

نگاره انحراف معیار گاما: ابزاری جدید جهت جدایش واحدهای سکانشی در توالی‌های کربناته با مثالی از سازندهای کنگان و دالان، میدان گازی پارس جنوبی

وحید توکلی، استادیار دانشکده زمین‌شناسی دانشگاه تهران*

چکیده

استفاده از نگاره گاما در تعیین سکانش‌های رسوبی در مخازن کربناته به سبب دامنه تغییرات کم این لاگ در این مخازن کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه از نگاره گامای مربوط به سه چاه برای تعیین مرزهای واحدهای سکانشی سازندهای کنگان و دالان بالایی (پرمین-تریاس) در میدان گازی پارس جنوبی استفاده شده است. هر داده نگاره گاما از متوسط داده‌ها در کل چاه کسر گردید و سپس مقادیر به دست آمده با یکدیگر جمع شد تا مقدار تجمعی انحراف از معیار به دست آید. با توجه به اینکه رسوبات مربوط به هر سکانش یک واحد زایشی را تشکیل می‌دهند، تغییرات نگاره گاما که تأثیر بسیار کمی از فرآیندهای دیاژنزی می‌پذیرد، باید همواره در یک سکانش نسبت به یک مبدأ مشخص افزایش یا کاهش داشته باشد. این آنالیز در مرحله اول مرز بین سازندهای کنگان و دالان را در چاه مورد مطالعه نشان داد. در مرحله بعد از متوسط نگاره گاما در هر سکانش تعیین شده به عنوان مبنا استفاده گردید و در مراحل دوم و سوم مرزهای سیستم تراکت‌های این سکانش‌ها نیز مشخص گردید. در مجموع در مرحله سوم، چهار سکانش رده سوم در سازندهای مورد مطالعه تشخیص داده شد که منطبق با مطالعات پیشین سکانشی در این میدان بود. این فرآیند بر روی دوچاه دیگر از این میدان نیز اجرا گردیده و نتایج مشابهی را نشان داد. این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از نگاره گاما و آنالیزهای ساده و اولیه ریاضی می‌تواند منجر به شناخت دقیق مرز واحدهای سکانشی در سازندهای کربناته گردد.

واژه‌های کلیدی: نگاره گاما، انحراف معیار، چینه‌نگاری سکانشی، پرمین-تریاس، پارس جنوبی

مقدمه

چینه‌نگاری سکansı یکی از شاخه‌های چینه‌نگاری است که به بررسی ارتباط رخساره‌ها و الگوی برانبارش واحدها از دیدگاه زمان می‌پردازد (Catuneanu et al. 2009). این علم بر مبنای نیازی که متخصصان اکتشافات هیدروکربنی در بررسی واحدها و تعیین مرزهای مخزنی داشتند ابداع گردید. با پیشرفت روش‌های متفاوت و مدل‌های مختلف این علم رفته‌رفته کامل‌تر می‌گردد. جهت تعیین مرزهای مختلف در این نوع مطالعات از ابزارهای گوناگونی استفاده می‌گردد که در این میان مغزه‌ها اصلی‌ترین نوع آنان محسوب می‌گردند اما متأسفانه تهیه مغزه‌ها به دلایلی مانند هزینه بالا، آماس دیواره چاه و سست بودن جداره و سنگ‌های دیواره چاه در اغلب موارد امکان‌پذیر نیست. در مقابل داده‌های چاه‌نگاری^۱ از اغلب مخازن و در بازه عمقی وسیعتری از چاه حفاری شده وجود دارند و بنابراین یکی از اصلی‌ترین منابع برای مطالعات مخزنی و از آن جمله چینه‌نگاری سکansı محسوب می‌شوند. متأسفانه با وجود اهمیت این داده‌ها در تعیین مرزهای سکansı تا کنون استفاده از آنها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این امر در مخازن کربناته مشخص‌تر بوده و داده‌های نگاره‌ها^۲ کمتر در خصوص تعیین واحدهای سکansı در آنها مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به ماهیت سنگ‌های کربناته و مقادیر کمتر عناصر توریم، پتاسیم و اورانیوم در آنها، مطالعات بسیار اندکی جهت تعیین ارتباط بین تغییرات نگاره گاما و شناسایی مرزهای سکansı در این نوع مخازن وجود دارد (Reynolds 1994; Aigner et al. 1995; Ehrenberg and Svana 2001; Kalvoda et al. 2011). حساسیت کم این نگاره به شرایط محیطی چاه سبب گردیده تا از آن به فراوانی در مطالعات مخزنی مختلف مانند تعیین حجم شیل، تطابق عمقی بین چاه‌های مختلف میدان و نیز تطابق عمقی مغزه و نگاره استفاده گردد. بر همین اساس روشی که بتواند مرزهای

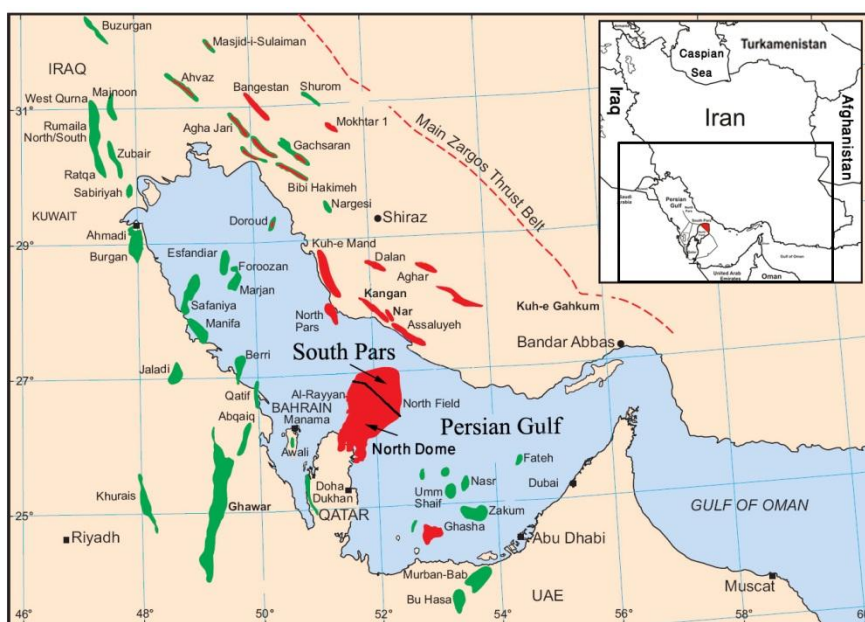
سکansı را بر اساس تغییرات این نگاره مشخص سازد، کاربرد فراوانی در مطالعات مخزنی خواهد داشت. هرچند در حال حاضر روش «تحلیل فیلتر تجمعی پیش‌بینی خطا»^۳ جهت تعیین مرزهای واحدهای سکansı بر اساس داده‌های نگاره‌های مختلف استفاده می‌گردد، اما این روش از فرمول‌های پیشرفته ریاضی استفاده نموده و در انحصار نرم‌افزاری خاص (سایکولوگ)^۴ می‌باشد (Nio et al. 2005). این مطالعه با روشی نوین سعی در برطرف نمودن این نقص می‌نماید. در روش معرفی شده در این مقاله، داده‌ها بر اساس انحراف از مقادیر میانگین محاسبه گردیده و درصد تجمعی آنان نشان‌دهنده تغییرات سطح آب دریا خواهد بود. کاربرد ساده روش و عدم نیاز به نرم‌افزاری خاص، این روش را نسبت به روش گفته شده برتر می‌سازد. سادگی این روش و قابلیت استفاده آن با نرم‌افزارهای ساده و اولیه ریاضیاتی، سبب می‌گردد تا بتوان از این روش به سادگی و با قابلیت انعطاف بیشتر استفاده نمود چرا که کاربر می‌تواند تغییرات مورد نظر خود را در آنالیزها و فرمول‌ها در هر مرحله اعمال نموده و این فرمول‌ها را با سایر روش‌های مورد نظر خود ترکیب نماید. مبنای این روش بر این فرض استوار است که در زمان تغییر سطح آب دریا نگاره‌ها پیوسته از مقدار متوسط انحراف تجمعی بیشتری پیدا می‌کنند که در نگاره اولیه به سبب وجود نوفه‌های زیاد و نوسانات بسیار خود نگاره، قابل تشخیص نیست. نگاه مرحله‌ای پیوسته روش سبب می‌گردد تا تعیین سکانس‌ها در مرتبه‌های مختلف توسط این روش امکان‌پذیر گردد. نتایج این روش می‌تواند به سرعت و با دقت قابل قبول تغییرات سطح آب دریا را در حوضه مورد بررسی نشان دهد. با توجه به رابطه بین تغییرات کیفیت مخزنی و واحدهای سکansı، می‌توان از این نتایج جهت زون‌بندی مخزنی استفاده نمود.

³ Integrated Prediction Error Filter Analysis⁴ Cycloglog⁵ Hierarchical¹ Well logging² Logs

موقعیت زمین‌شناسی و چینه‌نگاری

موقعیت زمین‌شناسی میدان گازی پارس جنوبی در مطالعات مختلف به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است (Kashfi 1992; Alsharhan and Nairn 1997; Al-Jallal 1995; Insalaco et al. 2006; Ehrenberg et al. 2007; Bordenave 2008; Rahimpour-Bonab et al. 2009; Bordenave and Hegre 2010; Rahimpour-Bonab et al. 2010; Esrafil-Dizaji and Rahimpour-Bonab 2013) که در اینجا به ذکر خلاصه‌ای از آن اکتفا می‌گردد.

این میدان بر روی خط مرزی مشترک ایران و قطر به فاصله ۱۰۰ کیلومتری از بندر عسلویه در ساحل جنوبی ایران، ۱۰۵ کیلومتری شمال‌شرقی شبه جزیره قطر و ۳۳۰ کیلومتری شمال‌غربی شهر دبی واقع شده است (شکل ۱). میدان گازی پارس جنوبی در سال ۱۹۹۰ میلادی با حفر چاه SP-1 کشف گردید.



شکل ۱- موقعیت میدان گازی پارس جنوبی (نقل از اینسالاکو و همکاران (Insalaco et al. 2006) با تغییرات)

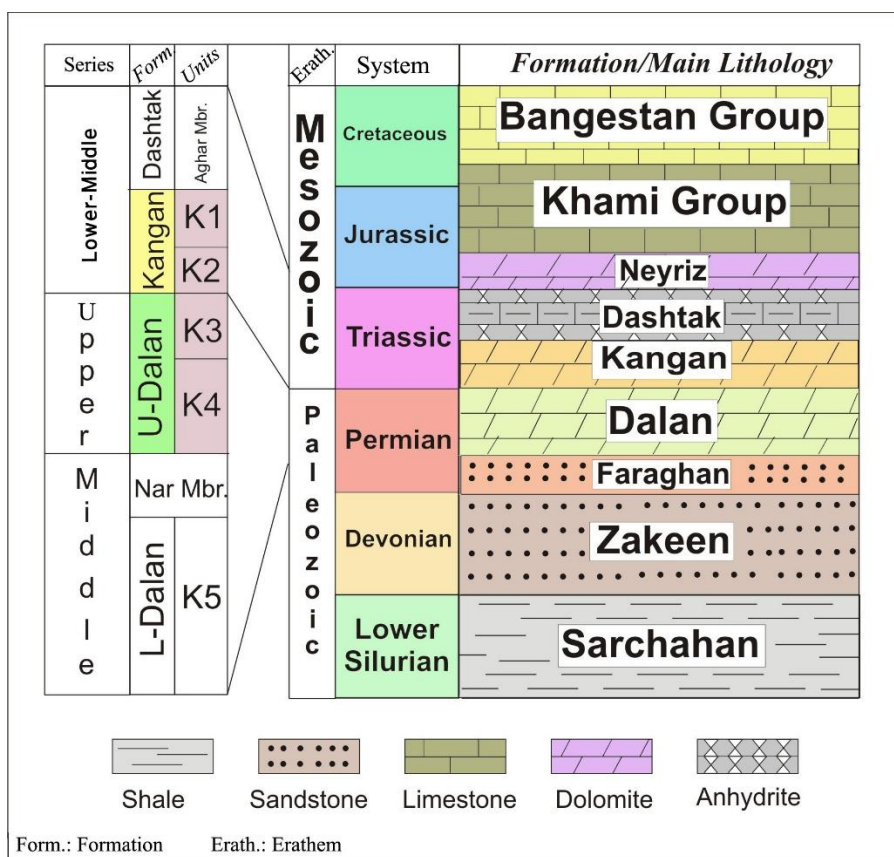
میدان گازی پارس جنوبی به همراه بخش قطری آن به عنوان بزرگترین مخزن گاز جهان از اهمیت خاصی در مطالعات زمین‌شناسی مخزنی منطقه برخوردار است. سازند دالان (پرمین فوقانی) و سازند کنگان (تریاس زیرین) معادل با سازند خوف در منطقه با توالی کربناته- تبخیری به عنوان اصلی‌ترین مخازن گازدار به حساب می‌آیند. توالی چینه‌شناسی این سازندها و سازندهای مجاور از سیلورین زیرین تا کرتاسه در شکل ۲ نشان داده شده است. دالان بالایی در این میدان به ترتیب از پایین به بالا به بخش‌های مخزنی K4 و K3 و سازند کنگان به همین ترتیب به بخش‌های K3 و K2 تقسیم شده است.

از پرمین میانی به بعد صفحه کوچک ایران مرکزی از بلوک اصلی جدا شده و به سمت شمال حرکت می‌کند و بین آنها نیز اقیانوس نئوتتیس به وجود می‌آید. در بخش شرقی صفحه عربی حوضه رسوبی خلیج فارس (جنوب نئوتتیس) رسوب‌گذاری دریایی با فوران‌های ضعیف در طول پالئوزوئیک بالایی، مزوزوئیک و ترشیاری ادامه پیدا کرد. در

تصور بر این است که شیل‌های سیلورین سنگ منشأ ذخایر نفتی و گازی عظیم پالئوزوئیک که در این حوضه رسوبی پیدا شده است، می‌باشند (نجم‌آبادی ۱۳۷۲). این ذخایر شامل مخزن گازی دالان و کنگان (خوف) در میدان گازی پارس جنوبی، گنبد شمالی قطر، کنگان، نار و دیگر میداین گازی در جنوب و جنوب‌غرب ایران است (Pollastro 2003).

تریاس وضعیت آب و هوایی گرم و خشک پایداری در تمام منطقه وجود داشته است (Insalaco et al. 2006).

زمان پرمین پایانی آب و هوا به تدریج گرم‌تر و خشک‌تر شده و پلنفرم کربناته- تبخیری را به وجود آورده است. در اوایل



شکل ۲- چینه‌شناسی واحدهای مطالعه شده و واحدهای همجوار (نقل از توکلی و همکاران (Tavakoli et al. 2011) با تغییرات)

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از نگاره گامای مربوط به ۳ چاه در میدان گازی پارس جنوبی استفاده گردید. این نگاره‌ها مخازن کنگان و دالان بالایی را در هر ۳ چاه به طور کامل پوشش می‌دهند. در ابتدا تصحیحات محیطی بر روی نگاره‌ها انجام شد. تطابق عمقی داده‌های نگاره چاه و مغزه در هر سه چاه با استفاده از نگاره‌های گامای چاه و مغزه انجام شد. مغزه‌های مربوط به چاه A به طول ۴۴۳ متر در فواصل ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری گردید تا تغییرات رخساره‌ای در توالی مورد مطالعه به طور کامل مشخص گردد. یک سوم از هر مقطع جهت تعیین مقادیر کلسیت و دولومیت با محلول آلیزارین

رنگ‌آمیزی گردید. مقاطع با میکروسکوپ پلاریزان بررسی شده و کلیه شاخص‌های محیطی و دیارنزی به صورت عددی ثبت گردید. مغزه‌ها پس از برش طولی^۱ مورد مشاهده مستقیم قرار گرفت. داده‌های رخساره‌ای مربوط به چاه‌های B و C نیز به روش گفته شده تعیین شد.

نتایج

چینه‌نگاری سکansı

چینه‌نگاری سکansı سازندهای دالان بالایی و سازند کنگان و معادل آنان در کشورهای عربی (سازند خوف) موضوع مطالعات بسیاری بوده است (Johnson et al. 1998; Simmons et al. 1998).

¹Slabbing

بین واحدهای K3 و K2 به عنوان مرز سکansı بعدی شناخته شده و مرز بین سکانس‌های KS1 و KS2 در بخش پایینی واحد K1 قرار دارد. این مرزها بجز مرز کنگان و دالان در سایر مطالعات نیز با چندمتر اختلاف تعیین شده‌اند. در اینجا چگونگی تعیین این مرزها در مطالعات پیشین به طور خلاصه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

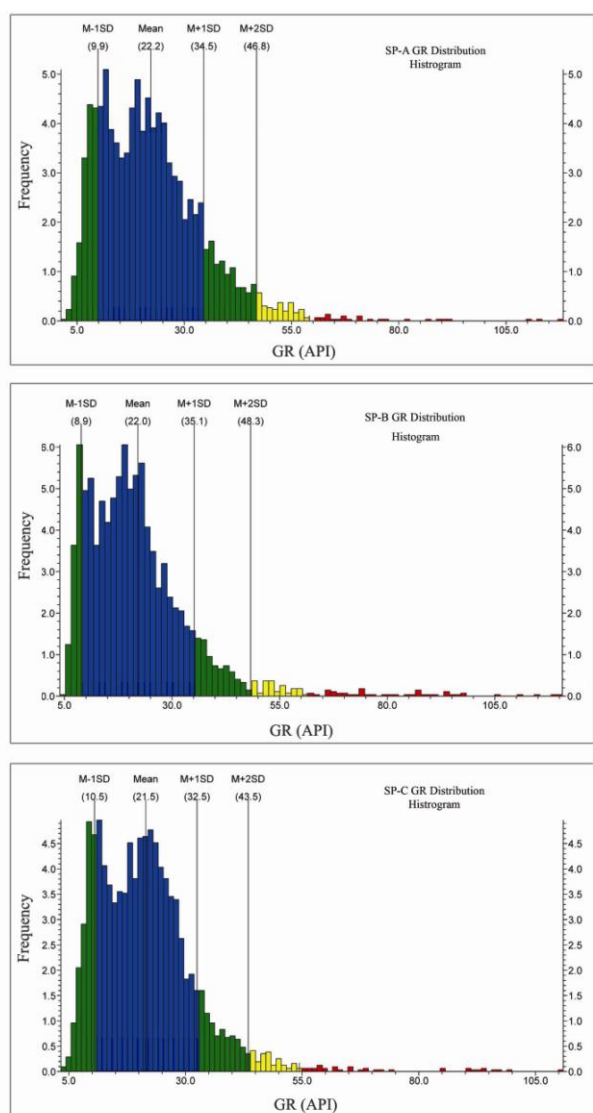
مرز سکansı زیرین دالان بالایی در قسمت بالای انیدریت‌های نار قرار می‌گیرد. پس از ته‌نشست این عضو ضخیم انیدریتی، سطح آب دریا در ابتدای رسوب‌گذاری دالان بالایی افزایش می‌یابد. این افزایش تا زمان شروع TST با نرخ کمی ادامه می‌یابد. در مرز شروع TST، حضور رخساره‌های کم‌عمق، کاهش میزان انیدریت و تبدیل آن از حالت لایه‌ای به ندولی و عمیق‌شدگی ناگهانی پس از این مرز نشان‌دهنده شروع پیشروی سریع سطح آب دریا در این واحد است. این پیشروی تا زمان تغییر مجدد طرح برانبارش از پیشرونده^۱ به پسرونده^۲ ادامه می‌یابد. در طول این مرحله، سطح آب دریا به سرعت بالا آمده و در نتیجه رخساره‌های عمیق‌تر مشاهده می‌گردد. با توجه به بالا آمدن سطح آب دریا، از میزان آلوکم‌ها و بخصوص خرده‌های فسیلی کاسته می‌شود (در موقعیت یک چاه). محیط‌های رسوبی نیز از محیط‌های کم‌عمق ساحلی (بین جزرومدی، سدهای نزدیک ساحل) تا عمیق (دریای باز، سمت دریای سد) تغییر می‌کند. حضور این رخساره‌ها، محیط‌های عمیق رسوبی، کاهش آلوکم‌ها و کاهش میزان انیدریت نشان‌دهنده حداکثر سطح آب دریا در زمان MFS است. از این پس با تغییر مجدد طرح برانبارش، رخساره‌ها کم‌عمق می‌شوند. پیدایش مجدد انیدریت با درصد قابل ملاحظه، پرانرژی‌تر شدن محیط رسوب‌گذاری و فراوانی شاخص‌های آن (مانند میزان بالای اییدها) و ته‌نشست رخساره‌های کم‌عمق نشان‌دهنده پایین آمدن مجدد سطح آب دریا در واحد مخزنی K3 است. از این پس سطح آب دریا

al. 2000; Strohmenger et al. 2000; Virgone et al. 2000; تنها استفاده از نتایج این بررسی‌ها بوده و توضیح دقیق چگونگی تعیین واحدهای سکansı در این مقاله مطرح نمی‌گردد.

مطالعه تفصیلی اخیر که بر روی سازندهای کنگان و دالان بالایی انجام شده است نشان می‌دهد که این سازندها به ۴ سکانس رده سوم قابل تقسیم هستند که دو سکانس مربوط به سازند دالان بالایی (پرمین بالایی) و دو سکانس مربوط به سازند کنگان (تریاس زیرین) می‌باشد (توکلی ۱۳۹۰). نتایج حاصل از این مطالعه با مطالعات شرکت توتال (Total 1998, 1999) در خصوص تعداد سکانس‌ها همخوانی دارد و تفاوت موجود به محل مرز سکansı سازند کنگان و دالان مربوط می‌گردد که در مطالعه توتال به عنوان مرز سکansı در نظر گرفته نشده است. مقالاتی که پس از آن بر اساس این مطالعات به چاپ رسید نیز وجود چهار سکانس را تأیید نمود (Insalaco et al. 2006; Ehrenberg 2006; Robertson 2002). مطالعات تکمیلی بعدی در میدان گازی پارس جنوبی نشان داد که مرز سازندهای کنگان و دالان در این میدان یک مرز سکansı است (Tavakoli and Rahimpour-Bonab 2012; Rahimpour-Bonab et al. 2009; Tavakoli et al. 2011; توکلی ۱۳۹۰). شواهد این امر حضور رخساره‌های کم‌عمق، گسترش تخلخل‌های حاصل از انحلال، سیمان‌های جوی، کاهش ایزوتوپ اکسیژن و افزایش ایزوتوپ استرانسیوم می‌باشد (توکلی ۱۳۹۰; Rahimpour-Bonab et al. 2009). سکانس‌ها به ترتیب از پایین به بالا شامل UDS1, UDS2, KS2 و KS1 می‌باشد. هر سکانس بر اساس مدل اگزون (Vail et al. 1977; van Wagoner et al. 1988) به سه سیستم تراکت LST, TST و HST تقسیم گردیده است. مرز سکansı بین سکانس‌های UDS2 و UDS1 کمی بالاتر از مرز واحدهای مخزنی K4 و K3 تعریف می‌گردد. در چاه‌های مختلف این دو مرز بین ۲ تا ۱۰ متر با یکدیگر اختلاف دارند. همانگونه که ذکر گردید مرز

¹ Retrogradation

² Progradation



شکل ۳- توزیع نگاره گاما در سه چاه مطالعه شده.

انحراف معیار نگاره گاما

نگاره گاما که مجموع تشعشع پرتو گامای مربوط به عناصر توریم، اورانیوم و پتاسیم را ثبت می‌نماید اغلب در سازندهای کربناته مقدار و تغییرات کمتری نسبت به سازندهای آواری دارد. تغییرات کمتر این نگاره سبب می‌گردد تا تعیین واحدهای سکانشی بر اساس آن در این نوع مخازن کمتر مورد توجه قرار گیرد. بررسی توزیع داده‌های گاما مربوط به ۳ چاه در میدان پارس جنوبی نشان می‌دهد که این مقادیر در سازندهای کنگان و دالان بالایی اغلب مقادیر کمتر از ۶۰

مجدداً به حالت پیشروی^۱ تغییر می‌یابد و الگوی گفته شده ادامه می‌یابد. تنها حالت غیرمعمول مرز واحدهای پرمین و تریاس است که در خصوص آن بحث گردید. در این مرز به سبب کاهش قابل ملاحظه سطح آب دریا (و احتمالاً برونزد رسوبات) انیدریت قابل ملاحظه‌ای ته‌نشست نمی‌یابد و در عوض در بخش پایتتر در واحد HST میزان انیدریت افزایش می‌یابد.

توزیع نگاره گاما

شکل ۳ توزیع نگاره گاما در ۳ چاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشخص است، توزیع نگاره گاما در هر سه چاه تقریباً نرمال بوده و مقادیر پایینی دارد. متوسط این نگاره در چاه‌های SP-A، SP-B و SP-C به ترتیب ۲۲، ۲۲، ۲۱، ۵ و ۲۱، ۵ می‌باشد. در مورد هر چاه مقادیر متوسط نگاره به اضافه و منهای انحراف از معیار به عنوان مقادیر زمینه^۲، متوسط به اضافه و منهای یک برابر تا دو برابر انحراف معیار به عنوان مقادیر کمی ناهمسان^۳، مقادیر متوسط به اضافه و منهای دو برابر تا ۳ برابر به عنوان ناهمسان متوسط^۴ و مقادیر بیشتر از جمع متوسط و سه برابر انحراف از معیار به عنوان بسیار ناهمسان^۵ در نظر گرفته شده است. مقادیر بسیار ناهمسان در توزیع نگاره گاما اغلب نشان دهنده مرزهای مختلف رسوبات (Niebuhr and Prokoph 1997; Xia et al. 2009) و یا حضور لایه‌های شیلی می‌باشد. همان‌گونه که در این شکل‌ها مشاهده می‌گردد، مقادیر بسیار ناهمسان کمتر در این داده‌ها وجود دارد و در نتیجه تعیین مرزها بر اساس این داده‌ها مشکل است.

¹ Transgression

² Background

³ Slightly anomalous

⁴ Moderately anomalous

⁵ Strongly anomalous

بیشتر از مقدار متوسط باشد، جمع این مقادیر همواره افزایش خواهد یافت. چنانچه نگاره گاما در زمان پایین رفتن سطح آب دریا کمتر از مقدار متوسط گردد، جمع این مقادیر همواره منفی‌تر خواهد شد و لذا مرز بین تغییرات مثبت و منفی نشان‌دهنده چرخش^۱ سطح آب دریا خواهد بود. از دیدگاه ریاضیاتی می‌توان این فرآیند را این‌گونه بیان نمود:

$$\begin{aligned} GR &= \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\} \\ GR\text{-Average} (GR_a) &= (a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n) / n \\ Deviation &= (a_1 - GR_a, a_2 - GR_a, a_3 - GR_a, \dots, a_n - GR_a) \\ Cumulative\ deviation &= (a_1 - GR_a) + (a_2 - GR_a) + (a_3 - GR_a) + \dots + (a_n - GR_a) \end{aligned}$$

بحث

توجه به این نکته که در یک مرحله از تغییرات سطح آب دریا نگاره گاما همواره انحراف از متوسط مشخصی را دنبال می‌کند، سبب می‌گردد تا جمع تغییرات این انحراف از متوسط داده‌ها نشان‌دهنده چرخش شرایط سطح آب دریا از پیش‌رونده به پس‌رونده و یا بالعکس باشد. انجام تئوری مطرح شده بر روی سازندهای کنگان و دالان در میدان گازی پارس جنوبی، توانایی این روش را جهت شناخت واحدهای سکansı به اثبات رسانید. همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد، آنالیز تجمعی انحراف از معیار لاگ گاما بر روی سازندهای دالان بالایی و کنگان، وجود یک چرخه کامل پیشروی و پسروی را به اثبات می‌رساند (آنالیز مرحله اول). در این شکل انحراف از معیار تجمعی مشخصی در مرز بین سازندهای کنگان و دالان بالایی وجود دارد. این امر با تشکیل مرز سکansı در مرز انطباق دارد. ذکر این نکته ضروری است که در اینجا نمی‌توان تغییرات جزئی‌تر را به دست آورد چرا که در مرحله اول این آنالیز با توجه به اینکه متوسط لاگ گاما از همه چاه برای محاسبه انحراف از معیار استفاده می‌شود، مرزهای دیگر سکانس‌ها شناسایی نمی‌گردد و تنها اصلی‌ترین مرز سکansı قابل شناسایی است. این موضوع با نگاه رده‌ای^۲

(متوسط ۳ چاه: ۲۱,۹) در مقیاس API نشان می‌دهند (شکل ۳). بررسی نگاره گاما نیز نشان می‌دهد که این نگاره تغییر چندانی در مرزهای سکansı و MFS نشان نمی‌دهد (شکل‌های ۴ و ۵). با توجه به تغییر شرایط محیط ته‌نشست در سکانس‌ها و سیستم تراکت‌های متفاوت (امینی ۱۳۸۸) باید انتظار داشت که میزان این نگاره که تأثیر زیادی از ورود آب‌های جوی می‌پذیرد، همواره در شرایط یکسان، تغییرات مشابهی داشته باشد. به عبارت دیگر در زمان پیشروی و پسروی، میزان این نگاره همواره کاهش یا افزایش یابد. بدیهی است که تغییرات گاما نیز همانند سطح آب دریا کاملاً در یک جهت نبوده و در زمان کاهش دارای افزایش‌های محلی و در زمان افزایش دارای کاهش‌های محلی می‌باشد. لذا در حالت عادی تشخیص روندهای افزایشی و کاهش‌ی بر روی این نگاره ممکن نیست. تغییرات همواره نسبت به یک مقدار متوسط سنجیده می‌شوند و لذا در صورتی که هرداده نگاره از مقدار متوسط کل نگاره کسر گردد، انحراف مقدار نگاره در یک عمق خاص از مقدار متوسط مشخص می‌گردد. مطابق فرضیه مطرح شده در اینجا، با تغییرات یکسان سطح آب دریا نسبت به خط ساحلی (افزایش یا کاهش) باید همواره میزان انحراف از مقدار متوسط فقط در یک سمت (مثبت یا منفی) تغییر نماید و به عبارت دیگر مقدار تجمعی انحراف نگاره گاما در یک مرحله از تغییرات سطح آب دریا همواره نسبت به مقدار متوسط مثبت‌تر و یا منفی‌تر گردد. با توجه به تغییرات بسیار زیاد اعداد در این مرحله نیز مانند ارزشهای اولیه نگاره گاما نمی‌توان تغییرات آن را در مراحل مختلف جدا نمود اما چنانچه مطابق فرضیه مطرح شده تغییرات همواره در یک مرحله دارای علامت یکسانی (مثبت یا منفی) نسبت به مقدار متوسط باشند و در ضمن تغییرات در مرحله بعد از نظر علامت عکس این مرحله باشند، باید محاسبه مقادیر تجمعی آنان به خوبی نشان‌دهنده تغییرات سطح آب دریا در زمان ته‌نشست رسوبات باشد. برای مثال چنانچه در زمان پایین رفتن سطح آب دریا مقدار نگاره گاما همواره

¹ Turnover

² Order

به سکانس‌ها قابل مقایسه است. به این ترتیب که ابتدا سکانس‌های مرتبه بالاتر مشخص می‌گردند و سپس داخل این سکانس‌ها، سکانس‌هایی با مرتبه پایینتر مشخص می‌شود. آنالیز مرحله دوم بر روی این دو چرخه به صورت جدا انجام می‌شود به این صورت که متوسط نگاره گاما در هر چرخه برای محاسبه انحراف از متوسط در همان چرخه مورد استفاده قرار می‌گیرد و داده تجمعی انحراف از متوسط در همان چرخه محاسبه می‌گردد. نتایج حاصل از این آنالیز در چاه SP-A در شکل ۴ نشان داده شده است. در این شکل میزان نگاره گاما در طول چاه و نیز آنالیز انجام شده در ۳ مرحله بر روی این داده‌ها نشان داده شده است. رخساره‌های موجود در این شکل، در جدول ۱ شرح داده شده است. سایر ستون‌های موجود، مواردی است که در تعیین تغییرات سطح آب دریا بر اساس مشاهدات رسوب‌شناسی مورد استفاده قرار گرفته است و مقادیر تخلخل و تراوایی نیز جهت فهم تغییرات کیفیت مخزنی مطابق با واحدهای مختلف سکانسی ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، در مرحله دوم، هرچرخه از تغییرات تجمعی انحراف از معیار نگاره گاما در مرحله اول به دوچرخه کوچکتر تقسیم شده است که مرزهای آنان بر مرزهای واحدهای سکانسی تعیین شده در این چاه بر اساس مطالعات مغزه تطابق دارد. مرز سکانسی بین سازندهای کنگان و دالان بالایی همچنان در این مرحله نیز قابل شناسایی است. میزان انحراف در سازند دالان بیشتر از سازند کنگان می‌باشد که این امر به سبب مقادیر بالای نگاره گاما در واحد K3 است.

با توجه به شکل ۴ تنها تغییر در روند منحنی مرحله اول، در مرز سازندهای کنگان و دالان بالایی مشاهده می‌گردد. به عبارت دیگر آنالیز مرحله اول مشخص‌کننده اصلی‌ترین سکانس موجود در توالی مورد مطالعه است. آنالیز مرحله اول رابطه بین تغییرات سطح آب دریا با نگاره گاما را در مقیاس بزرگ آشکار می‌سازد. با توجه به اینکه سطح آب دریا در این مرز به حداقل خود در سازندهای مورد مطالعه می‌رسد (توکل)

(۱۳۹۰)، این مرز در آنالیز مرحله اول مشخص شده است (عمق ۱۶۸٫۵ متر در چاه SP-A). در آنالیز مرحله دوم، مرز سکانس‌های UDS2 و UDS1 به خوبی مشخص شده است (عمق ۲۵۶ متر در چاه SP-A). همچنین در این آنالیز مرز بین کنگان و دالان نیز همچنان مشخص است. مرز بعدی در این چاه در عمق ۵۳ متری که مرز بین سکانس‌های KS1 و KS2 می‌باشد نیز در این آنالیز مشخص شده است. آنالیز مرحله سوم مرزهای واحدهای سکانسی رده سوم را به خوبی نشان می‌دهد. محاسبات مرحله به مرحله نگاره انحراف معیار گاما، در هر مرحله وجود رابطه بین تغییرات نگاره گاما و سطح آب دریا را که بر روی داده اولیه قابل مشاهده نیست، مشخص می‌سازد.

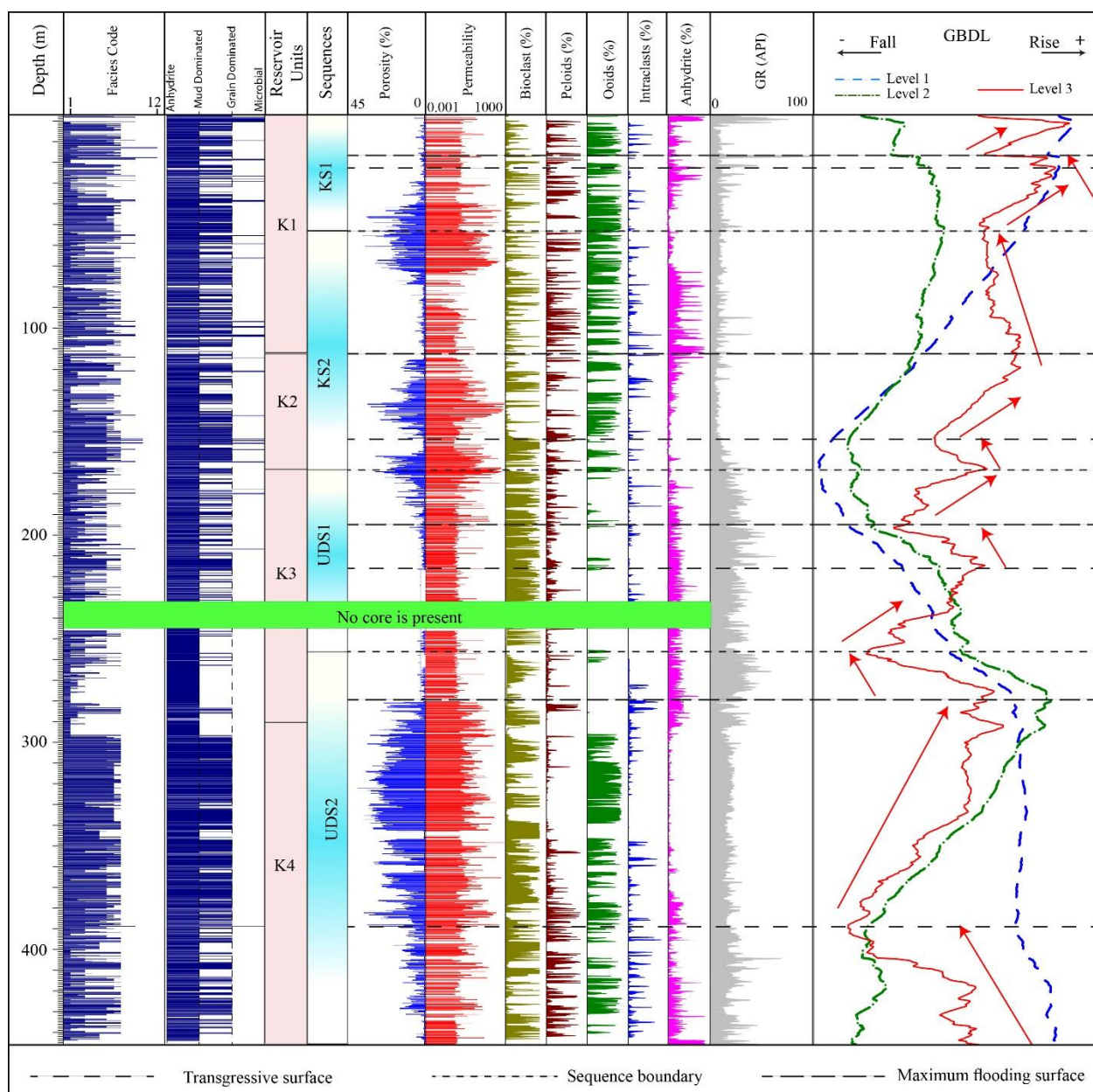
همان‌گونه که در شکل ۴ مشخص است، در ابتدای سازند دالان بالایی، لاگ انحراف از معیار به سمت چپ (مقادیر منفی‌تر) حرکت می‌کند. این تغییر نشان می‌دهد که متوسط نگاره گاما در این سکانس بیش از مقادیر آن در این بخش است و بنابراین مقدار تجمعی همواره انحراف منفی بیشتری پیدا می‌کند. در مرز سطح پیشرونده^۱ سکانس UDS2، جهت تغییرات لاگ معکوس شده و واحد TST این سکانس را مشخص می‌سازد. این مرز بر روی آنالیزهای مراحل قبلی نیز مشخص بوده است ولی در این مرحله با وضوح بیشتری دیده می‌شود. این انحراف تا رسیدن به بیشینه سطح آب دریا ادامه می‌یابد و سپس روند معکوس در لاگ انحراف از معیار گاما مشاهده می‌گردد. این روند تغییرات در هر چهار سکانس به خوبی دیده می‌شود. با مقایسه نگاره گاما با مقادیر انحراف از متوسط آن می‌توان مشاهده نمود که نگاره گاما به تنهایی و بدون این آنالیز نمی‌تواند مرزهای گفته شده را مشخص نماید.

مقادیر انحراف معیار مرحله سوم روند کلی دیگری را نیز نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد، این داده‌ها روند افزایشی را از ابتدای ته‌نشست دالان پایینی به

^۱ Transgressive surface: TS

بالای سازند کنگان، تغییرات مقادیر انحراف از معیار به خوبی توانسته است این چرخش عمده در محیط رسوب‌گذاری را نشان دهد.

سمت بالا نشان می‌دهند که این امر نشان‌دهنده تغییر پیوسته‌ای در محیط رسوب‌گذاری و تغییرات سطح آب دریا است. با توجه به تغییر از محیط رسوب‌گذاری کربناته- تبخیری در ابتدای سازند دالان بالایی به سازند شیلی آغار در



شکل ۴- آنالیز انحراف معیار گاما در چاه SP-A به همراه آنالیزهای رخساره‌ای و داده‌های تخلخل و تراوایی. رخساره‌ها در جدول ۱ شرح داده شده است.

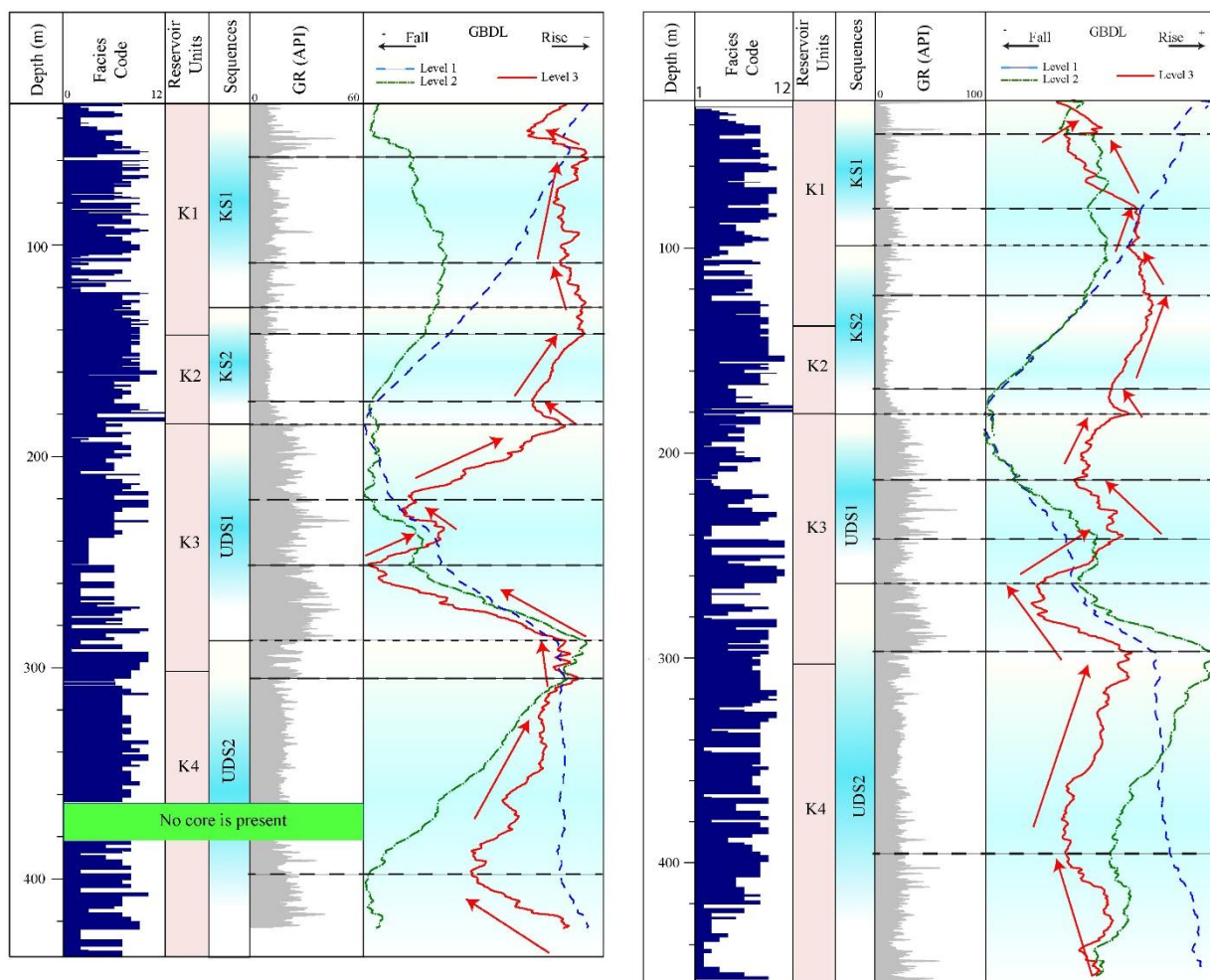
جدول ۱- مشخصات رخساره‌های تعیین شده

Facies group	Facies code	Description	Environment	Remarks
Anhydrite	F1	Massive, nodular and laminated anhydrite	Sabkha	Chicken-wire fabric
Mud dominated	F2	Dolomudstone/mudstone with anhydrite	Tidal flats	With needle anhydrite
	F3	Fenestral dolomudstone/mudstone	Tidal flats, restricted lagoon	Mud cracks, anhydrite
	F4	Wackestone/Packstone	Lagoon	Dolomitised, lagoon shell fragments, peloid, oncoids, micritisation
	F5	wackestone/mudstone Bioturbated	Mid to outer ramp	Some bioclast debris
	F6	Fossiliferous dark mudstone	Outer ramp	Argillaceous, very fine grains, sponge spicules
Grain dominated	F7	Packstone/Grainstone	Leeward shoal	Fine grain, peloid, skeletal debris
	F8	Oolitic grainstone	Shoal	Cross-bedded, oomoldic porosity
	F9	Intraclastic/Bioclastic grainstone	Seaward shoal	Coarse grained
	F10	Transgressive intraclastic grainstone	Intertidal	Only in PTB, only in Kangan
Microbial facies	F11	Stromatolite boundstone	Intertidal	Microbial filament
	F12	Thrombolite boundstone	Subtidal	Only in Kangan

یکسان بودن (افزاینده یا کاهنده) تغییرات تجمعی انحراف از متوسط لاگ گاما در یک سکانس به خوبی مطابق با مفهوم ارتباط ژنتیکی واحدها در یک سکانس می‌باشد. به عبارت دیگر وقتی رسوبات در شرایط یکسان فیزیکی، شیمیایی و زیستی در یک واحد نهشته می‌شوند، تغییرات انحراف معیار همواره به سمت مقادیر کمتر و یا بیشتر (و نه هردو) میل می‌نماید. مشاهده این تغییرات بستگی کامل به مقیاس مشاهده دارد. زمانی که برای محاسبه مقادیر انحراف از معیار از متوسط نگاره گامای کل چاه استفاده می‌شود، این تغییر به وضوح در دو سمت مرز پرمین-تریاس قابل مشاهده است. با توجه به کاهش سطح آب دریا از ابتدای ته‌نشست دالان بالایی به سمت مرز پرمین-تریاس (حضور رسوبات آواری در بالای سازند کنگان) و افزایش مجدد آن پس از مرز، تغییرات انحراف از معیار نگاره گاما به خوبی حضور ۲ چرخه را نشان می‌دهد. همچنین، در مرحله دوم محاسبه این لاگ حضور ۴ چرخه به خوبی قابل مشاهده است.

با توجه به اینکه این روش برای اولین بار در مطالعات چینه‌شناسی سکانشی مورد استفاده قرار می‌گیرد، لازم است تا

در چندچاه قابلیت استفاده از آن مورد آزمایش قرار گیرد. به این منظور آنالیز شرح داده شده بر روی نگاره گامای دو چاه دیگر از میدان گازی پارس جنوبی در سازندهای دالان بالایی و کنگان انجام شده و نتایج حاصل از آن مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵). نتایج حاصل از آنالیز شرح داده شده بر روی چاه‌های SP-B و SP-C نشان می‌دهد که مرزهای سکانشی تعیین شده در این روش با دقت قابل قبولی با مرزهای تعیین شده بر اساس داده‌های مغزه مطابقت دارند. نتایج حاصل از مقایسه مرزهای تعیین شده در این روش با مرزهای تعیین شده در مطالعات مغزه در جدول ۲ دیده می‌شود. با توجه به ساختار تکتونیکی کیک‌لایه‌ای در سازندهای کنگان و دالان در میدان گازی پارس جنوبی، می‌توان این مرزها را به خوبی در سطح میدان مطابقت داد. استفاده از این روش سبب می‌گردد تا تعیین سکانشی‌های یک چاه در زمان بسیار کوتاه و بلافاصله پس از عملیات تهیه نمودارهای چاه‌نگاری امکان‌پذیر گردد.



شکل ۵- محاسبه مقادیر انحراف از معیار نگاره گاما در چاه های SP-B (سمت چپ) و SP-C (سمت راست). برای راهنمای خطوط، شکل ۴ را ببینید.

جدول ۲- اختلاف مرزهای تعیین شده در مطالعات مغزه و استفاده از نگاره انحراف معیار گاما. اعداد مثبت نشان دهنده بالاتر بودن مرز تعیین شده در این روش و اعداد منفی پایینتر بودن مرز را نشان می دهد.

شماره چاه	اختلاف مرز سکansı				اختلاف مرز بیشینه سطح آب دریا				اختلاف مرز سطح پیشرونده			
	KS1	KS2	UDS1	UDS2	KS1	KS2	UDS1	UDS2	KS1	KS2	UDS1	UDS2
SP-A	+۱,۲	۲,۶	۲,۱	-۱,۶	-۰,۸	۳,۸	-۱,۲	۳,۲	-۱,۳	-۰,۲	۱,۴	۰,۹
SP-B	۰,۹	-۰,۵	۰,۳	۰,۴	۰,۶	-۰,۱	-۳,۶	۰,۸	-۰,۴	-۱,۱	۱,۳	۰,۸
SP-C	۰,۳	۰,۶	۰,۵	-۱,۸	۰,۲	۰,۸	۰,۴	۱,۳	۱,۴	-۴,۳	۲,۴	۰,۳

نتیجه گیری

این مطالعه نشان می دهد که می توان از نگاره گاما به طور بسیار مؤثر در تعیین مرزهای واحدهای سکansı استفاده نمود. در اختیار داشتن نگاره گاما به عنوان یکی از اصلی ترین

نگاره های موجود در سازندهای هیدروکربنی و انجام آنالیز ساده ارائه شده در این مطالعه سبب می گردد تا این نگاره به عنوان یکی از توانمندترین ابزارها در مطالعات چینه نگاری سکansı در مخازن کربناته عمل نماید.

روی سازندهای آواری نیز امتحان گردد تا قابلیت استفاده از آن در این سازندها نیز مشخص گردد. تغییرات عددی نزدیک به یکدیگر در برخی مرزها و در هنگام گذر از اعداد منفی به مثبت یا برعکس، تصمیم‌گیری در خصوص مرز دقیق سکانس‌ها را در برخی موارد مشکل می‌سازد. جداکردن واحدهای مرتبط به یکدیگر پیش از انجام این آنالیز از دیگر مواردی است که می‌تواند کاربرد این روش را با مشکل مواجه سازد.

تشکر و قدردانی

نویسنده بر خود لازم می‌داند از حمایت‌های دانشگاه تهران جهت انجام این پژوهش تشکر نماید. از سرکار خانم نادری جهت بازخوانی و تصحیح نوشته اولیه کمال تشکر را دارد.

منابع

امینی، ع.، ۱۳۸۸، مبانی چینه‌نگاری سکانشی: دانشگاه تهران، ۳۲۰ ص.

توکلی، و.، ۱۳۹۰، بررسی کیفیت مخزنی سازندهای کنگان و دالان با استفاده از داده‌های پتروگرافی، ژئوشیمیایی و چینه‌نگاری سکانشی در میدان گازی پارس جنوبی: رساله دکتری، دانشگاه تهران، ۳۹۲ ص.

نجم‌آبادی، س.، ۱۳۷۲، گزارش نهایی زمین‌شناسی چاه شماره ۱ میدان گازی پارس جنوبی: گزارش داخلی شرکت ملی نفت ایران. چاپ نشده.

Aigner, T., M., Schauer, W. D., Junghans and L., Reinhardt, 1995, Outcrop gamma-ray logging and its applications: examples from the German Triassic: *Sedimentary Geology*, v.100, p. 47-61.

Al-Jallal, I. A., 1995, The Khuff Formation: Its regional reservoir potential in Saudi Arabia and other Gulf countries, depositional and stratigraphic approach. In: Al-Husseini, M.I., (Ed.), *Middle East petroleum geosciences conference*. Gulf PetroLink, Bahrain, v. 1, p. 103-119.

با توجه به مفهوم زایشی واحدهای سکانشی، نگاره گاما باید در هریک از مراحل تغییر سطح آب دریا همواره تغییرات یکسانی را نسبت به یک مبنای مشخص از خود نشان دهد. این مطالعه با استفاده از انتخاب مقدار متوسط نگاره گاما به عنوان این مبنای، نشان می‌دهد که این تغییرات می‌توانند شاخص بسیار مناسبی از تغییرات سطح آب دریا باشند.

محاسبه انحراف از متوسط نگاره گاما با استفاده از متوسط تمام داده‌ها در تمام توالی مورد مطالعه، اصلی‌ترین مرز تغییرات سطح آب دریا (مرز بین سازندهای کنگان و دالان) در این سازندها را مشخص ساخت. در این روش انحراف هر داده از مبنای در نظر گرفته شده محاسبه گردیده و سپس مقادیر تجمعی این انحراف محاسبه گردید. در مرحله بعدی برای محاسبه مقدار انحراف، از متوسط هریک از دو سکانس جدا شده در مرحله اول استفاده گردید. نتیجه به دست آمده، چهار سکانس موجود در این سازندها را از یکدیگر متمایز نمود. در این مرحله سه چرخش اصلی در انحراف از معیار دیده شد که منطبق بر سه مرز سکانشی موجود در این سازندها بود. در مرحله بعد با استفاده از متوسط نگاره گاما در این چهار بخش، نمودار انحراف از متوسط مرحله سوم رسم گردید که سیستم تراکت‌های موجود در این سکانس‌ها را نیز از یکدیگر متمایز نمود. نتایج نشان داد که تعیین سه سیستم تراکت LST، TST و HST منطبق با مدل اگزون که در مطالعات قبلی مشخص شده بود، در سازندهای مورد مطالعه انطباق بسیار خوبی با نگاره محاسبه شده در این مطالعه دارد. با استفاده از این روش می‌توان تنها با در اختیار داشتن نگاره گاما، مرزهای اصلی واحدهای سکانشی را در مخازن کربناته شناسایی نموده و در نتیجه واحدهای زایشی را از یکدیگر متمایز نمود. با توجه به اینکه واحدهای زایشی یکسان دارای خصوصیات اولیه و نیز دیاژنزی یکسان هستند، این واحدها نشان‌دهنده تغییرات مخزنی نیز خواهند بود و لذا می‌توان از آنان در مدل‌سازی‌های مخزنی استفاده نمود. لازم است این روش بر

- stratigraphic architecture: *GeoArabia*, v. 11, p. 75–176.
- Johnson, K. W., C. G., Kendall, and I. A., Al-Jallal, 1998, Sequence Stratigraphy and Computer Simulation of the Khuff Formation (Late Permian-Early Triassic), Saudi Arabia and Other Gulf Countries: *GeoArabia*, v. 3, p. 106.
- Kalvoda, J., O., Babek, F. X., Devuyast, G. S., Sevastopolo, 2011, Biostratigraphy, sequence stratigraphy and gamma-ray spectrometry of the Tournaisian-Viséan boundary interval in the Dublin Basin, *Bulletin of Geosciences*: v. 86, p. 683-706.
- Kashfi, M.S., 1992, Geology of the Permian 'supergiant' gas reservoirs in the greater Persian Gulf area: *Journal of Petroleum Geology*, v. 15, p. 465–480.
- Niebuhr, B., and A., Prokoph, 1997, Periodic-cyclic and chaotic successions of Upper Cretaceous (Cenomanian to Campanian) pelagicsediments in the North German Basin: *Cretaceous Research*, v. 18, p. 731-750.
- Nio, S. D., J., Brouwer, D., Smith, M. D., Jong, and Alain Bohm, 2005, Spectral trend attribute analysis: applications in the stratigraphic analysis of wireline logs: first break, v. 23, p. 70-75.
- Peyravi, M., M. R., Kamali and M., Kalani, 2010, Depositional environments and sequence stratigraphy of the early Triassic Kangan Formation in the northern part of the Persian Gulf: implications for reservoir characteristics: *Journal of Petroleum Geology*, v. 33, p. 371–386.
- Pollastro, M.H., 2003, Total Petroleum Systems of the Paleozoic and Jurassic, Greater Ghawar Uplift and Adjoining Provinces of Central Saudi Arabia and Northern Arabian-Persian Gulf: U.S: Geological Survey Bulletin, Report No. 2202-H.
- Rahimpour-Bonab, H., A., Asadi-Eskandar, and A., Sonei, 2009, Controls of Permian-Triassic Boundary over Reservoir Characteristics of South Pars Gas Field, Persian Gulf: *Geological Journal*, v. 44, p. 341–364.
- Rahimpour-Bonab, H., B., Esrafil-Dizaji and V., Tavakoli, 2010, Dolomitization and anhydrite precipitation in Permo-Triassic carbonates at the South Pars gas Field, Offshore Iran: controls on reservoir quality: *Journal of Petroleum Geology*, v.33, p. 43–66.
- Reynolds, A.D., 1994, Sequence stratigraphy from core and wireline log data: the Viking Formation, Albian, south central Alberta, Canada: *Marine and Petroleum Geology*, v. 11, p. 258-282.
- Alsharhan, A.S., and A. E. M., Nairn, 1997, *Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle East*: Elsevier, Netherlands, p. 934.
- Bordenave, M. L., 2008, The origin of the Permo-Triassic gas accumulations in the Iranian Zagros foldbelt and contiguous offshore area: a review of the Palaeozoic petroleum system: *Journal of Petroleum Geology*, v. 31, p. 3–42.
- Bordenave, M.L., and J.A., Hegre, 2010, Current distribution of oil and gasfields in the Zagros Fold Belt of Iran and contiguous offshore as the result of the petroleum systems. In: Leturmy, P., and Robin, C., (Eds.), *Tectonic and Stratigraphic Evolution of Zagros and Makranduring the Mesozoic-Cenozoic*: Geological Society of London Special Publication, v. 330, p. 291-353.
- Catuneanu, O., V., Abreu, J.P., Bhattacharya, M.D., Blum, R.W., Dalrymple, P.G., Eriksson, C.R., Fielding, W.L., Fisher, W.E., Galloway, M.R., Gibling, K.A., Giles, J.M., Holbrook, R., Jordan, C.G.St.C., Kendall, B., Macurda, O.J., Martinsen, A.D., Miall, J.E., Neal, D., Nummedal, L., Pomar, H.W., Posamentier, B.R., Pratt, J.F., Sarg, K.W., Shanley, R.J., Steel, A., Strasser, M.E., Tucker and C., Winker, 2009, Towards the standardization of sequence stratigraphy: *Earth-Science Reviews*, v. 92, p. 1-33.
- Ehrenberg, S. N., 2006, Porosity destruction in carbonate platforms: *Journal of Petroleum Geology*, v. 29, p. 41–52.
- Ehrenberg, S.N., P.H., Nadeau, and A.A.M., Aqrabi, 2007, A comparison of Khuff and Arab reservoir potential throughout the Middle East: *American Association of Petroleum Geologists*, v. 86, p. 1709–1732.
- Ehrenberg, S. N. and T. A., Svana, 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: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 85, p. 295-308.
- Esrafil-Dizaji, B., and Rahimpour-Bonab, H., 2013, A review of Permo-Triassic reservoir rocks in the Zagros area, SW Iran: influence of the Qatar-Fars Arch: *Journal of Petroleum Geology*, v. 36, p. 257-279.
- Insalaco, E., A., Virgone, B., Courme, J., Gaillot, M., Kamali, A., Moallemi, M., Lotfpoor and S., Monibi, 2006, Upper Dalan Member and Kangan Formation between the Zagros Mountains and offshore Fars, Iran: Depositional system, biostratigraphy and

- Virgone, A. I., P., Lapointe, E., Marro, G., Camoin, F. A., Ghaemi, and A., Khalili, 2000, The Permian-Triassic Boundary: an Example from the South Pars Field, Iran: *GeoArabia*, v. 5, p. 192.
- Xia, L., F., Yiren, D., Shaogui and W., Tongshan, 2009, Automatic demarcation of sequence stratigraphy using the method of well logging multiscale data fusion: *Petroleum Exploration and Development*: v. 36, p. 221-227.
- Robertson, 2002, Kangan-Dalan K2, K3 and K4 reservoirs, Sp-10 and Sp-11 wells, South pars field, offshore Iran Pars Oil and Gas Company, Report 1021, 241 p., Unpublished.
- Sharland, P. R., R., D. M., Archer, R. B., Casey, S. H., Davies, A. P., Hall, A. D., Heward, M. D., Horbury and A., Simmons, 2001, Arabian plate sequence stratigraphy: *GeoArabia Special Publication*, v. 2, 371 p.
- Simmons, M., R. Archer, D. Casey, R. Davies, S. Hall, A. Heward, A. Horbury, and P. Sharland, 2000, A proposed sequence stratigraphy for the Phanerozoic succession of the Arabian Plate: the key role of biostratigraphy: *GeoArabia*, v. 5, p. 181.
- Strohmenger, C., H., P., Mueller, D., Wagner, D., Yurewicz, Cassiani, S., Ferguson, and Ebaid, A., 2000, Sequence Stratigraphy of the Khuff Formation: Emphasis on the Exploration Potential in Kuwait (Abstract): *GeoArabia*, v. 5, p. 183.
- Tavakoli, V., H., Rahimpour-Bonab, 2012, Uranium depletion across Permian-Triassic Boundary in Persian Gulf and its implications for paleoceanic conditions: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 350, p. 101-113.
- Tavakoli, V., H., Rahimpour-Bonab, and B., Esrafil-Dizaji, 2011, Diagenetic controlled reservoir quality of SouthPars gas Field, an integrated approach: *Comptes Rendus Geoscience*, v. 343, p. 55-71.
- Total, 1998, Sedimentological study of the coredKangan/Dalan Formation in SP-5Well,South Pars Field, Iran, p. 176, unpublished report.
- Total, 1999,Sedimentological study of the coredKangan/Dalan Formation in SP-6Well, South Pars Field, Iran, p. 185, Unpublished Report.
- Vail, P. R, R. M, Mitchum and S., Thompson, 1977, Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 4. Global cycles of relativechanges in sea level. In: Payton, C. E., (Ed.), *Seismic stratigraphy:applications to hydrocarbon exploration: American Association of Petroleum Geologists*, v. 26, p. 83-97.
- van Wagoner, J. C, H. W, R. M, Posamentier, P. R, Mitchum, J. F, Vail, T. S, Sarg, Loutit and J., Hardenbol, 1988, An overview of the fundamentalsof sequence stratigraphy and key definitions. In: Wilgus, C. K,Hastings, C. G, Kendall, C. G. St. C, Posamentier, H. W, Ross, C. A, vanWagoner, J. C, (Eds.), *Sea-level changes: an integrated approach: SEPM Special Publications*, v. 42, p. 39-45.