

تعیین مرزهای چینه‌نگاری سکانسی با ترکیب نمودارهای آنالیز موجک داده‌های چاه‌پیمایی مطالعه موردی در میدان پارس جنوبی

مهدی نخستین مرتضوی^(۱*)، وحید توکلی^۲، ابوالقاسم کامکار روحانی^۳ و علیرضا عرب امیری^۴

۱. کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، جهاددانشگاهی.

۲. استادیار، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران.

۳. دانشیار، گروه ژئوفیزیک، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود.

۴. استادیار، گروه ژئوفیزیک، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود.

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۳

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۱

چکیده

امروزه استفاده از آنالیز موجک برای شناسایی و تجزیه و تحلیل مرزهای گذرا کاربرد فراوانی دارد. یکی از کاربردهای این نوع آنالیز، شناسایی ناپیوستگی‌ها در توالی‌های رسوبی و نیز شناسایی مرزهای چینه‌نگاری سکانسی می‌باشد. به دلیل انواع مرزهای سکانسی که بر روی نمودارهای مختلف چاه‌نگاری نمایان می‌گردند و دیگر تغییرات لیتولوژی و ساختاری بر روی نمودارهای چاه‌نگاری و به تبع آن تاثیر بر آنالیز موجک، نمی‌توان تنها با آنالیز موجک یک نوع نمودار چاه‌پیمایی، تمامی مرزهای سکانسی را شناسایی کرد. در این مطالعه سعی شده است با استفاده از آنالیز موجک داده‌های چاه‌پیمایی مانند GR, NPHI, RHOB, RHOZ, THOR/URAN و داده‌های تحلیل چندکانیایی مانند حجم انیدریت و نیز ترکیب نمودن آن‌ها، روشی مناسب و کم خطا برای تعیین خودکار این مرزها ارائه شود. بدین ترتیب برای شناسایی مرزهای سکانسی بهترین نتیجه از ترکیب ضرایب همبستگی نمودارهای GR, NPHI, RHOB(RHOZ) و نسبت حجمی انیدریت، ترکیب GR, NPHI, RHOB(RHOZ) و نسبت توربوم به اورانیوم THOR/URAN به دست آمده است. مقایسه نتایج به دست آمده از این روش با نتایج به دست آمده از سایر روش‌ها بر روی سازندهای کنگان و دالان در میدان گازی پارس جنوبی صحت این روش را اثبات می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: آنالیز موجک، چینه‌نگاری سکانسی، ژئوفیزیک، پارس جنوبی، نمودارهای چاه‌پیمایی.

مقدمه

مخزنی در دسترس می‌باشد. یکی از روش‌های کم هزینه و سریع، استفاده از داده‌های چاه‌پیمایی و تجزیه و تحلیل آن با تکنیک‌های جدید پردازش کامپیوتری، مبتنی بر الگوریتم‌های ریاضی است. یکی از روش‌های نوین پردازش داده‌ها، آنالیز موجک می‌باشد. آنالیز موجک روشی است که حساسیت بالایی نسبت به تغییرات ناگهانی دارد (Xia et al., 2009; Prokoph and Thurow, 2000; Niebuhr and Prokoph, 1997; Soroush et al., 2010); و بر این اساس می‌تواند در تشخیص و تعیین

تهیه نمونه‌های مغزه از چاه‌های هیدروکربنی هزینه بالایی دارد. علاوه بر این در بسیاری از بخش‌های مخزنی امکان مغزه‌گیری وجود ندارد. آنالیز مغزه‌ها نیز موجب صرف زمان و هزینه بسیاری می‌گردد. از این رو متخصصان تلاش می‌نمایند از روش‌های کم هزینه‌تر و سریع‌تر برای شناسایی خصوصیات مخازن هیدروکربنی استفاده نمایند. برخلاف داده‌های مغزه، داده‌های چاه‌پیمایی تقریباً در تمامی چاه‌ها و همه بخش‌های

* نویسنده مرتبط nakhostin_58@yahoo.com

آنالیز موجک

موجک تابع مشخص و مفروضی با میانگین صفر، طول متناهی و نوسانی است که در طرفین به شدت میرا است. در حقیقت دسته‌ای از توابع ریاضی می‌باشند که برای تجزیه سیگنال پیوسته به مؤلفه‌های فرکانسی آن به کار می‌رود.

موجک با مقیاس یک را اصطلاحاً موجک مادر و سایر مقیاس‌ها را موجک دختر می‌نامند. قدرت تفکیک‌پذیری هر مؤلفه متناسب با مقیاس آن است. در حقیقت مفهوم مقیاس ضریبی است که بیانگر فشردگی و کشیدگی موجک می‌باشد. اغلب مقیاس با "a" نشان داده می‌شود و متناسب با عکس فرکانس زاویه ای "ω" است.

(۱)

بیش از یک قرن از کشف موجک‌ها می‌گذرد و امروزه موجک انواع بسیار زیادی پیدا کرده است. به دلیل این‌که موجک مورله نسبت به موجک‌های دیگر حساسیت بیشتری نسبت به $\frac{1}{\omega}$ ناگهانی دارد و نیز از قدرت تفکیک‌پذیری بالاتری برخوردار است در این تحقیق از این موجک استفاده گردیده است. مطالعات پیشین در موارد مشابه و با استفاده از این نوع موجک پیوسته، توانایی آن را در تعیین مرزها در زمین‌شناسی نشان داده است. موجک مورله در واقع ضرب یک موج سینوسی مختلط در یک پوش گاوسی است.

(۲)

$$\psi_{a,b}^j(t) = \pi^{-\frac{1}{4}}(a)^{-\frac{1}{2}} e^{-i2\pi(\frac{1}{a})(t-b)} * e^{-\frac{1}{2}(t-\frac{b}{a})^2}$$

که در آن:

1: یک ضریب وابسته به a و b که a: طول پنجره آنالیز یعنی مقیاس و b: عرض پنجره آنالیز یا تغییر مکان موجک می‌باشد. هرچه پنجره آنالیز کوچک‌تر (مقیاس کوچک‌تر) باشد، حساسیت و قدرت تفکیک‌پذیری بالاتر می‌رود.

ضریب همبستگی

ضریب همبستگی، ضریبی است که بیانگر میزان شباهت سیگنال به موجک می‌باشد و اغلب با "C" نشان داده می‌شود. هرچه شباهت سیگنال به موج بیشتر باشد، این ضریب بزرگتر است. برای بدست آوردن این ضریب مقدار رقمی شده سیگنال را در مقدار رقمی شده موجک ضرب و تمام مقادیر با یکدیگر جمع می‌شوند. به بیان ریاضی اگر سیگنال با S(t) و موجک با (t) نشان داده شود، مقدار C از رابطه (۳) بدست می‌آید (Mallat, 2009).

مرزهای مخزنی مورد استفاده قرار گیرد. در ایران نیز مطالعاتی در این خصوص انجام شده است (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۰؛ ملاجان و همکاران، ۱۳۹۰؛ مجلسی‌کوپایی و همکاران، ۱۳۹۱). امروزه با پیشرفت علم چینه‌نگاری سکانسی، مرزهای مخزنی بر اساس چینه‌نگاری سکانسی تعیین می‌گردد (امینی، ۱۳۹۰). این نوع چینه‌نگاری چون نقص چینه‌نگاری سنگی^۱ و چینه‌نگاری زیستی^۲ را ندارد، چندی است توجه بسیاری از چینه‌شناسان و رسوب‌شناسان را به خود جلب نموده است. چینه‌نگاری سنگی چینه‌ها را از لحاظ سنگ‌شناسی و چینه‌نگاری زیستی از لحاظ محتوی فسیلی بررسی می‌کنند. مرزها در روش اول بر اساس جنس سنگ و در روش دوم به ترتیب زمانی و بدون توجه به شرایط رسوبگذاری تعیین می‌گردد. علم چینه‌نگاری سکانسی، مرزهای واحدهای اصلی را به نام سکانس رسوبی در قالب مرزهای زمانی قرارداده و واحدهای مرتبط را از نظر زایشی، از یکدیگر متمایز می‌نماید. بر این اساس تطابق واحدهای مخزنی در قالب واحدهای رسوبی امکان‌پذیر می‌گردد. با توجه به این‌که واحدهای مخزنی در شرایط همسان فیزیکی، شیمیایی و زیستی ته‌نشین می‌گردند، دارای خصوصیات مخزنی یکسانی هستند.

در این مطالعه با استفاده از آنالیز موجک به تجزیه و تحلیل داده‌های چاه‌پیمایی پرداخته شده و به وسیله آن مرز سکانس‌های رسوبی که معمولاً از نوع ناپوستگی‌ها بوده و منطبق بر مرز مخازن هیدروکربنی می‌باشند؛ شناسایی می‌گردد. با توجه به متفاوت بودن پاسخ‌های نمودارهای چاه‌پیمایی در مرزهای سکانسی متفاوت، ترکیب این داده‌ها جهت شناخت مرزها نتایج بهتری از یک نمودار خواهد داشت. با توجه به اهمیت مرز سکانسی، تأکید این مطالعه بر روی پنج مرز سکانسی تعیین شده در سازندهای کنگان و دالان بالایی در میدان گازی پارس جنوبی می‌باشد. تنوع رخساره‌های اولیه و نیز فرآیندهای دیاژنزی در این میدان، تعیین مرز سکانسی در سازندها را با مشکل مواجه می‌سازد و در نتیجه روشی سریع و دقیق که بتواند این مرزها را مشخص سازد، منجر به شناسایی دقیق مرزهای مخزنی خواهد شد.

داده‌ها و روش‌های مطالعه

با بررسی یک چاه اکتشافی دارای اطلاعات آن کامل‌تر و دقیق‌تر از چاه‌های دیگر و به کارگیری آنالیز موجک برای تمامی داده‌های در دسترس، سعی شد تا بهترین داده‌ها و یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای تعیین مرزهای سکانسی بر اساس آنالیز موجک مشخص گردد. با بررسی داده‌های چاه‌پیمایی یک چاه که کامل‌ترین برداشت را از نظر نوع و کیفیت لاگ‌ها در سازندهای مورد مطالعه دارد؛ انتخاب شد و راستی آزمایی روش بر روی چهار چاه دیگر آزمایش گردید.

1. Wavelet analysis
2. Lithostratigraphy
3. Biostratigraphy
4. Correlation coefficient

میدان گازی پارس جنوبی

میدان گازی پارس جنوبی، بزرگترین میدان گازی جهان، در آب‌های خلیج فارس بر روی خط مرزی مشترک ایران و قطر به فاصله ۱۰۰ کیلومتری از بندر عسلویه در ساحل جنوبی ایران، ۱۰۵ کیلومتری شمال شرقی شبه - جزیره قطر و ۳۳۰ کیلومتری شمال غربی دبی واقع شده است. این میدان در سال ۱۹۹۰ میلادی با حفر چاه Wa کشف گردید. در حالیکه بخش قطری آن (North Dome) در سال ۱۹۷۱ میلادی مورد اکتشاف قرار گرفته است (Konert et al., 2001). وسعت این میدان حدود ۳۷۰۰ کیلومتر مربع است که بین طول‌های شرقی ۵۱° ۵۰' تا ۵۲° ۴۰' و عرض‌های شمالی ۲۶° ۲۵' تا ۲۷° ۰۵' واقع شده است (شکل ۲).

چاه‌های مورد مطالعه

در این میدان تعداد زیادی چاه اکتشافی اصلی و فرعی حفر گردیده است. در این تحقیق از پنج چاه wa, wb, wc, wd, we که موقعیت آن‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است؛ استفاده گردیده است. برای مطالعه از نمودارهای (GR, NPHI, RHOB, RHOZ, THOR, URAN, THOR/URAN, URAN/THOR) و درصد حجمی انیدریت (V_{anh}) در ۵ چاه مورد مطالعه استفاده شده و بر روی داده‌های چاه‌پیمایی مذکور، به تفکیک بر اساس موجک هار، مورله و داوبچیز، بیش از ۱۳۰ مورد آنالیز موجک انجام شد. پس از بررسی اولین چاه و بدست آوردن بهترین موجک و بهترین شرایط برای نمودار آنالیز ترکیبی، روش بهینه بدست آمده برای چاه‌های بعدی به کار برده شد.

در هر چاه داده‌ها به صورت پیوسته و به فاصله تقریبی ۱۵ سانتیمتر از یکدیگر، برداشت شده است. داده‌های عنصری به خصوص عناصری که نشان دهنده شرایط اکسایش-کاهش محیط رسوبگذاری می‌باشند، کاربرد فراوانی در تعیین مرزهای سکansı دارند. در این مطالعه از نسبت توریم به اورانیوم در ۲ چاه استفاده

$$C = \int_{-\infty}^{+\infty} S(t) * \Psi(t) \quad (3)$$

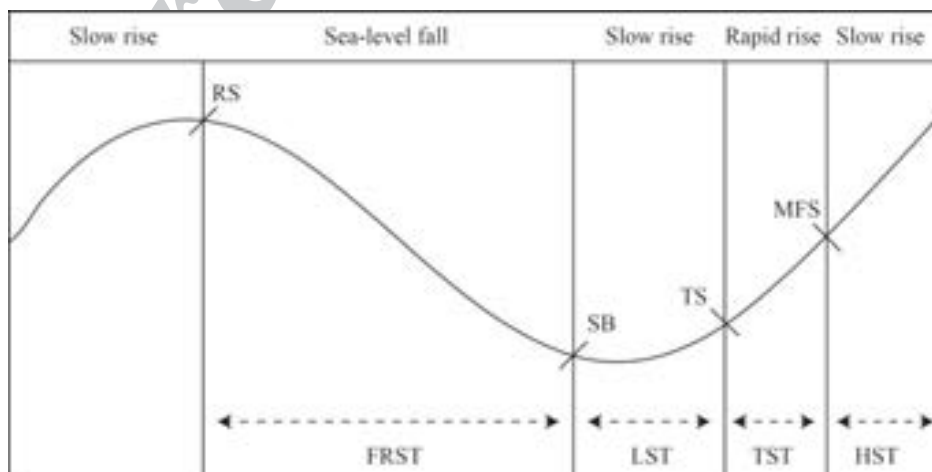
در واقع اختلاف این ضریب از حالت عادی تغییرات سیگنال اولیه نشان‌دهنده تغییرات خاص سیگنال مورد بررسی است.

آنالیز پیوسته موجک^۱

آنالیز پیوسته موجک در حقیقت بدست آوردن مقدار ضریب همبستگی و به بیان ساده‌تر بدست آوردن میزان شباهت سیگنال با موجک در مقیاس‌ها و تغییر مکان‌های متعدد است. این عملیات نشان دهنده آن است که در کدام قسمت موج چه میزان شباهت با کدام یک از مقیاس‌های موجک وجود دارد. همانند آنالیز فوریه، در آنالیز پیوسته موجک با بسط توابع سروکار داریم؛ ولی این بسط بر حسب توابع سینوسی و کسینوسی انجام نمی‌شود؛ بلکه بر اساس مقیاس‌های موجک انجام می‌شود. به بیان ساده‌تر، آنالیز پیوسته موجک ضرب کردن مقدار رقمی سیگنال در مقدار رقمی موجک در مقیاس‌ها و تغییر مکان‌های آن در تمام بازه زمانی سیگنالی باشد. این فرایند ضریب همبستگی موجک را که معادله مقیاس و مکان است؛ بوجود می‌آورد. حاصل آنالیز موجک یک نمودار در سه بعد زمان "t"، مقیاس "S" و ضریب همبستگی "C" است و اسکیلوگرام آن نام دارد.

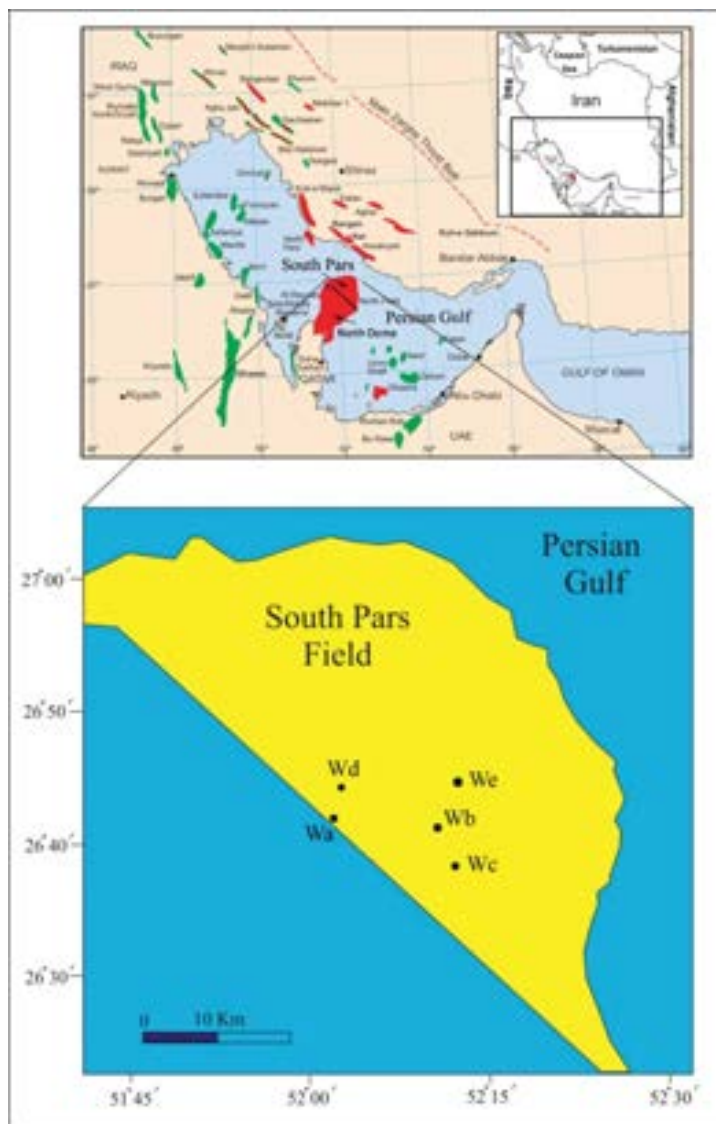
چینه‌نگاری سکansı

چینه‌نگاری سکansı مطالعه ارتباط سنگ‌ها در قالب زمان و تکرار واحدهای مرتبط از نظر زایشی است که به وسیله سطوح فرسایشی یا عدم رسوبگذاری یا سطوح معادل آنان مشخص می‌شوند (Van Wagoner, 1995; Posamentier et al., 1988). مرزهای سکansı بر اثر نوعی تغییر چرخه‌ای سطح نسبی آب دریا و تغییر خط ساحلی به وجود می‌آیند. در شکل ۱ این چرخه به طور کامل دیده می‌شود.



شکل ۱. سطوح اصلی چینه‌نگاری سکansı - RS سطح پسروده - SB مرز سکansı - TS سطح پیشرونده MFS سطح حداکثر غرق آبی در روی منحنی تغییرات سطح نسبی آب دریا (امینی-۱۳۹۰).

1. Continuous Wavelet Analysis
2. Scalogram



شکل ۲. موقعیت میدان و چاه‌های مورد مطالعه (شکل کلی از Insalaco et al., 2006)

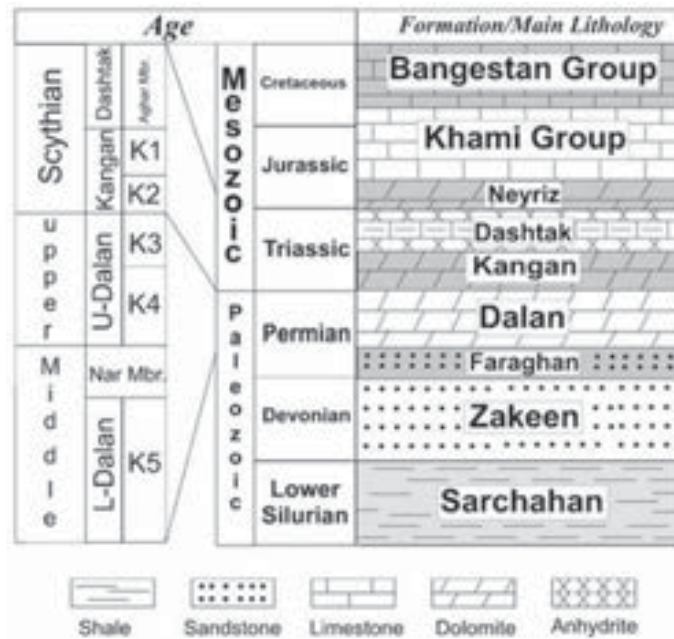
بررسی مرزهای سکانسی بر اساس شاخص‌های چاه‌نگاری

مطالعات مختلف تعداد چهار سکانس رسوبی را در منطقه مورد مطالعه به اثبات رسانده است (توکلی، ۱۳۹۰؛ Ehrenberg et al., 2006; Insalaco et al., 2006). این سکانس‌ها به ترتیب از بالا به پایین شامل KS1، KS2، KS3 و KS4 می‌گردد. هرکدام از این سکانس‌ها به بخش‌های HST، TST، LST تقسیم می‌گردند (شکل ۱). در این مطالعه از بررسی و مطالعه مرزهای فرعی صرف‌نظر شده و به بررسی مرزهای اصلی که از اهمیت بیشتری برخوردارند، پرداخته می‌شود. بدین ترتیب به بررسی چهار مرز پایینی سکانس‌ها و مرز بالایی KS₁ که پایان چرخه رسوبگذاری این مخزن و منطبق با مرز سکانسی زیرین سازند فوقانی (دشتک) می‌باشد، پرداخته شده است. شکل ۴ توالی لیتولوژی، رخساره‌های موجود و سکانس‌های سازندهای کنگان و دالان فوقانی را در میدان گازی پارس جنوبی نشان می‌دهد.

شده است. هر دوی این عناصر نشان دهنده شرایط اکسایش-کاهش محیط رسوب‌گذاری می‌باشند؛ به طوری که در محیط‌های کاهشی نسبت توریم به اورانیوم کمتر از ۲، در شرایط اکسایشی ۲ تا ۷ و در شرایط به شدت اکسایشی بیش از ۷ می‌باشد. در زمان پرمین پایانی و همزمان با بزرگترین انقراض موجودات بر روی کره زمین، شرایط آب‌های اقیانوسی به شدت کاهشی می‌گردد؛ که از این امر می‌توان برای تعیین مرز سازندهای کنگان و دالان استفاده نمود (Tavakoli and Rahimpour-Bonab, 2012)

چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه

توالی کربناته-تبخیری سازندهای دالان (پرمین فوقانی) و کنگان (تریاس زیرین) که معادل سازند خوف می‌باشند، از اصلی‌ترین مخازن گازدار ایران محسوب می‌شوند. در شکل ۳ توالی چینه‌شناسی این میدان از سیلورین تا کرتاسه نشان داده شده است.



شکل ۳. لیتولوژی کلی سازندها و سکانس‌های رسوبی در توالی رسوبی منطقه مورد مطالعه (Tavakoli et al., 2011)

این مرز دارد. در پایین این مرز حفرات حاصل از انحلال جوی به فراوانی دیده می‌شود. همچنین سیمانی شدن تبخیری‌ها و از بین رفتن تخلخل اولیه نیز در آن‌ها رخ نداده است. این دلایل سبب افزایش تخلخل و نیز کیفیت مخزنی در زیر این مرز شده است. تغییرات میزان توربوم و اورانیوم در این مرز نشان می‌دهد که، تغییرات شرایط اکسایش - کاهش در این مرز شدید بوده است (Tavakoli and Ra- himpour-Bonab, 2012). داده‌های نسبت ایزوتوپ استرانسیوم نیز دلیلی بر وجود مرز سکانشی در این مرز می‌باشد. افزایش ناگهانی این ایزوتوپ در مقایسه با تغییرات ایزوتوپ استرانسیوم آب دریای انتهایی پرمین نشان می‌دهد، که ورود آبهای جوی در انتهای این مرز وجود داشته است (Tavakoli and Rahimpour-Bonab, 2012) این امر بر روی نمودار گاما نیز مشخص است.

مرز پایینی KS1

این مرز بین واحدهای مخزنی K1, K2 قرار دارد. کاهش داده‌های چگالی (RHOB) در این مرز نشان دهنده انحلال و سیمانی شدن کلسیتی می‌باشد. نمودار تخلخل (NPHI) هم در این مرز افزایش محسوسی دارد. در این مرز انحلال و دولومیتی شدن بیشتر نمایان است؛ هر چند میزان رسوب تبخیری‌ها به خصوص انیدریت چندان زیاد نیست.

مرز بالایی KS1

این مرز بین سازند کنگان و دالان بالایی یعنی مرز واحدهای K3 و K2 بوده و نهشته‌های پرمین را از تریاس در میدان مورد مطالعه جدا می‌کند. به دلیل کاهش عمق حوضه رسوبی در این مرز که (رسوبات بسیار به سطح نزدیک می‌شوند و یا از آب خارج می‌شوند (توکلی، ۱۳۹۰)، تأثیر آب‌های جوی فرایند انحلال نقش مؤثری در تعیین

مرز پایینی KS4

این مرز منطبق با مرز بین انیدریت نار و واحد مخزنی K4 بوده و با کاهش ناگهانی انیدریت در ابتدای سکانس KS4 همراه است. البته، با افزایش عمق حوضه و کاهش انیدریت، تخلخل آن افزایش می‌یابد. همچنین به علت آن که در این بخش همچنان مقدار انیدریت بالاست، تخلخل و در نتیجه کیفیت مخزنی پائین می‌باشد.

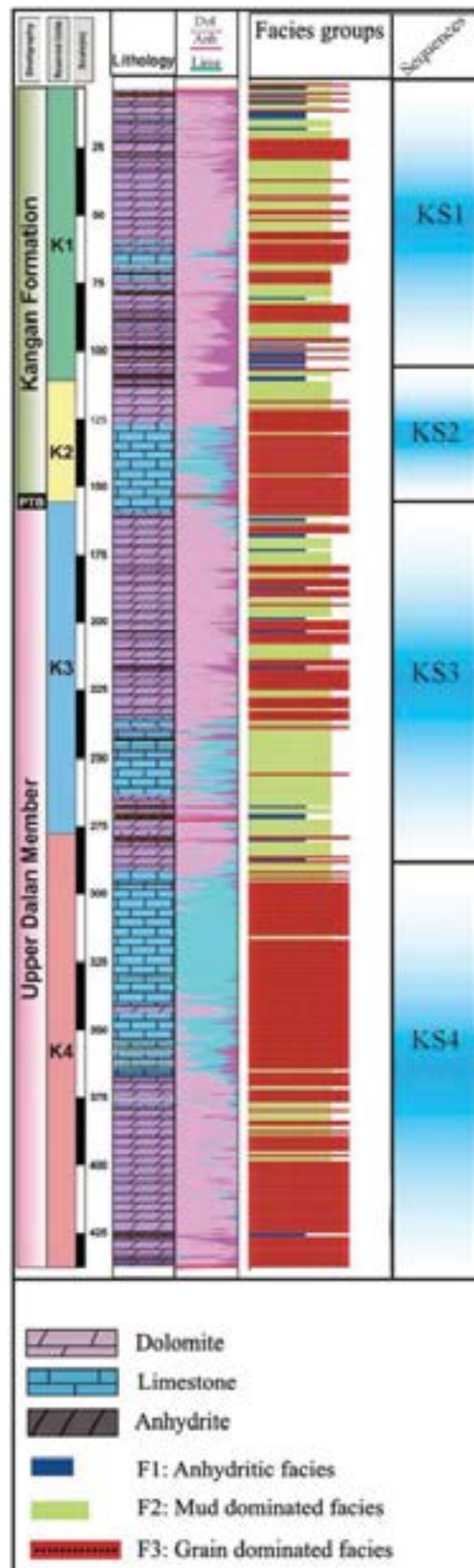
مرز پایینی KS3

این مرز با چند متر اختلاف در چاه‌های مختلف منطبق بر مرز K4-K3 بوده و بخش مخزنی K4 را از بخش غیرمخزنی K3 جدا می‌کند. در اکثر چاه‌ها، در این مرز لایه انیدریتی مشاهده می‌گردد. رسوبات درشت پیشرونده^۱ در بالای این مرز نشان دهنده شروع افزایش عمق حوضه رسوبی است. شایان ذکر است در بالای این مرز یک لایه گرین‌استونی نیز دیده می‌شود که اغلب از اینترا کلاست‌هایی تشکیل شده که از لایه پایینی کنده شده است. لذا کیفیت مخزن به طور ناگهانی در یک لایه نازک بالا می‌رود. این مرز با نمایان شدن ضخیم‌ترین لایه انیدریتی در پایین که بیانگر کمترین عمق حوضه رسوبی است؛ در نگاره چگالی (RHOB)، افزایش میزان گاما (GR) و افزایش درصد حجمی انیدریت قابل تشخیص است.

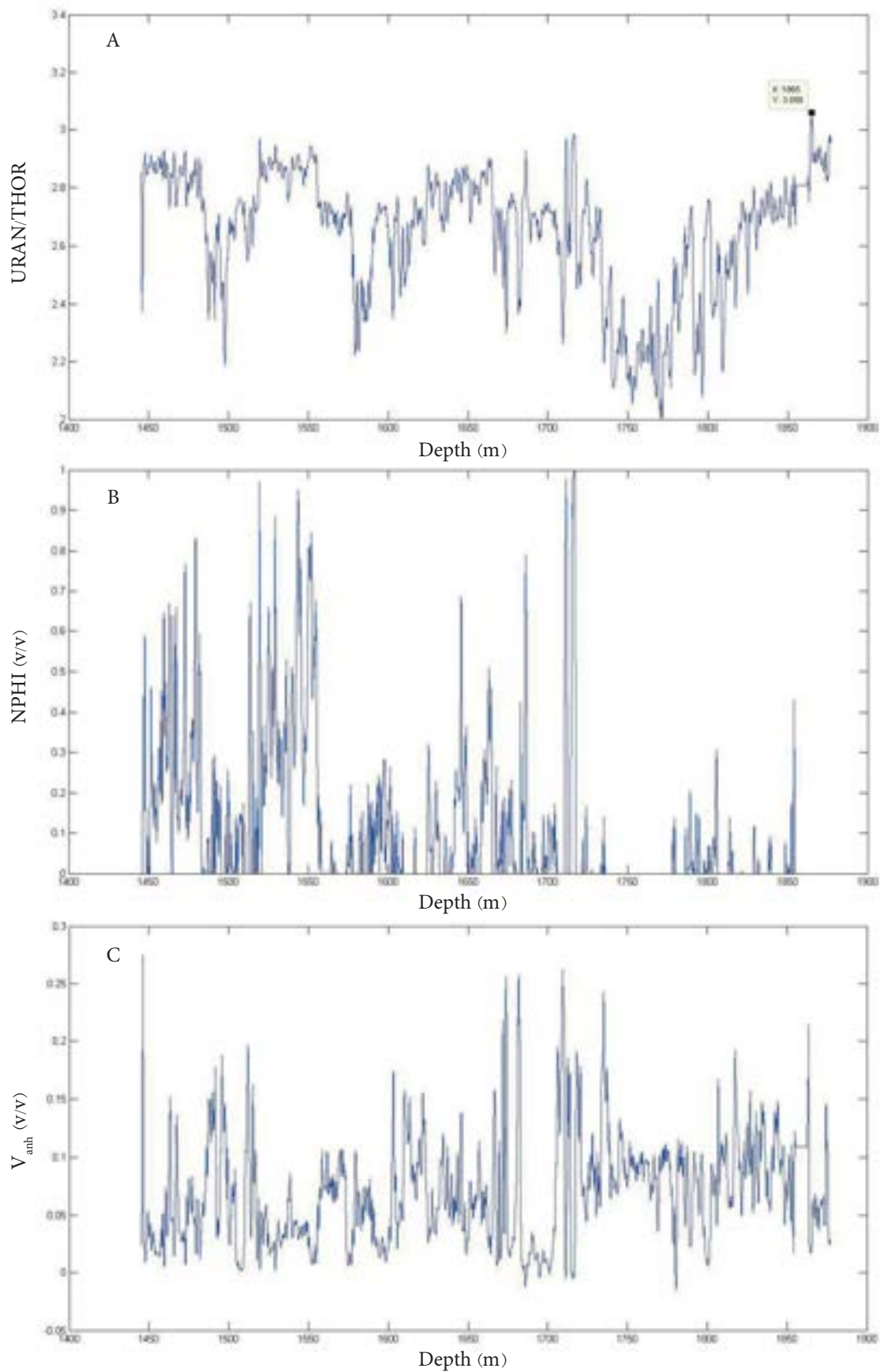
مرز پایینی KS2

این مرز منطبق بر مرز کنگان و دالان بالایی یعنی مرز واحدهای K3 و K2 بوده و نهشته‌های پرمین را از تریاس در میدان مورد مطالعه جدا می‌کند. به دلیل کاهش عمق حوضه رسوبی در این مرز که (رسوبات بسیار به سطح نزدیک می‌شوند و یا از آب خارج می‌شوند (توکلی، ۱۳۹۰)، تأثیر آب‌های جوی فرایند انحلال نقش مؤثری در تعیین

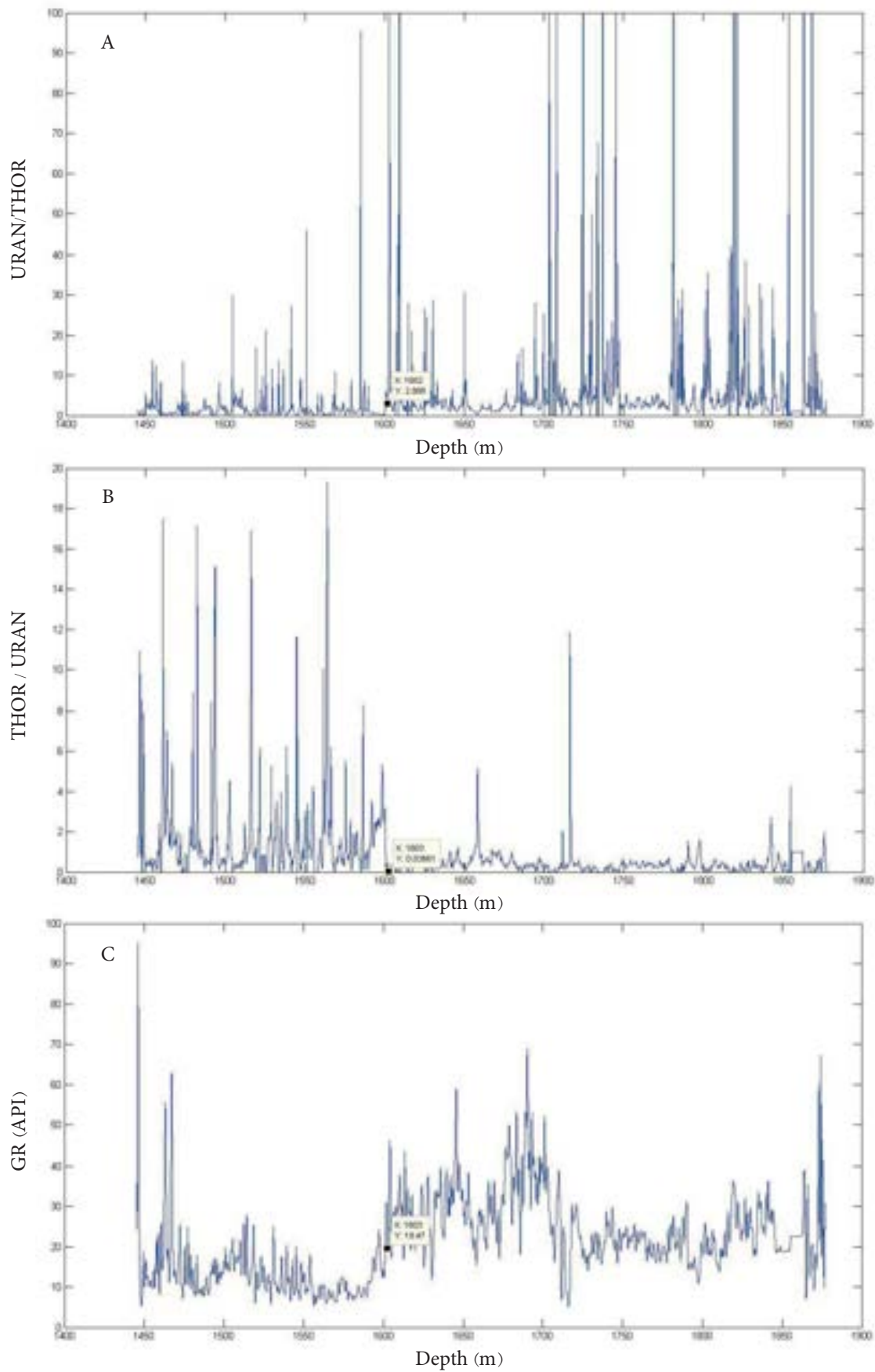
1 -Transgressive lag



شکل ۴. توالی لیتولوژی و رخساره‌های موجود در میدان پارس جنوبی (سکانس‌ها در کنار ستون نشان داده شده است).



شکل ۵. تغییرات نگاره‌های چاه‌پیمایی در مرزهای سکansı در چاه Wa. A) چگالی (RHOB)، B) تخلخل نوترونی (NPFI)، C) نسبت حجمی انیدریت (V_{ane})



شکل ۶. تغییرات نگره‌های چاه‌پیمایی در مرزهای سکانسی در چاه Wa. (A) نسبت اورانیوم به توریم، (B) نسبت توریم به اورانیوم، (C) اشعه گاما (GR)

ضرب می‌شوند تا پیک یا تراف حاصله دارای حداکثر مقدار خود باشد. حال در محل‌هایی که در همه آنالیزها پیک هم علامت دیده می‌شود، یک پیک تشدید شده مثبت تولید می‌شود و در محل‌هایی که نمودارها پیک با علامت مخالف دارند، پیک تشدید شده با علامت منفی تولید می‌شود. بدیهی است که این پیک با علامت مثبت یا منفی نشان دهنده انحرافات اساسی در لاگ‌های به کار رفته خواهد بود. در اشکال ۷، ۸، ۹ و ۱۰ و همچنین جدول شماره ۱ نتایج حاصل از این ترکیب قابل مشاهده است. در مرز بالای KS1 که منطبق بر مرز بین شیل آگار و K1 می‌باشد، به دلیل افزایش شیل در لایه آگار افزایش ناگهانی مقادیر اشعه گاما (GR) قابل توجه است. همچنین کاهش تخلخل نوترونی NPHI و افزایش دانسیته RHOB نیز قابل مشاهده است. بنابراین در این مرز یک تغییر روند ناگهانی در تمامی نمودارها ایجاد می‌گردد که باعث ایجاد پیکی کاملاً مشخص در نمودار ترکیبی می‌شود. این ماکزیمم محلی در عمق ۱۴۴۷ متری و در شکل ۷ قابل مشاهده است.

در عمق ۱۵۵۸/۵ متری دومین مرز سکansı مشاهده می‌گردد که در نمودار ترکیبی آنالیز موجک (شکل ۸) این مرز به صورت مینیمم محلی کوچکی در عمق ۱۵۵۸ متر مشاهده می‌گردد. این مرز که کمی پائین‌تر از مرز بین K1 و K2 می‌باشد، با افزایش دانسیته RHOB و کمی افزایش GR، کاهش NPHI تخلخل نوترونی و افزایش درصد حجمی انیدریت (V_{anh}) همراه است. ولی به دلیل تغییرات جزئی در میزان GR و درصد حجمی انیدریت و میزان ضریب همبستگی پائین آنالیز موجک مربوط به آن‌ها در این نقطه، نمودار ترکیبی در این عمق یک مینیمم محلی بسیار کوچک نشان می‌دهد.

در عمق ۱۵۹۸ متری سومین مرز سکansı مشاهده می‌گردد. این مرز که منطبق بر مرز بین K2 و K3 می‌باشد با افزایش کم دانسیته RHOB و کاهش محسوس اشعه گاما (GR)، افزایش تخلخل نوترونی NPHI و افزایش جزئی در صد حجمی انیدریت (V_{anh}) همراه است. ولی به دلیل تغییرات کم درصد حجمی انیدریت و دانسیته RHOB و در نتیجه ضریب همبستگی کوچک آنالیز موجک در این مرز یک ماکزیمم محلی بسیار کوچک در آنالیز موجک ترکیبی در عمق ۱۶۰۳ متری یعنی ۵ متر پایین‌تر از مرز سکansı مشاهده می‌گردد (شکل ۹).

در عمق ۱۷۲۶ متری چهارمین مرز سکansı دیده می‌شود که این مرز در نمودار آنالیز به صورت ماکزیممی کاملاً مشخص در عمق ۱۷۱۴ مشاهده می‌گردد (شکل ۱۰). این مرز اندکی بالاتر از مرز K3 و K4 قرار دارد و با افزایش RHOB و افزایش GR، افزایش NPHI و افزایش شدید درصد حجمی انیدریت همراه است. به دلیل این‌که در تمامی نمودارها افزایش شدید و محسوس دیده می‌شود این مرز نیز به صورت یک ماکزیمم محلی کاملاً مشخص دیده می‌شود.

در پایان این مرز که با پایان ته‌نشست کنگان نیز همراه است، رسوبات کم عمق جزر و مدی دیده می‌شوند. کم شدن عمق محیط رسوبی نیز باعث افزایش رسوبات تخریبی (شیل) می‌گردد.

آنالیز موجک داده‌های چاه پیمایی

پیش از آغاز تحلیل نمودارهای چاه‌پیمایی لازم است تا تصحیحات لازم بر روی آنان انجام شود. با توجه به این‌که این نمودارها توسط شرکت شلامبرگر^۱ تهیه شده است، تصحیحات لازم با استفاده از نمودارهای تصحیح این شرکت بر روی داده‌های لاگ انجام شد. نمودار گاما و وابستگان آن (THOR, URAN) با استفاده از نمودار تصحیح گاما (Por7)، نمودار NPHI با استفاده از نمودار تصحیح لاگ نوترون در چاه‌های بدون جداره (Por13b) و نمودار RHOB و RHOZ با استفاده از نمودار تصحیح جبرانی (Por15a) تصحیح شدند.

همان‌گونه که در شکل‌های ۵ و ۶ دیده می‌شود، تشخیص مرزهای سکansı بر اساس تنها یک لاگ بسیار مشکل و در مواردی غیرممکن است. در واقع می‌توان مرزهای اشاره شده بر اساس مطالعات رسوب‌شناسی را در مناطق دیگر بر روی داده‌های لاگ نیز مشخص ساخت. به همین سبب، بر روی انواع داده‌های چاه‌پیمایی و حجم شیل در پنج چاه در دسترس، آنالیز موجک با استفاده از موجک هار، داوبچیز و مورله صورت گرفت. در خصوص انتخاب بهترین موجک در مطالعات زمین‌شناسی تا کنون مطالعات زیادی انجام شده است (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۰؛ ملاجان و همکاران، ۱۳۹۰، مجلسی‌کوپایی و همکاران، ۱۳۹۱). در این مطالعه، بهترین نتیجه از موجک مورله و بر روی نمودارهای GR, RHOB, RHOZ, VanhNPHI و نسبت توریوم به اورانیوم (THOR/URAN) حاصل گردید.

در نمودار آنالیز موجک داده‌ها پیک‌ها و تراف‌های متعددی نشان می‌دهند، که هر یک را می‌توان به یک رخداد نسبت داد. چون هدف پیدا کردن مرزهایی است که در تمامی آنالیزها قابل مشاهده است، لذا از ترکیب تمامی داده‌ها به روش ضرب نظیر به نظیر استفاده شد. با بررسی‌های صورت گرفته از لحاظ تجربی یکی از بهترین ترکیب‌ها برای نمودار ترکیبی آنالیز موجک به صورت ذیل می‌باشد.

$$C_{Ta} = C_{GR\alpha} \times C_{NPHI\alpha} \times C_{RHOB\alpha} \times C_{Vanha} \quad (۴)$$

که در آن:

C_{Ta} : ضریب همبستگی ترکیبی در مکان (Z, α) می‌باشد که Z عمق و α مقیاس موجک می‌باشد.

$C_{GR\alpha}$: ضریب همبستگی داده GR در مکان α

$C_{NPHI\alpha}$: ضریب همبستگی داده NPHI در مکان α

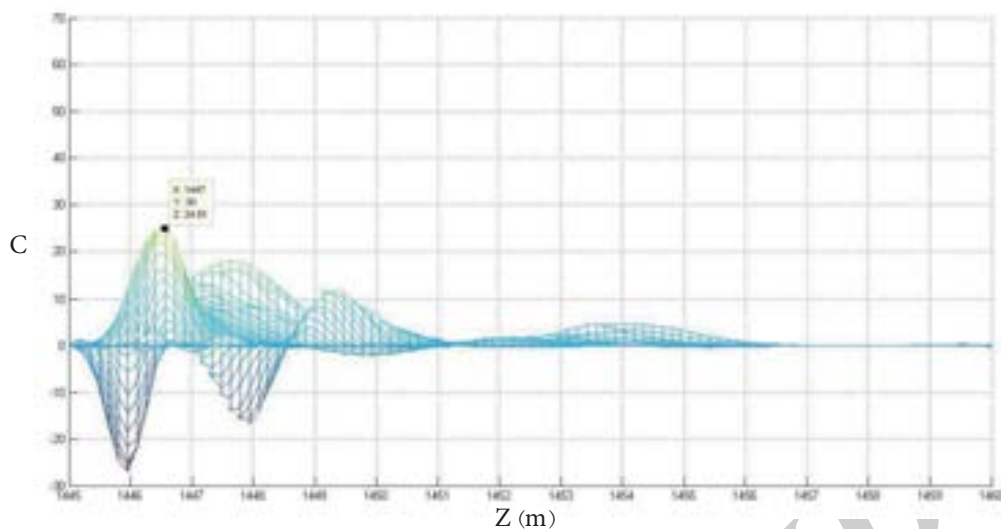
$C_{RHOB\alpha}$: ضریب همبستگی داده RHOB در مکان α

C_{Vanha} : ضریب همبستگی داده نسبت حجمی انیدریت در مکان α

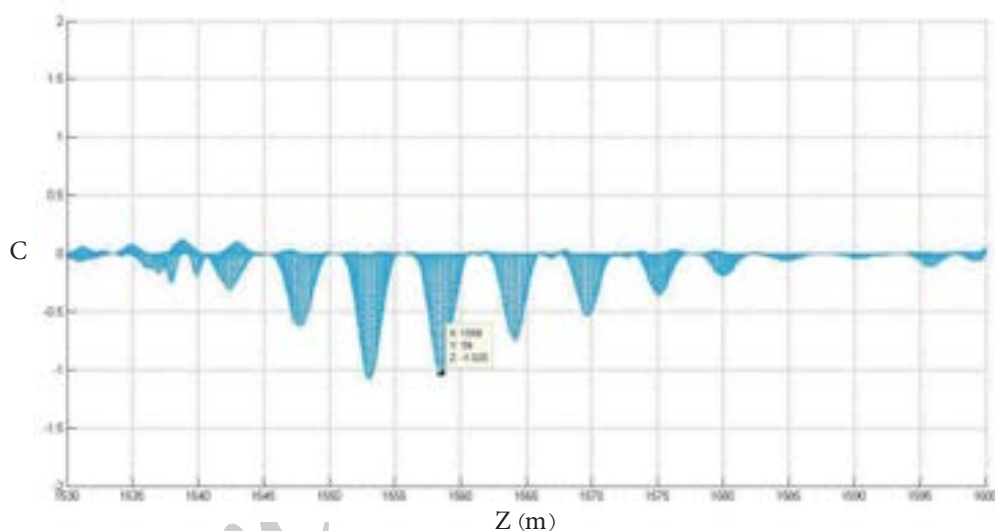
به عبارت دیگر ضرایب همبستگی در مقیاس‌های یکسان زمانی که پیک‌های شبیه به هم از نظر علامت دیده می‌شود در هم

جدول ۱. عمق مرز سازندها و سکانس‌ها و عمق ماکزیمم محلی در نمودار آنالیز ترکیبی موجک داده چاه‌پیمایی GR, NPFI, RHOB و Vanh در پنج چاه بررسی شده به همراه خطای حاصل از آنالیز ترکیبی موجک در تعیین عمق مرز سکانس‌ها

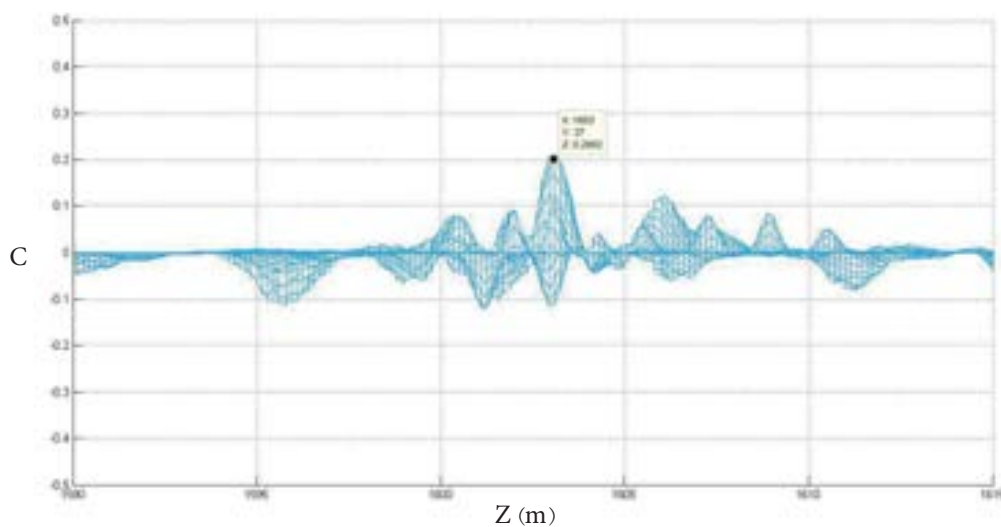
نام چاه	شرح	عمق مرز لایه	عمق مرز سکانس	عمق اکسترمم محلی	مقیاس	ضریب	خطا m	خطا %
Wa	K1_Top	۱۴۴۶/۶	۱۴۴۶/۶	۱۴۴۷	۳۰	۲۴/۵	۰/۴	۰/۴
	K2_Top	۱۵۵۶	۱۵۵۸/۵	۱۵۵۸	۵۹	۳	۳	۷/۶
	K3_Top	۱۵۹۸	۱۵۹۸	۱۶۰۳	۲۷	۰/۲	۵	۳/۹
	K4_Top	۱۷۱۷	۱۷۲۶/۷	۱۷۱۴	۲۴	۶۴	-۱۲/۷	-۸/۵
	Base	۱۸۷۶/۳	۱۸۷۶/۱۸	۱۸۶۷	۶۴	۲	-۹/۱۸	-۶/۱
Wb	K1_Top	۱۶۳۰	۱۶۳۰	۱۶۳۰	۶۰	-۳۱	۰	۰
	K2_Top	۱۷۴۳	۱۷۴۵/۵	۱۷۴۴	۳۸	۰/۲	-۱/۵	-۳/۸
	K3_Top	۱۷۸۵	۱۷۸۵	۱۷۸۴	۴۷	۰/۱	-۱	-۰/۸
	K4_Top	۱۹۰۸/۵	۱۹۰۵	۱۹۰۳	۲۰	۸/۴	-۲	-۱/۲
	Base	۲۰۷۴	۲۰۷۱	۲۰۷۰	۱۴	۳	-۱	-۰/۶
Wc	K1_Top	۱۶۸۳	۱۶۸۳	۱۶۷۸	۶۰	۱۰۶/۷	-۵	-۰/۳
	K2_Top	۱۷۹۳	۱۷۸۹	۱۷۹۰	۵۸	-۰/۱	۱	-۰/۱
	K3_Top	۱۸۳۶	۱۸۳۶	۱۸۳۶	۴۴	-۰/۲	۰	۰,۰
	K4_Top	۱۹۵۸	۱۹۵۶	۱۹۵۶	۵۶	۱۶/۵۶	۰	۰,۰
	Base	۲۱۱۵	۲۱۱۵	حفاری تا این مرز ادامه نیافته و این مرز در نمودار چاه‌نگاری نمایان نیست.				
Wd	K1_Top	۱۴۸۸	۱۴۸۸	۱۴۸۷	۵۵	۱۷/۹	-۱	-۰/۹
	K2_Top	۱۵۹۸	۱۵۹۵	۱۶۰۰	۶۱	۱/۲	۵	۱۱/۲
	K3_Top	۱۶۴۰	۱۶۳۹/۵	۱۶۴۲	۳۷	۰/۲	۲/۵	۲/۳
	K4_Top	۱۷۵۹	۱۷۴۸/۸	۱۷۵۲	۲۳	۳۴/۹	۳/۲	۱/۷
	Base	۱۹۳۴	۱۹۳۳/۶	حفاری تا این مرز ادامه نیافته و این مرز در نمودار چاه‌نگاری نمایان نیست.				
We	K1_Top	۱۵۳۱/۷	۱۵۳۱/۷	۱۵۳۴	۴۷	۱۶۲	۲/۳۲	۲
	K2_Top	۱۶۴۹/۵	۱۶۴۷	۱۶۵۱	۵۸	-۱/۱	۴	۸/۴
	K3_Top	۱۶۹۴/۶	۱۶۹۴/۶	۱۷۱۶	۵۸	-۱/۱	۲۱/۴	۱۷/۸
	K4_Top	۱۸۲۴/۷	۱۸۱۵	۱۸۱۴	۱۸	۵۲	-۱	-۰/۶
	Base	۱۹۷۸	۱۹۷۹	۱۹۸۶	۳۸	۲۱	۷	۴/۳



شکل ۷. اولین مرز سکانشی در چاه Wa، ماکزیمم محلی در عمق ۱۴۴۷ متری در مقیاس ۳۰ و ضریب ۲۴/۵ در دو بعد عمق (Z) و ضریب همبستگی (C).



شکل ۸. دومین مرز سکانشی در چاه Wa، مینیمم محلی در عمق ۱۵۵۸ متری در مقیاس ۵۹ و ضریب (-۱) در دو بعد عمق (Z) و ضریب (C).



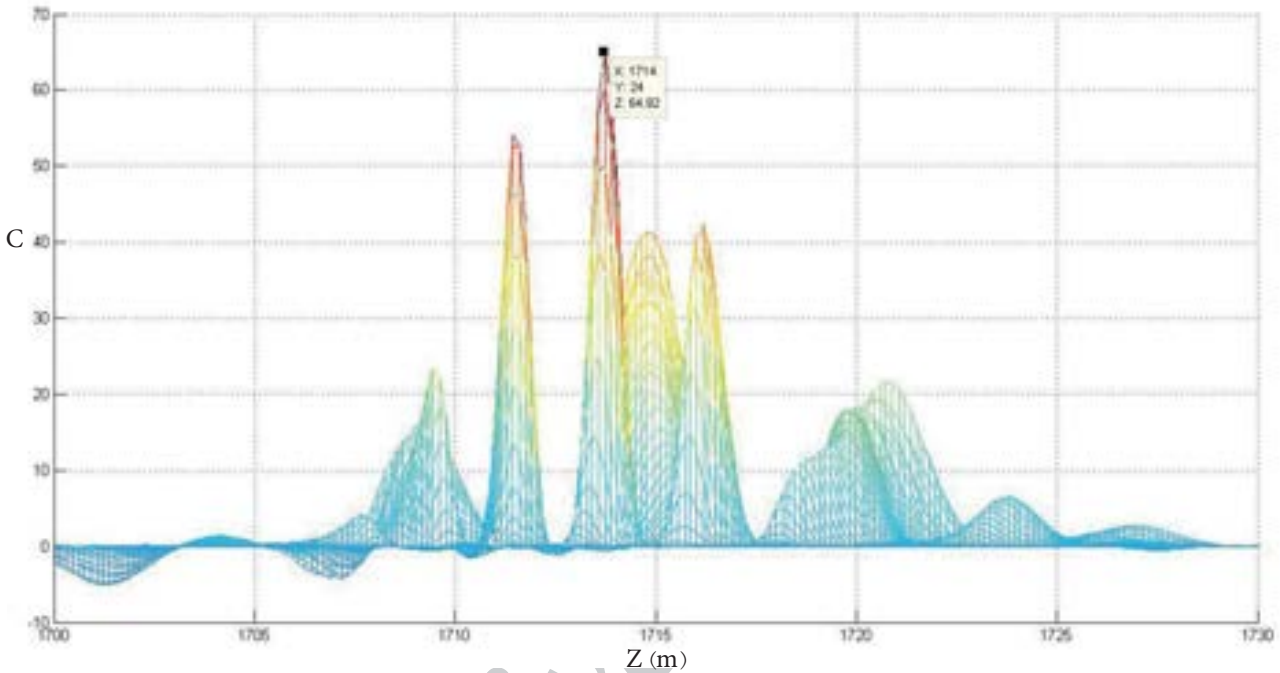
شکل ۹. سومین مرز سکانشی در چاه Wa، ماکزیمم محلی در عمق ۱۶۰۳ متری در مقیاس ۲۷ و ضریب ۰/۲ در دو بعد عمق (Z) و ضریب (C).

$C_{TU\alpha}$: ضریب همبستگی نسبت توریم به اورانیوم در مکان α می‌باشد. سایر عبارات مشابه رابطه ۴ می‌باشد. در چاه Wa با استفاده از ضریب همبستگی ترکیبی حاصل از رابطه ۵، پنج مرز سکانسی تشخیص داده شده است که در جدول ۲ و همچنین اشکال شماره ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ ارائه است.

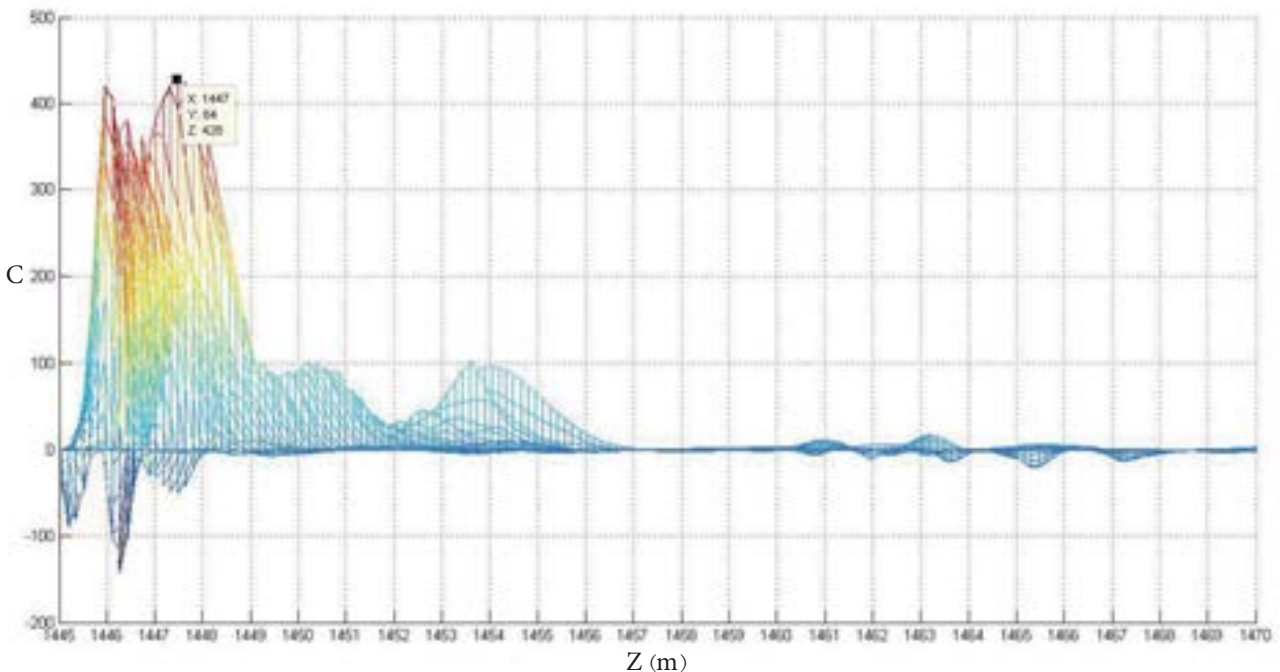
همان‌طور که ذکر گردید می‌توان از آنالیز موجک نسبت توریم به اورانیوم (THOR/URAN) نیز برای تعیین مرزهای سکانسی استفاده کرد. در این چاه با استفاده از این نسبت، نمودار ترکیبی دیگری بر اساس رابطه ذیل به دست آمد.

$$C_{T\alpha} = C_{GR\alpha} \times C_{NPHI\alpha} \times C_{RHOB\alpha} \times C_{TU\alpha} \quad (5)$$

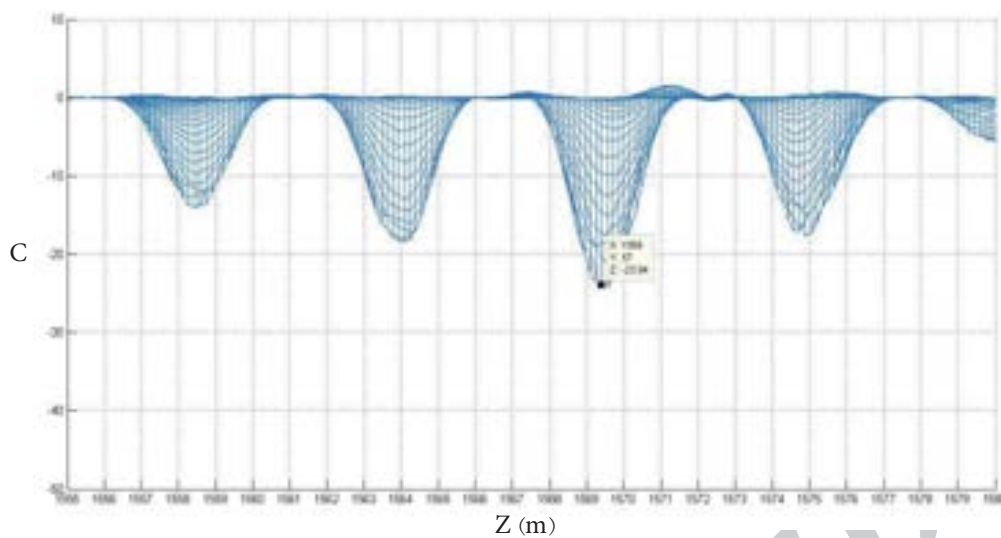
که در آن؛



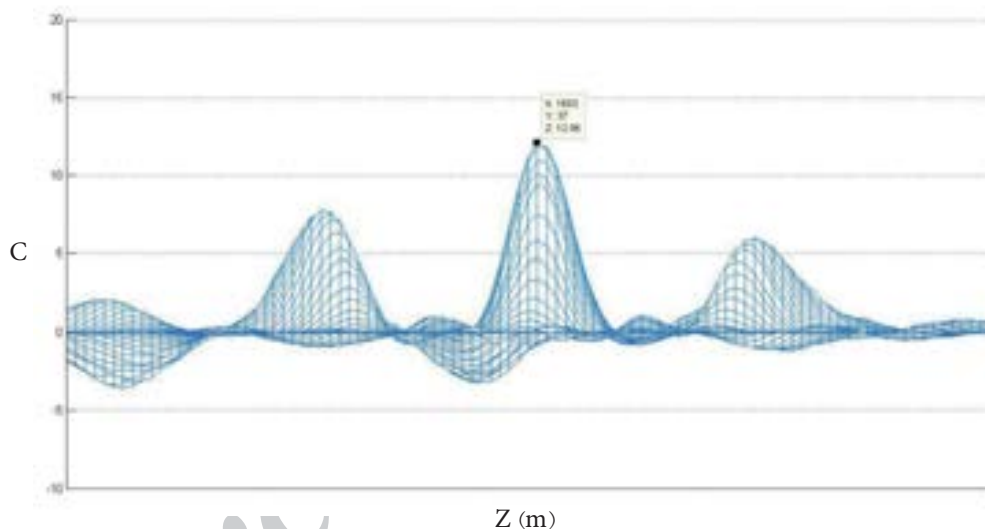
شکل ۱۰- چهارمین مرز سکانسی در چاه Wa، ماکزیمم محلی در عمق ۱۷۱۴ متری ترکیب آنالیز موجک داده چاه‌پیمایی GR، NPHI، RHOB و نسبت حجمی انیدریتدر دو بعد عمق (Z) و ضریب همبستگی (C).



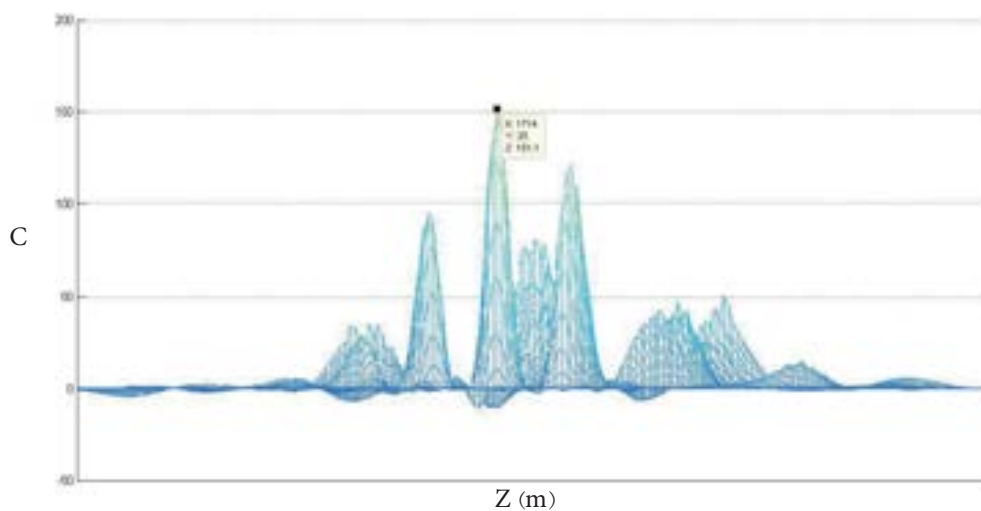
شکل ۱۱. اولین مرز سکانسی در چاه Wa، ماکزیمم محلی بزرگ به اندازه ۴۲۸ در مقیاس ۶۴ در عمق ۱۴۴۷ متری در دو بعد عمق (Z) و ضریب همبستگی (C)



شکل ۱۲. دومین مرز سکانشی در چاه Wa، مینیمم محلی به اندازه $(-23/9)$ در عمق ۱۵۶۹ متری در دو بعد عمق (Z) و ضریب همبستگی (C).



شکل ۱۳. سومین مرز سکانشی در چاه Wa، ماکزیمم محلی بزرگ به اندازه ۱۲ در مقیاس ۳۷ در عمق ۱۶۰۳ در دو بعد عمق (Z) و ضریب همبستگی (C).



شکل ۱۴. چهارمین مرز سکانشی در چاه Wa، ماکزیمم محلی بزرگ به اندازه ۱۵۱ در مقیاس ۲۵ در عمق ۱۷۱۴ در دو بعد عمق (Z) و ضریب همبستگی (C).

جدول ۲. عمق مرز سازندها و سکانس‌ها و عمق اکستریم محلی در نمودار آنالیز ترکیبی موجک داده چاه‌پیمایی GR، NPHI، RHOB و نسبت THOR/URAN در چاه Wa و خطای حاصل از آن در تعیین عمق مرزسکانس‌ها

نام چاه	شرح	عمق مرز لایه	عمق مرز سکانس	عمق اکستریم محلی	مقیاس	ضریب	خطا m	خطا %
Wa	K1_Top	۱۴۴۶/۶	۱۴۴۶/۶	۱۴۴۷	۶۴	۴۲۸	۰/۴	۰/۴
	K2_Top	۱۵۵۶	۱۵۵۸/۵	۱۵۶۹	۵۷	-۲۳/۹	۱۰/۵	۲۶/۶
	K3_Top	۱۵۹۸	۱۵۹۸	۱۶۰۳	۳۷	۱۲	۵	۳/۹
	K4_Top	۱۷۱۷	۱۷۲۶/۷	۱۷۱۴	۲۵	۱۵۱	-۱۲/۷	-۸/۵
	Base	۱۸۷۶/۳	۱۸۷۶/۱۸	۱۸۶۷	۶۴	-۲/۳	-۹/۱۸	-۶/۱

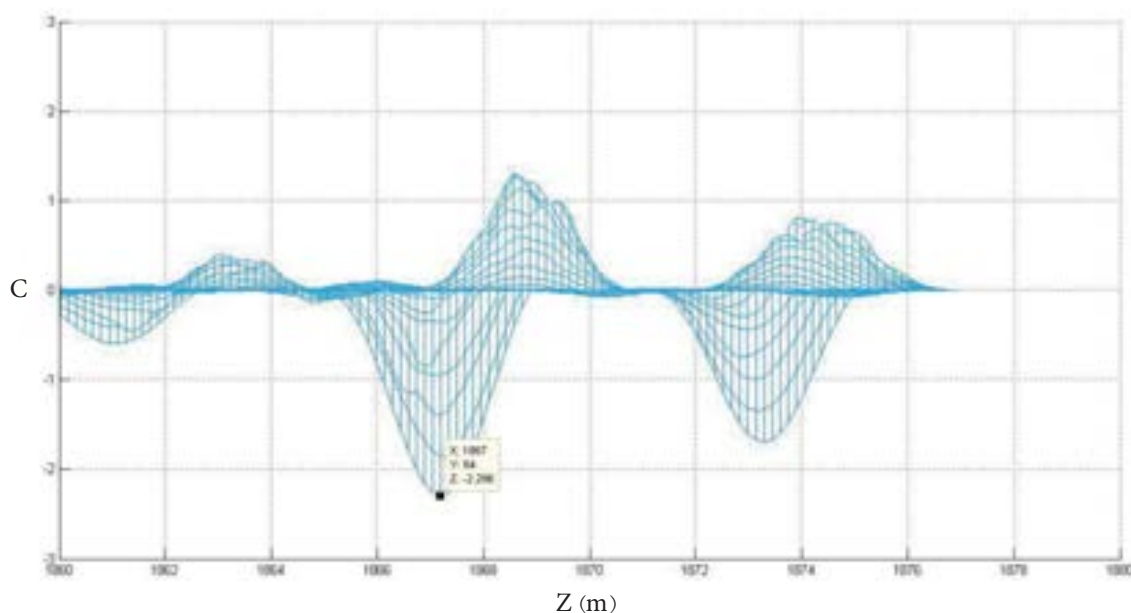
$C_{TU\alpha}$: ضریب آنالیز داده THOR/URAN در مکان α .
 $C_{TU\alpha}$: ضریب آنالیز داده نسبت URAN/THOR در مکان α
 است و سایر عبارات مشابه روابط ۴ و ۵ می‌باشد.
 بدین ترتیب در شکل‌های ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ نمونه‌هایی از این ترکیب‌ها ملاحظه می‌شود که این مرز به راحتی تشخیص داده شده‌است.

اما در چهارمین مرز سکانسی که هم تغییرات توریوم-اورانیوم و انیدریت قابل مشاهده است، با ترکیب ضریب نمودار THOR/URAN و درصد حجمی انیدریت این مرز قابل تشخیص است (شکل ۲۰).

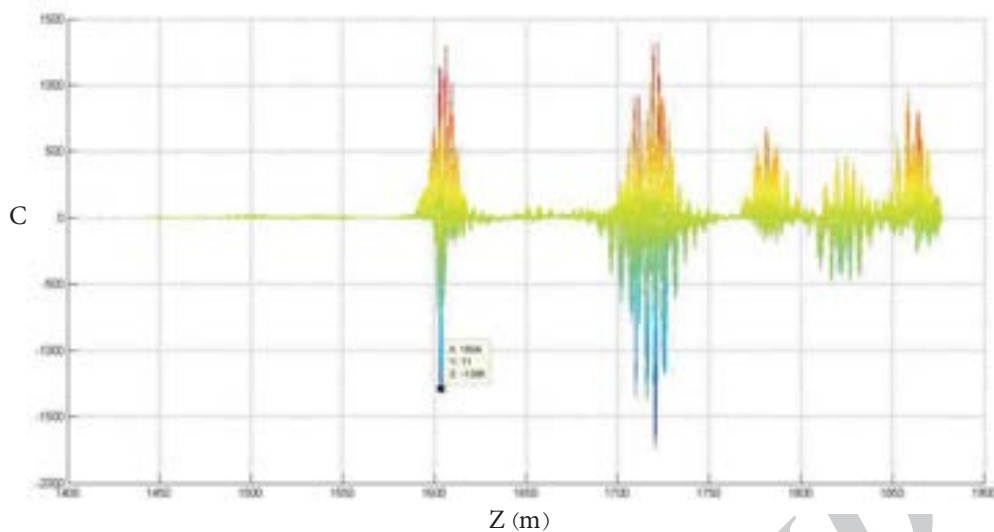
در این ترکیب نیز مرز دوم و سوم سکانسی به سختی قابل تعیین و شناسایی است در ضمن میزان خطا در این نمودار ترکیبی درصد خطای نسبتاً بزرگ‌تری نسبت به آنالیز ترکیبی قبلی دارد. همان‌طور که در بخش قبلی مشاهده شد سومین مرز سکانسی که منطبق بر مرز K2 و K3 بود، با تغییراتی در نمودار توریوم و اورانیوم و نیز GR و NPHI مشخص می‌شد. در این مرحله از ترکیب چهار ضریب همبستگی به صورت زیر برای تشخیص این مرز استفاده می‌شود:

$$C_{T\alpha} = C_{GR\alpha} \times C_{NPHI\alpha} \times C_{TU\alpha} \times C_{UT\alpha} \quad (6)$$

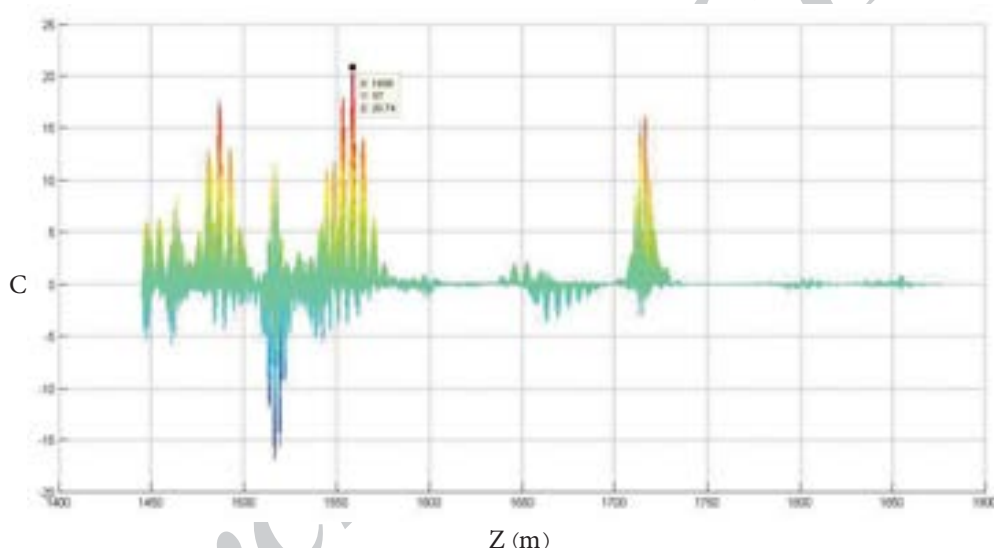
که در آن؛



شکل ۱۵. پنجمین مرز سکانسی در چاه Wa، مینیمم محلی به اندازه (-۲/۳) در عمق ۱۸۶۷ متری در دو بعد عمق (Z) و ضریب همبستگی (C).



شکل ۱۹. سومین مرز سکانسی در چاه Wa، به صورت مینیمم محلی در عمق ۱۶۰۲ متری با ترکیب ضریب نمودارهای URAN و نسبت URAN/THOR.



شکل ۲۰. چهارمین مرز سکانسی در چاه Wa، به صورت ماکزیمم محلی در عمق ۱۵۵۸ متری با ترکیب ضریب نمودارهای درصدحجمی اندریت و نسب THOR/URAN.

بحث

نمی‌شود. بدین طریق پیک‌ها و ترف‌های غیر مفید کوچک‌تر به‌وجود می‌آیند و در محل‌هایی که تمام لاگ‌ها تغییر ناگهانی دارند، این اکستریم‌ها تشدید می‌شود.

همان‌طورکه اشاره گردید در حوضه‌های کربناته-تبخیری، مرزهای سکانسی با گسترش رسوبات تبخیری و افزایش نمودار RHOB و درصد حجمی اندریت مشخص می‌گردند. این امر در مورد مرز سکانس‌های KS1-KS2، KS3-KS4 و KS4-Nar صادق است. به همین سبب استفاده از لاگ‌های دانسیته و حجم اندریت این مرزها را مشخص می‌سازد. حضور پوش سنگ شیلی آغار بر روی سازند کنگان سبب می‌گردد تا تشخیص این مرز با استفاده از آنالیز موجک لاگ گاما امکان‌پذیر گردد. در خصوص مرز سکانس‌های KS2-KS3، تنها استفاده از تغییرات نسبت توریم و اورانیوم که ناشی از تغییرات شرایط اکسایش و کاهش محیط است می‌تواند مرز را مشخص سازد. استفاده از این مجموعه

همان‌طورکه در پنج چاه بررسی شده ملاحظه شد، برای تشخیص و تعیین مرزهای سکانسی می‌توان از آنالیز موجک بهره جست. ولی این تشخیص با استفاده از آنالیز یک نوع نمودار چاه پیمایی امکان‌پذیر نیست و دلیل این مسئله تغییرات متعدد و متنوع نمودارها در طول سازندهای مورد مطالعه به دلیل تغییرات فراوان در نوع خصوصیات اولیه و نیز دیاژنزی رسوبات می‌باشد. در نتایج حاصل از آنالیز موجک، پیک‌ها و ترف‌های متعددی دیده می‌شود که ناشی از تغییرات رخساره‌ای و دیاژنزی می‌باشند ولی برای جداسازی اکستریم‌های مورد نظر می‌بایست از ترکیب آنالیزهای مختلف که در مرزها تغییرات شدیدی را نشان می‌دهند، بهره گرفت. بدین ترتیب این اکستریم‌ها یکدیگر را تقویت می‌کنند و در محل‌هایی که در بعضی از آنالیزها میزان ضریب صفر یا ناچیز می‌باشند هیچ گونه اکستریم چشم‌گیری دیده

- عزیزی، ه.، تخم چی، ب.، احمدی نوبری، ح.، جبه دار مارالانی، پ. و معماریان، ح.، ۱۳۹۰. اهمیت گزینش موجک مادر بهینه در تحلیل داده‌ها در حوزه علوم زمین. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۱۸، ۶۳-۷۷.

- مجلسی کوپایی، م.، تخم چی، ب.، رضایی، م. و فتحیان پور، ن.، ۱۳۹۱. استفاده از خواص فرکانسی تک نگار تخلخل نوترون، جهت تفکیک سازند ها؛ مطالعه موردی: منطقه شیلی کلیف هد، غرب استرالیا. اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی.

- ملاجان، ا.، جاوید، م.، معماریان، ح. و تخم چی، ب.، ۱۳۹۰. تشخیص سطوح تماس سیالات مخزنی و نقش آن در تعیین سطوح سیالاتپس از ذخیره‌سازی با استفاده از تکنیک موجک. اولین کنفرانس مجازی ذخیره‌سازی زیرزمینی مواد هیدروکربوری.

- Ehrenberg, S.N., Nadeau, P.H. and Aqrabi, A.A.M., 2006. A comparison of Khuff and Arabeservoir potential throughout the Middle East. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 86, 1709-1732.

- Insalaco, E., Virgone, A., Courme, B., Gaillot, J., Kamali, M., Moallemi, A., Lotfpour, M. and Monibi, S., 2006. Upper Dalan Member and Kangan Formation between the Zagros Mountains and offshore Fars, Iran: Depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture. GeoArabia, 11, 75-176.

- Konert, G., Afifi, A.M., Al-Hajri, S.A. and Droste, H., 2001. Paleozoic stratigraphy and hydrocarbon habitat of the Arabian Plate. GeoArabia, 6, 407-442.

- Niebuhr, B and Prokoph, A., 1997. Periodic-cyclic and chaotic successions of Upper Cretaceous (Cenomanian to Campanian) pelagic sediments in the North German Basin, Cretaceous Research, 18, 731-750.

- Mallat, S., 2009. A Wavelet tour of signal processing Ecole polytechnique, paris Courant Institute, New York University.

- Posamentier, H.W., Jervey, M.T. and Vail, P.R., 1988. Eustatic controls on clastic deposition. I. Conceptual-framework. In: Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A. and VanWagoner, J.C. (Eds.), Sea Level Changes — An Integrated Approach, SEPM Special Publication, 42, 110-124.

- Prokoph, A. and Thurow, J., 2000. Diachronous pattern of Milankovitch cyclicity in late Albian pelagic marlstones of the North German Basin. Sedimentary Geology, 134, 287-303.

- Soroush, H, Rasouli, V. and Tokhmchi, B, 2010. A

لاگ‌ها نشان می‌دهد که ترکیب لاگ‌های متفاوت توسط آنالیز موجک در ترکیب با اطلاعات قبلی از سازندها، می‌تواند مرزهای سکansı را در سازندهای مورد مطالعه نشان دهد. بدیهی است که برای به دست آوردن مرزهای سکansı در لیتولوژی‌های متفاوت (مانند سازندهای آواری) ترکیب متفاوتی از لاگ‌ها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که:

- از آنالیز موجک می‌توان برای تشخیص انواع مرزهای سکansı بهره جست.

- چون مرزهای سکansı بر روی انواع مختلف نمودارهای چاه‌پیمایی تأثیر می‌گذارند؛ برای حذف اکسترم‌های دروغین می‌توان از ترکیب ضرب نظیر به نظیر ضرایب همبستگی استفاده نمود.

- مزیت روش استفاده شده در ترکیب نمودارهای مختلف برای به‌دست آوردن مرزهای سکansı است. به دلیل این‌که مرزهای سکansı از لحاظ ماهیت متفاوت می‌باشند و هر نوع از مرزها نمودارهای خاصی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، ترکیب نمودارها با روشی مناسب منجر به شناخت بهتر مرزها می‌گردد. ترکیب این نمودارها کاربر را قادر می‌سازد که تنها با یک آنالیز به مرزهای سکansı در منطقه مورد مطالعه دست یابد.

- ضرایب به کار رفته برای ترکیب داده‌های نمودارها، منجر به شناخت مرزهای سکansı شد.

- در میدان هیدروکربوری مورد مطالعه، یکی از بهترین ترکیبات که بر روی تمام چاه‌ها نتایج قابل قبولی داده است ترکیب آنالیز موجک داده چاه پیمایی GR، NPHI، RHOB و نسبت حجمی انیدریت است.

- با این روش، به دلیل اینکه ابتدا شرایط اکسیداسیون تشدید می‌شود و پس از آن رسوبات با نسبت توریم به اورانیوم پایین‌تری نهشته می‌شوند؛ مرز اندکی پایین‌تر از مرز سکansı نشان داده می‌شود.

- از این روش می‌توان به‌عنوان یک مطالعه مقدماتی و نیز به‌عنوان یک روش مکمل در کنار سایر روش‌ها برای شناسایی مرزهای سکansı بهره جست. با توجه به این‌که امکان وجود پیک‌های محلی نیز وجود دارد، همواره داده‌های زمین‌شناسی کلی منطقه سبب تعیین دقیق‌تر مرزها خواهد شد.

منابع

- امینی، ع.، ۱۳۹۰. مبانی چینه‌نگاری سکansı. دانشگاه تهران، ۳۲۰.

- توکلی، و.، ۱۳۹۰. تعیین کیفیت مخزنی سازندهای کنگان و دالان در میدان گازی پارس جنوبی بر اساس داده‌های پتروگرافی، چینه‌نگاری سکansı، ژئوشیمی. رساله دکتری، دانشگاه تهران، ۴۱۲.

data processing algorithm proposed for identification of breakout zones in tight formations: A case study in Barnett gas shale. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 74, 154-162.

- Tavakoli, V., Rahimpour-Bonab, H. and Eshrafi-Dizaji, B., 2011. Diagenetic controlled reservoir quality of South Pars gas field, an integrated approach. *Comptes Rendus Geoscience*, 343, 55-71.

- Tavakoli, V. and Rahimpour-Bonab, H., 2012. Uranium depletion across Permian-Triassic Boundary in Persian Gulf and its implications for paleoceanic conditions

Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology, 350, 101-113.

- Van Wagoner, J.C. and Bertram, G.T. (Eds.), 1995. Sequence stratigraphy of foreland basin deposits: Tulsa, Oklahoma. *American Association of petroleum Geologists Memoir* 64, 490.

- Xia, L., Yiren, F., Shaogui, D. and Tongshan, W., 2009. Automatic demarcation of sequence stratigraphy using the method of well logging multiscale data fusion. *Petroleum Exploration and development*, 36, 221-227.

Archive of SID