

## نهشته های گوادالوپین در ایران مرکزی و شواهدی از رویداد کمیورا به سن کپیتانین

سکینه عارفی فرد

دانشیار چینه نگاری و دیرینه شناسی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم آباد، لرستان

Email: arefi.s@lu.ac.ir

### چکیده

ترکیبی از مطالعات ژئوشیمیایی و اجتماع دانه‌ها بر روی رسوبات پرمین میانی در مرکز ایران انجام شده است، جایی که هر دو نوع کربنات‌های آب گرم و سرد یافت می‌شوند. تبلور مجدد اغلب بیوکلاست‌ها، ماتریس گل‌آهکی و اووئیدها به همراه مقادیر بالای استرانسیم، نشان‌دهنده یک کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی برای کربنات‌های سازند جمال در برش شتری از پرمین میانی است. مقادیر پایین  $\delta^{18}\text{O}$  نمونه‌های کل کربنات (Carbonate bulk) نشان‌دهنده دگرسانی دیاژنزی گسترده در این بخش است. در مقابل، رسوبات پرمین میانی در برش باغ‌ونگ دارای منشا کلسیتی احتمالی هستند که با مقادیر پایین استرانسیم و عدم شواهد تبلور مجدد پشتیبانی می‌شود. این تفاوت کانی‌شناسی در این کربنات‌های هم‌زمان به تغییر عمق و دمای محیط رسوبی دیرینه نسبت داده می‌شود. مقادیر  $\delta^{13}\text{C}$  بیش از 2 ‰ PDB افزایش یافته و در مرز وردین-کپیتانین در برش باغ‌ونگ به حداکثر 4.3 ‰ PDB می‌رسد. این افزایش  $\delta^{13}\text{C}$  به تولید اولیه بالای زیستی نسبت داده می‌شود، همانطور که قبلاً در سازند آباده در مرکز ایران گزارش شده است. روند مثبت  $\delta^{13}\text{C}$  در این برش‌ها با «رویداد کمیورا» به سن اواخر کپیتانین که از برش‌های چینه‌شناسی بخش‌های میانی پانتالاسا در ژاپن شناسایی شده است، مطابقت دارد. در نمودار  $\delta^{13}\text{C}$  برش شتری روند افزایش مثبت قابل توجهی مشاهده نمی‌شود، که تفسیر بهره‌وری زیستی دیرینه را دشوار می‌کند. پیشنهاد شده است که بالآمدگی فعال آب اقیانوسی، عامل احتمالی بهره‌وری اقیانوسی پرمین میانی در مرکز ایران بوده است. کاهش‌های قابل توجه  $\delta^{13}\text{C}$  در حدود 3.7 و 4.2 ‰ PDB در کربنات‌های کپیتانین نزدیک به مرز گوادالوپین-لوپینگین در برش‌های باغ‌ونگ و آباده به ترتیب ثبت شده است، که نشان‌دهنده بهره‌وری زیستی پایین و انتقال از یک اقلیم سرد به گرم هستند و با افزایش سطح دریا در اوایل لوپینگین سازگار است.

**کلیدواژه‌ها:** کربنات‌های گوادالوپین، سازند جمال، رویداد کمیورا، ایزوتوپ کربن، ایران مرکزی.

## Guadalupian deposits in central Iran and some evidence of the Capitanian Kamura event Sakineh Arefifard

Associate Professor in Paleontology & Stratigraphy, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Lorestan University, Khorramabad, Iran

Email: arefi.s@lu.ac.ir

### Abstract

An integration of geochemical and grain association studies was carried out on Middle Permian deposits in central Iran where both cool and warm water carbonates are found. The recrystallization of most bioclasts, lime-mud matrix and ooids along with high Sr contents suggests a probable original aragonite mineralogy for carbonates of the Middle Permian Jamal Formation at the Shotori section. Low bulk carbonate  $\delta^{18}\text{O}$  values imply pervasive diagenetic alteration in this section. Conversely, Middle Permian deposits at the correlative Bagh-e Vang section have a probable calcite precursor supported by low Sr contents and no evidence of recrystallization. This mineralogical variation in these coeval carbonates is considered to be due to the change in depth and temperature of the depositional palaeoenvironment.  $\delta^{13}\text{C}$  values started to rise over 2‰PDB and reached a maximum of 4.3‰ PDB at the Wordian-Capitanian boundary at the Bagh-e Vang section. This  $\delta^{13}\text{C}$  rise is attributed to high primary productivity as previously reported in the Capitanian Abadeh Formation in central Iran.

The positive  $\delta^{13}\text{C}$  excursion in these sections is correlated with the Capitanian 'Kamura event' identified from the mid-Panthalassian sections in Japan. No noticeable positive excursion occurs in the  $\delta^{13}\text{C}$  plot at the Shotori section making the interpretation of palaeo-productivity difficult. It is suggested that an active oceanic upwelling was the probable driver of the Middle Permian oceanic productivity in central Iran. Remarkable negative  $\delta^{13}\text{C}$  excursions around 3.7 and 4.2‰ PDB in Capitanian carbonates close to the Guadalupian-Lopingian boundary at the Bagh-e Vang and Abadeh sections, respectively are recorded, which are a proxy for low palaeo-productivity and a transition from a cool to warm climate, consistent with an early Lopingian sea level rise.

**Keywords:** Guadalupian carbonates, Jamal Formation, Kamura event, carbon isotope, central Iran.

## مقدمه

پلتفرم‌های کربناته پرمین در سراسر جهان گسترده هستند و دارای سوپرسکانس‌ها (مرتبه دوم، مدت زمان ۵-۲۰ میلیون سال) و سکانس‌های مرکب (مرتبه سوم، مدت زمان ۰.۵-۵ میلیون سال) می‌باشند (Dercour et al., 1993; Weidlich and Bernecker, 2003). مطالعه رسوبات گوادالوپین اهمیت زیادی دارد زیرا: (۱) گذار از حالت یخچالی به حالت گلخانه‌ای را نشان می‌دهند. (Montañez et al. 2007; Retallack, 2013)؛ (۲) غنی‌شدگی با دفن کربن آلی را نشان می‌دهند که از ژاپن (Isozaki et al., 2007a,b)، سازند فسفوریای آمریکای شمالی (Wardlaw and Collinson, 1986; Johnson, 2005)، چرت‌های پرمین در قطب شمال کانادا (Beauchamp and Baud, 2002) و سازند گوفنگ در جنوب چین (Kametaka et al., 2005; Shi et al., 2016) گزارش شده است؛ (۳) مقادیر مثبت بالای ایزوتوپ کربن را در کیتانین نشان می‌دهند که به‌عنوان رویداد سرمایه‌گذاری کمپورا شناخته می‌شود، این رویداد برای اولین بار در سنگ آهک‌های آتول‌های قدیمه بخش میانی پانتالاسا در ژاپن شناسایی شده است (Isozaki et al., 2007)؛ (۴) مرز گوادالوپین-لوپینگین (Guadalupian-Lopingian boundary) نشان‌دهنده تغییر در تنوع زیستی و انقراض دسته‌جمعی است که پیش از انقراض اصلی در مرز پرمین-تریاس رخ داده است (Wignall et al., 2009; Bond et al., 2010). مرز G-L با پایین‌ترین سطح آب دریا در طی فائوزوییک (Haq and Schutter, 2008)، انحراف منفی ایزوتوپ کربن (Heydari et al., 2000; Kaiho et al., 2005; Shen et al., 2013; Liu et al., 2013) و پایین‌ترین نسبت  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  در طی فائوزوییک (Korte et al., 2006; Kani et al., 2008) مشخص می‌شود. کربناته‌های پرمین میانی تا بالایی در شرق ایران مرکزی به نام سازند جمال شناخته می‌شوند (Stöcklin et al., 1965). بهترین برش‌های چینه‌شناسی این کربناته‌ها در برش شتری در رشته‌کوه شتری، در پیشانی جنوبی کوه جمال و در برش باغ‌ونگ، در کوه‌های باغ‌ونگ رخمون دارند. کربناته‌های جمال از توالی‌های درجه دوم و سوم که در آن‌ها تکتونیک‌های محلی و تغییرات جهانی سطح آب دریا کنترل‌کننده چرخه‌های زمانی بوده‌اند (Arefifard and Isaacson, 2011) تشکیل شده‌اند. بیواستراتیگرافی فوزولینید و فرامینیفراهای کوچک در این دو برش پرمین میانی تا بالایی نشان‌دهنده سن رودین تا اوایل وچاپینگین برای سازند جمال در برشهای شتری و باغ‌ونگ است (Leven and Vaziri-Moghaddam, 2004; Arefifard and Davydov, 2004; Arefifard et al., 2006).

رسوبات پرمین میانی در این دو برش ویژگی‌های لیتولوژیکی و رخساره‌ای کاملاً متفاوتی دارند: در بخش شتری، این رسوبات عمدتاً به‌وسیله تناوب آهک‌های گریستون-پکستون فوزولینید و فرامینیفراهای کوچک و گریستون‌انیدی شناخته می‌شوند، و در رسوبات هم‌زمان آن‌ها در برش باغ‌ونگ، ترکیب‌هایی از مادستون-وکستون فرامینیفراهای کوچک و اسپیکول‌های اسفنجی و رادیولر همراه با چرت‌های ندولی وجود دارد. اهداف این مطالعه عبارتند از: (۱) ارائه مختصری از سنگ چینه‌نگاری و زیست چینه‌نگاری رسوبات پرمین میانی در هر دو برش شتری و باغ‌ونگ و مقایسه آن‌ها با رسوبات هم‌زمان شناخته شده در برش آواده در ایران مرکزی؛ (۲) گزارش ترکیبات ژئوشیمیایی آن‌ها (ترکیبات عنصری و مقادیر  $\delta^{13}\text{C}$  و  $\delta^{18}\text{O}$ ) برای درک کانی‌شناسی اصلی کربنات‌ها و ویژگی‌های دیاژنتیکی آن‌ها؛ (۳) ارزیابی بازدهی زیستی دیرینه (Paleoproductivity) اقیانوسی با استفاده از نمودارهای مقادیر  $\delta^{13}\text{C}$  در برشهای چینه‌شناسی گوادالوپین در شرق ایران مرکزی و رکوردهای پیشین مقادیر  $\delta^{13}\text{C}$  در برش آواده در ایران مرکزی به منظور درک مکانیسم‌های احتمالی که بازدهی دیرینه را در این منطقه باعث شده‌اند.

## بحث

تحلیل‌های ریزرخساره‌های رسوبات پرمین میانی در کربناته‌های سازند جمال، در هر دو برش شتری و باغ‌ونگ، توسط عارفی فرد و ایساکسن (Arefifard and Isaacson, 2011) مورد بررسی قرار گرفته است. دانه‌های اسکلتی کربناته‌های پرمین میانی سازند جمال شامل فوزولینیدها، فرامینفرهای کوچک، جلبک‌های آهکی، براکیوپودها، کرینوتیدها، استراکودها، بریوزوآها و مرجان‌ها است، که در کنار آن‌ها دانه‌های غیر اسکلتی مانند ائیدها، پلوئیدها، اینترکلاست‌ها و پیروئیدها دیده می‌شوند. در مقابل، کربناته‌های گوادالوپین سازند جمال در برش باغ‌ونگ شامل فرامینفرهای کوچک، کرینوتیدها، اسپیکول‌های اسفنجی و رادیولر به‌عنوان دانه‌های اسکلتی در ماتریس گل آهکی هستند و فاقد دانه‌های غیر اسکلتی‌اند. بنابراین، پرمین میانی در برش شتری تحت تأثیر محیطی گرم و کم‌عمق بوده است، در حالی که رسوبات هم‌زمان آن در برش باغ‌ونگ مربوط به محیطی خنک و عمیق است. اجزای زیستی رسوبات پرمین میانی سازند جمال در هر دو برش مورد مطالعه با تغییرات کانی‌شناسی کربنات‌ها تطابق دارد. این موضوع نشان می‌دهد که در پرمین میانی شرق ایران مرکزی، شیمی آب دریا متغیر بوده است. تغییرات در کانی‌شناسی کربنات‌ها، با وجود عدم تغییر در سطح  $PCO_2$ ، سطح جهانی دریا و شرایط تکتونیکی، در رسوبات پرمین میانی برش آباده نیز گزارش شده است. واحد عمیق شماره ۲ سازند سورمق مربوط به رودین-کپتاین زیرین در برش آباده کمترین مقادیر استرانسیم (600-800 ppm) را نشان می‌دهد، در حالی که واحدهای گرم و کم‌عمق در برش آباده شامل واحدهای ۱ و ۳ سازند سورمق و واحدهای ۴ و ۵ سازند آباده به‌ترتیب دارای مقادیر متوسط استرانسیم برابر با ۱۰۱۹، ۱۳۰۰، ۲۴۸۰ و ۲۴۵۵ پی پی ام هستند (Heydari et al., 2000).

ارتباط بین  $\delta^{13}C$  و  $\delta^{18}O$  در هر دو برش باغ‌ونگ و شتری نشان‌دهنده عدم وجود رابطه موازی است که این موضوع بیانگر آن است که علی‌رغم تأثیر تغییرات دیاژنری بر مقادیر  $\delta^{18}O$ ، مقادیر  $\delta^{13}C$  احتمالاً تحت تأثیر تغییرات ثانویه قرار نگرفته‌اند. در واقع، این مقادیر  $\delta^{13}C$  نشان‌دهنده ثبت تغییرات ترکیب ایزوتوپی کربن غیرآلی در اقیانوس پرمین میانی هستند که در آن کربنات‌های هر دو برش باغ‌ونگ و شتری رسوب‌گذاری شده‌اند. در برش باغ‌ونگ، مقادیر  $\delta^{13}C$  در بازه‌ای بین 0.3 ‰ PDB و 4.3 ‰ PDB قرار دارند. بر اساس مقادیر  $\delta^{13}C$ ، برش باغ‌ونگ به دو بخش تقسیم می‌شود: قسمت B-1 و بخش بالایی آن، یعنی B-2. قسمت B-1 با افزایش تدریجی مقادیر  $\delta^{13}C$  شناسایی می‌شود، در حالی که قسمت B-2 با کاهش نسبتاً تند مقادیر  $\delta^{13}C$  مشخص می‌شود. این تحلیل  $\delta^{13}C$  در برش باغ‌ونگ نشان می‌دهد که مقادیر  $\delta^{13}C$  از لایه‌های رودین تا رودین (قسمت B-1) افزایش یافته‌اند، اما در لایه‌های بالایی کپتاین زیرین قسمت B-2 روند کاهشی در مقادیر  $\delta^{13}C$  مشاهده می‌شود. در برش شتری، مقادیر  $\delta^{13}C$  در بازه‌ای بین 3.1 ‰ PDB و 4.1 ‰ PDB قرار دارند. برخلاف برش باغ‌ونگ، نمودار تغییرات  $\delta^{13}C$  در این بخش هیچ روند کلی افزایشی یا کاهشی را نشان نمی‌دهد. در برش باغ‌ونگ، مقادیر  $\delta^{13}C$  بیشترین تغییرات را به دلیل مقدار بالای مواد آلی نشان می‌دهند، در حالی که در برش شتری، مقدار کم مواد آلی باعث تغییرات کم یا عدم تغییر در مقادیر  $\delta^{13}C$  شده است.

الگوی افزایش تدریجی و رو به بالای مقادیر  $\delta^{13}C$  در لایه‌های رودین-رودین برش باغ‌ونگ نشان‌دهنده تغییر شرایط دیرینه‌اقیانوسی به یک رویداد خنک‌کننده است، که این تغییر با افزایش شدید  $\delta^{13}C$  در بخش بالایی رودین در حوالی مرز رودین-کپتاین مشهود است. متأسفانه، لایه‌های میانی و بالایی کپتاین در برش باغ‌ونگ وجود ندارند و این امر مانع از بررسی دقیق تغییرات مقادیر  $\delta^{13}C$  در این بازه زمانی می‌شود. حیدری و همکاران (Heydari et al., 2000) مقادیر  $\delta^{13}C$  در سازندهای سورمق و آباده در برش آباده را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده یک افزایش مثبت قابل توجه در مقادیر  $\delta^{13}C$ ، بیش از 3 ‰ PDB است که بین 2 ‰ PDB و 5 ‰ PDB نوسان دارد. این رسوبات از نظر مقادیر  $\delta^{13}C$  به چهار بخش تقسیم می‌شوند، یعنی بخش‌های AB-1 تا AB-4. در بخش AB-1 (شامل واحدهای ۱-۳ سازند سورمق)، مقادیر  $\delta^{13}C$  از 2 ‰ PDB به حدود 4.2 ‰ PDB افزایش می‌یابد. در بخش AB-2، کاهش کوتاه مدتی در مقادیر  $\delta^{13}C$  در قاعده واحد ۴ سازند آباده به میزان 2 ‰ PDB مشاهده می‌شود که ناشی از وجود بلورهای ژئیس است. این بلورها نشان‌دهنده تبخیر محدود آب دریا در شرایط حاشیه‌ای دریایی هستند که به کاهش مقادیر  $\delta^{13}C$  منجر شده‌اند (Heydari et al., 2000). بخش ۳ (شامل بخش عمده واحد ۴ سازند آباده) یک افزایش دیگر در مقادیر  $\delta^{13}C$  را نشان می‌دهد که به

PDB 5% می‌رسد. بخش ۴ (شامل بخش فوقانی واحد سازند آب ده ۴) نشان‌دهنده یک کاهش شدید در مقادیر  $\delta^{13}\text{C}$  به میزان PDB 4% است. افزایش تدریجی و بلندمدت مقادیر  $\delta^{13}\text{C}$  از رودین تا مرز وردین-کاپیتانین در بخش باغ‌ونگ در شرق ایران مرکزی و از رودین تا کپیتانین زیرین در سازند سورمق و بخش عمده سازند آبادیه را می‌توان با تولید اولیه بالای زیستی در اقیانوس و دسترسی فراوان به مواد مغذی توضیح داد. حضور گل‌آهک غنی از مواد آلی و چرت در رسوبات پرمین میانی در هر دو برش باغ‌ونگ و آبادیه نیز تأییدکننده مقادیر بالای  $\delta^{13}\text{C}$  است. ایزوساکی و همکاران (Isozaki et al., 2007a,b) یک افزایش مثبت قابل توجه در مقادیر  $\delta^{13}\text{C}$  را در اواخر پرمین میانی (کپیتانین) در آهکهای یک آتول قدیمی در کمیورا، جنوب غربی ژاپن شناسایی کردند. آن‌ها این افزایش قابل توجه ایزوتوپ کربن را نتیجه یک رویداد سرمایه‌گذاری جهانی دانستند که طی دوره کپیتانین به مدت ۳-۴ میلیون سال ادامه داشت. این رویداد به نام رویداد سرمایه‌گذاری کمیورا (Kamura cooling event) شناخته می‌شود که قبل از مرز گوادالوپین-لوپینگین به پایان رسید. آن‌ها همچنین فرض کردند که از بین رفتن فونای آب گرم، از جمله فوزولینیدهای بزرگ و دوکفه‌ای‌ها، به دلیل رویداد سرمایه‌گذاری کمیورا بوده است. در ادامه، ایزوساکی و همکاران (Isozaki et al., 2007a,b) یک کاهش عمده در مقادیر  $\delta^{13}\text{C}$  را بلافاصله پس از رویداد کمیورا در برش کمیورا گزارش کردند که نشان‌دهنده گرم شدن جهانی و پایان تولید زیستی بالا در مرز گوادالوپین-لوپینگین است. ایزوساکی و همکاران (Isozaki et al., 2007a,b) شروع رویداد سرمایه‌گذاری کمیورا را به اوایل دوره کپیتانین نسبت دادند. رویداد سرمایه‌گذاری کمیورا به ایالت بزرگ آذرین امیشن (ELIP - Emeishan Large Igneous Province) در جنوب غربی چین به عنوان یک علت اصلی انقراض گوادالوپین-لوپینگین مرتبط شده است (Isozaki, 2009; Isozaki, Aljinović & Kawahata, 2011)، اما هم‌زمانی این دو رویداد به دلیل سن رادیومتریکی توف رسی در مرز پرمین میانی-بالایی در چائوتین ( $260 \pm 5$  میلیون سال) در مرز مائو کوو-چیپینگ قابل تردید است (He et al. 2007, 2010). فوران بازالت‌های امیشن یک رویداد مرزی بود که در مرز گوادالوپین-لوپینگین رخ داد و هم‌زمان با انقراض انبوه انتهای گوادالوپین اتفاق افتاد، که نشان می‌دهد ممکن است شباهت سببی بین این دو وجود داشته باشد (Zhang et al. 2006a,b; Shellnutt, Denyszyn & Mundil, 2012; Wei et al. 2012). محرک این رویداد سرمایه‌گذاری، مقادیر مثبت بالای  $\delta^{13}\text{C}$  نشان‌دهنده افزایش بهره‌وری زیستی یا تولید زیستی (bioproductivity) و نهشته شدن ماده آلی در گل‌سنگ غنی از مواد آلی در این دوره است. تولید اولیه زیستی (Primary Productivity) به خودی خود توسط دسترسی به مواد مغذی کنترل می‌شود و بهره‌وری بلندمدت اقیانوسی نیازمند تأمین مداوم عناصر محدودکننده مانند فسفر (P) و نیتروژن (N) است (Saltzman, 2005). یک سیگنال منحصربه‌فرد از رویداد سرمایه‌گذاری کمیورا در سازند ولیت (Velebit Formation) کاپیتانین در کرواسی در بخش غربی تیتس گزارش شده است که مقادیر غیرمعمول بالای (PDB 4% تا PDB 6%) نشان می‌دهد و بر جهانی بودن این رویداد و کاربرد آن در همبستگی شیمی چینه‌ای دلالت دارد (Isozaki et al., 2011). در جنوب چین، رویداد کمیورا از لایه‌های بالایی کاپیتانین در بخش پنگلاتان گزارش شده است (Wang et al. 2011; al., 2004; Chen et al. 2011). این رویداد همچنین در رسوبات کپیتانین در جنوب پرایموریه در شرق دور روسیه (Kossovaya and Kropatcheva, 2013) مشهود است، جایی که ایزوتوپ‌های کربن افزایش مقادیر از PDB 1.2% به PDB 4% را نشان می‌دهند. مقادیر مثبت مشابه و بالای  $\delta^{13}\text{C}$  از گرینلند شرقی (Scholle et al., 1991)، غرب اسپیتزبرگ (Mii et al., 1997)، سازند ییغلیتپه (Yigiltepe Formation) در مقطع تیپ کوسرلیک در استان آدانا، ترکیه (Jost et al. 2014) و حوضه دلور (Delaware) در تگزاس غربی (Korte et al. 2005) گزارش شده است.

این متن را پاک کنید و بحث مقاله خود را با همین فونت و اندازه (متن فارسی با قلم B Zar 12 و واژه‌های انگلیسی درون آن با قلم Times New Roman 10) بنویسید. توجه داشته باشید که بدنه اصلی یک مقاله را بحث تشکیل می‌دهد. بیان دستاوردها و تحلیل و تفسیر آنها همراه با ارائه

مستندات کافی نظیر تصاویر و نمودارهای مختلف همچون ستون‌های چینه نگاری و فسیلهای شناسایی شده در این بخش انجام می‌شود. دقت بفرمایید که منابع در متن بحث به ترتیب سال انتشار و در فهرست منابع به ترتیب حروف الفبا ذکر شوند؛ مثلاً (عاشوری، ۱۳۶۷؛ موسوی حرمی و محبوبی، ۱۳۸۶؛ هادوی و همکاران، ۱۳۶۵؛ Ghavidel Syooki, 2008؛ Abbasi & Mirzaei Ataabadi, 2014؛ Yazdi *et al.*, 2008).

در برش باغ وانگ، حداکثر مقادیر  $\delta^{13}C$  در سنگ آهک‌های چرتی وردین و گرینستون‌های بیوکلستیک کیتانین زیرین مشاهده شده است، در حالی که در برش آواده، حداکثر مقادیر در کیتانین بالایی رخ داده است. این تغییرات مثبت بالای ایزوتوپ‌های کربن در رسوبات پرمین میانی در برش‌های باغ وانگ و آواده و دیگر مناطق هم‌زمان نشان‌دهنده این است که پرمین میانی یکی از دوره‌های مهم تولید زیستی (bioproductivity) بالا در طول فانروزوئیک بوده است (Large *et al.* 2015). دو توضیح ممکن برای چنین بهره‌وری بالای اقیانوسی در ایران مرکزی وجود داشته باشد. یکی از این توضیحات یافتن شواهدی از فعالیت‌های آتشفشانی در زمان وقوع این رویداد سرمایه‌گذاری است. در واقع، هیچ نشانه‌ای از فعالیت آتشفشانی مشابه با ایالت بزرگ آذرین امیشن (ELIP) در زمان پرمین میانی و پرمین پایانی در ایران مرکزی وجود ندارد که بتواند باعث افزایش نرخ‌های هوازدگی قاره‌ای و افزایش جریان مواد مغذی از قاره به اقیانوس‌ها شده و تولید اولیه را تحریک کرده و به بهره‌وری اولیه بالا منجر شود. توضیح دیگری که برای این بهره‌وری بالا مطرح است، گردش فعال اقیانوسی مرتبط با یک جریان صعودی (upwelling) در امتداد دامنه‌های حاشیه قاره‌ای است. این جریان ممکن است مواد مغذی را از مناطق شیب‌دار عمیق و کم‌اکسیژن در منطقه دیس فوتیک به منطقه یوفوتیک کم‌عمق آورده باشد و تولیدکنندگان پلانکتونی را تحریک کرده و باعث افزایش بهره‌وری قدیمه در زمان گوادالوپین پایانی در ایران مرکزی شده باشد (Isozaki, Aljinović & Kawahata, 2011; Saitoh *et al.* 2013). رسوبات رودین تا وردین در برش باغ وانگ شامل سنگ آهک‌های وکاستون-مادستون خاکستری تیره با لایه‌بندی متوسط تا نازک و چرت‌های نودولار فراوان است که رادیولرها، سوزن اسفنج و فرامینیفرهای کوچک در آن‌ها دیده می‌شوند. واحد ۲ سازند سورمق شامل تناوب نودولها و نوارهای چرتی است که حاوی سوزن اسفنج و رادیولر هستند و سنگ آهک دولومیتی خاکستری نیز با مقادیر کمی از فوزولینیدها و کرینئیدها در آن دیده می‌شود. کمیابی یا نبود کامل فسیل‌های آب کم‌عمق و حضور فراوان رادیولرها و سوزن اسفنج که در محیط‌های دریایی باز رایج هستند، نشان می‌دهد که این رسوبات به استثنای بخش‌های بالایی که نشان‌دهنده محیط آب کم‌عمق است در محیط شیب‌دار یا حوضه‌ای نسبتاً عمیق تحت شرایط کم‌اکسیژن انباشته شده‌اند. در برش آواده، واحدهای پرمین میانی حاوی فوزولینیدهای بزرگ و کوچک و جلبک‌های آهکی فراوان هستند که نشان‌دهنده ته‌نشینی در آب کم‌عمق و در منطقه یوفوتیک است. در سازند آواده در بخش‌های میانی تا بالایی کیتانین، فوزولینیدهای بزرگ غایب و فوزولینیدهای کوچک نادر هستند. ناپدید شدن فوزولینیدهای بزرگ متعلق به خانواده‌های Verbeekinae و Neoschwagerinae از ویژگی‌های سازند آواده است. انقراض این فوزولینیدهای بزرگ به نظر می‌رسد که با رویداد سرمایه‌گذاری کامورا مرتبط باشد.

## نتیجه‌گیری

- کربنات‌های پرمین میانی (Guadalupian) در برش شتری و رسوبات هم‌زمان آن‌ها در برش باغ‌ونگ، دو لیتولوژی متفاوت را نشان می‌دهند. در برش شتری، این کربنات‌ها عمدتاً از وکستون-پکستون بیوکلستیک در تناوب با گرینستون تشکیل شده‌اند، در حالی که در برش باغ‌ونگ، لیتولوژی به مادستون-وکستون بیوکلستیک چرتی تغییر یافته و تنها در بخش بالایی به پکستون-گرینستون بیوکلستیک تبدیل می‌شود.

- کربنات‌های گوادالوپین در برش شتری در اصل از آراگونیت تشکیل شده‌اند، که با تبلور مجدد، مقادیر بالای Sr وجود قالب‌هایا ائیدی مستند شده است. در مقابل، کانی‌شناسی اصلی کربنات‌های هم‌زمان در برش باغ‌ونگ، کلسیت است که با ماهیت عدم تبلور مجدد کربنات‌ها و مقادیر

پایین  $\delta^{13}\text{C}$  مشخص می‌شود. مقادیر کربنات‌های گوادالوپیان در برش شتوری بالاتر از کربنات‌های برش باغونگ است، که ممکن است نشان‌دهنده کانی‌شناسی اصلی کلسیتی کربنات‌های گوادالوپیان در برش باغونگ باشد.

- ترکیب دانه‌های اسکلتی و غیر اسکلتی و کانی‌شناسی آراگونیتی کربنات‌های سازند جمال در برش شتری نشان‌دهنده کربنات‌های آب گرم است. در مقابل، کربنات‌های هم‌زمان در برش باغونگ تنها شامل دانه‌های اسکلتی هستند و عمدتاً از کلسیت تشکیل شده‌اند، که نشان‌دهنده کربنات‌های آب سرد در عمق بیشتر است. این تغییر در کانی‌شناسی در این کربنات‌های هم سن ناشی از تغییر عمق و دما است. این پدیده در رسوبات گوادالوپین برش آباده نیز مشاهده می‌شود، جایی که رسوبات آب عمیق دارای مقادیر  $\delta^{13}\text{C}$  کمتری نسبت به رسوبات آب کم‌عمق با کانی‌شناسی آراگونیتی هستند.

- روندهای مثبت مهم در مقادیر  $\delta^{13}\text{C}$  با بیش از 2 ‰ PDB و 3 ‰ PDB در مرز وردین-کپیتانین در سازند جمال در برش باغونگ و کپیتانین بالایی در سازند آباده مشاهده می‌شوند. این روندها احتمالاً نتیجه تولید اولیه بالای زیستی و محبوس شدن ماده آلی در رسوبات هستند. هیچ انحراف مثبت قابل توجهی در نمودار تغییرات  $\delta^{13}\text{C}$  در برش شتری مشاهده نمی‌شود، که تفسیر تولید زیستی قدیمه را دشوار می‌کند.

- پیشنهاد می‌شود که گردش فعال اقیانوسی به‌طور خاص مسئول افزایش تولید زیستی در رسوبات پرمین میانی در مرکز ایران بوده است. جریان‌های رو به بالا در امتداد شیب‌های حاشیه سکوی قاره‌ای، مواد مغذی را به آب‌ها منتقل کرده و تولیدکنندگان پلانکتونی را تحریک کرده‌اند، که به تولید زیستی کلی بالا منجر شده است.

- یک روند منفی قابل توجه در مقادیر  $\delta^{13}\text{C}$  (در حدود 3.7 ‰ PDB و 4.2 ‰ PDB) در کربنات‌های کپیتانین نزدیک به مرز گوادالوپین-لوپینگین در برش‌های باغونگ و آباده مشاهده می‌شود. این کاهش شدید در  $\delta^{13}\text{C}$  نشان‌دهنده تولید زیستی پایین و تغییر روند آب و هوایی از شرایط سرد به گرم است، که با افزایش سطح دریا در زمان لوپینگین آغازی هم‌خوانی دارد.

## منابع

- Angiolini, L., Gaetani, M., Muttoni, G., Stephenson, M.H. and Zanchi, A. 2007. Tethyan oceanic currents and climate gradients 300 my ago. *Geology* 35: 1071-4.
- Arefifard, S., 2018. Sea level drop, palaeoenvironmental change and related biotic responses across Guadalupian-Lopingian boundary in southwest, North and Central Iran. *Geological Magazine*, 155(4): 921-943.
- Heydari, E., Hassanzadeh, J. and Wade, W.J., 2000. Geochemistry of central Tethyan Upper Permian and Lower Triassic strata, Abadeh region, Iran. *Sedimentary Geology* 137, 85-99.
- Isozaki, Y., Aljinovi'c, D. and Kawahata, H., 2011. The Guadalupian (Permian) Kamura event in European Tethys. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 308: 12-21.
- Isozaki, Y., Kawahata, H. and Minoshima, K., 2007. The Capitanian (Permian) Kamura Cooling Event: the beginning of the Paleozoic-Mesozoic transition. *Palaeoworld* 16: 16-30.
- Isozaki, Y., Kawahata, H. and Ota, A., 2007. A unique carbon isotope record across the Guadalupian-Lopingian (Middle-Upper Permian) boundary in mid-oceanic paleoatoll carbonates: the high-productivity "Kamura event" and its collapse in Panthalassa. *Global Planetary Change* 55: 21-38.
- Kaiho, K., Chen, Z.-Q., Ohashi, T., Arinobu, T., Sawada, K. and Cramer, B.S. 2005. A negative carbon isotope anomaly associated with the earliest Lopingian (Late Permian) mass extinction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 223, 172-80.