

پیریت به عنوان نشانگر محیط احیایی-گوگردی و کاربرد آن در شناسایی مناطق تضعیف

پوش سنگ (مطالعه موردی: ناحیه ماماتین، جنوب غرب ایران)

سیدعباس نجفی^{*}، ساسان بختیاری نژاد^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نفت-اکتشاف، گروه مهندسی نفت، دانشکده نفت آبادان، دانشگاه صنعت نفت

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی نفت، گروه زمین‌شناسی نفت و حوضه‌های رسوبی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهیدچمران اهواز

*Email: abbas.najafi@ait.put.ac.ir

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی ارتباط میان شرایط احیایی-گوگردی، تراوشات هیدروکربنی و تشکیل پیریت در ناحیه ماماتین واقع در فروافتادگی دزفول شمالی انجام شد. بمنظور بازسازی محیط ته‌نشست و منشأ تراوشات، نمونه‌های بیتومن خشک‌شده از ناحیه ماماتین برداشت و تحت بررسی میکروسکوپی قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که پیریت‌های شناسایی‌شده عمدتاً از نوع توده‌ای و پرکننده حفره بوده و اندازه نسبتاً درشت آن‌ها (۰.۲ تا ۱ میلی‌متر) بیانگر تشکیل دیاژنزی ثانویه در اثر واکنش سولفید هیدروژن حاصل از تجزیه مواد آلی و مهاجرت هیدروکربن‌هاست. این تراوشات و نمونه‌های برداشت‌شده، نشان‌دهنده فعالیت یک سیستم هیدروکربنی فعال بوده که از مخزن کربناته آسماری نشأت گرفته و گسترش مخزن آسماری را تا دماغه شمال غربی میدان نفتی پارس تأیید می‌کنند. همچنین گسل‌های ناحیه ماماتین نیز در تضعیف پوش سنگ گچساران و ایجاد مسیرهای ترجیحی برای صعود سیالات، عامل اصلی تمرکز تراوشات سطحی بشمار می‌روند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که کانی پیریت می‌تواند بعنوان یک نشانگر از محیط احیایی-گوگردی در تعیین گسترش و تداوم مخازن هیدروکربنی ایفای نقش نماید.

کلیدواژه‌ها: پیریت، ناحیه ماماتین، محیط احیایی-گوگردی، تضعیف پوش سنگ

Pyrite as an Indicator of Sulfidic-Reducing Environments and Its Application in Identifying Caprock Weakening Zones (Case Study: Mamatain Region, SW Iran)

SeyedAbbas Najafi^{*1}; Sasan Bakhtiary Nejad²

1- M. Sc student in Petroleum Engineering - Exploration, Department of Petroleum Engineering, Abadan Faculty of Petroleum, Petroleum University of Technology, Abadan, Iran

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

*Email: abbas.najafi@ait.put.ac.ir

Abstract

This study aims to investigate the relationship between reducing-sulfurous conditions, hydrocarbon seepages and pyrite formation in Mamatain area in Northern Dezful Embayment. To reconstruct the depositional environment and determine the origin of the seepages, dry bitumen samples were collected from the Mamatain area and examined through microscopic observation. The results indicate that the identified pyrite occurs mainly as coarse-grained, pore-filling aggregates, with grain sizes ranging from 0.2 to 1 mm, reflecting secondary diagenetic formation through reactions between hydrogen sulfide generated from organic matter degradation and hydrocarbon migration and reactive iron. The presence of seepages and dry bitumen samples, confirms the activity of a dynamic hydrocarbon system, that sourced from the Asmari carbonate reservoir and also confirms the extension of Asmari reservoir to Northwestern flank of Parsi oilfield. Structurally, the Mamatain local faults play a key role in weakening the Gachsaran cap rock and creating preferential pathways for fluid ascent, thereby controlling the concentration of surface seepages. Overall, the findings demonstrate that pyrite as an indicator of reducing-sulfurous system can play a role to identifying the extension of hydrocarbon reservoirs.

Keywords: Pyrite, Mamatain area, Sulfidic-Reducing Environment, Caprock Weakening

۱- مقدمه

پیریت (FeS_2) یکی از مهم‌ترین کانی‌های سولفیدی در رسوبات دریایی و دیاننتیکی است که بطور گسترده به‌عنوان نشانگر ژئوشیمیایی شرایط احیایی و چرخه گوگرد در حوضه‌های رسوبی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Berner, 1984). تشکیل پیریت وابسته به برهم‌کنش پیچیده میان آهن و اکسید پذیر، سولفید هیدروژن و شرایط اکسایش-کاهش محیط است و از این‌رو اطلاعات ارزشمندی درباره تاریخچه ژئوشیمیایی رسوبات و سیالات در اختیار قرار می‌دهد (Rickard & Luther, 2007). از دیدگاه ژئوشیمیایی، اصلی‌ترین منبع سولفید لازم برای تشکیل پیریت در محیط‌های رسوبی، فرآیند احیای میکروبی سولفات (Bacterial Sulfate Reduction; BSR) است که طی آن باکتری‌ها، سولفات محلول در آب دریا را به سولفید هیدروژن تبدیل می‌کنند (Seal, 2006). این فرآیند معمولاً در رسوبات غنی از ماده آلی و در شرایط پتانسیل اکسایش-کاهش پایین رخ می‌دهد و نقش کلیدی در کنترل ژئوشیمی گوگرد، آهن و کربن ایفا می‌کند. سولفید تولیدشده در این محیط‌ها با آهن و اکسید پذیر ترکیب شده و منجر به تشکیل پیریت در اشکال مختلفی نظیر فرامبوئیدی، اوهدرال یا توده‌ای می‌شود که هر یک بازتاب‌دهنده شرایط ژئوشیمیایی متفاوتی هستند (Canfield et al., 2005).

در سیستم‌های نفتی، پیریت علاوه بر نقش رسوبی-دیاننتیکی، بعنوان یک نشانگر غیرمستقیم مهاجرت و حضور هیدروکربن‌ها نیز شناخته می‌شود. ورود هیدروکربن‌ها به رسوبات می‌تواند شرایط احیایی را تشدید کرده و از طریق مصرف اکسیژن و تحریک فرآیندهای میکروبی، تولید سولفید و در نتیجه تشکیل پیریت را افزایش دهد (Seal, 2006; Gibson et al., 2004). از این منظر، هم‌زمانی پیریت‌زایی و تراوشات بیتومنی می‌تواند بیانگر فعالیت یک سامانه فعال مهاجرت هیدروکربن و برهم‌کنش سیالات نفتی با محیط‌های گوگرددار باشد (Aplin & Macquaker, 2011).

ناحیه ماماتین در فروافتادگی دزفول شمالی واقع در کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس، یکی از بارزترین نواحی تراوشات طبیعی هیدروکربنی در جنوب‌غرب ایران محسوب می‌شود (Motiei, 1993). وجود این چشمه‌های هیدروکربنی، نشان‌دهنده تضعیف و ناپیوستگی پوش سنگ و مهاجرت فعال هیدروکربن‌ها از عمق به سطح است (Moradi et al., 2017; Bordenave, 2014). گزارش‌ها حاکی از آن است که بسیاری از تراوشات این ناحیه با آغستگی قابل توجه گوگرد همراه هستند که این ویژگی می‌تواند به ماهیت احیایی-گوگردی سنگ منشأ و فرآیندهای ژئوشیمیایی حاکم بر سیستم نفتی ناحیه نسبت داده شود (نجفی و همکاران، ۱۴۰۴; Moradi et al., 2017; Bordenave, 2014; Sherkati & Letouzey, 2004).

در ناحیه ماماتین، رخنمون‌های سطحی عمدتاً به گروه فارس پایینی تا میانی (سازندهای گچساران و میشان) و رسوبات عهدحاضر تعلق دارند. توالی‌های تبخیری و مارنی گچساران در این ناحیه، بعنوان پوش سنگ برای سنگ مخزن کربناته آسماری عمل می‌کنند (Motiei, 1993; Alavi, 2004).

هدف این مطالعه، بررسی روابط میان محیط احیایی-گوگردی، تراوشات هیدروکربنی و تشکیل پیریت در ناحیه ماماتین با استفاده از بررسی میکروسکوپی است. این پژوهش همچنین به بازسازی حوادث حوضه، شناسایی پیریت مرتبط با محیط احیایی-گوگردی و ارتباط آن با تراوشات هیدروکربنی و کنترل ساختاری گسل‌ها می‌پردازد. بنابراین، مطالعه حاضر با پرکردن شکاف علمی موجود، اطلاعات ارزشمندی درباره محیط ته‌نشست و منشأ تراوشات در ناحیه ماماتین ارائه می‌دهد.

۲- مطالعات میدانی و آزمایشگاهی

ناحیه ماماتین اولین منطقه خوزستان است که بعلا تراوشات متعدد سطحی مورد توجه کاوشگران اولیه نفت واقع شده است. این ناحیه در ۱۰ کیلومتری شمال‌خاوری شهرستان رامهرمز و ۱۰۰ کیلومتری شمال‌خاوری اهواز در بین و در امتداد محوری میداین نفتی هفتکل و پارسی قرار دارد. ساختار ناحیه تحت‌تأثیر رانش‌های زاگرس بوده و دارای سیستم پیچیده‌ای از گسل‌های ناحیه‌ای (Local) است که نقش مهمی در کنترل مهاجرت هیدروکربن و تجمع تراوشات سطحی دارند (Bordenave, 2014; Alavi, 2004).

سازند پابده به عنوان سنگ منشأ، محیط دریایی کم اکسیژن تا نیمه اکسیژن دار داشته و منبع اصلی هیدروکربن‌های گوگرددار منطقه محسوب می‌شود (رشیدی و همکاران، ۱۳۸۷؛ Mahmoudzadeh et al., 2022). بررسی نجفی و همکاران (۱۴۰۴) بر روی داده‌های چینه‌شناسی و لرزه‌ای در میادین ماماتین و پارسی نشان داد که تاق‌دیس آسماری ماماتین تا دماغه شمال غربی تاق‌دیس آسماری پارسی گسترش و تداوم یافته و بایستی در مورد محدوده میادین مذکور تجدیدنظر صورت گیرد. نمونه‌های این پژوهش (شامل بیتومن‌های خشک‌شده)، در فاصله ۸.۵ کیلومتری جنوب شرق ناحیه ماماتین، بصورت سیستماتیک برداشت شده و جهت بررسی میکروسکوپی به آزمایشگاه منتقل گردیدند. این نمونه‌ها پایه‌ای برای شناسایی پیریت و ارتباط آن با تراوشات هیدروکربنی و شرایط احیایی-گوگردی فراهم نمودند.



شکل ۲: نمونه بیتومن خشک‌شده. بلورهای پیریت با پیکان قرمز مشخص شده‌اند. (بزرگ‌نمایی ۱۱۰X)



شکل ۱: نمونه بیتومن خشک‌شده. بلورهای پیریت با پیکان قرمز مشخص شده‌اند. (بزرگ‌نمایی ۱۱۰X)

۳- بحث

بررسی‌های میدانی و تصاویر میکروسکوپی حاصل از نمونه‌های برداشت‌شده در ناحیه ماماتین نشان می‌دهد که این ناحیه تحت تأثیر یک سامانه احیایی-گوگردی فعال قرار داشته که از عمق تا سطح امتداد یافته است. حضور پیریت در نمونه‌های برداشت‌شده و گزارشات و مطالعات پیشین، مجموعه‌ای از شواهد هم‌راستا را فراهم می‌کند که بیانگر مهاجرت هیدروکربن‌های گوگرددار از سنگ منشأ پابده به سمت سطح است.

پیریت مشاهده‌شده در نمونه‌های برداشتی، بر اساس اندازه‌گیری‌ها و بافت میکروسکوپی، عمدتاً به صورت توده‌ای و پرکننده حفره (pore-filling pyrite aggregates) با اندازه دانه‌های ۰.۲ تا ۱ میلی‌متر ظاهر می‌شود که بسیار بزرگ‌تر از پیریت‌های فرامبئیدی کلاسیک است. تجمع این دانه‌ها در فضاهای خالی و شکستگی‌های ریز، همراه با ویژگی‌های بافتی، نشان‌دهنده ماهیت دیافراگم‌ناهی آن است که احتمالاً از واکنش Fe^{2+} با H_2S حاصل از تجزیه مواد آلی و مهاجرت هیدروکربن‌ها تشکیل شده است. این نوع پیریت معمولاً در محیط‌هایی با شرایط احیایی قوی، فراوانی مواد آلی و حضور سیالات هیدروکربنی مهاجر شکل می‌گیرد؛ بنابراین، پیریت ماماتین را می‌توان به عنوان نشانگر دیافراگم‌ناهی مهاجرت هیدروکربن در نظر گرفت.

تحلیل نمونه‌های برداشت‌شده نشان می‌دهد مخزن آسماری تا محل برداشت نمونه‌ها گسترش یافته و با تضعیف پوش سنگ گچساران، سیالات مخزن به سطح زمین راه یافته و تشکیل چشمه‌های هیدروکربنی داده‌اند. با گذشت زمان، این چشمه‌ها خشک‌شده و حالت کنونی را به خود گرفته‌اند. همچنین وجود پیریت در نمونه‌ها، وضعیت احیایی-گوگردی بودن سیالات مخزن را همانگونه که در ناحیه ماماتین حکمفرما بوده، در محل برداشت نمونه‌ها نیز تأیید می‌کند. بنابراین صحت مطالعه نجفی و همکاران (۱۴۰۴) که گسترش تاق‌دیس آسماری ماماتین را نشان می‌داد، بیش از پیش تأیید می‌گردد (شکل ۳).

۴- نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که ناحیهٔ ماماتین تحت تأثیر یک سامانه احیایی-گوگردی فعال قرار داشته که از عمق تا سطح امتداد یافته است. حضور پیریت‌های توده‌ای و پرکننده حفره با اندازه‌های نسبتاً درشت، بیانگر تشکیل دیاژنزی ثانویه آن‌ها در اثر واکنش سولفید هیدروژن حاصل از تجزیهٔ مواد آلی و مهاجرت هیدروکربن‌هاست. این ویژگی‌ها پیریت را به یک نشانگر مؤثر برای ردیابی مهاجرت هیدروکربن‌های گوگرددار در ناحیه تبدیل می‌کند. نقش ساختاری گسل‌های ناحیه‌ای ماماتین در تضعیف پوش سنگ گچساران و ایجاد مسیرهای ترجیحی برای صعود سیالات، عامل اصلی تمرکز تراوشات سطحی محسوب می‌شود. در مجموع، ترکیب شواهد چینه‌شناسی، ساختاری و میکروسکوپی نشان می‌دهد که یک سامانه واحد احیایی-گوگردی در ماماتین، کنترل اصلی مهاجرت هیدروکربن‌ها و تشکیل پیریت در این ناحیه را بر عهده داشته است.

۵- مراجع

- رشیدی، م.، تژه، ف.، طاهرخانی، ر.، ۱۳۸۷. بررسی خصوصیات ژئوشیمیایی چشمه‌های نفتی در ناحیهٔ ماماتین، دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، اهواز، ایران.
- نجفی، س.، ع.، صفارزاده حسینی، ص.، رادمهر، الف.، عبدالحی‌فرد، الف.، سراج، م.، ۱۴۰۴. بررسی ارتباط ساختاری چاه پارسی-۵۱ با تاقدیس‌های پارسی و ماماتین با تلفیق داده‌های چینه‌شناسی و لرزه‌ای (فروافتادگی دزفول، جنوب غرب ایران). هفتمین کنفرانس ژئوفیزیک کاربردی در اکتشاف نفت، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران.
- نجفی، س.، ع.، صفارزاده حسینی، ص.، رادمهر، الف.، عبدالحی‌فرد، الف.، سراج، م.، ۱۴۰۴. بررسی بزرگ‌تراوشات هیدروکربنی در سازند تبخیری گچساران (ناحیهٔ ماماتین، دزفول شمالی، جنوب غرب ایران). دهمین همایش ملی انجمن رسوب‌شناسی ایران، دانشگاه آزاد اسلامی (واحد خوراسگان)، اصفهان، ایران.
- 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.
- Aplin, A. C., & Macquaker, J. H. (2011). Mudstone diversity: Origin and implications for source, seal, and reservoir properties in petroleum systems. *AAPG bulletin*, 95(12), 2031-2059.
- Berner, R. A. (1984). Sedimentary pyrite formation: an update. *Geochimica et cosmochimica Acta*, 48(4), 605-615.
- Bordenave, M. L. (2014). Petroleum systems and distribution of the oil and gas fields in the Iranian part of the Tethyan region.
- Canfield, D. E., Kristensen, E., & Thamdrup, B. (2005). The sulfur cycle. In *Advances in Marine Biology* (Vol. 48, pp. 313-381). Academic Press.
- Gibson, R. G., Dzou, L. I., & Greeley, D. F. (2004). Shelf petroleum system of the Columbus basin, offshore Trinidad, West Indies. I. Source rock, thermal history, and controls on product distribution. *Marine and Petroleum Geology*, 21(1), 97-108.
- Mahmoudzadeh, N., Fardoust, F., Ghavami Riabi, R., & Jafarzadeh, M. (2022). Organic geochemistry of Paleogene Pabdeh Formation in Northern Dezful Embayment, Zagros, SW Iran. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 74(1), 81-112.
- Moradi, S., Kalantari, N., & Charchi, A. (2017). Geomorphology of karst features in the northeast of Khuzestan, Iran. Springer.
- Motiei, H., 1993, Geology of Iran: stratigraphy of Zagros: Geological Survey of Iran, Tehran, v. 572.
- Rickard, D., & Luther, G. W. (2007). Chemistry of iron sulfides. *Chemical reviews*, 107(2), 514-562.
- Seal, R. R. (2006). Sulfur isotope geochemistry of sulfide minerals. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 61(1), 633-677.
- Sherkati, S., & 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(5), 535-554.