

چینه‌نگاری چرخه‌ای بخش بالایی سازند دالان با استفاده از تحلیل طیفی تحولی با روش‌های تبدیل سریع فوریه و چندکاهنده در میدان گازی سلمان

امید فلاح‌خواه^۱، علی‌اصغر ثیاب قدسی^{۱*} و علی کدخدایی^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ارومیه، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۵

چکیده

بخش بالایی سازند دالان در میدان سلمان از مخازن مهم گازی پرمین است. هدف از این مطالعه، بررسی چینه‌نگاری چرخه‌ای بخش بالایی سازند دالان با روش‌های تحلیل طیفی تحولی از نوع تبدیل سریع فوریه و روش چندکاهنده به منظور تعیین چرخه‌های میلانکوویچ و برآورد نرخ انباشت رسوب از روش‌های ضریب همبستگی تحولی و سطوح مهم تحولی با استفاده از نرم‌افزار Acycle و نگاره گامای طیفی در این میدان است. در این پژوهش طبق روش نسبت‌های طول چرخه، نزدیک ۱۸ چرخه حرکت گریز از مرکز طولانی مدت و حدود ۷۲ چرخه حرکت گریز از مرکز کوتاه مدت و ۱۶۲ چرخه انحراف محور چرخش زمین طولانی مدت و ۳۴۲ چرخه حرکت تقدیمی محور زمین طولانی مدت برای این بخش از سازند دالان شناسایی گردید. با استفاده از تحلیل طیفی تحولی مشخص شد که رسوب‌گذاری در بخش بالایی سازند دالان در چاه 2SK-1 بیشتر تحت تأثیر عملکرد کنترل نجومی چرخه‌های حرکت گریز از مرکز طولانی مدت و کوتاه مدت بوده است. به علاوه نرخ انباشت رسوب در این چاه برای بخش بالایی سازند دالان با استفاده از روش‌های ضریب همبستگی تحولی و سطوح مهم تحولی ۴ cm در هر هزار سال یا به عبارت دیگر، ۴۰ m در هر میلیون سال برآورد گردید. براساس مقیاس زمان نجومی چرخه‌های حرکت گریز از مرکز طولانی مدت، مدت زمان ۷۲۹۰ هزار سال برای پهنه‌های زیستی ارائه شده در بخش بالایی سازند دالان در این چاه محاسبه شد. با توجه به هم‌زمان بودن چرخه‌های ۴۰۵ هزار ساله با ظهور و زوال زون‌های ارائه شده، تأثیر این چرخه‌ها بر پراکندگی آن‌ها مشخص گردید.

کلمات کلیدی: چینه‌نگاری چرخه‌ای، بخش بالایی سازند دالان، نگاره گامای طیفی، نرم‌افزار Acycle، میدان گازی سلمان

*مسئول مکاتبات

آدرس الکترونیکی: a.siabeghodsy@urmia.ac.ir
شناسه دیجیتال: (DOI: 10.22078/pr.2019.3809.2752)

مقدمه

و فراساحل ایران شامل بزرگ‌ترین میدان‌های گازی در منطقه خاورمیانه است [۱، ۴ و ۵]؛ که در این پژوهش چینه‌نگاری چرخه‌ای بخش بالایی دالان مورد بررسی قرار گرفته است. بخش بالایی سازند دالان توسط بخش K2 سازند کنگان پوشیده می‌شود و در قاعده به بخش نار سازند دالان ختم می‌شود. چینه‌نگاری چرخه‌ای^۱ زیرشاخه‌ای از علم چینه‌نگاری است که با شناسایی و تفسیر تغییرات چرخه‌ای در تاریخچه چینه‌نگاری سرو کار دارد. همچنین، چینه‌نگاری چرخه‌ای با بهره‌گرفتن از چرخه‌های میلانکوویچ شناخته شده به سن‌گذاری، تفسیر تاریخچه رسوبی و برآورد نرخ انباشت رسوب کمک می‌کند [۶]. مهم‌ترین این چرخه‌ها، چرخه‌های مداری زمین یعنی حرکت گریز از مرکز محور زمین^۲، حرکت انحراف محور چرخش زمین^۳ و حرکت تقدیمی محور زمین^۴ (چرخه‌های میلانکوویچ) است که هر کدام به نوبه خود منجر به انحراف‌هایی در مدار زمین و محور چرخش آن می‌گردد [۶].

میدان گازی سلمان از میدان‌های نفتی-گازی ایران است، که در استان هرمزگان در فاصله ۱۴۴ Km جنوب جزیره لاوان واقع شده است شکل ۱ و با میدان ابوالخوش امارات متحده عربی دارای ذخایر مشترک است. سازندهای این میدان دارای مخازن متفاوت نفت و گاز از دوره‌های مختلف زمانی پرمین تا ژوراسیک را شامل می‌شوند [۱]. سازندهای کنگان و دالان به ۴ بخش K1، K2، K3 و K4 تقسیم گردیده و در اصل بخش‌های K1 و K2 از بالا به پایین معادل سازند کنگان و بخش‌های K3 و K4 از بالا به پایین معرف بخش بالایی سازند دالان است [۲]. به‌علاوه، بخش K3 خود در چاه مورد مطالعه از بالا به پایین به ۳ زیربخش K3a، K3b و K3c، همچنین بخش K4 از بالا به پایین به دو زیربخش K4a و K4b تقسیم‌بندی شده است [۳]. سازندهای کنگان و دالان همراه با فراقان گروه دهرم را تشکیل می‌دهند. به‌طور خاصی، ذخایر بخش بالایی دالان- به‌همراه سازند کنگان در جهت خشکی



شکل ۱ موقعیت میدان گازی/ نفتی سلمان در خلیج فارس. اقتباس با ایجاد تغییرات از [۲]

1. Cyclostratigraphy
2. Eccentricity
3. Obliquity
4. Precession

بالایی سازند دالان در چاه 2SK-1 میدان گازی سلمان مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه با استفاده از این نرم‌افزار و با کاربرد روش‌های تحلیل طیفی تحولی^۱ از جمله تبدیل سریع فوریه^۲ (که توسط هینوف مورد تجدید نظر واقع شده) [۱۹] و تحلیل طیفی چندکاهنده^۳ بررسی چینه‌نگاری چرخه‌ای بخش بالایی سازند دالان انجام گرفت. سپس با اعمال روش ضریب همبستگی تحولی^۴ و سطوح مهم تحولی^۵ برای نگاره گامای طیفی، برآورد نرخ انباشت رسوب برای بخش بالایی سازند دالان صورت گرفته است. در آخر با توجه به در دسترس بودن داده چینه‌نگاری زیستی چاه 2SK-1، با شمارش تعداد چرخه‌های حرکت گریز از مرکز طولانی مدت (چرخه‌های ۴۰۵ هزارساله) استخراج شده از نگاره گامای طیفی، مقیاس زمان نجومی^۶ ایجاد و در برابر مقیاس زمان زمین‌شناسی پهنه‌های زیستی ارائه شده برای این چاه، مقایسه گردید.

چینه‌نگاری چرخه‌ای

تحلیل طیفی

در مطالعات چینه‌نگاری چرخه‌ای، تحلیل طیفی پراکندگی واریانس سری زمانی را به‌عنوان تابعی از بسامد ارزیابی می‌کند و در پژوهش‌ها به منظور شناسایی اجزای دوره‌ای یا شبه دوره^۷ به یک سنگ بنا تبدیل شده است [۲۰]. تحلیل طیفی دارای روش‌های مختلفی است. در این مطالعه، از روش تحلیل طیفی تحولی از نوع تبدیل سریع فوریه برای انجام برآورد بسامدهای دوره‌ای استفاده گردیده است. نرم‌افزار Acycle طیف‌نگار تحلیل طیفی تحولی را با تبدیل سریع فوریه همراه با روش تحلیل طیفی چندکاهنده به منظور مشخص کردن نسبت طول موج‌های چرخه ارائه کرده است.

1. Evolutionary Spectral Analysis
2. Fast Fourier Transform (LAH)
3. Multi-Taper Method (MTM)
4. Evolutionary Correlation Coefficient (eCOCO)
5. Evolutionary H0 Significance level
6. Astronomical Time Scale (ATS)
7. Quasi-Period

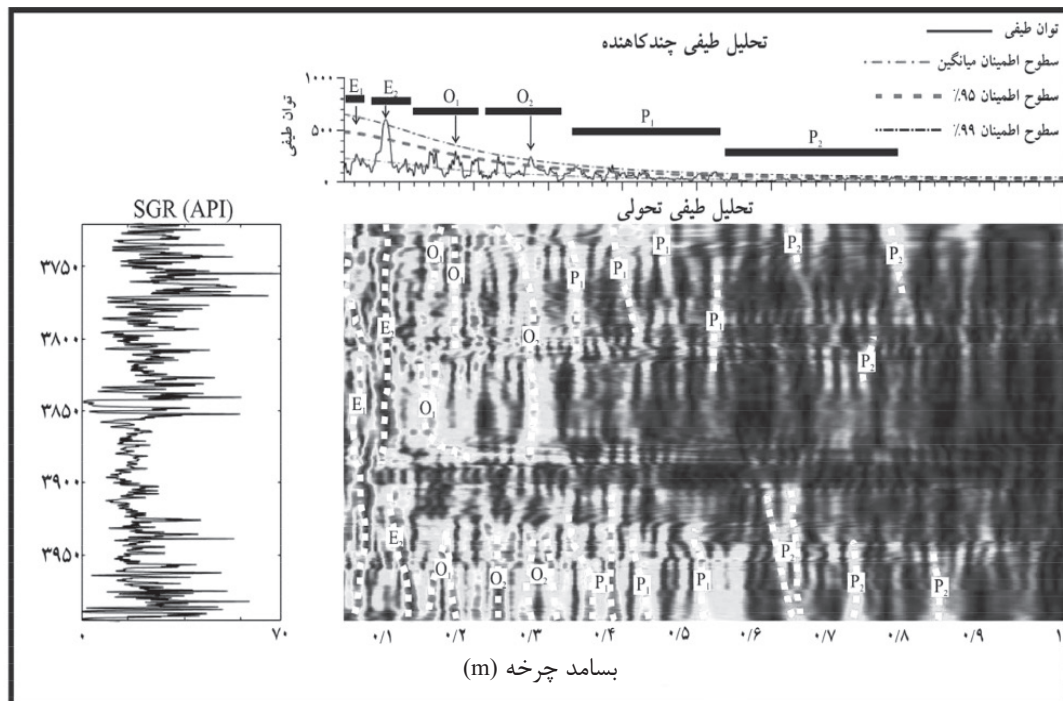
این چرخه‌های میلانکوویچ در سیستم‌های نفتی حوضه‌های نفت خیز سراسر جهان با توجه به نمونه‌های آب وهوایی گوناگون که از طریق انواع تحلیل‌ها از جمله درجه‌های خاکستری سنگ‌شناسی، نگاره‌های چاه (نگاره گاما، نگاره چگالی، نگاره مقاومت)، فراسنجه‌های ژئوشیمیایی (کل کربن آلی، غلظت عناصر فرعی، ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن) و حساسیت‌پذیری مغناطیسی ردیابی گردیده‌اند [۷-۱۰]. نگاره‌های چاه علاوه‌بر بررسی خصوصیات مخزنی نفت و گاز، معمولاً به‌طور گسترده‌ای در مطالعات اقیانوس‌شناسی دیرینه و چینه‌نگاری چرخه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۱، ۱۲، ۱۳]. داده‌های نگاره‌های چاه، در مقایسه با مواد مغزه‌ای که از فاصله مشابهی با نگاره‌ها گرفته شده، از لحاظ بصری به منظور توصیف کاربردی‌تر هستند و آن‌ها دارای ویژگی‌های خاصی هستند که توسط چشم در مغزه‌ها قابل رؤیت نیست [۱۴]. همچنین، نگاره‌های گاما به تغییرات در محیط رسوبی حساس هستند و می‌توانند برای مطالعات چینه‌نگاری چرخه‌ای استفاده شوند [۱۴-۱۷].

روش مطالعه

شدت مقادیر نگاره گاما در رسوبات به محتوای اورانیوم (U)، توریم (Th) و پتاسیم (K) آن‌ها در سنگ‌ها مربوط می‌شود که منعکس‌کننده رس و ماده آلی موجود در رسوبات است [۱۱ و ۱۵]. نگاره‌های پتروفیزیکی و به‌طور خاصی نگاره‌های خانواده گاما در مطالعات چینه‌نگاری چرخه‌ای مفید هستند زیرا این نگاره‌ها اطلاعاتی را ارائه می‌دهند که به‌طور معمول به‌وسیله نوسانات آب و هوای دیرینه کنترل می‌شوند [۱۰، ۱۱، ۱۵]. برای یافتن نسبت بسامد چرخه‌های میلانکوویچ و همچنین تحلیل‌های چینه‌نگاری چرخه‌ای، لازم است که از روش‌های تحلیل طیفی برای انواع داده‌ها استفاده شود [۱۹]. در این مطالعه نیز با استفاده از نگاره گامای طیفی و با کمک نرم‌افزارهای Acycle 1.2 [۱۸] و QAnalyzeSeries 1.4.1 چینه‌نگاری چرخه‌ای بخش

توان آماری بالای آن‌ها است، به طوری که آن‌ها توانایی لازم برای شناسایی دقیق سیگنال‌های مداری واقع در داده‌ها را دارند [۲۲]. با استفاده از سطوح اطمینان در دوره‌نگار روش چندکاهنده، طول موج‌های لازم از چرخه‌های رسوبی به وجود آمده نمونه‌برداری شدند. در این مطالعه، روش نسبت‌های طول چرخه برای ایجاد ارتباط بین چرخه‌های تعیین‌شده توسط تحلیل طیفی روش چندکاهنده و تغییرات فراسنجه‌های مداری^۴ به کار گرفته شد [۲۳]. با استفاده از این روش نسبت‌های طول موج چرخه‌ها در چاه 2SK-1، ۲۳/۷۹، ۱۲/۰، ۴/۹ و ۱/۹۷ محاسبه گردید که تقریباً برابر با ۲۰:۵:۲:۱ و نزدیک به نسبت چرخه‌های میلانکوویچ برای سیستم پرمین است که توسط برگر و همکاران محاسبه شده است [۲۴-۲۶].

در این مطالعه، طیف‌نگار تبدیل سریع فوریه برای شناسایی تغییرات در بسامدهای چرخه‌ها به دلیل نرخ رسوب‌گذاری متغیر انجام شد. یک هدف مهم در چینه‌نگاری چرخه‌ای تعیین این نکته است که آیا چرخه‌های میلانکوویچ در چرخه‌های چینه‌نگاری حفظ شده است یا خیر، این امر به استفاده گسترده از دوره‌نگار، به ویژه روش برآوردگر طیفی چندکاهنده (MTM) منجر شده است [۲۱]. بدین منظور، تحلیل طیفی توان در داده‌های نگاره گامای طیفی (SGR) با روش چندکاهنده (MTM) انجام و سری‌های زمانی مورد نظر برای نگاره ترسیم شد و به وسیله مدل‌سازی نوفه قرمز استوار^۱ که خود براساس مدل خود برگشتی شماره یک^۲ طراحی شده [۲۲]، در سطوح اطمینان^۳ میانگین، ۹۵٪، ۹۹٪ برای تفسیر نقاط اوج مهم مشخص گردید (شکل ۲). ویژگی مطلوب سطوح اطمینان،



شکل ۲ تحلیل چینه‌نگاری چرخه‌ای بخش بالایی سازند دالان. همچنین در دوره‌نگار روش چندکاهنده از دو کاهنده (2π) استفاده گردیده است

1. Robust Red Noise Modeling
2. Autoregressive-1 (AR1)
3. Confidence levels
4. Orbital Parameters

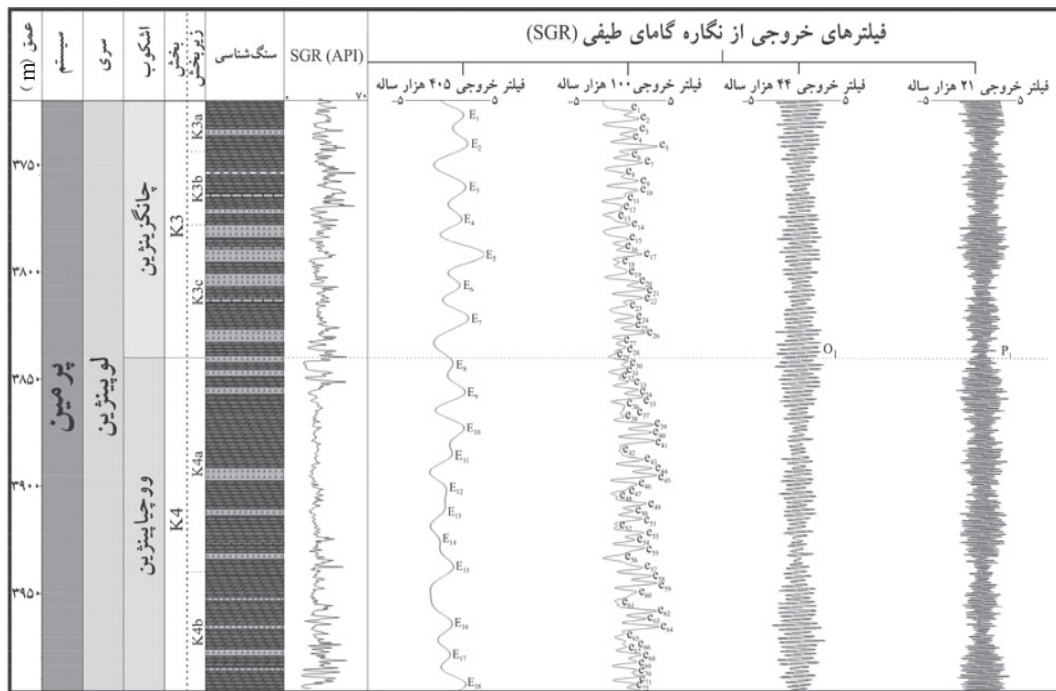
رسوب‌گذاری در این چاه، چرخه‌های حرکت گریز از مرکز طولانی مدت و کوتاه مدت، انحراف محور چرخش زمین کوتاه مدت، حرکت تقدیمی محور زمین طولانی مدت می‌باشند.

فیلتر کردن نگاره گامای طیفی

طول مدت چرخه حرکت گریز از مرکز طولانی مدت (E) به دلیل خاصیت پایدار مدارهای سیاره‌های مشتری و زهره در طول زمان زمین‌شناسی ثابت و ۴۰۵ هزارسال بوده است [۲۷]. بنابراین، می‌توان از این چرخه برای زمان‌شناسی نجومی قبل از دوران مزوزوئیک استفاده کرد [۲۸]. به‌علاوه، مدت زمان چرخه‌های میلانکوویچ برای سیستم پرمین توسط برگر و همکاران برای حرکت گریز از مرکز کوتاه مدت (e) ۱۰۰ هزارسال؛ انحراف محور چرخش زمین طولانی مدت (O₁) ۴۴/۳ هزارسال، کوتاه مدت (O₂) ۳۵/۱ هزارسال؛ حرکت تقدیمی محور زمین طولانی مدت (P₁) ۲۱ هزارسال و کوتاه مدت (P₂) ۱۷/۶ هزارسال محاسبه گردیده است [۲۴-۲۶]. با توجه به مدت زمان چرخه‌ها که در بالا برای سیستم پرمین تعریف شد، در نگاره گامای طیفی با توجه به فیلترهایی که رسم گردید شکل ۳ حدود ۱۸ چرخه حرکت گریز از مرکز طولانی مدت و حدود ۷۲ چرخه حرکت گریز از مرکز کوتاه مدت و حدود ۱۶۲ چرخه انحراف محور چرخش زمین طولانی مدت و ۳۴۲ چرخه حرکت تقدیمی محور زمین طولانی مدت برای این بخش از سازند دالان شناسایی گردید؛ فیلترها ابزاری ضروری برای جداسازی اجزای بسامد خاص در سری داده‌های زمین‌شناسی به منظور بررسی‌های دقیق هستند [۱۹]. بر همین اساس فیلترهای چرخه‌های حرکت گریز از مرکز طولانی مدت و کوتاه مدت و چرخه‌های انحراف محور چرخش زمین طولانی مدت، چرخه حرکت تقدیمی محور زمین طولانی مدت که به‌وسیله تحلیل طیفی تحولی از طریق روش‌های تبدیل سریع فوریه و چندکاهنده شناسایی شدند با استفاده از فیلتر میان‌گذر گاوسی در نرم‌افزار QAnalySeries از نگاره گاما استخراج شدند [۲۹].

از این جهت، این نقاط اوج به‌ترتیب چرخه حرکت گریز از مرکز طولانی مدت، چرخه حرکت گریز از مرکز کوتاه مدت، چرخه انحراف محور چرخش زمین طولانی مدت، چرخه حرکت تقدیمی محور زمین طولانی مدت تفسیر می‌شوند. برای دیگر چرخه‌های رسوبی که در دوره‌نگار روش چندکاهنده ظاهر شد باتوجه به نزدیک بودن به نسبت‌های برآورد شده هر کدام به‌عنوان یکی از چرخه‌های میلانکوویچ شناخته شدند (شکل ۲). بعد از بررسی‌هایی که در دوره‌نگار روش چندکاهنده انجام گرفت، طیف‌های توان در طیف‌نگار تبدیل سریع فوریه از لحاظ بسامد در واحد چرخه‌ها/ متر محاسبه شدند و طی این محاسبات چرخه‌های حرکت گریز از مرکز طولانی مدت (E) و کوتاه مدت (e)، چرخه انحراف محور چرخش زمین طولانی مدت (O₁) و کوتاه مدت (O₂)، چرخه حرکت تقدیمی محور زمین طولانی مدت (P₁) و کوتاه مدت (P₂) از داده نگاره گامای طیفی تشخیص داده شدند. به‌طور کلی در طیف‌نگار تبدیل سریع فوریه، بیشترین توان طیفی مربوط به چرخه‌های حرکت گریز از مرکز طولانی مدت و کوتاه مدت است و کمترین توان طیفی نیز به چرخه‌های انحراف محور چرخش زمین و حرکت تقدیمی محور زمین مربوط است.

همچنین طیف‌نگار تبدیل سریع فوریه یک روند قدرتمند را در عمق m ۳۷۲۰ تا m ۳۸۶۰ مطابق با چرخه حرکت خروج از مرکز کوتاه مدت نشان می‌دهد که در قاعده عمق m ۳۸۶۰ به‌وسیله روند قدرتمند چرخه حرکت گریز از مرکز طولانی مدت قطع شده است؛ که نشان از افزایش احتمالی نرخ انباشت رسوب در این نقطه است. این بررسی‌ها از شواهدی حکایت دارد که رسوب‌گذاری در عمق‌های m ۳۷۲۰ تا m ۳۸۶۰ بیشتر تحت تأثیر کنترل نجومی چرخه حرکت گریز از مرکز کوتاه مدت و از عمق m ۳۸۶۰ تا m ۳۹۲۰ تحت تأثیر کنترل نجومی چرخه حرکت گریز از مرکز طولانی مدت قرار داشته و از عمق m ۳۹۲۰ تا m ۳۹۹۵ کنترل نجومی غالب بر



راه‌نما

O_1 : چرخه‌ی انحراف محور چرخش زمین طولانی مدت E : چرخه حرکت گریز از مرکز محور زمین طولانی مدت P_1 : چرخه‌ی حرکت تقدیمی محور زمین طولانی مدت
 شیل دولومیت کلسیت انیدریت e : چرخه حرکت گریز از مرکز محور زمین کوتاه مدت

شکل ۳ فیلترهای میان‌گذر گاوسی برای چرخه‌های حرکت گریز از مرکز طولانی مدت و کوتاه مدت و انحراف محور چرخش زمین طولانی مدت و حرکت تقدیمی محور زمین طولانی مدت که هر چهار فیلتر از نگاره گاما استخراج شده‌اند

همبستگی تحولی نرم‌افزار Acycle، این نرم‌افزار ضریب همبستگی را بین طیف‌های توان یک سری نمونه‌های آب و هوای دیرینه و سری‌های مربوط به بی‌توازی نجومی آن را برآورد می‌کند. همچنین، در عین حال سری‌های این نمونه‌ها را از دامنه عمق شروع تحلیل می‌کند و تغییرات نرخ انباشت رسوب را در طیف‌نگار مربوطه تعیین می‌کند [۱۸، ۳۳، ۳۴]. بر همین اساس در این روش از داده‌های نگاره گامای طیفی در نقش سری نمونه‌های آب و هوای دیرینه استفاده گردید. برای به‌دست آوردن نرخ انباشت بیشینه رسوب در این چاه ابتدا باید نرخ انباشت میانگین مشخص و سپس دو برابر شود تا نرخ انباشت بیشینه رسوب برای این چاه تعیین گردد.

تا بسامدهای خاص را در داده نگاره گامای طیفی شناسایی و نرخ‌های انباشت رسوب این چاه را با ضریب همبستگی تحولی برآورد کنیم، زیرا شناسایی چرخه‌های میلانکوویچ در مطالعات، امکان برآورد نرخ انباشت رسوب را فراهم می‌کند [۳۰ و ۳۱].

روش ضریب همبستگی تحولی و سطوح مهم تحولی به منظور برآورد نرخ انباشت رسوب همان‌طور که اشاره شد یکی از اهداف مطالعات چینه‌نگاری چرخه‌ای علاوه‌بر تعیین چرخه‌های میلانکوویچ، برآورد نرخ انباشت رسوب است. داده‌های نگاره‌های گاما که به‌وسیله شرایط آب و هوای دیرینه کنترل می‌شوند، با بی‌توازی نجومی^۱ در ارتباط هستند و از این رو برای مطالعات چینه‌نگاری چرخه‌ای خصوصاً برآورد نرخ انباشت رسوب مفید است [۱۹، ۳۲]. در روش ضریب

1. Astronomical Forcing

طبق توان طیفی که مشاهده گردید بیشترین نرخ انباشت رسوب یعنی حدود ۶ cm در هر هزار سال در طیف‌نگار سطوح مهم تحولی (با سنگ‌شناسی غالباً دولومیتی به‌همراه انیدریت) ثبت شد و در آخر از عمق ۳۹۰۰ m تا عمق پایانی توان طیفی قابل ملاحظه‌ای مشاهده نشد و بر این اساس نرخ انباشت رسوب در این بازه و در این طیف‌نگار قابل تخمین نیست. در نتیجه برای برآورد نرخ انباشت رسوب برای بازه‌هایی که در طیف‌نگار سطوح مهم تحولی قابل تعیین نبود از طیف‌نگار ضریب همبستگی استفاده شد. با استفاده از این طیف‌نگار و لحاظ دادن بیشترین توان‌های طیفی قابل رؤیت، توانستیم منحنی بلوکی نرخ انباشت رسوب را ترسیم و از طریق تفسیر این منحنی، نرخ‌های رسوب‌گذاری را در عمق‌های مختلف برآورد کنیم (شکل ۴).

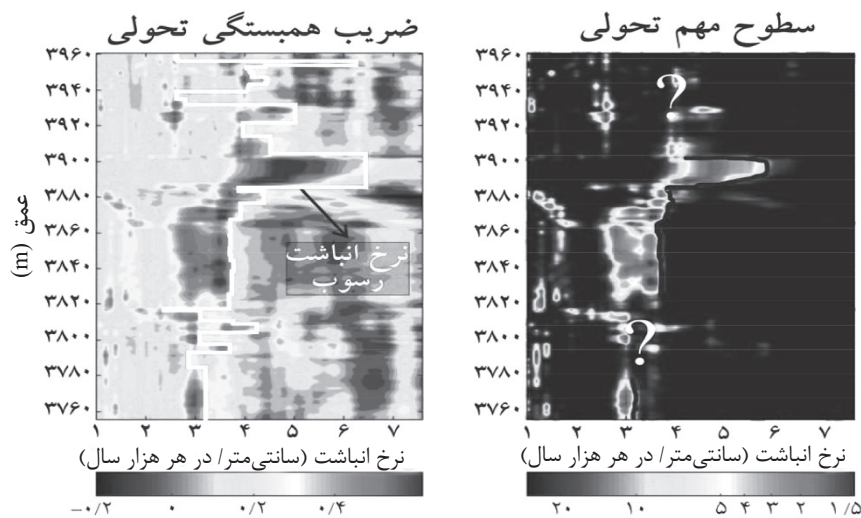
تفسیر منحنی نرخ انباشت رسوب

با توجه به اینکه نرخ انباشت بیشینه برای بخش بالایی سازند دالان در چاه 2SK-1 حدود ۷/۶ cm در هر هزار سال محاسبه شد؛ در داده‌های ورودی نرم‌افزار نیز این مقدار اعمال شد. در عمق شروع تا ۳۷۸۰ m نرخ انباشت رسوب نزدیک ۳/۱ cm در هر هزار سال برآورد می‌شود اما در عمق ۳۷۸۰ m تا نزدیک ۳۸۲۰ m تغییراتی در نرخ انباشت رسوب مشاهده می‌شود که در ۳۸۰۰ m به ۴/۲ cm در هر هزار سال و در عمق ۳۸۱۵ m یک افت محسوس در نرخ انباشت رسوب مشاهده می‌شود که نرخ انباشت در این عمق نزدیک ۲/۲ cm در هر هزار سال رسیده و این کم‌ترین مقداری است که طیف‌نگار در تمام عمق‌ها نشان می‌دهد. در بازه عمق ۳۸۲۰ m تا ۳۸۶۵ m نرخ انباشت رسوب تقریباً ثابت بوده و حدود ۳/۶ cm در هر هزار سال تخمین زده می‌شود. در عمق ۳۸۶۵ m تا ۳۸۸۵ m نرخ انباشت رسوب یک روند صعودی را طی کرده و به ۴/۳ cm در هزار سال نزدیک شده است.

نرخ انباشت میانگین برای بخش بالایی سازند دالان در چاه مورد مطالعه در عمق‌های ۳۷۲۰ m تا ۳۹۹۵ m یعنی در ضخامت ۲۷۵ m با مدت زمان رسوب‌گذاری ۷/۲ میلیون سال، بدون در نظر گرفتن فشردگی رسوبات در زمان تاریخچه تدفین و ثابت بودن نرخ انباشت رسوب (برای مثال ۱ cm در هر هزار سال) در ۲۷۵ m ضخامت حدود ۳۸ m برای هر میلیون سال یا به‌عبارت دیگر حدود ۳/۸ cm در هر هزار سال بوده است. بدین ترتیب، نرخ انباشت بیشینه برای بخش بالایی سازند دالان در چاه 2SK-1 حدود ۷/۶ cm در هر میلیون سال و به بیان دیگر، نزدیک ۷/۶ cm در هر هزار سال بوده است. با استفاده از رویکرد ضریب همبستگی تحولی و سطوح مهم تحولی نرخ‌های انباشت رسوب مدل‌سازی شده و در دو مجموعه ترکیبی با نرخ‌های ثابت و متغیر انباشت رسوب بررسی گردید. همچنین همان‌طور که اشاره شد، در طیف‌نگار ضریب همبستگی تحولی عمق‌ها از بالا به پایین معکوس می‌شوند یعنی عمق شروع از قاعده به سمت بالا آغاز و به عمق پایانی در قسمت رأس ختم می‌گردد. **طیف نگار سطوح مهم تحولی**

در این روش، ما در قالب فرضیه صفر^۱ (H_0) وجود فرکانس نجومی در سری داده‌ها را اتخاذ نمی‌کنیم؛ سطوح مهم تحولی مقدار ضریب همبستگی خاصی را نشان می‌دهد که می‌تواند به صورت تصادفی رخ دهد [۳۵]. همچنین در این طیف‌نگار، نرخ‌های انباشت رسوب در نرخ‌های ثابت برآورد گردید و با توجه به نرخ انباشت بیشینه محاسبه شده در عمق شروع تا ۳۷۷۵ m نرخ انباشت رسوب ۳/۱ cm در هر هزار سال تخمین زده می‌شود؛ از عمق ۳۷۷۵ m تا ۳۸۲۵ m توان طیفی مشخصی دیده نشد و بنابراین در این طیف‌نگار برای این بازه نمی‌توان نرخ انباشت رسوب را برآورد کرد. از عمق ۳۸۲۵ m تا ۳۸۸۵ m نرخ انباشت رسوب حدود ۳/۸ cm در هر هزار سال با توجه به توان طیفی مشاهده شده تخمین زده می‌شود؛ در عمق‌های ۳۸۸۵ m تا ۳۹۰۰ m

1. Null Hypothesis



شکل ۴ طیف‌نگار ضریب همبستگی تحولی و منحنی نرخ انباشت رسوب که از بیشترین توان‌های طیفی مشاهده شده در این طیف‌نگار استخراج گردیده و طیف‌نگار سطوح مهم تحولی که در بخش‌های مبهم (نبود توان طیفی مهم) برآورد نرخ انباشت از طریق آن امکان‌پذیر نبود به همین دلیل با علامت سوال مشخص گردیده است

مقایسه مقیاس زمان نجومی

در این بخش مقیاس زمان نجومی چرخه‌های ۴۰۵ هزار ساله استخراج شده از نگاره گامای طیفی در برابر مقیاس زمان زمین‌شناسی پهنه‌های زیستی ارائه شده برای بخش بالایی سازند دالان در چاه میلانکوویچ، چرخه‌های حرکت گریز از مرکز طولانی مدت هستند، به‌طور ویژه‌ای این چرخه‌های ۴۰۵ هزارساله معمولاً حاوی سیگنال‌هایی هستند که در توالی‌های رسوبی زمین‌شناسی قرار گرفته‌اند و این سیگنال‌ها توسط نگاره‌های چاه‌پیمایی قابل ردیابی هستند [۳۸]. همچنین، مطالعات چینه‌نگاری چرخه‌ای برحسب منحنی‌های اهداف نجومی (چرخه‌های میلانکوویچ، به‌عنوان مثال شکل ۳) تمرکز می‌کنند که البته خود این منحنی‌ها نیز از مدل‌های پویای منظومه شمسی حاصل شده‌اند و همیشه یک مقیاس زمان نجومی پیوسته را فراهم می‌کنند [۷]. در ادامه با توجه به استخراج این چرخه‌های ۴۰۵ هزارساله توسط تحلیل طیفی تحولی، واسنجش چرخه حرکت گریز از مرکز طولانی مدت (E) انجام گردید. طی این عمل هر چرخه E استخراج شده از سری‌های نگاره طیفی،

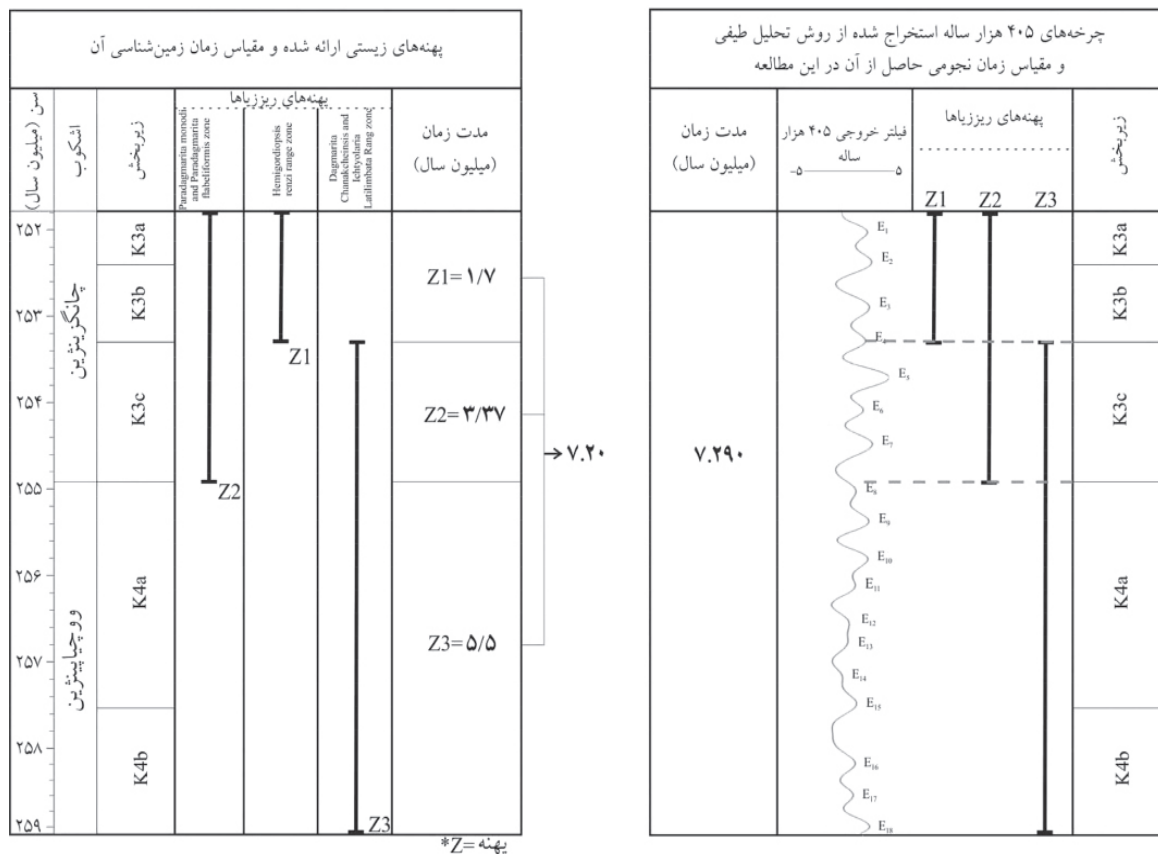
همچنین، در عمق ۳۸۸۵ m تا ۳۹۰۵ m یک روند صعودی دیگر قابل مشاهده است که نرخ انباشت رسوب در این بازه (با سنگ‌شناسی غالباً دولومیتی به‌همراه انیدریت) به بیشترین مقدار خود در تمام عمق‌ها یعنی ۶/۵ cm در هزارسال رسیده است. به‌علاوه در عمق ۳۹۰۵ m تا عمق‌های پایانی نرخ انباشت رسوب متغیر بوده و دارای روندهای نزولی و صعودی بوده است.

داده چینه‌نگاری زیستی در نتایج چینه‌نگاری چرخه‌ای

بعد از آشکار شدن تأثیر چرخه‌های میلانکوویچ در رسوب‌گذاری یک سازند، می‌توان مدت زمان این چرخه‌ها را با مدت زمان پهنه‌های زیستی مقایسه کرد [۳۶]. با توجه به ارائه پهنه‌های زیستی *Paradagmarita flabeliformis* و *Paradagmarita monodi* zones و *Hemigordiopsis renzi range zone* و *Ichtyolaria Latilimbata Rang* و *ita Chanakheinsis* zones برای بخش بالایی سازند دالان در چاه مورد بررسی در مطالعه [۳۷]، در اینجا نیز مقیاس زمان زمین‌شناسی (همان سن نسبی) این پهنه‌های زیستی با مقیاس زمان نجومی چرخه‌های گریز از مرکز طولانی مدت استخراج شده از نگاره گامای طیفی مقایسه گردید.

ما در این مطالعه برای همین بازه، طول پهنه‌های زیستی را ۷۲۹۰ هزار سال (۷.۲۹ میلیون سال) نشان می‌دهد و احتمالاً یکی از پهنه‌های زیستی ارائه شده خصوصاً پهنه زیستی شماره سه (Z3) در شکل ۵ که از نظر فاصله زمانی دارای بیشترین محدوده زمانی است و احیاناً این پهنه زیستی ۹۰ هزارسال پیشتر ظهور کرده یا ۹۰ هزارسال دیگر نیز وجود داشته است. همچنین با بررسی‌هایی که انجام گرفت، مشخص شد چرخه چهارم (E₄) گریز از مرکز طولانی مدت با انقراض پهنه Hemigordiopsis Dagmarita Chanakcheinsis و ظهور پهنه Ichtyolaria Latilimbata Rang هم‌زمان بوده است.

شبکه‌ای از سن با بازه‌های زمانی ۴۰۵ هزارساله را به‌وجود می‌آورد. به همین ترتیب، به منظور ساختن یک مدل سن عمقی- زمانی^۱ که از طریق آن، سری‌های نگاره گامای طیفی در دامنه عمق همه به دامنه زمانی تبدیل می‌شوند و در نتیجه یک مقیاس زمان نجومی شناور^۲ از این طریق ایجاد می‌گردد. در همین راستا، برای بخش بالایی سازند دالان در چاه مورد مطالعه، سه پهنه زیستی در مطالعه [۳۷] ارائه شده، که مقیاس زمان زمین‌شناسی آن ۷.۲ میلیون سال، یعنی همان سن نسبی بخش بالایی دالان، اشکوب‌های ووچیاپینژین به چانگزیژین (۲۵۱.۹ میلیون سال- ۲۵۹.۱ میلیون سال) است [۳۹]. با این وجود، مقیاس زمان نجومی



شکل ۵ مقایسه مقیاس زمان زمین‌شناسی پهنه‌های زیستی ارائه شده (همان سن نسبی آن‌ها) و مقیاس زمان نجومی که در این مطالعه از شمارش چرخه‌های حرکت گریز از مرکز به‌وجود آمد. خطوط سبز بریده بریده به تأثیر چرخه‌های میلانکوویچ (حرکت گریز از مرکز طولانی مدت) در ظهور و ناپدید شدن ریززیاها اشاره دارد

1. Depth-Time age Model
2. Floating

به‌علاوه نرخ‌های انباشت میانگین رسوب در این چاه برای بخش بالایی سازند دالان ۴۰ m مدر هر میلیون سال یا ۴ cm در هر هزار سال است. نرخ‌های انباشت کمینه رسوب نیز ۲۲ m در هر میلیون سال یا ۲/۲ cm در هر هزار سال برآورد می‌گردد. به‌علاوه، مقایسه مقیاس زمان نجومی چرخه‌های حرکت گریز از مرکز طولانی مدت که از طریق تحلیل طیفی استخراج شده بود در برابر پهنه‌های زیستی ارائه شده برای این چاه انجام گردید. در طی این عمل، مقیاس زمان نجومی برپایه‌ی این چرخه‌های ۴۰۵ هزارساله ایجاد گردید که معادل با ۷/۲۹ میلیون سال بود. در حالی که مقیاس زمان زمین‌شناسی پهنه‌های زیستی ارائه شده برای همین بازه (همان سن نسبی)، برابر با ۷/۲ میلیون سال است. بدین ترتیب از این طریق مشخص گردید که یکی از پهنه‌های زیستی، در محدوده ۹۰ هزار سال پیشتر ظهور کرده یا احتمالاً دیرتر ناپدید شده است. با این کار واحدهای چینه‌نگاری سنگی در چاه 2SK-1 میدان سلمان از لحاظ مقیاس زمان زمین‌شناسی و مقیاس زمان نجومی مقایسه شدند، در نتیجه تأثیر چرخه‌های میلانکوویچ در این واحدها و پراکندگی ریززیا‌های حاوی آن‌ها مشخص شد (شکل ۵). باتوجه به این بررسی‌ها، تأثیر چرخه‌های میلانکوویچ (چرخه‌های گریز از مرکز طولانی مدت) در پیدایش و زوال ریززیاها نیز مشهود بود.

به‌علاوه، چرخه هشتم (E_8) گریز از مرکز طولانی مدت با انقراض پهنه *Paradagmarita monodi* و *Paradagmarita flabeliformis* هم‌زمان بوده است که نشان از تأثیر چرخه‌های گریز از مرکز طولانی مدت در پیدایش و از بین رفتن این ریززیا‌های ذکر شده دارد.

نتیجه‌گیری

بررسی‌های چینه‌نگاری چرخه‌ای براساس تحلیل طیفی تحولی با روش‌های تبدیل سریع فوریه و چندکاهنده در بخش بالایی سازند دالان در چاه 2SK-1 میدان گازی سلمان انجام گردید. طی این بررسی‌ها، سری‌های نگاره گامای طیفی، سیگنال‌های نجومی قوی (چرخه‌های ۴۰۵ هزار ساله، ۱۰۰ هزار ساله، ۴۴ هزار ساله و ۲۱ هزارساله) را در این رسوبات نشان داد که این عوامل دال بر تحت‌تأثیر قرارگرفتن رسوب‌گذاری بخش بالایی سازند دالان در چاه 2SK-1 به‌وسیله چرخه‌های میلانکوویچ است. برپایه بیشترین توان‌های طیفی مشاهده شده آشکار گردید که رسوب‌گذاری بخش بالایی سازند دالان در چاه مورد مطالعه به‌طور خاصی تحت کنترل نجومی چرخه‌های میلانکوویچ بوده است. همچنین با استفاده از روش‌های ضریب همبستگی تحولی و سطوح مهم تحولی نرخ‌های انباشت بیشینه‌ی رسوب ۶۵ m در هر میلیون سال یا ۶/۵ cm در هر هزار سال تخمین زده می‌شود.

مراجع

- [1]. Szabo F. and Kheradpir A., "Permian and triassic stratigraphy of zagros basin, southwest iran," Journal of Petroleum Geology, Vol. 12, pp. 57-82, 1978.
- [2]. Insalaco E., Virgone A., Coutme B., Gaillot J., Kamali M., Moallemi A, Lotfpour M. and Monibi S., "Upper dalan member and Kangan formation between zagros mountains and offshore Fars, Iran," depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture: GeoArabia, Vol. 11, pp. 75-173, 2006.
- [3]. "Salman gas wells petrophysical & geological study reports," Kish Petroleum Engineering Company, 2015.

- [4]. Kashfi M. S., "Geology of the permian 'supergiant' gas reservoirs in the greater persian gulf area," Journal of Petroleum Geology, Vol. 15, pp. 465-480, 1992.
- [5]. Kashfi M. S. "The greater Persian gulf Permian - triassic stratigraphic nomenclature requires study," Oil and Gas Journal, Tulsa, Vol. 98, No. 45, pp. 36-44, November 6, 2000.
- [6]. Strasser A., Hilgen F. J., Heckel P. H., "Cyclostratigraphy- concepts, definitions, and applications," Newsl. Stratigr. Vol. 42, pp. 75-114, 2006.
- [7]. Hinnov L. A. and Ogg J. G., "Cyclostratigraphy and the astronomical time scale," Stratigraphy, Vol. 4, No. 2-3, 239-251, 2007.
- [8]. Zheng X. P. and Luo P., "Analysis and application of milankovitch cycles on feixianguan formation, northeast sichuan basin, china," [J]. Natural Gas Exploration and Development, Vol. 3, pp. 16-19, 2004.
- [9]. Abels H. A., Abdul Aziz H., Krijgsman W., Smeets S. J. B. and Hilgen F.J., "Long-period 400 eccentricity control on sedimentary sequences in the continental Madrid Basin (middle 401 Miocene, Spain)," Earth and Planetary Science Letters, Vol. 289, Issue 1-2, pp. 220-231, 2010.
- [10]. Mitchell R. N., Bice D. M., Montanari A., Cleaveland L. C., Christianson K. T., Coccioni R. and Hinnov L. A., "Ocean anoxic cycles? Prelude to the Livello Bonarelli (OAE 2)" Earth and Planetary Science Letters, Vol. 267, pp. 1-16, 2008.
- [11]. Bahk J., J., Um I. K., Yi B., Y. Yoo D. G., "Paleoceanographic implications and cyclostratigraphy of variations in well-log data from the western slope of the ulleung basin, east sea," Quaternary International, 392, pp. 58-68., 2016.
- [12]. Gorgas T. J. and Wilkens R. H., "Sedimentation rates off sw africa since the late miocene deciphered from spectral analyses of borehole and GRA bulk density profiles," ODP Sites 1082e1084. Marine Geology 180, 29e47, 2002.
- [13]. Paulissen W. and Luthi S. M., "High-frequency cyclicity in a miocene sequence of the vienna basin established from high-resolution logs and robust chronostratigraphic tuning," Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, Vol. 307, Issue 1-4, pp. 313-323, 2011.
- [14]. Whittaker A., "Bore hole data and geophysical log stratigraphy," In: Unlocking the Stratigraphical Record Advances in Modern Stratigraphy. Bennett, 1998.
- [15]. Ji-feng Y U., Feng-gui SUI., Zeng LI., Hua. LIU., Wang. Yu-lin. . "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, pp. 594-598, 2008.
- [16]. Melnyk, D.H., Athersuch, J. & Smith, D.G. "Estimating the dispersion of biostratigraphic events in the subsurface by graphic correlation—an example from the Late Jurassic of the wessex basin, UK," Marine and Petroleum Geology, Vol. 9, Issue 6, pp. 602-607, 1992.
- [17]. Melnyk D. H., Smith D. G. and Amiri-Garroussi K., "Filtering and frequency mapping as tools in subsurface cyclostratigraphy, with examples from the wessex basin, UK," In: de Boer, P.L. & Smith, D.G. (eds) Orbital Forcing and Cyclic Sequences. Blackwell Scientific, Oxford, pp. 35-46, 1994.

- [18]. Li M., Hinnov L. and Kump L., "Acycle: Time-series analysis software for paleoclimate research and education," Computers and Geosciences, Vol. 127, pp. 12-22, 2019.
- [19]. Kodama K. P., Hinnov L. A., "Rock magnetic cyclostratigraphy," Wiley-Blackwell, p. 176, 2015.
- [20]. Chen G., Gang W., Liu Y., Wang N., Guo Y., Zhu C. and Cao Q., "High resolution sediment accumulation rate determined by cyclostratigraphy and its impact on the organic matter abundance of the hydrocarbon source rock in the yanchang formation, ordos basin, china» Marine and Petroleum Geology, Vol 103, pp. 1-11, May 2019.
- [21] Thomson, D.J., "Spectrum estimation and harmonic analysis," Proc. IEEE, Vol. 70, Issue 9, pp. 1055–1096, 1982.
- [22] Meyers S. R., "Seeing red in cyclic stratigraphy: spectral noise estimation for astrochronology," Paleoceanography, Vol. 27, Issue 3, (PA3228), 2012.
- [23]. Mayer H. and Appel E., "Milankovitch cyclicity and rock-magnetic signatures of palaeoclimatic change in the Early cretaceous biancone Formation of the South-ern alps, italy," Cretac. Res., Vol. 20, Issue 2, pp. 189–214, 1999.
- [24]. Berger A., "Milankovitch theory and climate," Rev. Geophys., Vol. 26, Issue 4, pp. 624-657, 1988.
- [25] Berger A., Loutre M. F. and Dehant V., "Astronomical frequencies for pre-quaternary palaeoclimate studies," Terra nova, Vol. 1, pp. 474–479, 1989.
- [26] Berger, A., Loutre, M.F., "Astronomical forcing through geological time," In: De Boer P. L., Smith D. G. (Eds), Orbital Forcing and Cyclic Sequences, 19. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 15-24, 1994.
- [27]. Laskar J., Robutel P., Joutel F., Gastineau M., Correia A. C. M. and Levrard B., "Along-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth," Astron. Astrophys, Vol. 428, Issue 1, pp. 261–285, 2004.
- [28]. De Vleeschouwer D., Rakocinski M., Racki G., Bond D. P. G., Sobien K. and Claeys P. P., "The astronomical rhythm of Late-Devonian climate change (Kowala section, Holy Cross Mountains, Poland)," Earth Planet. Sci. Lett. 365, 25–37, 2013.
- [29]. Paillard D., Labeyrie L. and Yiou P., "Macintosh program performs time-series analysis," Eos, Trans Am Geophys Union, Vol. 77, Issue 39, pp. 379–379, 1996.
- [30]. Chen G., Gang W., Liu Y, Wang N., Guo Y., Zhu C. and Cao Q., "High resolution sediment accumulation rate determined by cyclostratigraphy and its impact on the organic matter abundance of the hydrocarbon source rock in the yanchang formation, ordos basin, china," Marine and Petroleum Geology, Vol. 103, pp. 1-11, May 2019.
- [31]. Li M., Huang C., Ogg J., Zhang Y., Hinnov L., Wu H., Chen Q.Z. and Zou Z., "Paleoclimate proxies for cyclostratigraphy: Comparative analysis using a Lower Triassic marine section in South China," Earth-Science Reviews, Vol 189, pp.125-146, February 2019.
- [32]. Wu H. C., Zhang S. H., Jiang G. Q. and Huang Q. H., "The floating astronomical time scale for the terrestrial Late Cretaceous Qingshankou Formation from the Songliao Basin of Northeast China and its stratigraphic and paleoclimate implications," Earth and Planetary Science Letters, Vol. 278, Issue 3-4, pp. 308-323, 2009.
- [33]. Li M. S., Hinnov L. A., Huang C. J. and Ogg J., "Sedimentary noise and sea levels linked to land-ocean waterexchange and obliquity forcing," Nature communications, Vol. 9, No.1, 1004, 2018.

- [34]. Li M. S., Huang C. J., Hinnov L. A., Ogg J., Chen Z. Q. and Zhang Y., "Obliquity-forced climate during the Early Triassic hothouse in China," *Geology*, Vol. 44, Issue 1, pp. 623-626, 2016.
- [35]. Li M., Kump L. R., Hinnov L. A., Mann M. E., "Tracking variable sedimentation rates and astronomical forcing in Phanerozoic paleoclimate proxy series with evolutionary correlation coefficients and hypothesis testing," *Earth and Planetary Science Letters*, Elsevier, Vol. 501, pp. 165-179, 2018.
- [36]. Zhong M., Chen D., Fan J., Wu H., Fang Q., Shi M., "Cyclostratigraphic calibration of the upper ordovician (sambian katian) pagoda and linhsiang formations in the yichang area, south china," *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, Vol. 93(supp 1): 177-180, 2019.
- [37]. RIPI report, 2001. "Biozonation of kangan formation, salman gas field," Research Institute of Petroleum Industry, Tehran. Unpublished Report.
- [38]. Huang C. J., "Astronomical time scale for the mesozoic," *Cyclostratigraphy and astrochronology*, Vol. 3, 1st ed., pp. 81-150, 2018.
- [39]. Rafiee P., Baghbani D., Aghanabati A. and Arian M., "Microbiostratigraphy and lithostratigraphy of the upper permian dalan formation in kuh-e-surmeh (zagros basin, southwest iran)," *International Journal of Geography and Geology*, Vol. 4, Issue 4, pp. 68-67, 2015.