

مطالعه‌ی سنگ‌شناسی پوش سنگ مخزن آسماری با استفاده از روش‌های چاه‌پیمایی (GR) و پتروگرافی، میدان نفتی کوپال

بهمن سلیمانی^{۱*}، یعقوب ممدی^۲

(۱) گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، soleimani_b@scu.ac.ir

(۲) زمین‌شناسی نفت، دانشگاه شهید چمران اهواز، yaghub_mohammadi@yahoo.com

* عهده‌دار مکاتبات

مکیده

میدان نفتی کوپال در ۵۰ کیلومتری شمال شرق اهواز قرار گرفته و از روند زاگرس تبعیت می‌کند. بخش ۱ سازند گچساران به‌عنوان پوش سنگ مخزن آسماری، از ۶ طبقه راهنمای A, B, C, D, E, F (از بالا به پایین) تشکیل یافته است. برای ارزیابی پتروفیزیکی پوش سنگ از نمودار چاه‌پیمایی گاما (GR) و مطالعات سنگ‌شناسی میکروسکوپی و رسم ستون چینه‌شناسی با کمک نرم‌افزار لاگ پلات ۲۰۰۳ (Log Plot 2003) و نیز میکروسکوپ الکترونی (SEM) استفاده گردید. نتایج این مطالعات نشان داد که طبقات راهنما از ویژگی‌های سنگ‌شناسی متفاوتی تشکیل یافته است. A (انیدریت)، B (شیل بیتومینه)، C, D, E و F (آهک). در برخی از چاه‌ها مقداری رس به این افاق‌ها اضافه شده و باعث می‌شود که درجه‌ی ای پی آی (API) آن‌ها در نمودار گاما افزایش یابد. مطالعات پتروگرافی نمونه‌های انیدریت نشان داد که فرآیندهای دیاژنتیکی انیدریتیزاسیون، سیمانی شدن، تراکم، تبلور مجدد و جان‌سینی در پوش سنگ غالب می‌باشد. لیتولوژی عمده‌ی پوش سنگ، انیدریت است و لذا می‌توان آن‌را در زمره‌ی پوش سنگ‌های انیدریتی طبقه‌بندی نمود. از سمت شمال غرب به سمت جنوب شرق میدان، ضخامت پوش سنگ به‌صورت محسوس کاهش حاصل می‌کند.

واژه‌های کلیدی: میدان نفتی کوپال، پوش سنگ، ارزیابی پتروفیزیکی، طبقات راهنما

۱- مقدمه

(Kendal 1992, Rouchy et al. 1995). مدل‌های بافت و رخصاره‌های رسوبی تبخیری‌ها را بر اساس نمونه‌های قابل قیاس هولوسن مورد ارزیابی قرار دادند و همراهی نزدیک تبخیری‌ها با مواد هیدروکربنی را تأکید کردند. هولسر و هاردی (Holser 1979) (Hardie 1984) مطالعات ارزنده‌ای را در ارتباط با کانی‌شناسی تبخیری‌ها انجام داده‌اند. کندال و وارن (Kendall 1984, Warren 1989, 1999) محیط رسوبی تبخیری‌ها را در نقاط مختلف جهان به‌دقت مورد بررسی قرار دادند. در طی یک دهه‌ی گذشته تحقیقات مفصلی را در ارتباط با تبخیری‌های سواحل جنوب خلیج فارس توسط ال-شرهان و کندال (AlSharhan & Kendall 1994) و رسوبات تبخیری بادنین (Badenian) در اروپا به‌وسیله‌ی کاسپریک (Kasprzyk 1995) (Warren & Kendall 2003, 2005) انجام گرفته است. از دیگر مطالعات انجام گرفته در ارتباط با تبخیری‌ها، می‌توان به تحقیقات شرایبر و ال‌تبخ و همین‌طور

در طی چند دهه‌ی گذشته، یک جهش بزرگی در ارتباط با دانسته‌های ما در مورد فرآیندهای اولیه و دیاژنتی فعال در تبخیری‌های مدرن و قدیمی اتفاق افتاده است، که این جهش با تحقیقات مفصل سبخاها در خلیج فارس توسط ایلینگ و همکاران (Illing et al. 1965) شروع شد و پس از آن به‌وسیله‌ی پروژه‌ی حفاری عمیق دریا و اکتشاف تبخیری‌های گسترده در رسوبات میوسن پیشین در زیر کف دریای مدیترانه و مطالعه‌ی آن توسط سو و همکاران (Hsü et al. 1977) ادامه یافت. دانلپ (Dunlop 1978)، سودومورف‌های تبخیری‌ها را در سنگ‌های متعلق به ۳/۴۵ میلیارد سال پیش ثبت و بررسی نمود. همچنین وارن و کندال (Warren & Kendall 1985) تحقیقاتی را در ارتباط با توصیف ژپیس‌های مدرن در غرب و جنوب غرب استرالیا انجام دادند. شرایبر، وارن، ملوین، کندال و روچی (Schreiber et al. 1982, Warren 1989, Melvin 1991,

۲- زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

میدان نفتی کویال (تصویر ۱) در ۵۰ کیلومتری شمال شرق اهواز قرار دارد. از لحاظ تکنیکی در بخش مرکزی فروفاتدگی دزفول شمالی بوده و از روند زاگرس تبعیت می‌کند. این میدان دارای ابعاد ۶۲ در ۴ کیلومتر می‌باشد. سکناس رسوبات جوان‌تر از الیگوسن در این میدان شامل سازند آسماری، گچساران، میشان، آغاچاری و بختیاری است.

۳- روش کار

اساس کار مطالعات پتروفیزیکی، استفاده از نمودار یا لاگ است. یک نمودار چاه‌پیمایی گرافی است در مقابل عمق که پارامترها و کمیت‌های فیزیکی اندازه‌گیری شده در یک چاه و یا پارامترهای مشتق شده از آن-ها را به صورت منحنی عرضه می‌کند (موحد ۱۳۷۸).

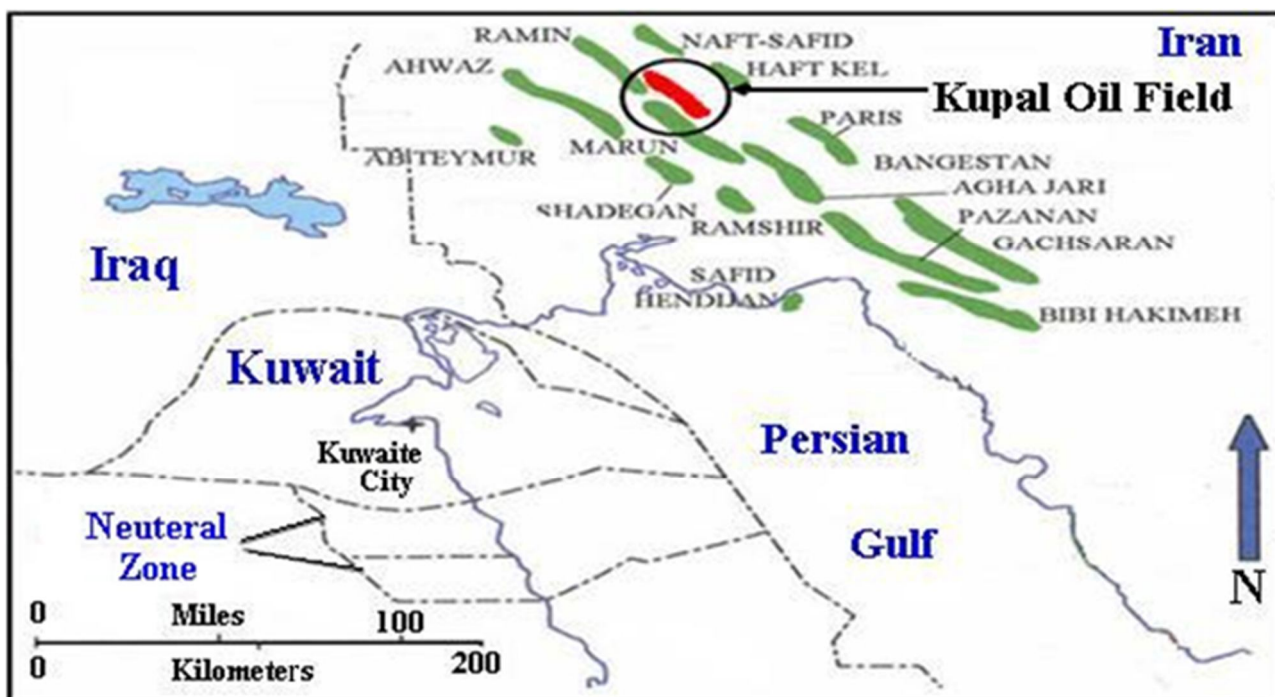
۳-۱- نمودار گاما ری (Gamma Ray, GR)

سازندهای موجود در زیر زمین که دارای عناصر رادیو اکتیو توریوم (TH-232)، اورانیوم (U-235) و پتاسیم (K-40)، هستند که دچار واپاشی شده و از خود پرتوهای گاما ساطع می‌کنند. عنصر اورانیوم بیشتر در مواد آلی، مواد فسفاتی و در درز و شکاف‌ها، عنصر توریوم به-علت غیرقابل حل بودن، تماماً به صورت معلق (Suspension) جابه‌جا می‌گردد. بنابراین یا در ترکیب سیلت بوده و یا به صورت کانی‌های حاوی توریوم ظاهر می‌گردد. عنصر پتاسیم نیز تمرکز بالایی را در

لوقلی (Schreiber & El-Tabakh 2000) و (Lugli 2001) اشاره کرد. دونی و گرونو (Downey 1984, Grunau 1987) مطالبی را در ارتباط با پوش سنگ‌ها فراهم کرده‌اند.

در زمین‌شناسی جنوب غرب ایران، پوش سنگ مخزن آسماری شامل بخش ۱ سازند گچساران می‌باشد که به طور کلی جداکننده‌ی دو منطقه‌ی پرفشار در بالا یعنی سازند گچساران و کم‌فشار در پایین یعنی سازند آسماری می‌باشد. پوش سنگ از لایه‌های انیدریت، مارن، آهک و شیل بیتومینه‌دار تشکیل یافته و شش لایه‌ی کلیدی A, B, C, D, E, F در آن تشخیص داده شد. لایه‌ی کلیدی A از انیدریت ریزبلور، لایه‌ی کلیدی B از شیل بیتومینه‌دار و لایه‌های کلیدی C, D, E, F غالباً از آهک فسیل‌دار و مارن تشکیل یافته است. ضخامت هر کدام از لایه‌ها از ۲ تا ۳ متر متغیر می‌باشد. این لایه یا طبقات کلیدی، لایه‌های هستند که با حداقل ضخامت، دارای گستردگی خوبی در یک یا چند منطقه می‌باشند و به آسانی نیز قابل تشخیص و انطباق قرار می‌گیرند.

در مطالعه‌ی کنونی از نمودارهای گاما و صوتی برای بررسی تغییرات لیتولوژی، تغییرات ضخامت پوش سنگ و خصوصیات پتروفیزیکی آن به منظور کاهش ریسک حفاری، استفاده گردید (Pilman et al. 2009). هدف اصلی این مطالعه، بررسی خصوصیات و ویژگی‌های پوش سنگ (پتروفیزیکی، پتروگرافی، لیتولوژیکی) (Zisser et al. 2010-a, Zisser et al. 2010-b) و شناسایی جنس طبقات کلیدی راهنما است که جهت بالا بردن دقت و سرعت حفاری از اهمیت فوق-العاده‌ای برخوردار می‌باشد.



تصویر ۱- موقعیت میدانی نفتی جنوب غرب ایران (NICO).

برای بررسی استراتیگرافی، تطابق و تغییرات ضخامت پوش سنگ، ستون چینه‌شناسی، چاه‌های انتخاب شده توسط نرم‌افزار لاگ پلات ۲۰۰۳ (Log plot 2003) تهیه شده است.

۴-۴- بمث

بخش ۱ سازند گچساران به‌عنوان پوش سنگ مخزن آسماری میدین نفتی زاگرس عمل نموده، ارزیابی آن باعث کاهش ریسک حفاری و در برنامه‌ریزی مدیریت اکتشاف و حفاری نقش عمده‌ای دارد. شواهد سنگ‌شناسی و پتروفیزیک بخش‌های سازنده‌ی پوش سنگ می‌تواند ما را در این راستا یاری نماید.

۴-۱- مشخصات سنگ‌شناسی طبقات راهنما

ویژگی‌های شش طبقه‌ی کلیدی راهنمای پوش سنگ میدان نفتی کوپال به شرح زیر می‌باشند:

۴-۱-۱- Cap rock / Key Bed / A

متشکل از انیدریت سفید تا خاکستری رنگ و گاهی شفاف و بلورین با بافت نودولی می‌باشد. در زیر میکروسکوپ دارای بافت اسفرولیتی (تصویر ۲-B)، پورفیروبلاستیک (تصویر ۲-G)، پهن (تصویر ۲-K) و نودولار (تصویر ۲-C) می‌باشد. درشت بلور بوده و همراه با آن کریستال‌های منفرد معروف به کرنات‌های D_2 (تصویر ۲-A و تصویر ۳-E) دیده می‌شوند. از دیگر ناخالصی‌های این انیدریت‌ها، کوارتز کلسدونی و پیریت می‌باشد. ضخامت متوسط این طبقه ۲ متر بوده و گاهاً در برخی قسمت‌های میدان تا ۳/۵ متر نیز دیده می‌شود.

۴-۱-۲- Cap rock / Key Bed / B

این لایه از شیل سیاه‌رنگ تا قهوه‌ای تیره‌ی بیتومین‌دار با ذرات سیلت، ماسه، پیریت و گاهاً انیدریت تشکیل شده است (تصویر ۲-F و ۳-C). این طبقه به ضخامت‌های ۱۵ تا ۷۵ سانتیمتری دیده شده است. تغییرات این افق در طول میدان چندان محسوس نبوده و مهم‌ترین افق کلیدی پوش سنگ در میدین جنوب غرب ایران می‌باشد.

۴-۱-۳- Cap rock / Key Bed / C

آهک کرم‌رنگ تا خاکستری بلورین که مترادف با آهک بالایی پوش سنگ می‌باشد. طبق مطالعه‌ی مقاطع نازک، این لایه‌ی راهنما در بعضی از چاه‌های میدان از مادستون همراه با ماده‌ی آلی و سولفات تشکیل شده است. معمولاً به‌صورت وکستون تا مادستون دیده شده و همراه با آن‌ها سیلت، ماسه، انیدریت، سلسیت و اوولیت کاذب (Pseudo oolite) مارنی نیز دیده می‌شود.

۴-۱-۴- Cap rock / Key Bed / D

آهک خاکستری‌رنگ تا قهوه‌ای روشن بلورین با دانه‌بندی ریز تا متوسط به‌صورت مادستون تا وکستون می‌باشد. سودو الیت‌های مارنی

کانی‌های رسی نشان می‌دهد (رضایی ۱۳۸۰). در سنگ‌های تبخیری دانه‌ریز نظیر مارن و شیل، به‌علت حضور کانی‌های رسی قرائت‌های بالای پرتوی گاما وجود دارد. درحالی‌که در سنگ‌های کربناته ممکن است به‌علت فقدان کانی‌های رسی قرائت پرتوی گاما بسیار کم باشد. به‌دلیل این‌که افق‌های کلیدی C, D, E, F از سنگ آهک خالص تشکیل نشده و دارای اندکی رس می‌باشند، اندازه‌ی پیک‌های گامای مربوط به آن‌ها (کمتر از ۲۰ درجه API) کوتاه‌تر از مارن می‌باشد. اگر مقدار API از ۲۰ درجه بالاتر برود، سنگ آهک شدیداً رس‌دار شده و به مارن تبدیل می‌شود (Serra 1984). در میدان مورد مطالعه، تنها چاه شماره‌ی ۹ است که افق‌های کلیدی آن (مخصوصاً افق‌های D و E) مقدار API بالای ۲۰ را نشان می‌دهند که می‌توان نتیجه گرفت از مارن تشکیل شده‌اند. نتایج پتروگرافی نیز این گفته را تأیید می‌کند. مقدار عناصر رادیواکتیو در انیدریت و هالیت تقریباً صفر و یا خیلی پایین می‌باشد. به‌طوری‌که معجزاً کردن این لیتولوژی‌ها از طریق این نمودار امکان پذیر نبوده و باید از نمودار سونیک (Sonic) استفاده کرد. مقدار عناصر رادیواکتیو در داخل مارن‌ها بیشتر از آهک و در آهک نیز بیشتر از انیدریت و هالیت می‌باشد.

۳-۲- نمودار صوتی

اساس کار این نمودار، ایجاد یک ضربه‌ی صوتی است که توسط تولید کننده‌ی صدا منتشر می‌شود. این پالس تولید شده، توسط گیرنده‌ی هابی ثبت شده و با تقسیم زمان عبور به مسافت سرعت در داخل سنگ‌ها محاسبه می‌شود. این نمودار عمق را در مقابل زمان، اندازه‌گیری نموده و آن، مدت زمانی است که یک ضربه‌ی صوتی (Acoustic pulse) طول معینی از سنگ (یک فوت) را طی می‌کند که به آن زمان عبور (Transit Time) گفته می‌شود و واحد آن میکروثانیه در فوت است. به‌طورکلی، سرعت عبور امواج فشارشی (Compressional waves) از داخل یک سنگ، به ترکیب سازند و مایعات موجود در آن و مقدار تخلخل آن بستگی دارد. در این مطالعه ۴ حلقه چاه از ۴۳ حلقه چاه موجود در میدان مورد مطالعه که دارای لاگ‌های گاما و صوتی (سونیک) بودند، انتخاب شده و در یک مقطع طولی در جهت شمال غرب- جنوب شرق، نمودار تطابقی (Correlation Chart) مربوط به آن تهیه شد. همچنین برای تطابق دقیق‌تر چاه‌ها و افق‌های کلیدی پوش سنگ، مطالعات پتروگرافی در گروه زمین‌شناسی دانشکده‌ی علوم دانشگاه شهید چمران و میکروسکوپ الکترونی (SEM مدل Leo1455Vp) (آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید چمران اهواز) از نمونه‌خرده‌های حفاری انتخاب شده از افق‌های مختلف صورت گرفته است.

رس می‌باشند. در بعضی چاه‌ها از آهک جلبکی تشکیل یافته است. این لایه به‌خاطر نزدیکی به سازند آسماری دارای ذرات نفتی می‌باشد که احتمالاً به‌دلیل حرکت نفت از شکستگی‌های ایجاد شده، در رأس سازند آسماری است.

۴-۲- فرآیندهای دیاژنتیکی

فرآیندهای مختلف رسوبی و دیاژنتیکی درگیر در ایجاد رسوبات سولفات کلسیم در محل‌های محیطی متفاوت، از حواشی کم عمق تا آب عمیق، اتفاق می‌افتند (Schreiber & El-Tabakh 2000). با این وجود انیدریت درست شده در این محیط‌ها ممکن است، در بعضی مواقع دارای فابریک‌های بلوری و رخساره‌ای مشابهی باشد (Kendall 1992, Rouchy et al. 2001). بنابراین یک توافق کلی مبنی بر تشخیص اشکال اولیه (رسوبی) و ثانویه (بعد رسوب‌گذاری) در سنگ‌های سولفاتی مناطق دفنی وجود ندارد (Hardie 1990, Spencer & Lowenstein 1990). رسوبات سولفاتی در پوش سنگ میدان، تغییرات دیاژنتیکی متفاوتی را از سطح تا عمق متحمل شده‌اند. به‌طوری‌که بسته به زمان رسوب-گذاری و تأثیر فرآیندهای دیاژنتیکی، بافت‌های متفاوتی در داخل انیدریت‌ها به‌وجود آمده است. فرآیندهای دیاژنتیکی عمده در سولفات‌ها، شامل انیدریتیزاسیون، سیمانی شدن، تراکم، جان‌شینی و تبلور دوباره می‌باشند.

۴-۳-۱- انیدریتیزاسیون

حضور انیدریت‌های نودولی و نودولی-موزائیکی در پوش سنگ نشان‌دهنده‌ی انیدریتیزاسیون هم‌زمان با رسوب‌گذاری (Shearman 1995, Rouchy et al. 1985) در محیط تبخیری بوده، و نشانه محیط سبخایی و یا حاشیه پلاتفرمی است. حضور نودول انیدریتی (تصویر ۲-۲) همراه با بلورهای سودومورف بزرگ انیدریتی و بلورهای کشیده و سوزنی (تصویر ۲-۲) از اشکال متداول انیدریتی شدن اولیه می‌باشد. نودول‌های انیدریت، سفیدرنگ بوده و اندازه‌ی سانتیمتری یا بزرگ‌تر را دارند و از کریستال‌های به شکل Lath تا بیشتر از Imm تشکیل شده‌اند. نودول‌ها به‌وسیله‌ی ماتریکس مادستون‌های آواری (تصویر ۳-۳) C، کربنات و یا سولفات از یکدیگر جدا می‌شوند و به‌دلیل افزایش فشار روباره، نودول‌ها به‌صورت موازی هم در لایه‌های نازک قرار گرفته‌اند. نودول‌ها به‌صورت گوه‌ای شکل و یا دایره‌مانند بوده و الگوهای انترالیتییک و chicken-wire را نشان می‌دهند. عوامل ایجادکننده‌ی نودول‌های انیدریتی متنوع بوده و نودول‌ها دارای ژن چندگانه می‌باشند و در زمان‌های مختلف ایجاد می‌شوند که ممکن

نیز در آن دیده می‌شود (تصویر ۲-D) که با توجه به آن‌ها می‌توان محیط تشکیلی این لایه را آرام مردابی در نظر گرفت.

هالیت در سمت شمال غرب پوش سنگ میدان مورد مطالعه در بین طبقات کلیدی C و D وجود دارد. اهمیت تشخیص این لایه در این است که با حفاری پوش سنگ در این ناحیه از میدان، می‌توان از نزدیک شدن به مخزن آسماری مطلع شده و اقدامات لازمه برای لوله‌گذاری در پوش سنگ را مهیا کرد. بنابراین به‌دلیل اهمیت نسبتاً بالای این لایه باید به‌شرح خلاصه‌ای از این لایه پرداخت.

بلورهای هالیت معمولاً به‌صورت شورون‌های بزرگ در لایه‌های ممتد می‌باشند. لایه‌های هالیت، از یک سری لایه‌های رسوبی تشکیل شده است که به‌وسیله‌ی سطوح انحلالی هموار (flat) از یکدیگر جدا می‌شوند. هر سطح قطع شده، بیشتر به‌وسیله‌ی پیت‌های انحلالی (pit) که به‌سمت لایه‌ی پائینی وسعت پیدا کرده، مشخص می‌شود (تصویر ۳-G,H). فرسایش و قطع‌شدگی (پیت‌های انحلالی) نتیجه‌ی در معرض قرارگرفتن کوتاه‌مدت هالیت و یا ورود مجدد آب‌های با غلظت پایین و تحت اشباع می‌باشد (Schreiber & El-Tabakh 2000, Shearman 1970).

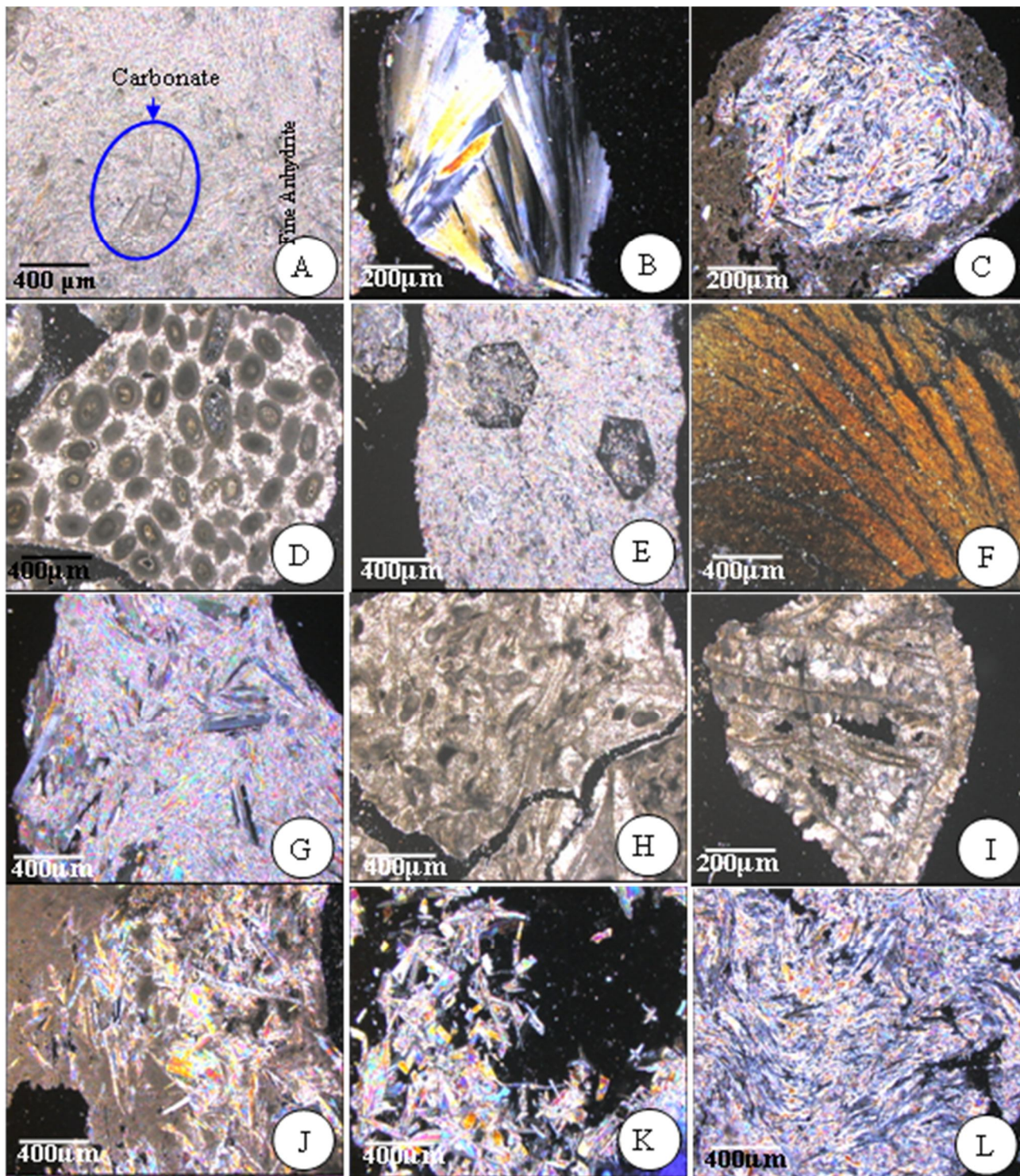
هالیت در محیط‌های کم‌عمق بیشتر به‌صورت جناغی و هوپر (Hopper) رسوب‌گذاری کرده، در حالی‌که در محیط‌های عمیق به‌صورت لایه‌بندی شده می‌باشد (Hardie et al. 1985). چون هالیت رسوب یافته در پوش سنگ میدان دارای بافت‌های هوپر و شورون (Hopper, Chevron) می‌باشد، بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که محیط رسوبی پوش سنگ یک محیط بین قاره و دریا (سبخایی لاگونی) می‌باشد. هالیت در پوش سنگ منطقه‌ی مورد مطالعه با درجه خلوص تقریباً ۸۹ درصد، بین افق‌های کلیدی C و D وجود داشته و بیشترین ضخامت (حدوداً ۵ متر) در چاه شماره‌ی ۱۲ شناسایی شده و فقط در سمت شمال غرب و بعضاً به‌صورت جزئی در داخل انیدریت-ها مشاهده می‌شود (تصویر ۴-۴). این موضوع نشان می‌دهد که محیط رسوبی پوش سنگ در این قسمت کم عمق‌تر و به سمت جنوب شرق عمیق‌تر شده است.

۴-۱-۵- Cap rock / Key Bed / E

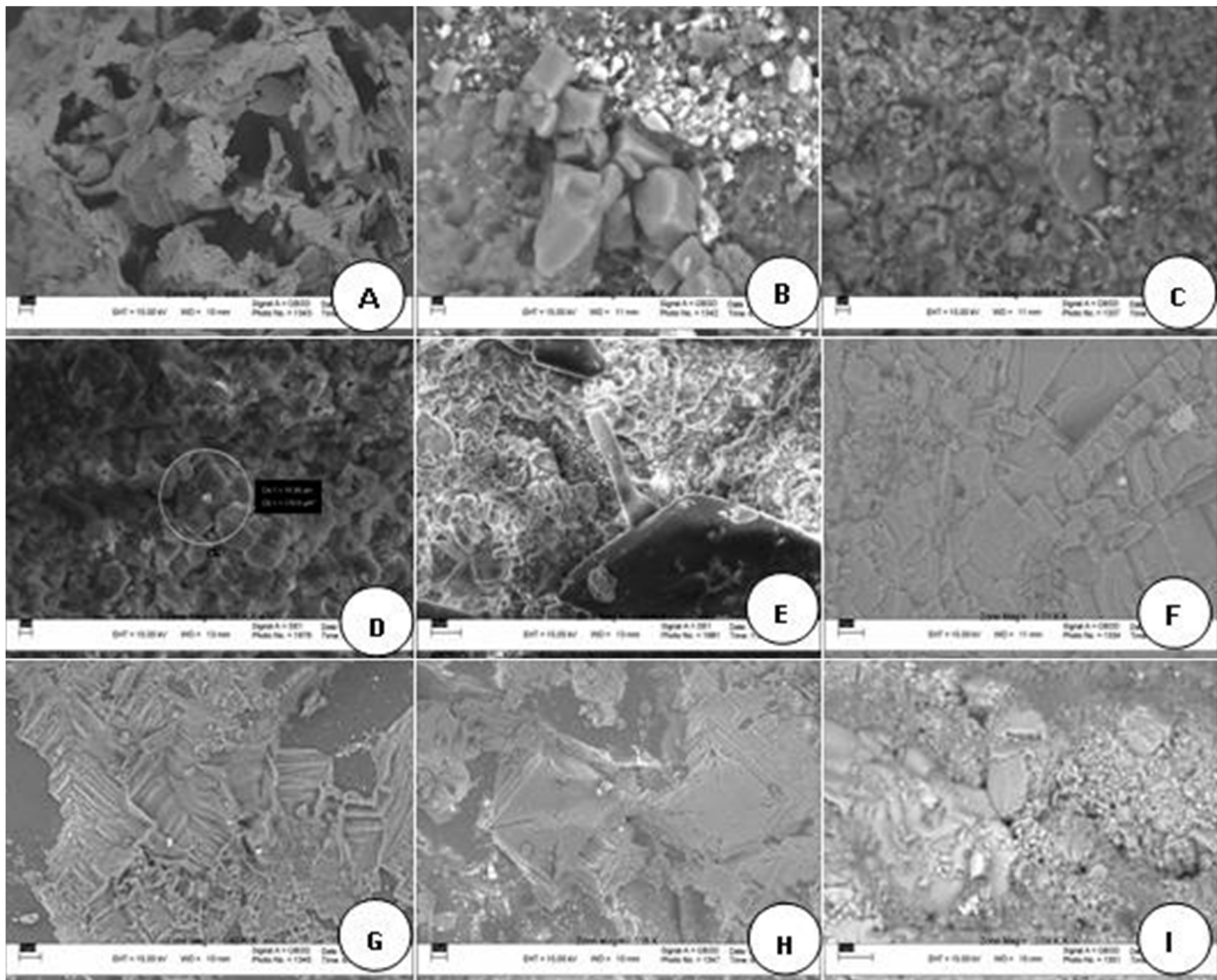
آهک خاکستری روشن تا قهوه‌ای دانه‌ریز مادستون (Mudstone) با آثار تبلور دوباره که معمولاً بدون فسیل می‌باشد. دانه‌های انیدریت با بلورهای سوزنی شکل و با آثار مارنی، کوارتز و سلسیت نیز در این لایه راهنما دیده می‌شود.

۴-۱-۶- Cap rock / Key Bed / F

آهک خاکستری روشن تا قهوه‌ای کم‌رنگ ریزدانه ندرتاً تبلور مجدد یافته دارای سلسیت (Celestite) و ذرات ماسه و اندکی



تصویر ۲- تصاویر میکروسکوپی بافت‌های موجود در پوش سنگ میدان نفتی کوپال. (A) دولومیت‌های D₂ افق کلیدی A در زمینه انیدریت‌های میکروکریستالین (3269m چاه شماره ۳). (B) بافت اسفرولیتی انیدریت (3280m چاه شماره ۳). (C) بافت نودولی انیدریت (3268m چاه شماره ۳۴). (D) Pseudo oolits مارنی در زمینه انیدریت همراه با آهک خاکستری رنگ در افق کلیدی D (3307m چاه شماره ۱). (E) جانشینی بلورهای ژیبس در زمینه انیدریت ریز بلور (3313m چاه شماره ۳۸). (F) بیتومین شیل افق کلیدی B (3292m چاه شماره ۱۲). (G) بافت پورفیروبلاستیک (3274m چاه شماره ۳۲). (H) آهک خاکستری دارای فسیل‌های جلبک و انیدریت پرکننده حفرات فسیل (3371m چاه شماره ۳). (I) دولومیت جانشین کننده حفرات فسیل‌ها (3308m چاه شماره ۱). (J) سیمان انیدریتی جانشین شده در فضاهای خالی مادستون (3288m چاه شماره ۲۲). (K) انیدریت با بافت Lath (3326m چاه شماره ۱). (L) بافت جریان‌ی مربوط به انیدریت (3334m چاه شماره ۱۸).



تصویر ۳- تصاویر میکروسکوپ الکترونی بعضی از خرده‌های مورد مطالعه. (A) انیدریت با حفره‌های خالی مربوط به هالیت (3288m چاه شماره ۲۵). (B) بلورهای شکل دار انیدریت (3389m چاه شماره ۱۹). (C) شیل دانه ریز (3366m چاه شماره ۳۰). (D) بلورهای شکل دار انیدریت (3306m چاه شماره ۳۰). (E) بلورهای لوزی شکل کربنات در زمینه انیدریت (3355m چاه شماره ۲۲). (F) انیدریت بلوکی (KL#30, 3366m). بافت های Chevron (G, H). (I) بافت های Chevron (KL#30, 3366m).

انحلال نمک می‌باشد (تصویر ۳-A)، دانه‌ای (تصویر ۳-B و تصویر ۳-C)، انیدریت بلوکی (تصویر ۳-F) و اینترولیتیک (تصویر ۳-I) نیز دیده می‌شوند.

بافت نودولی انیدریت متعلق به محیط‌های کم‌عمق (Schreiber et al. 1982) و یا محیط سبخایی (Shearman et al. 1976) و بافت انیدریت لایه‌ای یا لامینه‌ی متعلق به محیط عمیق (Schreiber et al. 1982) است. از این دو بافت حالت نودولی بیشتر در پوش-سنگ دیده می‌شوند.

۴-۲-۲- سیمانی شدن

سیمانی شدن اولیه، میکانیسم اصلی حفظ سختی سودومورف‌های انیدریتی می‌باشد که آن‌ها را در مقابل فشار فزاینده‌ی ناشی از وزن روباره و فشار آب‌های منفذی حفظ می‌کند (Shearman 1985). جاننشینی ژپس‌های اولیه به‌وسیله‌ی سودومورف‌های انیدریتی و

است، به‌وسیله‌ی رشد دیاژنز آغازین انیدریت / ژپس در سبخا یا به-وسیله‌ی کریستالیزاسیون ژپس در دریاچه‌های شور کم عمق باشد (Peryt & Jasionowski 1994). پدیده‌های دیگر مانند لغزش-های موجود در داخل لامینه‌های داخل حوضه نیز در ایجاد آن‌ها دخالت دارند. رشد این نودول‌ها در داخل لایه‌ها باعث تغییر شکل لایه‌های اطراف می‌شود که در تشخیص این‌که نودول قبل از دیاژنز به-وجود آمده است یا بعد از دیاژنز، حائز اهمیت می‌باشد. شرمن و باتلر و همکاران (Sherman et al. 1976, Butler et al. 1983) ثابت کردند که این نودول‌ها از اشکال دیاژنتیکی اولیه می‌باشند. وایگاس و اورتی (Veigas 1997, Orti 1977) نشان دادند که نودول‌های انیدریتی مختص محیط سبخایی نبوده و در محیط‌های دریاچه‌ای پلایا نیز ممکن است ایجاد شوند.

تبدیل ژپس به انیدریت با افزایش عمق در پوش‌سنگ میدان دیده می‌شود (تصویر ۲-E). انیدریت‌های با حفرات خالی که مربوط به

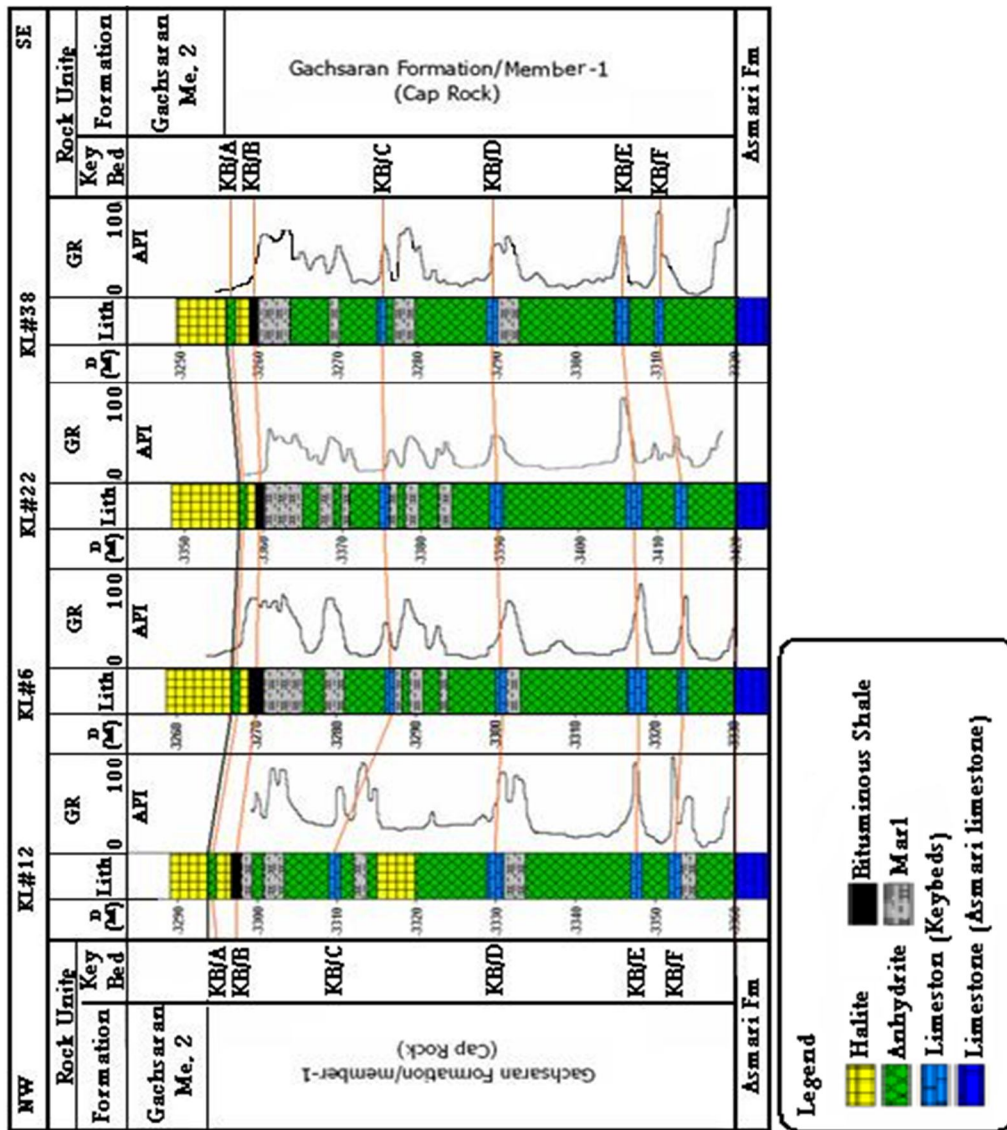
جانشینی انیدریت اسپاری با الیت‌ها و پلوئیدها (تصویر ۲- D) نیز دیده می‌شود. بیشترین سیمان موجود در پوش سنگ میدان، انیدریت پرکنده‌ی حفرات می‌باشد. این انیدریت‌ها در پوش سنگ به صورت سیمان بین بلورهای سولفات، کربنات (تصویر ۲- H) و کوارتز دیده می‌شوند.

۴-۳-۳-۳-۳-۳-۳-۳-۳-۳

در این میدان یکی از مهمترین فاکتورهای کنترل فابریک انیدریت‌ها و فرآیند انیدریتیزاسیون درجه متفاوت سنگ شدن رسوبات ژئوس اولیه می‌باشد. به هم فشردگی رسوبات و دگرشکلی عمده در فابریک انیدریت اولیه (خم‌شدگی، شکست و آرایش مجدد) (تصویر ۲- L) عمدتاً در زمان تدفین ایجاد می‌شود. در برخی قسمت‌ها با توجه به فابریک جانشینی انیدریت و دگرشکلی نامحسوس بلورهای سوزنی

به‌وسیله‌ی سیمانی شدن انیدریتی همراهی شده و یا پس از آن اتفاق می‌افتد و باعث حفظ مورفولوژی ژئوس‌های اولیه می‌شود (Kasprzyk 1995).

انیدریت در پوش سنگ میدان در سه حالت لایه‌ای، نودولی و سیمان دیده می‌شود. در لایه‌ها و نودول‌ها، کریستال‌های انیدریتی ریزدانه به حالت کشیده با طول تقریبی ۵۰ میکرومتر دیده می‌شوند. در جایی که بلورهای کربناتی یا سولفات‌ی دچار انحلال جزئی شده‌اند و یا حفره‌های خالی در داخل مارن‌ها و مادستون‌های (تصویر ۲- J) آن وجود دارد، انیدریت به صورت اسپاری با اندازه‌ی بلورهای بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر در نقش سیمان ظاهر شده است. سیمان‌های انیدریتی به صورت بلوک‌های درهم قفل شده و فرم‌های فیبر مانند با جهت یافتگی تصادفی و یا فابریک ضربدری (dessucated) می‌باشند. این سیمان‌ها همچنین در داخل بلورها، بین ذرات، حفره‌های خالی دیده می‌شوند.



تصویر ۴- ستون چینه‌شناسی چاه‌های انتخاب شده در پوش سنگ میدان نفتی کوپال به همراه لاگ گاما ری (عمق چاه‌ها به متر می‌باشد).

۱- احیایی باکتریایی سولفات در رسوبات غنی از مواد آلی و ۲- انحلال سولفات به‌وسیله‌ی آب‌های حاوی بی‌کربنات. با توجه به این‌که در سولفات‌های منطقه‌ی مورد مطالعه رسوبات غنی از مواد آلی وجود ندارد، بنابراین ایجاد کربنات‌ها به‌وسیله‌ی مکانیسم دوم، محتمل به‌نظر می‌رسد.

۴-۴- تغییرات ضخامت پوش سنگ

بررسی تغییرات ضخامت پوش سنگ بر اساس تطابق لیتولوژیکی ستون‌های چینه‌شناسی چاه‌های میدان (تصاویر ۴ و ۵) صورت گرفته است. ضخامت کلی پوش سنگ در این میدان از سمت جنوب شرق به سمت شمال غرب افزایش یافته و در شمال غرب میدان به بیشترین حد خود (حدود ۸۰ متر در چاه شماره ۱۸) می‌رسد. کمترین مقدار ضخامت پوش سنگ در سمت جنوب شرق بوده و حدوداً ۴۵ متر می‌باشد که در چاه شماره‌ی ۳۴ دیده می‌شود (تصویر- ۴). ضخیم‌ترین انیدریت بین دو افق کلیدی □ و □ قرار داشته و در کل، میدان ضخامت ثابتی را نشان می‌دهد. این موضوع نشان می‌دهد که در زمان رسوب‌گذاری این لایه‌انیدریتی، شرایط محیط رسوبی پایدار بوده و دچار تغییر نشده است. بیشترین تغییرات ضخامت در بین دو افق کلیدی C و D می‌باشد. مقدار ضخامت عمودی در دامنه‌ها به‌دلیل شیب‌دار بودن آن‌ها بیشتر از crest می‌باشد.

انیدریت (مثل بافت ضربدری (Decussate) در بلورها) می‌تواند استنباط کرد که تراکم مقدم بر انیدریتی شدن باشد.

۴-۲-۴- تبلور مجدد

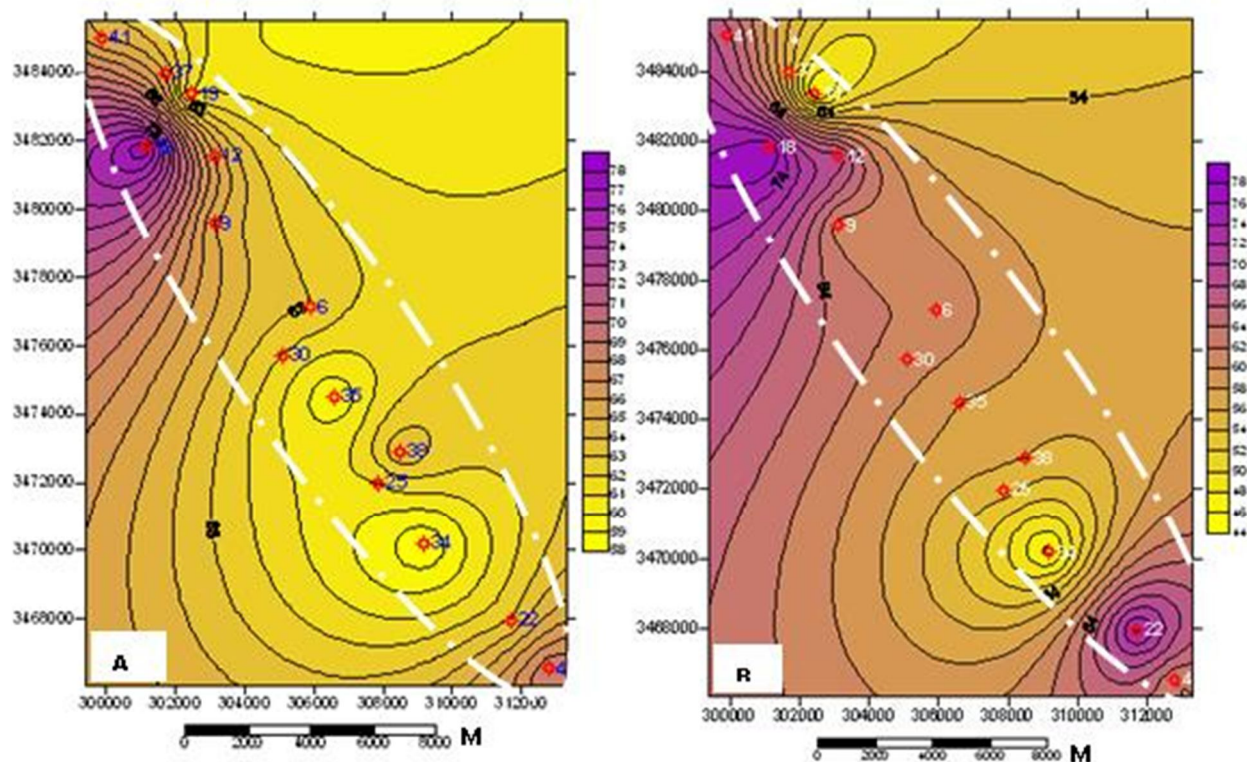
بسیاری از فابریک‌های انیدریت پوش سنگ بلورهای بزرگ و بلوکی را نشان می‌دهند که تحت تأثیر دگرشکلی شدید و تبلور دوباره بخشی قرار گرفته‌اند. انیدریت‌های دانه‌درشت و اسپاری در درجه حرارت‌های بالای تدفین و یا در اثر تبلور دوباره‌ی بلورهای انیدریت دانه‌ریز در محیط تدفینی حاصل شده‌اند (El-Tabakh et al. 2004).

۴-۲-۵- جانشینی و کلسیتزاسیون

تغییرات شیمیایی در سیالات ممکن است، انحلال کانی‌های ناپایدار و جانشینی آن‌ها به‌وسیله‌ی کانی‌هایی که در شرایط شیمیایی جدید پایدار هستند را باعث شود. یون‌های بی‌کربنات معمولاً از انحلال CO₂ ایجاد شده از اکسیداسیون مواد ارگانیکی دریاچه‌ای یا قاره‌ای در آب حاصل می‌شود. با افزایش ورود آب‌های حاوی بی‌کربنات، کلسیتزاسیون افزایش می‌یابد.



جانشینی سولفات به‌وسیله‌ی کربنات‌ها حداقل به‌وسیله‌ی دو مکانیسم کنترل می‌شود (Pierre & Rouchy 1998).



تصویر ۵- نقشه‌ی هم‌ضخامت پوش سنگ (بخش ۱ سازند گچساران) میدان نفتی کوپال A- ایزوپک. B- ایزوکور

۵- از سمت جنوب شرق به سمت شمال غرب ضخامت پوش سنگ میدان زیاد می‌شود. کمترین مقدار ضخامت در سمت جنوب شرق در چاه شماره‌ی ۳۴ (۴۵ متر) و بیشترین مقدار ضخامت در سمت شمال غرب در چاه شماره‌ی ۱۲ (۷۳ متر) می‌باشد.

۶- این مطالعه نشان داد که بهترین مکان جهت لوله جداره افق راهنما می‌باشد.

۷- شواهد بافتی انیدریت، ویژگی‌ها و تغییرات سنگ‌شناسی پوش-سنگ، نشان‌دهنده‌ی رسوب‌گذاری آن در محیط آرام (سبخایی - لاگونی) است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از همکاری و حمایت‌های دانشگاه شهید چمران اهواز و شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب و همکاران محترم در گروه زمین-شناسی و نیز از داوران محترم مقاله که در بالا بردن کیفیت مقاله نقش داشتند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

مراجع

رضایی، م. ر.، ۱۳۸۰، "زمین‌شناسی نفت"، تهران، علوی. ۴۷۰ ص.

موحد، ب.، ۱۳۷۸، "مبانی چاه‌پیمایی"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۳۲۷ ص.

مطیعی، ه.، ۱۳۶۴، "پوش سنگ، گزارش شماره پ-۳۹۳۲، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب"، ۱۱۵ ص.

AlSharhan, A. S. & Kendall, C. G. St. C., 1994, "Depositional setting of the Upper Jurassic Hith Anhydrite of the Persian Gulf: an analog to Holocene evaporates of the United Arab Emirates and Lake MacLeod of Western Australia", *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Vol. 78: 1075-1096.

Butler, G. P., Harris, P. M. & Kendall, C. G. St. C., 1982, "Recent evaporates from the Abu Dhabi coastal flats", In: Hanford, G. R., Loucks, R. G & Davies, G. R. (eds.), *Deposition and Diagenetic Spectra of Evaporites*, Society of Economic Palaeontologists and Mineralogists Core Workshop 3: 33-64.

Downey, M. W., 1984, "Evaluating seals for hydrocarbon accumulations", *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Vol. 68: 1752-1763.

Dunlop, J. S. R., 1978, "Shallow-water sedimentation at North Pole, Pilbara Block, Western Australia", *University of Western Australia, Geology Department & University Extension Publ.*, Vol. 2: 30-38.

El-Tabakh, M., Mory, A., Schreiber, B. C. & Yasin, R., 2004, "Anhydrite cements after dolomitization of

ضخامت نمک اصلی به دلایل مختلفی در چاه‌های مختلف دچار تغییرات زیادی شده، به طوری که ضخیم‌ترین حالت در چاه شماره‌ی ۴۳ (۹۵ متر) و نازک‌ترین آن در چاه شماره‌ی ۲۹ (ضخامت صفر) می‌باشد. ضخامت این نمک در چاه شماره‌ی ۳۰ (جنوب شرق میدان) یک‌باره تا ۷۵ متر می‌رسد. با توجه به این که ضخامت پوش سنگ و در کل، سازند گچساران به سمت خلیج فارس کمتر می‌شود، می‌توان این افزایش ضخامت را به دلیل عوامل تکتونیکی و گسل‌خوردگی دانست. نمک اصلی به دلیل ضخامت زیاد، در تشخیص ورود به پوش سنگ در جریان حفاری، کمک زیادی می‌کند.

چند عامل در تغییرات ضخامت پوش سنگ مؤثر می‌باشد:

۱- موقعیت جغرافیایی پوش سنگ در سیستم رسوبی اولیه، ۲- تغییرات ضخامت در ابعاد و موقعیت هندسی یک ساختار ۳- عوامل تکتونیکی هم‌زمان با رسوب‌گذاری پوش سنگ.

با توجه به قرار گرفتن میدان نفتی کوپال در قسمت میانی فروافتادگی دزفول شمالی و بالا آمدن نواحی میانی خلیج فارس امروزی در زمان رسوب‌گذاری پوش سنگ، انواع پوش سنگ‌های نمک‌دار، کامل و حاشیه‌ای ایجاد شده‌اند. بنابراین می‌توان گفت، ضخامت پوش سنگ‌های نمک‌دار بیشتر از ضخامت پوش سنگ‌های کامل و ضخامت پوش سنگ‌های کامل نیز بیشتر از پوش سنگ‌های حاشیه‌ای است (مطیعی ۱۳۶۴). با توجه به این که پوش سنگ در میدان مورد مطالعه جزء پوش سنگ‌های کامل نمک‌دار می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که این میدان بیشترین ضخامت پوش سنگ را دارا می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

با انجام مطالعات و بررسی‌های صورت گرفته چنین نتیجه‌گیری می‌شود که:

۱- ترکیب سنگ‌شناسی پوش سنگ مخزن آسماری در میدان کوپال به طور عمده انیدریت بوده و آن را در زمره‌ی پوش سنگ‌های انیدریتی قرار می‌دهد.

۲- مطالعات پتروگرافی طبقات راهنما نشان داد که طبقه‌ی A از انیدریت، B شیل بیتومینه، و طبقات C, D, E, F از آهک تشکیل یافته‌اند.

۳- پدیده‌ی کلسیتیزاسیون در داخل انیدریت‌ها مشاهده می‌شود. بافت‌های پهن، جانشینی، اسفرولیتی، نودولی در انیدریت‌ها دیده می‌شوند. بلورهای کلسیت موجود در پوش سنگ به واسطه‌ی پدیده‌ی جانشینی به وجود آمده‌اند.

۴- فرآیندهای دیاژنزی عمده در انیدریت‌های پوش سنگ میدان، انیدریتیزاسیون، سیمانی شدن، تراکم، تبلور مجدد و جانشینی می‌باشد.

- Sedimentology, 50, Elsevier, Amsterdam, 1991, 556 pp., US \$120.-/Dfl. 120.-, ISBN 0-444-88680-X.", *Sedimentary Geology, Vol. 81 (1-2): 161-162.*
- Lugli, S., 2001,** "Timing of post-depositional events in the Burano Formation of the Secchia valley (Upper Triassic, Northern Apennines), clues from gypsum-anhydrite transitions and carbonate metasomatism", *Sedimentary Geology, Vol. 140 (1-2): 107-122.*
- Melvin, J. L., 1991,** "Evaporites, Petroleum and Mineral Resources (Developments in Sedimentology)", *Elsevier Science, 556 pp.*
- Orti, F., 1997,** "Continental evaporitic sedimentation in the south East Border of the Ebro basin (Catalanides) during the Paleocene to Lower Oligocene", In: *Busson, G. & Schreiber, B. C., (eds.), "Sedimentary Deposition in Rift and Foreland Basins in France and Spain (Paleogene and Lower Neogene)", Columbia University Press, New York: 388-396.*
- Peryt, T. M. & Jasionowski, M., 1994,** "In situ formed and redeposited gypsum breccias in the Middle Miocene Badenian of southern Poland", *Sedimentary Geology, Vol. 94(1-2): 153-163.*
- Pierre, C. & Rouchy, J. M., 1998,** "Carbonate replacements after sulfate evaporates in the middle Miocene of Egypt", *Journal of Sedimentary Research, Vol. 58(3): 446-456.*
- Pilman, D., Skinner, T., Denton, R., Hansen, M. & Torres, D., 2009,** "Cost Effective Reservoir Characterization, Utilizing Dielectric Logging Measurements, San Joaquin Basin, California", *SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 4-7 October 2009, New Orleans, Louisiana:124206-MS.*
- Rouchy, J. M., Noël, D., Wali, A. M. A. & Aref, M. A. M., 1995,** "Evaporitic and biosiliceous cyclic sedimentation in the Miocene of the Gulf of Suez—Depositional and diagenetic aspects", *Sedimentary Geology, Vol. 94 (3-4): 277-297.*
- Rouchy, J. M., Taberner, C. & Peryt, T. M., 2001,** "Sedimentary and diagenetic transitions between carbonates and evaporates", *Sedimentary Geology, Vol. 140 (1-2): 1-8.*
- Schreiber, B. C. & El-Tabakh, M., 2000,** "Deposition and early alteration of evaporites", *Sedimentology, Vol. 47 (Supplement s1): 215-238.*
- Schreiber, B. C., Roth, M. S. & Helman, M. L., 1982,** "Recognition of primary facies characteristics of evaporites and differentiation of these forms from diagenetic overprints", In: *Handford, C. R., Loucks, R.G. & Davis, G.R. (eds.), "Depositional and Diagenetic shallow marine Silurian carbonates of the Gascoyne Platform", Southern Carnarvon Basin, Western Australia Sedimentary Geology Vol. 164(1-2): 75-87.*
- Grunau, H. R., 1987,** "A world wide look at the cap-rock problem", *Journal of Petroleum Geology Vol. 10 (3): 245-265.*
- Hardie, L. A., 1990,** "The roles of rifting and hydrothermal CaCl₂ brines in the origin of potash evaporates: an hypothesis", *American Journal of Science, Vol. 290: 43-106.*
- Hardie, L. A., Lowenstein, T. K. & Spencer, R.J., 1985,** "The problem of distinguishing between primary and secondary features in evaporates", In: *Schreiber, B. C. & Hamer, H. L. (eds.), Sixth International Symposium on Salt, Salt Institute, Vol. 1: 11-39.*
- Hardie, L. A., 1984,** "Evaporites: marine or non-marine?" *American Journal of Science, Vol. 284: 193-241.*
- Holser, W. T., 1979,** "Mineralogy of Evaporites", In: *Burns, R. G. (ed.), Marine Minerals: Mineralogical Society of America Short Course Notes, Washington, D. C., Mineralogical Society of America, Vol. 6: 124-150.*
- Hsü, K. J., Montardert, L., Bernoulli, D., Cita, M. B., Erickson, A., Garrison, R., Kidd, R. B., Melieres, F., Müller, C. & Wright, R., 1977,** "History of the Messinian salinity crisis", *Nature, Vol. 267: 399-403.*
- Illing, L.V., Wells, A. J. & Taylor, J. C. M., 1965,** "Penecontemporary dolomite in the Persian Gulf", In: *Gray, L. C. P. & Murray, R. C. (eds.), Dolomitization and Limestone Diagnosis: A Symposium, Society of Economic Palaeontologists and Mineralogists, Special Publication 13: 89-111.*
- Kasprzyk, A., 1995,** "Gypsum-to-anhydrite transition in the Miocene of southern Poland", *Journal of Sedimentary Research, Vol. 65 (2a): 348-357.*
- Kasprzyk, A., 2003,** "Sedimentological and diagenetic patterns of anhydrite deposits in the Badenian evaporite basin of the Carpathian Foredeep, southern Poland", *Sedimentary Geology, Vol. 158 (3-4): 167-194.*
- Kasprzyk, A., 2005,** "Diagenetic alteration of Badenian sulphate deposits in the Carpathian Foredeep Basin, Southern Poland: processes and their succession", *Geological Quarterly, Vol. 49 (3): 305-316.*
- Kendall, A. C., 1984,** "Evaporites", In: *Walker, R. G., (ed.), "Facies Models", 2nd Edition, Geoscience Canada Reprint Ser. 1: 259-296.*
- Kendall, C., 1992,** "Evaporites, petroleum and mineral resources: J.L. Melvin (Editor). Developments in

Spectra of Evaporites—A Core Workshop", *Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Core Workshop, Calgary, Alta., No. 3: 1–32.*

Serra, O., 1984, "Fundamentals of Well-Log Interpretation: The Acquisition of Logging Data", *Elsevier Science Ltd, 424 pp.*

Shearman D. J., 1985, "Syndepositional and late diagenetic alteration of primary Gypsum to anhydrite", *In: Sixth International Symposium on Salt, Schreiber, B. C. & Harner, H. L. (eds.), Salt Institute, Alexandria, Virginia, Vol. 1: 41-50.*

Shearman, D. J., 1970, "Recent halite rock, Baja California, Mexico", *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Sec. B, Vol. 79: 155–162.*

Shearman, D. J., Walker, G. P. L., Booth, B. & N. Falcon, L., 1976, "The Geological Evolution of Southern Iran: The Report of the Iranian Makran Expedition", *The Geographical Journal, Vol. 142 (3): 393-410.*

Spencer, R. J. & Lowenstein, T. K., 1990, "Evaporites", *In: Mcllreath, I. A. & Morrow, D.W. (eds.), Diagenesis II Geoscience Canada Reprint Ser. 4: 141–164.*

Veigas, J. G., 1997, "First continental evaporitic phase in the South Pyrenean Central Area: Tresp Gypsum (Garumn facies, Upper Paleocene; Allochthonous Zone)", *In: Busson, G. & Schreiber, B. C. (eds.), "Sedimentary Deposition in Rift and Foreland Basins in France and Spain (Paleogene and Lower Neogene)", Columbia University Press, New York: 335–342.*

Warren, J. K., & Kendall, C. G. St. C., 1985, "Comparison of sequences formed in marine sabkha (subaerial) and salina (subaqueous) settings- Modern and Ancient", *American Association Petroleum Geologists Bulletin, Vol. 69 (6): 1013–1023.*

Warren, J. K., 1989, "Evaporite Sedimentology: Importance in Hydrocarbon Accumulation (Prentice Hall Advanced Reference Series)", *Prentice Hall, 320 pp.*

Warren, J. K., 1999, "Evaporites: Their Evolution and Economics", *Oxford, Blackwell Science, 438 pp.*

Zisser, N., Kemna, A. & Nover, G., 2010-a, "Dependence of spectral-induced polarization response of sandstone on temperature and its relevance to permeability estimation", *Journal of Geophysical Research, Vol. 115: B09214.*

Zisser, N., Kemna, A. & Nover, G. 2010-b, "Relationship between low-frequency electrical properties and hydraulic permeability of low-permeability sandstones", *Journal of Geophysics, Vol. 75 (3): E131-E141*