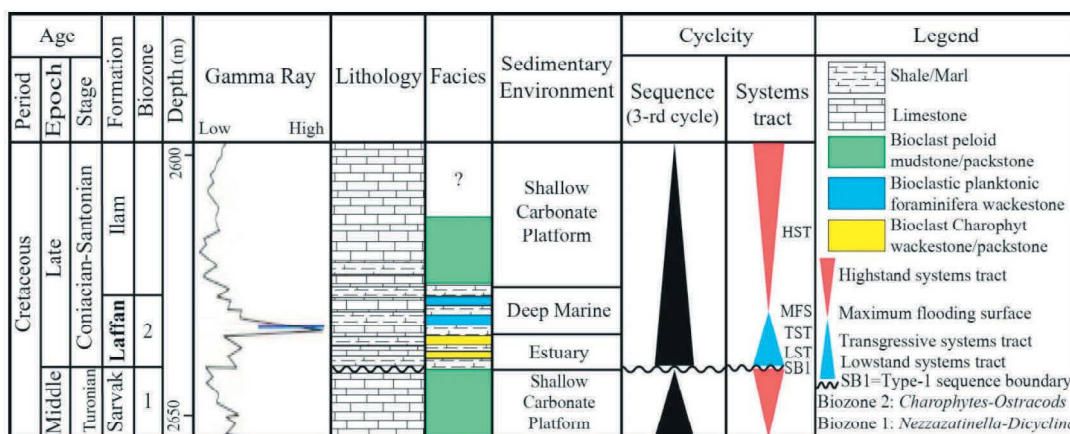
چینه‌نگاری سکansı عضو لافان

عمده نهشته‌های عضو لافان هم‌زمان با خیزش سطح آب دریا تشکیل شده و جزو دسته رخساره‌های پیش‌رونده هستند. ریزرخساره مادستون تا وکستون کاروفیت‌دار با بایوکلاست حاصل از خلیج‌های دهانه‌ای معرف این بخش از دسته رخساره‌های سکانس مورد نظر است. در مطالعات چینه‌نگاری سکansı، رسوبات خلیج‌های دهانه‌ای بخش آغازین دسته رخساره‌های پیش‌رونده را تشکیل می‌دهند (Reinson, 1992). خلیج‌های دهانه‌ای یکی از محیط‌های موقت مرتبط با سواحل و سیستم‌های رسوبی پیش‌رونده هستند که در نتیجه غرق شدن کانال رودخانه‌ها در اثر بالا آمدگی سریع سطح آب دریا تشکیل می‌شوند و در مدت زمان محدود، هم‌زمان و یا اندکی پس از پیشروی آب دریا فعال می‌باشند

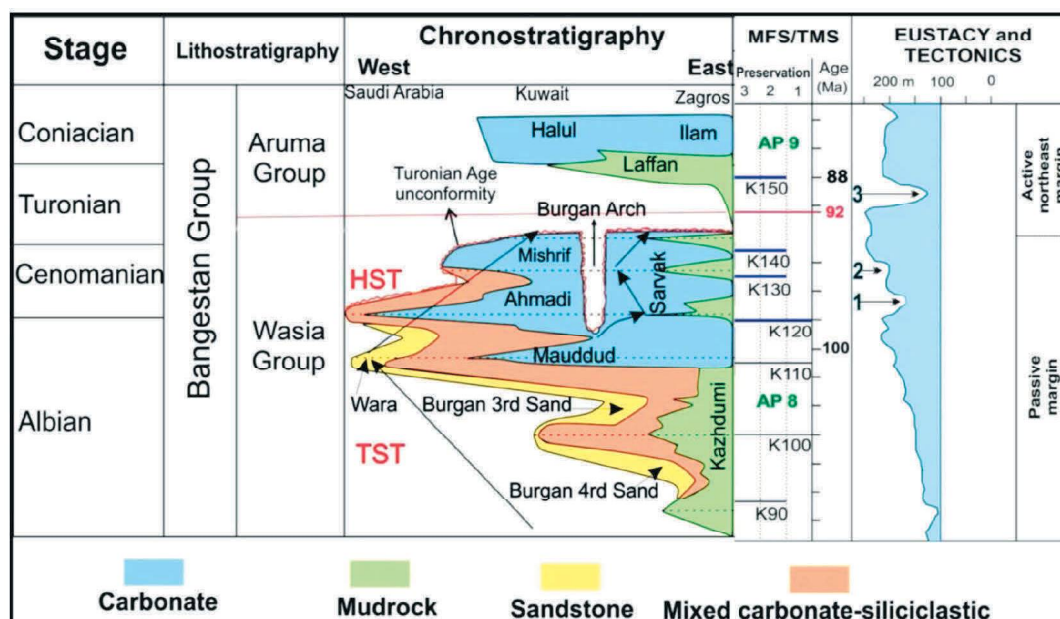
بررسی تغییرات عمودی ریزرخساره‌ها و شدت پرتو گامای نمودار چاه‌پیمایی عضو لافان در میدان نفتی آزادگان نشان می‌دهد که این عضو، بخشی از یک سکانس رسوبی رده سوم است (شکل ۷). سکانس‌های رسوبی رده سوم در مدت زمان ۵-۵/۵ میلیون سال تشکیل می‌شوند و معمولاً تا صدها متر ضخامت دارند و به تغییرات محلی و ناحیه‌ای نسبت داده می‌شوند (Catuneanu et al., 2012). مرز زیرین این سکانس رسوبی بر ناپیوستگی میان عضو لافان و سازند سروک منطبق است و از نوع SB1 می‌باشد. کانال‌های حفر شده در مرز عضو لافان و سازند سروک و رخساره شیلی قاعده این عضو به عنوان دسته رخساره‌های تراز پایین سطح آب دریا در نظر گرفته شده‌اند. بخش

داده است که با تثبیت کامل شرایط دریایی و غرقه شدن پلاتفرم نهشته شده است. سطح حداکثر غرق شدگی (MFS) توالی مورد مطالعه بر بالاترین بخش عضو لافان و بیشترین شدت پرتو گاما منطبق است. از این سطح به بعد، افزایش محسوس محتوای آهک نمونه‌ها و کاهش شدت پرتو گاما نشان از حضور کربنات‌های پلاتفرمی سازند ایلام (سانتونی) به عنوان دسته رخساره‌های تراز بالا دارد. در مجموع، این سکانس رسوبی رده سوم سن تورونین پسین؟-سانتونی دارد و با بخش آغازین مگاسکانس AP9 در صفحه عربی (Sharland et al., 2001) هم‌ارز است (شکل ۸).

(Dalrymple et al., 1992, Nichols, 2009). با این وصف، می‌توان گسترش جغرافیایی محدود و حضور پراکنده عضو لافان (Sharland et al., 2001) را به شرایط تشکیل و نوع محیط رسوبی آن مربوط دانست. افزون بر این، بالآمدگی سریع سطح آب دریا در چرخه‌های رده سوم سیستم‌های کربناته استوایی نیز منجر به ستبرای اندک دسته رخساره‌های پیش‌رونده می‌شود (Schlager, 2005) که ضخامت کم عضو لافان در نواحی مختلف نشان‌دهنده مطلب اخیر است. بخش پایانی دسته رخساره‌های پیش‌رونده را رخساره بایوکلاست و کستون فرامینیفر پلانکتونیک تشکیل



شکل ۷. نمودار گاما، ستون سنگ‌شناسی و چین‌نگاری سکانشی بخشی از توالی رسوبی کرتاسه میانی-بالایی در چاه B میدان نفتی آزادگان، به موقعیت عضو شیلی لافان در اعماق ۲۶۳۰ تا ۲۶۴۵ متر توجه کنید که با افزایش قابل توجه پرتو گاما از واحدهای زیرین و بالایی خود قابل تفکیک است



شکل ۸. هم‌ارزی توالی رسوبی آلبین-کنیاسین در بخش‌های مختلف حوضه زاگرس و صفحه عربی (با تغییراتی از Sharland et al., 2001; Hollis, 2011)

نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعات صورت گرفته بر روی عضو لافان در میدان نفتی آزادگان نتایج زیر حاصل شده است:

۱. عضو شیلی لافان با ستبرای اندک و گسترش جغرافیایی پراکنده، سنگ‌پوش مخزن سازند سروک است.
۲. مرز زیرین عضو لافان با سازند سروک در برش مطالعه شده، بر ناپیوستگی تورونین در مرز کرتاسه میانی-بالایی منطبق می‌باشد و مرز بالایی آن با سازند ایلام پیوسته و تدریجی است.
۳. در مطالعات پتروگرافی توالی رسوبی عضو لافان، یک رخساره شیلی و دو ریزرخساره کربناته از نوع بایوکلاست مادستون تا وکستون کاروفیت‌دار و بایوکلاست وکستون فرامینیفیر پلانکتونیکی شناخته شدند. این ریزرخساره‌ها بیانگر نهشته‌شدن مجموعه رسوبات عضو لافان در محیط‌های متفاوتی از نوع حدواسط لب‌شور و بخش عمیق‌تر دریا هستند.
۴. پوشانده‌شدن مستقیم و بدون واسطه رسوبات کم‌عمق خلیج دهانه‌ای با رخساره‌های پلاژیک و بخش‌های عمیق‌تر دریا حاکی از پیشروی سریع آب دریا و غرق‌شدن ناگهانی بخش‌هایی از پلاتفرم کربناته زاگرس مرکزی در کرتاسه پسین است.
۵. مطالعات زیست‌چینه‌نگاری نمونه‌های مختلف عضو لافان و بخش بالایی سازند سروک در میدان نفتی آزادگان به شناسایی دو زون زیستی انجامید. زون زیستی Nezzazinella-Dicyclina Assemblage Zone متعلق به زمان تورونین پیشین در بخش بالایی سازند سروک و زون زیستی Charophytes-Ostraco Zone به سن کنیاسین در عضو لافان می‌باشد.
۶. تغییرات عمودی ریزرخساره‌ها و نمودار شدت پرتو گامای توالی عضو لافان نشان داد که این عضو بخشی از یک سکانس رسوبی رده سوم است. این داده‌ها گواه آن هستند که دسته رخساره‌های تراز پایین، دسته رخساره‌های پیش‌رونده و سطح حداکثر غرق‌شدگی سکانس یاد شده در گستره عضو لافان قرار می‌گیرند و دسته رخساره‌های تراز بالا را کربنات‌های بخش زیرین

سازند ایلام تشکیل می‌دهند.

۷. سکانس رسوبی در برگیرنده عضو لافان به زمان تورونین پسین؟-سانتونین تعلق دارد و با بخش آغازین مگاسکانس AP9 در صفحه عربی هم‌ارزاست.

منابع

- آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۰۸.
- خسروتهرانی، خ.، ۱۳۸۶. رخساره‌های میکروسکوپی (میکروفاسیس‌ها)، انتشارات دانشگاه تهران، جلد ۱، ۴۹۸.
- سپه‌وند، س.، ۱۳۹۰. گزارش تکمیلی زمین‌شناسی چاه اکتشافی آزادگان-۱۰، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، ۴۸.
- غبیشاوی، ع.، ۱۳۸۷. چینه‌شناسی سازندهای سروک و ایلام در تاقدیس بنگستان و میدان پارسی. پایان‌نامه دکتري، دانشکده علوم دانشگاه اصفهان، ۱۹۵.
- مطیعی، ه.، ۱۳۷۲. چینه‌شناسی زاگرس: طرح تدوین کتاب، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ۵۳۶.
- موحد، ب.، ۱۳۸۹. مبانی چاه‌پیمایی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۳۳۰.
- هنرمند، ج. و مداحی، ا.، ۱۳۹۰. ارتباط رخساره‌های رسوبی با گسترش فرآیندهای دیاژنزی و کیفیت مخزنی بخش بالایی سازند سروک در یکی از میداين بزرگ نفتی، جنوب غربی ایران. پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی. ۴۲، ۹۸-۱۱۵.
- Abdollahie Fard, I., Braathen, A., Mokhtari, M. and Alavi, S.A., 2006. Interaction of the Zagros Fold-Thrust Belt and the Arabian-type, deep-seated folds in the Abadan Plain and the Dezful Embayment, SW Iran. *Petroleum Geo-Science*, 12, 347-362.
- Abdollahie-Fard, I., Mokhtari, M. and Alavi, S.A., 2007. The main structural elements of the Abadan Plain (SW Iran) and the N. Persian Gulf based on the integrated geophysical data. *Geophysics Researches Abstract*, 111-146.
- Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and proforland

- evolution. *American Journal of Sciences*, 304, 1-20.
- Alavi, M., 2007. Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American Journal of Science*, 307, 1064-1095.
 - Alsharhan, A.S. and Nairn, A.E.M., 1997. *Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle East*. Elsevier, Amsterdam, 843.
 - Alsharhan, A.S. and Nairn, A.E.M., 2003. *Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle East (Second Impression)*. Elsevier, Amsterdam, 940.
 - Assadi, A., Honarmand, J., Moallemi, S.A. and Abdollahie-Fard, I., 2016. Depositional environments and sequence stratigraphy of the Sarvak Formation in an oil field in the Abadan Plain, SW Iran. *Facies*, 62, 22.
 - Athersuch, J., 1994. The Biostratigraphic Significance of Cretaceous Ostracods from the Arabian Gulf. In M.D. Simmons (Ed.), *Micro-palaeontology and Hydrocarbon Exploration in the Middle East*. Chapman and Hall, 253-271.
 - Beiranvand, B., Ahmadi, A. and Sharafodin, M., 2007. Mapping and classifying flow units in the upper part of the mid-Cretaceous Sarvak formation (Western Dezful Embayment, SWIran) based on a determination of the reservoir types. *Journal of Petroleum Geology*, 30, 357-373.
 - Berberian, M., 1995. Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*, 241, 193-224.
 - Berger, S. and Kaeffer, J., 1992. *Dasycladales: An illustrated monograph of a fascinating algal order*. Thieme, Stuttgart, 247.
 - Boggs, S., 2009. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Cambridge University Press, 600.
 - Bolz, H., 1977. Reappraisal of biozonation on the Bangestan Group (Late Aptian-Early Campanian) of south west Iran. OilService Company of Iran, Report NO. 1252, Tehran, 112, (unpublished).
 - Bourgeois, F., 1969. Kuh-e-Bangestan, a model for Cretaceous structure in Iran. Iranian Oil Operating Companies, Geological and Exploration Division, Report 89, 76.
 - Brandano, M., Corda, L., Tomassetti, L. and Tagliavento, M., 2016. Frequency analysis across the drowning of a lower Jurassic Carbonate Platform: the Calcarea Massiccio formation (Apennines, Italy). *Marine Petroleum Geology*, 78, 606-620.
 - Bucur, I.I. and Sasaran, E., 2005. Relationship between algae and environment: an Early Cretaceous case study, Trasc ău Mountains, Romania. *Facies*, 51, 274-286.
 - Burchette, T.P. and Wright, V.P., 1992. Carbonate ramp depositional systems. *Sedimentary Geology*, 79, 3-57.
 - Burchette, T.P., 1993. Mishrif Formation (Cenomanian-Turonian), southern Arabian Gulf: Carbonate platform growth along a cratonic basin margin. In: Simo J. A. T. Scott R.W. and Masse J. P. (Eds.), *Cretaceous carbonate platforms*. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 56, 185-199.
 - Catuneanu, O., Martins, N.M.A. and Ericsson, P., 2012. Sequence stratigraphic framework and application to the Precambrian. *Marine Petroleum Geology*, 33, 26-33.
 - Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A. and Boyd, R., 1992. A conceptual model of estuarine sedimentation. *Journal of Sedimentary Petrology*, 62, 1130-1146.
 - De Vries, J. and Archibald, J.M., 2018. Plant evolution: landmarks on the path to terrestrial life. *The New Phytologist*, 217, 4, 1428-1434.
 - Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to their depositional texture. In: Ham W. E. (Ed.), *Classification of Carbonate Rocks*. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1, 108-121.

- Einsele, G., 2000. *Sedimentary Basins Evolution, Facies, and Sediment Budget* (2nd Edition). Springer-Verlag, Berlin, 628.
- Esrafil-Dizaji, B. and Rahimpour-Bonab, H., 2019. Carbonate reservoir rocks at giant oil and gas fields in sw Iran and the adjacent offshore: a review of stratigraphic occurrence. *Journal of Petroleum Geology*, 42, 4, 343-370
- Flugel, E., 2010. *Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application*. Springer-Verlag, Berlin, 984.
- Ghabeishavi, A., Vaziri-Moghaddam, H., Taheri, A. and Taati, F., 2010. Microfacies and depositional environment of the Cenomanian of the Bangestan anticline, SW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 37, 275-285.
- Ghazban, F., 2007. *Petroleum Geology of the Persian Gulf*. Tehran University Press, 707.
- Golonka, J. and Kiessling, W., 2002. Phanerozoic time scale and definition of time slices. *Society of Economic Paleontologist and Mineralogist, Special Publication*, 72, 11-20.
- Hashemi, S., Javaherian, A., Ataee-pour, M., Tahmasebi, P. and Khoshhal, H., 2014. Channel characterization using multiple-point geostatistics, neural network, and modern analogy: a case study from a carbonate reservoir, southwest Iran. *Journal of Application Geophysics*, 111, 47-58.
- Hassanzadeh Azar, J.M., Nabi-Bidhendi, A., Javaherian, A. and Pishvaie, M.R., 2009. Integrated seismic attributes to characterize a widely distributed carbonate clastic deposit system in Khuzestan Province, SW Iran. *Journal of Geophysics and Engineering*, 6, 162-171.
- Heydari, E., 2008. Tectonic versus eustatic control on supersequences of the Zagros mountain of Iran. *Tectonophysics*, 451, 56-70.
- Hollis, C., 2011. Diagenetic controls on reservoir properties of carbonate successions within the Albian-Turonian of the Arabian Plate. *Petroleum Geoscience*, 17, 3, 223-241.
- Hollis, C. and Sharp, I., 2011. Albian-Cenomanian-Turonian carbonate-siliciclastic systems of the Arabian Plate: advances in diagenesis, structure and reservoir modeling. *Petroleum Geoscience*, 17, 207-209.
- Honarmand, J., Nemati, M. and Monibi, S., 2009. Geological reservoir study of the Sarvak and Gadvan Formations in the Azadegan and Juffair Fields, wells AZN-8 and JR-4. Research Institute of Petroleum Industry, Unpublished Report, 174.
- James, G.A. and Wynd, J.G., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 49, 12, 2182-2245.
- Kelman, R., Feist, M., Trewin, N.H. and Hass, H., 2003. Charophyte algae from the Rhynie chert. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences*, 94, 4, 445-455.
- Khalili, M., 1974. The biostratigraphic synthesis of Bangestan Group in southwest Iran. Iranian Oil Operating Companies, Geological and Exploration Division, Report 1219, 76.
- Leliaert, F., Smith, D.R., Moreau, H., Herron, M.D., Verbruggen, H., Delwiche, C.F. and De Clerck, O., 2012. Phylogeny and molecular evolution of the green algae. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 31, 1-46.
- Marino, M. and Santantonio, M., 2010. Understanding the geological record of carbonate platform drowning across rifted Tethyan margins: Examples from the Lower Jurassic of the Apennines and Sicily (Italy). *Sedimentary Geology*, 225, 116-137.
- Martinez, J.I. and Hernandez, R.R., 1994. Evolution and drowning of the late cretaceous Venezuelan carbonate platform. *Journal of South American Earth Sciences*, 5, 2, 197-210.
- Mutti, M. and Hallock, P., 2003. Carbonate systems along nutrient and temperature gra-

- dients: some sedimentological and geochemical constraints. *International Journal of Earth Science*, 92, 4, 465-475.
- Nazeer, A., Abbasi, S.H.A. and Solangi, S.H., 2016. Sedimentary facies interpretation of Gamma Ray (GR) log as basic well logs in Central and Lower Indus Basin of Pakistan. *Geodesy and Geodynamics*, 7, 6, 432-443.
 - Nichols, G., 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*. Wiley-Blackwell, 419.
 - Nichols, M.M. and Biggs, R.B., 1985. Estuaries. In: Davis J. R. A. (Ed). *Coastal Sedimentary Environments*. Springer-Verlag, 77-173.
 - Piryaei, A., Reijmer, J., Van Buchem, F., Yazdi-Moghadam, M., Sadouni, J. and Danelian, T., 2010. The influence of Late Cretaceous tectonic processes on sedimentation patterns along the northeastern Arabian plate margin (Fars Province, SW Iran). In: Leturmy P. Robin C. (eds.) *Tectonic and stratigraphic evolution of Zagros and Makran during the Mesozoic-Cenozoic*. Geology Society, London, Special Publication, 330, 211-251.
 - Piryaei, A., Reijmer, J., Borgomano, J. and Van Buchem, F., 2011. Late Cretaceous tectonic and sedimentary evolution of the Bandar Abbas area, Fars region, southern Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 34, 157-180.
 - Prothero, D.R. and Schwab, F., 2014. *Sedimentary Geology (Third edition)*. W. H. Freeman and Company, 604.
 - Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Navidtalab, A., Omidvar, M., Enayati-Bidgoli, A.H., Sonei, R., Sajjadi, F., Amiri-Bakhtyar, H., Arzani, N. and Izadi-Mazidi, E., 2013. Paleo-exposure surfaces in Cenomanian-Santonian carbonate reservoirs in the Dezful embayment, SW Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 36, 335-362.
 - Razin, P., Taati, F. and Van Buchem, F., 2010. Sequence stratigraphy of Cenomanian-Turonian carbonate platform margins (Sarvak Formation) in the High Zagros, SW Iran: an outcrop reference model for the Arabian Plate. In: Van Buchem F. Gerdes K. D. and Esteban M. (Eds.), *Mesozoic and Cenozoic Carbonate Systems of the Mediterranean and the Middle East-Stratigraphic and Diagenetic Reference Models*. Geology Society, London, Special Publication, 329, 187-218.
 - Reinson, G.E., 1992. Transgressive barrier island and estuarine systems. In: Walker R. G. and James N. P. (Eds). *Facies models response to sea level change*. Geological Association of Canada, 179-194.
 - Schlager, W., Reijmer, J.J.G. and Droxler, A., 1994. Highstand shedding of carbonate platforms. *Journal of Sedimentary Research*, 64, 270-281.
 - Schlager, W., 2005. Carbonate sedimentology and sequence stratigraphy. *Society for Sedimentary Geology*, 8, 200.
 - Sepehr, M. and Cosgrove, J.W., 2004. Structural framework of the Zagros fold-thrust belt, Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 21, 829-843.
 - Setudehnia, A., 1978. The Mesozoic sequence in southwest Iran and adjacent areas. *Journal of Petroleum Geology*, 1, 3-42.
 - 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*, 2. Oriental Press, Manama Bahrian, 371.
 - Simmons, M., Sharland, P.R., Casey, D.M., Davies, R.B. and Sutcliffe, O.E., 2007. Arabian Plate sequence Stratigraphy: Potential implication for global chronostratigraphy. *GeoArabia*, 12, 4, 101-130.
 - Tucker, M.E., 2003. *Sedimentary Rocks in the Field* Department of Geological Sciences. University of Durham, UK, 252.
 - Van Buchem, F., Simmons, M.D., Droste,

- J. and Davies, R.B., 2011. Late Aptian to Turo-
nian stratigraphy of the eastern Arabian Plate-de-
positional sequences and lithostratigraphic nomen-
clature. *Petroleum Geoscience*, 3, 17, 211-222.
- Vincent, B., Van Buchem, F., Bulot, L.,
Jalali, M., Swennen, R., Hosseini, A. and Bagh-
bani, D., 2015. Depositional sequences, diagenesis
and structural control of the Albian to Turonian
carbonate platform systems in coastal Fars (SW
Iran). *Marine Petroleum Geology*, 63, 46-67.
 - Walker, R.G. and James, N.P., 1992. Fa-
cies models response to sea level changes. *Geo-
logical Association of Canada*, 409.
 - Wynd, A.G., 1965. Biofacies of the Ira-
nian Oil Consortium Agreement area. Iranian Oil
Operating Companies, Geological and Explora-
tion Division, Report 1082, 89.
 - Ziegler, M.A., 2001. Late Permian to Hol-
ocene paleofacies evolution of the Arabian Plate
and its hydrocarbon occurrences. *Geo-Arabia*, 6,
445-504.