

تعیین مرزهای سکانسی سازندهای پلیوسن (چلکن و آقچاگیل) دشت گرگان توسط نرم‌افزار سیکلولاگ و روش انحراف از معیار پرتو گاما

حامد مرادی^۱، بهروز رفیعی^۲، حسن محسنی^۲، محمدعلی کاووسی^۳ و بهزاد سلطانی^۴

۱. دانشجوی دکترا رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۳. دانشیار گروه پژوهشکده نفت، تهران، ایران
۴. استادیار گروه اکتشاف نفت و گاز، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه علم و فناوری مازندران (بهشهر)، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۶

چکیده

استفاده از نگاره‌های چاه‌پیمایی، در چاه‌های بدون مغزه، به منظور شناسایی عوارض وابسته به طبقات سنگی، همواره مورد توجه زمین‌شناسان بوده است. شناسایی سطوح کلیدی چینه‌نگاری سکانسی، از بخش‌های مهم سرشت‌نمایی زمین‌شناسی مخازن هیدروکربنی است. در این مطالعه، کارآیی نمودار آنالیز تلفیقی فیلتر پیش‌بینی خطای دینامیکی (D-INPEFA) نگاره‌ی گاما در شناسایی و تفکیک سکانس‌ها و سطوح کلیدی سکانسی در چاه کلیدی صوفیکم-۱ در دشت گرگان-گنبدکاووس برای توالی سازندهای چلکن و آقچاگیل مورد ارزیابی قرار گرفته است. تجزیه و تحلیل نگاره‌ی گاما به‌ویژه (D-INPEFA) منجر به شناسایی سطوح سکانسی موجود در توالی‌های چلکن و آقچاگیل شد. در چاه صوفیکم-۱ با استفاده از تحلیل فیلتر تجمعی پیش‌بینی خطا، تعداد ۱۵ مرز سکانسی شامل هشت مرز منفی (nb) و هفت مرز مثبت (pb) شناسایی شد. سطوح سکانسی شامل مرز سازندی، مرز سکانس و سطح بیشترین سیلابی شناسایی شده، و با توجه به مرزهای شناسایی شده، چهار سکانس رتبه سوم برای چاه صوفیکم-۱ تعیین شد. بر همین اساس با توجه به روند کلی نمودار گاما، برای سازند چلکن روند پسروی و برای سازند آقچاگیل پیشروی مشخص شد.

واژه‌های کلیدی: حوضه خزر جنوبی، سازندهای چلکن و آقچاگیل، سکانس رسوبی، نگاره‌ی چاه‌پیمایی، سیکلولاگ.

مقدمه

نبود وضوح در شناسایی و تفسیر سکانشی ها کاهش می یابد. داده های لرزه ای با پیوستگی جانبی بالا می تواند در ارتباط با روند برانبارش و الگوی چینه نگاری سکانشی استفاده شود. نگاره های چاه پیمایی مانند نگاره ی پرتوگاما را می توان به صورت یک موج مرکب فرض کرد که از تعداد زیادی موجک تشکیل شده اند که همان چرخه های میلانکوویچ (تغییرات چرخه های آب و هوایی و در نهایت، هوازدگی، فرسایش، حمل و نقل و رسوب گذاری) بوده و همراه با یک سری امواج مزاحم، نگاره را تشکیل می دهند (Gilbert, 1985; De Jong et al., 2006).

در پژوهش میدان ها نفتی چون کاهش هزینه و سرعت انجام کار از اهمیت ویژه ای برخوردار است، بیشتر تعداد کمی از چاه های هر میدان و آن هم در فواصل کمی دارای مغزه می باشند. بنابراین برای پژوهش های تفصیلی و پیشرفته تر، از نمودارهای پتروفیزیکی حتی جهت تفسیرهای چینه نگاری سکانشی استفاده می شود (Tavakoli, 2017). مزیت برتر نمودارهای پتروفیزیکی نسبت به رخنمون ها، در دسترس قرار دادن اطلاعات پیوسته و کامل تری از توالی های به نسبت ضخیم می باشد. در این ارتباط، استفاده از نرم افزار سیکلولاگ این امکان را فراهم می کند تا با استفاده از نگاره های الکتریکی به ویژه نگاره ی گاما (GR) و از طریق هم ارزی زیرسطحی در چاه های مورد مطالعه در میدان ها نفتی، بتوان اطلاعات کامل و به نسبت دقیقی از توالی های رسوبی را به لحاظ زمانی از قاعده به راس سازند تقسیم کرد. سپس از طریق هم ارزی بین خطوط زمانی ایجاد شده در چاه های مورد مطالعه یک چهارچوب زمانی در میدان نفتی مربوطه ایجاد کرد و با استفاده از آن کلیه شاخص های مخزنی از قبیل گستره تعریف شده در هر کمر بند مخزنی را مورد بررسی و تصحیح قرار داد (De Jong et al., 2006). هدف اصلی این مطالعه، ارائه یک الگوی کارآمد در ارتباط با اهمیت نگاره ی پرتوگاما در مطالعات چینه نگاری سکانشی، با استفاده از منحنی D-INPEFA در حوضه خزر جنوبی است.

چینه نگاری سکانشی، یکی از شاخه های مهم چینه شناسی است و کاربرد زیادی در تفسیر حوضه رسوبی و شناسایی گستره، پهنه کمر بندهای مستعد از دیدگاه سنگ منشاء، سنگ مخزن و پوش سنگ در پژوهش های جامع مخزنی دارد (Catuneanu, 2017). در تعریف جدید که با هدف قدرت تفکیک و دقت بالاتر در استفاده از داده های لرزه ای برای تفکیک سکانشی ها ارائه شده است، به صورت یک چرخه از تغییر در الگوی برانبارش که توسط رخداد سطوح کلیدی سکانشی در توالی سنگی مشخص شده، تعریف می شود (Catuneanu, 2017). در پژوهش های چینه نگاری سکانشی از داده های با مقیاس مختلف شامل، مغزه ها، مقاطع نازک میکروسکوپی، نمودارهای پتروفیزیکی و نیمرخ های لرزه ای استفاده می شود (Kadkhodaie and Rezaee, 2017; Tavakoli, 2017; Van Buchem et al., 2010).

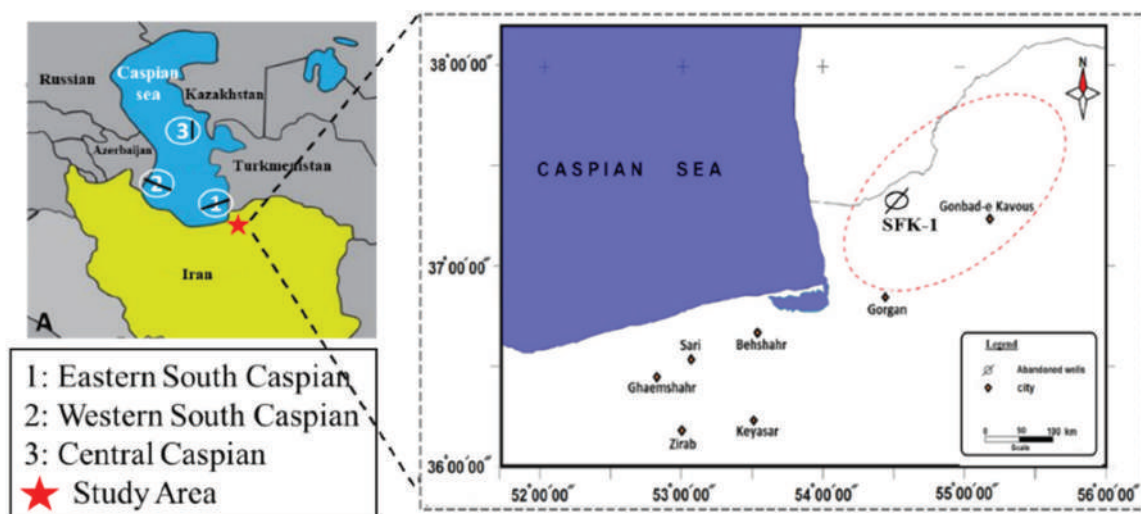
در پژوهش های چینه نگاری سکانشی و شناسایی سطوح کلیدی، اطلاعات مغزه و مقاطع نازک میکروسکوپی به عنوان داده های مستقیم، اطلاعات ارزشمندی فراهم می آورند (Hosseini et al., 2021; Assadi et al., 2016). مغزه ها بیشتر گستره به چاه های کلیدی و به صورت ناپیوسته در دسترس بوده و به منظور آگاهی از چهارچوب چینه نگاری سکانشی در محدوده میدان، می بایست از شواهد و داده های غیرمستقیم از قبیل نمودارهای پتروفیزیکی استفاده شود (Kadkhodaie and Rezaee, 2017; Tavakoli, 2017). استفاده از نگاره ی پرتوگاما به عنوان یک نمودار پتروفیزیکی رایج در بیشتر چاه های حفاری شده در میدان ها هیدروکربنی، می تواند در مطالعات چینه نگاری سکانشی به منظور شناسایی سطوح کلیدی استفاده شود (Ehrenberg and Svana, 2001; Tavakoli, 2017 و همکاران، ۱۴۰۱).

نگاره ی پرتوگاما با توجه به تاثیر اندک از عوامل محیطی، پایداری در برابر فرآیندهای دیژنری و نیز فراهم بودن در بیشتر چاه های حفاری شده در یک میدان، به صورت گسترده در مطالعات چینه نگاری سکانشی استفاده می شود (Ainsworth, 2006). نکته مهم قابل توجه در استفاده از اطلاعات گوناگون این است که با بیشتر شدن داده ها،

زمین‌شناسی منطقه

گستره مورد پژوهش در بخش جنوب شرقی دریای خزر قرار دارد و بخشی از حوضه خیزی و کپه‌داغ است (Berberian, 1983) (شکل ۱). نواحی البرز، ایران مرکزی، سندانج-سیرجان و زاگرس در پرکامبرین در حاشیه شمالی قاره گندوانا قرار داشته و به وسیله اقیانوس تیتیس از پهنه کپه‌داغ و قاره اوراسیا جدا بوده‌اند (Berberian and King, 1981).

در این پژوهش، به منظور ارزیابی و مقایسه سکناس‌های رسوبی شناسایی شده به‌طور کلی، در چاه صوفیکم-۱ از چاه‌های مورد پژوهش، نگاره‌های چاه‌پیمایی به نسبت کاملی از توالی‌های سازندهای چلکن و آقچاگیل صورت گرفته است. به منظور ارزیابی نتایج و قابلیت کاربرد آنالیز موجک در چاه‌ها و توالی‌های مورد مطالعه، نتایج این آنالیز براساس نگاره‌ی پرتوگاما، با نتایج سکناس‌های تعیین شده و مقایسه شده‌اند.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی چاه صوفیکم-۱، در منطقه‌ی مورد مطالعه (خط‌چین قرمز رنگ)

حوضه خزر جنوبی وجود نداشته و در عوض رسوبات به‌طور مستقیم روی پوسته بازالتی ضخیم (۱۲ تا ۱۸ کیلومتر) قرار گرفته است (نبوی، ۱۳۵۵).

پس از کوهزایی پیرنه با پایین آمدن سطح نسبی آب دریاها در بخش‌های وسیعی از ایران محیط‌های قاره‌ای- میان‌کوهی شکل گرفت (Berberian, 1983; Berberian and King, 1981). در البرز، رسوبات الیگوسن وجود ندارد و لایه‌های میوسن به‌صورت رسوبات سرخ رنگ قاره‌ای بوده که در فروافتادگی‌های باریک میان‌کوهی نهشته شدند (Berberian, 1983). دشت گرگان تحت تأثیر پیشروی و پسروی دریا در زمان میوسن قرار داشته و ستبرای رسوبات با تغییر ناگهانی از چند ده متر در بخش شرقی دشت به بیش از ۳۰۰۰ متر در شرق دریای خزر می‌رسد. نهشته‌های پلیوسن

دشت گرگان و پهنه‌ی از خزر که به بلوک ترکمن معروف شده است، پهنه‌ای کم ارتفاع در شرق دریای خزر و غرب کپه‌داغ است که در این دو پهنه زمین‌شناسی-ساختاری را به هم پیوند می‌دهد (آق‌اتابای و تورانی، ۱۳۹۷).

داده‌ها و اطلاعات لرزه‌ای به‌دست آمده از عمق ۵۰ کیلومتری ناحیه‌ی خزر جنوبی در مجاورت پشته آپشرون بیانگر این واقعیت است که حوضه خزر جنوبی با داشتن ۲۶ تا ۲۸ کیلومتر رسوب، یکی از حوضه‌های رسوبی با بیشترین ستبرای توالی چینه‌شناسی جهان می‌باشد (Jackson et al., 2002; Hinds et al., 2004). بررسی‌های لرزه‌ای انجام شده روی پوسته حوضه خزر و مناطق اطراف آن نشان می‌دهد که پوسته حوضه خزر جنوبی تفاوت زیادی با مناطق مجاور خود دارد. پوسته گرانیتهی در

شده که بیانگر منشاهاى مختلف برای سازند چلکن است (Abreu and Nummedal, 2007).

سازند آقچاگیل در برش الگو، که شامل ماسه‌سنگ، سیلت و رس‌ژپیس‌دار و انیدریت (به رنگ خاکستری، قهوه‌ای و زرد) ماسه‌سنگ صدف‌دار و لایه‌هایی سفید رنگ خاکستر آتشفشانی با رخساره کربناته تخریبی سفید رنگ به سن پلیوسن بالایی که از طبقات بالا و پایین خود قابل تشخیص هستند و به‌صورت هم‌شیب بر روی رسوبات پلیوسن زیرین (سازند چلکن) قرار دارد و در بالا به‌وسیله نهشته‌های سازند آپشرون با سن کواترنر زیرین پوشیده شده است (سلطانی، ۱۳۹۹). برخلاف سازند چلکن، که در آن سنگواره کمیاب است در سازند آقچاگیل مهم‌ترین محتوای فسیلی شامل استراکودها، دوکفه‌ای‌ها و نانوپلانکتون‌ها هستند که در بخش‌های ساحلی خزر و دشت مغان یافت شده‌اند. طبقات پلیوسن در سرتاسر حاشیه‌ی جنوبی خزر و مغان، به‌طور ناپیوسته و دگرشیب روی طبقات سارماسین قرار دارد (سلطانی، ۱۳۹۹).

ستون چینه‌نگاری ژوراسیک-کرتاسه-سنوزویک در حوضه خزر جنوبی بررسی شده است (شکل ۲).

روش مطالعه

گستره مورد پژوهش در استان گلستان و شمال شرقی شهرستان گنبدکاووس قرار گرفته است که بخشی از حوضه‌ی خزرى می‌باشد. در این مطالعه داده‌های نگاره‌ی پرتوگاما از برش زیرسطحی چاه صوفیکم-۱ از سازندهای چلکن و آقچاگیل برای مطالعات چینه‌نگاری سکانسی واکاوی شده است. بدین منظور، ۳۰۷ متر چاه از نگاره‌ی ژئوفیزیکی چاه صوفیکم-۱ از گستره مورد مطالعه واکاوی شده است. با نرم‌افزار سیکلولاگ (Cyclolog 2016) و با استفاده از نگاره‌ی پرتوگاما (CGR)، نگاره‌ی تحلیل فیلتر تجمعی پیش‌بینی خطا^۱ INPEFA، نگاره‌ی^۲ PEFA، نگاره‌ی^۳ MESA و نگاره‌ی^۴ AAS شکل نگاره‌ی پرتوگاما رسم شد.

دشت گرگان شامل دو سازند چلکن (پلیوسن زیرین-میانی) و آقچاگیل (پلیوسن بالایی) است.

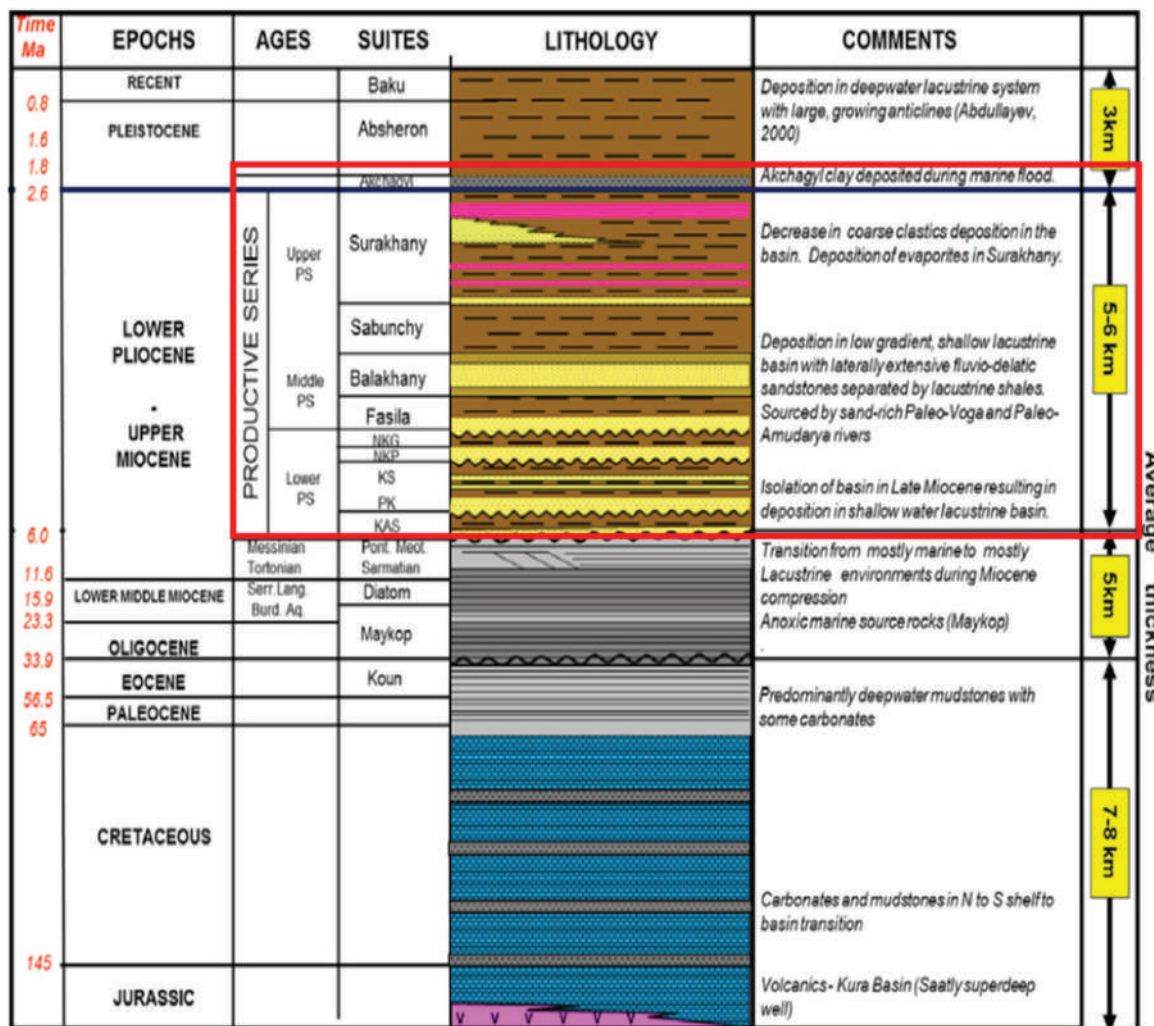
در اوایل پلیوسن (اواخر پونتین) دریای خزر به‌طور کامل از آب‌های دریایی همچون دریای سیاه جدا شد. مساحت کل دریا به نصف مساحت امروزی آن کاهش یافت که باعث پیشروی رو به جنوب دلتای ولگا به سمت شبه جزیره آپشرون شد (Mammadov, 1992). در این زمان سازند چلکن با ترکیب حجم زیادی از رسوبات سیستم رودخانه‌های چون کورا در آذربایجان، آمودریا در ترکمنستان، سفیدرود و رودخانه‌های کوچک در ایران نهشته شد.

رسوبات پلیوسن در شمال ایران، در دشت گلستان، مازندران، گیلان، از دو واحد سنگ‌چینه‌ای مهم تشکیل شده‌اند. سازند چلکن در زیر با رخساره‌های قاره‌ای و بیشتر درشت‌دانه، متشکل از طبقات سرخ رنگ با سن پلیوسن آغازی و میانی، و سازند آقچاگیل در بالا که با رخساره‌های کربناته تخریبی با رنگ سفید و سن پلیوسن پایانی از سایر طبقات مشخص می‌شود. طبقات پلیوسن در مجموع در سرتاسر حاشیه جنوبی خزر و مغان، به‌طور ناپیوسته و زاویه‌دار روی طبقات کرتاسه قرار می‌گیرد (نبوی، ۱۳۵۵).

در سازند آقچاگیل مهم‌ترین محتوای فسیلی شامل استراکودها، روزداران، دوکفه‌ای‌ها هستند که در بخش‌های ساحلی خزر و دشت مغان یافت شده‌اند (سلطانی، ۱۳۹۹). سازند چلکن (طبقات قاره‌ای/لایه‌هایی قرمز/قهوه‌ای/طبقات تولیدی) در برش الگو، در خلیج چلکن در ضلع خاوری دریای خزر دارای ستبرای تقریباً ۴۰۰۰ متر است و رخساره قاره‌ای و عمدتاً درشت‌دانه، متشکل از طبقات سرخ رنگ با سن پلیوسن زیرین-میانی با ویژگی نیمه دریایی-قاره‌ای تشکیل شده‌اند. از نظر محتوای سنگواره‌ای، این نهشته‌ها دارای خرده‌های استراکود و فرامینیفر است و انواعی از Pulmonata خاص محیط لب‌شور در آنها مشاهده می‌شوند (Love, 1999).

این سازند همچنین با حجم زیادی از رسوبات وارده از چندین سیستم رودخانه‌ای چون دلتای قدیمی کورا در آذربایجان، دلتای قدیمی آمودریا در ترکمنستان و سفیدرود و دیگر دلتاهای قدیمی کوچک در ایران ترکیب

1. Integrated Prediction Error Filter Analysis
2. Prediction Error Filter Analysis
3. Maximum Entropy Spectral Analysis
4. Average Amplitude Spectrum



شکل ۲. ستون چین‌نگاری ژوراسیک-کرتاسه-سنوزویک در حوضه خزر جنوبی (بر گرفته از Abdullayev et al., 2015). (سازندهای مورد مطالعه با کادر قرمز مشخص شده است)

منتهی می‌شوند که با توجه به تبدیل روند مثبت به منفی یا منفی به مثبت، به ترتیب، نقطه چرخش منفی یا مثبت نامیده می‌شوند. هر مرز منفی (nb) نشان‌دهنده یک سطح بیشینه‌ی گسترش آب دریا (MFS) و هر مرز مثبت (pb) یک مرز سکانشی (SB) را نشان می‌دهد.

آنالیز تلفیقی فیلتر پیش‌بینی خطای دینامیکی (D-INPEFA) یکی از نمودارهایی است که از طریق نرم‌افزار سیکلولاگ محاسبه و از آن به منظور هم‌ارزی زون‌های مخزنی و تفسیر سطوح کلیدی چین‌نگاری سکانشی استفاده می‌شود

به‌طور کلی در نرم‌افزار سیکلولاگ، با انجام آنالیز موجک بر روی نگاره‌های چاه‌پیمایی مانند گاما و شناسایی روندهای افزایشی و کاهش‌ی در میزان خطای بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی‌شده می‌توان عناصر مختلف سکانشی‌های رسوبی را مشخص کرد (Cyclolog, 2016). در نگاره‌ی GR-INPEFA روندها به صورت نمودار مثبت و منفی نشان داده می‌شوند. روندهای مثبت (PT) یا افزایش در مقادیر (به سمت راست نمودار) نشان‌دهنده پیشروی نسبی آب دریا است که سرانجام به یک مرز منفی ختم می‌شوند و روندهای کاهش‌ی (به سمت چپ نمودار) یا روند منفی (NT) نشان‌دهنده پسروی آب است که به یک مرز مثبت

1. Cyclolog
2. Negative Break

بیشتر «ماسه‌ای-درشت‌شونده» از پیش‌بینی شده هستند. به‌طور کلی، می‌توان روند منفی D-INPEFA را «پس‌رونده» در نظر گرفت، اگرچه اهمیت دقیق آن به بافت زمین‌شناسی بستگی دارد. چنانچه روند ماسه‌ای می‌تواند به معنی (الف) افزایش عرضه رسوب درشت، (ب) کم‌عمق شدن، یا (ج) کاهش فاصله از خط ساحلی باشد. یک روند مثبت کلی در D-INPEFA بیانگر بخشی از داده است که از طریق آن مقادیر واقعی گزارش بیشتر از پیش‌بینی شده است. در مورد GR، این بدان معنی است که مقادیر واقعی بیشتر از مقادیر پیش‌بینی شده «شیلی» هستند، که حاکی از یک روند «پیش‌رونده» بوده، که می‌تواند بیانگر (الف) کاهش عرضه رسوب، (ب) افزایش عمق آب یا فضای رسوب‌گذاری، یا (ج) افزایش فاصله از خط ساحلی، بسته به زمینه باشد (Nio et al., 2005). در این مطالعه مرزهای اصلی سکانسی و سایر مرزهای جداکننده سیستم تراکت‌ها مشخص شده است.

بحث

چینه‌نگاری سکانسی

با توجه به اینکه تفسیر محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی برای سازند آچاگیل و چلکن بر اساس نمودارهای نگاره پرتوگاما صورت گرفته است و ستون سنگ‌شناسی برای منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است و سپس نتایج بررسی شده محیط رسوبی و چینه‌نگاری در چاه SFK-1 بررسی شده است (شکل ۴).

چینه‌نگاری سازند چلکن

مشخصات رسوب‌شناسی و چینه‌نگاری سکانسی به همراه نگاره پرتوگاما و INPEFA و کمربند رخساره‌ای، رخساره، محیط رسوبی و پاراسکانس‌های شناسایی شده در چاه صوفیکم-۱ سازند چلکن از قاعده به سمت بالا شامل سه سکانس رتبه سوم به شرح ذیل می‌باشد (شکل ۴).

سکانس CH-1

این سکانس پایین‌ترین سکانس از سازند چلکن است که بیشتر آن را واحد ماسه‌سنگی زیرین و کنگلومرای

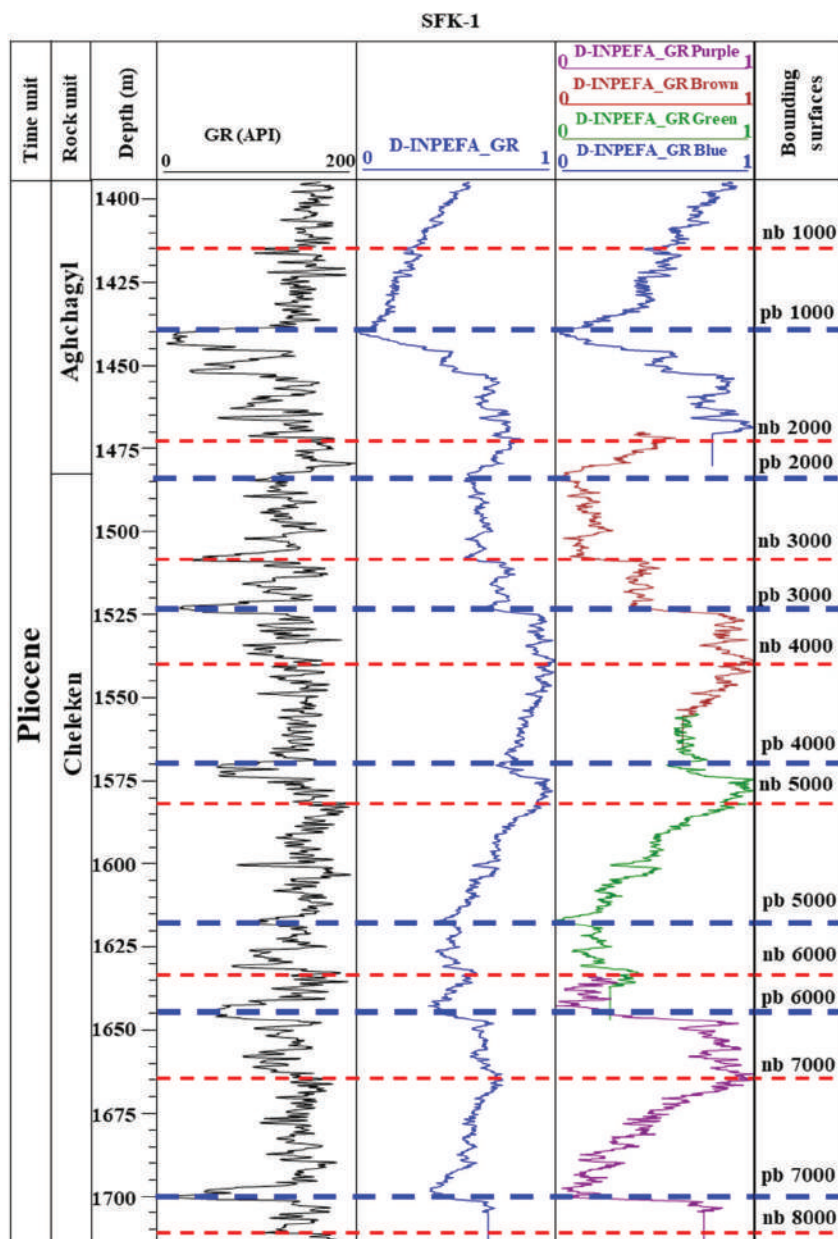
(Nio et al., 2005; Souza, 2012; Li et al., 2018; De Jong et al., 2006). در این مطالعه، در یک بررسی موردی در توالی‌های آواری-کربناته پلیوسن در حوضه جنوبی خزر دشت گرگان-گنبدکاووس، نمودار GR-DINPEF محاسبه و از طریق مقایسه نتایج آن با سکانس‌های شناسایی شده، و کارآرایی این روش ارزیابی شده است.

نگاره‌های پرتوگاما

در نرم‌افزار سیکلولاگ، از طریق نمودارهای چاه‌پیمایی و شناسایی روندهای افزایشی و کاهش‌ی در میزان خطای بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی نشده می‌توان سطوح مختلف سکانس‌های رسوبی را شناسایی کرد. بنابراین در هر مرحله از تغییرات نسبی سطح آب دریا، نگاره‌ی پرتوگاما همواره انحراف از متوسط مشخصی را دنبال می‌کند، که تغییرات این انحراف از متوسط داده‌ها نشان‌دهنده شرایط نسبی سطح آب دریا از پیش‌رونده به پس‌رونده و یا بالعکس می‌باشد. تفسیر چینه‌نگاری سکانسی برای سازند آچاگیل و چلکن بر اساس نمودارهای نگاره پرتوگاما به روش نمودار تحلیل فیلتر تجمعی پیش‌بینی خطا، و شناسایی روندهای مثبت و منفی نمودار در چاه صوفیکم-۱ مورد تحلیل و واکاوی قرار گرفت (شکل ۳). در نتیجه ۱۵ سطح مرزی شامل هشت مرز منفی (nb) و هفت مرز مثبت (pb) شناسایی شده که به ترتیب از بالا به پایین از ۱۰۰۰ nb تا ۸۰۰۰ nb مشخص شده است (شکل ۳). بر اساس نمودار Sub-division logs from range در شکل ۳، می‌توان به نه سطح سکانسی، شامل پنج سطح ناپیوستگی سکانسی (SB) و چهار سطح حداکثر سطح غرقابی (MFS) اشاره کرد. مرزهای ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ و ۶۰۰۰ و ۸۰۰۰ pb، به‌عنوان سطوح ناپیوستگی (SB) و مرزهای ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ و ۶۰۰۰ و ۷۰۰۰ nb به‌عنوان حداکثر سطح سیلابی (MFS) قابل تشخیص بوده است.

یک روند منفی D-INPEFA ناشی از مجموعه‌ای منفی از مقادیر خطای پیش‌بینی است. بنابراین، یک روند منفی کلی در مورد یک نگاره‌ی GR، مقادیر واقعی

1. Positive Break
2. INPEFA



شکل ۳. موقعیت قرارگیری سطوح مرزی مثبت و منفی تعیین شده بر روی نگاره‌ی گاما و تحلیل فیلتر تجمعی پیش‌بینی خطا بر روی چاه SFK-1

که بر اساس پژوهش‌های شرفی و همکاران، محیط رسوبی این سکانس می‌تواند به‌عنوان بخش رودخانه‌ای-دلتایی در نظر گرفته شود (شرفی و همکاران، ۱۴۰۰) (شکل ۴).

سکانس CH-2

مرز زیرین این سکانس در نقطه C بر روی نمودار INPEFA و با رسوبات ماسه‌سنگی و حداقل مقدار API بر روی نگاره‌ی گاما مشخص شده است (شکل ۴).

خاکستری و ماسه‌سنگ چرتی دانه‌ریز تا متوسط خاکستری روشن شروع شده و با تناوب ماسه‌سنگ و کنگلومرا و میان لایه‌های مارن و رس‌سنگ ادامه می‌یابد. در ادامه به‌صورت پراکنده میان لایه‌های نازک زغال در این واحد مشاهده می‌شود که باعث افت ناگهانی گاما خواهد شد (Rider, 2002). با توجه شکل الگوی رخساره نگاره‌ی گاما و رسوبات و رخساره‌های مورد بررسی شده محیط رسوبی سکانس CH-1 را می‌تواند به‌عنوان بخش رودخانه‌ای-دلتایی

(دارای چند منشا) با محیط رسوبی با حاشیه آبرفت تا محیط عمیق دریایی در نظر گرفت.

چینه‌نگاری سازند آچاگیل

مشخصات رسوب‌شناسی و چینه‌نگاری سکansı به همراه نگاره‌ی پرتوگاما و INPEFA و کمربند رخساره‌ای، رخساره، محیط رسوبی و پاراسکانس‌های شناسایی شده در چاه صوفیکم-۱ سازند آچاگیل از قاعده به سمت بالا شامل یک سکانس رسوبی رتبه سوم و یک پاراسکانس پیشرونده رتبه سوم به شرح زیر می‌باشد (شکل ۴):

سکانس AGH-1

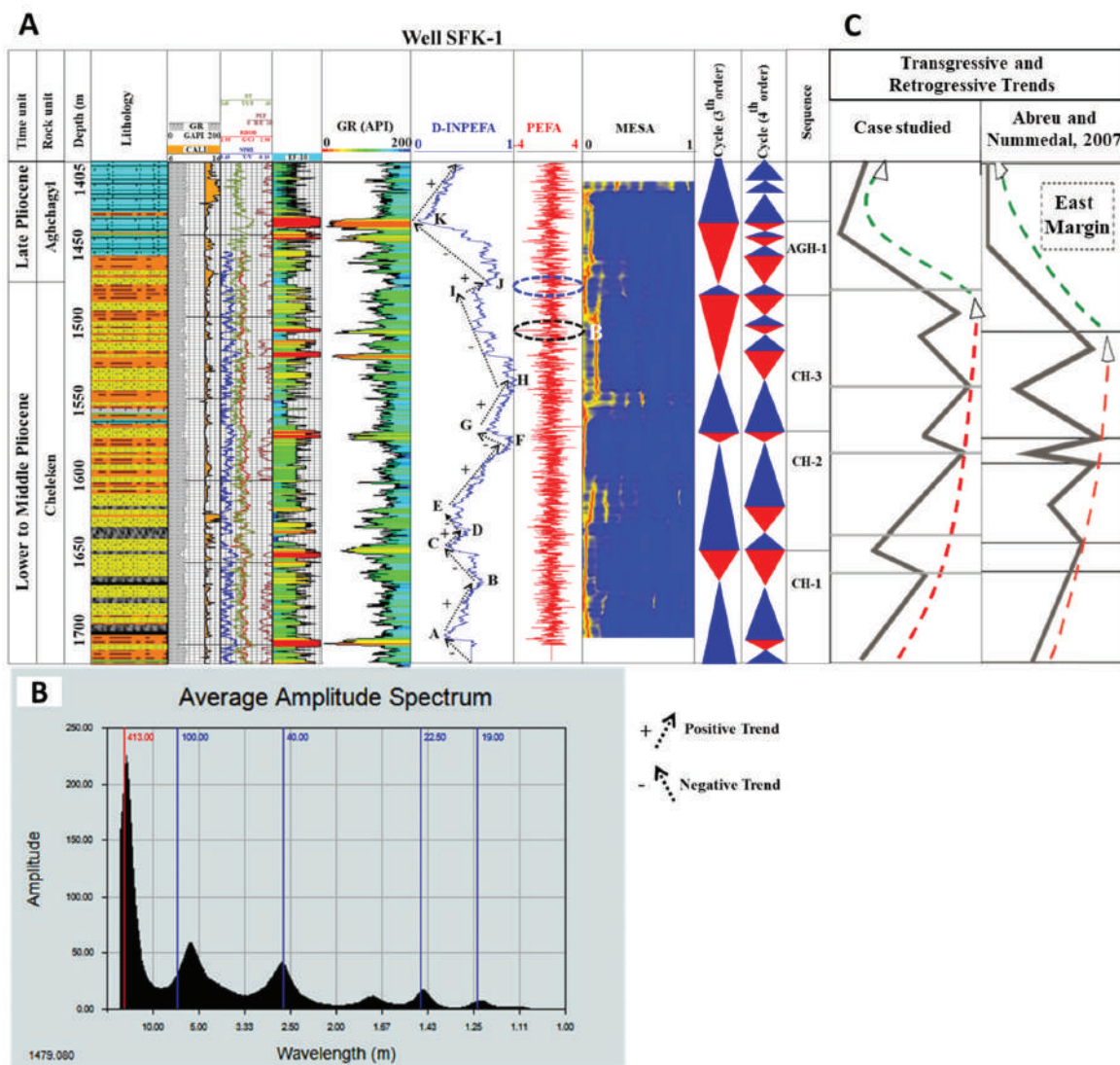
این سکانس، تنها سکانس رسوبی از سازند آچاگیل (پلیوسن میانی) در دشت گرگان-گنبدکاوس محسوب می‌شود که از یک سکانس مرتبه سه تشکیل شده است (شکل ۴). در چاه مورد مطالعه، مرز پایین این پاراسکانس در ژرفای ۱۴۸۳ متری نیز با کنگلومرای خاکستری در حد کمتر از یک متر مشخص می‌شود و بر روی نگاره‌ی پرتوگاما با کاهش در مقدار API و یا حداقل در مقدار D-INPEFA نشانگر مرز سکansı (SB) در نقطه J می‌باشد (شکل ۴). بیشترین مقدار نگاره پرتوگاما و حداکثر PEFA با سنبله مثبت در ژرفای ۱۴۷۳ بیانگر بیشترین سطح غرقابی (MFS) می‌باشد. مرز بالایی این سازند در ژرفای ۱۴۰۶ متری سازند آچاگیل با توالی پیشرونده (با آهک ماسه‌ای، آهک آرژیلیکی، آهک و به‌طور کلی رخساره‌های کربناته) مشخص می‌شود. توالی پیشرونده این سکانس با ماسه‌سنگ قرمز/قهوه‌ای و گاهی با میان‌لایه‌های از رسوبات آواری از جمله ماسه‌سنگ، به همراه انیدریت، مشخص می‌شود. این رخساره نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در شرایط انرژی متوسط تا بالا و در محیط شورفیس است.

بر اساس پژوهش‌های انجام شده در این پژوهش و مقایسه منطقه مورد مطالعه با مطالعات آبرو و نومدل (Abreu and Nummedal, 2007) در گستره حوضه‌های جنوبی و مرکزی خزر صورت گرفته است (به دایره شماره یک در شکل یک توجه شود). شکل ۴ خلاصه‌ای از روندهای پیشروی و پسروی در حوضه‌های جنوبی و مرکزی خزر

رسوبات این سکانس در ابتدا با وجود یک لایه کنگلومرای و ماسه‌سنگی و در ادامه بیشتر از جنس ماسه‌سنگ و شیل بوده که در بخش بالایی این سکانس رسوبات شیلی بیشتر شده و در انتهای سکانس با بیشترین مقدار API نگاره‌ی پرتوگاما و نمودار INPEFA و حداکثر سطح غرقابی (MFS) و بیشتر مقدار عددی مثبت در نمودار PEFA با سنبله مثبت مشخص می‌شود که این سکانس در نقطه G بر روی نمودار INPEFA از سکانس بالایی جدا می‌شود (شکل ۴). الگوی این توالی چرخه سکansı با حجم بیشتری از پیشروی محیط و الگوی کمتر از پسروی همراه بوده است.

سکانس CH-3

این سکانس، آخرین و بالاترین سکانس از سازند چلکن و مرز بین دو سازند چلکن و آچاگیل می‌باشد (شکل ۴). در چاه مورد پژوهش، در نقطه G مرز زیرین این سکانس و در ادامه نیز با کنگلومرای خاکستری و حداکثر مقدار API در نگاره‌ی پرتوگاما مشخص شده است که این فرآیند می‌تواند بیانگر یک رخداد جریان خرده‌دار در محیط رسوبی باشد (شکل ۴). در ادامه در نقطه H بیشتر مقدار API بیانگر حداکثر سطح سیلابی (MFS) می‌باشد و مرز بالایی این سکانس با پایان سازند چلکن و شروع‌کننده سازند آچاگیل است که کمترین مقدار API بر روی نگاره پرتوگاما را نشان می‌دهد و در نقطه I که بر روی نمودار INPEFA قرار دارد و به علت وجود گلوکونیت، فلدسپات و میکا بوده و در پژوهش‌های سنگ چینه‌نگاری و زیست چینه‌نگاری سازند چلکن براساس نانوپلانکتون‌های آهکی دشت گرگان (حوضه خزر جنوبی) به این موارد اشاره شده است (شرفی و همکاران، ۱۴۰۰). مرز بالایی این سکانس در ژرفای سازند چلکن با لایه‌های سیلیسی آواری از جمله ماسه‌سنگ، ماسه‌سنگ قرمز/قهوه‌ای مشخص می‌شود، الگوی کلی در این سکانس با پیشروی و پسروی برابری مشخص شده است که حداکثر مقدار API و یا حداکثر سطح غرقابی (MFS) در این سکانس مشخص می‌باشد. بر اساس مطالعات سلطانی (۱۳۹۹) قاعده این سکانس یا ابتدای سکانس آچاگیل در برش مورد مطالعه را می‌توان با نوعی کنگلومرای پلی‌میکتیک



شکل ۴. (A) سطوح سکانسی شناسایی شده توسط آنالیز موجک نگاره‌ی پرتوگاما، (B) نمودار میانگین دامنه طیفی در چاه C، SFK-1، خلاصه‌ای از روندهای پیشروی و پسروی در حوضه‌های جنوبی و مرکزی خزر (مقایسه گستره مورد پژوهش با پژوهش‌های آبرو و نومدل (Abreu and Nummedal, 2007))، خطوط خاکستری یکپارچه نشان‌دهنده منحنی‌های شکسته برای حاشیه‌های شرقی حوضه خزر جنوبی، خطوط خط‌چین سبز نشان‌دهنده روندهای پیشروی، و خطوط خط‌چین قرمز نشان‌دهنده روندهای پسروی در مکان‌های مختلف است (برگرفته از (Abreu and Nummedal, 2007)) (سازند چلکن و سازند آقچاگیل از فلات قاره‌ای ترکمنستان حاشیه شرقی خزر جنوبی، دایره شماره یک در سمت راست شکل یک) بیانگر شباهت زیاد بین دو گستره است

چپ شکل ۱ بیانگر شباهت زیاد بین گستره مورد پژوهش با پژوهش‌های آبرو و نومدل (Abreu and Nummedal, 2007) در حاشیه شرقی خزر جنوبی است (شکل ۴-C). بر اساس پژوهش‌های آبرو و نومدل (Abreu and Nummedal, 2007) می‌توان به شکل کلی حوضه رسوبی در این دو حوضه پژوهشی اشاره کرد و شباهت کلی حوضه با گستره مورد مطالعه نیز وجود دارد و این ویژگی بسیار حایز اهمیت در این مطالعه می‌باشد. تغییر

مقایسه گستره مورد پژوهش با پژوهش‌های آبرو و نومدل (Abreu and Nummedal, 2007) را نشان می‌دهد. خطوط خاکستری یکپارچه نشان‌دهنده منحنی‌های شکسته برای حاشیه‌های شرقی حوضه خزر جنوبی، خطوط خط‌چین سبز نشان‌دهنده روندهای پیشروی، و خطوط خط‌چین قرمز نشان‌دهنده روندهای پسروی در مکان‌های مختلف است (سازند چلکن و سازند آقچاگیل از فلات قاره‌ای ترکمنستان حاشیه شرقی خزر جنوبی، دایره شماره یک در سمت

براساس میزان تغییرات نگاره‌ی پرتوگاما میزان پیشروی و پسروی کلی مشخص شد و روند کلی برای سازند چلکن با افزایش در مقدار پرتوگاما پسروی و برای سازند آچاگیل با کاهش در مقدار پرتوگاما پیشروی مشخص شد.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی زمین‌شناسی زیرزمینی مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران برای تأمین هزینه‌های مالی و در اختیار قرار دادن اطلاعات چاه اکتشافی و اجازه انتشار نتایج سپاسگزاری می‌شود.

منابع

- آق‌آتابای، م. و تورانی، م.، ۱۳۹۷. لرزه‌زمین غرب استان گلستان، شرق ناحیه خزر جنوبی، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۴۵، ۷۱-۸۵.

- اسعدی، ع.، ایمن دوست، ع.، هنرمند، ج.، عبدالهی‌فرد، ا. و سلیمان، ا.ر.، ۱۴۰۱. کاربرد نمودار نرمال شده تجمعی انحراف گاما در شناسایی و انطباق سطوح کلیدی سکانسی، مطالعه موردی از سازند سروک در یکی از میداین هیدروکربنی زاگرس، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۶۳، ۱۵-۲۷.

- سلطانی، ب.، ۱۳۹۹. چینه‌نگاری سکانسی و شناسایی زون‌های مستعد، مخزنی نهشته‌های پلیوسن (چلکن و آچاگیل) در منطقه جنوب شرق دریای خزر، رساله دکترا، پژوهشگاه صنعت نفت تهران، ۲۰۵.

- شرفی، م.، موسوی، ن.، مرادپور، م.، بیرانوند، ب.، عبدالهی، ا. و مهاجر سلطانی، ح.، ۱۴۰۰. سنگ چینه‌نگاری و زیست چینه‌نگاری سازند چلکن براساس نانوپلانکتون‌های آهکی دشت گرگان (حوضه خزر جنوبی)، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۱۲۲، ۵۶-۴۳.

- نبوی، م.، ۱۳۵۵. دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹.

- Abdullayev, N. A., Kadirov, F. and Guliyev, I. S., 2015. Subsidence history and basin-fill evolution in the South Caspian Basin from geophysical mapping, flexural back stripping, forward lithospheric modeling and gravity modeling, Geological Society, 427, 27.

- Abreu, V. and Nummedal, D., 2007,

در مدت چرخه غالب مشاهده شده در خزر جنوبی از سری تولیدی (۴۰۰ هزار سال) به کواترن (۱۰۰ هزار سال) در فلات قاره ترکمنستان نیز وجود دارد، در این پژوهش نیز به‌درستی این موضوع پرداخته شده است (شکل ۴-B). این پژوهشگرها به موضوع چند منشای سازند چلکن در حوضه خزر جنوبی ترکمنستان از پالئو-آمودریا اشاره کرده‌اند که این موضوع در ستون چینه‌ای این پژوهش و چند منشای بودن سازند چلکن در بخش حوضه خزر جنوبی ایران نمایان است (شکل ۴-A). شباهت ضخامت و توالی رسوبی بین دو سازند چلکن و آچاگیل در پژوهش‌های آبرو و نومدل (Abreu and Nummedal, 2007) در حوضه خزر جنوبی ترکمنستان با این پژوهش یکی دیگر از دستاوردهای این پژوهش می‌باشد.

رسوبات کنگلومرای الیگومکتیک در قاعده سازند آچاگیل از سازند آیتامیر کنده‌شده و در ادامه با رسوبات آهکی و رسوبات ریزدانه که این روند توالی در پژوهش‌های صحرایی سلطانی با بررسی پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد و نشان‌دهنده پیشروی برای سازند آچاگیل می‌باشد. بر اساس مطالعه سلطانی، سازند آچاگیل از سه پاراسکانس تشکیل شده است که در این پژوهش یک سکانس کامل و سه پاراسکانس که این موضوع متفاوت است.

نتیجه‌گیری

با استفاده از نگاره‌ی پرتوگاما (CGR) و نمودار تحلیل فیلتر تجمعی پیش‌بینی خطا (D-INPEFA)، تعداد پانزده سطح سکانسی شامل هشت مرز منفی (nb) و هفت مرز مثبت (pb) شناسایی که بر اساس میزان روند مقدار گاما در چاه مورد مطالعه می‌توان به نه سطح سکانسی، شامل پنج سطح ناپیوستگی سکانسی (SB) و چهار سطح حداکثر سطح غرقابی (MFS) اشاره کرد. مرزهای ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ و ۶۰۰۰ و ۸۰۰۰ pb، به‌عنوان سطوح ناپیوستگی (SB) و مرزهای ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ و ۶۰۰۰ و ۷۰۰۰ nb به‌عنوان حداکثر سطح سیلابی (MFS) قابل تشخیص بوده است. با توجه به مرزهای شناسایی شده چهار سکانس رتبه سوم برای توالی پلیوسن (سازندهای چلکن و آچاگیل) مشخص شد. سپس

- Miocene to Quaternary sequence stratigraphy of the South and Central Caspian basins, in P. O. Yilmaz and G. H. Isaksen, editors, *Oil and gas of the Greater Caspian area: AAPG Studies in Geology* 55, 65–86.
- Ainsworth, R. B., 2006. Sequence stratigraphic-based analysis of reservoir connectivity: influence of sealing faults—a case study from a marginal marine depositional setting. *Petroleum Geoscience*, 12(2), 127–141.
 - 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(4), 1–22.
 - Berberian, M., 1983. The Southern Caspian: a compressional depression floored by a trapped, modified oceanic crust. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20, 163–183.
 - Berberian, M. and King, G. C. P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, 210–265.
 - Catuneanu, O., 2017. Sequence stratigraphy: Guidelines for a standard methodology. In *Stratigraphy and timescales*, 2, 1–57.
 - *Cyclog Use Guide*, Version 2016. Enres International Company.
 - De Jong, M. G. G., Nio, S. D., Smith, D. G. and Böhm, A. R., 2007. Subsurface correlation in the Upper Carboniferous (Westphalian) of the Anglo-Dutch Basin using the climate stratigraphic approach. *First Break*, 25 (12), 49–59.
 - De Jong, M. G. G., Smith, D. G., Nio, S. D. and Hardy, N., 2006. Subsurface correlation of the Triassic of the UK southern Central Graben: new look at an old problem: ENRES, Technical Paper Series, *First Break*, 24, 104–109.
 - Ehrenberg, S. N. and Svana, T. A., 2001. Use of spectral gamma-ray signature to interpret stratigraphic surfaces in carbonate strata: An example from the Finnmark carbonate platform (Carboniferous–Permian), Barents Sea. *AAPG Bulletin*, 85 (2), 295–308.
 - Gilbert, G. K., 1895. Sedimentary measurement of Cretaceous time, *Journal of Geology*, 3, 121–127.
 - Hinds, D. J., Aliyevad, E., Allenb, M. B., Daviesb, C. E., Kroonenberge, S. B., Simmons, M. D. and Vincent, S. J., 2004. Sedimentation in a discharge-dominated fluvial-lacustrine system: the Neogene Productive Series of the South Caspian Basin, Azerbaijan. *Marine of Petroleum Geology*, 21, 613–638.
 - Hosseini, S., Conrad, M. A. and Kindler, P., 2021. Sequence stratigraphy, depositional setting and evolution of the Fahliyan carbonate platform (Zagros fold-thrust belt, SW Iran) Early Cretaceous. *Marine and Petroleum Geology*, 128, 105–116.
 - Jackson, J., Priestley, K., Allen, M. and Berberian, M., 2002. Active tectonics of the South Caspian Basin, *Geophysical Journal International*. 148 (2), 214–245.
 - Kadkhodaie, A. and Rezaee, R., 2017. Intelligent sequence stratigraphy through a wavelet based decomposition of well log data. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 40, 38–50.
 - Li, Y. N., Shao, L., Hou, H., Tang, Y., Yuan, Y., Zhang, J. and Lu, J., 2018. Sequence stratigraphy, palaeogeography, and coal accumulation of the fluvial-lacustrine Middle Jurassic Xishanyao Formation in central segment of southern Junggar Basin, NW China. *International Journal of Coal Geology*, 192, 14–38.
 - Love, C. F., 1999. Regional Seismo-Stratigraphy Evaluation of the South Caspian Basin. 1–50.
 - Mammadov, P., 1992. Seismostratigraphical investigations of geological structure of sedimentary cover of South Caspian superdepression and perspectives of oil–gas productivity. Doctoral

Thesis, National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan (in Russian).

- Nio, S.D., Brouwer, J. H., Smith, D. G., De Jong, M. G. G. and Böhm, A. R., 2005. Spectral trend attribute analysis: applications in the stratigraphic analysis of wireline logs", First Break, 23 (4), 71-75.

- Rider, M. H., 2002-The gamma ray and spectral gamma ray logs. The Geological Interpretation of Well Logs, 2nd end. Rider-French Consulting Ltd, Whittle Publishing, Rogart, 71, 74.

- Soua, M., 2012. Application of facies associations, integrated prediction error filter analysis, and chemo stratigraphy to the organic-rich and siliceous Cenomanian-Turonian sequence, Bargou Area, Tunisia: Integrated sequence strati-

graphic analysis. Journal of Geological Research, ID973195.15.

- Tavakoli, V., 2017. Application of gamma deviation log (GDL) in sequence stratigraphy of carbonate strata, an example from off shore Persian Gulf, Iran. Journal of Petroleum Science and Engineering, 156, 868-876.

- Van Buchem, F. S. P., Allan, T. L., Laurson, G. V., Lotfpour, M., Moallemi, A., Monibi, S. and Vincent, B., 2010. Regional stratigraphic architecture and reservoir types of the Oligo-Miocene deposits in the Dezful Embayment (Asmari and Pabdeh Formations) SW Iran. Geological Society, London, Special Publications, 329 (1), 219-263.