

تحول رسوب‌شناختی، میکروفاسیس و حساسیت مغناطیسی (MS) نهشته‌های کربناتی پرمین در شمال ماکو (آذربایجان)

مبین ابراهیم‌نژاد*^۱، علی‌اصغر ثیاب‌قدسی^۲ و رامین نیکروز^۲

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تبریز، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

نویسنده مسئول: ebrahimnezhad_2008@yahoo.com

دریافت: ۹۲/۲/۳۱ پذیرش: ۹۳/۳/۲۴

چکیده

نهشته‌های کربناته پرمین در منطقه ماکو گسترش بیش‌تری از سایر نقاط ایران داشته و متشکل از سنگ‌های آهکی خاکستری تیره با ضخامت حدود ۹۲۶ متر می‌باشد. بر اساس مطالعات چینه‌نگاری سنگی، سه واحد سنگی (سنگ‌آهک‌های بلروفون‌دار، سنگ‌آهک‌های چرت‌دار و سنگ‌آهک‌های توده‌ای متبلور و دولومیتی) در نهشته‌های پرمین قابل تفکیک هستند و مطالعات بیوستراتیگرافی منجر به شناسایی چهار بیوزون گردیده که نشان‌دهنده‌ی سن (مورگابین - جلفین) برای این نهشته‌های کربناته در برش مورد مطالعه هستند. بر اساس مطالعات میکروسکوپی ۹ میکروفاسیس شناسایی شده که متعلق به یک محیط کربناته رمپ با زیر محیط‌های رمپ درونی، رمپ میانی و رمپ بیرونی هستند. مقادیر حساسیت مغناطیسی در این نهشته‌ها بین 10^{-6} SI تا 10^{-3} SI اندازه‌گیری شده و اغلب مقادیر منفی نشان می‌دهند. ادغام نتایج حاصل از مطالعات حساسیت مغناطیسی (MS)، چینه‌شناسی و میکروفاسیس نشان می‌دهد که نرخ کربنات‌زایی در زمان‌ها و محیط‌های رسوبی مختلف عامل اصلی در تغییرات حساسیت مغناطیسی در برش مورد مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: چینه‌شناسی، میکروفاسیس، حساسیت مغناطیسی، پرمین، ماکو، نهشته‌های کربناته

مقدمه

در این پژوهش، به منظور بررسی تغییرات حساسیت مغناطیسی، ابتدا چینه‌شناسی، میکروفاسیس‌ها و تکامل رسوب‌شناختی نهشته‌های کربناته پرمین را در برش مورد مطالعه بررسی و سپس تحول رسوب‌شناختی را با حساسیت مغناطیسی در اشکوب‌های شناسایی شده مقایسه گردید.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال استان آذربایجان غربی، در شمال شهر ماکو و در جنوب روستای آداغان، در شمال روستای علی‌آباد واقع شده است. از لحاظ جغرافیایی در محدوده $39^{\circ} 25' 7''$ N تا $39^{\circ} 20' 19''$ N و $44^{\circ} 32' 32''$ E تا $44^{\circ} 40' 2''$ E واقع شده است. راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه از طریق کمربندی ماکو (جاده ترانزیتی بازرگان) و جاده آسفالتی منشعب شده از آن به سمت روستای آداغان امکان‌پذیر است (شکل ۱). منطقه

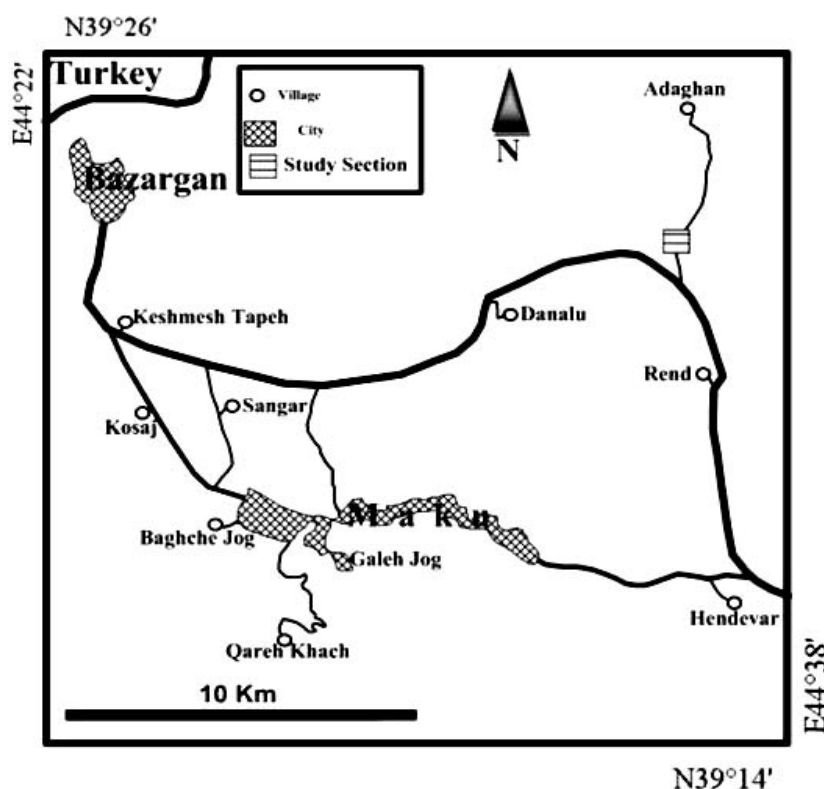
نهشته‌های پرمین در ایران به ویژه در البرز - آذربایجان برونزدهای گسترده‌ای دارند. در این زون، سه واحد سنگ‌چینه‌ای به نام‌های سازند دورود (در زیر)، روته (در وسط) و سنن (در بالا) معرف توالی‌های پرمین هستند. این سازندها هر یک به تنهایی یک چرخه رسوبی کامل هستند که میان دو سطح فرسایشی جای دارند. در بین سه سازند یاد شده، به ویژه در البرز باختری و آذربایجان، چرخه‌ی دوم پرمین (سازند روته به سن مورگابین) بیش‌ترین رخنمون را دارد و به نظر می‌رسد که در زمان رسوب‌گذاری سازند روته، دریای پرمین بیش‌ترین گسترش را داشته است [۳]. در منطقه ماکو، نهشته‌های کربناتی پرمین گسترش زیادی دارد که به منظور بررسی شرایط رسوب‌گذاری و شناخت ویژگی‌های رسوبی با استفاده از روش حساسیت مغناطیسی، برش مناسبی از این توالی انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفته است.

تفسیر آن‌ها بر مبنای Flügel [۱۱] و ارائه مدل رسوبی به روش Wilson [۲۴] و مقایسه با محیط‌های امروزی [۵] انجام شده است. اندازه‌گیری‌های حاصل از حساسیت مغناطیسی در دو مرحله صحرایی و آزمایشگاهی با استفاده از دستگاه SM20 صورت گرفته است. در مرحله صحرایی، MS سطح بدون هوازدگی سنگ‌ها اندازه‌گیری شده است و در مرحله آزمایشگاهی، تعداد ۷۰ نمونه برداشت شده در کارگاه سنگبری در اندازه‌های ۶۰×۶۰ میلی‌متر برش داده شده و MS آن‌ها اندازه‌گیری شده است [۱۳]. به منظور تعیین درصد کربنات کلسیم از کلسی‌متری به روش تیتراسیون استفاده شده است. در نهایت نتایج حاصل از این اندازه‌گیری‌ها با نتایج حاصل از مطالعات چینه‌شناسی و میکروفاسیس مقایسه و تفسیر شده‌اند.

مورد نظر، از لحاظ پهنه‌بندی رسوبی - ساختاری، در زون البرز- آذربایجان قرار می‌گیرد [۶].

مواد و روش‌ها

به منظور مطالعات چینه‌شناسی، میکروفاسیس و حساسیت مغناطیسی، برش مناسبی از نهشته‌های کربناتی پرمین در منطقه ماکو شناسایی و مورد مطالعه قرار گرفته است. برای دستیابی به اهداف مطالعه و تفسیر داده‌های حساسیت مغناطیسی، ابتدا چینه‌نگاری سنگی نهشته‌های پرمین در طی پیمایش‌های صحرایی مورد بررسی قرار گرفته و سپس برای تعیین سن نسبی توسط فرامینی‌فرهای فوزولیناتای شاخص، میکروفاسیس‌ها و محیط رسوبی برش مورد نظر، مقاطع میکروسکوپی حاصل از حدود ۷۰ نمونه سنگی برداشت شده به دقت مطالعه شده‌اند. انواع میکروفاسیس‌ها و



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

متر است که با مرز ناپیوستگی هم‌شیب در روی نهشته‌های دونین (سازند ایلانقره) قرار گرفته و با مرز ناپیوستگی زاویه‌دار توسط نهشته‌های الیگو-میوسن (سازند قم) پوشیده شده است (شکل ۲) [۲] اما در

نتایج و بحث

۱) چینه‌شناسی

نهشته‌های پرمین در منطقه مورد مطالعه متشکل از سنگ آهک‌های خاکستری تیره با ضخامت حدود ۹۲۶

بیوزن دوم با ناپدید شدن *Neoschwagerina simplex* به سن Early Murgabian آغاز می‌شود و با پیدایش *Sumatrina annae* به سن Early Midian به پایان می‌رسد. این بیوزن از ضخامت حدود ۳۳۰ متر تا ۴۸۰ متر را شامل می‌شود و سن Middle - Late Murgabian را برای این بخش از برش مورد مطالعه نشان می‌دهد.

بیوزن سوم از ضخامت حدود ۴۸۰ متر تا ۶۴۵ متر را شامل می‌شود و با پیدایش گونه *Sumatrina annae* شروع می‌شود و با ناپدید شدن گونه *Chusenella* cf. *conicocylindrica* به پایان می‌رسد. این بیوزن سن Midian را برای این بخش از برش نشان می‌دهد.

بیوزن چهارم که با فرامینی‌فرهای *Paradagmarita simplex*, *Rectostipulina quadrata*, *Ichthyofrondina palmata*, *Paraglobivalvulina mira*, *Pseudotristix* sp. مشخص می‌شود از ضخامت حدود ۶۴۵ متر تا انتهای سازند را به خود اختصاص می‌دهد. مجموعه فرامینی‌فرهای شناسایی شده در این بیوزن سن Djulfian (=Wuchiapingian) را برای این بخش از برش مورد مطالعه نشان می‌دهند.

بنابراین سن نهشته‌های پرمین در برش مورد مطالعه Murgabian- Djulfian در نظر گرفته می‌شود که می‌توان آن‌ها را معادل با لایه‌های گنی‌شیک و خاجیک در منطقه جلفا و سازند روته و نسن در البرز دانست.

بعضی نقاط در منطقه ماکو، کنار رودخانه ارس، به حالت هم‌شیب در روی سازند هم‌ارز دورود و در برخی نقاط در روی نهشته‌های کربونیفر زیرین قرار گرفته است و توسط نهشته‌های الیگو-میوسن (سازند قم) و یا توسط رسوبات قاره‌ای میوسن بالایی و بازالت‌های آراارات و پادگانه‌های کواترنری (در اطراف شهرستان شوط و روستای یولاگلدی) با ناپیوستگی زاویه‌دار پوشیده شده اند [۴].

از دیدگاه چین‌نگاری سنگی، سنگ‌آهک‌های پرمین در منطقه مورد مطالعه را می‌توان به سه واحد سنگ آهک‌های بلروفون‌دار، سنگ‌آهک‌های چرت‌دار و سنگ آهک‌های توده‌ای متبلور و دولومیتی تقسیم کرد [۱]. با مطالعه برش‌های نازک، ۷۰ گونه فرامینی‌فر از سه رده *Fusulinata*, *Miliolata* و *Nodosariata* شناسایی [۱] و چهار بیوزن محلی برای نهشته‌های پرمین معرفی شده است که عبارتند از:

- I. *Neoschwagerina simplex* Biozone
- II. *Neoschwagerina simplex* - *Sumatrina annae* Interval Biozon
- III. *Sumatrina annae* - *Chusenella* cf. *conicocylindrica* Interval Biozon
- IV. Assemblage Biozone

بیوزن اول که با پیدایش و ناپدید شدن *Neoschwagerina simplex* مشخص می‌شود حدود ۳۳۰ متر از ابتدای برش مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهد و سن Early Murgabian را برای این بخش از برش نشان می‌دهد.



شکل ۲. (A) مرز زیرین نهشته‌های پرمین با سازند ایلانقره به صورت ناپیوستگی هم‌شیب می‌باشد. (B) مرز بالایی نهشته‌های پرمین با سازند قم به صورت ناپیوستگی زاویه‌دار می‌باشد.

۲) میکروفاسیسیس

در نتیجه بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، ۹ میکروفاسیسیس شناسایی و تشخیص داده شده است که از محیط عمیق به سمت محیط ساحل عبارتند از: (شکل‌های ۳ و ۴):

MF 1) Spiculitic and poorly foraminiferal wackestone

توصیف: آلوکم‌های بیوکلستی تشکیل‌دهنده این میکروفاسیسیس عمدتاً اسپیکول‌های تک محوره اسفنج می‌باشند و سایر بیوکلست‌ها که به ندرت دیده می‌شود شامل جلبک‌های *Gymnocodium* و *Permocalculus* و فرامینی‌فر *Globivalvulina* و قطعات استراکد و کرینویید می‌باشد. این بیوکلست‌ها در زمینه میکرایتی پراکنده شده‌اند.

تفسیر: این میکروفاسیسیس معادل میکروفاسیسیس رمپ شماره ۱ (RMF 1) [۱۱] می‌باشد. وجود اسپیکول‌های اسفنج در زمینه میکرایتی نشان دهنده‌ی یک محیط عمیق با انرژی کم و نرخ رسوب‌گذاری کم و یک محیط رمپ میانی و بیرونی می‌باشد [۱۱].

MF 2) Bioclast Staffellidae wackestone

توصیف: فرامینی‌فرهای خانواده Staffellidae (*Sphaerulina*) مهم‌ترین آلوکم‌های تشکیل‌دهنده این میکروفاسیسیس می‌باشند. سایر بیوکلست‌ها شامل *Globivalvulinidae*، میلیولاتا، گاستروپود، استراکد، براکیوپود، جلبک‌های *Mizzia* و *Calcisphaera* می‌باشند که در زمینه میکرایتی قرار گرفته‌اند. کریستالیزاسیون از مهم‌ترین پدیده دیاژنزی در این میکروفاسیسیس می‌باشد.

تفسیر: این میکروفاسیسیس معادل میکروفاسیسیس رمپ شماره ۱۳ (RMF 13) و میکروفاسیسیس استاندارد شماره ۱۸ (SMF 18-FOR) می‌باشد که در محیط‌های دریای باز در رمپ درونی و رمپ میانی مشاهده می‌شوند [۱۱].

MF 3) Bioclast Stafellidae Miliolata wackestone- packstone

توصیف: مهم‌ترین بیوکلست‌های تشکیل‌دهنده این میکروفاسیسیس شامل میلیولاتا (خانواده‌های *Staffellidae*، *Neodiscidae*، *Calcivertellidae*، *Cornuspiridae*، *Hemigordiidae* و *Geinitzina*، *Nodosinelloides*، *Syzrania*)، *Nodosariata*، *Pachyphloia*، و استراکد می‌باشد و سایر آلوکم‌های بیوکلستی در این میکروفاسیسیس شامل

Globivalvulinidae، گاستروپود، براکیوپود و جلبک می‌باشند. که در زمینه میکرایتی قرار گرفته‌اند.

تفسیر: این میکروفاسیسیس معادل میکروفاسیسیس رمپ ۱۳، ۱۶ و ۱۸ (RMF 13, 16, 18) می‌باشد که در محیط‌های دریای باز محصور در رمپ داخلی تشکیل می‌شود [۱۱].

MF 4) Bioclast Miliolata wackestone-packstone

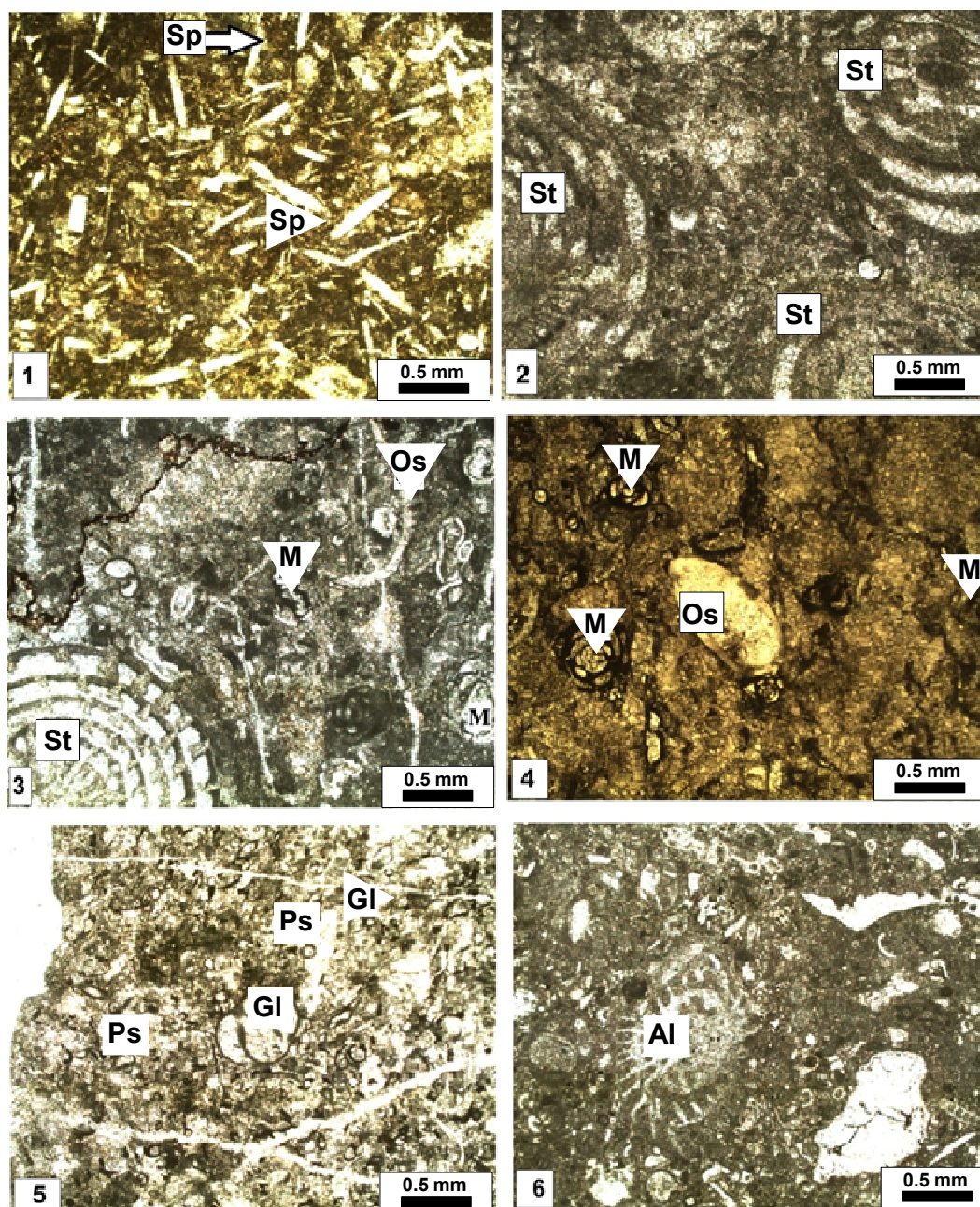
توصیف: بیوکلست‌های عمده در این میکروفاسیسیس شامل میلیولاتاهایی از قبیل *Calcivertellidae*، *Cornuspiridae*، *Hemigordiidae* و *Neodiscidae* می‌باشند. سایر بیوکلست‌ها در این میکروفاسیسیس عبارتند از: فرامینی‌فرهای رده فوزولیناتا و به ندرت رده *Nodosariata* استراکد، گاستروپود، جلبک، دوکفه‌ای و به ندرت براکیوپود، آلوکم‌های بیوکلستی ذکر شده در زمینه میکرایت و به مقدار کم اسپارایتی قرار گرفته‌اند.

تفسیر: این میکروفاسیسیس را می‌توان معادل SMF 18-FOR دانست. وجود میلیولاتا با بافت و کستون-پکستون نشان‌دهنده یک محیط دریایی کم انرژی و محصور می‌باشد. فرامینی‌فرهای میلیولاتا در محیط‌های لاگون (گاهی با شوری بالا) و در محیط‌های رمپ درونی و پلت فرم درونی محصور بسیار فراوان هستند [۱۱].

MF 5) Bioclast Globivalvulinidae Pseudovermiporella wackestone-packstone

توصیف: عمده‌ترین آلوکم‌های تشکیل‌دهنده این میکروفاسیسیس شامل بیوکلست‌های *Pseudovermiporella*، *Globivalvulinidae* می‌باشند. سایر فرامینی‌فرهای رده فوزولیناتا، میلیولاتا با پوسته پورسلانوز و به ندرت فرامینی‌فرهای رده *Nodosariata*، گاستروپود، استراکد، جلبک، کرینویید و براکیوپود می‌باشند که در زمینه میکرایتی و به مقدار کم اسپارایتی قرار گرفته‌اند. کریستالیزاسیون و دولومیتیزاسیون از فرایندهای اصلی دیاژنز در این میکروفاسیسیس هستند.

تفسیر: این میکروفاسیسیس که ضخامت بیشتری از برش چینه‌شناسی مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهد معادل میکروفاسیسیس رمپ شماره ۱۷ و میکروفاسیسیس استاندارد شماره ۱۸ (RMF 17, SMF 18) می‌باشد که در لاگون‌های شلف با چرخش آزاد، در کمربند رخساره‌ای ۷ در مدل ویلسون (FZ 7) و در محیط‌های رمپ درونی محصور با انرژی کم مشاهده می‌شوند [۱۱].



شکل ۳. نمایش میکروفاسیس‌های مشاهده شده در برش مورد مطالعه

MF 1) Spiculitic and poorly foraminiferal wackestone (4X, ppl), 2) MF 2) Bioclast Staffellidae wackestone (4X, ppl), 3) MF 3) Bioclast Staffellidae Miliolata wackestone- packstone (4X, ppl), 4) MF 4) Bioclast Miliolata wackestone- packstone (4X, ppl), 5) MF 5) Bioclast Globivalvulinidae Pseudovermiporella wackestone- packstone (4X, ppl), 6) MF 6) Bioclast Gastropod Algae wackestone (4X, ppl). (Spiculite: Sp, Staffellidae: St, Miliolata: M, Algae: Al, Pseudovermiporella: Ps, Globivalvulinidae: Gl, Ostracod: Os)

ندرت براکیوپود و کرینویید از دیگر بیوکلاست‌های سازنده این میکروفاسیس می‌باشند. آلوکم‌های بیوکلاستی ذکر شده در یک زمینه میکرایتی قرار گرفته‌اند. تفسیر: این میکروفاسیس معادل میکروفاسیس رمپ شماره ۲۰ (RMF20) [۱۱] می‌باشد که در محیط‌های لاگون تشکیل می‌شوند.

MF 6) Bioclast Gastropod Algae wackestone
توصیف: مهم‌ترین آلوکم‌های سازنده این میکروفاسیس جلبک‌های *Mizzia* و *Permocalculus* و گاستروپود هستند. علاوه بر آن فرامینی‌فرهای فوزولیناتا و میلیولاتا با پوسته پورسلانوز (Nodosariata, Globivalvulinidae و Pseudovermiporella)، استراکد، قطعات تریلوبیت و به

این میکروفاسیس در محیط‌های رمپ درونی لاگونی با انرژی کم تشکیل می‌شود [۱۱].

MF 9) Laminated stromatolite bindstone
توصیف: این میکروفاسیس دارای لامینه‌های مسطح و یا گنبدی شکل دانه ریز یا درشت که نشان‌دهنده ساختارهای جلبکی هستند می‌باشد. جلبک‌های *Mizzia*, *Permocalculus*, *Calcisphaera Globivalvulinidae*, *Hemigordiellina*, قبیل *Geinitzina*, *Pachyphloia ovata* که فراوانی کمی دارند و متنازوهایی از قبیل استراکد، براکیوپود و به ندرت بریزوآ از بیوکلست‌های موجود در این میکروفاسیس می‌باشند. این فابریک با تعریف استروماتولیت توسط Riding [۲۱] (استروماتولیت‌ها، رسوبات بنتیک دارای لامینه هستند) مطابقت دارد. بافت لامینیشن حاصل از فرش‌های میکروبی و جلبکی مشخصه اصلی این میکروفاسیس است.

تفسیر: این میکروفاسیس معادل میکروفاسیس استاندارد شماره ۲۰ (SMF 20) می‌باشد که در محیط‌های اینترتایدال به فراوانی یافت می‌شود اما در محیط‌های سوپراتایدال و ساب‌تایدال کم عمق نیز یافت می‌شود. میکروفاسیس Laminated stromatolite bindstone در پلت‌فرم‌های باز (ساب تایدال، FZ 7)، مناطق جزر و مدی لاگون‌های محدود (FZ8) و سواحل خشکی (سوپراتایدال، FZ 9A) تشکیل می‌شود [۱۱].

با مطالعه و بررسی لیتوفاسیس‌ها (مطالعات ماکروسکوپی عمدتاً در صحرا) و میکروفاسیس‌ها و بررسی تغییرات عمودی و جانبی آن‌ها با استفاده از قانون توالی رخساره‌ای والتر و مقایسه آن‌ها با رخساره‌های محیط‌های امروزی مانند خلیج فارس و محیط‌های قدیمه، مدل رسوبی نهشته‌های پرمین در منطقه مورد مطالعه ارائه گردیده است. تنوع کم رخساره‌ها، تغییرات تدریجی بین کمربندهای رخساره‌ای و نبود ریف‌های بزرگ [۲۰ و ۱۱] نشان‌دهنده‌ی یک پلاتفرم کربناته از نوع رمپ هموکلینال می‌باشد که دارای رخساره‌های رمپ بیرونی (MF1)، رمپ میانی (MF1, MF2)، دریای باز (MF3)، لاگون و دریای محصور (MF3, MF4, MF5, MF6, MF7, MF8) و پهنه جذر و مدی (MF9) می‌باشد. شواهد به دست آمده نشان می‌دهند که این رخساره‌ها در یک پلاتفرم کربناته از نوع

MF 7) Bioclast Miliolata Gymnodiaceae packstone

توصیف: این میکروفاسیس عمدتاً با وجود جلبک‌های ژیمنوکودیاسه‌آ (*Velebitella triplicata*), (*Gymnocodium*, *Permocalculus gracilis*) و میلیولاتاهایی مانند *Pseudovermiporella*, *Neodiscus*, *Crassiglomella* مشخص می‌شود. ژیمنوکودیاسه‌ها ترکیبی آراگونیتی داشته و اسکلت آن‌ها تحت تاثیر دیاژنز کلسیتی شده و یا با رسوب پر می‌شود. بیوکلست‌های دیگر شامل جلبک *Mizzia* فوزولیناتای *Nankinella* و به ندرت استراکد، دوکفه‌ای و گاستروپود می‌باشد. کریستالیزاسیون عامل دیاژنتیکی مهم در این میکروفاسیس می‌باشد.

تفسیر: این میکروفاسیس را می‌توان معادل SMF 18- GYMNO. و SMF 18-FOR دانست. وجود ژیمنوکودیاسه‌آ و میلیولاتا با بافت پکستون نشان‌دهنده یک محیط دریایی کم انرژی و محصور می‌باشد. فرامینی‌فرهای میلیولاتا در محیط‌های لاگون (گاهی با شوری بالا) و در محیط‌های رمپ درونی و پلت‌فرم درونی محصور بسیار شایع هستند [۱۱].

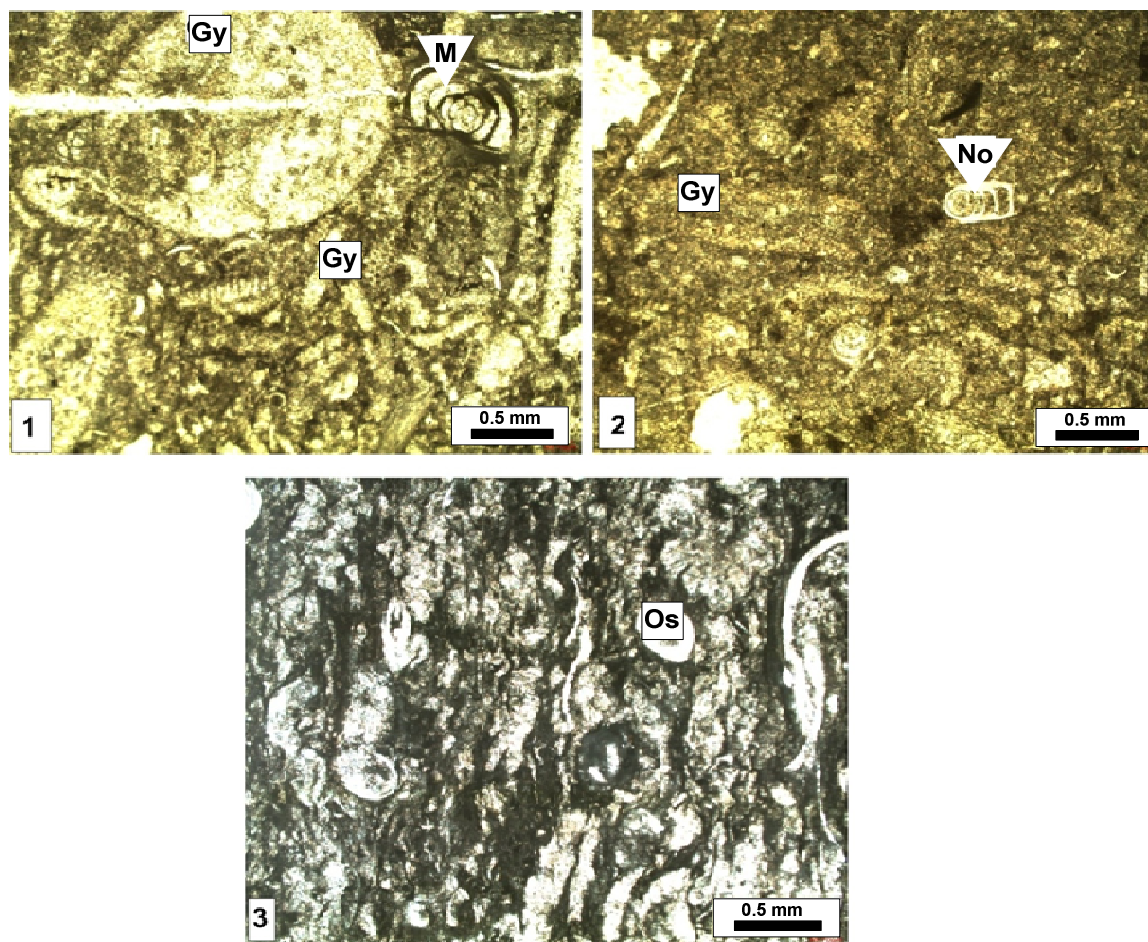
MF 8) Bioclast Nodosariata Gymnodiaceae wackestone- packstone

توصیف: این میکروفاسیس عمدتاً با وجود جلبک‌های ژیمنوکودیاسه‌آ (*Gymnocodium*, *Permocalculus*) مشخص می‌شود. زمینه میکرایتی در نتیجه تجزیه و از هم پاشیدگی جلبک‌ها تشکیل شده است که به مدل هالیمدا (*Halimeda model*) معروف است. بیوکلست‌های دیگر شامل *Nodosariata* (*Geinitzina*, *Fronidina*), (*Pachyphloia*, *Pachyphloia*, میلیولاتا (*Pseudovermiporella*, *Midiella*, *Crassiglomella*), فوزولیناتا (*Eotuberitina*, *Globivalvulina*), (*Sphaerulina* و *Deckerella*, *Climacammina*) و استراکد می‌باشد. کریستالیزاسیون، دولومیتی شدن و سیمانی شدن مهم‌ترین پدیده‌های دیاژنتزی در این میکروفاسیس هستند.

تفسیر: این میکروفاسیس معادل SMF 18-GYMNO می‌باشد که در سدها و کانال‌ها و در سدهای ماسه‌ای که توسط جریان‌های جذر و مدی در خلیج‌ها و لاگون‌های کم عمق جایگزین می‌شوند (FZ 8), پلت‌فرم محصور) و در لاگون‌های شلف با چرخش آزاد (FZ 7) تشکیل می‌شود.

پدید آمده‌اند (شکل ۶).

رمپ هم‌شیب هم‌سان با محیط‌های کنونی خلیج فارس



شکل ۴. نمایش میکروفاسیس‌های مشاهده شده در برش مورد مطالعه

MF 7) Bioclast Miliolata Gymnociodiacea packstone (4X, ppl), 2) MF 8) Bioclast Nodosariata Gymnociodiacea wackestone-packstone (4X, ppl), 3) MF 9) Laminated stromatolite bindstone (4X, ppl). (Miliolata: M, Gymnociodiacea: Gy, Nodosariata: No, Ostracod: Os)

X_v : حساسیت مغناطیسی حجمی (Volume Magnetic)

(Susceptibility), SI.

X_{mass} : حساسیت مغناطیسی جرمی و (Mass Magnetic)
(Susceptibility), m^3/kg .

X_{mol} : حساسیت مغناطیسی مولی (Molar Magnetic)
(Susceptibility), m^3/mol .

ارتباط بین MS و ورودی سنگی منجر به استفاده از MS با وضوح بالا در تطابق جهانی سنگ‌های رسوبی دریایی شده است [۸]. این روش، رویداد حساسیت مغناطیسی و چین‌نگاری چرخه‌ای و یا روش MSCE (Magnetosusceptibility and Cyclostratigraphy) (event) نامیده می‌شود [۱۰ و ۴]. MSCE، از اواسط ۱۹۹۰ توسعه یافته است و برای تعیین مرزهای رسوب‌شناسی و چین‌شناسی پنهان، به طور کلی توسط چین‌های کربناته

۳) حساسیت مغناطیسی

حساسیت مغناطیسی^۱ (MS) اندازه‌گیری پاسخ مواد به یک میدان مغناطیسی اعمال شده است [۷]. حساسیت مغناطیسی (X_m) ثابت تناسبی بدون بعد است که درجه‌ای از مغناطیس مواد را در پاسخ به یک میدان مغناطیسی اعمال شده نشان می‌دهد [۱۶]. حساسیت مغناطیسی به سه روش حجمی، جرمی و مولی قابل محاسبه است.

$$X_v = M / H \quad (۱)$$

$$X_{mass} = X_v / \rho \quad SI / Kg.M^{-3} \quad (۲)$$

$$X_{mol} = M X_{mass} = M X_v / \rho \quad (۳)$$

M: مغناطیس ماده (گشتاور یا ممان دو قطبی مغناطیسی در واحد حجم)، آمپر در متر.
H: قدرت میدان مغناطیسی، آمپر در متر.

^۱ Magnetic Susceptibility

است. رسوبات نهشته شده در طی این اشکوب آهکی، به رنگ خاکستری تیره با لایه‌بندی خوب، متوسط تا ضخیم لایه و به ضخامت حدود ۴۸۰ متر می‌باشند که گاهی در اثر دیاژنز دولومیتی و متبلور شده‌اند. بر اساس فرامینی‌فرهای شناسایی شده، دو بیوزون معرفی شده که رسوبات نهشته شده در طی این اشکوب را به دو مقطع زمانی Early Murghabian و Middle-Late Murghabian تقسیم می‌کنند.

رسوبات آهکی متعلق به Early Murghabian حدود ۳۳۰ متر ضخامت داشته و مقادیر حساسیت مغناطیسی عمدتاً منفی ($SI = 8 \times 10^{-6} - 10 \times 10^{-6}$) را نشان می‌دهند. ضخامت زیاد رسوبات و حساسیت مغناطیسی منفی تایید کننده‌ی نرخ کربنات‌زایی بالا در این محدوده زمانی می‌باشد به طوری که با درصد بالای کربنات کلسیم بیش از ۸۰ درصد مشخص می‌شود (شکل ۵).

رسوبات آهکی نهشته شده در طی Middle-Late Murghabian حدود ۱۵۰ متر ضخامت داشته و مقادیر حساسیت مغناطیسی در ابتدا مثبت ($SI = 12 \times 10^{-6}$) و سپس منفی ($SI = 7 \times 10^{-6}$) می‌باشد. نرخ تولید کربنات متغیر در یک محیط لاگون عامل اصلی کاهش و افزایش MS در این محدوده زمانی می‌باشد. به طور کلی درصد کربنات کلسیم در این قسمت از برش مورد مطالعه نسبت به Early Murghabian کاهش یافته است. کربنات کلسیم بین ۶۰ تا ۸۰ درصد می‌باشد

Midian: این اشکوب از ۲۶۵ میلیون سال قبل تا ۲۶۰/۵ میلیون سال قبل ادامه داشته است. رسوبات آهکی نهشته شده در طی این دوره زمانی دارای لایه‌بندی متوسط تا ضخیم، به رنگ خاکستری تیره و به ضخامت حدود ۱۶۵ متر می‌باشد. مقادیر MS در ابتدا مثبت ($SI = 10 \times 10^{-6}$) و سپس منفی ($SI = 4 \times 10^{-6}$) می‌باشد و درصد کربنات کلسیم بین ۶۰٪ تا ۹۰٪ مشخص شده است. تغییرات محیط رسوبی و نرخ کربنات‌زایی در محیط‌های متفاوت باعث تغییرات MS در این محدوده زمانی شده است.

در پایان Midian و با شروع Djulfian که با انقراض پایان Guadalupian همزمان است حساسیت مغناطیسی افزایش یافته است. در این بحران، کاهش اساسی Fusulinida شروع شده که طی آن همه فرم‌های بزرگ و با مورفولوژی پیچیده به ویژه Schwagerinoidea، Neoschwagerinoidea و Verbeekinoidea حذف

فشرده شده، مشخص شده‌اند که با تغییرات رسوب‌شناختی متمایز کنترل شده‌اند [۴ و ۱۰].

سیگنال MS در سنگ‌های رسوبی دریایی عمدتاً توسط کانی‌های آواری (عمدتاً کانی‌های فرومغناطیسی و پارامغناطیسی) که متعلق به قطعات سنگی (با منشأ قاره‌ای) ناشی از تغییرات ائوستازی، آب و هوایی و تکتونیکی هستند کنترل می‌شود [۹]. بنابراین، منحنی حساسیت مغناطیسی در طول افت سطح دریا افزایش می‌یابد و مقدار بالایی را در طی سطح پایین نشان می‌دهد و در طی بالا رفتن سطح دریا کاهش می‌یابد و مقدار پایین را در طول سطح بالا نشان می‌دهد [۸]. پژوهشگران مختلف در نظر گرفته‌اند که علاوه بر انتقال توسط آب، کانی‌های مغناطیسی در رسوبات کربناته از تعلیق بادی و گرد و غبار جوی نیز می‌توانند فراهم شوند [۱۴ و ۱۵]. به نظر می‌رسد که رسوب کانی‌های مغناطیسی احتمالاً به شدت با تولید کربنات (افزایش تولید کربنات MS را کاهش می‌دهد) و با آشفستگی آب در طی رسوب‌گذاری (آشفستگی بالای آب از رسوب ذرات مغناطیسی ریز دانه جلوگیری می‌کند) تحت تاثیر قرار می‌گیرند [۱۴].

نهشته‌های پرمین در منطقه شمال ماکو دارای مقادیر MS پایین‌تری (اغلب منفی) هستند و ضخامت زیاد رسوبات در این منطقه نسبت به سایر نقاط ایران، نشان دهنده نرخ رسوبگذاری بالا در طی پرمین است. با افزایش نرخ رسوبگذاری، غلظت کانی‌های حامل مغناطیسی به ویژه کانی‌های فرومغناطیس کاهش یافته و در نتیجه مقادیر MS کاهش می‌یابد پس یک رابطه معکوس بین نرخ رسوبگذاری و MS وجود دارد.

بیوزن‌های شناسایی شده، وجود نهشته‌های متعلق به اشکوب‌های Murghabian، Midian، Djulfian را در برش شمال ماکو را تایید می‌کنند. این پژوهش نشان می‌دهد که در طی این اشکوب‌ها ضخامت‌های مختلفی از رسوبات نهشته شده‌اند و در زمان‌های مختلف، محیط‌های متفاوت و حوادث متفاوتی در منطقه حکمفرما بوده است. مطالعات حاصل از حساسیت مغناطیسی در طی اشکوب‌های Murghabian، Midian و Djulfian به صورت زیر بیان می‌شود:

Murghabian: این اشکوب از ۲۶۸ میلیون سال قبل شروع شده و تا ۲۶۵ میلیون سال قبل به طول انجامیده

رسوبات نهشته شده در طی این اشکوب آهکی بوده که نخست دارای لایه‌بندی متوسط تا ضخیم و در پایان دارای لایه‌بندی ضخیم تا توده‌ای به ضخامت حدود ۲۸۱ متر می‌باشد. مقادیر MS در این محدوده زمانی عمدتاً مثبت ($32 \times 10^{-6} \text{ SI} - 3 \times 10^{-6} \text{ SI}$) و درصد کربنات کلسیم کمترین مقادیر را نسبت به سایر بخش‌های برش مورد مطالعه (۵۰-۸۰٪ CaCO_3) دارا است. تغییرات شدید محیطی و نرخ تولید کربنات متفاوت در محیط‌های مختلف عامل اصلی تغییرات شدید MS در این محدوده زمانی است.

بررسی میکروفاسیس‌ها و تعیین محیط رسوبی و مقایسه منحنی‌های تکامل MS و میکروفاسیس‌ها در برش رمپ کربناته پرمین در شمال ماکو نشان می‌دهند که به طور کلی در رمپ کربناته پرمین در منطقه ماکو، رخساره‌های لاگون مقدار MS پایین و به طور عمده منفی را نشان می‌دهند (شکل‌های ۵ و ۶). رخساره‌های پهنه جذر و مدی، مقادیر MS مثبت-منفی و رمپ میانی و بیرونی با مقدار MS بالاتر و مثبت مشخص شده‌اند. این مقادیر MS مرتبط با تولید کربنات بالا، آشفستگی بالای آب در طی رسوب‌گذاری یا فاصله زیاد از منابع سیلیسی آواری تفسیر می‌شوند.

شده‌اند به طوری که فقط ۱۵ جنس از روخوانده‌های Lopingian و Schubertelloidea در طی Lopingian زنده مانده‌اند [۲۲].

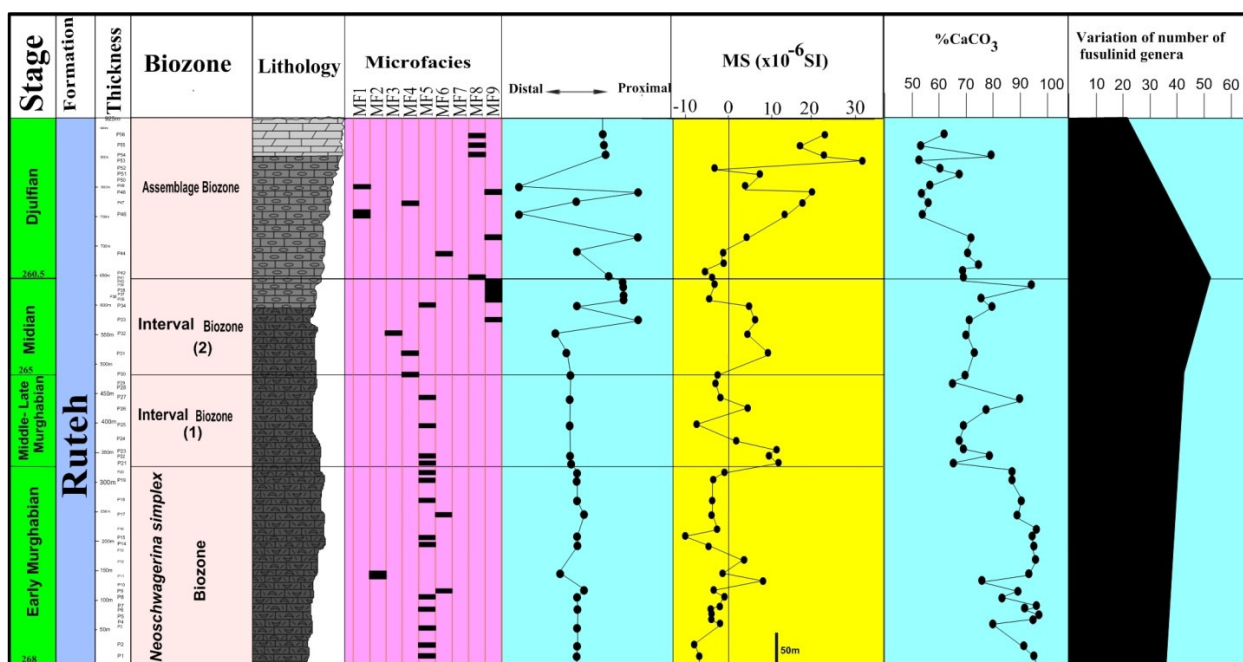
عواملی که می‌توانند به حادثه پایان Guadalupian در مرز پرمین میانی و پسین کمک کنند عبارتند از:

- از بین رفتن هم‌زیستی فرامینی‌فرهای بزرگ [۱۹].
- خنک شدن اقیانوس‌ها (Kamura event) [۱۸].
- تاثیر واژگونی ایلاوارا (Illawara Reversal)، یک حادثه ژئومغناطیس که در ابتدای Capitanian اتفاق افتاده است [۱۷].

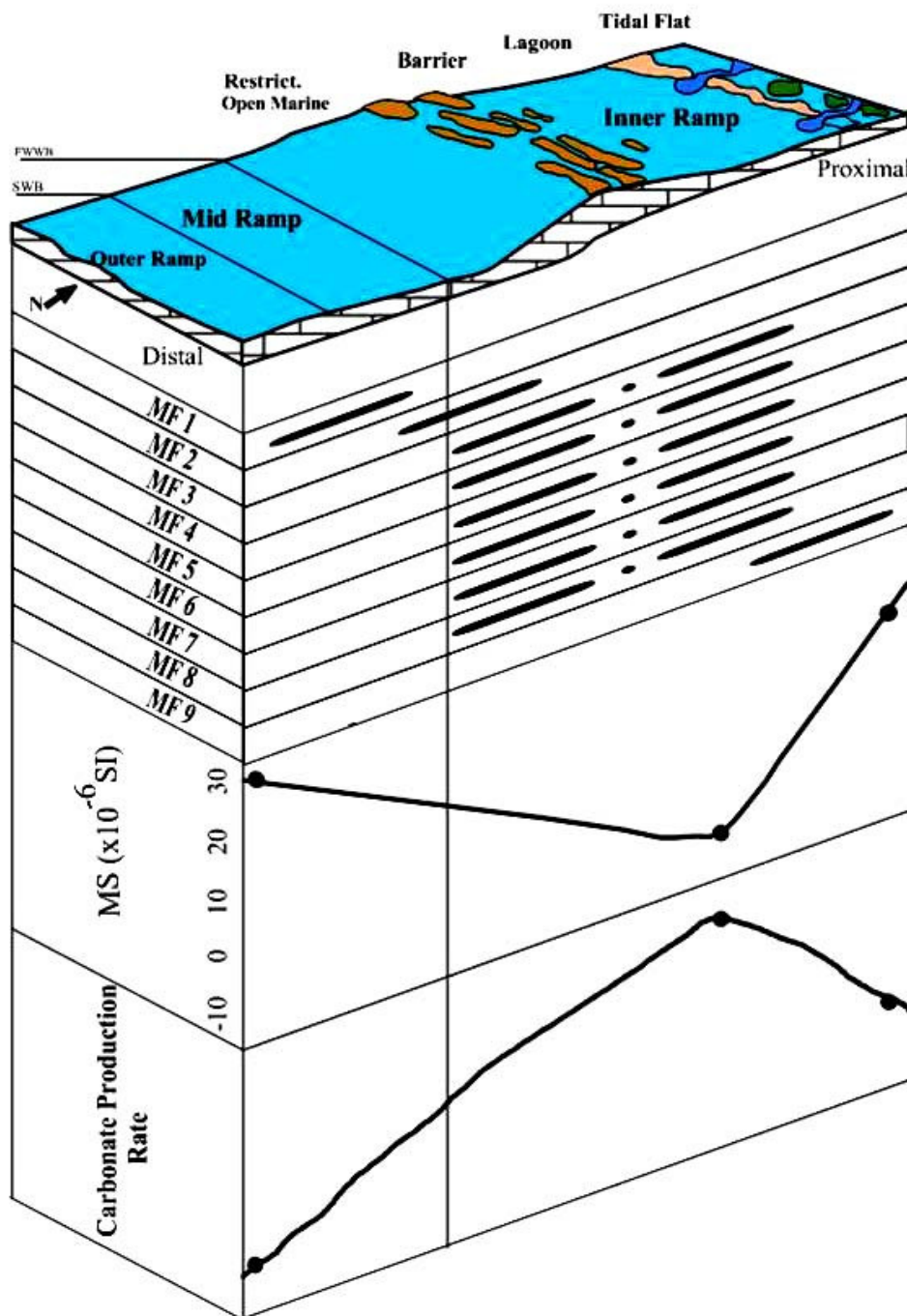
ناپدید شدن فرامینی‌فرهای بزرگ با دیواره کریوتکا در انتهای Midian (= Guadalupian) رخ داده است. این ناپدیدگی که دقیقاً مرتبط با کاهش تولید کربنات است [۲۳] بسیاری از گروه‌های کربناتی مانند داسی‌کلادها و بسیاری از مرجان‌های روگوز را تحت تاثیر قرار داده است [۱۲].

در برش مورد مطالعه مرز Midian- Djulfian با کاهش بسیار شدید در فرامینی‌فرهای فوزولینید، تغییرات شدید در محیط‌های رسوبی و تغییرات زیاد در مقادیر MS تایید می‌شود (شکل ۵).

Djulfian: این اشکوب از ۲۶۰/۵ میلیون سال پیش شروع شده و تا ۲۵۵ میلیون سال قبل ادامه داشته است.



شکل ۵. نمایش بیوزون‌ها، لیتولوژی، میکروفاسیس‌ها، مقادیر حساسیت مغناطیسی (MS) و درصد کربنات کلسیم و تغییرات سطح دریا در طول ستون چینه‌شناسی و پراکندگی تعدادی از جنس‌های فوزولینید [۱۹] (اصلاح شده توسط [۲۴])



شکل ۶. مدل رخساره‌ای ارائه شده برای نهشته‌های پرمین، میکروفاسیس‌ها (MF1-MF9)، مقادیر میانگین MS و نرخ تولید کربنات در طول مدل رمپ ارائه شده در برش شمال ماکو.

کربنات‌زایی (تولید رسوب) در پلاتفرم‌ها و رمپ‌ها عمدتاً به سیستم‌های بیولوژیکی و نهایتاً با عوامل اکولوژیکی حاکم بر گسترش و وجود موجودات بستگی دارد. عمق تولید کربنات که توسط روشنایی و گسترش جانبی موجودات سرتاسر پلت‌فرم کنترل می‌شود وابسته به هیدرودینامیک، بستر و مواد مغذی است [۱۱].

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نرخ تولید کربنات و وقوع انقراض پایانی Guadalupian، دو عامل مهم و تاثیرگذار در میزان MS رسوبات هستند. بیشینه تولید کربنات در محیط‌های ساب‌تایدال (کارخانه کربنات) اغلب توسط موجودات بنتیک صورت می‌گیرد. کربنات‌زایی مداوم در رمپ میانی و درونی کم عمق صورت می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

نهشته‌های کربناته پرمین در برش مورد مطالعه در یک محیط رمپ نهشته شده‌اند که در قسمت‌های مختلف آن، حساسیت مغناطیسی متفاوتی مشاهده می‌شود. رسوبات متعلق به محیط‌های لاگون دارای کم‌ترین مقدار MS (اغلب مقادیر منفی) هستند و رسوبات نهشته شده در محیط‌های پهنه جذر و مدی و محیط‌های رمپ میانی و بیرونی دارای مقادیر MS بالا و اکثراً مثبت هستند. ضخامت زیاد رسوبات در این منطقه نسبت به سایر نقاط ایران و مقادیر MS پایین (عمدتاً منفی)، نشان‌دهنده نرخ رسوب‌گذاری بالا در طی پرمین است به طوری که با افزایش نرخ رسوب‌گذاری، غلظت کانی‌های حامل مغناطیسی به ویژه کانی‌های فرومغناطیس کاهش یافته و در نتیجه مقادیر MS کاهش می‌یابد که موجب یک رابطه معکوس بین نرخ رسوب‌گذاری و MS شده است. هم‌چنین نبود و یا مقادیر بسیار اندک دانه‌های سیلیسی آواری در نهشته‌های کربناته نشان‌دهنده نبود منابع سیلیسی آواری و یا فاصله زیاد از منابع سیلیسی آواری است که باعث کاهش مقدار MS می‌شود.

خنک شدن اقیانوس‌ها (Kamura event) و واژگونی ایلاوارا (Ilawara Reversal) یک حادثه ژئو مغناطیس در ابتدای کاپیتانین (جلفین) دو عامل اصلی در انقراض انتهایی گوادالوپین (مرز میدین-جلفین) هستند که با افزایش حساسیت مغناطیسی مشخص می‌شود. خنک‌شدگی و کاهش Ph آب اقیانوس‌ها باعث کاهش نرخ تولید کربنات می‌شود و کاهش نرخ تولید کربنات منجر به افزایش MS می‌شود. بنابراین با استفاده از نمودار حساسیت مغناطیسی (MS) همراه با بیوستراتیگرافی می‌توان مرز Midian- Djulfian را مشخص نمود. هم‌چنین مطالعات حاضر نشان می‌دهد که به طور کلی MS رابطه تقریباً معکوس با میزان کربنات کلسیم رسوب دارد به طوری که با افزایش آن، میزان MS کاهش می‌یابد.

تشکر و قدردانی

در اینجا لازم می‌دانیم از همکاری‌های صمیمانه مدیر مسئول، سردبیر و مدیر اجرایی نشریه رسوب‌شناسی کاربردی تشکر و قدردانی نماییم. هم‌چنین از

راهنمایی‌های پروفسور Daniel Vachard، دکتر رحیم مهاری و دکتر سیروس عباسی سپاسگزاریم.

منابع

- [۱] ابراهیم‌نژاد، الف.، ثیاب‌قدسی، ع.، عباسی، س (۱۳۹۲) مطالعه روزن‌بران رده Fusulinata در نهشته‌های پرمین شمال ماکو (آذربایجان، ایران)، یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، جلد ۱۳، ص ۵۲-۶۵.
- [۲] ابراهیم‌نژاد، الف.، ثیاب‌قدسی، ع.، عباسی، س (۱۳۹۰) معرفی سنگ آهک‌های بلروفون‌دار متعلق به پرمین در منطقه ماکو، سی‌امین گردهمایی علوم زمین.
- [۳] آقائباتی، ع (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- [۴] امینی آذر، ر.، عباسی، س.، قدیرزاده، الف (۱۳۸۲) نقشه زمین‌شناسی ماکو، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- [۵] لاسمی، ی (۱۳۷۹) رخساره‌ها محیط‌های رسوبی و چینه‌نگاری سکانشی نهشته‌های سنگ‌های پرکامبرین بالایی و پالئوزوئیک ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، کتاب شماره ۷۸، ۱۸۰ ص.
- [۶] نبوی، م.ح (۱۳۵۵) دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۵ ص.
- [7] Borradaile, G.J., Lagroix, F (2000) Magnetic characterization using a three-dimensional hysteresis projection, illustrated with a study of limestones, *Geophys. J. Int.* 141, 213–226.
- [8] Crick R., Ellwood B., Feist R., El Hassani A., Schindler E., Dreesen R., Over D., Girard C (2002) Magnetostratigraphy susceptibility of the Frasnian/Famennian boundary, *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 181, 67–90.
- [9] Ellwood B., Crick R., El Hassani A., Benoist S., Young R (2000) Magnetostratigraphy method applied to marine rocks: detrital input versus carbonate productivity, *Geology* 28, 1135–1138.
- [10] Ellwood, B., MacDonald, W., Wheeler, C., Benoist, S (2003) The K–T boundary in Oman: identified using magnetic susceptibility field measurements with geochemical confirmation, *Earth Planet. Sc. Lett.* 206, 529–540.
- [11] Flugel, E (2010) *Microfacies of Carbonate rocks*, Springer-Verlag, 976pp.
- [12] Gaillot, J., Vachard, D (2007) The Khuff Formation (Middle East) and time-equivalents in Turkey and South China: biostratigraphy from Capitanian to Changhsingian times (Permian), new

- systematique, paléoécologie et réponses aux changements globaux. *Revue de Micropaléontologie*, 53:209-254.
- [25] Weidlich, O (2002) Middle and Late Permian reefs - distributional patterns and reservoir potential. In: Kiessling, W., Flügel, E., Golonka, J. (Eds.), *Phanerozoic Reef Patterns*, SEPM Special Publication 72, 339-390.
- [26] Wilson, J.L (1975) *Carbonate facies in geologic history*. Berlin (Springer), 471 pp.
- foraminiferal taxa, and palaeogeographical implications, *Coloquios de Paleontología* 57, 37-223.
- [13] GF instruments (2010) *Magnetic Susceptibility Meter SM-20, Instruction Manual, Version 5.0*, CZECH Republic, 16pp
- [14] Hladil, J., Gersl, M., Strnad, L., Frana, J., Langrova, A., Spislak, J (2006) Stratigraphic variation of complex impurities in platform limestones and possible significance of atmospheric dust: a study with emphasis on gamma-ray spectrometry and magnetic susceptibility outcrop logging (Eifelian-Frasnian, Moravia, Czech Republic), *International Journal of Earth Sciences*, 95(4), 703-723.
- [15] Hladil, J (2002) Geophysical records of dispersed weathering products on the Frasnian carbonate platform and early Famennian ramps in Moravia, Czech Republic: proxies for eustasy and palaeoclimate, *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 181(1-3), 213-250.
- [16] International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) (1997) *Magnetizability, Compendium of Chemical Terminology, The Gold Book* (2nd ed.).
- [17] Isozaki, Y (2009) Illawara Reversal: the fingerprint of a superplume that triggered Pangean breakup and the end-Guadalupian (Permian) mass extinction, *Gondwana Research, Special, Sp. Iss. I*, 421-432.
- [18] Isozaki, Y., Kawahata, H., Minoshima, K (2007) The Capitanian (Permian) Kamura cooling event: The beginning of the Paleozoic-Mesozoic transition, *Palaeoword* 16, 16-30.
- [19] Leven, E.Ya., 2003, The Permian stratigraphy and fusulinids of the Tethys. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia* 109 (2), 267-280.
- [20] Ota, A., Isozaki, Y (2006) Fusuline biotic turnover across the Guadalupian-Lopingian (Middle-Upper Permian) boundary in mid-oceanic carbonate buildups: Biostratigraphy of accreted limestone in Japan, *Journal of Asian Earth Science* 26, 353-368.
- [21] Read, J. F (1985) Carbonate platform facies models, *AAPG Bull.*, 69, 1-21.
- [22] Riding, R.E., 1999, The term stromatolites: towards an essential definition, *Lethaia* 32, 321-330.
- [23] Sheng, J (1992) Development of fusuline foraminifers in China. *Studies in benthic foraminifera, Benthos'90, Sendai 1990*, Tokai University Press, 11-22.
- [24] Vachard, D., Pille, L. and Gaillot, J. 2010, *Palaeozoic Foraminifera: systematics, palaeoecology and responses to the global changes. Les foraminifères paléozoïques :*