

## کاربرد آنالیز طیفی در چینه‌نگاری سکانسی و تعیین چرخه‌های میلانکوویچ در سازند سروک در میدان کوپال

فروغ عباساکی<sup>۱</sup>، اسداله محبوبی<sup>۱\*</sup>، سیدرضا موسوی حرمی<sup>۱</sup> و شهرام آورجانی<sup>۲</sup>

۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد

۲ شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، اداره عملیات زمین‌شناسی

نویسنده مسئول: mahboubi@um.ac.ir

دریافت: ۹۴/۲/۱۴ پذیرش: ۹۵/۱/۳۱

### چکیده

سازند سروک (آلبین تا تورونین) یکی از واحدهای کربناته در جنوب‌غرب ایران است که در حاشیه نتوتیس نهشته شده است. هدف از این مطالعه آنالیز چینه‌نگاری سکانسی و شناسایی چرخه‌های میلانکوویچ این سازند در چاه‌های شماره ۲۰ و ۴۸ میدان کوپال به روش آنالیز طیفی MESA و با استفاده از نرم‌افزار سیکلولاگ و لاگ گاما است. مطالعه ۲۵۰ نمونه میکروسکوپی منجر به شناسایی ۹ میکروفاسیس شد که در سه محیط رسوبی دریای باز، سد و لاگون بر جای گذاشته شده‌اند. علاوه بر این دو سکانس رسوبی رده سوم (بر اساس تغییرات رخساره‌ای و نیز تغییرات منحنی‌های PEFA و INPEFA) نیز شناسایی شده است. بررسی چرخه‌های میلانکوویچ با استفاده از دو روش تعیین فواصل بین پیک‌های گاما و آنالیز MESA نشان داد که غالب آن‌ها از چرخه‌های ۱۰۰ هزار ساله تشکیل شده‌اند. سن‌سنجی مداری با توجه به شمارش این چرخه‌ها نشان داد که این بخش از سازند که مورد حفاری قرار گرفته سنی معادل ۱۱ تا ۱۲ میلیون سال دارد.

واژه‌های کلیدی: سازند سروک، گاما، MESA، چینه‌نگاری سکانسی، چرخه‌های میلانکوویچ

### مقدمه

است که جهت انطباق زون‌های مخزنی و سطوح سکانسی دقت بالایی دارند [۱۹ و ۱۲]. در واقع نمودار گاما را می‌توان به صورت یک موج مرکب شامل تعداد زیادی موجک فرض کرد که با به‌کارگیری نمودارهایی نظیر PEFA<sup>۱</sup>، INPEFA<sup>۲</sup> و MESA از آن جهت شناسایی چرخه‌های میلانکوویچ استفاده کرد [۱۵ و ۱۶]. این موجک‌ها در حقیقت همان آثار چرخه‌های میلانکوویچ هستند که به همراه یکسری امواج مزاحم<sup>۳</sup> نمودارهای الکتریکی را می‌سازند. بنابراین برای بررسی این چرخه‌ها باید این امواج مرکب به اجزای تشکیل‌دهنده خود تجزیه شوند که برای این منظور می‌توان از نرم‌افزار سیکلولاگ استفاده کرد [۱۷].

هدف از این مطالعه استفاده از آنالیز طیفی MESA در شناسایی چرخه‌های میلانکوویچ و تفسیر چینه‌نگاری سکانسی سازند سروک در چاه‌های شماره ۴۸ و ۲۰ میدان نفتی کوپال است.

مطالعات چینه‌نگاری چرخه‌های<sup>۱</sup> نشان می‌دهد که تاثیر سیکل‌های میلانکوویچ در توالی‌های محیط‌های رسوبی مختلف عمیق تا کم عمق قابل شناسایی است [۲۳]. این سیکل‌ها معمولاً به کمک تغییرات سنگ‌شناسی، لایه‌بندی، رخساره‌ای، فسیلی، ژئوشیمیایی، روش‌های آماری و نیز نمودارهای پتروفیزیکی شناسایی می‌شوند. علاوه بر این روش‌های آماری می‌توانند با دقت بالایی نرخ رسوب‌گذاری را مشخص کنند [۱۸]. یکی از این روش‌های آماری به‌کارگیری آنالیز طیفی MESA<sup>۲</sup> یا استفاده از لاگ‌های پتروفیزیکی و به خصوص لاگ گاما است، چرا که این لاگ تغییرات رخساره‌ای و تغییرات سطح آب را بهتر نشان می‌دهد [۱۴، ۱۲ و ۱۱]. در مطالعات چینه‌نگاری سکانسی در چاه‌های نفتی به دلیل نبود مغزه و یا کیفیت پایین خرده‌های حفاری و فاصله زیاد نمونه‌برداری یا مشکلاتی همراه است. بنابراین در اینجا نیز بهترین ابزار استفاده از نمودارهای الکتریکی

<sup>۱</sup>Prediction Error Filter Analysis

<sup>۲</sup>Integrated Prediction Error Filter Analysis

<sup>۳</sup>noise

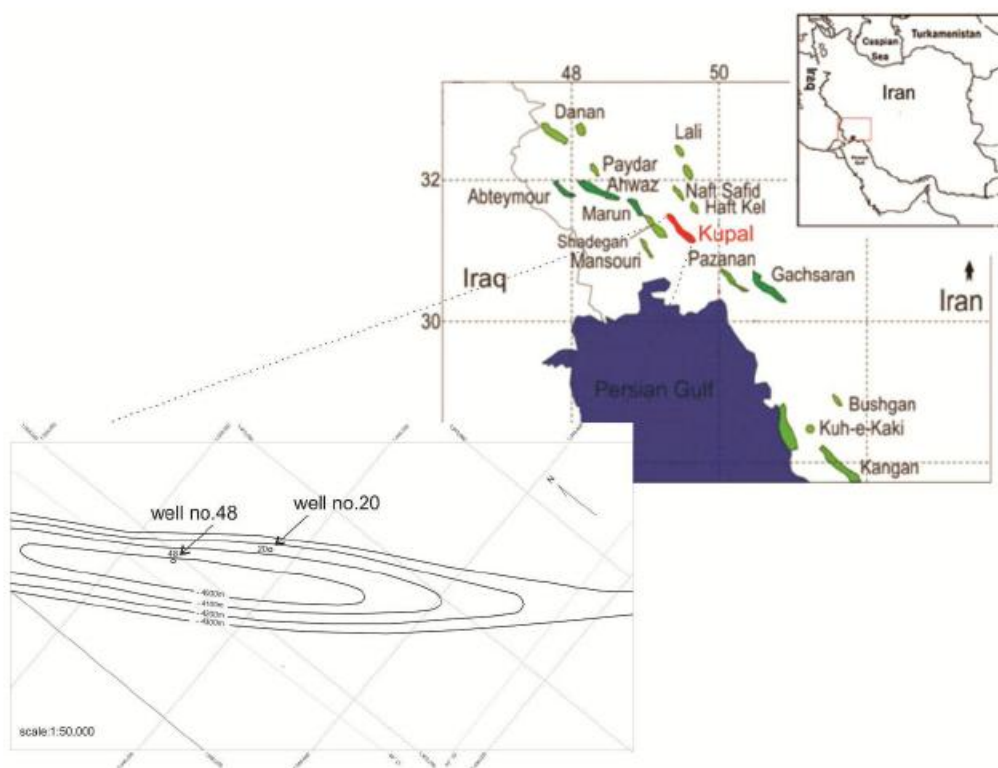
<sup>۱</sup>cyclostratigraphy

<sup>۲</sup>Maximum Entropy Spectral Analysis

## زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی

میدان نفتی کوپال در ۵۰ کیلومتری شمال‌شرق اهواز قرار دارد (شکل ۱). از لحاظ تکتونیکی در بخش مرکزی فروافتادگی دزفول شمالی قرار داشته و روند آن شمال-غرب - جنوب‌شرق است [۱]. عمق حفاری سازند سروک در چاه شماره ۴۸ این میدان حدود ۵۷۰ متر و در چاه شماره ۲۰ حدود ۶۵۰ متر است و این بخش از سازند که مورد حفاری قرار گرفته سنی معادل آلبین بالا تا تورونین دارد [۲]. سازند سروک در این میدان به طور کامل حفاری نشده و مرز زیرین آن نامشخص است و مرز بالایی آن با سازند ایلام به طور ناهم‌ساز بوده و سازند

سورگه در این میدان رسوب‌گذاری نکرده است که با توجه به محتوای فسیلی می‌توان به مرز ناپیوستگی فرسایشی (ناشی از رخداد ساب هرسی‌نین) میان آن‌ها اشاره نمود، لذا مرزهای ایلام و سروک با نبود رسوب‌گذاری کنیاسین همراه است [۲]. حرکت تدریجی و رو به بالای ناحیه کوپال در اواخر سنوماین منجر به رسوب‌گذاری کرینات‌های کم عمق یا ضخامت نسبتاً زیاد در این ناحیه شده و باعث شده است تا ناحیه کوپال از محیط دریایی عمیقی که سازند سورگه در آن رسوب‌گذاری می‌کرده جدا شود [۲].



شکل ۱. موقعیت میدان نفتی کوپال در جنوب‌غرب ایران و چاه‌های ۲۰ و ۴۸ روی نقشه UGC سازند سروک

## روش مطالعه

در این تحقیق تعداد ۲۵۰ مقطع نازک از مغزه‌ها و خرده‌های حفاری چاه‌های شماره ۴۸ و ۲۰ به منظور تعیین میکروفاسیس‌ها و تفسیر محیط رسوبی مطالعه شده است. نام‌گذاری سنگ‌های کریناته به روش دانهام [۸] و امپری و کلون [۹] صورت گرفته است. با توجه به اینکه در چاه‌های مورد مطالعه مغزه کامل وجود ندارد، مرز سکناس‌ها پیش‌تر با تاکید بر تغییرات لاگ گاما و نمودار D-INPEFA-SGR در نرم‌افزار سیکلولاگ تعیین

شده است. این نرم‌افزار نمودارهای الکتریکی را به نمودارهای طیفی تبدیل می‌کند که برای مطالعات چینه‌شناسی سکناسی به کار می‌رود [۷]. در این تحقیق برای تعیین سیکل‌های میلانکوویچ از شمارش پیک‌های لاگ گاما [۲۵ و ۱۹] و آنالیز طیفی MESA استفاده شده است [۷ و ۱۵]. از آنجا که لاگ گاما نسبت به شرایط محیطی واکنش زیادی نشان می‌دهد، آثار چرخه‌های میلانکوویچ موجود در لایه‌های رسوبی نیز در آن ثبت شده و با استفاده از نرم‌افزار سیکلولاگ قابل شناسایی است

INPEFA: منحنی PEFA را می‌توان به منحنی INPEFA تبدیل نمود که نشان‌دهنده اختلاف تجمعی بین مقادیر لاگ پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی لاگ است [۷]. نمودار INPEFA روند طیفی طول موج‌های کوتاه لاگ گاما است که تغییرات میزان پرتو گاما را به صورت افزایشی یا کاهش‌ی نشان می‌دهد، یعنی روندها و دیگر الگوهایی که معمولاً از داده‌های لاگ اصلی معلوم نیستند را آشکار می‌کند [۱۶]. مقادیر این نمودار از صفر تا یک تغییر می‌کند. از آنجا که لاگ‌ها به شکل آنالوگ ثبت شده‌اند به صورت رده‌های پیوسته مشاهده می‌شوند، اما این لاگ‌ها (PEFA-INPEFA) به شکل دیجیتال<sup>۲</sup> یا نقطه داده‌هایی در فواصل گسسته ثبت شده‌اند [۱۶].

اگر نمودار به سمت صفر تغییر کند، روند منفی یا کاهش‌ی دارد. این روند منفی در منحنی INPEFA نشان دهنده بخشی از داده‌هاست که مقادیر واقعی لاگ کمتر از مقدار پیش‌بینی شده در نمودار INPEFA است. به طور کلی می‌توان این روند منفی را به عنوان پس‌روی<sup>۳</sup> در نظر گرفت. منفی شدن به سمت بالا در اثر افزایش رسوبات دانه درشت، کم عمق شوندگی و کاهش فاصله از خط ساحلی است [۱۷]. بالعکس اگر نمودار به سمت یک تغییر کند، روند مثبت یا افزایشی دارد. روند مثبت در این منحنی نشان‌دهنده بخشی از داده‌هاست که مقادیر واقعی لاگ بیش‌تر از مقدار پیش‌بینی شده در نمودار INPEFA است. این روند مثبت را می‌توان به عنوان پیش‌روی<sup>۴</sup> در نظر گرفت. مثبت شدن به سمت بالا نشان دهنده افزایش رسوبات دانه‌ریز، عمیق شوندگی و هم‌چنین افزایش فاصله از خط ساحلی است [۱۶].

در واقع اهمیت زمین‌شناسی روند INPEFA در تقاطعی است که تغییراتی را نشان دهند، به ویژه در جایی که این نقاط از منفی به مثبت یا برعکس تغییر می‌کنند. بعضی از نقاط عطف در منحنی INPEFA نشان‌دهنده تغییرات مهم در رژیم رسوبی توسط تغییرات آب و هوایی است [۱۶]. روند افزایشی رو به بالا را روند مثبت<sup>۵</sup> یا PBS و روند کاهش‌ی مقادیر INPEFA را روند منفی<sup>۶</sup> یا NBS می‌نامند [۱۷].

[۱۷]. یک پرتو گاما اساساً تجمعات رادیواکتیویته سه عنصر پتاسیم، توریوم و اورانیوم را یک جا اندازه‌گیری می‌کند [۲۰]. یا توجه به حضور این عناصر در کانی‌های مختلف موجود در توالی‌های رسوبی و ثبت آن‌ها در لاگ گاما، این لاگ ابزار مناسبی برای بررسی رویدادهای چرخه‌ای مثل سیکل‌های میلانکوویچ است [۱۷].

نرم‌افزار سیکلولاگ به‌طور خاص برای مطالعات زیرسطحی و پراساس لاگ‌های پتروفیزیکی طراحی شده است [۱۷]. در واقع این نرم‌افزار برای بررسی سیکل‌های میلانکوویچ ثبت شده در لایه‌های رسوبی از الگوهای چرخه‌ای ثبت شده در لاگ‌های پتروفیزیکی (مثل لاگ گاما که نسبت به تغییرات رخساره‌ای حساسیت بالاتری دارد) استفاده می‌کند. یکنواختی لاگ نشان‌دهنده یکنواختی شرایط محیطی در آن عمق و پیک‌های موجود نشان‌دهنده تغییر شرایط محیط رسوب‌گذاری است [۱۷].

#### آنالیز طیفی MESA

آنالیز طیفی MESA از ابزارهای آنالیزی جدیدی است که در تفسیر لاگ‌ها کاربرد دارد. این روش از طریق محاسبه فیلتر پیش‌بینی خطا<sup>۱</sup> برای تعیین مولفه‌های طیفی موجود در لاگ انجام می‌شود [۱۶]. در بررسی‌های چینه‌شناسی، نمودار MESA برای ایجاد دو نوع نشانگر طیفی PEFA و INPEFA در نرم‌افزار سیکلولاگ بر اساس داده‌های لاگ‌های پتروفیزیکی به‌خصوص لاگ گاما استفاده می‌شود.

PEFA: با استفاده از یک لاگ حساس به رخساره مثل لاگ گاما می‌توان PEFA را محاسبه کرد. در نرم‌افزار سیکلولاگ تغییرات زیاد PEFA ممکن است در ارتباط با حوادث زمین‌شناسی مثل تغییر در آب و هوا، دینامیک حوضه و وقفه‌های چینه‌شناسی باشد. مقادیر PEFA از -۱۰ تا +۱۰ متغیر است. مقادیر صفر تا -۱۰ (خطای پیش‌بینی شده منفی) معمولاً نشانه‌ای از سطوح فرسایشی و مقادیر صفر تا +۱۰ (خطای پیش‌بینی شده مثبت) معمولاً نشان‌دهنده افزایش سطح آب است. اگر بیش‌تر مقادیر نزدیک به صفر باشند به این معنی است که خصوصیات طیفی داده‌ها نسبتاً بدون تغییر باقی‌مانده است [۱۷].

<sup>2</sup>datapoint

<sup>3</sup>regression

<sup>4</sup>transgression

<sup>5</sup> Positive Bounding Surface

<sup>6</sup>Negative Bounding Surface

<sup>1</sup> prediction error filter

## میکروفاسیس‌های سازند سروک

میکروفاسیس‌های شناسایی شده از دریا به سمت خشکی شامل سه مجموعه A، B و C به شرح زیر هستند:

دریای باز (مجموعه A): این مجموعه از سه میکروفاسیس تشکیل شده است.

A1) مادستون تا وکستون الیگوستژین‌دار: اجزای اصلی این زیر مجموعه الیگوستژینیدها هستند این میکروفاسیس بدون فوتای کم عمق است و در نمونه‌های مورد مطالعه با گسترش محدود و بیش‌تر در چاه شماره ۲۰ مشاهده شد (شکل ۲-A).

A2) وکستون دارای فرامینی‌فرهای بنتیک و پلاژیک: این میکروفاسیس در تناوب با میکروفاسیس‌های دریای یاز و پشته دیده می‌شود. در این میکروفاسیس فرامینی‌فرهای بنتیک مانند میلیولید همراه با پوسته دوکفه‌ای پلاژیک، فرامینی‌فرهای پلاژیک مثل گلوبی‌ژرینا و روتالی‌پورا و الیگوستژینید دیده می‌شوند که اکثراً با کلسیت پر شده‌اند. اجزای فرعی آنپلونییدها هستند (شکل ۲-B).

A3) پکستون-رودستون رودیستی دارای فرامینی‌فرهای بنتیک: اجزای اصلی تشکیل‌دهنده این میکروفاسیس شامل خرده‌های رودیست به مقدار فراوان، پوسته‌های دوکفه‌ای و قطعات اکینودرم است و به مقدار کمتر فرامینی‌فرهای بنتیک و پلونیید در آن دیده می‌شود (شکل ۲-C). این میکروفاسیس نسبت به میکروفاسیس قبلی در عمق کمتری قرار دارد چرا که فرامینی‌فرهای پلاژیک در آن دیده نشده است (شکل ۲-D).

محیط پشته (مجموعه B): دو میکروفاسیس در این مجموعه شناسایی شده است.

B1) گرینستون اینتراکلتی بیوکلاستی: در این میکروفاسیس در زمینه‌ای از کلسیت اسپاری قطعات اسکلتی (مثل رودیست و اکینودرم) و اینتراکلت به فراوانی دیده می‌شود (شکل ۲-E) و به مقدار خیلی کم هم پلونیید مشاهده می‌شود.

B2) گرینستون پلونییدی دارای فرامینی‌فرهای بنتیک: دانه‌های اصلی در این میکروفاسیس پلویید بوده و مقداری فرامینی‌فر بنتیک ریز مثل تکستولاریا، میلیولید، آلونولین و پوسته دوکفه‌ای و خارپوست به عنوان اجزای فرعی است. در این میکروفاسیس فرامینی‌فرهای بنتیک نسبت به محیط لاگون کوچک‌تر و دارای تنوع کمتری هستند (شکل ۲-F).

محیط لاگونی (مجموعه C): از سه میکروفاسیس تشکیل شده است.

C1) وکستون پلونییدی تا وکستون پلونییدی با تنوع کم فرامینی‌فر بنتیک: اجزای اصلی تشکیل‌دهنده این میکروفاسیس پلونیید است که در زمینه‌ای از گل آهکی قرار دارند. در بعضی از نمونه‌ها فرامینی‌فرهای بنتیک ریز مثل میلیولید، نزازاتا و تکستولاریا دیده می‌شود. سایر اجزا مانند خارپوست و پوسته دوکفه‌ای و خرده‌های فسیلی از اجزای فرعی این میکروفاسیس می‌باشند که به ندرت مشاهده شدند (شکل ۲-G).

C2) پکستون پلونییدی دارای فرامینی‌فرهای بنتیک متنوع: این میکروفاسیس که در اعماق مختلف گسترش دارد دارای فرامینی‌فرهای شاخص محیط لاگونی مثل میلیولید، نزازاتا، تکستولاریا، دیسیکلینا و آلونولین به همراه مقدار زیادی پلونیید در زمینه‌ای از گل آهکی است. فرامینی‌فرهای بنتیک دیگری مثل کریستالیدیا، منگشیتا، شوفاتلا، پاونیا، سودولیتونلا و مونکارموتیا نیز در این میکروفاسیس شناسایی شدند. در این میکروفاسیس فرامینی‌فرهای بنتیک اندازه درشت‌تری نسبت به میکروفاسیس قبلی دارند (شکل ۲-H).

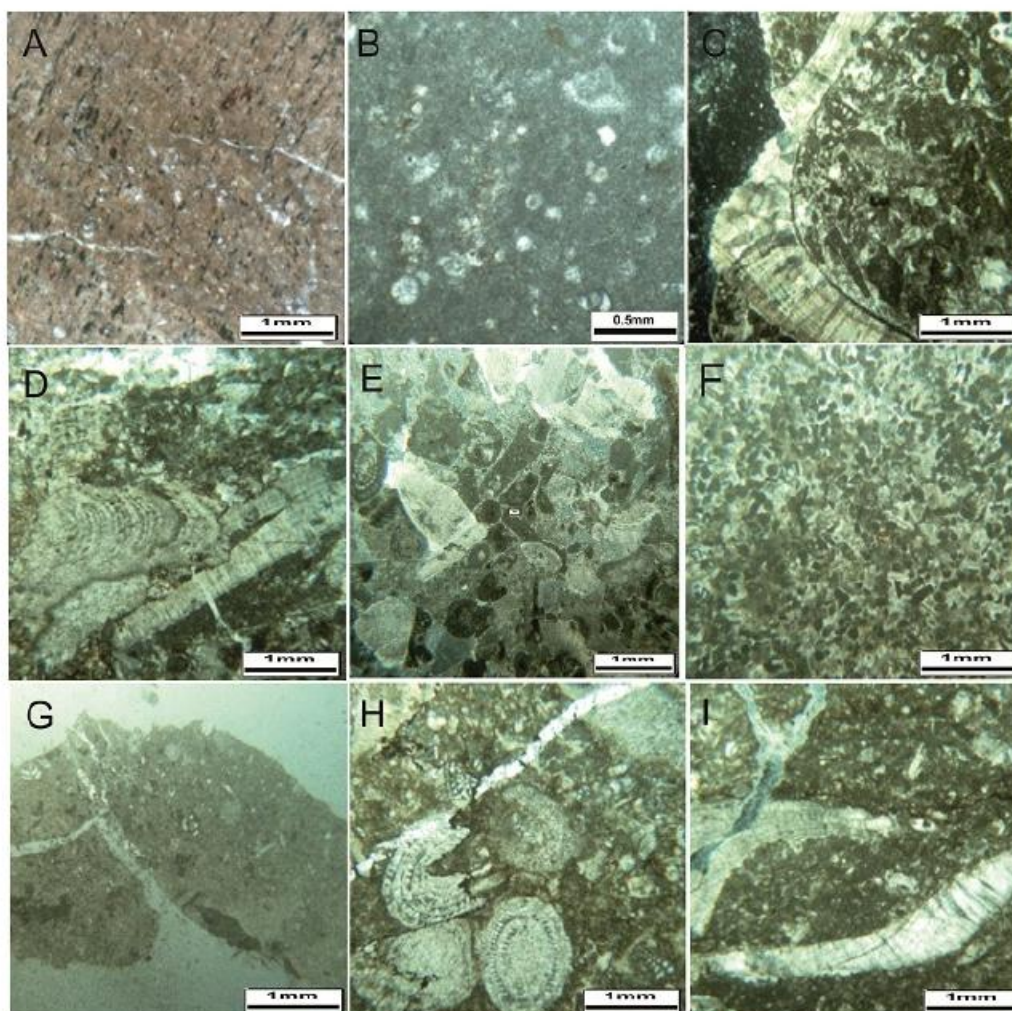
C3) وکستون تا پکستون بیوکلاستی: اجزای اصلی این میکروفاسیس قطعات نسبتاً درشتی از خرده‌های بیوکلاست (پوسته دوکفه‌ای و اکینودرم)، استراکود و به مقدار کمتر جلبک سبز است. البته فرامینی‌فرهای بنتیک کوچک مثل نزازاتا، میلیولید و تکستولاریا نیز که شاخص محیط لاگونی هستند، در این میکروفاسیس به عنوان اجزای فرعی هستند. احتمالاً در مجموعه لاگونی این میکروفاسیس در عمق کمتری قرار دارد (شکل ۲-I).

## تفسیر محیط رسوبی

در محیط دریای یاز میکروفاسیس A1 در این مجموعه عمیق‌ترین میکروفاسیس بوده و به علت نداشتن فون‌های بنتیک، رسوب‌گذاری در محیط رمپ خارجی صورت گرفته که وجود الیگوستژین‌ها در زمینه میکرایت نیز موید این مطلب است. در میکروفاسیس A2 وجود فرامینی‌فرهای بنتیک ریز به همراه پلانکتون‌ها نشان‌دهنده کاهش عمق رسوب‌گذاری نسبت به میکروفاسیس پیشین است. در نهایت میکروفاسیس A3 که با رودیست فراوان مشخص می‌شود نشان‌دهنده قسمت‌های کم عمق

تازه به این قسمت‌های عمیق‌تر لاگون باشد [۲۴] و از طرف دیگر پلونید فراوان است. از طرف دیگر در میکروفاسیس C2 فرامینی‌فرهای بنتیک تنوع بیش‌تر و اندازه درشت‌تری دارند که این مسئله نشان‌دهنده محیطی با چرخش آب آزاد و انرژی هیدرودینامیکی متوسط تا بالاست [۳ و ۲۲] و همچنین میکروفاسیس C3 با داشتن خرده‌های پیوکلاست درشت‌تر و کاهش میزان گل بیانگر قسمت‌های کم عمق لاگون و نزدیک به پشته کریناته است.

دریای یاز یا شوری متغیر و نزدیک به خط امواج نرمال [۱۰] است. دو میکروفاسیس B1 و B2 در محیط پشته با توجه به شواهد موجود مثل نبود گل آهکی، فراوانی اینتراکلاست و چورشدگی خوب دانه‌ها، در محدوده خط اثر امواج و در محیطی با انرژی بالا تشکیل شده‌اند. حضور پلونیدها در این می‌تواند نشانه‌ای از انتقال انرژی از شرایط کم انرژی‌تر به پرانرژی‌تر باشد [۴]. در مجموعه لاگون، میکروفاسیس C1 متعلق به قسمت‌های عمیق لاگون است چرا که تنوع موجودات کم بوده و اکثراً اندازه ریزی دارند که این مسئله می‌تواند به علت ورود کم آب



شکل ۲. تصاویر میکروسکوپی میکروفاسیس‌های سازند سروک در میدان کوبال A (XPL) - مادستون تا وکستون الیگوستژین‌دار عمق ۴۲۶۰ متری B- وکستون دارای فرامینی‌فرهای بنتیک و پلاژیک عمق ۴۱۵۱ متری C- وکستون تا پکستون رودیستی دارای فرامینی‌فرهای بنتیک عمق ۴۱۸۳ متری D- رودستون رودیستی عمق ۴۴۸۵ متری E- گریستون اینتراکلاستی پیوکلاستی عمق ۴۵۵۱ متری F- گریستون پلونیدی دارای فرامینی‌فرهای بنتیک عمق ۴۵۲۰ متری G- وکستون پلونیدی تا وکستون پلونیدی دارای فرامینی‌فرهای بنتیک عمق ۴۳۰۰ متری H- پکستون پلونیدی دارای فرامینی‌فرهای بنتیک متنوع عمق ۴۳۴۵ متری I- وکستون تا پکستون پیوکلاستی عمق ۴۰۹۱ متری چاه ۴۸

## چینه‌نگاری سکانسی

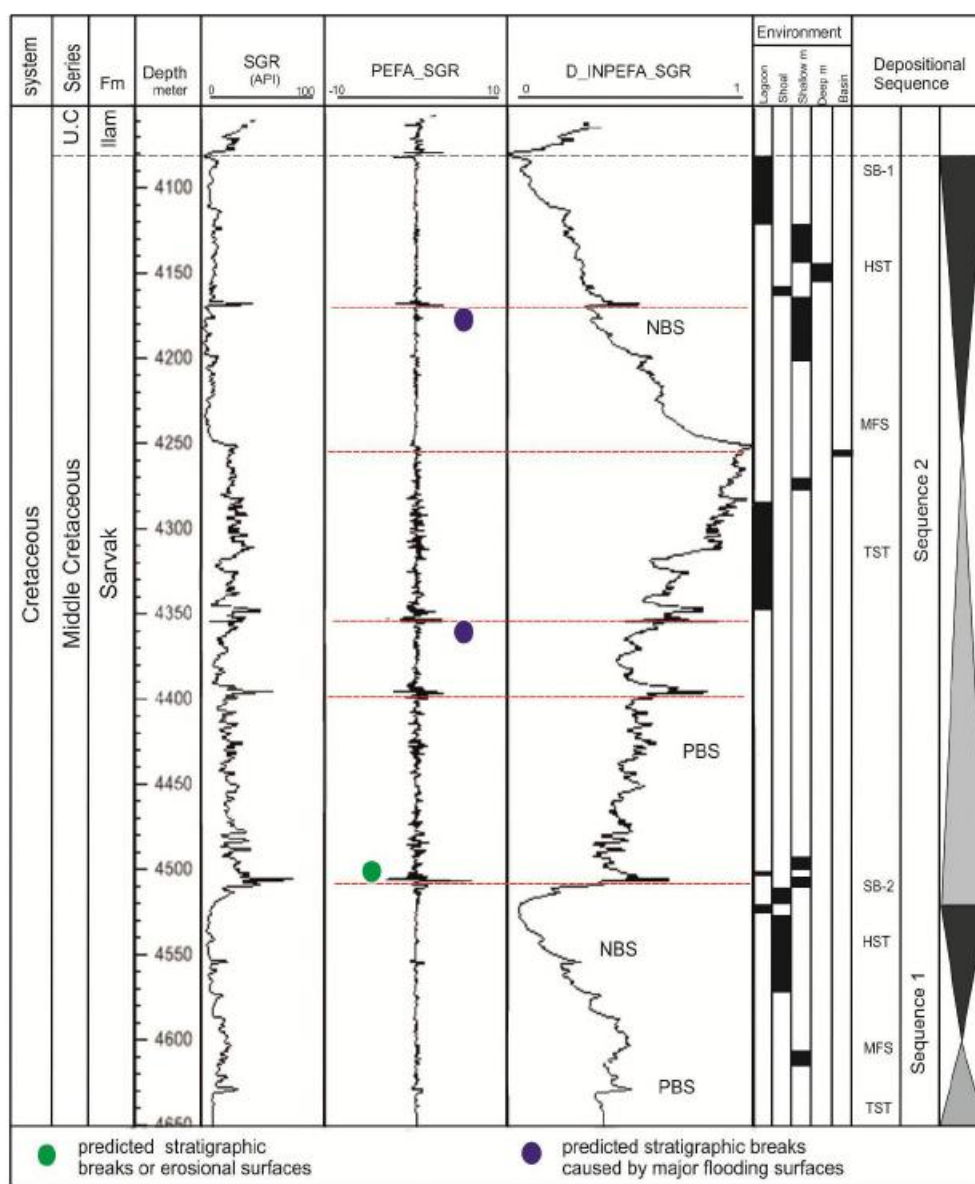
با توجه به تغییرات مشاهده شده در میکروفاسیس‌ها و محیط رسوبی، تغییرات لاگ گاما و نمودار D-INPEFA\_SGR دو سکانس رسوبی درجه سوم در چاه‌های شماره ۴۸ و ۲۰ شناسایی شد (شکل‌های ۳ و ۴). سکانس ۱: این سکانس در چاه ۴۸ در عمق ۴۶۶۵ تا ۴۵۲۵ متری قرار دارد. جهت شناسایی سیستم ترک‌ها نیز از تغییرات محیطی با توجه به میکروفاسیس‌ها و بررسی لاگ گاما و نمودار D-INPEFA\_SGR استفاده شد. قسمت TST آن حدود ۶۰ متر و HST آن ۸۰ متر ضخامت دارد. در TST لاگ گاما افزایش یافته است (PBS) تا اینکه در عمق حدود ۴۶۰۰ متری به MFS (API ۲۳) رسیده است. در قسمت HST لاگ گاما کاهش یافته (NBS) و میکروفاسیس‌های کم عمق دریای باز (پکستون رودیستی دارای فرامینی‌فرهای بنتیک) به میکروفاسیس‌های محیط پشته (گرینستون اینتراکلاستی بیوکلاستی و گرینستون پلونیدی دارای فرامینی‌فرهای بنتیک) و لاگونی (وکستون پلونیدی یا تنوع کم فرامینی‌فر بنتیک) تبدیل شده‌اند. مرز این سکانس و سکانس بالایی از نوع SB2 است که مطابق با میکروفاسیس‌های کم عمق لاگونی در سازند مورد مطالعه است. یا در نظر گرفتن روند تغییرات میکروفاسیس‌ها مرز این دو سکانس از نوع SB2 است زیرا در این مرز شواهدی از پسروی کامل دریا و خروج رسوبات از زیر آب وجود ندارد. در این مرز مقدار لاگ گاما به API ۴ و مقدار نمودار D-INPEFA\_SGR به صفر رسیده است، همچنین روند نمودار PEFA در این مرز ابتدا به سمت مثبت و با شروع سکانس ۲ به سمت مقادیر منفی تغییر پیدا کرده است. از بین لاگ‌های پتروفیزیکی لاگ گاما و نمودار INPEFA (که از لاگ گاما ساخته می‌شود) در کنار مطالعات میکروسکوپی می‌تواند مینای خوبی برای بررسی تغییرات سطح دریا باشد [۱۶]. برای بررسی و شناسایی سکانس‌های چاه شماره ۲۰ به دلیل عدم وجود مغزه و فاصله زیاد مقاطع خرده‌های حفاری، آنالیز چینه‌نگاری سکانسی بیش‌تر با توجه به تغییرات لاگ گاما و نمودار D-INPEFA\_SGR و تطابق آن با چاه ۴۸ صورت گرفته است چرا که از نظر تغییر روند این دو نمودار شباهت زیادی با هم دارند.

ضخامت سکانس یک (۱۸۰ متر) در چاه شماره ۲۰ از چاه ۴۸ بیش‌تر است و تقریباً تا عمق ۴۷۲۰ متری ادامه دارد. ضخامت بخش TST حدود ۱۲۰ متر بوده و از TST چاه ۴۸ بیش‌تر است. در این بخش لاگ گاما و نمودار D-INPEFA\_SGR روندی افزایشی نشان می‌دهد (PBS). MFS این سکانس در عمق ۴۷۸۰ متری است و مقدار لاگ گاما در این عمق به حدود API ۶۰ رسیده است. در بخش HST با ضخامت ۶۰ متر مقدار لاگ گاما و نمودار D-INPEFA\_SGR کاهش می‌یابد (NBS) تا اینکه در مرز سکانس (SB-2) مقدار نمودار D-INPEFA\_SGR به صفر و مقدار لاگ گاما به حدود API ۱۰ رسیده است. نمودار PEFA نیز مطابق با بخش MFS سکانس روند کمی به سمت مقادیر مثبت و در مرز بین دو سکانس ابتدا به سمت مثبت و با شروع سکانس ۲ به سمت مقادیر منفی تغییر می‌کند.

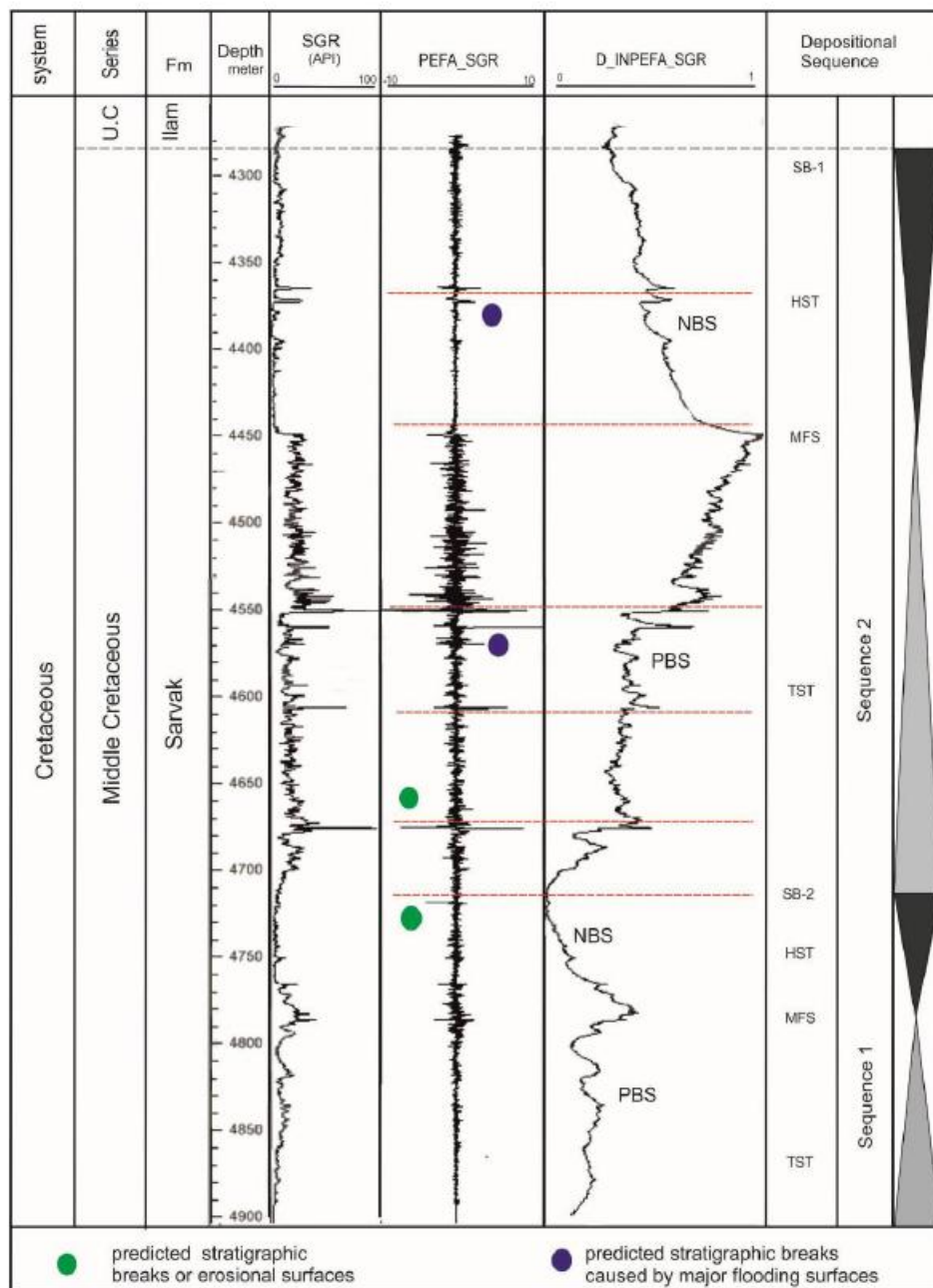
**سکانس ۲:** این سکانس از سکانس اول ضخیم‌تر است و در چاه ۴۸ در عمق ۴۵۲۵ تا ۴۰۸۰ متری قرار دارد. ضخامت بخش TST آن (۲۷۵ متر) بیش‌تر از بخش HST (۱۷۰ متر) بوده و لاگ گاما و نمودار D-INPEFA\_SGR روندی افزایشی نشان می‌دهند (PBS) تا اینکه در سطح MFS لاگ گاما به API ۲۸ و نمودار D-INPEFA\_SGR به یک رسیده است. در قسمت‌های ابتدایی و انتهایی این بخش مغزه‌گیری صورت گرفته است. در عمق ۴۵۲۵ تا ۴۴۸۰ متری همزمان با افزایش لاگ گاما میکروفاسیس‌های پشته (گرینستون پلونیدی دارای فرامینی‌فرهای بنتیک) به میکروفاسیس‌های کم عمق دریای باز (رودستون رودیستی) تبدیل شده‌اند. البته به مقدار کم در تناوب با میکروفاسیس‌های کم عمق دریای باز میکروفاسیس‌های محیط لاگون هم دیده می‌شود. در قسمت‌های انتهایی این بخش، نمونه‌های مورد مطالعه میکروفاسیس‌های کم عمق لاگونی (پکستون پلونیدی دارای فرامینی‌فرهای بنتیک متنوع و وکستون پکستون بیوکلاستی) را نشان می‌دهند که در نهایت در نزدیکی عمق ۴۲۵۰ متری مطابق با MFS به میکروفاسیس‌های کم عمق دریای باز (پکستون رودیستی دارای فرامینی‌فرهای بنتیک) و حوضه (مادستون تا وکستون الیگوستونین‌دار) تبدیل شده‌اند. بخش HST این سکانس مطابق با کاهش ناگهانی لاگ گاما (NBS) و نمودار D-INPEFA\_SGR است. در این بخش ابتدا

سورگاه در این میدان رسوب‌گذاری نکرده است [۲]. در این مرز مقدار لاگ گاما به حدود ۳-۲ API و مقدار نمودار D-INPEFA\_SGR به صفر رسیده است، که با تغییر در روند نمودار PEFA منطبق است. همچنین نمودار PEFA حدوداً در عمق ۴۳۵۰ و ۴۴۰۰ متری TST سکانس ۲ از مقدار صفر دور شده و به سمت مقادیر مثبت و منفی تغییر می‌کند. این تغییر روند به خوبی با تغییر روند نمودار INPEFA در همان اعماق مطابقت دارد و احتمالاً نشانه‌ای از تغییرات سطح آب است اما با توجه به نبود مغزه‌گیری کامل در این اعماق نمی‌توان با تغییرات میکروفاسیس‌ها مطابقت داد.

میکروفاسیس‌های کم عمق دریای یاز (پکستون رودیستی دارای فرامینی‌فرهای بنتیک و وکستون دارای فرامینی‌فرهای بنتیک و پلاژیک) دیده می‌شود که در میان آن‌ها به مقدار کم میکروفاسیس‌های پشته (گرینستون اینتراکلاستی بیوکلاستی) وجود دارد، این میکروفاسیس‌ها در نهایت به میکروفاسیس لاگونی (وکستون پلونیدی تا وکستون پلونیدی با تنوع کم فرامینی‌فر بنتیک) تبدیل شده‌اند. مرز زیرین این سکانس از نوع SB2 و مرز بالایی آن با سازند ایلام از نوع SB1 است چرا که مرز فوقانی آن با سازند ایلام به طور ناهم‌ساز یوده و به علت رخداد ساب‌هرسی‌نین سازند



شکل ۳. چینه‌نگاری سکانسی، منحنی PEFA و INPEFA سازند سروک در چاه شماره ۴۸ میدان نفتی کوبال (جدول پیوست)



شکل ۴. چین‌نگاری سکانسی، منحنی PEFA و INPEFA سازند سروک در چاه شماره ۲۰ میدان نفتی کوبال (جدول پیوست)

سکانس ۲ در چاه شماره ۲۰ نیز از سکانس ۱ ضخیم‌تر بوده و ۴۵۰ متر ضخامت دارد. شروع این سکانس یا افزایش ناگهانی لاگ گاما (PBS) همراه است. بخش TST آن ۲۷۰ متر است و از چاه ۴۸ ضخامت بیش‌تری دارد و در این بخش لاگ گاما افزایش پیدا کرده و در نهایت در MFS به ۴۷ API رسیده است. همچنین نمودار D-INPEFA\_SGR در این عمق به بیشینه مقدار خود (یک) رسیده است. در بالای MFS منحنی D-

سکانس ۱ ضخیم‌تر بوده و ۴۵۰ متر ضخامت دارد. شروع این سکانس یا افزایش ناگهانی لاگ گاما (PBS) همراه است. بخش TST آن ۲۷۰ متر است و از چاه ۴۸ ضخامت بیش‌تری دارد و در این بخش لاگ گاما افزایش پیدا کرده و در نهایت در MFS به ۴۷ API رسیده است. همچنین نمودار D-INPEFA\_SGR در این عمق به بیشینه مقدار خود (یک) رسیده است. در بالای MFS منحنی D-



رسوب‌گذاری در کل سازند ۶۱ متر در هر میلیون سال یا به عبارتی ۶/۱ سانتی‌متر در هر هزار سال برآورد می‌شود. براساس نمودار پرتو گاما چرخه‌ها در سه مقیاس متفاوت کوتاه مدت، میان مدت و طولانی مدت هستند. چرخه‌های کوتاه مدت ضخامت حدود ۰/۸ تا ۲ متر در هر چرخه داشته و یا توجه به نرخ رسوب‌گذاری برآورد شده (۶/۱ سانتی‌متر در هر هزار سال) دوره‌های ۱۴ هزار ساله و ۳۵ هزار ساله را نشان می‌دهند که می‌توانند مطابق با سیکل‌های ۱۹ هزار ساله<sup>۱</sup> و ۳۹ هزار ساله<sup>۲</sup> باشند. چرخه‌های میان مدت حدود ۴ تا ۱۰ متر ضخامت داشته و دوره‌های ۷۰ و ۱۷۵ هزار ساله را نشان می‌دهند و قابل مقایسه با سیکل‌های ۱۰۰ هزار ساله<sup>۳</sup> هستند. و بالاخره سیکل‌هایی با ضخامت حدود ۲۰ تا ۳۰ متر در هر چرخه، دوره‌های ۳۵۰ و ۵۲۰ هزار ساله را نشان می‌دهند و معرف سیکل‌های ۴۱۳ هزار ساله<sup>۴</sup> هستند. از میان آن‌ها سیکل‌های Short Eccentricity تعداد بیش‌تری دارند. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است به ترتیب تعداد ۱۱۵ و ۱۲۰ سیکل (SEc)<sup>۵</sup> در چاه شماره ۴۸ و ۲۰ شناسایی شد. تعداد سیکل‌های (LEc)<sup>۶</sup> شناسایی شده در چاه شماره ۴۸ و ۲۰ به ترتیب ۲۳ و ۲۹ سیکل بوده است. البته سیکل‌های Precession و Obliquity که ضخامت کمتری دارند در شکل نشان داده نشده‌اند. بنابراین با توجه به تعداد سیکل‌های صد هزار ساله به دست آمده می‌توان گفت سن این قسمت از سازند که مورد حفاری قرار گرفته حدود ۱۱ تا ۱۲ میلیون سال به دست می‌آید: اما در این روش تعیین مرز چرخه‌ها مخصوصاً زمانی که به هم نزدیک می‌شوند مشکل بوده و باعث ایجاد خطا می‌شود. بنابراین راه دقیق‌تر برای شناسایی سیکل‌های میلانکوویچ ثبت شده در لاگ گاما استفاده از روش‌های آنالیز طیفی است. البته در این روش‌ها نمی‌توان تعداد سیکل‌ها را تعیین کرد بلکه می‌توان با توجه به طول موج غالب به دست آمده سیکل میلانکوویچ غالب و نرخ رسوب‌گذاری در سازند را تعیین کرد.

۱۸۰ متر مقدار لاگ گاما و نمودار D-INPEFA\_SGR کاهش می‌یابد (NBS). در انتهای بخش HST در مرز سازند ایلام و سروک در عمق ۴۲۷۰ متری مقدار لاگ گاما به حدود API ۷ رسیده است و در پالایی این مرز مقدار PEFA کمی به سمت مثبت رفته است که با آغاز افزایش لاگ گاما مطابقت دارد.

همان‌طور که گفته شد مرز سازند سروک و ایلام از نوع ناپیوستگی فرسایشی است (SB1). طبق نظر خلیلی [۱۳] وقفه رسوب‌گذاری در مرز بین سازند ایلام و سروک، ناشی از یک ناپیوستگی یزرگ در حد اشکوب کنیاسین است که در اکثر مناطق نفتی جنوب قابل شناسایی است [۱۳].

### چرخه‌های میلانکوویچ

چرخه‌های کریناته که حالت تکرار شونده دارند در انواع محیط‌های رسوبی در دوران‌های مختلف زمین‌شناسی مشاهده می‌شوند، در کرتاسه گسترش بیش‌تری دارند [۲۶]. تغییرات نیروهای مداری زمین (= چرخه‌های میلانکوویچ) می‌توانند موجب تشکیل چرخه‌های رسوبی شوند. مبنای مطالعه چینه‌شناسی چرخه‌ای و چرخه‌های میلانکوویچ، تغییرات منظم در هندسه چرخش زمین و مدار آن به دور خورشید است که باعث نوسانات آب و هوایی و چرخه‌های منظم رسوبی کوچک مقیاس می‌شود [۲۷]. تغییرات نیروهای مداری براساس دوره‌های زمانی به سه شکل Eccentricity (یا تغییرات در شدت نیروی گرزی از مرکز کم و بیش ۱۰۰۰۰۰ - ۹۵۰۰۰ ساله = short Eccentricity. و هم‌چنین در دوره‌های ۴۱۳۰۰۰ ساله (Long Eccentricity = Obliquity (یا تغییر زاویه کج‌شدگی محور زمین حدود ۴۴۰۰۰-۳۹۰۰۰ ساله) و Precession (یا تغییرات در لرزش محوری یا رقص محوری بین ۲۲۰۰۰ - ۱۹۰۰۰ سال) تقسیم می‌شود [۲۸، ۲۱ و ۱۹]. این چرخه با استفاده از لاگ گاما و آنالیز MESA قابل بررسی است.

تعیین چرخه‌های میلانکوویچ با استفاده از لاگ گاما: با توجه به سن آلبین پالا- سنوماتین تا تورونین (حدوداً معادل ۱۰ میلیون سال) و ضخامت ۵۷۰ متری سازند سروک در چاه شماره ۴۸ و ۶۵۰ متری در چاه شماره ۲۰ میدان کوپال، میانگین نرخ رسوب‌گذاری بدون در نظر گرفتن میزان فشردگی و عدم تغییر نرخ

<sup>۱</sup> Precession

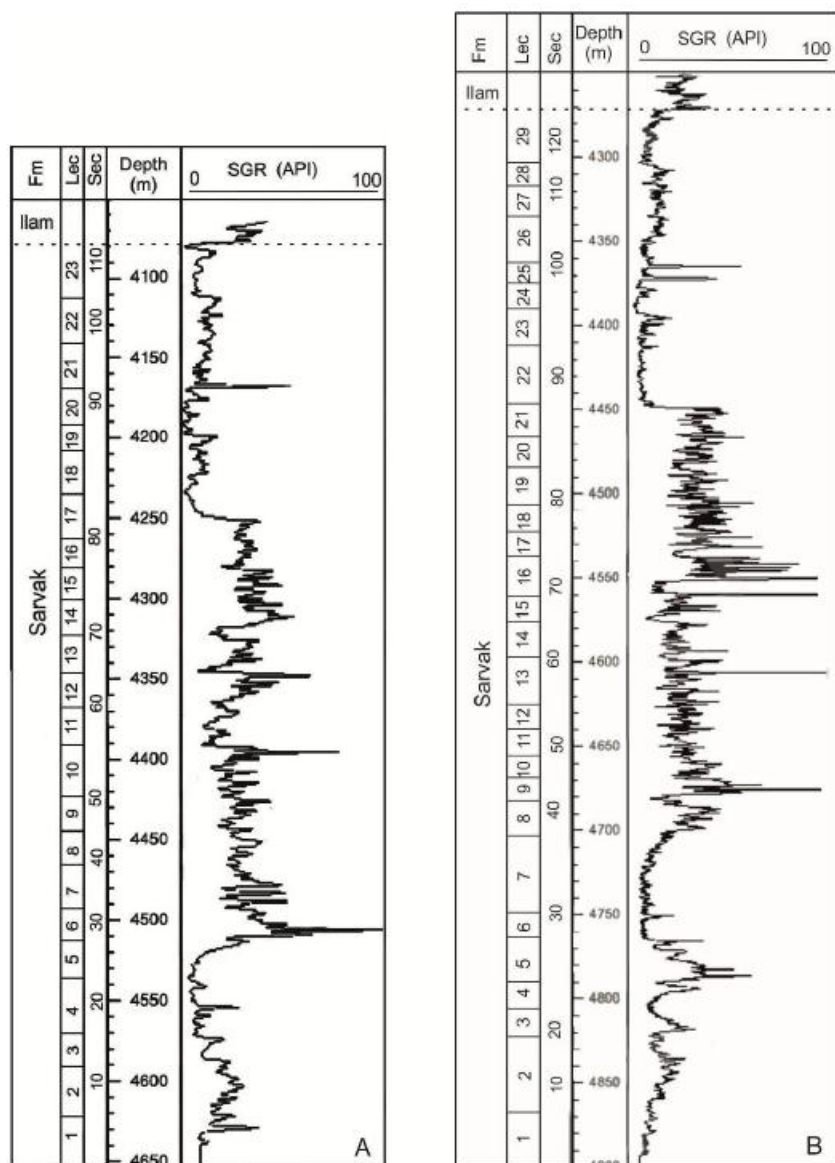
<sup>۲</sup> Obliquity

<sup>۳</sup> short Eccentricity

<sup>۴</sup> Long Eccentricity

<sup>۵</sup> Short Eccentricity

<sup>۶</sup> Long Eccentricity



شکل ۵. A- شمارش چرخه‌های مداری سازند سروک با استفاده از لاگ گاما در چاه شماره ۴۸ میدان کوبال. B- شمارش چرخه‌های مداری سازند سروک با استفاده از لاگ گاما در چاه شماره ۲۰ میدان کوبال

می‌توان نرخ تجمع خالص رسوب<sup>۱</sup> (N) را در هر عمق به دست آورد. مقدار N ارتباط مستقیمی با مقدار طول موج‌های حاصله از MESA دارد. همان‌طور که در روش قبلی اشاره شد هر پیک لاگ گاما نشانه‌های یک سیکل رسوبی و ضخامت هر سیکل با توجه به فاصله دو پیک گامای متوالی اندازه‌گیری می‌شود اما در این روش میانگین ضخامت سیکل‌های متوالی تعیین می‌گردد [۱۷]. برای مثال در شکل ۶ که در عمق ۴۲۰۰ متری نشانگر دوم عدد ۸/۶ را نشان می‌دهد، روی لاگ

تعیین چرخه‌های میلانکوویچ با استفاده از آنالیز MESA: به منظور بررسی سیکل‌های غالب در چاه شماره ۴۸ سازند سروک، آنالیز MESA با استفاده از لاگ گاما در نرم‌افزار سیکلولاگ ترسیم شد (شکل ۶). معمولاً دامنه‌های طیفی از پایین به بالا دارای تغییرات ناگهانی و تدریجی هستند بطوری‌که تغییرات ناگهانی نشان‌دهنده ناپیوستگی‌های چینه‌شناسی و تغییرات تدریجی منعکس‌کننده تغییرات تدریجی در نرخ تجمع رسوبی است [۶]. به علاوه در این نرم‌افزار با کمک آنالیز طیفی MESA

<sup>1</sup>Net Accumulation Rate

ضعیف‌تری نیز با طول موج ۳ و ۲/۴ متر نیز شناسایی شده‌اند که نشان‌دهنده چرخه‌های کوتاه مدت‌تر هستند. در ادامه رسوب‌گذاری به سمت بالا تا عمق ۴۴۱۰ متری دامنه طیفی غالب از ۵/۳ تا ۷ متر متغیر و نرخ تجمع رسوب نیز از ۰/۰۵ تا ۰/۱۷ است. در این محدوده یک دامنه طیفی دیگر با طول موج ۲/۴ نیز قابل مشاهده است. از عمق ۴۴۱۰ تا ۴۳۷۰ متری سه دامنه طیفی قرمز با طول موج‌های ۲، ۳ و ۱۴ متری قابل مشاهده است. در ادامه تا عمق ۴۳۳۰ متری طول موج به ۴/۹ و نرخ رسوب‌گذاری به ۰/۰۴ رسیده است. از عمق ۴۳۳۰ متری تا ۴۲۶۰ متری سه دامنه طیفی قرمز رنگ با طول موج‌های ۲/۶، ۴ و ۱۱ متر قابل مشاهده است. از عمق ۴۲۶۰ تا ۴۲۳۵ ناگهان طول موج و نرخ رسوب‌گذاری افزایش و حدوداً به ۲۸-۲۵ متر و ۰/۲ m/ka می‌رسد. بعد از آن تا عمق ۴۱۹۰ متری نرخ رسوب‌گذاری کاهش و به ۰/۰۹ و طول موج به ۹/۵ تغییر می‌کند. در ادامه رسوب‌گذاری تا عمق ۴۱۵۰ متری طول موج از ۳/۳ تا ۴/۵ در تغییر است (شکل C-۷). در نهایت تا عمق ۴۰۸۰ متری در نزدیکی مرز سازند ایلام طول موج ۹/۲ متری با نرخ رسوب‌گذاری ۰/۰۹ قابل مشاهده است به علاوه یک دامنه طیفی ضعیف‌تر با طول موج ۵ متری نیز در این محدوده وجود دارد.

در چاه شماره ۲۰ از پایین تا عمق ۴۸۶۰ متری دامنه طیفی قرمز رنگ طول موج متری را نشان می‌دهد و N یا نرخ تجمع رسوب نیز حدود ۰/۰۸ m/ka (معادل ۸ سانتی‌متر در هر هزار سال) است. از عمق ۴۸۶۰ تا ۴۸۳۰ متری طول موج غالب ۲/۸ متر است. در ادامه تا عمق ۴۷۵۰ متری طول موج به ۲۵ و نرخ تجمع رسوب نیز افزایش و به ۰/۲۵ رسیده است. البته طول موج غالب دیگر در این محدوده، طول موج ۷ متر است. حدوداً در عمق ۴۷۵۰ متری دامنه‌های طیفی قرمز و زرد رنگ قطع شده‌اند که این تغییر ناگهانی نشانه تغییر شرایط رسوب‌گذاری است.

در ادامه رسوب‌گذاری تا عمق ۴۴۵۰ متری طول موج‌های غالب مقادیر کمتری را نشان می‌دهند. در بعضی از اعماق دامنه‌های قرمز ضعیف‌تری با طول موج‌های ۲/۱، ۲/۷، ۳/۱۵ متر نیز شناسایی شده‌اند که نشان‌دهنده چرخه‌های کوتاه مدت‌تر هستند. در عمق ۴۶۰۰ متری بیش‌ترین طول موج به ۶/۴ و نرخ رسوب‌گذاری به

گاما در همان آن عمق و کمی بالاتر و پایین‌تر طول موج ۸/۶ متر است. لازم به ذکر است که تصویر آنالیز طیفی با استفاده از پنجره آنالیزی ۴۰ متر ترسیم شده است، به این معنا که طول موج نشان داده شده در هر عمق تقریباً مربوط به میانگین ضخامت سیکل‌های موجود در محدوده ۴۰ متری آن عمق است.

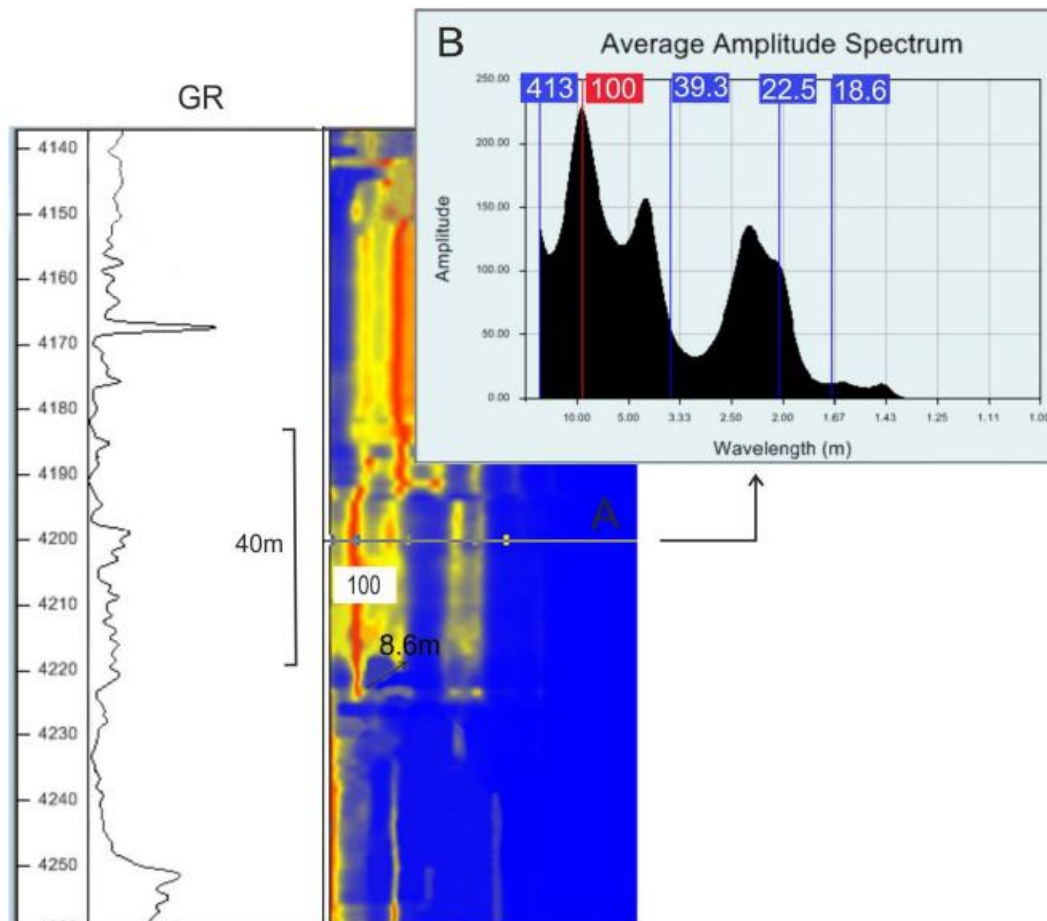
نسبت‌های موجود بین سیکل‌های میلانکوویچ که در سیکل‌های برای دوره‌های زمین‌شناسی مختلف ثبت شده است برگرفته از نسبت‌های تعیین شده توسط Barger and Loure هستند [۵] که این نسبت‌ها برای دوره کرتاسه در جدول ۱ نشان داده شده است.

همان‌گونه که نسبت دوره‌های سیکلی بین سیکل‌های میلانکوویچ (۱۸/۶، ۲۲/۵، ۳۹/۳، ۱۰۰، ۴۱۳) یکسان است، نسبت طول موج بین موقعیت این ۵ نشانگر در اعماق مختلف نیز یکسان است. مثلاً در شکل B - ۶ نسبت طول موج‌های مشخص شده (۱/۶۹، ۲/۰۰۴، ۳/۴، ۸/۶، ۳۵) معادل یا نسبت دوره‌های سیکلی بین سیکل‌های میلانکوویچ تعیین شده است. متناسب با افزایش طول موج به سمت چپ، این پنج نشانگر نیز از راست به چپ سیکل‌های طولانی‌تر را نشان خواهند داد. در بعضی از اعماق چاه‌های مورد مطالعه، علاوه بر دامنه اصلی یک یا دو دامنه طیفی ضعیف‌تر نیز قابل مشاهده است که نشان‌دهنده چرخه‌های کوتاه مدت‌تر هستند.

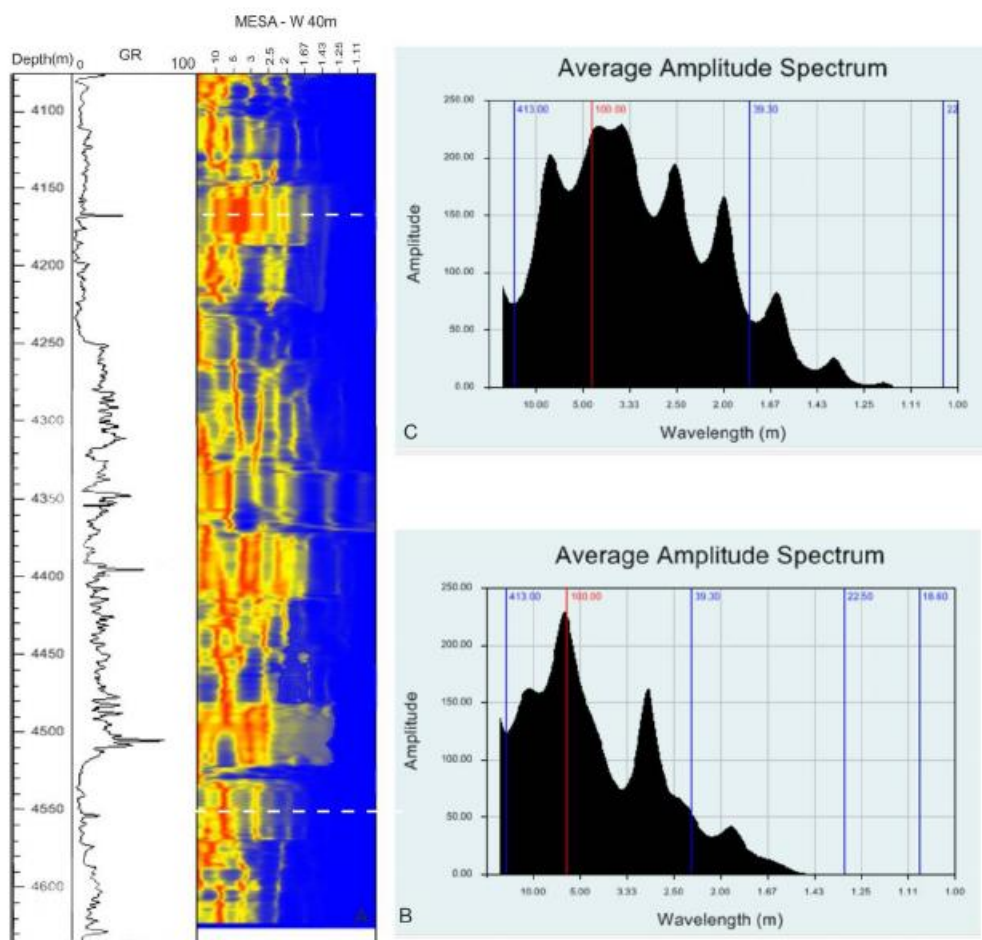
در چاه شماره ۴۸ از پایین تا عمق ۴۶۰۰ متری دامنه طیفی قرمز رنگ طول موج ۶ متری را نشان می‌دهد و N یا نرخ تجمع رسوب نیز حدود ۰/۰۶ m/ka (معادل ۶ سانتی‌متر در هر هزار سال) است. حدوداً در عمق ۴۶۰۰ متری طول موج به ۲۲ متر و نرخ تجمع رسوب نیز افزایش و به ۰/۲۲ رسیده است. از عمق ۴۵۸۵ متری تا ۴۵۷۰ متری طول موج کاهش و به عدد ۸ و نرخ تجمع رسوب نیز به ۰/۰۸ رسیده است (شکل B-۷) در ادامه تا عمق ۴۵۳۵ متری نیز طول موج و نرخ رسوب‌گذاری کاهش و به ترتیب به ۵ متر و ۰/۰۵ m/ka می‌رسد. در این قسمت حدوداً در عمق ۴۵۳۰ متری دامنه‌های طیفی قرمز و زرد رنگ قطع شده‌اند که این تغییر ناگهانی نشانه تغییر شرایط رسوب‌گذاری است. در ادامه تا عمق ۴۵۰۰ متری نمودار طیفی بیش‌ترین مقدار طول موج از ۲۵ تا ۳۰ متر مشاهده شده که نرخ رسوب‌گذاری هم از ۰/۲ تا ۰/۳ تغییر می‌کند. البته در این عمق دامنه‌های قرمز

با توجه به نتایج پدست آمده از آنالیز طیفی هر دو چاه، بیش‌تر طول موج‌ها از ۲-۳ و ۱۰-۶ متر متغیر هستند. این طول موج‌ها به ترتیب بیانگر تاثیر سیکل‌های Obliquity و Short Eccentricity است. البته در بعضی اعماق طول موج‌هایی بین ۳۰-۲۰ متر هم مشاهده شد که نشان‌دهنده سیکل‌های Long Eccentricity هستند. اما با توجه به فراوانی طول موج‌های ۱۰-۵ متر سیکل‌های Short Eccentricity سیکل غالب در این مطالعه هستند، در نتیجه میانگین نرخ رسوب‌گذاری ۶ تا ۱۰ سانتی‌متر در هر هزار سال است.

۰/۰۶۴ رسیده است (شکل B-۸). اما بیش‌ترین طول موج در نزدیکی عمق ۴۴۵۰ متری و به مقدار ۱۴ تا ۲۶ متری و نرخ رسوب‌گذاری ۰/۱۴ و ۰/۲۶ مشاهده می‌شود. پس از این افزایش، دامنه‌های طیفی دوباره قطع شده‌اند. در ادامه تا مرز سازند سروک و ایلام سه طول موج غالب ۲/۲۷، ۳/۵ و ۱۰/۷ در محدوده ۴۳۹۰ تا ۴۳۵۰ متری وجود دارد (شکل C-۸) و در اعماق دیگر طول موج‌های کمتری مشاهده شد که نشان‌دهنده چرخه‌های کوتاه مدت هستند.



شکل ۶. آنالیز طیفی لاگ گاما از عمق ۴۱۴۰ تا ۴۲۶۰ متری سازند سروک در چاه شماره ۴۸ میدان کوپال: در MESA ترسیم شده محور افقی نشان دهنده طول موج یا مقیاس لگاریتمی است که به سمت چپ افزایش می‌یابد و محور عمودی دامنه‌های طیفی را نشان می‌دهد. دامنه‌های اصلی با رنگ قرمز نشان‌دهنده سیکل‌های اصلی، دامنه‌های زرد رنگ نشان دهنده سیکل‌های ضعیف و رنگ آبی نشان دهنده قسمت‌های بدون دامنه است. A) با قرار دادن مکان نما روی MESA، مکان نما به یک خط افقی با ۵ نشانگر تبدیل می‌شود که در عمق ۴۲۰۰ متری نشان داده شده‌اند و هر کدام از آن‌ها با نشان دادن یک طول موج خاص معرف یکی از تناوب‌های میلانکوویچ هستند. B) نمودار میانگین دامنه طیفی مربوط به عمق ۴۲۰۰ متری ترسیم شده است.



شکل ۷. A- آنالیز طیفی MESA از لاگ گامای سازند سروک در چاه شماره ۴۸ میدان کوبال. B- میانگین دامنه طیفی مربوط به عمق ۴۵۵۰ متری. C- میانگین دامنه طیفی مربوط به عمق ۴۱۷۰ متری.

جدول ۱. نسبت‌های میلانکوویچ در کرتاسه [۵]

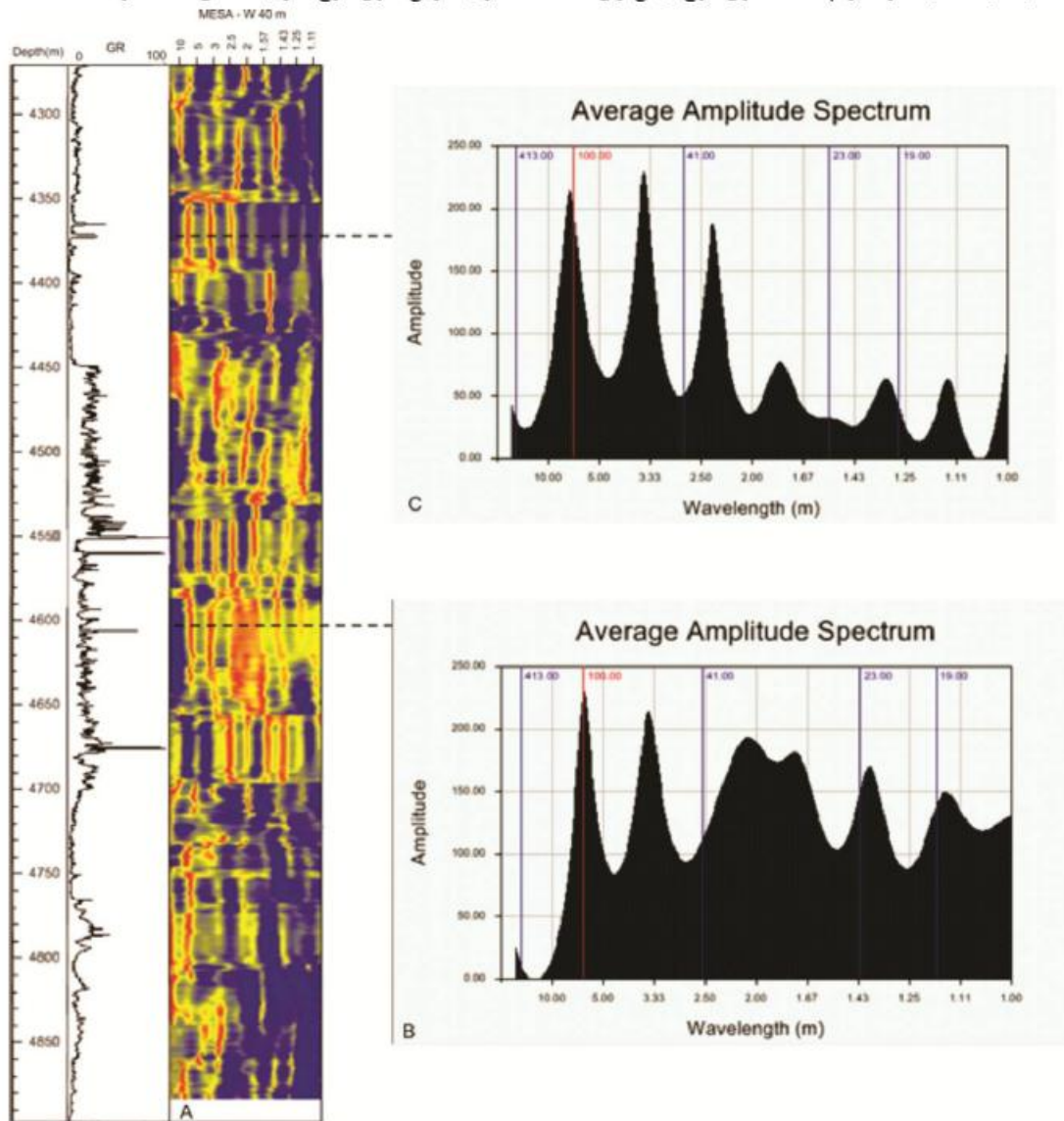
نسبت های میلانکوویچ	۴/۱۲	۱	۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۱۸
تناوب میلانکوویچ (کرتاسه)	۴۱۲Ka	۱۰۰Ka	۳۷۰Ka	۲۱۰Ka	۱۸۰Ka
پارامترهای میلانکوویچ	(Eccentricity)		(Obliquity)	(Precession)	

است ولی در HST این تغییرات برعکس است. حدوداً در عمق ۴۵۲۵ متری چاه ۴۸ و ۴۷۲۰ متری چاه ۲۰ دامنه‌های طیفی زرد و قرمز از بین رفته که این مسئله بیانگر تغییر شرایط رسوب‌گذاری بوده و INPEFA نیز به صفر رسیده است: این عمق مطابق با مرز دو سکانس شناسایی شده در چاه‌های مورد مطالعه است. همان‌گونه که گفته شد تغییرات لاگ گاما در هر دو چاه روند مشابهی دارد یا مقایسه نرخ رسوب‌گذاری به دست آمده از طریق بررسی نمودار گاما و آنالیز MESA مشاهده شد که در بخش‌های مختلف معمولاً نرخ رسوب‌گذاری سازند در چاه شماره ۲۰ بیش‌تر بوده است.

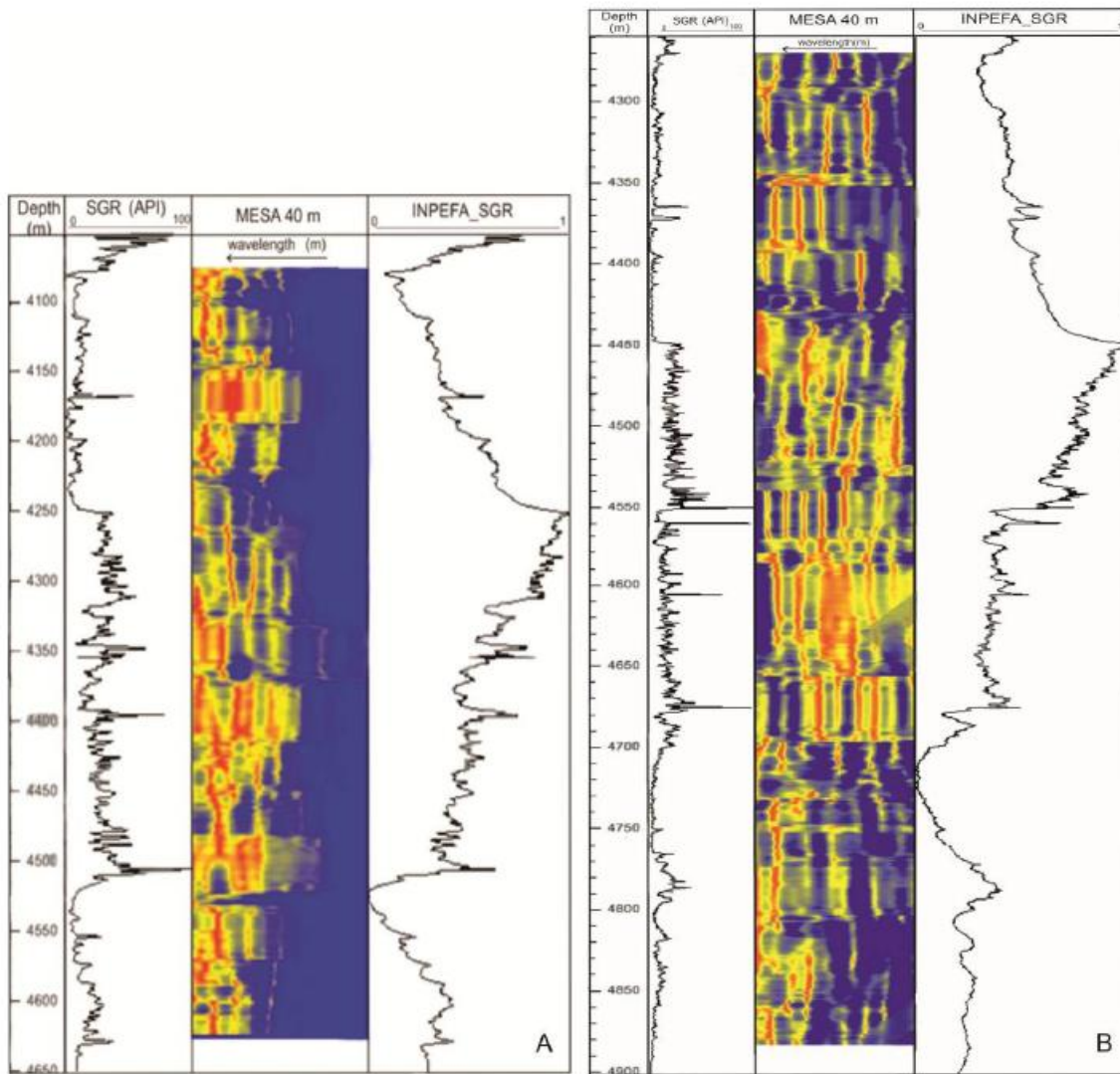
تطابق منحنی MESA و نمودار INPEFA در شکل ۹ تغییرات دو نمودار MESA و INPEFA در هر دو چاه یا هم مقایسه شده‌اند. در چاه ۴۸ حدوداً در اعماق ۴۶۰۰ و ۴۲۵۰ متری که مطابق با سطح MFS موجود در دو سکانس هستند و در چاه شماره ۲۰ در اعماق ۴۷۸۰ و ۴۴۵۰ طول موج افزایش یافته و به ۲۵ تا ۳۰ رسیده است. به طور کلی قسمت‌هایی که معادل بخش TST سکانس‌ها هستند در MESA دامنه طیفی قرمز بیش‌تری دارند و مقدار N (نرخ تجمع رسوب) در آن‌ها بیش‌تر ثبت شده است و این مسئله نشان‌دهنده افزایش فضای رسوب‌گذاری است. به‌علاوه INPEFA نیز در حال افزایش

را نشان می‌دهند و تعداد بیش‌تری چرخه‌های کوتاه مدت در این بخش مشاهده شد که طول موج‌های مختلفی از ۱/۷ تا ۹/۶ نشان دادند البته در بخش MFS این سکانس در هر دو چاه طول موج به حداکثر مقدار خود بطور میانگین ۲۵ متر رسیده است. مقایسه بخش HST نیز حاکی از افزایش طول موج و نرخ رسوب‌گذاری در چاه ۲۰ است چرا که بیش‌ترین طول موج‌ها در چاه ۲۰ معادل با ۱۰/۷ و ۹/۵ بوده علاوه بر اینکه چرخه‌های کوتاه مدت‌تر از ۲/۳ تا ۶/۴ نیز مشاهده شدند در صورتی‌که در چاه ۴۸ طول موج‌های کوتاه‌تر به تعداد کمتر مشاهده شد و بالاترین طول موج تقریباً معادل ۹/۵ متر است.

در بخش TST سکانس یک در چاه ۲۰ بیش‌ترین طول موج‌های به دست آمده ۲۵ و ۸ متر (به ترتیب نرخ رسوب‌گذاری ۰/۲۵ و ۰/۰۸) و در چاه ۴۸ بیش‌ترین طول موج‌های به دست آمده ۲۲ و ۶ متر (به ترتیب نرخ رسوب‌گذاری ۰/۲۲ و ۰/۰۶) می‌باشد. مقایسه بخش HST سکانس یک در هر دو چاه مقادیر تقریباً مشابهی را نشان می‌دهد اما در چاه ۲۰ چرخه‌های کوتاه‌تر نیز مشاهده می‌شوند. مقایسه TST سکانس دو در دو چاه مورد مطالعه نیز نشان می‌دهد که در چاه شماره ۲۰ نرخ رسوب‌گذاری افزایش یافته چرا که چرخه‌های به دست آمده نسبت به مشابه خود در چاه ۴۸ طول موج بیش‌تری



شکل ۸. A- آنالیز طیفی MESA از لاگ گامای سازند سروک در چاه شماره ۲۰ میدان کوبال. B- میانگین دامنه طیفی مربوط به عمق ۴۶۰۰ متری. C- میانگین دامنه طیفی مربوط به عمق ۴۲۷۰ متری



شکل ۹. A- تطابق MESA و INPEFA در سازند سروک در چاه شماره ۴۸ میدان نفتی کوبال - ۹ - B- تطابق MESA و INPEFA در سازند سروک در چاه شماره ۲۰ میدان نفتی کوبال

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه به منظور بررسی چینه‌نگاری سکاسی و تعیین سیکل‌های میلانکوویچ از مطالعه مغزه‌ها و آنالیز طیفی استفاده شد. مطالعات پتروگرافی منجر به شناسایی ۹ میکروفاسیس مادستون تا وکستون الیگوستژین‌دار، وکستون دارای فرامینی‌فرهای بنتیک و پلاژیک، پکستون-رودستون رودیستی دارای فرامینی‌فرهای بنتیک، گرینستون اینتراکستی بیوکلاستی، گرینستون پلوئیدی دارای فرامینی‌فرهای بنتیک، وکستون پلوئیدی تا وکستون پلوئیدی با تنوع کم فرامینی‌فر بنتیک، پکستون پلوئیدی دارای فرامینی‌فرهای بنتیک متنوع و وکستون تا پکستون بیوکلاستی شد که در سه کمربند رخساره‌ای لاگون، پشته کریناته و دریای یاز گسترش دارند.

در مطالعات چینه‌نگاری سکاسی با توجه به مطالعات میکروسکوپی، تغییرات لاگ گاما و تغییرات مشاهده شده در نمودارهای نشانگر طیفی PEFA\_SGR و D-INPEFA-SGR دو سکاس رسوبی درجه سوم در چاه‌های مورد مطالعه شناسایی شد. مرز سکاس ۱ و ۲ به صورت 2-SB و مرز سکاس ۲ با سازند ایلام به صورت 1-SB است. به‌علاوه تطابق تغییرات MESA و INPEFA نیز تایید کننده سطوح خاص موجود در این سازند مثل 2-SB و MFS موجود در سکاس‌ها است. به‌طوری‌که در قسمتی از MESA که معادل 2-SB است دامنه‌های طیفی قطع شده‌اند و یک ناپیوستگی را نشان می‌دهد و در قسمت‌هایی که معادل MFS است و یا قسمت‌هایی که پیک لاگ گاما مقدار بیش‌تری را نشان می‌دهد، طول موج MESA نیز افزایش می‌یابد.

- [3] Abdel-Gawad. G.I., Saber. S.G., El Shazly S.H., Salama. Y.F (2011) Turonian Rudist Facies from Abu Roash area, North Western Desert, Egypt, *Journal of African Earth Sciences*, Vol:59, p: 359 – 372.
- [4] Adabi. M.H., Salehi. M.A., Ghabeishavi. A (2010) dipositional environment, sequences stratigraphy and geochemistry of Lower Cretaceous carbonates (Fahliyan Formation), south-west Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol: 39, p: 148-160.
- [5] Berger. A., Loutre. M.F (1994) Astronomical forcing through geological time, In: de Boer P.L. & Smith D.G. (eds.), *Orbital forcing and cyclic sequences*, IAS Special Publication, Oxford, Vol:19, p:15-24
- [6] Carter. J (2002) *The key to the future: the study of earth history*, Published by Routledge, 133p.
- [7] De Jong. M., Smith. D., Djin Nio. S., Hardy. N (2006) Subsurface correlation of the Triassic of the UK southern central graben: new look at an old problem, Vol:24, p:103-109.
- [8] Dunham. R.J (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional texture, in W.E. Ham, ed., *Classification of carbonate rocks*, American Association of Petroleum Geologist Memoir 1, p: 108-121.
- [9] Embery. A. F., Klovan. J. E (1971) A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, Northwest territories: *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, Vol:19, p:730 – 781.
- [10] Flugel. E (2010) *Microfacies of carbonate rocks-analysis, interpretation and application*, Springer, Berlin, 967 p.
- [11] Ji-feng. YU., Feng-gui. SUI., Zeng. LI., Hua. LIU., Wang. Yu-lin (2008) Recognition of Milankovitch cycles in the stratigraphic record: application of the CWT and the FFT to well-log data, *J China Univ Mining and Technol*, Vol:18, p:594-598.
- [12] Kalvoda. J., O., Babek. F. X., Devuyast. G. S., Sevastopolo. G (2011) Biostratigraphy, sequence stratigraphy and gamma-ray spectrometry of the Tournaisian-Visean boundary interval in the Dublin Basin, *Bulletin of Geosciences*, Vol:86, p:683-706.
- [13] Khalili. M (1974) The biostratigraphic synthesis of the Bangestan Group in southward Iran, Report 1219, Tehran, Iranian Oil Operating Companies.
- [14] Laurin. J., Cech. S., Ulicny. D., Staffen. Z., Svobodová. M (2014) Astrochronology of the Late Turonian: implications for the behavior of the carbon cycle at the demise of peak greenhouse, *Earth Planet. Sci. Lett.* 394, p:254-269.
- [15] Molen, A (2004) *Sedimentary development, seismic stratigraphy and burial compaction of the Chalk Group in the Netherlands North Sea area*, PhD dissertation, university of Utrecht, 180 p.
- [16] Nio. S.D., Brouwer. J., Smith. D., Jong. M., Böhm. A (2005) Spectral trend attribute analysis: applications in the stratigraphic analysis of

به طور کلی برای تغییرات آنالیز طیفی و طول موج سیکل‌های ثبت شده دلایل مختلفی مثل افزایش یا کاهش سطح آب دریا و فضای رسوب‌گذاری وجود دارد که می‌تواند در ارتباط با چرخه‌های آشفتگی مدار زمین یا سیکل‌های میلانکوویچ باشد. برای تعیین سیکل‌های میلانکوویچ از دو روش نمودار پرتو گاما و آنالیز طیفی MESA استفاده شد. بر این اساس، چرخه‌های (413ka) long eccentricity، (19 – 22ka) obliquity، (39ka) precession شناسایی شد. در هر دو روش نشان داده شد که سیکل میلانکوویچ غالب در زمان تشکیل این رسوبات دوره ۱۰۰ هزار ساله short eccentricity بوده است. در روش اول میانگین نرخ رسوب‌گذاری بدون در نظر گرفتن فشردگی ۶/۱ و در روش دوم ۶-۱۰ سانتی‌متر در هر هزار سال به دست آمد. با مقایسه بخش‌های TST و HST سکانس‌ها در چاه‌های مورد مطالعه مشخص شد که نرخ رسوب‌گذاری و در نتیجه فضای رسوب‌گذاری از چاه ۴۸ به سمت چاه ۲۰ رو به افزایش است چرا که بخش TST هر دو سکانس در چاه ۲۰ ضخامت بیش‌تری دارد و طول موج‌های غالب به دست آمده توسط نرم‌افزار نیز مقادیر بیش‌تری نشان می‌دهند. به‌علاوه میکروفاسیس‌های الیگوستژین‌دار در این چاه فراوانی بیش‌تری داشتند. با توجه به پیک‌های لاگ گاما و تعداد سیکل‌های 100 ka شناسایی شده در روش اول و میانگین نرخ تجمع خالص رسوب در اعماق مختلف سن به دست آمده برای این قسمت از سازند سروک که مورد حفاری قرار گرفته حدود ۱۱ تا ۱۲ میلیون سال می‌شود. البته برای اطمینان بهتر است مطالعات بیواستراتیگرافی نیز به طور دقیق صورت بگیرد و از چند چاه در فواصل نزدیک استفاده شود.

#### قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب سپاس خود را از شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب جهت همکاری و در اختیار قرار دادن برش‌های نازک میکروسکوپی و داده‌های مورد نیاز ابراز می‌دارند.

#### منابع

- [۱] حقی، ع (۱۳۶۶) مطالعه زمین‌شناسی مخزن بنگستان، میدان کوپال، گزارش شماره ۴۰۵۶، ۵۱ ص.
- [۲] فلاوند، ه (۱۳۸۱) مطالعه تکمیلی زمین‌شناسی مخزن بنگستان میدان کوپال، گزارش شماره ۵۲۵۴، ۲۱۰ ص.



## پیوست ۱: علائم اختصاری

GR	Gamma ray
NBS	Negative bounding surface
PBS	Positive bounding surface
SB 1	Sequence boundary type 1
SB 2	Sequence boundary type 2
PEFA	Prediction error filter analysis
INPEFA	Integrated prediction error filter analysis
HST	Highstand systems tract
TST	Transgressive systems tract
MFS	Maximum flooding surface
Lec	Long eccentricity
Sec	Short eccentricity
MESA	Maximum entropy spectral analysis
w	Wavelength

wireline logs., Petroleum geology special topic, Vol: 23, p:71-75.

- [17] Nio. S.D (2010) Cyclog user guide, Enres International Company, 334 p.
- [18] Prokoph. A., Villeneuve. M., Agterberg. F.P., Rachold. V (2001) Geochronology and calibration of global Milankovitchcyclicity at the Cenomanian-Turonian boundary, Geology, Vol:29, p:523-526.
- [19] Prokoph. A., Thurow. J (2000) Diachronous pattern of Milankovitchcyclicity in late Albian pelagic marlstones of the North German Basin, Sedimentary Geology, Vol:134, p:287-303.
- [20] Skelton. P. W., Spicer. R. B., Kelley. S. P., Gilmour. L (2003) the Cretaceous world, Cambridge University Press, 360 p.
- [21] Serra. O (1984) fundamentals of well-log interpretation-the acquisition of logging data, Elsevier, 435 p.
- [22] Storz. D., Gischler. E., Parker. J., Klostermann. L (2014) Changes in diversity and assemblages of foraminifera through the Holocene in an atoll from the Maldives, Indian Ocean, Marine Micropaleontology, Vol:106, p:40-54.
- [23] Tagliaferri. R., Pelosi. N., Ciaramella. A., Longo. G., Milani. M., Barone. F (2001) soft computing methodologies for spectral analysis in cyclostratigraphy, Computer and Geosciences, Vol:27, p: 535-548.
- [24] Vilela. C.G., Batista. D.S., Baptista Neto. J.A., Ghiselli. R.O (2011) Benthic foraminifera distribution in a tourist lagoon in Rio de Janeiro, Brazil: A response to anthropogenic impacts, Marine Pollution Bulletin, Vol:62, p:2055-2074.
- [25] Weedon. G. P., Coe. A. L., Gallois. R. W (2004) Cyclostratigraphy, orbital tuning and inferred productivity for the type Kimmeridge Clay (Late Jurassic), southern England, Journal of the Geological Society, London, Vol:161, p: 655-666.
- [26] Westphal. H (2006) Limestone-marl alternations as environmental archives and the role of early diagenesis: a critical review, International Journal Earth Science, Vol:95, p: 947-961.
- [27] Yilmaz. I. O., Altiner. D., Tekin. U. K., Tusuz. O., Ocakoglu. F., Acikalian. S (2010) Cenomanian – Turonian oceanic anoxic event (OAE2) in the Sakarya zone, northwestern Turkey: sedimentological, cyclostratigraphic, and geochemical records, Cretaceous Research, Vol:31, p:207-226.
- [28] Zachos. J., Pagani. M., Sloan. L., Thomas. E., Katharina. B (2001) Trends, rhythms and aberration in global climate 65 Ma to present, Science, Vol:292, p:686-693.