

سیکلواستراتیگرافی سازند آب‌دراز در خاور حوضه کپه‌داغ و تأثیر چرخه‌های میلانکوویچ

لیلی فاتح بهاری^۱، محمد حسین محمودی قرائی^۱، اسداله محبوبی^{۱*} و رضا موسوی حرمی^۱

^۱ گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۷/۲۰

چکیده

سازند آب‌دراز (تورونین - سانتونین) یک توالی مارنی - کربناتی با سه واحد سنگ آهک گل سفیدی - مارن آهکی است. این سازند در حوضه رسوبی کپه‌داغ از گسترش چشمگیری برخوردار است. چرخه‌های آهک گل سفیدی - مارن آهکی یکی از اشکال ویژه رخساره کربناتی در این سازند است که به شکل ریتمیک در مقیاس دسی متر تا متر واحدهای گل سفیدی را تشکیل می‌دهند. طبقات آهک گل سفیدی حاوی ۸۰-۹۵ درصد و طبقات مارن آهکی دارای ۶۵-۸۰ درصد کربنات هستند و در صحرا به صورت تناوبی از لایه‌های تیره و روشن رخمون دارند. واحدهای آهک گل سفیدی و مارن آهکی سازند آب‌دراز در دو برش سطح‌الارضی حمام‌قلعه و پادها و چاه شماره ۵۶ خانگیران مورد مطالعه قرار گرفته است. در بررسی‌های تحت‌الارضی سه بسامد چیره بر اساس نمودار پرتو گاما شناسایی شده است که بر اساس سه چرخه ۲۱-۲۳ هزار ساله (Precession)، ۱۰۰ هزار ساله (Eccentricity) و ۴۱۳ هزار ساله (Long Eccentricity) میلانکوویچ است. سن سنجی مداری بر اساس شمارش چرخه‌های Eccentricity با سن به دست آمده از داده‌های زیست‌چینه‌نگاری همخوانی دارد. این چرخه‌ها با نمودار تغییرات درصد کربنات در نمونه‌های سطح‌الارضی حمام‌قلعه و پادها نیز قابل تطبیق است.

کلیدواژه‌ها: سازند آب‌دراز، سیکلواستراتیگرافی، چرخه‌های میلانکوویچ

* نویسنده مسئول: اسداله محبوبی

E-mail: amahboobi2001@yahoo.com

۱- مقدمه

رسوبات ریتمیک یکی از جالب‌ترین ویژگی‌ها در سنگ‌های کربناتی است که در محیط‌های دریایی پلاژیک تا همی پلاژیک، سکوه‌های کربناته دریایی کم‌ژرفا، لاگون و محیط‌های دریاچه‌ای تشکیل می‌شود (Einsle et al., 1991). اگر چه این رسوبات در تمام دوره‌های زمین‌شناسی دیده می‌شود، اما گسترش آنها در کرتاسه نسبت به دیگر دوره‌ها بیشتر است (Westphal, 2006). چرخه‌های سنگ آهک گل سفیدی - مارن آهکی در مقیاس‌های سانتی متر تا متر و به صورت تناوب لایه‌های غنی و فقیر از کربنات از اشکال فراوان در سنگ‌های مزوزویک بویژه در سنگ‌های پلاژیک و همی پلاژیک کرتاسه است (Wendler et al., 2002). اگر چه هنوز سازوکار تشکیل این چرخه‌ها به درستی شناخته نشده است، اما شماری از آنها به تغییرات مداری زمین یا چرخه‌های میلانکوویچ نسبت داده شده‌اند (Weber et al., 2001; Wendler et al., 2002). تغییرات منظم در هندسه چرخش زمین و مدار آن به دور خورشید که باعث نوسانات آب‌وهوایی و چرخه‌های منظم رسوبی کوچک مقیاس می‌شود، مبنای مطالعه سیکلواستراتیگرافی و چرخه‌های میلانکوویچ است (برای مثال Yilmaz et al., 2010; Yilmaz, 2008).

تغییرات مداری بر اساس دوره‌های زمانی به سه شکل Eccentricity (کم و بیش ۹۵۰۰۰ ساله و همچنین در دوره‌های ۴۰۰ هزار ساله، ۱۳۰۰ هزار ساله و دو میلیون ساله)، Obliquity (حدود ۴۴۰۰۰ ساله) و Precession (بین ۱۹ تا ۲۳ هزار سال) تقسیم می‌شود (De Boer & Smith, 1994; House & Gale, 1995; Skelton et al., 2003). تغییر در پارامترهای مداری زمین سبب تغییر در جریان تابش خورشید و ایجاد الگوهای پیچیده آب و هوایی شده و می‌تواند روی رسوبات تأثیر بگذارد (Hennebert et al., 2009). افزون‌بر آن، می‌تواند منجر به ذوب و انجماد یخ‌ها و نوسانات سطح آب دریا شده و با تأثیر بر فرایندهای هوازدگی و فرسایش، طبیعت و سرعت رسوبگذاری را نیز تغییر دهد (House & Gale, 1995). از سوی دیگر با استفاده از چرخه‌های مرتبه پنجم (Fifth Order) که در ارتباط با مدار اربیتال زمین هستند و دقت بالایی نیز دارند (Williams et al., 2002; Gradstein & Ogg, 2004) و تلفیق آن با داده‌های زیست‌چینه‌نگاری، می‌توان چارچوب دقیقی از زمان در

توالی‌های رسوبی ارائه کرد (Fiet et al., 2001; Abdul Aziz et al., 2004).

با توجه به این که تناوب سنگ آهک گل سفیدی و مارن آهکی با مقیاس‌های دسی متر تا متر در سازند آب‌دراز از گسترش خوبی برخوردار است، از این رو، هدف از انجام این تحقیق، مطالعه شرایط رسوبگذاری این زوج لایه‌ها و بررسی تأثیرات احتمالی چرخه‌های میلانکوویچ بر تشکیل آنها است.

۲- موقعیت زمین‌شناسی

در این پژوهش، سازند آب‌دراز در دو برش سطح‌الارضی پادها و حمام‌قلعه و چاه شماره ۵۶ خانگیران در خاور حوضه کپه‌داغ بررسی شده است (شکل ۱). برش حمام‌قلعه با مختصات "۳۵' ۵۶" عرض شمالی و "۰۱' ۴۶' ۵۹" طول خاوری و ستبرای ۵۱۷/۵ متر، در مسیر جاده مشهد - کلات در فاصله ۲۰ کیلومتری شهرستان کلات واقع شده است. برش پادها با مختصات "۳۰' ۰۵' ۳۶" عرض شمالی و "۱۶' ۴۴' ۶۰" طول خاوری و ستبرای ۶۴۰/۵ متر، در مسیر جاده مشهد - سرخس در فاصله ۱۰ کیلومتری مزداوند قرار دارد. سازند آب‌دراز به صورت هم‌شیب بر روی ماسه‌سنگ‌های سازند ایتامیر و در زیر سازند آب‌تلخ قرار گرفته است. بر اساس مطالعه روزن‌بران، سن این سازند تورونین - سانتونین تعیین شده است (وحدتی‌راد، ۱۳۸۷; Kalantari, 1987). سازند آب‌دراز در هر دو برش دارای ۳ واحد سنگ آهک گل سفیدی است که توسط ستبرای قابل توجهی از رسوبات شیلی و مارنی از هم جدا می‌شوند. چاه شماره ۵۶ خانگیران نیز در عرض جغرافیایی "۳۱' ۳۳' ۳۶" و طول جغرافیایی "۲۶' ۴۹' ۶۰" واقع است. ستبرای سازند آب‌دراز در این چاه ۴۵۲ متر است.

۳- روش مطالعه

در این تحقیق، ابتدا نمونه‌های برداشت شده از رخمون‌های سطحی مورد مطالعه رسوب‌شناسی قرار گرفتند. مطالعه نمونه‌ها توسط میکروسکوپ‌های نوری و الکترونی روبشی (LEO 1450VP) در دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفته است. ۱۵۰ نمونه برداشت شده از تناوب چرخه‌های سنگ آهک گل سفیدی - مارن

هر دو برش مورد مطالعه بررسی شده و در شکل ۶ تنها تغییرات در برش حمام قلعه نشان داده شده است. در برش مورد مطالعه ستبرای رخساره‌های آهک گل سفیدی در مقایسه با ستبرای کل برش کم است (بین ۱۵ تا ۴۰ متر) در حالی که رخساره‌های مارنی ستبراهای بیشتری بین ۵۰-۳۰۰ متر دارند.

رخساره سیلیسی آواری به طور عمده از مارن و مقادیری شیل تشکیل شده است. مقدار کربنات این مارن‌ها از ۱۵-۶۵ درصد در تغییر است. مقادیر کمتر کربنات در رخساره مارنی نشان می‌دهد که میزان نسبی رسوبگذاری کربنات کاهش یافته و یا این که ورود آواری‌های دانه‌ریز در آن زمان افزایش یافته است.

افزون بر دو برش حمام قلعه و پادها، نمودار پرتو گاما در چاه شماره ۵۶ خانگیران نیز به منظور تعیین دقیق‌تر چرخه‌های مداری (orbital cycles)، مورد استفاده قرار گرفته است. به دلیل این که نمودار پرتو گاما، پراش‌های طبیعی عناصر رادیواکتیو در کانی‌ها از جمله پتاسیم، اورانیم و توریم را منعکس می‌کند و این عناصر بویژه پتاسیم در کانی‌های رسی و برخی تبخیری‌ها متداول هستند، لذا طبقات آهک گل سفیدی شدت کمتری در نمودار پرتو گاما نشان می‌دهند. در حالی که طبقات مارن آهکی به دلیل داشتن مقدار رس بیشتر (Cant, 1992) پرتو گاما بیشتری دارند (Liu, 2007) و بنابراین با توجه به این تفاوت از آنها می‌توان به طور گسترده برای تعیین چرخه‌ها استفاده کرد (Wendler et al., 2002; Scott et al., 2004; Weedon et al., 2004).

تناوب مارن آهکی - آهک در سازند آب‌دراز نشانه مستقیمی از تأثیر نیروهای مداری است به طوری که می‌تواند تغییرات شرایط آب و هوای دیرینه را در مزوزویک نشان دهد (Bellanca et al., 1996). تغییرات آب و هوایی تحت تأثیر نیروهای مداری و اختلافات فصلی حاصل از آنها منجر به تغییر در اجزای بیوژنیک (برای مثال Rodriguez-Tovar et al., 2010; Wendler et al., 2002) نوع و مقدار ذرات آواری و تغییر درصد فراوانی کربنات در آنها شده است. با تعیین بسامدهای چیره این چرخه‌ها و انطباق آنها با چرخه‌های مداری، می‌توان تغییرات نرخ رسوبگذاری در سازند آب‌دراز را با کیفیت هرچه بهتر نشان داد.

با توجه به سن تورونین تاسانتونین سازند آب‌دراز در برش حمام قلعه (وحدتی‌راد، ۱۳۸۷) که معادل ۱۰ میلیون است و ستبرای ۴۵۲ متری این سازند در چاه شماره ۵۶ خانگیران، میانگین نرخ رسوبگذاری بدون در نظر گرفتن میزان فشردگی در کل سازند، ۴۵/۲ متر در هر میلیون سال یا به عبارتی ۴/۵۲ سانتی متر در هر هزار سال برآورد می‌شود. بر اساس نمودار پرتو گاما، چرخه‌ها در سه مقیاس متفاوت تفسیر شده‌اند: چرخه‌های کوتاه مدت با بزرگی خیلی کم و ستبرای ۰/۸۸ تا ۱/۱۱ متر در هر چرخه؛ چرخه‌های میان مدت (متوسط) با بزرگی کم و ستبرای ۳/۸۴ تا ۵/۳۸ متر در هر چرخه و بالاخره چرخه‌های طولانی مدت با بزرگی بیشتر و ستبرای ۱۸ تا ۲۴ متر در هر چرخه. چرخه‌های کوتاه مدت از ۳ تا ۵ چرخه میان مدت (متوسط) تشکیل شده است. با استفاده از نرخ رسوبگذاری برآورد شده (۴/۵۲ سانتی متر در هر هزار سال)، این سه چرخه به ترتیب دوره‌های ۱۹/۵ تا ۲۴/۵ هزار ساله، ۸۴/۹ تا ۱۱۹ هزار ساله و ۳۹۸/۲ تا ۵۳۰/۹ هزار ساله را نشان می‌دهند که می‌تواند منطبق بر سه چرخه ۲۱ تا ۲۳ هزار ساله (Precession)، ۱۰۰ هزار ساله (Eccentricity) و ۴۱۳ هزار ساله (Long Eccentricity) میلانکوویچ باشد. افزون بر این، چرخه‌های Eccentricity، Precession و Long Eccentricity در نمودار پرتو گاما به طور دقیق شمارش شد تا از این داده‌ها برای زمان‌سنجی بر اساس سیکلو استراتیگرافی استفاده شود (شکل ۷). لازم به یادآوری است که چون چرخه Precession در هر چرخه از ستبرای بسیار کمی برخوردار است و به طور کلی چرخه کوتاه مدتی را شامل می‌شود لذا نمی‌توان روی شکل نشان داد، در صورتی که چرخه‌های Eccentricity و long Eccentricity به دلیل بلند مدت بودن و داشتن ستبرای بیشتر، قابل ارائه روی شکل هستند. به طور

آهکی (۷۶ نمونه در برش حمام قلعه و ۵۴ نمونه در برش پادها) به روش وزنی کلسی متری شده است. میزان کربنات یا به عبارت دیگر مقدار مواد غیر قابل حل (IR) در زوج لایه‌های آهک گل سفیدی - مارن آهکی در هر دو برش با شستشو توسط اسید کلریدریک ۱۰ درصد اندازه‌گیری شده است. IR به دست آمده از کلسی متری ۲۵ نمونه آهک گل سفیدی - مارن آهکی، برای تعیین اندازه ذرات و همچنین تعیین فراوانی رس و سیلت به روش Particle Analaizer در آزمایشگاه رسوب‌شناسی سازمان زمین‌شناسی دریایی ساری دانه‌سنجی شده و تغییرات نسبت رس به سیلت موجود در گل‌های کربناتی تعیین شده است. لازم به یادآوری است که به دلیل تشابه تجزیه‌ها در واحدهای گل سفیدی برش‌های مورد مطالعه، فقط کلسی متری واحد ۳ در هر دو برش سطح الارضی و دانه‌سنجی در برش حمام قلعه به تفصیل ارائه شده است. به منظور نمایش دقیق‌تر چرخه‌های رسوبی از نمودار پرتو گاما در چاه شماره ۵۶ خانگیران استفاده شده است و این داده‌ها با تغییرات مقدار کربنات در نمونه‌های سطح الارضی مقایسه شده‌اند. نرخ میانگین رسوبگذاری بر اساس دوره زمانی تورونین تا سانتونین و ستبرای سازند برآورد شده است. بسامدهای چیره در این سازند با استفاده از ستبرای هر پیک در نمودار پرتو گاما محاسبه و تمامی چرخه‌های Eccentricity، Precession و Long Eccentricity شمارش شده و برای زمان‌سنجی بر اساس سیکلو استراتیگرافی مورد استفاده قرار گرفتند. در این روش به منظور دقت بالای تفکیک بسامدهای چیره، ابتدا نمودار پرتو گاما ۱۰ برابر شده و پس از تفکیک چرخه‌ها (هر چرخه فاصله بین دو پیک یا بیشترین مقدار پرتو گاما در نظر گرفته شده است)، دوباره اندازه نمودار به وضعیت اولیه برگردانده شده است.

۴- بحث

سازند آب‌دراز دارای دو رخساره کربناتی و سیلیسی آواری است که به صورت متناوب رخمون دارند (شکل ۲). رخساره کربناتی شامل واحدهای گل سفیدی است که خود از تناوب چرخه‌های آهک گل سفیدی و مارن آهکی با ستبرای ۲۵ سانتی متر تا ۱ متر تشکیل شده است. این رخساره حاوی روزن‌بران پلانکتونیک و کف‌زی، استراکود و خرده‌های اینوسراموس، اکتینودرم، بریوزوآ و کلسی اسفر است. جلبک‌های قهوه‌ای - طلایی کوکولیتوفور و صفحات جداشده کلسیتی (کوکولیت) از دیگر اجزای تشکیل دهنده این رخساره است. طبقات آهک گل سفیدی به طور عمده پکستون - وکستون دارای کلسی اسفر (calcsphere packstone-wackestone) است (شکل ۳- الف) و از زیر رخساره‌های پکستون - وکستون اینوسراموس دار (شکل ۳- ب) و پکستون - وکستون فرامینی‌فردار (شکل ۳- ج) نیز تشکیل شده است. نمونه‌های آهک گل سفیدی و مارن آهکی در هر سه واحد آهک گل سفیدی مورد مطالعه در برش‌های حمام قلعه و پادها به ترتیب دارای ۸۰-۹۵ درصد و ۶۵-۸۰ درصد کربنات دارند. به دلیل شباهت تغییرات درصد فراوانی کربنات‌ها و مواد غیر قابل حل (IR) در این برش‌ها و به منظور جلوگیری از تکرار مطالب تنها واحد سوم آهک گل سفیدی در هر دو برش در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. طبقات آهک گل سفیدی به خاطر داشتن مواد کربناتی بیشتر در برابر هوازدگی مقاومتند و به رنگ سفید تا خاکستری روشن رخمون دارند در حالی که میان لایه‌های مارن آهکی حاوی سیلت و رس بیشتری بوده و در رخمون به رنگ خاکستری تیره دیده می‌شود. بر اساس بررسی‌های SEM اجزای تشکیل دهنده رسوبات گل سفیدی شباهت زیادی با رسوبات مارن آهکی دارند به طوری که هر دو اساساً دارای پوسته‌های نانوپلانکتون آهکی (شکل ۳- د)، داینوفلاژله‌های آهکی و روزن‌بران آهکی هستند و ذرات رسوبات آواری آنها به طور عمده رس و سیلت ولی با نسبت‌های متفاوت هستند. تغییرات IR و نسبت رس به سیلت موجود در رخساره کربناتی و مارنی در

مارن آهکی به نسبت فقیر از کربنات (۶۵-۸۰ درصد) است. مقادیر کمتر کربنات نشان می‌دهد که با رسوبگذاری کربنات کاهش یافته و یا این که ورود آواری‌های دانه‌ریز در آن زمان افزایش یافته است. اگر چه سازوکار تشکیل چرخه‌های آهک گل سفیدی- مارنی هنوز به درستی مشخص نشده است، اما با توجه به بررسی‌های سیکلواستراتیگرافی، تغییرات چرخه‌ای سازند آب‌دراز را می‌توان به چرخه‌های آشفتنگی مدار زمین یا چرخه‌های میلانکوویچ نسبت داد. سه بسامد چیره از روش نمودار پرتو گاما در سازند آب‌دراز تعیین شده است که نشان می‌دهد واحد آهک گل سفیدی- مارن آهکی این سازند در سه دوره ۲۱ تا ۲۳ هزار ساله (Precession)، ۱۰۰ هزار ساله (Eccentricity) و ۴۱۳ هزار ساله (long Eccentricity) میلانکوویچ تشکیل شده‌اند. با استفاده از زمان‌سنجی مدار و شمارش تعداد چرخه‌های نمودار پرتو گاما دوره زمانی ۱۰/۴-۱۰/۶ میلیون سال برای سازند آب‌دراز به دست آمد که با داده‌های سن‌سنجی زیست‌چینه‌نگاری قابل مقایسه است.

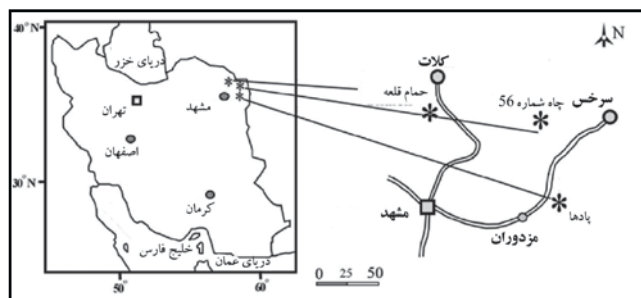
سپاسگزاری

از گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد به خاطر تأمین امکانات لازم و از شرکت نفت مناطق مرکزی ایران به سبب در اختیار گذاشتن داده‌های زیرسطحی قدردانی می‌شود.

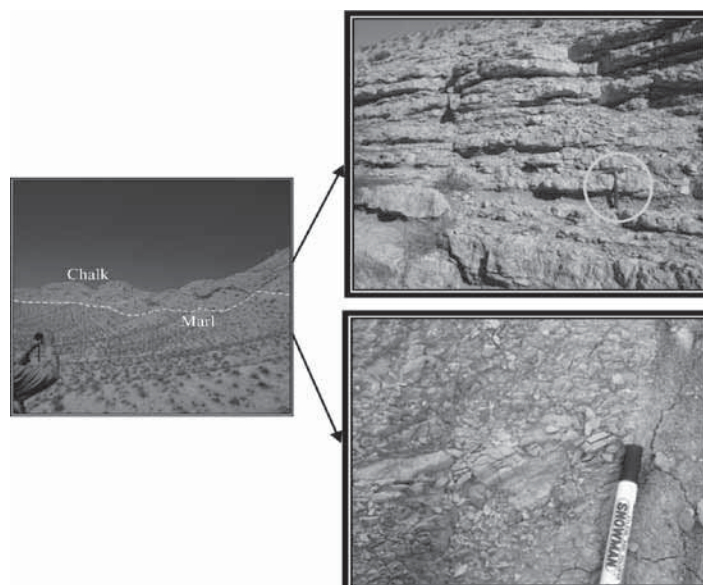
کلی ۲۶ چرخه Long Eccentricity و ۱۰۴ تا ۱۰۶ چرخه Eccentricity از ژرفای ۱۶۴۲ تا ژرفای ۱۱۹۰ تعیین شد. از آنجایی که هر چرخه با رده متوسط در طول یک چرخه ۱۰۰ هزار ساله (Eccentricity) نهشته می‌شود، بنابراین مدت زمان محاسبه شده از روش شمارش این چرخه‌ها در سازند مورد مطالعه حدود ۱۰/۴-۱۰/۶ میلیون سال برآورد می‌شود که با سن به دست آمده توسط داده‌های زیست‌چینه‌نگاری قابل مقایسه است (برای مثال Liu, 2007). لازم به یادآوری است که بسامدهای Obliquity با استفاده از داده‌های پرتو گاما قابل تشخیص نبوده است. افزون بر این که باید توجه داشت که Obliquity در عرض‌های جغرافیایی بالا تأثیر بیشتری بر شرایط آب و هوایی و در نتیجه تغییرات رسوبگذاری دارد ولی تأثیر آن در عرض‌های جغرافیایی پایین ناچیز است (Berger, 1978). در پایان، به این نکته نیز باید توجه داشت که از خطاهای اصلی این روش می‌توان به تعیین مرز چرخه‌ها و شمارش آنها اشاره کرد بویژه زمانی که چرخه‌ها به هم نزدیک می‌شوند (Williams et al., 2002).

۵- نتیجه‌گیری

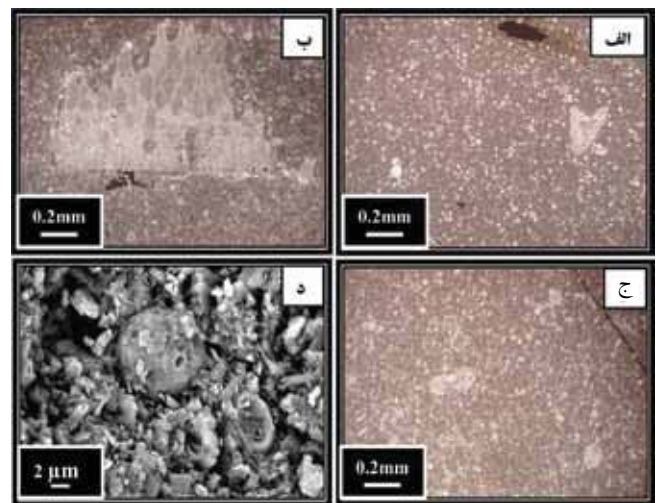
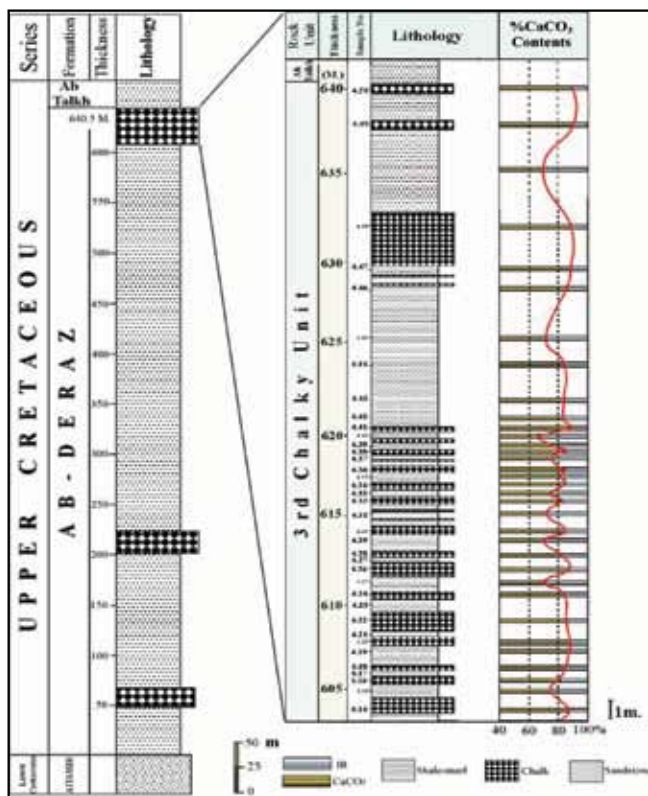
یکی از برجسته‌ترین اشکال رسوبگذاری در سازند آب‌دراز زوج لایه‌های آهک گل سفیدی- مارن آهکی در مقیاس متر تا دسی‌متر است. کلسی‌متری نمونه‌ها نشان می‌دهد که طبقات آهک گل سفیدی غنی از کربنات (۸۰-۹۵ درصد) و طبقات



شکل ۱- موقعیت برش‌های مورد مطالعه (حمام‌قلعه و پادها) و چاه شماره ۵۶ خانگیان در حوضه کپه‌داغ

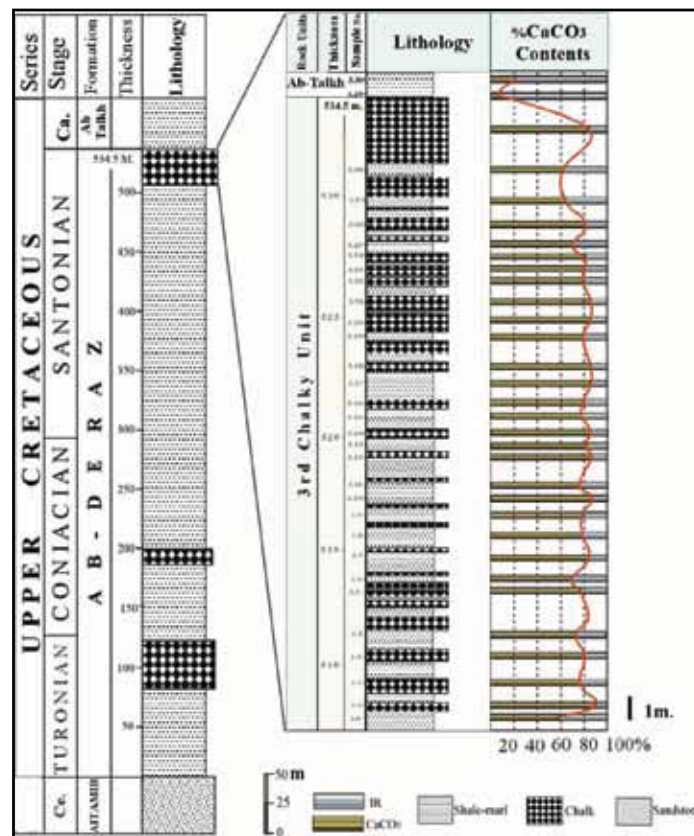


شکل ۲- رخنمون چرخه‌های منظم آهک گل سفیدی- مارن آهکی سازند آب‌دراز در برش پادها

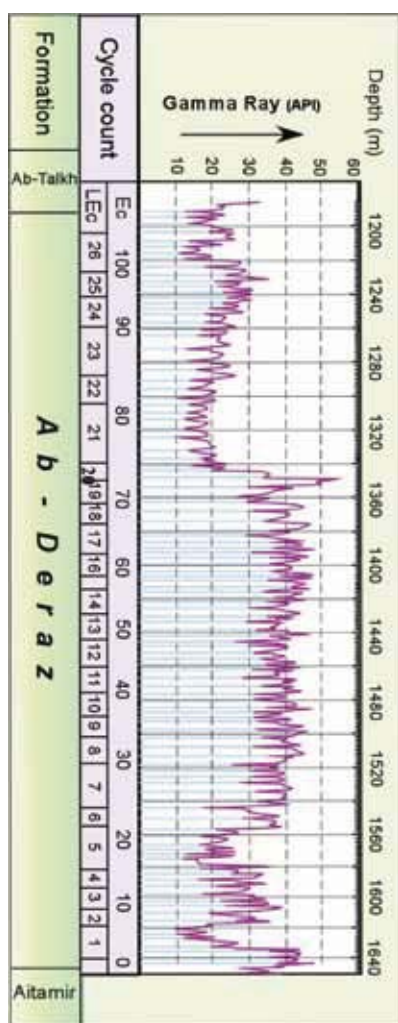


شکل ۳- الف) بکستون- و کستون دارای کلسی اسفرد، ب) بکستون- و کستون اینوسراموس دار، ج) بکستون- و کستون فرامینی فردار د) تصویر SEM از یک نمونه آهک گل سفیدی حاوی کوکولیتوفر و صفحات کوکولیت

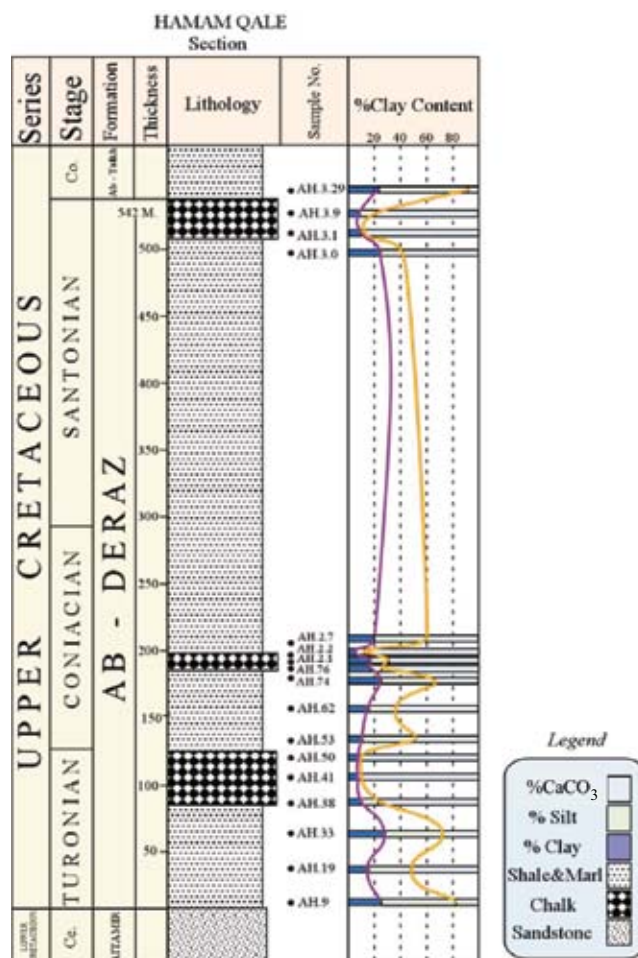
شکل ۴- تغییرات فراوانی مقدار درصد کربنات و مواد غیر قابل حل در واحد گل سفیدی ۳ (آهک گل سفیدی ۳) در برش پادها



شکل ۵- تغییرات فراوانی مقدار درصد کربنات و مواد غیر قابل حل در واحد گل سفیدی ۳ (آهک گل سفیدی ۳) در برش حمام قلعه



Ec. counting of eccentricity cycles.
LEc. counting of long eccentricity cycles



شکل ۶- تغییرات درصد رس و سیلت (مواد غیر قابل حل) در برش حمام قلعه

شکل ۷- شمارش چرخه‌های مداری سازند آب‌دراز با استفاده از پرتو گاما در چاه شماره ۵۶ خانگیران.

کتابنگاری

وحدتی راد، م.، ۱۳۸۷- بیواستراتیگرافی و تعیین محیط رسوبی سازند آب‌دراز در برش حمام قلعه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۷۸ صفحه.

References

- Abdul Aziz, H., Van Dam, J., Hilgen, F. J. & Krijgsman, W., 2004- Astronomical forcing in Upper Miocene continental sequences: implications for the Geomagnetic Polarity Time Scale, *Earth and Planetary Science Letters*, 222: 243-258.
- Bellanca, A., Claps, M., Erba, E., Masetti, D., Neri, R., Premoli Silva, I., Venezia, F., 1996- Orbitally induced limestone/marlstone rhythms in the Albian- Cenomanian Cison section (Venetian region, northern Italy); sedimentology, calcareous and siliceous plankton distribution, elemental and isotope geochemistry. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 126: 227- 260.
- Berger, A. L., 1978- Long-term variations of caloric insolation resulting from the Earth's orbital elements, *Quaternary Research*, 9: 139-167.
- Cant, D. J., 1992- Subsurface facies analysis. In: Walker, R.G. & James, N.P. (eds.) *Facies Models: Response to Sea Level Change*. Geological Association of Canada. PP 27-45.
- De Boer, P. L. & Smith, D. G., 1994- Orbital forcing and cyclic sequences, *Special Publication International Association Sedimentology*, 19: 1-14.

- Einsele, G., Ricken, W. & Seilacher, A., 1991- Cycles and Events in Stratigraphy, edition. Springer-Verlag, 955 p.
- Fiet, N., Beaudoin, B. & Parize, O., 2001- Lithostratigraphic analysis of Milankovitch cyclicity in pelagic Albian deposits of central Italy: implications for the duration of the stage and substages, *Cretaceous Research*, 22: 265-275.
- Gradstein, F. M. & Ogg, J. G., 2004- Geologic time scale 2004 - why, how and where next! *Lethaia*, 37: 175-181.
- Hennebert, M., Robaszynski, F. & Goolaerts, S., 2009- Cyclostratigraphy and chronometric scale in the Campanian – Lower Maastrichtian: the Abiod Formation at Elle` s, central Tunisia, *Cretaceous Research* 30: 325-338.
- House, M. R. & Gale, A. S., 1995- Orbital Forcing Timescale: an introduction. Geological Society Publication 85: 1-18.
- Kalantari, A., 1987- Biofacies relationship of the Kopet-Dagh region: Tehran, National Iranian Oil Company Exploration and Production Group, 1sheet.
- Liu, K., 2007-Sequence stratigraphy and orbital cyclostratigraphy of the Mooreville Chalk (SantonianCampanian), northeastern Gulf of Mexico area, USA, *Cretaceous Research*, 28: 405-418.
- Rodríguez-Tovar, F. J., Reolid, M. & Pardo-Iguízuza, E., 2010- Planktonic versus benthic Foraminifera response to Milankovitch forcing (Late Jurassic, Betic Cordillera): testing methods for cyclostratigraphic analysis, *Facies*, OI 10.1007/s10347-010-0216-2
- Scott, G. H., King, P. R. & Crundwell, M. P., 2004- Recognition and interpretation of depositional units in a Late Neogene progradational shelf margin complex, Taranaki Basin, New Zealand: foraminiferal data compared with seismic facies and wireline logs, *Sedimentary Geology*, 164: 55-74.
- Skelton, P. W., Spicer, R. B., Kelley, S. P. & Gilmour, L., 2003- The Cretaceous World, Cambridge University Press, 360 p.
- Weber, M. E., Fenner, J., Thies, A. & Cepek, P., 2001- Biological response to Milankovitch forcing during the late Albian (Kirchrode I borehole, northwestern Germany), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 174: 269-286.
- 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*, 161: 655-666.
- Wendler, J., Grafe, K.-U. & Willems, H., 2002- Reconstruction of mid- Cenomanian orbitally forced paleoenvironmental changes based on calcareous dinoflagellate cysts, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 179: 19-41.
- Westphal, H., 2006- Limestone–marl alternations as environmental archives and the role of early diagenesis: a critical review, *International Journal Earth Science*, 95: 947-961.
- Williams, T., Kroon, D. & Spezzaferri, S., 2002- Middle and upper Miocene cyclostratigraphy of downhole logs and short- to long-term astronomical cycles in carbonate production of the Great Bahama Bank, *Marine Geology*, 185: 75-93.
- Yilmaz, I. O., 2008- Cretaceous Pelagic Red Beds and Black Shales (Aptian _ Santonian), NW Turkey: Global Oceanic Anoxic and Oxidic Events, *Turkish Journal of Earth Sciences* 17, 263–296.
- Yilmaz, I. O., Altiner, D., Tekin, U. K., Tuysuz, O., Ocakoglu, F. & Acikalin, S., 2010- Cenomanian – Turonian Oceanic Anoxic Event (OAE2) in the Sakarya Zone, northwestern Turkey: Sedimentological, cyclostratigraphic, and geochemical records, *Cretaceous Research*, 31: 207-226.