

تحلیل منشأ و شرایط تشکیل کانی پیریت در قاعده سازند پابده با استفاده از روش‌های پتروگرافی آلی (برش الگوی تنگ‌هتی، تاکدیس کوه گورپی)

ساسان بختیاری نژاد^۱، مجید علیپور^{*۲}، نرگس شکری^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی نفت، گروه زمین‌شناسی نفت و حوضه‌های رسوبی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استادیار گروه زمین‌شناسی نفت و حوضه‌های رسوبی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

*Email: alipour@scu.ac.ir

چکیده

کانی پیریت (FeS_2) یکی از شاخص‌های مهم در تفسیر شرایط اکسید-احیایی و فرآیندهای دیاژنزی در سنگ‌های رسوبی به‌شمار می‌رود. در این پژوهش، منشأ و شرایط تشکیل پیریت در قاعده سازند پابده در برش الگوی تنگ‌هتی (تاکدیس کوه گورپی) با استفاده از روش‌های پتروگرافی آلی مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور دستیابی به این هدف، تعداد ۲۴ نمونه سنگی از بخش قاعده‌ای سازند پابده برداشت و پس از آماده‌سازی مقاطع صیقلی، مطالعات میکروسکوپی در نور بازتابی انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که پیریت در نمونه‌ها دارای فراوانی اندک و پراکندگی محدود بوده و اغلب به‌صورت ثانویه، همراه با شواهد اکسیدشدگی مشاهده می‌شود. حضور محدود پیریت‌های فرامبوئیدی، در کنار فقر ماده آلی، غالب بودن ماسرال‌های منشأ گیاهی، فراوانی اکسیدهای آهن و روشن بودن زمینه سنگ‌ها، بیانگر موقتی و موضعی بودن شرایط احیایی تا نیمه احیایی و غلبه شرایط اکسیک در زمان رسوب‌گذاری و دیاژنز اولیه قاعده سازند پابده است. مقایسه نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین نشان می‌دهد که اگرچه رخداد گرمایش بیشینه پالئوسن-ائوسن و نوسانات سطح آب دریا بر ویژگی‌های رخساره‌ای و ورود ماده آلی تأثیر گذاشته‌اند، اما این تغییرات منجر به شکل‌گیری شرایط احیایی پایدار و گسترده در این برش نشده‌اند. در مجموع، پیریت‌های مشاهده‌شده بیشتر بازتاب‌دهنده شرایط احیایی موقتی یا فرآیندهای ثانویه بوده و نمی‌توان آن‌ها را به‌عنوان شاخصی قطعی برای احیایی بودن محیط رسوب‌گذاری قاعده سازند پابده در نظر گرفت.

کلیدواژه‌ها: پیریت ثانویه، تاکدیس کوه گورپی، تنگ‌هتی، پتروگرافی آلی، محیط اکسید-احیا

Analysis of the Origin and Formation Conditions of Pyrite in the Basal Part of the Pabdeh Formation Using Organic Petrography Methods (Tang-e-Hati Type Section, Kuh-e Gurpi Anticline)

Sasan Bakhtiary Nejad¹; Majid Alipour^{*2}; Narges Shokri²

¹ M. Sc student in Petroleum Geology, Department of Petroleum Geology & Sedimentary Basins, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahwaz, Ahwaz, Iran

² Assistant Professor, Department of Petroleum and Sedimentary Basins, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahwaz, Ahwaz, Iran

*Email: alipour@scu.ac.ir

Abstract

Pyrite (FeS_2) is one of the key indicators for interpreting redox conditions and diagenetic processes in sedimentary rocks. In this study, the origin and formation conditions of pyrite in the basal part of the Pabdeh Formation were investigated using organic petrography methods in the type section of Tang-e Hati (Kuh-e Gourpi anticline, Zagros Basin). For this purpose, 24 rock samples were collected from the basal interval of the Pabdeh Formation and examined under reflected light microscopy after preparation of polished sections. The results

indicate that pyrite occurs in low abundance and shows limited distribution, commonly appearing as allochthonous grains associated with evidence of secondary oxidation. The limited occurrence of framboidal pyrite, together with low organic matter content, dominance of plant-derived macerals, abundance of iron oxides, and a bright matrix, indicates prevailing oxic conditions during deposition and early diagenesis of the basal Pabdeh Formation. Comparison with previous studies suggests that although the Paleocene–Eocene Thermal Maximum (PETM) and sea-level fluctuations influenced facies characteristics and organic matter input, these changes did not lead to the development of persistent and widespread reducing conditions in the studied section. Overall, the observed pyrites mainly reflect transient reducing microenvironments or secondary processes and cannot be considered definitive evidence for reducing depositional conditions in the basal Pabdeh Formation.

Keywords: Secondary pyrite, Kuh-e Gurpi Anticline, Tang-e-Hati, Organic petrography, Redox environment

۱- مقدمه

کانی پیریت (FeS_2) یکی از رایج‌ترین سولفید آهن‌های موجود در سنگ‌های رسوبی به شمار می‌رود و حضور آن نقش مهمی در تفسیر شرایط رسوب‌گذاری و فرآیندهای دیاژنزی ایفا می‌کند (Berner, 1984). تشکیل پیریت عموماً در محیط‌های کم‌اکسیژن تا بی‌اکسیژن رخ می‌دهد و به‌عنوان شاخصی کلیدی برای بازسازی شرایط اکسید-احیایی محیط‌های رسوبی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Rickard & Luther, 2007). این کانی می‌تواند به‌صورت اولیه (Syngenetic) همزمان با رسوب‌گذاری یا به‌صورت ثانویه در مراحل بعدی دیاژنز تشکیل شود که تشخیص این دو حالت برای تفسیر تاریخچه رسوبی و دیاژنزی سنگ‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Raiswell & Canfield, 2012). فرآیند پیریت‌زایی عمدتاً تحت کنترل فعالیت باکتری‌های کاهنده سولفات، حضور ماده آلی قابل تجزیه و دسترسی به آهن واکنش‌پذیر است (Canfield et al., 1993). در محیط‌های رسوبی، تجزیه بی‌هوازی ماده آلی توسط باکتری‌های کاهنده سولفات منجر به تولید سولفید هیدروژن شده و این ترکیب در واکنش با آهن محلول یا آهن موجود در کانی‌های اولیه، پیریت را تشکیل می‌دهد (Rickard, 2012). از این‌رو، حضور پیریت ارتباط مستقیمی با میزان و نوع ماده آلی، نرخ دفن رسوبات و شدت شرایط احیایی دارد و می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره وضعیت اکسیژن ستون آب و رسوبات در زمان رسوب‌گذاری ارائه دهد (Raiswell & Canfield, 2012). همچنین ریخت‌شناسی کانی پیریت مانند فرامبوئیدهای ریز (فرامبوئیدی با قطر < 5 میکرومتر) یا بلورهای اوهدری (تجمعی)، اطلاعات ارزشمندی از شدت احیا و زمان تشکیل ارائه می‌دهد. این ویژگی‌ها پیریت را به ابزاری کلیدی در ژئوشیمی آلی تبدیل کرده، جایی که هم‌زمانی آن با ماسرال‌ها، چرخه‌های کربن-گوگرد-آهن را بازتاب می‌دهد (Wilkin et al., 1996; Idrisova et al., 2021).

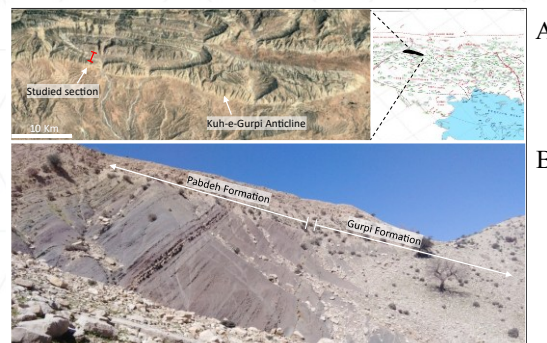
در این میان، پتروگرافی آلی به‌عنوان یکی از روش‌های مهم در مطالعات زمین‌شناسی نفت، امکان بررسی همزمان ماده آلی، کانی‌های همراه و روابط بافتی آن‌ها را فراهم می‌کند (Taylor et al., 1998). این روش با استفاده از مقاطع صیقلی و نور بازتابی، قابلیت شناسایی انواع پیریت، بررسی اندازه، شکل و نحوه پراکندگی آن در ماتریکس سنگی را داشته و نقش مؤثری در تشخیص پیریت اولیه از ثانویه ایفا می‌کند (Suárez-Ruiz et al., 2012). علاوه بر این، پتروگرافی آلی می‌تواند ارتباط فضایی میان پیریت و اجزای ماده آلی را مشخص کرده و در تفسیر شرایط اکسید-احیایی و فرآیندهای دیاژنزی نقش مکملی در کنار داده‌های ژئوشیمی آلی ایفا نماید (Hackley & Cardott, 2016).

سازند پابده یکی از واحدهای مهم و غنی از ماده آلی در حوضه زاگرس به شمار می‌رود که نقش قابل توجهی در سیستم‌های نفتی این حوضه ایفا می‌کند (Alavi, 2004). اگرچه مطالعات متعددی بر روی ویژگی‌های ژئوشیمی آلی این سازند، از جمله میزان ماده آلی و پتانسیل هیدروکربن‌زایی، انجام شده است، اما بررسی دقیق منشأ و شرایط تشکیل کانی پیریت قاعده این سازند، به‌ویژه در برش تنگ هتی و با تکیه بر روش پتروگرافی آلی، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از این‌رو، هدف از این پژوهش تحلیل منشأ و شرایط تشکیل کانی پیریت در قاعده سازند پابده در برش الگوی تنگ هتی واقع در تقاطع کوه گوری، به‌منظور تفسیر شرایط اکسید-احیایی و بازسازی محیط رسوبی در زمان نهشت این واحد چینه‌ای است.

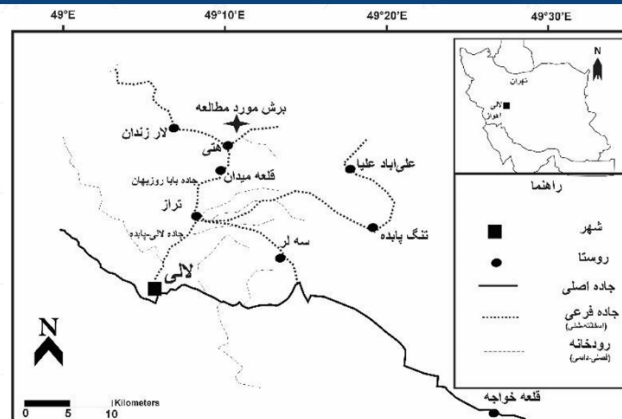
۲- مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی

حوضه رسوبی زاگرس یکی از مهم‌ترین حوضه‌های پیش‌بومی خاورمیانه به شمار می‌رود که در نتیجه همگرایی و برخورد صفحه عربی با صفحه ایران در طی سنوزوئیک شکل گرفته است (Alavi, 2004; Alipour, 2023). این حوضه شامل توالی‌های ضخیم و پیوسته‌ای از رسوبات مزوزوئیک تا سنوزوئیک بوده و به دلیل توسعه گسترده سنگ‌های منشأ، مخزن و پوش سنگ، میزبان سامانه‌های هیدروکربنی بزرگ و متعددی است (Bordenave, 2014; Alipour, 2024). سازند پابده با سن پالئوسن تا الیگوسن، یکی از واحدهای کلیدی سنوزوئیک محسوب می‌شود و به‌عنوان جوان‌ترین سنگ منشأ معرفی شده است؛ هرچند در بخش عمده‌ای از گستره خود هنوز به بلوغ حرارتی مطلوب برای تولید گسترده هیدروکربن نرسیده است (Alipour, 2025d). این سازند عمدتاً از شیل‌ها و مارن‌های ارغوانی تا خاکستری روشن و تیره، همراه با میان‌لایه‌های آهکی تشکیل شده است (James & Wynd, 1965).

برش مورد بررسی در این پژوهش در تنگه هتی و بر روی یال جنوبی تاق‌دیس کوه گورپی واقع شده است (شکل A). از دیدگاه تقسیم‌بندی ساختاری-جغرافیایی، ناحیه مورد مطالعه در زون ایذه از کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس قرار دارد (Motiei, 1993). این برش در حدود ۲۴ کیلومتری شمال‌شرقی شهر لالی در استان خوزستان قرار دارد. دسترسی به رخنمون از طریق جاده لالی-پابده امکان‌پذیر بوده و پس از عبور از مسیر منتهی به شهر تراز و ادامه مسیر در جهت جاده بابارزبهان می‌توان به محل مقطع دست یافت (شکل ۲). مختصات جغرافیایی برش مورد مطالعه برابر با طول شرقی $49^{\circ}10'22''$ و عرض شمالی $32^{\circ}31'35''$ است. محدوده مورد مطالعه شامل حدود ۴۷ متر از بخش قاعده‌ای سازند پابده است که عمدتاً از شیل‌های ارغوانی همراه با میان‌لایه‌هایی از مارل خاکستری تشکیل شده است (شکل B۱). در این برش، مرز میان سازند گورپی و سازند پابده به‌وسیله یک لایه مشخص اکسید آهن با ضخامت تقریبی ۳۵ سانتی‌متر مشخص می‌شود. سازند پابده در برش تنگه هتی بلافاصله بالای این لایه اکسید آهن آغاز شده و با تناوبی از شیل‌های ارغوانی توسعه می‌یابد که بیانگر تغییر شرایط رسوبی در ابتدای نهشت این سازند است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی تاق‌دیس کوه گورپی در برش تنگه هتی (A)؛ عکس از رخنمون سطحی سازند گورپی-پابده در برش تنگه هتی (B).



شکل ۲- موقعیت و مسیر دسترسی به برش تنگ هتی

در این پژوهش، در مجموع ۲۴ نمونه سنگی از بخش قاعده‌ای سازند پابده در رخنمون تنگ هتی برداشت شد. نمونه‌های برداشت شده پس از انتقال به آزمایشگاه دانشکده علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، جهت انجام مطالعات پتروگرافی آلی مورد آماده‌سازی قرار گرفتند. بدین منظور، قطعاتی با ابعاد تقریبی 10.5×1.5 سانتی‌متر از هر نمونه جدا شده و در قالب‌های مخصوص قرار داده شدند. سپس مخلوط رزین اپوکسی و سخت‌کننده با نسبت دو به یک به قالب‌ها افزوده شد تا نمونه‌ها به‌طور کامل درون رزین تثبیت شوند. پس از گذشت حدود ۲۴ ساعت و تکمیل فرآیند سخت‌شدن اپوکسی، قرص‌های حاصل از قالب خارج شده و مطابق دستورالعمل‌های استاندارد صیقل داده شدند تا سطحی یکنواخت و مناسب برای بررسی‌های میکروسکوپی فراهم گردد (Bustin et al., 1985; Taylor et al., 1998). مطالعات پتروگرافی آلی با استفاده از میکروسکوپ Zeiss Axioplan II انجام شد. بررسی‌ها در بزرگنمایی ۱۰۰ برابر و در حالت غوطه‌ور در روغن ایمرسیون صورت گرفت. در این مرحله، نوع، ریخت‌شناسی، اندازه و نحوه پراکندگی کانی پیریت در ارتباط با اجزای ماده آلی و ماتریکس سنگی مورد ارزیابی قرار گرفت و تصاویر میکروسکوپی لازم جهت تحلیل‌های بعدی ثبت شد.

۳- بحث

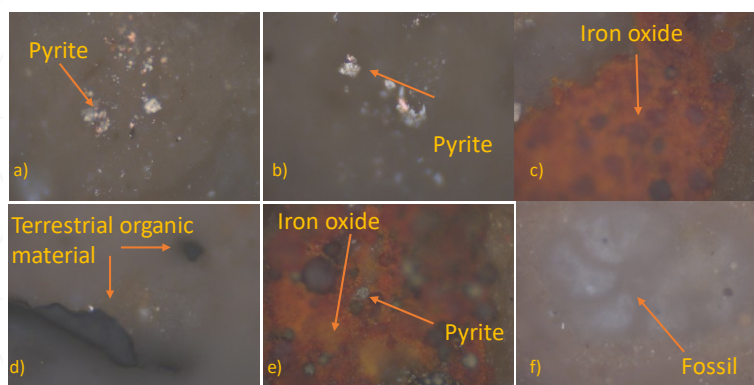
مطالعات پتروگرافی آلی انجام‌شده بر روی نمونه‌های قاعده سازند پابده در برش تنگ هتی نشان می‌دهد که اگرچه کانی پیریت در برخی از نمونه‌ها قابل مشاهده است، اما فراوانی آن پایین بوده و پیریت‌ها به‌صورت پراکنده در ماتریکس سنگی حضور دارند (شکل ۳ a و b). این میزان اندک پیریت، برخلاف آنچه در محیط‌های رسوبی پایداراً احیایی انتظار می‌رود، نشان‌دهنده شرایطی است که برای تشکیل گسترده پیریت اولیه مناسب نبوده است (Berner, 1984). بررسی‌های میکروسکوپی در نور بازتابی نشان می‌دهد که زمینه سنگ‌ها عمدتاً روشن بوده و بیانگر فقر نسبی ماده آلی در این بخش از سازند پابده است (شکل ۳). حضور ماده آلی به‌صورت پراکنده و نابرجا، همراه با غالب بودن ماسرال ویتترینایت (کروژن نوع III) با منشأ گیاهی، بیانگر ورودی محدود و ناپیوسته مواد آلی به حوضه رسوبی است (Bakhtiary Nejad et al., 2026) (شکل ۳ d). از سوی دیگر، مشاهده برخی بلورهای پیریت که آثار اکسیدشدگی در آن‌ها قابل تشخیص است (شکل ۳ e)، شاهدی قوی بر ناپایداری این کانی در محیط رسوبی اولیه و یا قرارگیری آن در معرض شرایط اکسیک پس از تشکیل است (Rickard & Luther, 2007). فراوانی قابل توجه اکسیدهای فلزی در مقاطع بررسی‌شده نیز این تفسیر را تقویت می‌کند و نشان می‌دهد که محیط رسوب‌گذاری و یا دیاژنز اولیه تحت شرایط غالباً اکسیدان انجام شده است.

در برخی نمونه‌ها، پیریت به‌صورت فرامبوئیدی مشاهده شده است. پیریت فرامبوئیدی به‌طور کلاسیک به‌عنوان شاخصی از محیط‌های آنوکسیک یا احیایی در نظر گرفته می‌شود. با این حال، وجود این نوع پیریت به‌تنهایی برای تفسیر قطعی محیط

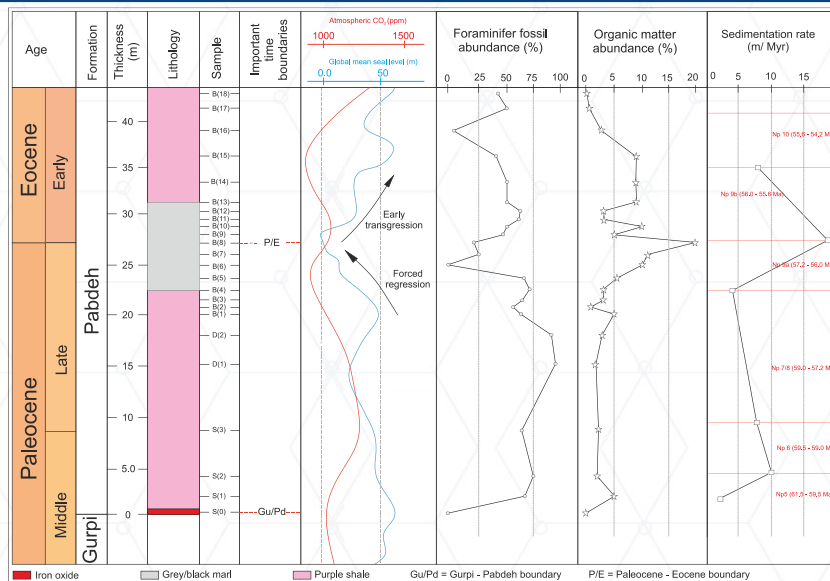
رسوبی احیایی کافی نیست و باید در چارچوب شواهد دیگر سنگ‌نگاری، ژئوشیمی آلی و رخساره‌ای مورد ارزیابی قرار گیرد (Wilkin et al., 1996). حضور پیریت‌های فرامبوئیدی در نمونه‌های برداشت‌شده از برش تنگ هتی، در زمینه‌ای روشن، فقیر از ماده آلی و همراه با فراوانی قابل توجه اکسیدهای آهن مشاهده می‌شود. این هم‌زمانی نشان می‌دهد که اگرچه در برخی بازه‌های زمانی کوتاه، شرایط احیایی تا نیمه‌احیایی به‌طور موقتی در حوضه رسوبی برقرار شده است، اما این شرایط از پایداری و تداوم کافی برخوردار نبوده‌اند. ناپایداری شرایط احیایی مانع از گسترش محیط‌های کاملاً آنوکسیک شده و تنها امکان تشکیل محدود و موضعی پیریت‌های فرامبوئیدی را فراهم کرده است. از این‌رو، پیریت‌های فرامبوئیدی مشاهده‌شده در این برش را می‌توان حاصل دوره‌های گذرای کاهش اکسیژن در محیط رسوبی دانست که در ادامه، با بازگشت شرایط اکسیک، تکامل نیافته و به‌صورت پراکنده در ماتریکس سنگی باقی مانده‌اند.

مشاهدات این پژوهش با نتایج مطالعات پیشین انجام‌شده توسط Bakhtiary Nejad et al. (2026) که به بررسی تغییرات رخساره‌ای، ویژگی‌های ماده آلی و تحلیل نوسانات سطح آب دریا در قاعده سازند پابده در برش تنگ هتی پرداخته‌اند، همخوانی قابل توجهی دارد. بر اساس نتایج Bakhtiary Nejad و همکاران (۲۰۲۶)، افزایش سطح آب جهانی در زمان ته‌نشینی شیل‌های ارغوانی قاعده سازند پابده موجب کاهش نرخ رسوب‌گذاری و محدود شدن ورود مواد آلی گیاهی به حوضه شده است؛ به‌طوری‌که مقدار اندک ماده آلی موجود توانایی احیای آهن آواری را نداشته و در نتیجه رنگ‌های سرخ تا نارنجی رسوبات حفظ شده‌اند. در مقابل، در بازه‌های متناظر مارل‌های خاکستری، با افزایش اسیدیته آب دریا ناشی از آزادسازی گسترده CO₂ طی رخداد گرمایش بیشینه پالئوسن-ائوسن (PETM) در ارتباط است (شکل ۴). اگرچه در این بازه‌ها به‌دلیل افزایش انرژی محیط و نرخ رسوب‌گذاری، ورود مواد آلی گیاهی به حوضه افزایش یافته است (شکل ۴)، اما شواهد پتروگرافی آلی نشان می‌دهد که ماده آلی همچنان به‌صورت پراکنده و نابرجا باقی مانده و شرایط احیایی پایدار و گسترده‌ای در محیط رسوبی برقرار نشده است (Bakhtiary Nejad et al., 2026).

مجموع شواهد پتروگرافی آلی، ویژگی‌های ماده آلی، فراوانی اندک پیریت، وجود اکسیدهای آهن، اکسیدشدگی ثانویه پیریت‌ها و داده‌های رخساره‌ای نشان می‌دهد که محیط رسوب‌گذاری قاعده سازند پابده در برش تنگ هتی به‌طور کلی محیطی اکسیک بوده است. پیریت‌های مشاهده‌شده، به ویژه پیریت‌های فرامبوئیدی، احتمالاً در شرایط احیایی تا نیمه احیایی مقطعی و بسیار محدود و کوتاه‌مدت تشکیل شده‌اند. از این‌رو، حضور پیریت در این برش را نمی‌توان به‌عنوان شواهدی قطعی بر احیایی بودن محیط رسوبی پابده در نظر گرفت و تفسیر محیطی باید بر اساس مجموعه‌ای از شواهد چندگانه انجام شود.



شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی گرفته شده از نمونه‌های قاعده سازند پابده



شکل ۴- نمودارهای مقایسه فراوانی فسیل، فراوانی ماده آلی و نرخ رسوب گذاری در توالی مورد مطالعه از قاعده سازند پابده در تنگ هتی (Bakhtiary (Nejad et al., 2026

۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از مطالعات پتروگرافی آلی قاعده سازند پابده در برش الگوی تنگ هتی نشان می‌دهد که کانی پیریت در این بخش از سازند دارای فراوانی اندک و پراکندگی محدود است و عمدتاً به صورت ثانویه و گاه همراه با شواهد اکسیدشدگی مشاهده می‌شود. فقر نسبی ماده آلی، غالب بودن ماسرال‌های منشأ گیاهی، حضور گسترده اکسیدهای آهن و روشن بودن زمینه سنگ‌ها همگی بیانگر غلبه شرایط اکسیک در زمان رسوب گذاری و دیاژنز اولیه این بخش از سازند پابده هستند. اگرچه حضور محدود پیریت‌های فرامبوئیدی در برخی نمونه‌ها می‌تواند نشان‌دهنده شکل‌گیری شرایط احیایی کوتاه مدت و موضعی باشد، اما این شرایط به صورت پایدار و گسترده در محیط رسوبی برقرار نبوده است. در مجموع، حضور پیریت در این بخش از سازند بیشتر بازتاب‌دهنده فرآیندهای محدود و ناپایدار احیایی تا نیمه احیایی یا انتقال ثانویه بوده و نمی‌توان آن را به عنوان شاخصی قطعی از احیایی بودن محیط رسوب گذاری در نظر گرفت.

۵- مراجع

- Alavi, M. (2004). Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American journal of Science*, 304(1), 1-20.
- Alipour, M. (2023). Collision along irregular plate margin controlled the tectono-stratigraphic evolution of the Iranian Zagros fold and thrust belt: *Marine and Petroleum Geology*, v. 154, p. 106311.
- Alipour, M. (2024). Petroleum systems of the Iranian Zagros Fold and Thrust Belt: Results in *Earth Sciences*, v. 2, p. 100027.
- Alipour, M. (2025d). Source Rocks of the Zagros Fold and Thrust Belt (ZFTB), in Alipour, M., ed., *Basics of Petroleum Geochemistry*, Springer, p. 57-76.

- Bakhtiary Nejad, S., Alipour, M., & Shokri, N. (2026). Impact of the Paleocene–Eocene Thermal Maximum (PETM) on organic petrographic characteristics of the basal Pabdeh Formation at Kuh-e-Gurpi Anticline, SW Iran. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 42(1), 1-14.
- Berner, R. A. (1984). Sedimentary pyrite formation: an update. *Geochimica et cosmochimica Acta*, 48(4), 605-615.
- Bordenave, M. (2014). Petroleum systems and distribution of the oil and gas fields in the Iranian part of the Tethyan region.
- Bustin, R. M., Cameron, A. R., Grieve, D. A., and Kalkreuth, W. D. (1985). *Coal Petrology - its principles, methods, and applications*, 250 p.
- Canfield, D. E., Raiswell, R., & Bottrell, S. H. (1992). The reactivity of sedimentary iron minerals toward sulfide. *American Journal of Science*, 292(9), 659-683.
- Hackley, P. C., & Cardott, B. J. (2016). Application of organic petrography in North American shale petroleum systems: A review: *International Journal of Coal Geology*, v. 163, p. 8-51.
- Idrisova, E., Gabitov, R., Karamov, T., Voropaev, A., Liu, M. C., Bogdanovich, N., & Spasennykh, M. (2021). Pyrite morphology and $\delta 34S$ as indicators of deposition environment in organic-rich shales. *Geosciences*, 11(9), 355.
- James, G., and Wynd, J. (1965). Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area: AAPG bulletin, v. 49, no. 12, p. 2182-2245.
- Motiei, H. (1993). *Geology of Iran: stratigraphy of Zagros*: Geological Survey of Iran, Tehran, v. 572.
- Raiswell, R., & Canfield, D. E. (2012). The iron biogeochemical cycle past and present. *Geochemical perspectives*, 1(1), 1-220.
- Rickard, D., & Luther, G. W. (2007). Chemistry of iron sulfides. *Chemical reviews*, 107(2), 514-562.
- Rickard, D. (2012). *Sulfidic sediments and sedimentary rocks* (Vol. 65). Newnes.
- Suárez-Ruiz, I., Flores, D., Mendonça Filho, J. G., & Hackley, P. C. (2012). Review and update of the applications of organic petrology: Part 2, geological and multidisciplinary applications. *International Journal of Coal Geology*, 98, 73-94.
- Taylor, G., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C., Littke, R., & Robert, P. (1998). *Organic petrology* (p. 704): Gebrüder Borntraeger.
- Wilkin, R. T., Barnes, H. L., & Brantley, S. L. (1996). The size distribution of framboidal pyrite in modern sediments: an indicator of redox conditions. *Geochimica et cosmochimica acta*, 60(20), 3897-3912.