

چینه‌نگاری سکانسی لرزه‌ای توالی سنومانین-تورونین سازند مخزنی سروک در دشت آبادان

سید ابوالفضل میری^{۱*}، بهمن سلیمانی^۲، ایرج عبدالهی فرد^۳ و محمد حسنی گیو^۴

۱- دانشجوی دکترا زمین‌شناسی نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲- استاد گروه زمین‌شناسی نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳ و ۴- دکترا زمین‌شناسی، مدیریت اکتشاف نفت، تهران، ایران

نویسنده مسئول: seyedabolfazl.miri@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۱/۱/۲۲ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۱۵

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

توالی رسوبی سنومانین-تورونین که با سازند سروک معرفی می‌شود، مهم‌ترین سازند مخزنی دشت آبادان را تشکیل می‌دهد. رخساره‌های مخزنی این سازند در این بازه زمانی به خاطر شرایط تکتونیکی و رسوبی دارای گسترش زمانی و مکانی متغیری هستند. در این مطالعه با استفاده از داده‌های زیرسطحی لرزه‌ای و چاه (نمودارهای پتروفیزیکی و برش‌های نازک مغزه) و همچنین مقایسه با داده‌های صحرائی رخنمون‌های ناحیه ایذه، تغییرات رخساره‌ای، محیط رسوبی و دیاژنتیکی سازند سروک در چارچوب چینه‌نگاری سکانسی، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. بررسی گسترش جانبی و عمودی توالی‌ها و کمربندهای رخساره‌ای بیانگر رسوب‌گذاری سازند سروک بر روی یک سکوی کربناته حاشیه‌دار و حوضه‌های درون سکویی است. با بررسی تغییرات رخساره‌ها و هندسه‌های رسوبی-لرزه‌ای به همراه داده‌های چاه، دیرینه‌شناسی، پتروفیزیکی و مقایسه با رخنمون‌ها، چهار سکانس رسوبی درجه سوم با میانگین سنی حدود ۴ میلیون سال در سازند سروک در بازه سنی سنومانین و تورونین تفکیک شده است. این سکانس‌ها شامل K120، K130 و K135 به ترتیب به سن سنومانین پیشین، سنومانین میانی و سنومانین پسین و سکانس K140 به سن اوایل تا اواسط تورونین هستند. این پژوهش نشان داد که گسترش و مهاجرت سیستم ترک‌های با زون‌های مخزنی سازند سروک همخوانی نشان می‌دهد. بهترین رخساره‌های مخزنی در سیستم ترک‌های تراز بالای آب دریا در رخساره‌های دانه‌افزون با تخلخل و نفوذپذیری بالا و متاثر از پدیده‌های دیاژنتیکی مانند انحلال و کارستی شدن قرار می‌گیرند. سکانس K135 بهترین رخساره‌های مخزنی حاوی هیدروکربن و از نوع سدی، رودیستی، کانالی را در منطقه تشکیل می‌دهد.

واژگان کلیدی: چینه‌نگاری سکانسی لرزه‌ای، محیط رسوبی، سیستم ترک، ویژگی‌های مخزنی، مرز سکانسی

پیشگفتار

تله‌های ساختمانی هستند؛ تغییرات خواص چینه‌ای توزیع هیدروکربن را بر روی برخی ساختمان‌های دشت آبادان مانند میدان آزادگان (عبدالهی فرد و همکاران، ۱۳۹۵؛ هوای و همکاران، ۲۰۱۳؛ دو و همکاران، ۲۰۱۶) کنترل می‌کند. با لحاظ نمودن تغییرات خواص چینه‌ای، ممکن است در قله یک ساختمان مخزن سروک آب‌خیز بوده ولی در یال‌های همان ساختمان هیدروکربن وجود داشته باشد (مانند میدان دوجیلا (Dujaila) در عراق، سعدونی و همکاران، ۲۰۰۵). دانش چینه‌نگاری سکانسی در اواخر دهه هفتاد میلادی با ارایه AAPG Mem 26 در مورد چینه‌نگاری لرزه‌ای شروع به توسعه نمود. (پیتون و همکاران، ۱۹۷۷). مطالعه تغییرات رخساره‌ای مخازن کربناته در چهارچوب چینه‌نگاری سکانسی با تلفیق

بخش بالایی سازند سروک در ناحیه دشت آبادان و برخی نواحی اطراف در ایران و معادل آن سازند میشریف در حوضه بین‌النهرین عراق به عنوان مهم‌ترین لایه مخزنی محسوب می‌شود (اکراوی و همکاران، ۲۰۱۰؛ ده‌یادگاری، ۲۰۱۹؛ بنی‌اسد و همکاران، ۲۰۲۱؛ علیپور و همکاران، ۲۰۲۱). با توجه به مطالعات انجام شده در ایران و کشورهای همسایه، سازند سروک از نظر رخساره‌های رسوبی و دیاژنتزی بسیار ناهمگن است (مهدی و همکاران، ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷؛ اسرافیلی‌دیزجی و همکاران، ۲۰۱۵؛ مهربابی و همکاران، ۲۰۱۵؛ اسعدی و همکاران، ۱۳۹۴، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸؛ داتا و همکاران ۲۰۱۹). علیرغم اینکه تله‌های اکتشاف شده در سازند سروک عمدتاً از نوع

روند تغییرات جانبی و عمودی ویژگی‌های مخزنی رخساره‌ها (تخلخل و تراوایی) را در مقیاس ناحیه و میدان پیش‌بینی کرد. سکناس‌های رسوبی رده سوم، بیش‌تر توسط تغییرات نسبی سطح آب دریا کنترل می‌شوند در عین حال این سکناس‌ها می‌توانند متأثر از تغییرات تکتونیک محلی یا ناحیه‌ای باشد (عبدالهی فرد و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۸؛ مهرابی و همکاران، ۲۰۱۴). در این پژوهش، برای درک درست از گسترش زمانی و مکانی رخساره‌های مخزنی به شرح سکناس‌های رسوبی سنومانین و تورونین (سازند سروک) پرداخته می‌شود. هدف از این مطالعه تحلیل ویژگی‌های مخزنی توالی رسوبی سنومانین-تورونین (سازند سروک) دشت آبادان با استفاده از مفاهیم چینه‌نگاری سکناسی- لرزه‌ای است.

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

ناحیه دشت آبادان در جنوب‌باختر فروربار دزفول از کمربند کوهزاد زاگرس واقع شده است (شکل ۱) و به‌خاطر وجود میداین نفتی فوق‌عظیم آزادگان و یادآوران یکی از نواحی حایز اهمیت محسوب می‌شود. گسل‌پیشانی زاگرس^۸ (بربریان و همکاران، ۱۹۹۵؛ سپهر و همکاران، ۲۰۰۴؛ علوی و همکاران، ۲۰۰۴؛ شرکتی و همکاران، ۲۰۰۵) را می‌توان مرز خاوری دشت آبادان در نظر گرفت. امتداد دشت آبادان در جنوب کشور عراق حوضه بین‌النهرین^۹ نامیده می‌شود که میداین نفتی بزرگ این کشور مانند میداین رومیلا و مجنون در آن واقع شده‌اند (اکراوی و همکاران، ۱۹۹۸ و ۲۰۱۰). همچنین ناحیه شمال باختر خلیج فارس را می‌توان ادامه ناحیه دشت آبادان در نظر گرفت (عبدالهی فرد و همکاران، ۲۰۰۶).

دشت آبادان از دیدگاه زمین‌شناسی ساختمانی بخشی از حوضه پیش‌گودال^{۱۰} کوهزاد زاگرس محسوب می‌شود. به عبارت دیگر، دشت آبادان بخشی از یک گودی در جلوی کمربند زاگرس بوده که هنوز چین‌خوردگی‌های بزرگ با روند زاگرسی (شمال باختری- جنوب خاوری) در این ناحیه تشکیل نشده‌اند. ساختمان‌های شناخته شده دشت آبادان مشابه با ساختمان‌های جنوب عراق عمدتاً متأثر از

اطلاعات به شناسایی و توصیف هر چه بهتر الگوها و روندهای توزیع ویژگی‌های مخزنی می‌انجامد. همچنین پدیده‌های دیاژنزی مانند انحلال در مرزهای سکناسی گسترش می‌یابند که بر شکل‌گیری رخساره‌های مخزنی تاثیرگذار هستند (اسعدی و همکاران، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸). داده‌های رسوب‌شناسی، پتروفیزیکی و لرزه‌نگاری سه‌بعدی به عنوان ابزاری موثر در تجزیه و تحلیل و به‌نقشه درآوردن سکناس‌ها محسوب می‌شوند. سکناس‌های رسوبی و تغییرات مربوطه را در چاه‌ها فقط به صورت نقطه‌ای می‌توان تعریف نمود و برای شناسایی و توصیف سه‌بعدی آن‌ها از مکعب لرزه‌نگاری استفاده می‌شود. مطالعه چینه‌نگاری سکناسی لرزه‌ای بر مبنای اصل هم‌زمانی رسوبی بازتابنده‌های لرزه‌ای (پیتون، ۱۹۷۷؛ سارگ و همکاران، ۱۹۸۸؛ کاتونینو، ۲۰۱۷) انجام می‌شود. از داده‌های لرزه‌نگاری برای توصیف شکل هندسی توده‌های رسوبی و رخساره‌های لرزه‌ای سروک و شناسایی پایان‌پذیری^۱ بازتابنده‌های لرزه‌ای استفاده می‌گردد. همچنین با توجه به ارتباط هندسه‌ها و الگوهای مشاهده شده در مقاطع لرزه‌نگاری با محیط رسوبی و جایگاه سکناسی (پیتون، ۱۹۷۷؛ سارگ و همکاران، ۱۹۸۸) جهت مهاجرت کمربندهای رخساره‌ای به سمت حوضه رسوبی مشخص می‌گردد. از شواهد مورد استفاده جهت شناسایی مرزهای سکناسی (SB) بر روی مقاطع لرزه‌نگاری می‌توان از کارست‌های^۲ بزرگ‌مقیاس و یا فروچاله‌ها^۳، کانال‌های فرسایشی، پایان‌پذیری و یا بالا‌هم‌پوشانی^۴ بازتابنده‌های لرزه‌ای زیر مرز سکناسی و روه‌م‌پوشانی^۵ آن‌ها بر روی مرزهای سکناسی استفاده کرد. همچنین در سطوح حداکثر پیشروی دریا (MFS)^۶، بازتابنده‌های لرزه‌ای عموماً پیوستگی جانبی و دامنه بالایی داشته و بر روی این سطوح هندسه زیرهم‌پوشانی^۷ قابل مشاهده است. با توجه به اینکه رخساره‌های مخزنی سازند کربناته سروک توسط محیط رسوب‌گذاری و فرایندهای دیاژنتیکی کنترل می‌شوند (رحیم‌پوربناب و همکاران، ۲۰۱۳؛ مهرابی و همکاران، ۲۰۱۵؛ کانترل و همکاران، ۲۰۲۰؛ چن و همکاران، ۲۰۲۱، سبجانی و همکاران، ۱۴۰۰)، بنابراین با ایجاد یک چهارچوب چینه‌نگاری سکناسی معتبر در رده سوم می‌توان

⁶ Maximum Flooding Surface (MFS)

⁷ downlap

⁸ Zagros Frontal Fault (ZFF)

⁹ Mesopotamian Basin

¹⁰ Foredeep basin

¹ Termination

² karst

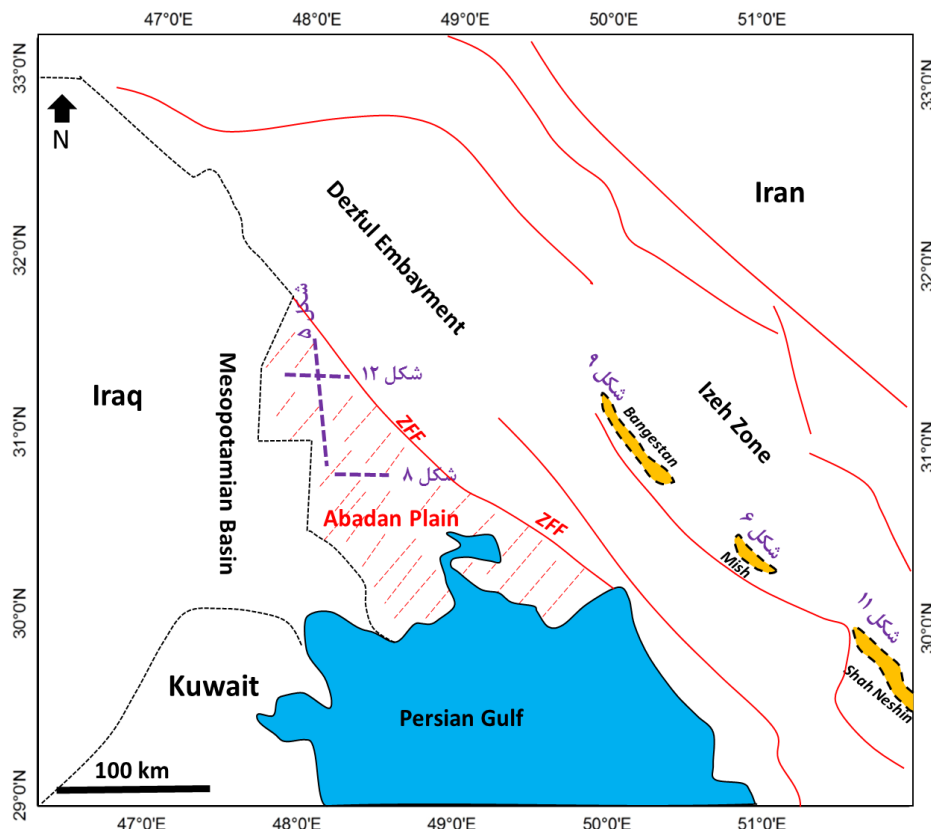
³ sinkhole

⁴ toplap

⁵ onlap

زاگرس در اثر وزن و سنگینی این رشته کوه به وجود آمده است و حالت نامتقارن دارد و عمق آن در سمت جنوب باختری که به کمربند زاگرس نزدیک می‌شویم بیش‌تر است (پیروز و همکاران، ۲۰۱۱).

ساختارهای عمیق و یا پی‌سنگی بوده و روند ساختاری پان آفریقایی (شمالی- جنوبی) در این ناحیه غالب است (الحسینی و همکاران، ۲۰۰۰؛ بهرودی و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین این ساختمان‌ها می‌توانند متاثر از نمک نیز باشند (عبدالهی فرد و همکاران، ۲۰۰۶). حوضه پیش‌گودال

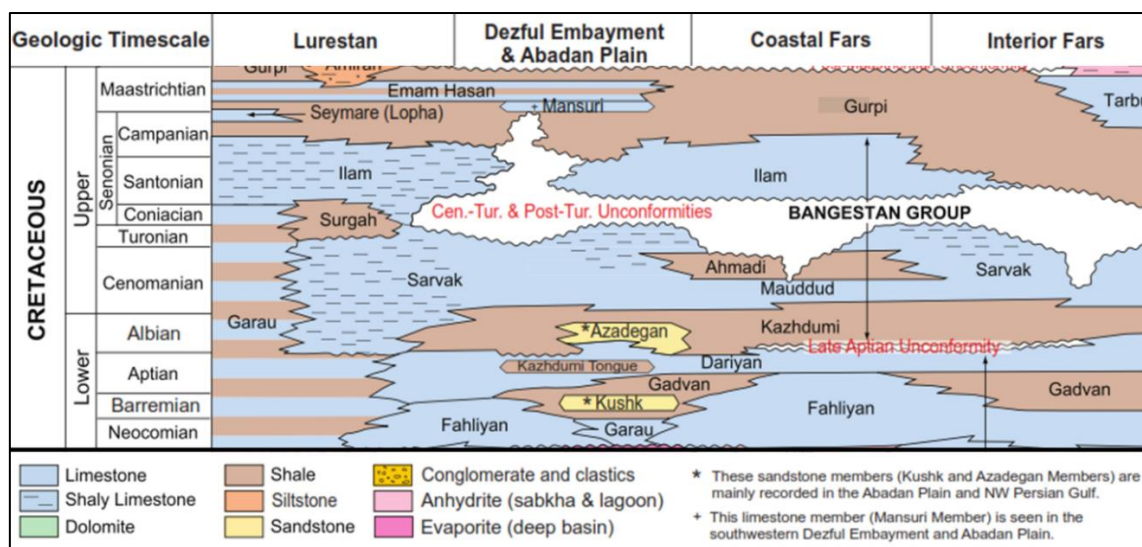


شکل ۱. جایگاه دشت آبادان (هاشور قرمز) نسبت به فروبار دزفول و گسل پیشانی زاگرس (ZFF). حوضه بین‌النهرین عراق و شمال باختر خلیج فارس به همراه موقعیت برش‌های لرزه‌ای تفسیر شده (خط چین بنفش) و محل برش‌های سطحی مطالعه شده (تاق‌دیس‌های بنگستان، میش و شاه‌نشین).

همکاران، ۲۰۱۴)، که سبب گسترش بلندساخت‌های کومه‌ای رودیستی (اسرافیلی‌دیزجی و همکاران، ۲۰۱۰) و فروافتادگی‌های درون سکویی نیمه‌عمیق با رخساره الیگوستژینا و لاگون‌های کم‌عمق حاشیه حوضه گردیده است (پیریایی و همکاران، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱؛ رحیم‌پورناب و همکاران، ۲۰۱۳؛ مهربابی و همکاران، سبحانی و همکاران، ۱۴۰۰)، همچنین به دلیل مهاجرت جانبی کمربند‌های مختلف رخساره‌ای، سن بخش‌های مختلف سازند سروک در مناطق مختلف زاگرس و صفحه عربی یکسان نبوده و غیرهمزمان^۱ است (ون‌بوخوم و همکاران، ۲۰۱۱؛ وینسنت و همکاران، ۲۰۱۵؛ کانترل و همکاران، ۲۰۲۰؛ چن و همکاران، ۲۰۲۱).

توالی رسوبی سنومانین و تورونین (سازند سروک) این ناحیه در یک سکوی کرناته با یک روند کم‌عمق شونده به سمت بالا نهشته شده است که حوضچه‌های درون سکویی را در خود جای داده‌اند (پیریایی و همکاران، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱؛ ون‌بوخوم و همکاران، ۲۰۱۱). سازند سروک که در سنومانین و تورونین گسترش دارد خود از بخش‌های مدود، احمدی و میشریف تشکیل شده است (شکل) که به ترتیب در موقعیت‌های رسوبی رمپ کرناته، حوضه درون سکویی و موقعیت‌های سکویی و حاشیه سکویی تشکیل شده‌اند. ناپایداری زمین‌ساختی و تغییرات زیستی باعث تغییرات فیزیوگرافی و توپوگرافی حوضه رسوبی زمان سنومانین تا تورونین شده (حاجی‌کاظمی و همکاران، ۲۰۱۰؛ مهربابی و

¹ diachronous



شکل ۲. جایگاه سازند سروک در ستون چین‌نگاری کرتاسه زاگرس (برگرفته از جیمز و وایند ۱۹۶۵)

داده‌ها و روش کار

این پژوهش بر مبنای تجزیه و تحلیل اطلاعات مختلفی از جمله تعداد ۵ چاه اکتشافی و حدود ۱۰۰۰ برش‌نازک میکروسکوپی، نمودارهای پتروفیزیکی درون چاهی، داده‌های لرزه‌نگاری سه‌بعدی و مشاهدات صحرایی انجام شده است. مکعب لرزه‌نگاری سه‌بعدی اصلی مورد استفاده دارای فولد برداشت ۴۸، اندازه بین ۲۵ متر و محتوا فرکانس غالب ۱۵ تا ۴۰ هرتز می‌باشد. بررسی برش‌نازک میکروسکوپی و واکاوی ریزرخساره‌های رسوبی به بازسازی محیط‌های رسوبی سازند سروک انجامید. برای تعریف سکانس‌های رسوبی از اطلاعات چاه‌ها شامل داده‌های رسوب‌شناسی، فسیل‌شناسی و نمودارهای پتروفیزیکی و همچنین داده‌های لرزه‌نگاری سه‌بعدی مانند نشانگرهای لرزه‌ای و مقاومت صوتی استفاده شده است. از پلاتفرم پترل جهت تفسیر لرزه‌نگاری، تهیه نشانگرهای لرزه‌ای و مقایسه با سایر اطلاعات زمین‌شناسی استفاده شده است. با توجه به اینکه در توالی‌های کربناته، هر سکانس رسوبی با تغییرات رخساره‌های رسوبی و دیاژنزی و در نتیجه با تغییرات تخلخل همراه است، این تغییرات بر روی نمودارهای پتروفیزیکی و مکعب‌های لرزه‌نگاری به ویژه مکعب مقاومت صوتی^۱ (حاصل ضرب سرعت در چگالی) مشخص شدند. همچنین الگوهای سکانس‌های رسوبی با رخنمون توالی‌های سروک در کمربند زاگرس به عنوان

مدل آنالوگ مقایسه شده است. لازم به ذکر است که تفسیر اطلاعات لرزه‌نگاری در این پژوهش به پشتوانه سایر اطلاعات زمین‌شناسی بوده است و به ناچار تا حدی نظر و تجربه مفسر هم در نظر گرفته شده است.

ریزرخساره‌ها و محیط‌های رسوبی

مطالعه برش‌های نازک میکروسکوپی و بررسی تغییرات ریزرخساره‌ها، فرایندهای دیاژنتیکی و محیط‌های رسوبی به شناخت مناسب از سیستم ترکت‌های^۲ در سکانس‌های رسوبی منجر می‌شود. مطالعه ریزرخساره‌های رسوبی، نشانگر رسوب‌گذاری سازند سروک در محیط‌های رسوبی لاگون، پشت سدی^۳، جلوی سدی^۴، دریای باز کم عمق و ژرف است (شکل). در محیط لاگونی، فراوانی با ریزرخساره‌های وکستون و سپس مادستون و پکستون بیوکلاستی بوده و دربرگیرنده طیف گسترده‌ای از اجزاء اسکلتی از جمله آلویولین^۵ و میلیولید^۶ است (شکل A-). در محیط پشت سدی، ریزرخساره‌های پکستون بیوکلاستی غالب هستند (شکل B-). محیط سدی با ریزرخساره‌های گرینستون و پکستون بیوکلاستی دربردارنده خرده‌های بیوکلاست نظیر رودیست، مرجان و روزن‌بران کفزی مشخص می‌شوند (شکل C-). محیط جلوی سدی با ریزرخساره‌های پکستون بیوکلاستی عموماً دارای خرده‌های رودیست و متاثر از فرایندهای دیاژنتیکی

^۵ foreshoal

^۶ alveolinid

^۷ miliolid

^۱ acoustic impedance

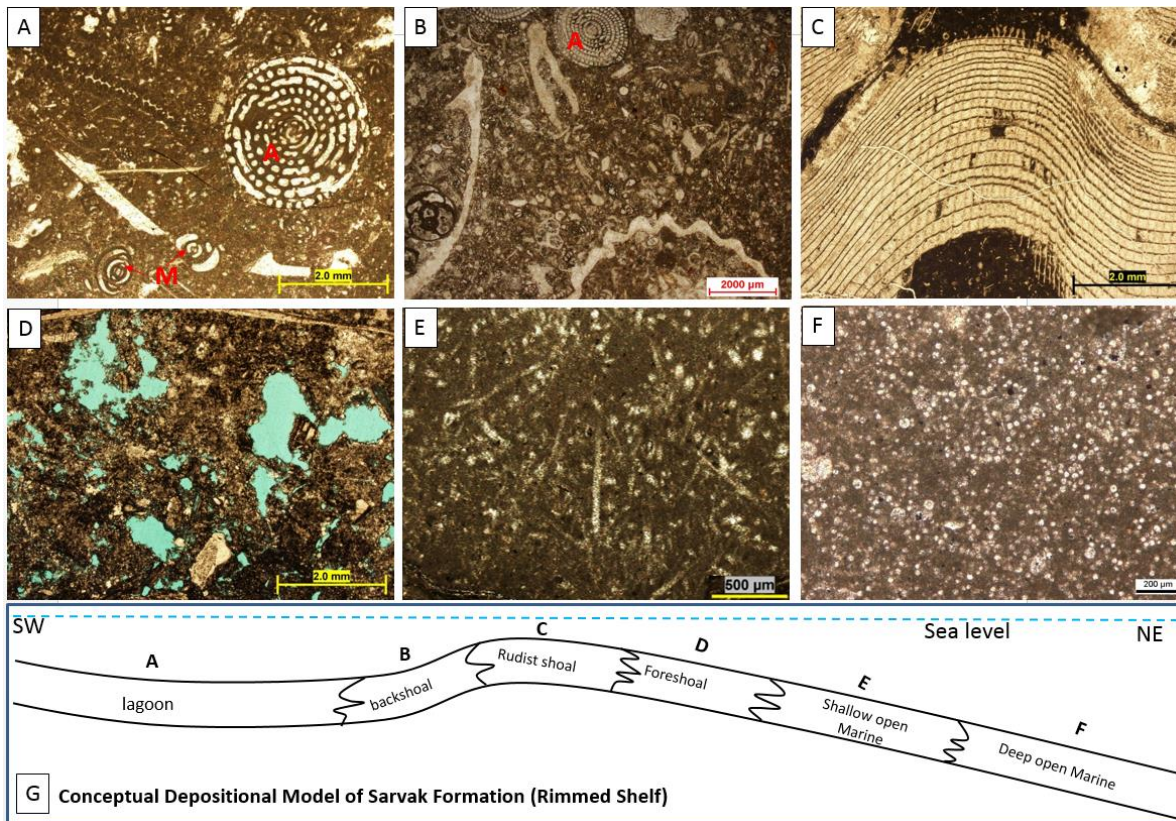
^۲ Systems tracts

^۳ backshoal

^۴ shoal

پلانکتون است. چیدمان ریزرخساره‌های رسوبی در مجموع نشانگر رسوب‌گذاری سازند سروک بر روی یک سکوی کربناته حاشیه‌دار^{۱۰} و حوضه‌های درون سکویی در محدوده مورد مطالعه است (شکل - G).

مانند کارستی شدن مشخص می‌شوند (شکل - D). محیط رسوبی دریای باز شامل ریزرخساره‌های وکستونی تا مادستونی بوده که دارای اجزاء اسکلتی سوزن اسفنج^۸ (شکل - E)، الیگوستیژینید^۹ (شکل - F) و روزن‌بران



شکل ۳. ارتباط ریزرخساره‌ها و محیط‌های رسوبی در سازند سروک. (A) ریزرخساره وکستون بیوکستنی شامل اجزاء اسکلتی آلونولین (A) و میلیولید (M) نشان‌دهنده محیط لاگونی کم عمق و کم انرژی با تخلخل کم و میکربیت فراوان (نمونه از عمق ۲۱۵۰ متری سروک بالایی). (B) ریزرخساره پکستون بیوکستنی در بردارنده فسیل‌های آلونولین و میلیولید، دوکفه‌ای و خرده‌های رودیست که نشانگر محیط کم عمق و با انرژی پشت سدی است (نمونه از عمق ۲۱۹۰ متری سروک بالایی). (C) ریزرخساره فریمستون رودیستی در محیط سدی کم عمق و پرانرژی و با تخلخل زیاد (نمونه از عمق ۲۲۲۰ متری سروک بالایی). (D) ریزرخساره وکستون بیوکستنی محیط جلوی سدی حاوی خرده‌های رودیست که به شدت تحت تاثیر انحلال قرار گرفته و دارای تخلخل ثانویه است (نمونه از عمق ۲۲۹۰ متری سروک بالایی). (E) ریزرخساره وکستون سوزن اسفنج آهکی که بازگوکننده محیط دریای باز کم ژرفا است (نمونه از عمق ۲۴۸۰ متری سروک پایینی). (F) ریزرخساره وکستون الیگوستیژینیددار که نشانگر محیط دریای باز عمیق است (نمونه از عمق ۲۵۱۰ متری سروک پایینی). (G) مدل رسوبی مفهومی که در کل بیانگر رسوب‌گذاری سازند سروک بر روی یک سکوی کربناته حاشیه‌دار و حوضه‌های درون سکویی در منطقه مورد مطالعه است.

چینه‌نگاری سکانسی-لرزه‌ای

(شارلند و همکاران ۲۰۰۱؛ دیویس و همکاران، ۲۰۱۹؛ برمه‌د و همکاران، ۲۰۲۲) از K120 تا K140 نام‌گذاری شده‌اند. علاوه بر این یک سکانس محلی به نام K135 در این مطالعه شناسایی و تفکیک شده است. سکانس‌های رسوبی K120، K130 و K135 را به ترتیب و به صورت حدودی به سن سنومانین پیشین، سنومانین میانی، سنومانین پسین و سکانس K140 را به سن اوایل تا اواسط

در این مطالعه، چهار سکانس رسوبی درجه سوم در توالی رسوبی متناسب به سازند سروک با تلفیق و بررسی هم‌زمان اطلاعات زیرسطحی (چاه و لرزه‌نگاری) و سطحی (رخمون‌های سازند سروک) شناسایی و تفکیک شده است (شکل). سه سکانس به صورت هماهنگ با چارچوب سکانسی صفحه عربی و در بخش بالایی ابرسکانس AP8

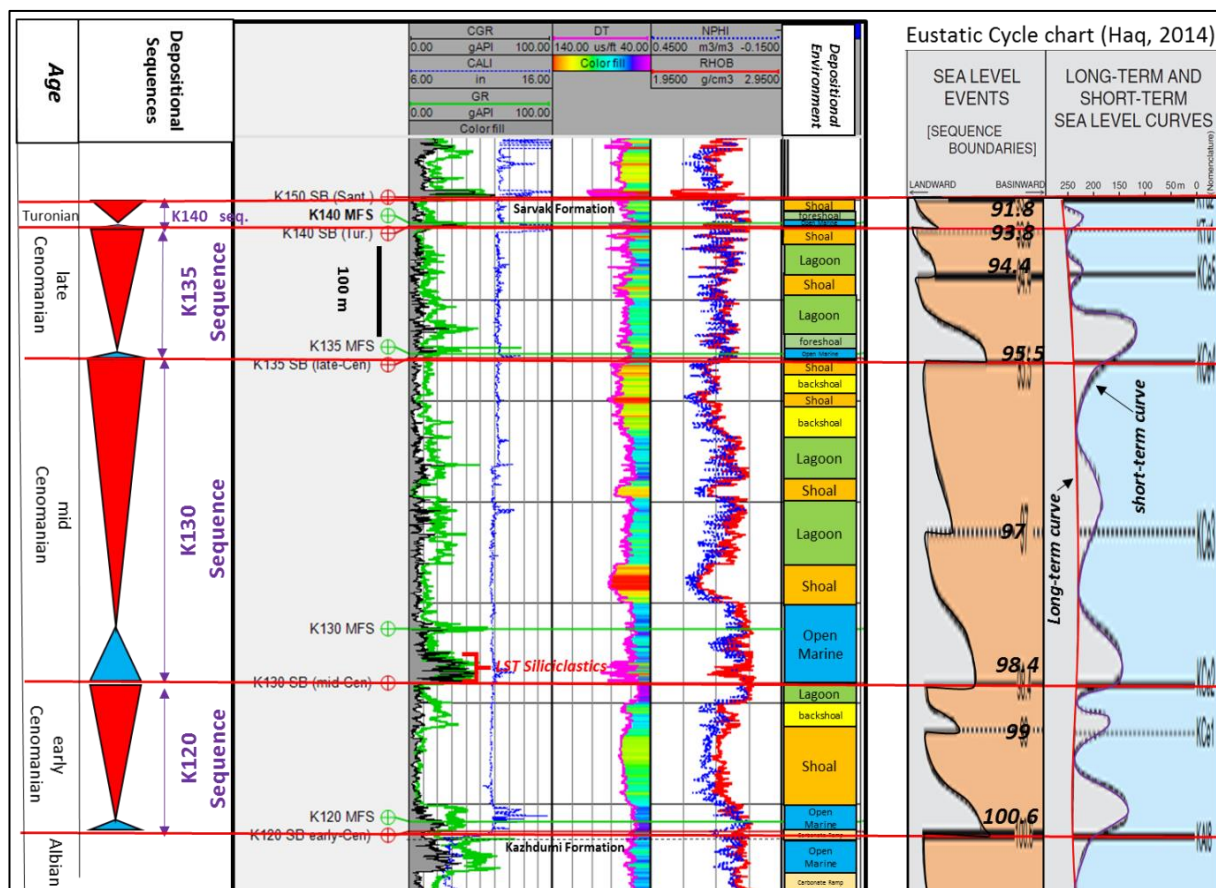
¹⁰ Rimmed Shelf

⁸ Sponge spicule

⁹ Oligosteginid

به این نمودار، این سکانس‌ها با میانگین سنی حدود ۴ میلیون سال دربرگیرنده بازه زمانی ۱۰۰/۶ تا ۹۱/۸ میلیون سال پیش می‌باشند.

تورونین بر اساس داده‌های دیرینه‌شناسی و مقایسه آن‌ها با نمودار تغییرات جهانی سطح آب دریا (حق، ۲۰۱۴؛ رایت و همکاران، ۲۰۲۰) نسبت داده شده است (شکل). با توجه



شکل ۴. چارچوب سکانس‌های رسوبی سازند سروک و سن زمین‌شناسی آن‌ها (از سنومانین تا تورونین) به همراه نمودارهای پتروفیزیکی و محیط‌های رسوبی در یکی از چاه‌های مورد مطالعه و مقایسه این سکانس‌ها با منحنی تغییرات و وقایع جهانی سطح آب دریا (حق، ۲۰۱۴).

مثال در قاعده سکانس K130، رسوبات تخریبی ریز دانه مرتبط با این سیستم ترکت به منطقه مورد مطالعه وارد شده‌اند. تشخیص سیستم ترکت‌های پیش‌رونده^۳ (TST) این سکانس‌ها با مشاهده روند عمیق‌شدگی به طرف ریزرخساره‌های وکستونی دریای باز کم عمق تا عمیق (شکل) همراه بوده است. در این مطالعه، مجموع بخش‌های LST احتمالی (با توجه به توسعه کم) و TST با همدیگر در نظر گرفته می‌شوند. سیستم ترکت‌های تراز بالا^۳ (HST) با روند کم عمق‌شدگی به طرف تناوبی از محیط‌های پرانرژی و کم‌انرژی مورد شناسایی قرار گرفته است. این محیط‌های کم‌عمق به دلیل محتوای رس کم با مقادیر پایین در نمودار^۴ CGR مشخص می‌شوند (شکل).

برای تعریف سیستم ترکت‌ها و سکانس‌ها در موقعیت چاه‌ها به الگوهای نمودارهای پتروفیزیکی و تغییرات محیط‌های رسوبی توجه شده است. در حالت کلی، این سکانس‌ها با محیط‌های رسوبی نزدیک‌تر به حوضه و عموماً عمیق‌تر شروع و به محیط‌های نزدیک‌تر به خط ساحلی و عموماً کم‌عمق‌تر ختم می‌شوند. ممکن است در هر یک از این سکانس‌های درجه سوم، محیط رسوبی بین کم عمق و عمیق چندین بار تغییر کند که این موضوع حاکی از سکانس‌های درجه چهارم است. بطور کلی سیستم ترکت‌های تراز پایین سطح دریا^۱ (LST) به علت رسوب‌گذاری بر روی سکوی کربناته و عدم خروج از آب، توسعه ناچیزی دارند و تنها در برخی از موارد به عنوان

^۳ Highstand Systems Tract (HST)

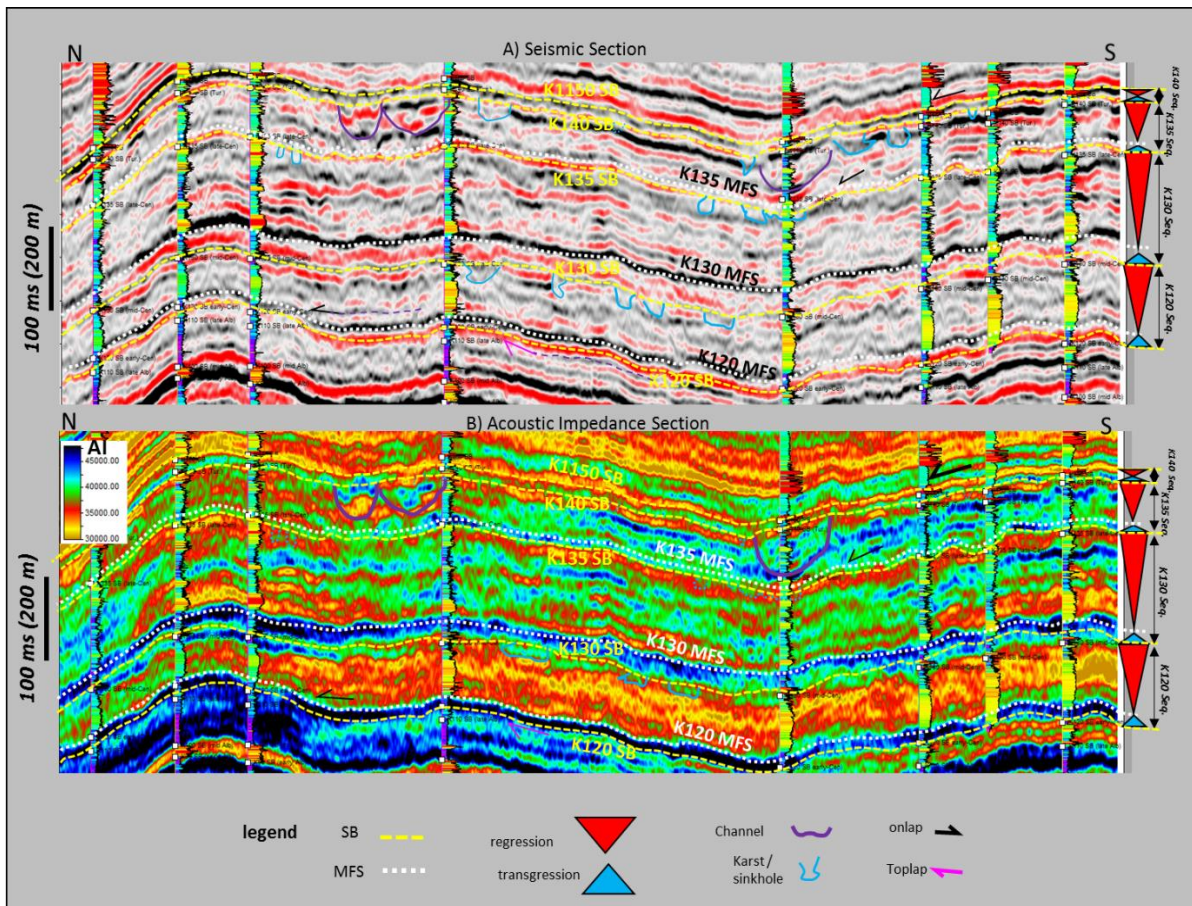
^۴ Computed Gamma Ray (CGR)

^۱ Lowstand Systems Tract (LST)

^۲ Transgressive Systems Tract (TST)

لرزه‌نگاری با راستای شمالی-جنوبی و برش مقاومت صوتی مستخرج از آن در شکل نشان داده شده است. در این شکل، مرزهای سکansı (SB)، سطوح حداکثر پیشروی آب دریا (MFS) و برخی شواهد لرزه‌ای سکانس‌ها نظیر روه‌میوشانی، زیرهمیوشانی، کارست‌های بزرگ و کانال-های رسوبی نمایش داده شده‌اند. بازتابش‌های مربوط به سیستم ترکت پیشرونده (غالباً با محیط رسوبی دریای باز) پیوستگی زیاد (شکل A-) و مقادیر مقاومت صوتی بالا (شکل B-) و سطوح MFS با زیرهمیوشانی بازتابنده‌های بالایی شناسایی شده‌اند. همچنین بخش HST، شامل عمدتاً محیط رسوبی سدی (مقاومت صوتی پایین) و لاگونی (مقاومت صوتی متوسط تا زیاد) بوده (شکل B-) و بازتابش‌های لرزه‌ای از پیوستگی کمتری (شکل A-) برخوردار هستند.

محیط‌های پرانرژی و کم‌عمق شامل محیط‌های سدی و جلوی سد (شکل) هستند. در این شرایط محیطی به دلیل کمبود میکریتم و فراوانی دانه‌های کربناته مانند رخساره‌های گریستون رودیستی و مرجانی، میزان تخلخل به شرط سیمانی نشدن زیاد بوده و مقدار پرتو گاما SGR^۵ پایین است (شکل). محیط‌های کم‌انرژی و کم‌عمق شامل محیط‌های لاگونی و پشت‌سدی (شکل) با مقادیر تخلخل کم تا متوسط بوده و عموماً در نمودار SGR به دلیل تجمع اورانیوم، میزان نسبتاً بالایی را نشان می‌دهد. با توجه به نمودارهای پتروفیزیکی، در مجموع توالی سازند سروک در ناحیه مورد مطالعه تناوبی از رخساره‌های پرانرژی با محتوای اورانیوم کم معمولاً متخلخل و رخساره‌های کم‌انرژی با محتوای اورانیوم بالا با تخلخل کمتر می‌باشد (شکل). سکانس‌های رسوبی رده سوم تفکیک شده در مطالعه حاضر بر روی یک برش از مکعب سه‌بعدی

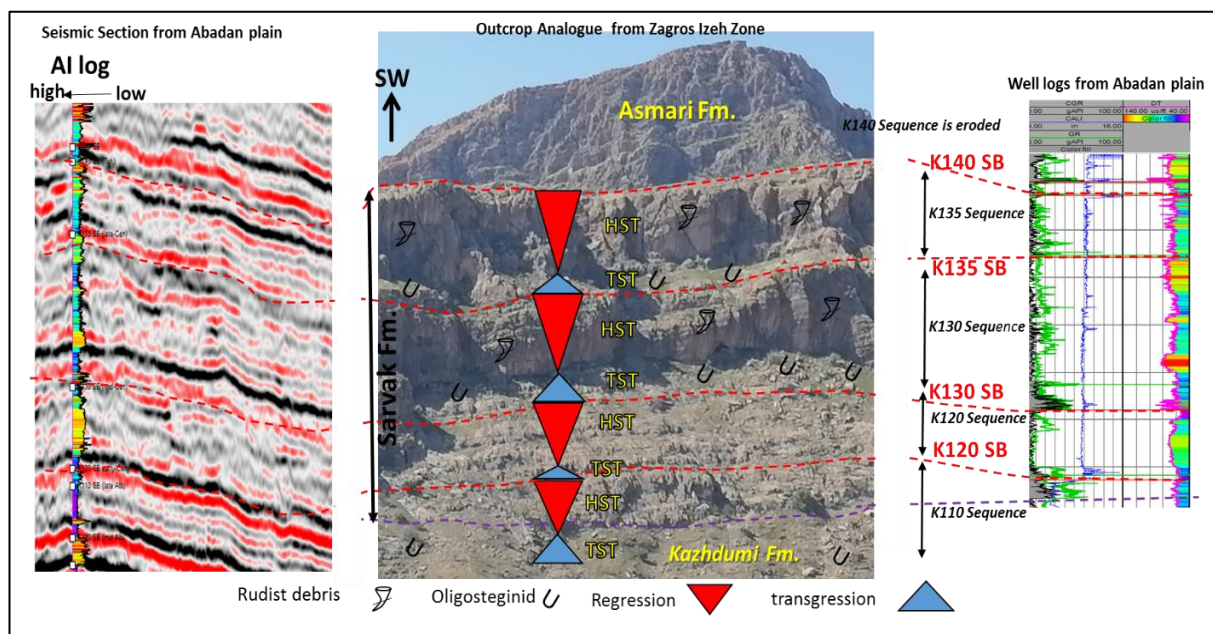


شکل ۵. نمایش سکانس‌های رسوبی سازند سروک بر روی برش از مکعب سه‌بعدی لرزه‌نگاری در راستای شمالی-جنوبی (A) (موقعیت در شکل) و برش مقاومت صوتی (B). سرعت بازه‌ای سازند سروک حدود ۴۰۰۰ متر بر ثانیه است که برای مقایسه مقایسه زمانی و عمقی استفاده می‌شود.

⁵ Spectral Gamma Ray (SGR)

می‌شود. غلبه و فراوانی رودیست‌ها نشانگر تولید بالای کربنات و فراهم بودن فضای رسوب‌گذاری است (سعدونی و همکاران، ۲۰۰۵؛ اسرافیلی‌دیزجی و همکاران، ۲۰۱۵). همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود، در برش یال جنوبی کوه میش سکناس‌های رسوبی سازند سروک، یک توالی کلی بسوی بالا ضخیم‌شونده و کم ژرفا شونده را نشان داده و رخساره‌های سدی و رودیستی بسوی بخش‌های عمیق‌تر حوضه رسوبی پیش‌نشینی^۱ کرده‌اند.

جهت افزایش دقت مطالعه، چارچوب سکناس‌های رسوبی در رخنمون‌های سازند سروک در کمربند چین‌خورده زاگرس به عنوان مدل آنالوگ مورد بررسی گرفت و با اطلاعات چاه‌ها و لرزه‌نگاری دشت آبادان مقایسه شد. برای نمونه، تغییرات رسوبی توالی سنومانین تا تورونین (سازند سروک) در کوه میش با مطالعات زیرسطحی ناحیه دشت آبادان تا حدی شباهت نشان می‌دهد (شکل). در این برش و در دشت آبادان، سازند سروک با غلبه توالی بیوهرم‌ها و سدهای کربناته رودیستی با کمربندهای لاگونی مشخص



شکل ۶. مقایسه چهارچوب سکناسی سنومانین و تورونین در اطلاعات چاه و لرزه‌نگاری دشت آبادان با رخنمون سازند سروک یال جنوبی تاقدیس کوه میش (موقعیت در شکل). با وجود اینکه کوه میش از نظر تاریخچه چین‌نگاری و تکنونیک با دشت آبادان متفاوت است، ولی می‌توان از اطلاعات رخنمون سطحی به عنوان مدل آنالوگ در تفسیر اطلاعات زیرسطحی دشت آبادان استفاده کرد. در رخنمون کوه میش رخساره‌های رودیستی، سدی و لاگونی مرتبط با بالابودن تراز آب دریا (HST) بر روی رخساره‌های کربناته رسی حاوی الیگوستیژینا مربوط به پیشروی دریا (TST) پیش‌نشینی می‌کنند. همچنین نمودار مقاومت صوتی جهت نمایش خواص زمین‌شناسی بر روی مقطع لرزه‌نگاری آورده شده‌است.

سازند سروک را تشکیل می‌دهد. لازم به ذکر است که در منطقه مورد مطالعه، تبدیل تدریجی سکوی رمپ به سکوی حاشیه‌دار در زمان سنومانین پیشین شروع شده و با آغاز تکاپوهای زمین‌ساختی همراه بوده است (کراس و همکاران، ۲۰۱۰؛ ون‌بوخم و همکاران، ۲۰۱۱؛ وینسنت و همکاران، ۲۰۱۵؛ برمه‌د و همکاران ۲۰۲۲). بخش TST این سکناس بیش‌تر از ریزرخساره‌های وکستونی دریای باز کم‌عمق تا عمیق حاوی اجزای سوزن اسفنج، الیگوستیژینید و روزن‌بران پلانکتون تشکیل شده است.

سکناس‌های رسوبی

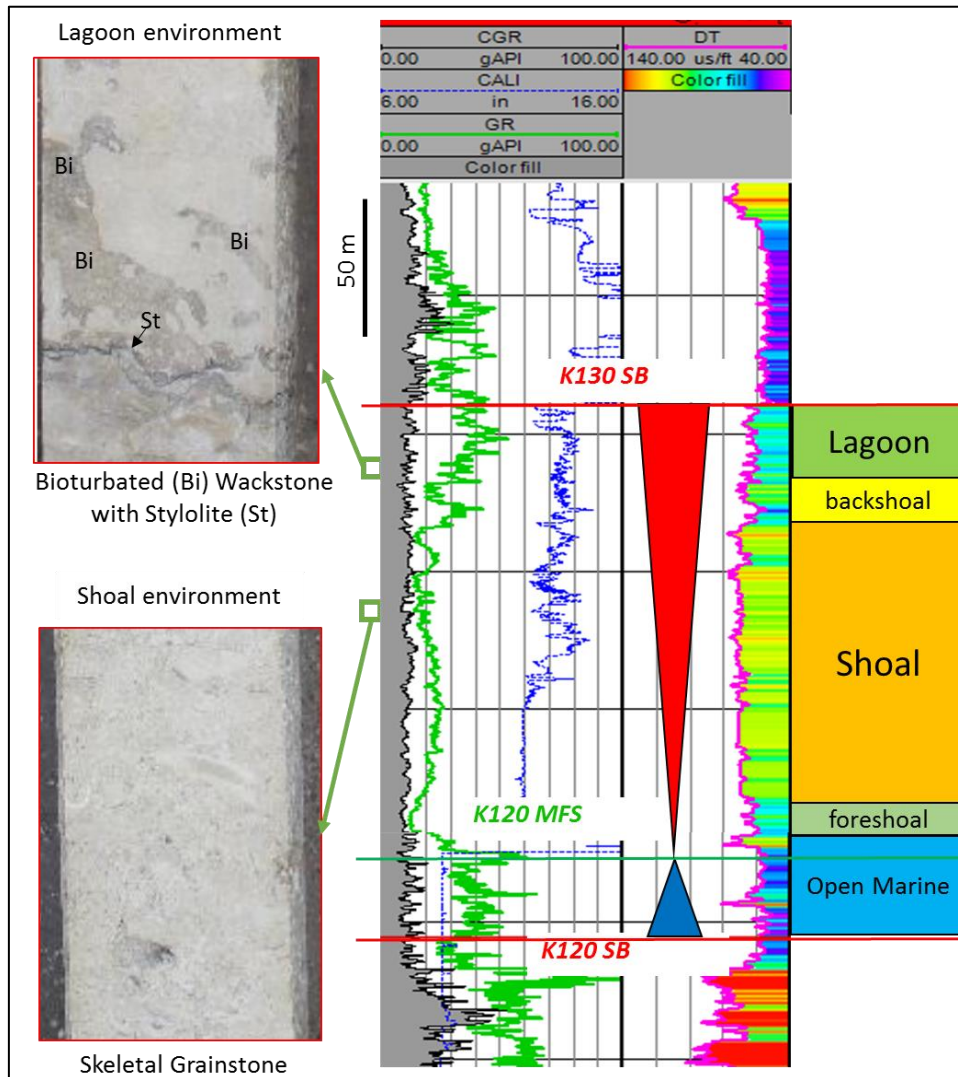
سکناس رسوبی K120

سکناس رسوبی K120 با سن تقریبی سنومانین پیشین و متوسط ضخامت ۱۹۰ متر در تمامی ناحیه مورد مطالعه گسترش دارد. مرز پایینی این سکناس فاقد شواهد خروج از آب (از نوع SB2) تشخیص داده شده و بر روی یک لایه آهکی کم‌ضخامت به سن آلبین پسین قرار می‌گیرد (شکل ۹). این لایه آهکی در سکوی رمپ کربناته نهشته شده و بخش بالایی HST سکناس K110 و پایین‌ترین واحد در

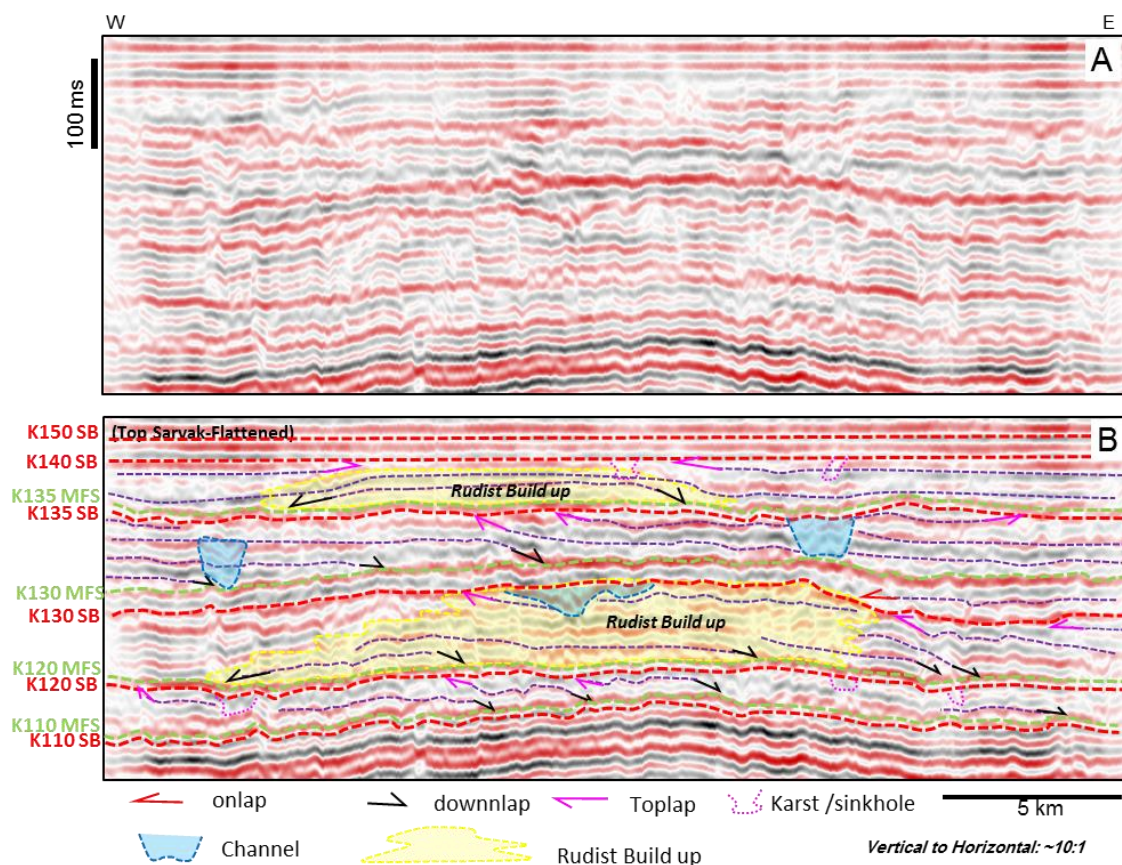
¹ progradation

نهشته شده‌اند (شکل‌های ۵ و شکل ۶). همچنین تجمعات رودیستی همراه با حفرشدگی کانالی بالای آن از ویژگی‌های شاخص بخش HST است که در خطوط لرزه‌نگاری قابل مشاهده است (شکل ۷). با توجه به این شکل، رخساره‌های رودیستی بیش‌تر دارای بازتابنده‌های درهم هستند که با دور شدن از کومه‌های رودیستی بازتابش منظم، موازی و پیوسته را نشان می‌دهند. از سوی دیگر، ضخامت و تخلخل در بخش HST این سکانس از سمت جنوب به سمت شمال منطقه کاهش می‌یابد که این روند با تغییر محیط‌های رسوبی پارانرژی و سدی به محیط لاگون و کم‌انرژی همراه است (شکل ۸). بخش HST این سکانس علی‌رغم تخلخل مناسب، در اکثر چاه‌های منطقه آب خیز است.

این سیستم ترک‌ت در تمام ناحیه مورد مطالعه گسترش داشته و قابل ردیابی براساس نمودارهای درون‌چاهی و بازتابنده‌های لرزه‌ای می‌باشد. بر روی بازتابنده مربوط به سطح حداکثر پیشروی این سکانس در مقاطع لرزه‌نگاری روه‌مپوشانی بازتابنده‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۹). با توجه به عمیق بودن این سیستم ترک‌ت، میزان مواد آلی و اورانیوم آن قابل توجه بوده و سبب قرائت مقادیر بالای نمودار پرتوگاما می‌شود (میری و توکلی، ۱۳۹۰) به گونه‌ای که نمودار SGR بالاتر از CGR است (شکل‌های شکل و شکل ۱۰). بخش HST در بیش‌تر چاه‌های مورد مطالعه در پایین این سکانس با محیط رسوبی سدی و رخساره گرینستونی حاوی خرده‌های اسکلتی با ضخامت و تخلخل زیاد شروع می‌شود و در ادامه محیط‌های محیط پشت سدی و لاگونی با رخساره وکستونی و آشفته‌گی‌های زیستی و تخلخل کمتر



شکل ۷. محیط‌های رسوبی سدی و لاگونی و رخساره‌های مربوطه و درمغزه‌ها و نمودارهای پتروفیزیکی در سکانس رسوبی K120 یکی از چاه‌های مورد مطالعه



شکل ۸. A) یک برش لرزه‌نگاری شرقی-غربی در منطقه مورد مطالعه (موقعیت در شکل B) تفسیر ختم‌شدگی‌های چینه‌ای و هندسه بازتابنده‌های لرزه‌ای مرتبط با سطوح سکانشی در باز زمانی آلبین پسین (سکانس K110) تا تورونین (سکانس K140). در بخش HST سکانس‌های K120 و K135، تجمعات رودیستی همراه با حفره‌شدگی‌های کانالی و کارستی بالای سکانس‌ها قابل مشاهده است. همچنین زیر مرزهای سکانشی بالا هم‌پوشانی و بر روی سطوح MSF، پایین هم‌پوشانی دیده می‌شود. هندسه کلینفرم‌ها نشان‌دهنده جهت عمومی غرب به شرق پیش‌نشینی رسوبات در سکانس‌های مختلف است.

بخش TST این سکانس عمدتاً از ریزرخساره‌های وکستونی نیمه عمیق دارای اجزاء الیگوستیژینید تا جلوی سد کربناته تشکیل شده است. این سیستم ترک در بردارنده طیف گسترده‌ای از محیط‌های رسوبی دریای ژرف تا جلوی سد کربناته است و سطح حداکثر پیشروی k130 بر روی نمودار گاما با یک افزایش ناگهانی مشخص است (شکل). بخش HST این سکانس همانند رخنمون کوه بنگستان با الگو و چیدمان افزاینده^۲ و سپس پیش‌نشینی بلندساخت‌های رودیستی و سدی (قبیاشوی و همکاران، ۲۰۱۰) همراه است (شکل). این سیستم ترک با ضخامت زیاد (عموماً بیش از ۲۰۰ متر) در بردارنده سه چرخه رده چهارم است که معمولاً هر کدام با کمربندهای رخساره‌ای شیب دامنه^۳ و یا سدی شروع شده و به کمربندهای لاگونی ختم می‌شوند. آخرین سکانس رده چهارم این سکانس رسوبی

سکانس رسوبی K130

سکانس رسوبی K130 با ضخامت متوسط ۲۹۰ متر بر اساس تطابق‌های سکانشی انجام شده به سن حدودی سنومانین میانی نسبت داده می‌شود. مرز پایینی این سکانس به همراه شواهد خروج از آب نظیر کارستی شدن از نوع SB1 در ریزرخساره‌ها و اطلاعات لرزه‌نگاری (شکل و ۹) مشخص شده است. در قاعده این سکانس، رسوبات تخریبی ریزدانه رس‌سنگی مرتبط با بخش LST به منطقه مورد مطالعه وارد شده‌اند که در شکل بر روی نمودار پرتو گاما تفکیک شده‌اند. این رسوبات رس‌سنگی که در ایران در کمربندهای بخش پیشانی دلتا^۱ رسوب‌گذاری کرده در نواحی نزدیک تر به خاستگاه (کشورهای عراق و کویت) به ماسه‌سنگ تبدیل می‌شوند (شارلند و همکاران ۲۰۰۱؛ دیویس و همکاران، ۲۰۱۹؛ برمه‌د و همکاران ۲۰۲۲).

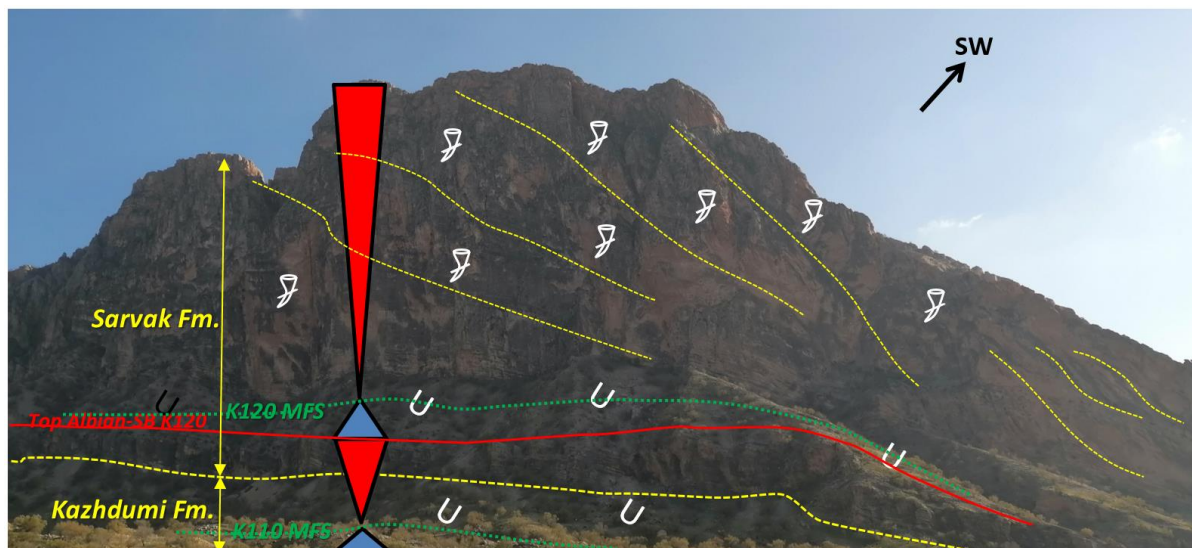
³ slope

¹ Prodelta

² Aggradation

همکاران، ۲۰۱۱). شایان ذکر است که تکامل سکوی کربناته رمپ به سکوی حاشیه‌دار تنها به میزان تولید کربنات بستگی ندارد بلکه از برهم‌کنش تکاپوهای زمین‌ساختی مانند فعالیت دوباره گسل‌های پی‌سنگی و بلنداهای دیرینه و نرخ بالای تولید کربنات و نرخ ناهمسان فرونشست در بالا و پهلوهای بلنداهای دیرینه حاصل شده‌اند (کاوسی و همکاران، ۲۰۲۲).

دارای ویژگی مخزنی خوبی بوده که یک زون مخزنی نفت‌دار را در منطقه می‌سازد (شکل و شکل). پدیدار شدن کلینوفرم‌ها در سکانس‌های رسوبی (شکل‌های شکل و شکل) نشانگر پیشی گرفتن تولید کربنات بر افزایش نسبی سطح آب دریا است. از سوی دیگر، مشاهده کلینوفرم‌ها نشانگر تکامل سکوی کربناته رمپ به سکوی کربناته حاشیه‌دار به ترتیب از آلبین پسین تا سنومانین پسین است (ون‌بوخم و



شکل ۹. نمایش الگوی به سمت بالا کم‌عمق شونده از سازند سروک (سه سکانس سنومانین شامل K120, K130 و K135) همراه با بلندساخت‌های رودیستی و پیش‌نشینی سیستم ترکرت تراز بالا بر روی توالی رخساره‌های الیگوستیژینید در تاقدیس کوه بنگستان (موقعیت در شکل).

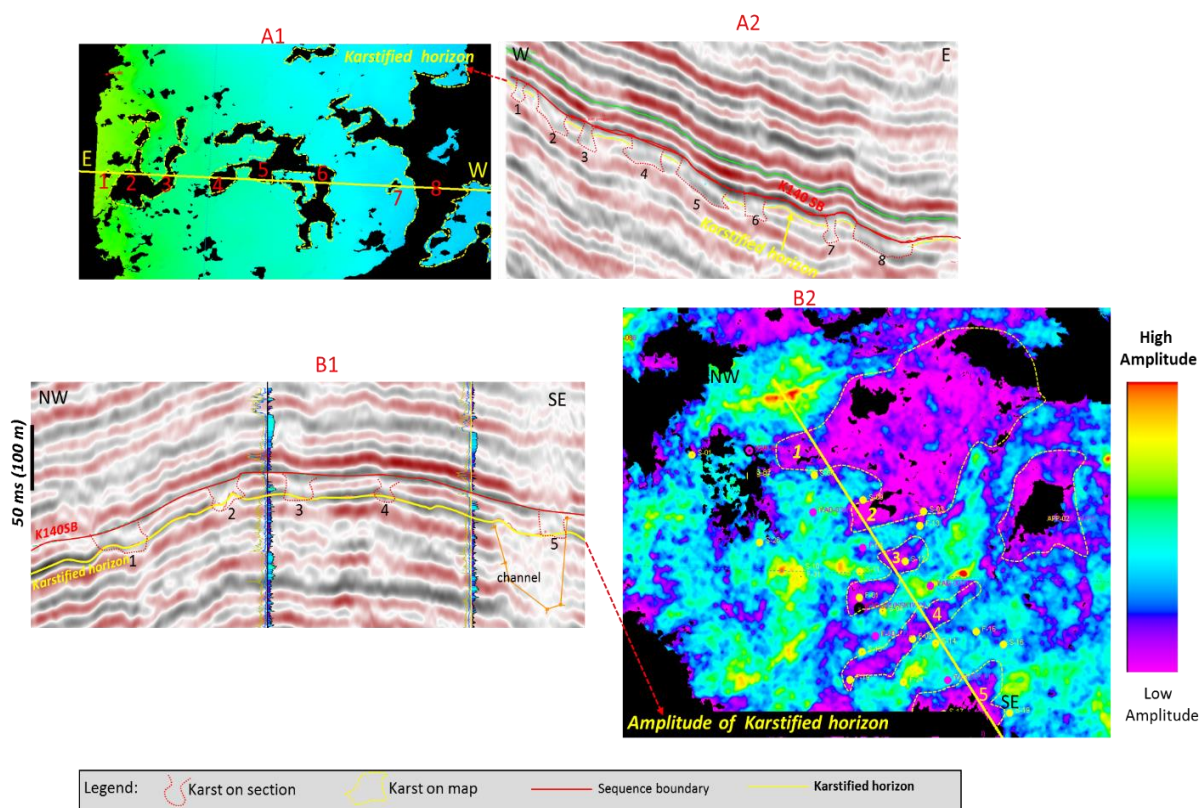
بخش HST این سکانس با تشکیل بلندساخت‌های رودیستی و پیش‌نشینی رخساره‌های سدی تا لاگونی همراه است (شکل‌های شکل و شکل). این سیستم ترکرت دربردارنده دو چرخه رده چهارم است. در چرخه رسوبی اول نهشته‌های سدی و لاگونی گسترش داشته که غلبه با کمربند رخساره‌های لاگونی است و در برخی نواحی کانال‌های کشندی نیز مشاهده می‌شوند (شکل و شکل). در چرخه رسوبی دوم، نهشته‌های رودیستی و سدی غالب بوده و کانال‌ها از هر دو نوع کشندی و فرسایشی هستند (شکل و شکل). فراوانی رخساره‌های رودیستی و سدی و کمی رخساره‌های تالابی چرخه بالایی را می‌توان به فرسایش نهشته‌های کربناته وابسته به کمربندهای لاگونی و شاید جزرومدی نسبت داد. با توجه به برش شکل، در سکانس رسوبی K135 در شمال منطقه که بر روی یک بلندای فعال در زمان سنومانین پسین واقع می‌شود، غلبه با رخساره‌های سدی و رودیستی است و به تدریج در خارج از بلندا به سمت جنوب رخساره‌های لاگونی غالب می‌شوند.

سکانس رسوبی K135

سکانس رسوبی K135 به سن حدودی سنومانین پسین دارای ضخامت متوسط ۱۴۰ متر در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در محل بلندی‌های فعال زمین‌ساختی در زمان سنومانین پسین، بخشی از ضخامت این سکانس بر اثر فرسایش از بین رفته است. مرز زیرین این سکانس رسوبی با توجه به کارستی شدن از نوع SB1 است. این سکانس رسوبی دارای سیستم ترکرت‌های TST و HST است. سیستم ترکرت پیشرونده این سکانس از رخساره‌های وکستونی و پکستون بیوکلستی نیمه‌عمیق و خرده‌های رودیستی و جلوی سد کربناته تشکیل شده است. در ناحیه مورد مطالعه در زمان حداکثر پیشروی زبانه‌های نازکی از رخساره‌های محیط دریایی عمیق با قرائت بالای نمودار گاما پدیدار می‌شوند؛ در حالی که بسوی میدان‌های اهواز و مارون که در خاور منطقه مورد مطالعه قرار دارند، با توجه به وجود حوضه درون سکویی رخساره‌های ژرف الیگوستیژینیدار با ضخامت قابل توجه نهشته شده‌اند.

سنگ مخزن هیدروکربوری منطقه را تشکیل داده است. حفاری‌های اکتشافی جدید نشان داده که سیستم ترکتهای HST این سکانس رسوبی با توجه به خواص مخزنی مناسب به ویژه در شمال و خاور منطقه مورد مطالعه، به سمت ناودیس‌ها و نواحی عمیق‌تر در حاشیه ساختارهای اصلی همچنان حاوی هیدروکربور است که بیانگر ارتباط کیفیت رخساره‌های سروک با تجمع و به تله افتادن نفت می‌باشد.

همچنین بخش بالایی سیستم ترکتهای تراز بالای آب دریا با گسترش فرسایش شیمیایی و کارستی شدن زیر مرز بالای این سکانس رسوبی همراه است. تشکیل کارست نشان‌دهنده آب و هوای گرم و مرطوب در زمان سنومانین است (رحیم‌پورناب و همکاران، ۲۰۱۳). این کارستی شدن در ابعاد گسترده‌ای رخ داده است که نه تنها در مطالعات پتروگرافی به وفور دیده شده بلکه در داده‌های لرزه‌نگاری بخوبی قابل مشاهده است (شکل ۱). با توجه به ویژگی‌های یاد شده، بخش HST این سکانس مهم‌ترین و اصلی‌ترین



شکل ۱. شواهد انحلال شدید و کارستی شدن احتمالی بر روی داده‌های لرزه‌نگاری در بخش بالایی سکانس K135 و در زیر مرز سکانسی K140. نقشه زمانی اولین افق زیر مرز سکانسی و A2) برش لرزه‌نگاری این افق، بخش‌های کارستی شده دامنه بازتاب لرزه‌ای بسیار ضعیف شده و با از بین رفته و غیر قابل تفسیر است. B1) برش لرزه‌نگاری دومین افق کارستی شده زیر مرز سکانسی و B2) نقشه دامنه لرزه‌ای مرتبط با این افق که کمتر تحت تاثیر انحلال قرار گرفته و تا حد زیادی قابل تفسیر است ولی دامنه لرزه‌ای در نواحی کارستی شده به شدت کاهش یافته است (با رنگ بنفش).

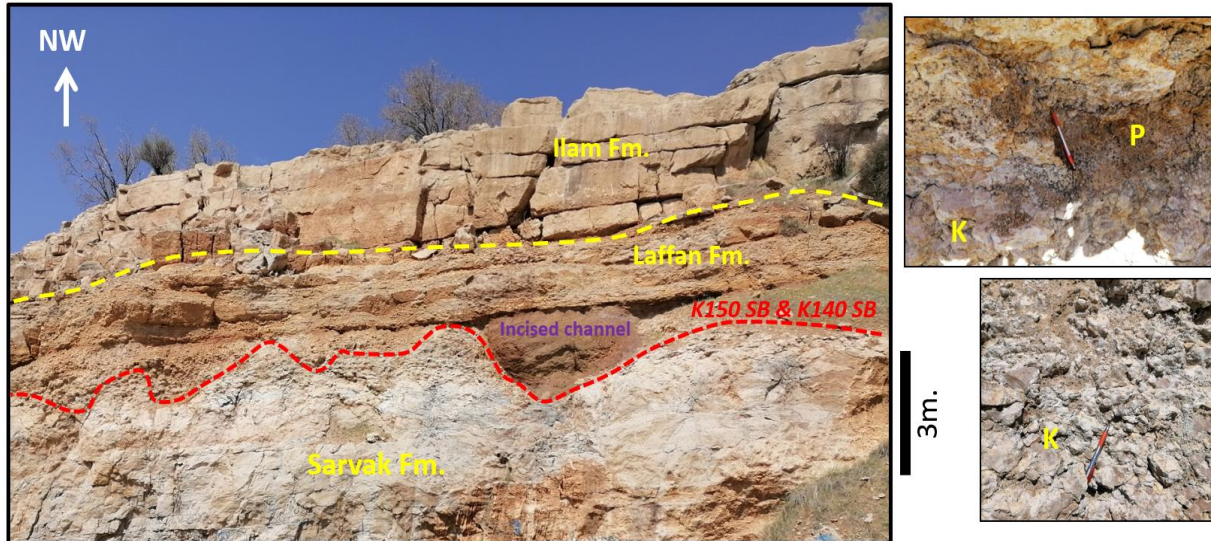
به صفر می‌رسد. مرز زیرین این سکانس با کارستی شدن شدید همراه است (شکل ۱). این سکانس رسوبی با زون زیستی ۲۹ و ایند (جیمز و وایند، ۱۹۶۵) به سن تورونین شناسایی می‌شود و دارای بخش‌های TST، LST و HST است. در برخی از چاه‌ها و نواحی، خاک‌های دیرینه عموماً قرمز رنگ و رخساره‌های دیاژنزی پیرویدی (شکل ۲) در زمان خروج از آب بر روی مرزهای پایین و بالای این

سکانس رسوبی K140

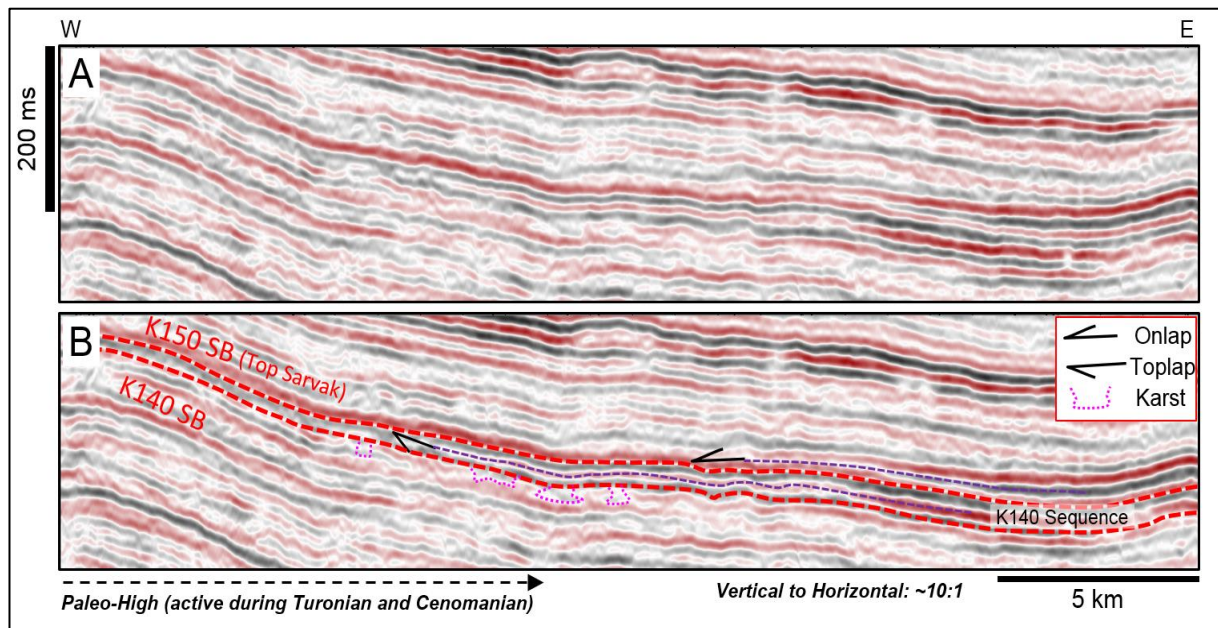
سکانس رسوبی K140 به سن حدودی تورونین پیشین تا میانی با ضخامت متوسط ۳۰ متر در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. ضخامت کم این سکانس با فرسایش و عدم رسوبگذاری متاثر از ناپیوستگی ناحیه‌ای زمان تورونین میانی، در ارتباط است. ضخامت این سکانس در برخی نواحی در شمال، خاور و جنوب خاور منطقه مورد مطالعه

رخساره‌های دریای باز کم ژرفا است. سیستم ترک ت HST دربردارنده رخساره‌های سد کربناته و رودیستی است. شایان ذکر است که این نهشته‌های سدی و رودیستی بر روی بلندهای دیرینه دارای گسترش بیشتری هستند و تشکیل این رسوبات را می‌توان به ادامه تکاپوهای زمین‌ساختی و میزان فرونشست نابرابر نسبت داد (اشرف‌زاده ۱۳۸۷؛ طیب حسینی و همکاران، ۱۳۹۵).

سکانس که از نوع ۱ هستند، در زمان LST نهشته شده است. در زیر این مرزهای سکانسی شواهد دیاژنزی نظیر حفرات انحلالی، کارست‌ها و کانال‌های فرسایشی ایجاد شده است. این شواهد در اطلاعات برش‌های نازک چاه‌ها (شکل - D)، اطلاعات لرزه‌نگاری (شکل‌های شکل و شکل ۳) و رخنمون‌های سطحی (شکل ۲) مشاهده می‌گردد. سیستم ترک TST این سکانس رسوبی نازک بوده و دارای



شکل ۲. شواهد مرتبط با مرزهای سکانسی در راس سازند سروک و دسته‌های رخساره‌ای تراز پایین آب دریا (LST) در رخنمون تاقدیس شاه‌نشین (موقعیت در شکل ۱) شامل کارستی شدن (K) در زیر مرز سکانسی همراه با تشکیل خاک‌های دیرینه و پی‌زوبید (P) و پرشدگی کانالی در بخش LST با رسوبات دیاژنزی قرمز رنگ در بالای مرز سکانسی. توجه شود که در این ناحیه مرز سکانسی K150 SB به سن تورونین میانی بر روی مرز سکانسی K140 SB به سن سنومانین پسین قرار می‌گیرد.

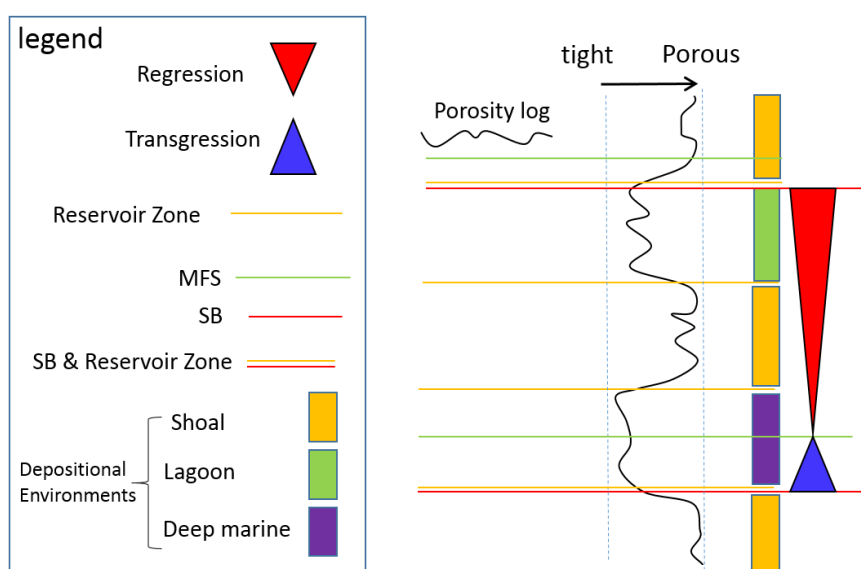


شکل ۳. یک برش لرزه‌ای شرقی - غربی (موقعیت در شکل ۱) نشان دهنده کاهش ضخامت سکانس رسوبی K140 به سمت غرب و بر روی یک بلندی قدیمی فعال در زمان تورونین بر روی مرزهای سکانسی روه‌مپوشانی و در زیر آن‌ها بالا هم‌پوشانی و کارست مشاهده می‌شود.

ارتباط جایگاه سکانشی با ویژگی‌های مخزنی

در این مطالعه، سکانشی‌های رسوبی سازند سروک با توجه به تغییرات محیط‌ها و رخساره‌های رسوبی تعریف شده‌اند و با رخساره‌های مخزنی (تخلخل و تراوایی) و زون‌بندی‌های مخزنی همخوانی و ارتباط دارند (شکل ۴). در بخش‌های TST، محیط دریا به نسبت عمیق‌تر بوده و عموماً سنگ‌آهک‌های ریزدانه و یا رسی و فاقد خواص مخزنی نهشته می‌شوند. این سیستم ترک، زون‌های غیرمخزنی و موانع جریانی (پوش سنگ) را تشکیل می‌دهد (شکل ۴). از سوی دیگر، بخش‌های HST، با محیط به

نسبت عمیق‌تر شروع شده ولی عموماً از محیط‌های کم‌عمق لاگونی و سدی تشکیل می‌شوند (شکل ۴). این سیستم ترک به دلیل فراوانی رخساره‌های دانه افزون (پکستون و گرینستون) نهشته شده در محیط‌های پرانرژی سدی رودیستی و کانالی دارای تخلخل و نفوذپذیری خوبی می‌باشد و در محیط‌های کم انرژی لاگونی، تخلخل کمتری دارند. از سوی دیگر توالی‌های یاد شده در زیر مرزهای سکانشی به دلیل خروج از آب دریا و تاثیر فرایندهای دیاژنتیکی مانند انحلال و کارستی شدن، سبب به وجود آمدن زون‌های مخزنی شده است.



شکل ۴. تصویر شماتیک نشان‌دهنده ارتباط عمومی بین مرزهای زون‌بندی‌های مخزنی و سطوح سکانشی (SB و MFS) در سازند سروک. زون‌بندی‌های مخزنی عموماً بر اساس تغییرات در نمودار تخلخل تعریف می‌شوند و با محیط‌های رسوبی و جایگاه سکانشی همخوانی دارند. سطوح حداکثر پیشروی عموماً در داخل زون‌های ضعیف مخزنی واقع می‌شوند و مرزهای سکانشی بر مرز زون‌های مخزنی منطبق می‌شوند، هرچند در داخل یک سکانشی می‌توان چندین زون مخزنی را تفکیک نمود.

نتیجه‌گیری

۱- در این پژوهش، بررسی و تلفیق اطلاعات رسوب‌شناسی، نمودارهای پتروفیزیکی، برش‌های لرزه‌نگاری و مقایسه آن‌ها با رخنمون‌های سطحی اطراف به شناسایی و تفکیک چهار سکانشی رسوبی درجه سوم در بازه سنی سنومانین و تورونین منجر گردید. این سکانشی‌ها، با اسامی K120، K130، K135 و K140، منطبق بر چارچوب سکانشی صفحه عربی بوده و عموماً دارای ویژگی‌های مخزنی مناسبی هستند. ضخامت، تخلخل، رخساره‌ها و محیط‌های رسوبی این سکانشی‌ها به صورت جانبی در ناحیه تغییر می‌کنند. بهترین رخساره‌های

مخزنی در سیستم ترک‌های تراز بالای آب دریا قرار می‌گیرند. در نتیجه، با استفاده از روش چینه‌نگاری سکانشی می‌توان ارتباط جانبی و فضایی رخساره‌های مخزنی را در یک ناحیه اکتشافی و یا در میداین تولیدی پیش‌بینی کرد.

۲- مطالعه برش‌های نازک میکروسکوپی و واکاوی ریزرخساره‌های رسوبی نشانگر رسوب‌گذاری سازند سروک در محیط‌های رسوبی لاگون، پشت سدی، سد، جلوی سد و دریای باز کم‌عمق تا ژرف است. در محیط‌های پرانرژی سدی و رودیستی، غلبه با رخساره‌های دانه افزون بوده که به همراه پدیده‌های دیاژنتیکی مانند انحلال و کارستی

۵- در زمان ابتدای سنومانین، تکاپوهای تکتونیک با شدت کم در ناحیه آغاز می‌شود و حوضه رسوبی به تدریج از رمپ به سکوی حاشیه‌دار کربناته تبدیل می‌شود. سکانس‌های سنومانین پیشین (K120) و سنومانین میانی (K130) در قاعده با محیط رسوبی دریای باز شروع می‌شوند و در ادامه، سکانس K120 شامل حداقل یک و سکانس K130 شامل چند چرخه از رخساره‌های سدی و لاگونی است. در منطقه، عموماً سکانس K120 آب‌خیز و بخش بالای سکانس K130 حاوی نفت است. سکانس سنومانین پسین (K135) با غلبه رخساره‌های رودیستی، سدی و کانالی، مهم‌ترین و اصلی‌ترین سنگ مخزن منطقه را تشکیل داده است و در بیشتر چاه‌های منطقه مطالعه حاوی هیدروکربن است. به دلیل تشدید فعالیت‌های تکتونیک در زمان سنومانین پسین و تشکیل ناپیوستگی فرسایش در مرز بالایی این سکانس، بخش بالایی آن به ویژه بر روی بلنداهای فعال در این زمان به شدت کارستی شده است. در زمان تورونین فعالیت‌های تکتونیک در منطقه به اوج می‌رسد و سکانس تورونین (K140) تحت تاثیر ناپیوستگی ناحیه‌ای تورونین میانی دچار فرسایش، عدم رسوب‌گذاری و در نتیجه کم‌ضخامت شده است. این سکانس، شواهد هیدروکربنی ضعیفی در منطقه نشان می‌دهد.

تشکر و قدردانی

این مطالعه به عنوان بخشی از پایان‌نامه دکتر رشته زمین‌شناسی نفت در دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شده است و در اینجا از کلیه اساتید و کارکنان محترم دانشکده علوم زمین و به ویژه گروه زمین‌شناسی نفت و حوضه‌های رسوبی سپاسگزاری می‌گردد. همچنین از مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران به ویژه اداره‌های ژئوفیزیک، زمین‌شناسی و پژوهش و فناوری جهت حمایت و در اختیار قرار دادن اطلاعات مورد نیاز این مطالعه، قدردانی می‌شود. علی‌الخصوص از کارشناسان محترم این مدیریت آقایان دکتر علیرضا پیریایی، دکتر محمدعلی کاوسی، مهندس محسن رویوند و مهندس سجاد ذبیحی بابت ارائه نظرات و راهنمایی‌های ارزشمند در تهیه این مقاله تشکر می‌گردد. در پایان از سردبیر محترم و همکاران ایشان در مجله رسوب‌شناسی کاربردی و نیز داورانی که با نظرات ارزشمند خود موجب بهبود این پژوهش شدند قدردانی می‌شود.

شدن به ایجاد تخلخل و نفوذپذیری مناسب منجر شده است. در محیط‌های لاگونی و دریای باز، رخساره‌های گل‌پشتیان غالب هستند و خواص مخزنی عموماً متوسط تا ضعیف است. بررسی کمربندهای رخساره‌ای و گسترش جانبی و عمودی توالی‌ها و انطباق با الگوهای داده‌های لرزه‌نگاری بیانگر رسوب‌گذاری سازند سروک بر روی یک سکوی کربناته حاشیه‌دار و حوضه‌های درون سکویی است. ۳- براساس نمودارهای پتروفیزیکی (نمودارهای تخلخل و طیف‌سنجی گاما)، سازند سروک شامل تناوبی از رخساره‌های کربناته با محتوای اورانیوم کم و معمولاً متخلخل (محیط‌های رسوبی پارانرژی سدی رودیستی عموماً متعلق به HST) با رخساره‌های رسی کربناته با محتوای اورانیوم بالا و تخلخل کمتر (محیط‌های کم انرژی لاگونی مربوط به HST و یا دریای باز عمدتاً در ارتباط با TST) می‌باشد.

۴- از هندسه و قطع‌شدگی بازتابنده‌های لرزه‌ای در شناسایی سطوح سکانشی، تجمعات رودیستی و حفرشدگی‌های کانالی و یا کارستی استفاده گردید. رخساره‌های لرزه‌ای رودیستی بیشتر دارای بازتابنده‌های درهم می‌باشند که با دور شدن از کومه‌های سدی رودیستی، هندسه بازتابنده‌ها منظم، موازی و پیوسته مرتبط با محیط‌های لاگونی می‌شود. زیر مرزهای سکانشی بالا هم‌پوشانی و بر روی سطوح MSF، پایین‌هم‌پوشانی بازتابنده‌های لرزه‌ای مشاهده گردید. هندسه کلینفرم‌های لرزه‌ای، جهت عمومی پیش‌نشینی رسوبات به سمت حوضه را نشان داد. در بخش‌های TST، مقادیر مقاومت صوتی لرزه‌ای بالاتر بود و بازتابنده‌های لرزه‌ای پیوسته‌تر مشاهده گردید؛ ولی در بخش HST، مقادیر مقاومت صوتی لرزه‌ای پایین‌تر و بازتابنده‌های از پیوستگی جانبی کمتری برخوردار هستند.

مطالعه رخنمون‌های سازند سروک در زون ایذه نشان داد که بازه زمانی سنومانین و تورونین با یک توالی کلی بسوی بالا ضخیم شونده (کم ژرفا شونده) با غلبه بیوهرم‌ها، سدهای کربناته رودیستی و کمربندهای لاگونی مشخص می‌شود و رخساره‌های سدی و رودیستی بسوی بخش‌های عمیق‌تر حوضه رسوبی پیش‌نشینی می‌کنند. این مشاهدات سطحی با اطلاعات زیرسطحی (چاه و لرزه‌نگاری) دشت آبادان انطباق و همخوانی خوبی نشان می‌دهد.

منابع

- Al-Husseini, M. I (2000) Origin of the Arabian Plate Structures: Amar Collision and Najd Rift. *GeoArabia*, 5: 527-542
- Alipour, M., Alizadeh, B., Mirzaie, S. and Chehrazi, A (2021) Basin and petroleum system analysis in the southeastern Persian Gulf basin: a 2D basin modeling approach. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 11: 4201–4214.
- Aqrawi, A. A. M., Thehni, G. A., Sherwani, G. H., & Kareem, B. M. A (1998) Mid-Cretaceous rudist-bearing carbonates of the Mishrif Formation: an important reservoir sequence in the Mesopotamian Basin, Iraq. *Journal of Petroleum Geology*, 21(1): 57-82.
- Aqrawi, A. A. M., Goff, J. C., Horbury, A., Sadooni, F. N (2010) *The Petroleum Geology of Iraq*. Scientific Press, Beaconsfield, UK, 424 p.
- Assadi, A., Honarmand, J., Moallemi, S. A., 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: 1-23.
- Assadi, A., Honarmand, J., Moallemi, S. A., Abdollahie-Fard, I (2018) An integrated approach for identification and characterization of palaeo-exposure surfaces in the upper Sarvak Formation of Abadan Plain, SW Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 145: 100-121.
- Bahroudi, A., Talbot, C. J (2003) The configuration of the basement beneath the Zagros basin. *Journal of Petroleum Geology*, 26: 257-282.
- Baniasad, A., Littke, R., Froidl, F., Grohmann, S. and Soleimany, B (2021) Quantitative hydrocarbon generation and charge risk assessment in the NW Persian Gulf: A 3D basin modeling approach. *Marine and Petroleum Geology*, 126, 104900.
- Berberian, M (1995) Master “Blind” Thrust faults hidden under the Zagros folds: Active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*, 241: 193–224.
- Bromhead, A. D., van Buchem, F. S. P., Simmons, M. D., Davies, R. B (2022) Sequence stratigraphy, palaeogeography and petroleum plays of the Cenomanian – Turonian succession of the Arabian plate: an updated synthesis. *J. Petroleum Geology*, 45 (2): 119-161
- Cantrell, D. L., Shah, R. A., Ou, J., Xu, C., Phillips, C., Li, X. L. and Hu, T. M (2020) Depositional and diagenetic controls on reservoir quality: Example from the upper Cretaceous Mishrif Formation of Iraq. *Marine and Petroleum Geology*, 118: 104415.
- Catuneanu, O (2017) *Sequence Stratigraphy: Guidelines for a Standard Methodology, Stratigraphy & Timescales*, 2: 1-57.
- Chen, P., Guo, L., Li, C., and Tong, Y (2021) Karstification characteristics of the Cenomanian-Turonian Mishrif Formation in
- اسعدی، ع، هنرمند، ج، رحمانی، ع، رئیسی، ع (۱۳۹۴) شناسایی و تفسیر رخساره‌های رسوبی و دیاژنزی از طریق مفهوم رخساره لاگ‌ها، رسوب مطالعه موردی از مخزن سروک در یکی از میداین بزرگ نفتی جنوب غرب ایران، نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۳، شماره ۶، ص ۱۰۳-۱۱۹.
- اشرف‌زاده، ع (۱۳۸۷) بلندی‌های قدیمی (Paleohigh)، نقش و اهمیت آن‌ها در منطقه دزفول جنوبی، گزارش زمین‌شناسی شماره ۱۹۱۹، مدیریت اکتشاف، شرکت ملی نفت ایران، ۱۰۴ ص.
- سبحانی‌فروشان، ج، مهرابی، ح، رحیم‌پوربناب، ح (۱۴۰۰) تاریخچه رسوب‌گذاری-دیاژنزی و چین‌نگاری سکانسی بخش بالایی سازند سروک (کرتاسه) در میداین هیدروکربوری مرکز و جنوب فروافتادگی دزفول، جنوب غرب ایران، نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۹، شماره ۱۸، ص ۵۱-۷۵.
- طیب‌حسینی، ف، سپهوند، م، عبداللهی‌فرد، ا، میری، س. ا (۱۳۹۶) توصیف گسل هندیشان-ایذه با استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری دوبعدی، داده‌های زمین‌لرزه و اطلاعات زمین‌شناسی، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۱۸۴، ص ۴۴-۴۹.
- عبداللهی‌فرد، ا، ذبیحی، میری، س. ا، معتمدی، ح (۱۳۹۵) نگرشی جدید در اکتشاف نفت حوضه پیش‌گود زاگرس (دشت آبادان- جنوب غرب ایران)، دومین همایش انجمن زمین ساخت و زمین‌شناسی ساختمانی ایران، ۴ ص.
- میری، س. ا، توکلی، م (۱۳۹۰) مدلسازی زمین آماری حجم شیل و کاربرد آن در شناخت بهتر چین‌نگاری مخزنی سازند آهکی ایلام، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۸۴، ص ۶۶-۷۱.
- Abdollahie-Fard, I., Braathen, A., Mokhtari, M., 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 Geoscience*, 12: 347-362.
- Abdollahie-Fard, I., Sherkati, S., McClay, K., Haq, B. U (2018) Tectono-Sedimentary Evolution of the Iranian Zagros in a Global Context and Its Impact on Petroleum Habitats, Tectonic and Structural Framework of the Zagros Fold-Thrust Belt: 17-27.
- Alavi, M (2004) Regional stratigraphy of the Zagros Fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution, *American Journal of Science*, 304: 1-20.

- agreement area. *Am Assoc Pet Geol*, 49: 2182–2245.
- Kavoosi, M. A., Alipour, R., Jalilian, A. H (2022) The controlling factors of the spatio-temporal distribution of the upper Barremian to the Albian sedimentary succession in the Zagros folded belt, SW Iran. *Jurnal of Asian Earth science*, 225.
- Mahdi, T. A., Aqrawi, A. A., Horbury, A., Sherwani, G. H (2013) Sedimentological characterization of the mid- Cretaceous Mishrif reservoir in southern Mesopotamian Basin, Iraq. *Geo-Arabia*, 18(1): 139-174.
- Mahdi, T. A., & Aqrawi, A. A. M (2014) Sequence stratigraphic analysis of the Mid-Cretaceous Mishrif Formation, Southern Mesopotamian Basin, Iraq. *Journal of Petroleum Geology*, 37(3): 287-312.
- Mahdi, T. A., & Aqrawi, A. A (2017) Role of facies diversity and cyclicity on the reservoir quality of the mid-Cretaceous Mishrif Formation in the southern Mesopotamian Basin, Iraq. *Geological Society, London, Special Publications*, 435: 35-19.
- Mehrabi, H., Rahimpour-Bonab, H (2014) Paleoclimate and tectonic controls on the depositional and diagenetic history of the Cenomanian–early Turonian carbonate reservoirs, Dezful Embayment, SW Iran. *Facies*, 60: 147-167.
- Mehrabi, H., Rahimpour-Bonab, H., Hajikazemi, E., Jamalian, A (2015) Controls on depositional facies in Upper Cretaceous carbonate reservoirs in the Zagros area and the Persian Gulf, Iran. *Facies*, 61: 1-24.
- Payton, C. E (1977) Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration: American Association of Petroleum Geologists Memoir, 26: 516 p.
- Piryaei, A., Reijmer, J., van Buchem, F., Yazdi-Moghadam, M., Sadouni, J., Danelian, T (2010) The influence of Late Cretaceous tectonic processes on sedimentation patterns along the northeastern Arabian plate margin (Fars Province, SW Iran). Leturmy P, Robin C (eds) Tectonic and stratigraphic evolution of Zagros and Makran during the Mesozoic–Cenozoic. Geological Society, London, Special Publications, 330: 211–251.
- Piryaei, A., Reijmer, J., Borgomano, J., Van Buchem, F (2011) Late Cretaceous tectonic and sedimentary evolution of the Bandar Abbas area, Fars region, southern Iran. *J Pet Geol*, 34: 157–180.
- Pirouz, M., Simpson, G., Bahroudi, A. & Azhdari, A (2011) Neogene sediments and modern depositional environments of the Zagros foreland basin system. *Geological Magazine*, 148: 838–853.
- the Missan Oil Fields, southeastern Iraq, and their effects on reservoirs. *Front. Earth Sci*.
- Cross, N., Goodall, I., Hollis, C., Burchette, T., Al-Ajmi, H., Johnson, Imelda, G., Mukherjee, R., Simmons, M. Davies, R (2010) Reservoir description of a mid-Cretaceous siliciclastic-carbonate ramp reservoir: Maaddud Formation in the Raudhatain and Sabiriyah fields, North Kuwait. *GeoArabia*, 15 (2): 17-50.
- Datta, K., Yaser, M., Gomez, E., Ma, Y. Z., Filak, J. M., Al-Nasheet, A. and Ortegon, L. D. T (2019) Capturing Multiscale Heterogeneity in Paralic Reservoir Characterization: A Study in Greater Burgan Field, Kuwait. In: H. R. AL Anzi, R. A. Rahmani, R.J. Steel and O.M. Soliman (Eds), *Siliciclastic Reservoirs of the Arabian Plate*. AAPG Memoir, 116: 261– 288.
- Davies, R. B., Simmons, M. D., Jewell, T. O., Collins, J (2019) Regional controls on siliciclastic input into Mesozoic depositional systems of the Arabian plate and their petroleum significance. AAPG Memoir, 116: 103–140.
- Dehyadegari, E. (2019) Geochemistry and origins of Sarvak oils in Abadan plain: oil-oil correlation and migration studies. *Energy Sources*, 43: 716– 726.
- Du, Y., Chen, J., Cui, Y., Xin, J., Wang, J., Li, Y., Fu, X (2016) Genetic mechanism and development of the unsteady Sarvak play of the Azadegan oil field, southwest of Iran. *Pet. Sci*, 13: 34–51.
- Esrafil-Dizaji, B., Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Afshin, S., Harchegani, F.K., Shahverdi, N (2015) Characterization of rudist-dominated units as potential reservoirs in the middle Cretaceous Sarvak Formation, SW Iran. *Facies* 61: 1-25.
- Ghabeishavi, A., Vaziri-Moghaddam, H., Taheri, A., & Taati, F (2010) Microfacies and depositional environment of the Cenomanian of the Bangestan anticline, SW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 37(3): 275-285.
- Haq, B. U (2014) Cretaceous eustasy revisited. *Global and Planetary Change*, 113: 44-58.
- Hajikazemi, E., Al-Aasm, I., and Coniglio, M (2010) Subaerial exposure and meteoric diagenesis of the Cenomanian-Turonian Upper Sarvak Formation, southwestern Iran, Tectonic and Stratigraphic Evolution of Zagros and Makran during the Mesozoic–Cenozoic, Geological Society, London, Special Publications, 330: 253-272.
- Hui, L., Guo, R., Junchang, D (2013) Productivity evaluation and influential factor analysis for Sarvak reservoir in south Azadegan oil field, Iran. *Petroleum Exploration and Development*, 40(5): 627–634.
- James, G., Wynd, J (1965) Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium

- Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Navidtalab, A., Izadi Mazidi, E (2012) Flow unit distribution and reservoir modelling in cretaceous carbonates of the Sarvak Formation, Abteymour Oilfield, Dezful Embayment, SW Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 35: 213-236.
- Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Navidtalab, A., Omidvar, M., Enayati_Bidgoli, A., Sonei, R., Sajjadi, F., Amiri_Bakhtyar, H., Arzani, N., Izadi Mazidi, E (2013) Palaeo exposure surfaces in Cenomanian–Santonian carbonate reservoirs in the Dezful Embayment, SW Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 36: 335-362.
- Sadooni, F. N (2005) The nature and origin of Upper Cretaceous basin-margin rudist buildups of the Mesopotamian Basin, southern Iraq, with consideration of possible hydrocarbon stratigraphic entrapment. *Cretaceous Research*, 26: 213-224.
- Sarg, J. F (1988) Carbonate sequence stratigraphy, 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: SEPM (Society for Sedimentary Geology) Special Publication*, 42: 155-181.
- Sepehr, M., Cosgrove, J (2004) Structural framework of the Zagros fold–thrust belt, Iran. *Marine and Petroleum geology*, 21(7): 829-843.
- Sharland, P. R., Archer, R., Casey, D. M., Davies, R.B., Hall, S.H., Heyward, A.P., Horbury, A.D., Simmons, M.D (2001) Arabian Plate sequence stratigraphy *Geo-Arabia, Special Publication*, 2: 371 P.
- Sherkati, S., Letouzey, J (2004) Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful embayment), Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 21: 535-554
- Van Buchem, F., Simmons, M., Droste, H., Davies, R (2011) Late Aptian to Turonian stratigraphy of the eastern Arabian Plate–depositional sequences and lithostratigraphic nomenclature. *Petroleum Geoscience*, 17: 211-222.
- Vail, P. R., Mitchum, R. M. J., Todd, R. G., Widmeri, J. W., Thomson, S., Sangri, J. B., Bubb, and J. M., Hatlied, W. G (1977) Seismic stratigraphy and global change in sea level. *AAPG Memoir*, 26: 49–212.
- Vincent, B., van Buchem, F. S., Bulot, L. G., Jalali, M., Swennen, R., Hosseini, A., Baghbani, D (2015) Depositional sequences, diagenesis and structural control of the Albian to Turonian carbonate platform systems in coastal Fars (SW Iran). *Marine and Petroleum Geology*, 63: 46-67.
- Wright, N. M., Seton, M., Williams, S. E., Whittaker, J. M. and Müller, R. D (2020) Sea level fluctuations driven by changes in global ocean basin volume following supercontinent break-up. *Earth-Science Reviews*, 208: 73 P.

Seismic sequence stratigraphy of the Cenomanian-Turonian succession of the Sarvak reservoir formation in the Abadan plain

S. A. Miri^{1*}, B. Soleimani², I. Abdollahie Fard³ and M. Hassani Giv⁴

1- Ph. D., student in Petroleum Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2- Prof., Dept., of Petroleum Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

3, 4- Ph. D., in Geology, NIOC Exploration Directorates, Tehran, Iran

* seyedabolfazl.miri@gmail.com

Received: 2022/4/11 Accepted: 2022/8/6

Abstract

The sedimentary succession of Cenomanian-Turonian, which is introduced by Sarvak formation, is the most important hydrocarbon (reservoir) formation of Abadan plain. Reservoir facies of this formation show variable temporal and spatial distribution in this time period due to tectonic and sedimentary conditions. In this study, using subsurface seismic data and well data (petrophysical logs and core thin sections), and also comparison with surface outcrops data of Izeh zone, facies, sedimentary environments and diagenetic changes of Sarvak formation have been studied and analyzed in the framework of sequence stratigraphy. Investigation lateral and vertical variations of facies belts and sequences indicated sedimentation of Sarvak formation on a rimmed carbonate shelf and intra-platform basins. By examining the changes and geometries of sedimentary-seismic facies along with well, paleontological and petrophysical data and comparison with outcrops, four third-order sedimentary sequences have been separated in the Sarvak formation (Cenomanian – Turonian interval) with an average age of about 4 million year. These sequences include K120, K130, and K135 in the early Cenomanian, mid Cenomanian, and late Cenomanian respectively, and the K140 sequence is in the early to mid-Turonian. This study showed that distribution and migration of system tracts are consistent with the reservoir zones of Sarvak formation. The best reservoir facies are in Highstad Systems Tract (HST) which are grain-supported, high porosity and permeability and are subjected to diagenetic processes such as dissolution and karstification. The K135 Sequence forms the best hydrocarbon-containing reservoir facies of shoal, rudist, and channel type in the area.

Keywords: Seismic sequence stratigraphy, Depositional environment, Systems tracts, Reservoir properties, Sequence boundary.