

بررسی تغییرات مداری آب و هوایی و نرخ رسوبگذاری در سازند ایلام در

میدان نفتی کوپال، فروافتادگی دزفول

فروغ عباساقتی^{۱*}، آرمین امیدپور^۲

۱-دکترای رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

۲-دکترای رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، اهواز، ایران

*saghi0631@yahoo.com

دریافت مهر ۱۴۰۲، پذیرش آبان ۱۴۰۲

چکیده

توالی های کربناته شاخص های اقلیمی دیرینه را به خوبی در خود ثبت می کنند و برای درک الگوهای آب و هوایی، شناسایی چرخه های میلانکوویچ و تاثیر آنها بر نوسانات سطح آب دریا در طول فائوزوئیک بسیار مفید هستند. در مطالعه حاضر توالی های کربناته سازند ایلام به سن سانتونین و داده های لاگ گامای طیفی مربوط به آنها در میدان نفتی کوپال در فروافتادگی دزفول در جنوب غرب زاگرس جهت شناسایی این چرخه ها و عوامل موثر بر رسوبگذاری این سازند انتخاب شده است. شواهد موجود نشان می دهند که انواع چرخه های میلانکوویچ در زمان رسوبگذاری سازند ایلام بر روی شرایط آب و هوایی موثر بوده اند، اما چرخه های طولانی مدت گریز از مرکز محور زمین نقش بیشتری در این زمینه داشته اند. نرخ رسوبگذاری در این سازند به طور میانگین ۵/۵ - ۴ سانتی متر در هر هزار سال محاسبه شده است. با توجه به میزان نرخ رسوبگذاری و تعداد چرخه های طولانی مدت گریز از مرکز محور زمین شناسایی شده، می توان گفت سازند ایلام در مدت زمان ۱/۳ - ۱/۱۸ میلیون سال در منطقه مورد مطالعه رسوبگذاری کرده است. تغییرات سطح آب دریا در چاه های مورد مطالعه تا حد زیادی با تغییرات جهانی سطح آب دریاها مطابقت نشان می دهد. رسوبگذاری سازند ایلام تا حد زیادی متأثر از عملکرد چرخه های طولانی مدت گریز از مرکز محور زمین، نوسانات جهانی سطح آب دریا و حوادث تکتونیکی کرتاسه بالایی بوده است.

کلیدواژه ها: سازند ایلام، زاگرس، سانتونین، چرخه های میلانکوویچ، نرخ رسوبگذاری

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین عوامل تغییر الگوهای آب و هوایی در طول تاریخ زمین‌شناسی، به نیروهای مداری نسبت داده می‌شود که در چارچوب چرخه‌های میلانکوویچ مورد بررسی قرار می‌گیرند [۱۷، ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۴۶، ۵۴، ۵۵]. این چرخه‌ها از پدیده‌های نجومی محسوب می‌شوند و براساس مقیاس زمانی در انواع حرکت‌های گریز از مرکز محور زمین^۱ (تغییر در شدت نیروی گریز از مرکز با دوره‌های ۴۰۵ هزار سال و ۱۳۱-۹۵ هزار سال)، حرکت انحرافی محور چرخش زمین^۲ (تغییر در زاویه کج‌شدگی محور زمین با دوره‌های ۴۴-۳۹ هزار سال) و حرکت تقدیمی محور زمین^۳ (تغییر در لرزش محوری یا رقص محوری با دوره‌های ۲۲-۱۹ هزار سال) تاثیرگذار هستند [۴۷]. این چرخه‌ها موجب تغییر میزان فاصله‌ی زمین تا خورشید و در نهایت تغییر شدت تابش خورشید می‌شوند. میزان تابش خورشید نیز به نوبه‌ی خود بر روی عواملی مثل جریان‌های اقیانوسی، روابط فیزیکی متقابل اتمسفر و اقیانوس، تشکیل و یا ذوب صفحه‌های یخی و نوسانات سطح آب دریا تاثیرگذار است. در نهایت برآیند این فعل و انفعالات به همراه عواملی مثل عرض جغرافیایی و توپوگرافی باعث تغییرات آب و هوایی در هر منطقه شده است. توالی‌های رسوبی از بهترین منابع برای بازسازی و درک تغییرات جهانی آب و هوایی گذشته زمین محسوب می‌شوند. این تغییرات در شاخص‌های مختلف ژئوشیمیایی، سنگ‌شناسی، ژئوفیزیکی و زیستی در توالی‌های رسوبی قابل ردیابی هستند. از آنجا که تغییرات این شاخص‌ها معمولاً به صورت چرخه‌ای در رسوبات ثبت می‌شوند، بررسی آنها در حیطه‌ی مطالعات چینه‌نگاری چرخه‌ای^۴ صورت می‌گیرد که به روش‌های مختلفی قابل اجرا است [۶۸، ۲۱، ۱۶].

در این مطالعه دو برش زیرسطحی از سازند ایلام (کرتاسه بالایی) در میدان نفتی کوپال در فروفاتادگی دزفول برای شناسایی سیگنال‌های نجومی مربوط به چرخه‌های میلانکوویچ انتخاب شده‌اند. مطالعات رسوب‌شناسی حاکی از تغییرات جانبی و عمودی رخساره‌ای و تغییر شرایط رسوبگذاری و همچنین جوامع فسیلی برای سازند ایلام در نواحی مختلف زاگرس بوده است. محیط رسوبی این سازند به یک رمپ کربناته هموکلینال نسبت داده می‌شود، اما در ناحیه‌ی لرستان رخساره‌های عمیق دریای باز در این رمپ غالب‌تر هستند، اما به سمت نواحی خوزستان و فارس، رخساره‌های رمپ داخلی در این سازند گسترش بیشتری نشان می‌دهند [۱۰]. تغییرات عمق حوضه در زمان رسوبگذاری سازند ایلام به مجموعه‌ای از فعالیت‌های زمین‌ساختی، عملکرد گسل‌های پی‌سنگی، تغییر شرایط آب و هوایی و نوسانات سطح آب دریا نسبت داده شده است [۵۱، ۴۴، ۱۵].

توالی‌های کرتاسه بالایی زاگرس با توجه به اهمیت اقتصادی و نقش آنها در تولید مواد هیدروکربوری از دیرباز مورد توجه بسیاری از زمین‌شناسان قرار گرفته‌اند. اما این رسوبات از جنبه‌های اقلیمی چندان مورد مطالعه قرار نگرفته‌اند. سیستم کرتاسه از زمان‌های کلیدی در تاریخ زمین‌شناسی محسوب می‌شود و شاهد وقایع مهمی مثل انقراض‌های گروهی، رویدادهای کافتی قاره‌ای، فعالیت‌های شدید آتشفشانی، تغییر ناگهانی در شیمی آب اقیانوس‌ها و مسیر جریان‌های اقیانوسی و افزایش شرایط گلخانه‌ای بوده است [۴۵، ۲۹، ۳۷، ۲۵]. بنابراین مطالعه‌ی توالی‌های سازند ایلام از جنبه‌های اقلیمی می‌تواند پاسخگوی بخشی از ابهامات مربوط به این زمان مهم زمین‌شناسی باشد. از طرفی با توجه به نقش شرایط آب و هوایی بر رخساره‌های رسوبی و

¹ long Eccentricity (E) and short Eccentricity (e)

² Obliquity (O)

³ Precession (P)

⁴ Cyclostratigraphy

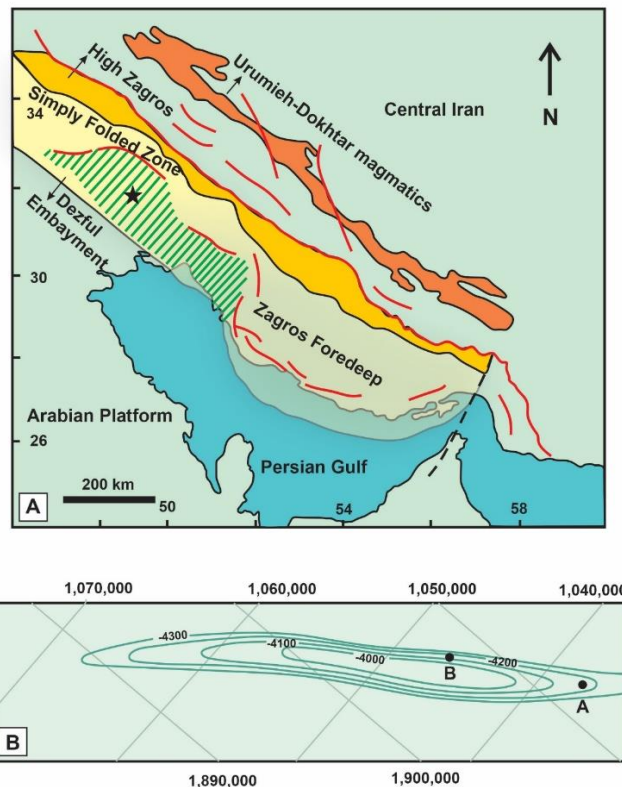
عوارض دياژنزي، نتايج اين مطالعه مي‌تواند در بهبود مطالعات آبي در مورد شرايط مخزني سازند ايلام راهگشا باشد. در مطالعات پيشين، سازند ايلام در ميدان نفتي کوپال بيشتر با استفاده از پارامترهاي پتروفيزيكي در جهت ارزيايي كيفيت مخزني، تعيين گونه‌هاي سنگي و ارائه مدل‌هاي رخساره الكتريكي مورد بررسي قرار گرفته است. نتايج به دست آمده از اين مطالعات بيانگر گسترش زون‌هاي ناتراوا و كيفيت مخزني ضعيف اين سازند در بيشتر چاه‌هاي مورد مطالعه در اين ميدان نفتي بوده است [۳، ۹]. به طور كلي اهداف اين مطالعه عبارتند از: ۱) شناسايي چرخه‌هاي ميلانكوويچ غالب در زمان رسوبگذاري سازند ايلام، ۲) بررسي نرخ رسوبگذاري و تغييرات سطح آب دريا، ۳) استفاده از نتايج به دست آمده جهت ارايه يك بازه زماني براي رسوبگذاري سازند ايلام و عوامل موثر بر رسوبگذاري اين سازند در کرتاسه بالايي.

۲- زمين‌شناسي منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از لحاظ تقسيمات ساختاري ايران بخشي از كمربند چين‌خورده-رانده زاگرس محسوب مي‌شود. رشته كوه‌هاي زاگرس با روند شمال غرب-جنوب شرق به عنوان يكي از كوهزايي‌هاي برخوردی فعال در كمربند فعال آلپ-هيماليا در نظر گرفته مي‌شوند و با طول تقريبي ۲۰۰۰ كيلومتر و عرض ۳۰۰-۱۰۰ كيلومتر از شرق تركيه تا شمال عراق تا جنوب غرب ايران و تنگه هرمز و عمان گسترش دارند [۱۴، ۶۰]. كوهزايي زاگرس در ارتباط با ريفتينگ و جدايش ايران مركزي از حاشيه شمالي گندوانا و شروع گسترش اقيانوس نئوتيس در مرز پرمين-ترياس مي‌باشد. در ادامه بسته شدن اقيانوس نئوتيس جنوبي و برخورد خردقاره ايران مركزي با حاشيه شمال شرقي صفحه عربي در اواخر سنوزويك (اواخر ميوسن تا عهد حاضر) منجر به تشكيل رشته كوه‌هاي زاگرس شده است [۶۲، ۵۰، ۲۲، ۱۳]. بربريان [۱۹] ناحيه زاگرس را به زون تراستي زاگرس مرتفع، كمربند چين‌خورده ساده، دشت ساحلي زاگرس، پيش‌گودال زاگرس و فروافتادگي دزفول تقسيم کرده است (شكل ۱).

فروافتادگي دزفول در جنوب غرب رشته كوه‌هاي زاگرس دربرگيرنده بخش زيادي از ميادين نفتي خاورميانه است. اين فروافتادگي نسبت به مناطق هم‌جوار خود در زاگرس پايداري تكتونيكي بيشترى را نشان مي‌دهد. ضخامت تقريبي رسوبات آن ۱۸ كيلومتر تخمين زده شده است و شروع شكل‌گيري آن به بعد از آكي‌تائين نسبت داده مي‌شود [۱۲]. در فروافتادگي دزفول نسبت به بخش‌هاي ديگر زاگرس، شدت چين‌خوردگي، ميزان توپوگرافي و سن واحدهاي رسوبي کاهش پيدا کرده است. فروافتادگي دزفول توسط گسل فروافتادگي دزفول در شمال، گسل پيش‌گودال زاگرس در جنوب غرب، گسل امتدادلغز كازرون-برازجان در شرق و جنوب شرق و گسل پيشاني كوهستان در شمال شرق احاطه شده است [۱۴، ۵۶]. روندهاي ساختاري، الگوهاي رسوبگذاري در فروافتادگي دزفول، تكامل تكتونيكي و ايجاد تله‌هاي نفتي بزرگ در اين منطقه آن تا حد زيادي توسط عملكرد اين گسل‌ها كنترل شده است [۴۷]. اگرچه گسترش دياپيرهاي نمكي سازند گچساران در ميوسن، وجود توالي‌هاي هالوكيتيكي و حرکات مرتبط با آنها نقش زيادي در تغييرات هندسي و رسوبگذاري در فروافتادگي دزفول داشته است [۴۹]. ميدان نفتي کوپال به صورت تاقديسي كشيده و تقريباً متقارن با سطح محوري نرمال در بخش مركزي فروافتادگي دزفول شمالي قرار داشته و روندي مشابه زاگرس به صورت شمال غرب-جنوب شرق نشان مي‌دهد. اين ميدان در ۵۰ كيلومتری شمال شرق اهواز قرار دارد. طول اين ميدان ۳۹ كيلومتر و عرض آن ۴ كيلومتر است. رخنمون سطحی میدان کوپال از سازندهای آجاجاری و بختياري تشكيل شده و سازندهای آسماري و گروه بنگستان (سازندهای سروک و ايلام) از مخازن نفتي آن به شمار مي‌روند

[۸]. سازند ایلام در میدان نفتی کوپال بطور میانگین ۴۵ متر ضخامت دارد و از یک لیتولوژی کربناته با میان لایه‌های شیلی و آهک شیلی برخوردار است. سازند ایلام در میادین نفتی فروافتادگی دزفول با ناپیوستگی فرسایشی که ناشی از عملکرد فاز تکتونیکی ساب‌هرسی‌نین بوده است، بر روی سازند کربناته سروک رسوبگذاری کرده است. مرز بالایی این سازند با توالی‌های شیلی سازند گورپی به صورت هم‌شیب مشخص می‌شود. محیط رسوبگذاری آن در این منطقه با توجه به اختصاصات رخساره-ای، عدم وجود ریف‌های سدی و نهشته‌های ریزشی، لغزشی و توربیدیتی، یک سکوی کربناته از نوع رمپ هموکلینال در نظر گرفته می‌شود [۱، ۶، ۷].



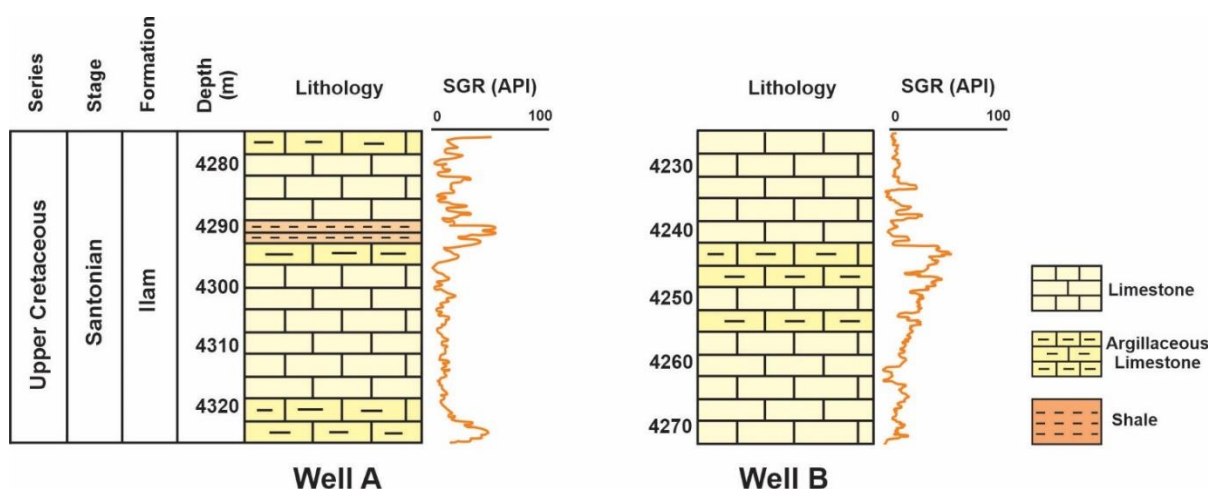
شکل ۱- A) شکل ساده شده از زون‌های ساختاری اصلی زاگرس شامل زاگرس مرتفع، زاگرس چین‌خورده، پیش‌گودال زاگرس و فروافتادگی دزفول [۱۹]. فروافتادگی دزفول در این شکل با هاشور و موقعیت میدان نفتی کوپال با ستاره مشخص شده است. میدان نفتی کوپال در عرض جغرافیایی ۱۰° ۳۱' الی ۳۲° ۳۱' و طول جغرافیایی ۸° ۴۹' الی ۲۷° ۴۹' واقع شده است. B) موقعیت چاه‌های مورد مطالعه در بخشی از نقشه هم‌تراز عمقی زیرزمینی میدان نفتی کوپال

۳- روش مطالعه

در این مطالعه به منظور مطالعات چینه‌نگاری چرخه‌ای و استخراج چرخه‌های میلانکوویچ ثبت شده در زمان رسوبگذاری سازند ایلام، از داده‌های لاگ گامای طیفی^۵ به عنوان داده‌های سری زمانی در دو برش زیرسطحی استفاده شده است. چاه شماره A به ضخامت ۵۲ متر و چاه B به ضخامت ۴۷ متر عمدتاً از توالی‌های کربناته با میان‌لایه‌های شیلی تشکیل شده‌اند (شکل ۲).

⁵ Spectral Gamma-ray log

بر اساس مطالعات صورت گرفته، لاگ گاما نسبت به ديگر لاگ‌هاي پتروفيزيكي نسبت به شرايط محيطي حساس تر بوده و بنابر اين تغييرات چرخه‌اي ثبت شده در رسوبات را بهتر نمايان مي‌کند [۳۶، ۵۲، ۵۴، ۶۹]. داده‌هاي لاگ گاماي طيفي به نرم‌افزار آسيکل^۶ [۴۲] وارد شده و بعد از درون‌يابي، تنظيم فاصله‌ي داده‌ها و استانداردسازي براي آناليزهاي بعدي مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در اين مطالعه در ابتدا براي شناسايي و بررسي نسبت بسامدهاي چرخه‌هاي ميلانکوويچ از ابزار روش چندکاهنده^۷ [۶۳] استفاده شد. طيف‌نگار تبديل سريع فوريه^۸ [۳۸]، نمايش تبديل موجک^۹ [۶۴] و فيلتر گوسين^{۱۰} [۳۸] نيز براي نمايش و رديابي سيگنال‌هاي اين چرخه‌ها استفاده شده است. به منظور تخمين نرخ رسوبگذاري در زمان تشکيل سازند ايلام روش‌هاي ضريب همبستگي^{۱۱} [۴۱]، طيف‌نگار ضريب همبستگي تکاملی^{۱۲} [۴۱] و لحظه‌هاي طيفي^{۱۳} [۵۹] بر روي لاگ گاماي طيفي اعمال شده است. براي بررسي تغييرات سطح آب دريا در زمان رسوبگذاري سازند ايلام، مدل نويز رسوبي^{۱۴} [۴۰] در اين نرم‌افزار به کار گرفته شده است.



شکل ۲- ستون چينه‌شناسي و لاگ گاماي طيفي براي سازند ايلام در چاه‌هاي A و B در ميدان نفتي کوپال، فروفتادگي دزفول

۴- نتايج

با توجه به شناسايي بيوزون ۳۰ وايند^{۱۵} در توالي‌هاي سازند ايلام در ميدان نفتي کوپال، سن اين سازند در اين ناحيه سانتونين تخمين زده شده است [۵۳، ۶۷]. رخساره‌هاي شناسايي شده در سازند ايلام در ميدان نفتي کوپال معرف يك محيط رمپ داخلي تا مياني براي اين سازند هستند [۸]. در اين بخش به ارائه‌ي نتايج حاصل از آناليزهاي مختلف بر روي لاگ گاماي طيفي

⁶ Acycle software

⁷ Multiple Taper Method (MTM)

⁸ Fast Fourier Transform (FFT)

⁹ Wavelet Transform (WT)

¹⁰ Gaussian filter

¹¹ Correlation Coefficient (COCO)

¹² evolutionary Correlation Coefficient (eCOCO)

¹³ Spectral Moments (SM)

¹⁴ DYNOT

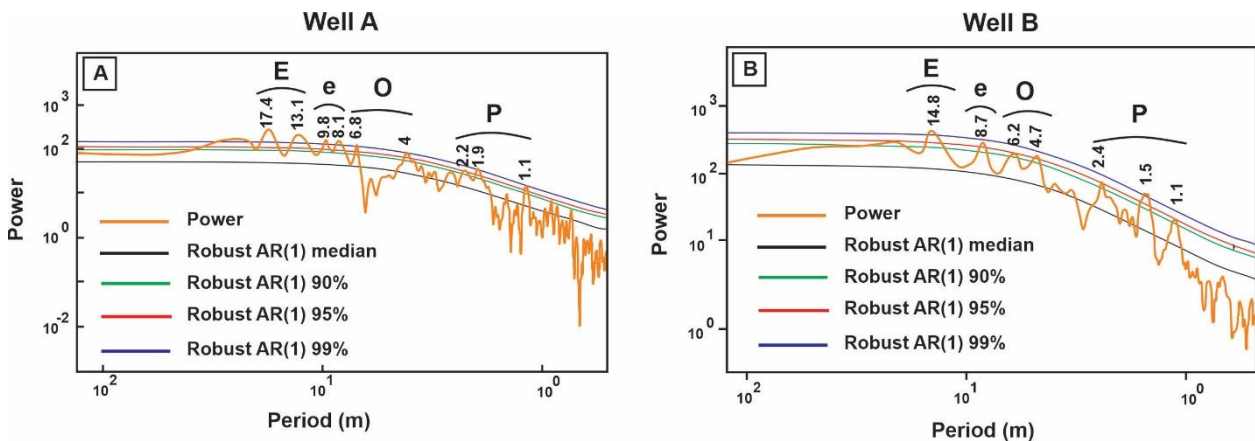
¹⁵ *Rotalia skourensis*-algae assemblage zone

استاندارد شده جهت شناسایی چرخه‌های میلانکوویچ، تخمین نرخ رسوبگذاری و تغییرات سطح آب دریا در سازند ایلام پرداخته خواهد شد.

۴-۱ شناسایی چرخه‌های میلانکوویچ

در این بخش جهت بررسی سری‌های زمانی موجود در لاگ گامای طیفی در سازند ایلام، ابتدا آنالیز روش چند کاهنده بر روی این داده‌ها در چاه A و B انجام شده است. نمودارهای ترسیم شده در شکل ۳ نشان می‌دهند که در چاه A، پیک‌های غالب که بالای سطح اطمینان ۹۰ درصد هستند، طول موج‌های ۱۷/۴، ۱۳/۱، ۹/۶، ۸/۱، ۶/۸، ۴، ۲/۲، ۱/۹ و ۱/۱ هستند. در چاه B پیک‌های مشاهده شده در نمودار دارای طول موج‌های ۱۴/۸، ۸/۷، ۶/۲، ۴/۷، ۲/۴، ۱/۵، ۱/۱ هستند. با توجه به نسبت‌های نجومی برقرار در کراتسه بالایی [۳۹] می‌توان گفت طول موج‌های ۱۷/۴، ۱۳/۱ و ۱۴/۸ مطابق با چرخه‌های حرکت گریز از مرکز طولانی مدت، طول موج‌های ۹/۶، ۸/۱ و ۸/۷ مطابق با چرخه‌های حرکت گریز از مرکز کوتاه مدت، طول موج‌های ۶/۸، ۴، ۲/۲ و ۴/۷ مطابق با حرکت انحرافی محور چرخش زمین و طول موج‌های ۲/۲، ۱/۹، ۱/۱، ۲/۴ و ۱/۵ به حرکت تقدیمی محور زمین نسبت داده می‌شوند.

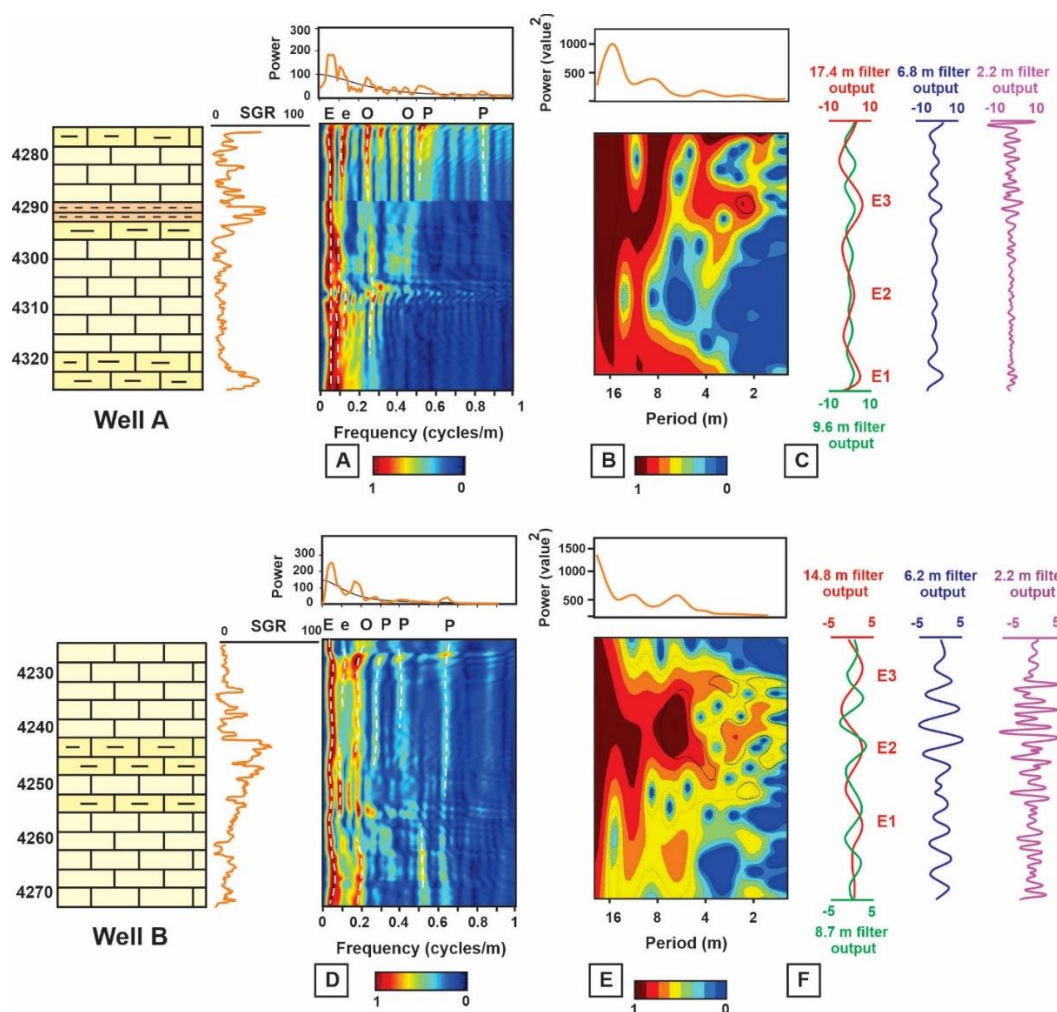
در ادامه روش طیف‌نگار تبدیل سریع فوریه برای شناسایی چرخه‌های میلانکوویچ در عمق‌های مختلف سازند ایلام مورد استفاده قرار گرفته است و نتایج آن همراه با آنالیز روش چندکاهنده در شکل ۴ نشان داده شده است. در هر دو چاه A و B از پایین به بالای سازند ایلام، طول موج‌های مختلف از چرخه‌های میلانکوویچ با توان‌های طیفی و فرکانس متفاوت شناسایی شده‌اند. برای مثال طول موج میانگین چرخه‌های حرکت گریز از مرکز طولانی مدت در چاه A از پایین به بالا از ۰/۰۴ تا ۰/۵ (شکل ۴A) و در چاه B از ۰/۰۳ تا ۰/۲ (شکل ۴D) تغییر کرده است. چرخه‌های دیگر نیز با توان‌های طیفی کمتر در زمان رسوبگذاری سازند ایلام تاثیرگذار بوده‌اند.



شکل ۳- آنالیز روش چندکاهنده برای داده‌های لاگ گامای طیفی در سازند ایلام به منظور شناسایی و نسبت بسامد انواع چرخه‌های میلانکوویچ (A) آنالیز روش چندکاهنده در چاه A، (B) آنالیز روش چندکاهنده در چاه B. در این آنالیز همه‌ی طیف‌ها با مدل‌های نویز قرمز در سطوح اطمینان ۹۰٪، ۹۵٪ و ۹۹٪ و سطح اطمینان میانه مورد آزمایش قرار گرفته‌اند.

نمايش تبديل موجك روش ديگري براي اثبات تاثير چرخه‌هاي ميلانكوويچ در توالي‌هاي رسوبي است. اعمال اين روش بر روي داده‌هاي لاگ گاماي طيفي در چاه‌هاي A و B بيانگر تاثير انواع چرخه‌هاي ميلانكوويچ در زمان رسوبگذاري سازند ايلام است (شكل E و B). در اين روش چرخه‌هاي مختلف با توان‌هاي طيفي بالا تا پايين در اعماق مختلف سازند ايلام ثبت شده‌اند، اما چرخه‌هاي حرکت گريز از مركز طولاني مدت توان طيفي بالاتري را نشان مي‌دهند.

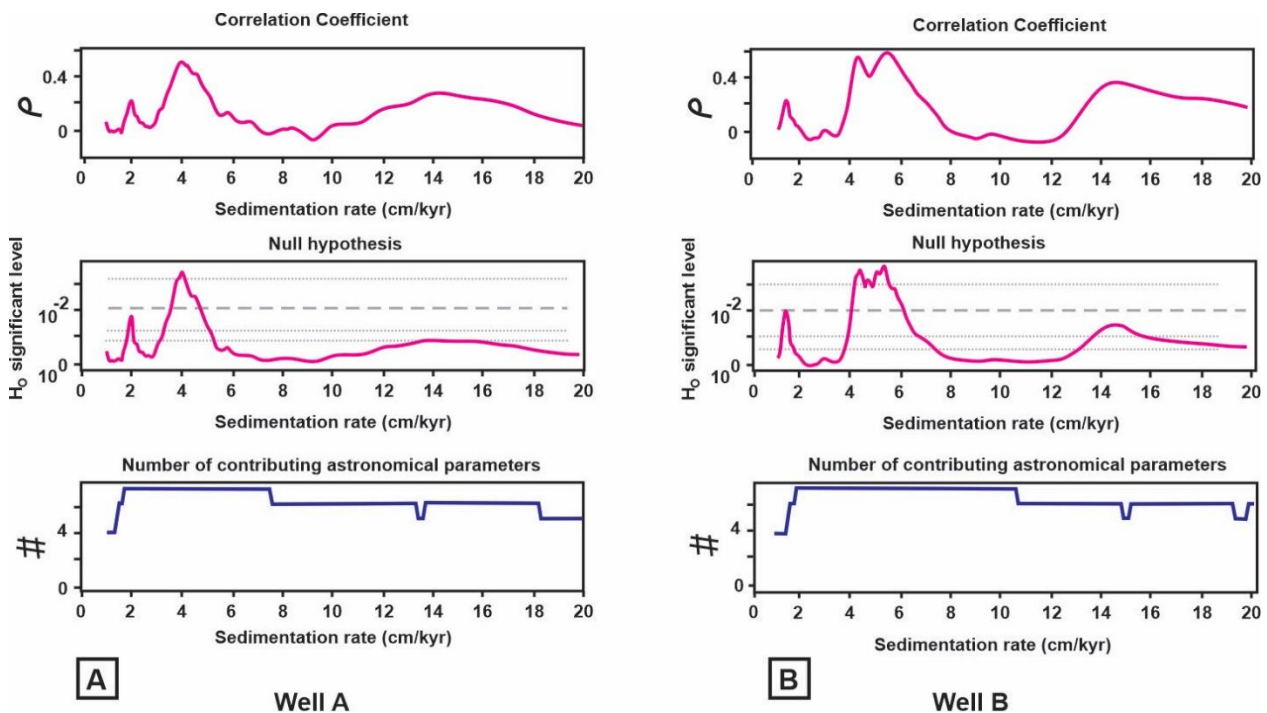
استخراج انواع چرخه‌هاي ميلانكوويچ با استفاده از فيلتر گوسين نيز بر روي لاگ گاماي طيفي در هر دو چاه A و B انجام شده است (شكل C و F). همانطور كه در تصوير نشان داده شده است، در هر دو چاه سه چرخه‌ي حرکت گريز از مركز طولاني مدت شناسايي شده اما چرخه‌هاي حرکت گريز از مركز کوتاه مدت، حرکت انحرافي محور چرخش زمين و حرکت تقديمي محور زمين تعداد بيشتري را نشان داده‌اند.



شكل ۴- آناليزهاي چينه‌نگاري چرخه‌اي با استفاده از لاگ گاماي طيفي به منظور شناسايي چرخه‌هاي ميلانكوويچ در سازند ايلام، (A و D) آناليز طيف‌نگار تبديل سريع فوريه به همراه آناليز روش چند كاهنده (در بالا) براي چاه‌هاي A و B بيانگر تغيير چرخه‌هاي ميلانكوويچ، فراواني آنها و غلبي چرخه حرکت گريز از مركز طولاني مدت در كل چاه مورد مطالعه است، (B و E) نمايش تبديل موجك در چاه‌هاي A و B حاكي از وجود انواع چرخه‌هاي ميلانكوويچ و تاثيرگذاري بيشتري چرخه حرکت گريز از مركز طولاني مدت در كل چاه مورد مطالعه در زمان رسوبگذاري سازند ايلام است، (C و F) فيلترهاي گوسين خروجي مربوط به تعدادي از چرخه‌هاي شناسايي شده در چاه‌هاي A و B در سازند ايلام

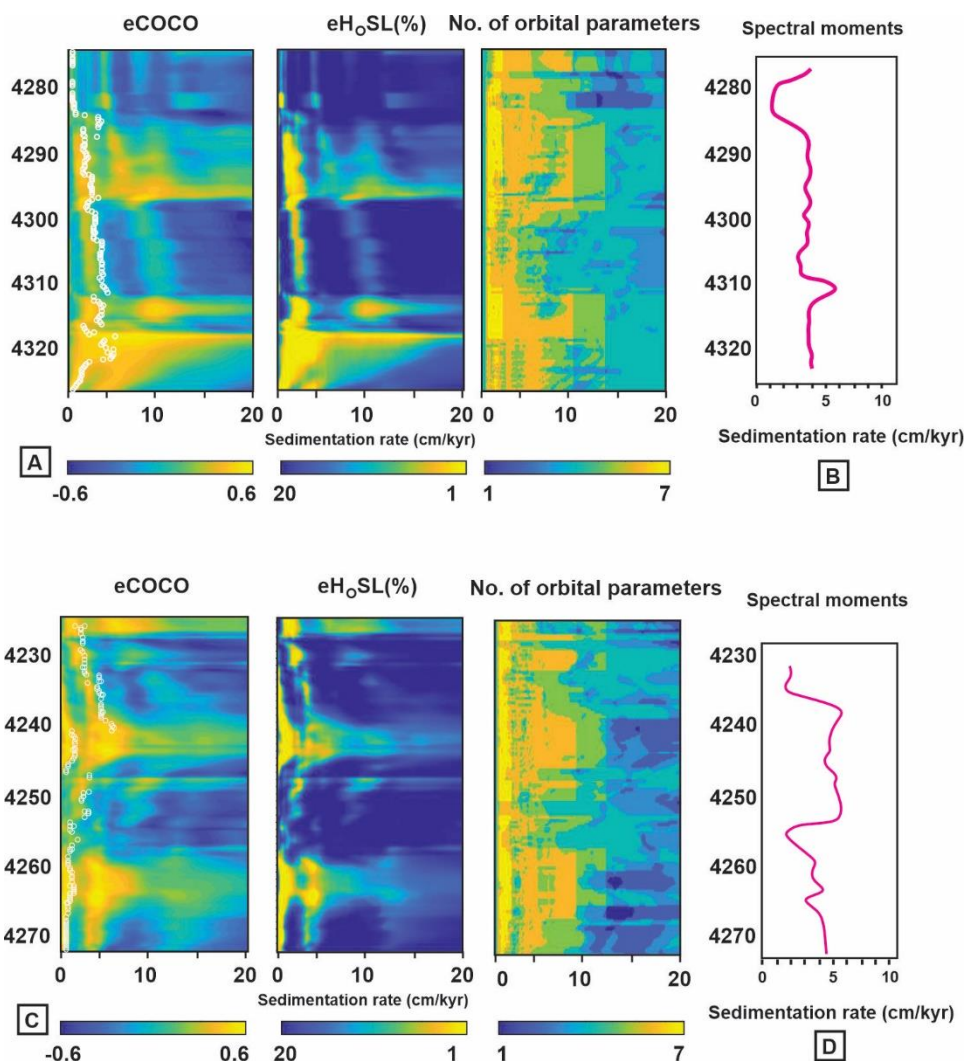
۴-۲ تخمین نرخ رسوبگذاری

اعمال روش ضریب همبستگی برای روی داده‌های لاگ گامای طیفی برای تخمین نرخ رسوبگذاری در شکل ۵ نمایش داده شده است. نتایج این روش در چاه A پیک ۴ سانتی‌متر در هر هزار سال (شکل ۵A) و در چاه B دو پیک ۴ و ۵/۵ سانتی‌متر در هر هزار سال (شکل ۵B) را نشان می‌دهد. با توجه روش طیف‌نگار ضریب همبستگی تکاملی، در چاه A در بخش‌های میانی و پایینی (شکل ۶A) و در چاه B در سه محدوده عمقی (شکل ۶C) شاهد بیشترین نرخ رسوبگذاری در سازند ایلام هستیم. روش لحظه‌های طیفی نیز بیانگر بیشترین میزان نرخ رسوبگذاری در بخش پایینی چاه A بوده که به ۵ سانتی‌متر در هر هزار سال رسیده است. اما در بیشتر اعماق مقادیری بین ۴-۵ سانتی‌متر در هر هزار سال را نشان می‌دهد (شکل ۶B). در چاه B براساس روش لحظه‌های طیفی نرخ رسوبگذاری در اعماق مختلف سازند ایلام مقادیری بین ۵/۵-۴ سانتی‌متر در هر هزار سال بوده که بیشترین آن مربوط به بخش‌های میانی و پایینی سازند ایلام است (شکل ۶D). شایان ذکر است روش‌های مورد استفاده در این نرم‌افزار برای تعیین نرخ رسوبگذاری بر مبنای محاسبات آماری بین داده‌های سری-زمانی و توان‌های طیفی نجومی بوده که با استفاده از پردازش شاخص مورد استفاده (لاگ گاما در این مطالعه) انجام می‌پذیرد. از آنجا که افزایش و کاهش لاگ گاما تا حد زیادی با نوع لیتولوژی در ارتباط است، بنابراین در محاسبات انجام شده در این نرم‌افزار بطور غیرمستقیم نوع لیتولوژی و سرعت رسوبگذاری ذرات آن نیز در نظر گرفته می‌شود. از طرفی این محاسبات با این فرض انجام شده است که رسوبگذاری در توالی‌های مورد مطالعه بدون وقفه زمانی قابل توجه رخ داده است. البته وجود داده‌های سن‌سنجی دقیق در تکمیل و تایید نتایج به دست آمده توسط این روش تا حد زیادی موثر است.



شکل ۵- آنالیز ضریب همبستگی برای تخمین میانگین نرخ رسوبگذاری در سازند ایلام (A) نتایج آنالیز ضریب همبستگی در چاه A با شبیه‌سازی مونت‌کارلو ۲۰۰۰ و نرخ رسوبگذاری آزمایش شده از ۲۰-۱ سانتی‌متر در هر هزار سال، یک پیک اصلی در محدوده ۴ سانتی‌متر در هر هزار سال نشان می‌دهد، (B) نتایج آنالیز ضریب همبستگی در چاه B با شبیه‌سازی مونت‌کارلو ۲۰۰۰ و نرخ رسوبگذاری آزمایش شده از ۲۰-۱ سانتی‌متر در هر هزار سال، دو پیک اصلی در محدوده ۴ و ۵/۵ سانتی‌متر در هر هزار سال نشان می‌دهد. در هر دو چاه سطح معناداری فرضیه

صفر از اين نرخ‌هاي رسوبگذاري کمتر از ۰/۰۱ بوده و تعداد پارامترهاي نجومی مشارکت کننده در زمان رسوبگذاري سازند ايلام بيشتر از چهار پارامتر بوده است.

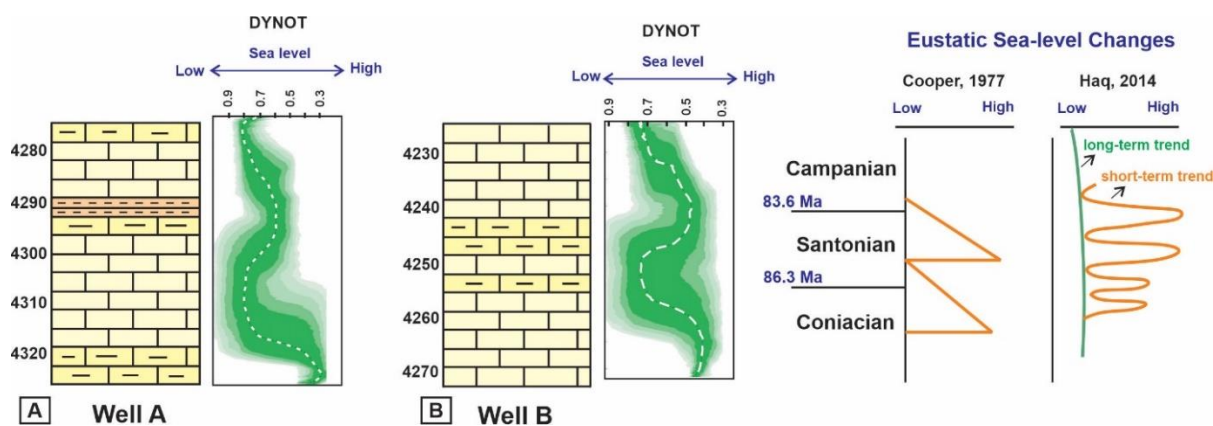


شکل ۶- آناليزهاي طيف‌نگار ضريب همبستگي تکاملي و لحظه‌هاي طيفی برای تخمين نرخ رسوبگذاري در چاه‌هاي A و B در سازند ايلام (A) آناليز طيف‌نگار ضريب همبستگي تکاملي در چاه A با شبیه‌سازي مونت کارلو ۲۰۰۰ و نرخ رسوبگذاري آزمايش شده از ۱-۲۰ سانتی‌متر در هر هزار سال در بخش‌هاي میانی و پایینی سازند ايلام بيشترين افزايش نرخ رسوبگذاري را نشان می‌دهد، (B) آناليز طيف‌نگار ضريب همبستگي تکاملي در چاه B با شبیه‌سازي مونت کارلو ۲۰۰۰ و نرخ رسوبگذاري آزمايش شده از ۱-۲۰ سانتی‌متر در هر هزار سال در سه محدوده در سازند ايلام بيشترين افزايش نرخ رسوبگذاري را نشان می‌دهد، (C) آناليز لحظه‌هاي طيفی در چاه A بيشترين نرخ رسوبگذاري را در عمق ۴۳۱۰ متری و معادل ۵ سانتی‌متر در هر هزار سال ثبت کرده است، (D) آناليز لحظه‌هاي طيفی در چاه B بيشترين نرخ رسوبگذاري را در اعماق ۴۲۴۰ تا ۴۲۵۰ متری و معادل ۵-۴/۵ سانتی‌متر در هر هزار سال نشان داده است.

۳-۴ تغييرات سطح آب دريا

با توجه به عدم مغزه‌گيري سازند ايلام در ميدان نفتی مورد مطالعه و کيفيت پايين خرده‌هاي حفاری، بررسی تغييرات سطح آب دريا در قالب چينه‌نگاری سکانشی با استفاده از مطالعات پتروگرافي به طور دقيق قابل انجام نمی‌باشد. در اين شرايط داده‌هاي

لاگ گاما بهترین منبع برای بررسی این موضوع می‌باشند. مدل نویز رسوبی در هر دو چاه A و B روندهای مختلفی را نشان می‌دهد که حاکی از نوسانات سطح آب دریا در زمان رسوبگذاری سازند ایلام است. با توجه به روندهای مشاهده شده، در دو بازه زمانی حوضه‌ی رسوبی با بیشترین کاهش سطح آب دریا مواجه شده است. اولین بازه برای چاه A (شکل ۷A) در اعماق ۴۳۰۵-۴۳۱۵ متر و برای چاه B (شکل ۷B) در اعماق ۴۲۵۵-۴۲۵۰ رخ داده و دومین بازه مربوط به بخش بالایی سازند و مرز آن با سازند گورپی است.



شکل ۷- بررسی تغییرات سطح آب دریا با استفاده از مدل نویز رسوبی در (A) چاه شماره A و (B) چاه شماره B در سازند ایلام و مقایسه آن‌ها با متحنی‌های جهانی سطح آب دریا [۲۳، ۳۰]

۵- بحث

۵-۱ تعیین مقیاس زمانی نجومی برای سازند ایلام

از مهم‌ترین کاربرد شناسایی چرخه‌های میلانکوویچ و تخمین نرخ رسوبگذاری، استفاده از داده‌های به دست آمده جهت تعیین یک مقیاس زمانی نجومی^{۱۶} برای توالی‌های رسوبی است [۶۵، ۲۴]. همانطور که گفته شد این محاسبات با فرض عدم وجود وقفه‌های رسوبی بلند مدت و عدم تاثیر فشردگی بر رسوبات انجام می‌شوند. در این مطالعه با توجه به اینکه رسوبگذاری سازند ایلام تنها در بازه زمانی سانتونین صورت گرفته و مرزهای زمانی دیگری در این سازند وجود ندارد، احتمال وجود وقفه رسوبگذاری بلند مدت بعید به نظر می‌رسد.

همانطور که گفته شد، براساس مطالعات فسیل‌شناسی، سن سازند ایلام در میدان نفتی کوپال، سانتونین تعیین شده است [۸]. از آنجا که ضخامت سازند ایلام در میداین مختلف این ناحیه متفاوت بوده و تغییرات رخساره‌ای در این سازند قابل توجه است، بازنگری و بررسی مجدد سن این سازند در حوضه‌های مختلف زاگرس ضرورت دارد. در یکی از آخرین مطالعات انجام شده، سن رسوبگذاری سازند ایلام در میدان نفتی آب‌تیمور سانتونین-کامپانین؟ به دست آمده است [۲]. بطور کلی عدم مغزه‌گیری کامل در توالی‌های سازند ایلام و دسترسی نداشتن به داده‌های سن‌سنجی با استفاده از ایزوتوپ استرانسیوم، تعیین سن دقیق این سازند را در میداین مختلف فروفادگی دزفول از جمله میدان نفتی کوپال با محدودیت مواجه کرده است.

¹⁶ Astronomical Time Scale

از ميان چرخه‌هاي ميلانكوويچ، تنها مدت زمان چرخه‌هاي حرکت گريز از مركز طولاني مدت (۴۰۵ هزار سال) در طول فانروزويك ثابت بوده است، اما مدت زمان چرخه‌هاي ديگر نوسانات مختلفی را نشان مي‌دهند [۴۲، ۳۹]. در اين مطالعه داده‌هاي به دست آمده از فیلتراسيون لاگ گاما (شکل C و E)، وجود سه چرخه‌ی حرکت گریز از مرکز طولانی مدت را در هر دو چاه سازند ایلام اثبات کرده‌اند. با توجه به ضخامت سازند، میانگین محاسبه شده برای نرخ رسوبگذاری سازند ایلام (۴-۵ سانتی‌متر در هر هزار سال) و مدت زمان و تعداد چرخه‌های حرکت گریز از مرکز طولانی مدت (۴۰۵ هزار سال) می‌توان گفت، سازند ایلام در چاه‌های مورد مطالعه در مدت زمان $1/3 - 1/18$ میلیون سال رسوبگذاری کرده است. از آنجا که مدت زمان اشکوب ساتونین ($83/6 - 86/3$ میلیون سال) حدود $2/7$ میلیون سال تعیین شده است، سن به دست آمده برای توالی‌های سازند ایلام با استفاده از این داده‌ها منطقی به نظر می‌رسد و می‌تواند به عنوان مبنایی برای مطالعات سن‌سنجی این سازند در مطالعات آینده در نظر گرفته شود.

۵-۲ بررسی عوامل موثر بر رسوبگذاری و نوسانات سطح آب دریا در سازند ایلام

در بیشتر مطالعات انجام شده، زمان باز شدن اقیانوس نئوتیس از پرمین تا تریاس در نظر گرفته می‌شود، اما در مورد بسته شدن آن اتفاق نظر چندانی وجود ندارد و یک بازه زمانی طولانی‌تر از کرتاسه بالایی تا نئوژن برای این رویداد تکنونیک در نظر گرفته می‌شود. حوضه اقیانوسی نئوتیس دارای دو شاخه شمالی و جنوبی بوده که شاخه‌ی جنوبی نسبتاً ساده‌تر بوده و رشته کوه‌های زاگرس به عنوان شاخه جنوبی آن در نظر گرفته می‌شوند. مطالعات محجل و همکاران [۴۸] نشان می‌دهد که باز شدن نئوتیس جنوبی در ابتدا به علت گسترش بستر اقیانوس‌ها در پرمین رخ داده و در ادامه با ایجاد یک کافت دیگر در تریاس پسین و کشش دوباره‌ی حاشیه غیرفعال آن، نئوتیس جنوبی در حاشیه شمال شرق صفحه عربی گسترش پیدا کرده است. در مطالعاتی که شروع بسته شدن نئوتیس به اواخر مزوزوئیک منسوب شده است، فرارانش بخشی از پوسته اقیانوسی به روی صفحه زاگرس-عربستان باعث تبدیل حاشیه غیرفعال زاگرس در یک رژیم همگرایی به یک حوضه‌ی برخورد کمائی، بسته شدن اقیانوس نئوتیس، فعال شدن مجدد گسل‌های پی‌سنگی و ایجاد ساختارهایی با امتداد شمال غرب-جنوب شرق شده است [۵۷، ۲۸، ۲۶، ۱۴].

مطالعات جغرافیای دیرینه نشان می‌دهد که توالی‌های کرتاسه بالایی زاگرس در زمان رسوبگذاری در نزدیکی عرض‌های جغرافیایی استوایی قرار داشته و متاثر از شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب بوده‌اند [۳۲، ۲۷]. از طرفی در دوره کرتاسه به علت غلبه‌ی شرایط گلخانه‌ای و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در جو، آب و هوای گرم و مرطوب در کره زمین غالب بوده است. با اشتقاق ابرقاره پانگه‌آ در امتداد بخش‌های استوایی قبل از کرتاسه، مسیر جریان‌های اقیانوسی از شمالی-جنوبی به شرقی-غربی تغییر کرده و این مساله نیز بر شرایط آب و هوایی کرتاسه تاثیر گذاشته است [۳۱]. دمای آب اقیانوس‌ها در دوره کرتاسه در عرض‌های استوایی بطور میانگین $28-30$ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است [۶۶]. مطالعات ژئوشیمیایی در سازند ایلام بیانگر وجود دریایی با ترکیب آراگونیتی در زمان رسوبگذاری سازند ایلام بوده است [۷، ۶، ۴، ۱]، که این مساله تاییدی بر وجود آب و هوای گرم در زمان تشکیل سازند ایلام است. براساس مطالعات ایزوتوپ اکسیژن دمای آب دریا برای سازند ایلام 28 درجه سانتی‌گراد به دست آمده است [۱۱] که با دمای میانگین جهانی در کرتاسه بالایی مطابقت دارد. براساس مطالعات

انجام شده، علاوه بر موقعیت تکتونیکی و جریان‌های اقیانوسی، چرخه‌های میلانکوویچ با تاثیر بر میزان تابش خورشید تاثیر بسزایی بر شرایط آب و هوایی و در نهایت پارامترهای ژئوشیمی و ژئوفیزیکی توالی‌های رسوبی گذاشته‌اند [۵، ۱۸، ۴۶، ۶۵].

در این مطالعه روند تغییرات سطح آب دریا و نرخ رسوبگذاری در سازند ایلام ثابت نبوده است. براساس نتایج به دست آمده، افزایش و کاهش این دو پارامتر با تغییرات آب و هوایی و چرخه‌های میلانکوویچ در ارتباط هستند. نمودارهای به دست آمده از آنالیزهای طیفی، فوریه و موجک نشان می‌دهند که چرخه‌های حرکت گریز از مرکز طولانی مدت نسبت به چرخه‌های دیگر نقش بیشتری در تغییرات ذکر شده داشته‌اند. در چاه A، براساس روش ضریب همبستگی میانگین نرخ رسوبگذاری ۴ سانتی‌متر در هر هزار سال محاسبه شده است. در روش‌های طیف‌نگار ضریب همبستگی تکاملی و لحظه‌های طیفی که تغییر نرخ رسوبگذاری همزمان با تغییرات عمق سازند ایلام نمایش داده می‌شود، در اعماق ۴۳۲۰-۴۳۱۵ متری یک روند افزایشی در نرخ رسوبگذاری مشاهده می‌شود. به سمت بالای سازند ایلام، نرخ رسوبگذاری در روش لحظه‌های طیفی تا عمق ۴۲۸۷ متری تقریباً ثابت بوده (۴/۵ - ۴ سانتی‌متر در هر هزار سال) اما ناگهان کم شده و در بالای سازند دوباره افزایش نشان داده است. در روش طیف‌نگار ضریب همبستگی تکاملی، در عمق ۴۲۹۵ متری نیز یک روند افزایشی اندک نشان داده شده است، اگرچه در این روش نیز مقادیر نرخ رسوبگذاری نوسانات کمی (۴/۵ - ۴ سانتی‌متر در هر هزار سال) داشته است. تطابق این نمودارها با نمودار مدل نویز رسوبی در چاه A نشان می‌دهد که در اعماقی که سطح آب دریا کاهش یافته است، میزان نرخ رسوبگذاری نیز افزایش داشته است. این مساله در بخش بالایی سازند ایلام (مرز سازند ایلام و گورپی) با توجه به افزایش ورود رسوبات وارده به حوضه در زمان کاهش سطح آب دریا به علت افزایش فرسایش و هوازدگی قابل توجیه است. در چاه B، با توجه به آنالیز ضریب همبستگی، میانگین نرخ رسوبگذاری ۴-۵/۵ سانتی‌متر در هر هزار سال محاسبه شده است. در نمودارهای به دست آمده از آنالیزهای طیف‌نگار ضریب همبستگی تکاملی و لحظه‌های طیفی نرخ رسوبگذاری در اعماق ۴۲۶۰، ۴۲۵۰ و ۴۲۴۰ متری افزایش نشان داده است. در این چاه نیز انطباق نتایج نرخ رسوبگذاری با مدل نویز رسوبی بطور قابل توجهی بیانگر افزایش نرخ رسوبگذاری همزمان با پسروری سطح آب دریا می‌باشد. در شکل ۷ مدل نویز رسوبی سازند ایلام در چاه‌های A و B با منحنی جهانی سطح آب دریاها در کرتاسه بالایی [۲۳، ۳۰] مقایسه شده است. براساس نمودار کوپر [۲۳] منحنی جهانی سطح آب دریاها در سانتونین یک روند کاهشی و براساس نمودار هک [۳۰] دو روند کاهشی در این بازه زمانی اتفاق افتاده است. بنابراین همانطور که در تصویر نشان داده شده است، کاهش سطح آب دریا در اعماق ذکر شده در سازند ایلام با کاهش موقتی سطح آب دریا در بخش‌هایی از سانتونین مطابقت دارد. تلفیق داده‌های به دست آمده از این مطالعه با یافته‌های پژوهش‌های پیشین [۱۴، ۲۳، ۲۶، ۳۰] نشان می‌دهد که رسوبگذاری سازند ایلام تا حد زیادی با رویدادهای تکتونیکی و نوسانات جهانی سطح آب دریا مرتبط بوده است (شکل ۷). علاوه بر عوامل ذکر شده، براساس یافته‌های این مطالعه، چرخه‌های حرکت گریز از مرکز طولانی مدت نیز بر گرم شدن آب و هوای کرتاسه بالایی و نوسانات سطح آب دریا در زمان رسوبگذاری سازند ایلام موثر بوده‌اند. همچنین گسترش دریای کم عمق در این زمان که ناشی از رویدادهای تکتونیکی اواخر مزوزوئیک بوده است نقش زیادی در رسوبگذاری سازند ایلام داشته است.

۶- نتيجه گيري

نتايج به دست آمده از اين مطالعه به شرح زير بيان مي‌شوند:

- در اين پژوهش سازند ايلام به سن سانتونين (کرتاسه بالايي) در ميدان نفتي کوپال جهت بررسي مطالعات چينه‌نگاري چرخه‌اي، شناسايي چرخه‌هاي ميلانکوويچ و تاثير آنها بر رسوبگذاري اين سازند مورد ارزيابي قرار گرفته است. لاگ گاماي طيفي به عنوان يکي از قوي‌ترين شاخص‌هاي آب و هوايي تاثير اين چرخه‌ها بر روي رسوبات را به خوبي نمايان مي‌کند.

- استفاده از آناليزهاي مختلف بر روي لاگ گاماي طيفي نشان مي‌دهد که انواع چرخه‌هاي حرکت گريز از مرکز طولاني مدت، حرکت گريز از مرکز کوتاه مدت، حرکت انحرافي محور چرخش زمين و حرکت تقديمي محور زمين در زمان رسوبگذاري سازند ايلام موثر بوده‌اند. هر چند چرخه‌هاي حرکت گريز از مرکز طولاني مدت نقش بيشتري نسبت به چرخه‌هاي ديگر داشته‌اند.

- نرخ رسوبگذاري در سازند ايلام با استفاده از روش‌هاي مختلف محاسبه شده است. ميانگين نرخ رسوبگذاري در چاه‌هاي A و B به ترتيب ۴ سانتي‌متر در هر هزار سال و ۵/۵ - ۴ سانتي‌متر در هر هزار سال به دست آمده است. البته ميزان آن از پايين به بالا تغييرات مختلفی را نشان داده است.

- با در نظر گرفتن نرخ رسوبگذاري و چرخه‌هاي حرکت گريز از مرکز طولاني مدت، رسوبگذاري سازند ايلام در سانتونين در دو چاه مطالعه شده، در مدت زمان ۱/۳ - ۱/۱۸ ميليون سال به طول انجاميده است.

- بررسي تغييرات سطح آب دريا و نمودارهاي مربوط به نرخ رسوبگذاري نشان مي‌دهند که افزايش نرخ رسوبگذاري در سازند ايلام مطابق با دوره‌هاي کاهش سطح آب دريا بوده است.

- بطور کلي رسوبگذاري سازند ايلام تا حد زيادي متاثر از وجود چرخه‌هاي حرکت گريز از مرکز طولاني مدت، شرايط آب و هوايي کرتاسه بالايي، نوسانات جهاني سطح آب دريا و رويدادهاي تکتونيکي اين زمان بوده است.

تشکر و قدراني

از شرکت ملي مناطق نفت‌خيز جنوب جهت همکاري و در اختيار قرار دادن داده‌هاي مورد نياز تشکر مي‌شود. از داوران مقاله آقايمان دکتر افشين زهدی و دکتر حسين قنبرلو تشکر و قدرداني مي‌گردد.

منابع

- [۱] اسدي مهماندوستي، ا.، ۱۳۸۴، ژئوشيمي و دياژنز سازند ايلام در ميادين نفتي آب‌تيمور و منصوري و رخنمون تنگ رشيد کوه پيون، منطقه ايزه: پايان‌نامه کارشناسي ارشد، دانشگاه شهيد بهشتي، ۱۹۰ صفحه.
- [۲] اميدي، ر.، صادقي، ع.، حسيني برزي، م.، اکبري بس‌کلایه، ن.، ۱۳۹۷، زيست‌چينه‌نگاري سازندهاي سروک و ايلام در ميدان نفتي آب‌تيمور (چاه‌هاي شماره ۱ و ۱۴): فصلنامه زمين‌شناسي ايران، شماره ۱۲، صفحه ۹۲-۷۵.

- [۳] ذاکری، م.، ۱۳۹۳، تعیین گونه‌های سنگی مخزن بنگستان در میدان نفتی کوپال با استفاده از تکنیک آنالیز خوشه‌ای: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۴۷ صفحه.
- [۴] رحمانی‌زاده، ح.، ۱۳۸۸، محیط رسوبی و ژئوشیمی سازند ایلام در کوه سورگه و مقایسه آن با برش سیاه‌کوه (ایلام): پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۰۳ صفحه.
- [۵] عباساقی، ف.، محبوبی، ا.، موسوی حرمی، ر.، آورجانی، ش.، ۱۳۹۴، کاربرد آنالیز طیفی در چینه‌نگاری سکانسی و تعیین چرخه‌های میلانکوویچ در سازند سروک در میدان کوپال: رسوب‌شناسی کاربردی، شماره ۵، صفحه ۷۰-۵۴.
- [۶] غریبی و رزقانی، س.، ۱۳۹۳، میکروفاسیس، محیط رسوبی و ژئوشیمی سازند ایلام در میدان نفتی آزادگان: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهیدبهشتی، ۲۱۷ صفحه.
- [۷] فولادوند، ر.، ۱۴۰۱، چینه‌نگاری سکانسی، تاریخچه رسوبگذاری، دیاژنز و مدلسازی هتروژنیته سازند ایلام در برخی از میداین بخش جنوبی فروافتادگی دزفول شمالی: رساله دکترا، دانشگاه شهیدبهشتی، ۲۴۲ صفحه.
- [۸] فلاوند، ه.، ۱۳۸۱، مطالعه تکمیلی زمین‌شناسی مخزن بنگستان میدان کوپال. گزارش منتشر نشده شماره ۵۲۵۴. ۲۱۰ صفحه.
- [۹] محمدخانی، ی.، ۱۳۹۷، بررسی خواص مخزنی و اشباع سیالات سازند ایلام در میدان نفتی کوپال: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گچساران، ۱۰۱ صفحه.
- [۱۰] مطیعی، ه.، ۱۳۷۲، زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس: انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، طرح تدوین کتاب، ۵۳۶ صفحه.

- [11] ADABI, M.H. and ASADI MEHMANDOSTI, E., 2008, Microfacies and Geochemistry of the Ilam Formation in the Tang-E Rashid Area, Izeh, SW Iran: *Journal of Asian Earth Sciences*, **33**, 267-277.
- [12] ADAMS, T.D., 1969, Asmari Formation of Lurestan and Khuzestan Provinces, Iranian Oil Operation Company, Geological and Exploration Division: Interior report No 1154: 88p.
- [13] AGARD, P., OMRANI, J., JOLIVET, L. and MOUTHEREAU, F., 2005, Convergence history across Zagros (Iran): Constraints from collisional and earlier deformation: *International Journal of Earth Science*, **94**, 401-419.
- [14] ALAVI, M., 1994, Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations: *Tectonophysics*, **229**, 211-228.
- [15] AQRAWI, A.A.M., GOFF, J.C., HORBURY, A.D. and SADOONI, F.N., 2010, The Petroleum Geology of Iraq: Scientific Press Ltd. 424 pp.
- [16] BAHK, J.J., UM, I.K., YI, B.Y. and YOO, D.G., 2015, Paleooceanographic implications and cyclostratigraphy of variations in well-log data from the western slope of the Ulleung Basin, East Sea: *Quaternary International*, **392**, 58-68.
- [17] BAILEY, R.J., 2009, Cyclostratigraphy reasoning and orbital time calibration: *Terra Nova*, **21**, 340-351.
- [18] BECKMANN, B., FLOGEL, S., HOFMANN, P., SCHULZ, M. and WAGNER, T., 2005. Orbital forcing of Cretaceous River discharge in tropical Africa and ocean response: *Nature*, **437**, 241-244.
- [19] BERBERIAN, M., 1995, Master blind thrust faults hidden under the Zagros Folds: active basement tectonics and surface morphotectonics: *Tectonophysics*, **241**, 193-224.
- [20] CARMINATI, E., ALDEGA, L., TRIPPETTA, F., SHABAN, A., NARIMANI, H. and SHERKATI, S., 2014, Control of folding and faulting on fracturing in the Zagros (Iran): the Kuh-e-Sarbalesh anticline: *Journal of Asian Earth Sciences*, **79**, 400-414.

- [21] CHEN, D.Z. and TUCKER, M.E., 2003, The Frasnian-Famennian mass extinction: Insights from high-resolution sequence stratigraphy in South China: *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, **193**, 87-111.
- [22] CHIU, J.K., CHUNG, S.L., ZARRINKOUB, M.H., MOHAMMADI, S.S., KHATIB, M.M. and IIZUKA, Y., 2013, Zircon U–Pb age constraints from Iran on the magmatic evolution related to Neotethyan subduction and Zagros orogeny: *Lithos*, **162–163**, 70–87.
- [23] COOPER, M.R., 1977, Eustasy during the Cretaceous; its implication and importance: *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, **22**, 1-60.
- [24] FALAHATKHAH, O., KADKHODAEI, A., CIABGHODSI, A.A. and LI, M., 2021, Cyclostratigraphy of the Lower Triassic Kangan Formation in the Salman gas field, eastern Persian Gulf, Iran: *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, **561**, 110045.
- [25] FÖLLMI, K.B., 2012, Early Cretaceous life, climate and anoxia: *Cretaceous Research*, **35**, 230-257.
- [26] GEALEY, W.K., 1988, Plate tectonic evolution of the Mediterranean Middle East region: *Tectonophysics*, **155**, 285-306.
- [27] GOLONKA, J., 2000, Cambrian-Neogene plate tectonic in maps. Wydawnictwa Uniwersytetu Jagiellonskiego, Krakow. Provenance: the Cyprus case: *Journal of Geology*, **108**, 199-218.
- [28] GOLONKA, J., 2004, Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic: *Tectonophysics*, **381**, 235-273.
- [29] GRADSTEIN, F.M. and SHERIDAN, R.E., 1983, On the Jurassic Atlantic Ocean and a synthesis of results of deep-sea drilling project Leg 76: In: SHERIDAN, R.E. and GRADSTEIN, F.M. (Eds.), 1983, *Initial reports of the deep-sea drilling project*, 76, 913-943.
- [30] HAQ, B.U., 2014, Cretaceous eustasy revisited: *Global and Planetary Change*, **113**, 44-58.
- [31] HAY, W.W., 2011, Can Humans Force a Return to a “Cretaceous” Climate?: *Sedimentary Geology*, **235**, 5-26.
- [32] HEYDARI, E., 2008, Tectonics versus eustatic control on supersequences of the Zagros Mountains of Iran: *Tectonophysics*, **451**, 56–70.
- [33] HILGEN, F.J., AZIZ, H.A., KRIJGSMAN, W., RAFFI, I. and TURCO, E., 2003, Integrated stratigraphy and astronomical tuning of the Serravallian and lower Tortonian at Monte Dei Corvi (Middle- Upper Miocene, northern Italy): *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, **199**, 229-264.
- [34] HINNOV, L.A., 2004, Earth’s orbital parameters and cycle stratigraphy: In: GRADSTEIN, F.M., OGG, J.G. and SMITH, A.G. (Eds.), *A Geological Time Scale 2004*. Cambridge University Press, Cambridge, 55-62.
- [35] JIN, S., LIU, S., LI, Z., CHEN, A. and MA, C., 2022, Astrochronology of a middle Eocene lacustrine sequence and sedimentary noise modeling of lake-level changes in Dongying Depression, Bohai Bay Basin: *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, **585**, 110740.
- [36] KALVODA, J.O., BABEK, F.X., DEVUYAST, G.S. and SEVASTOPOLO, G., 2011, Biostratigraphy, sequence stratigraphy and gamma-ray spectrometry of the Tournaisian-Visean boundary interval in the Dublin Basin: *Bulletin of Geosciences*, **86**, 683-706.
- [37] KELLER, G., 2008, Cretaceous climate, volcanism, impacts, and biotic effects: *Cretaceous Research*, **29**, 754-771.
- [38] KODAMA, K.P. and HINNOV, L., 2015, *Rock Magnetic Cyclostratigraphy*: Wiley-Blackwell, Oxford, 176.
- [39] LASKAR, J., ROBUTEL, P., JOUTEL, F., GASTINEAU, M., CORREIA, A.C.M. and LEVRARD, B., 2004, A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth: *Astron Astrophys*, **428**, 261-285.

- [40] LI, M., HINNOV, L.A., HUANG, C. and OGG, J.G., 2018a, Sedimentary noise and sea levels linked to land–ocean water exchange and obliquity forcing: *Nature Communications*, **9**, 1004.
- [41] LI, M., KUMP, L.R., HINNOV, L.A. and MANN, M.E., 2018c, Tracking variable sedimentation rates and astronomical forcing in Phanerozoic paleoclimate proxy series with evolutionary correlation coefficients and hypothesis testing: *Earth and Planetary Science Letters*, **501**, 165-179.
- [42] LI, M., HINNOV, L. and KUMP, L., 2019b, Acycle: time-series analysis software for paleoclimate research and education: *Computers and Geosciences*, **127**, 12–22.
- [43] MAYER, H. and APPEL, E., 1999, Milankovitch cyclicity and rock-magnetic signatures of palaeoclimate change in the Early Cretaceous Biancone Formation of the Southern Alps, Italy: *Cretaceous Research*, **20**, 189-214.
- [44] MEHRABI, H., NAVIDTALAB, A., ENAYATI, A. and BAGHERPOUR, B., 2022, Age, duration, and geochemical signatures of paleo-exposure events in Cenomanian-Santonian sequences (Sarvak and Ilam formations) in SW Iran: Insights from carbon and strontium isotopes chemostratigraphy: *Sedimentary Geology*, **434**, 106136.
- [45] METZNER, N., NIEBUHR, B., PURNER, T. and WILMSEN, M., 2023, Chemostratigraphy of the lower Danubian Cretaceous Group (Cenomanian-lower Turonian, Bavaria, SE Germany)- A new carbon isotope reference curve and inter-basinal correlation: *Cretaceous Research*, **149**, 105568.
- [46] MEYERS, S.R., SAGEMAN, B.B. and ARTHUR, M.A., 2012, Obliquity forcing of organic matter accumulation during Oceanic Anoxic Event 2: *Paleoceanography*, **27**, 1–19.
- [47] MILANKOVICH, M., 1941, Kanon der Erdbestrahlungen und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem. Royal Serbian Academy, Section of Mathematical and Natural Sciences 33, Belgrade.
- [48] MOHAJJEL, M., FERGUSSON, C.L. and SAHANDI, M.R., 2003, Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran: *Journal of Asian Earth Sciences*, **21**, 397-412.
- [49] NAJAFI, M., VERGES, J., ETEMAD-SAEED, N. and KARIMNEJAD, H.R., 2018, Folding, thrusting and diapirism: Competing mechanisms for shaping the structure of the north Dezful Embayment, Zagros, Iran: *Basin Research*, **30**, 1200-1229.
- [50] NAJAFI, M., BEAMUD, E., RUH, J., MOUTHEREAU, F., TAHMASBI, A., BERNAOLA, G., YASSAGHI, A., MOTAMEDI, H., SHERKATI, S., HASAN GOODARZI, M.G. and VERGES, J., 2020, Pliocene growth of the Dowlatabad syncline in frontal Fars arc: Folding propagation across the Zagros Fold Belt, Iran: *Geological Society of America Bulletin*, **133**, 1381-1403.
- [51] NAVIDTALAB, A., SARFI, M., ENAYATI-BIDGOLI, A. and YAZDI-MOGHADAM, M., 2020, Syn-depositional continental rifting of the Southeastern Neo-Tethys margin during the Albian-Cenomanian: evidence from stratigraphic correlation: *International Geology Review*, **62**, 1698-1723.
- [52] OMIDPOUR, A., MOUSSAVI-HARAMI, R., MAHBOUBI, A. and RAHIMPOUR-BONAB, H., 2021, Application of stable isotopes, trace elements and spectral gamma-ray log in resolving high-frequency stratigraphic sequences of a mixed carbonate-siliciclastic reservoirs: *Marine and Petroleum Geology*, **125**, 104854.
- [53] OMIDVAR, M., MEHRABI, H., SAJADI, F., BAHRAMIZADEH-SAJJADI, H., RAHIMPOUR-BONAB, H. and Ashrafzadeh, A., 2014, Revision of the foraminiferal biozonation scheme in Upper Cretaceous carbonates of the Dezful Embayment, Zagros, Iran: integrated palaeontological, sedimentological and geochemical investigation: *Revue de Micropaleontologie*, **57**, 97–116.
- [54] QIU, R., FANG, L., LU, Y., CHEN, Y., HUANG, R., LEI, W., ZHANG, P. and LI, M., 2023, Cyclostratigraphy of the Lower Jurassic (Toarcian) terrestrial successions in the Sichuan Basin, southwestern China: *Journal of Asian Earth Sciences*, **250**, 105617.

- [55] SCOTCHMAN, J.I., PICKERING, K.T., SUTCLIFFE, C., DAKIN, N. and ARMSTRONG, E., 2015, Milankovitch cyclicity within the middle Eocene deep-marine guaso system, Ainsa Basin, Spanish Pyrenees: *Earth Science Reviews*, **144**, 107-121.
- [56] SEPEHR, M. and COSGROVE, J.W., 2004, Structural framework of the Zagros Fold–Thrust Belt, Iran: *Marine and Petroleum Geology*, **21**, 829-843.
- [57] SHARLAND, P.R., ARCHER, R., CASEY, D.M., DAVIES, R.B., HALL, S.H., HEWARD, A.P., HORBURY, A.D. and SIMMON, M.D., 2001, Arabian Plate sequence stratigraphy. *GeoArabia*, **2**, 371.
- [58] SHERKATI, S. and LETOUZEY, J., 2004, Variation of Structural Style and Basin Evolution in the Central Zagros (Izeh Zone and Dezful Embayment) Iran: *Marine and Petroleum Geology*, **21**, 535-554.
- [59] SINNESAEEL, M., ZIVANOVIC, M., DE VLEESCHOUWER, D. and CLAEYS, P., 2018, Spectral Moments in Cyclostratigraphy: Advantages and Disadvantages compared to more classic Approaches: *Paleoceanography and Paleoclimatology*, **33**, 493-510.
- [60] STAMPFLI, G.M. and BOREL, G.D., 2002, A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons: *Earth and Planetary Science Letters*, **196**, 17–33.
- [61] TAJMIR RIAHI, Z., SARKARINEJAD, K., FAGHIH, A., SOLEIMANY, B. and PAYROVIAN, G.R., 2021, Impact of inversion tectonics on the spatial distribution of hydrocarbon traps in the NW Persian Gulf and southern Dezful Embayment, SW Iran: *Marine and Petroleum Geology*, **134**, 105364.
- [62] TALBOT, C.J. and ALAVI, M., 1996, The past of a future syntaxis across the Zagros: In: ALSOP, G.I., BLUNDELL, D.J. and DAVISON, I., (Eds.), 1995, Salt Tectonics. *Geological Society, London*, 89–109.
- [63] THOMSON, D.J., 1982, Spectrum estimation and harmonic analysis: *Proceedings of the IEEE*, **70**, 1055–1096.
- [64] TORRENCE, C. and COMPO, G.P., 1998, A practical guide to wavelet analysis: *Bulletin of the American Meteorological Society*, **79**, 61-78.
- [65] WEI, X., DENG, Y., YAN, D., LOU, E., JIANG, P., ZHOU, J., HUANG, H., ZHANG, B., FU, H. and GONG, Y., 2023, Organic matter enrichment in Asia’s palaeolake controlled by the early and middle Eocene global warming and astronomically driven precessional climate: *Marine and Petroleum Geology*, **154**, 106342.
- [66] WYGRALA, B.P., 1989, Integrated study of an oil field in the southern Po basin, northern Italy, Köln: Ph. D dissertation, University of Köln, 217.
- [67] WYND, J., 1965, Biofacies of the Iranian Consortium Agreement Area. Iranian Oil Corporation Companies. Geological and Exploration Division.
- [68] ZEEDEN, C., ULFERS, A., PIERDOMINICI, S., SARDAR ABADI, M., VINNEPAND, M., GRELLE, T., HESSE, K., LEU, K. and WONIK, T., 2023, Downhole logging data for time series analysis and cyclostratigraphy. *Earth-Science Reviews*, **241**, 104436.
- [69] ZHANG, T., ZHANG, C., FAN, T., ZHANG, L., ZHU, R., TAO, J. and LI, M., 2020, Cyclostratigraphy of Lower Triassic successions in the Junggar Basin, northwestern China: *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, **539**, 109493.

Examination of climatic orbital changes and sedimentation rate in the Ilam Formation in the Kupal oilfield, Dezful Embayment

Forough Abasaghi^{1*}, Armin Omidpour²

1 PhD Sedimentology and sedimentary Petrology, Department of Geology, University of Ferdowsi of Mashhad, Mashhad, Iran

2 PhD Sedimentology and sedimentary Petrology, National Iranian South Oil Company, Ahvaz, Iran

*saghi0631@yahoo.com

Received: October 2023, Accepted: October 2023

Abstract

Carbonate successions are considered archives for recording the palaeoclimatic proxies and so they are suitable for understanding climatic patterns and identifying the Milankovitch cycles and cycles's impacts on sea-level changes during Phanerozoic. In the current study, the carbonate successions of the Ilam Formation (Santonian) and their spectral gamma-ray data were chosen to identify the cycles and influencing factors on the sedimentation in the Kupal oilfield in the Dezful Embayment, southwest of Zagros mountains. According to available evidence, all of Milankovitch cycles contributed to changes in climatic conditions simultaneously with development of the Ilam Formation, however, the long Eccentricity cycles were dominant and have played a greater role in this issue. The sedimentation rate was estimated at 4-5.5 cm/kyr on average in the Ilam Formation. Considering the sedimentation rate and number of identified long Eccentricity cycles, it could be said the deposition in the Ilam Formation lasted in 1.13-1.8 Ma. Our results indicate that the relative sea-level changes in the studied wells correspond to the eustatic sea level. The deposition process in the Ilam Formation was largely affected by the performance of long Eccentricity cycles, eustatic sea level, and tectonic events during the Upper Cretaceous.

Keywords: Ilam Formation, Zagros, Santonian, Milankovitch cycles, sedimentation rate