

مطالعه تغییرات محتوی کربن آلی سازند کژدمی در یکی از میادین دشت آبادان با استفاده داده های زمین -

شیمیایی و پتروفیزیکی

بهرام علیزاده

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز

حسین سعادت

دانشجوی دکتری نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

جمال الدین صمصامی

مرکز پژوهشی زمین شناسی و زمین شیمی نفت دانشگاه شهید چمران اهواز

سید حسین حسینی

مرکز پژوهشی زمین شناسی و زمین شیمی نفت دانشگاه شهید چمران اهواز

احمد رضا گندمی ثانی

شرکت ملی نفت ایران، مدیریت اکتشاف و بهره برداری نفت

تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۲۷

alizadeh@scu.ac.ir

چکیده

میدان نفتی مورد مطالعه از جمله ابر میادین نفتی در حال توسعه جهان محسوب می شود. در این میدان سازندهای ایلام، سروک، بخش زیرین کژدمی، گدوان و فلهیان به عنوان مخازن قابل بهره برداری شناخته شده اند. در این مطالعه سازند کژدمی با استفاده از دستگاه پیرولیز راک-۶ و نمودارهای چاه پیمایی گاما و صوتی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می دهد که از سمت شمال به جنوب شرایط محیط رسوبی سازند مورد مطالعه تغییر کرده و به یک محیط پیشرونده و احيایی دارای توان تولید و حفاظت بالای مواد آلی تبدیل می شود. همزمان با این تغییرات شدت پرتو لاگ گاما در مقابل لایه های آهکی نیز افزایش پیدا می کند. با تطابق داده های پتروفیزیکی و ژئوشیمیایی یک زون غنی از مواد آلی واقع در بخش بالایی سازند کژدمی شناسایی گردید که ضخامت این زون از سمت جنوب میدان به شمال کاهش می یابد. همچنین ترسیم نمودار تغییرات پارامتر ترکیبی پتانسیل زایش (S_1+S_2) در برابر TOC نشان می دهد که سازند کژدمی از لحاظ پتانسیل هیدروکربور زایی در محدوده وسیعی از ضعیف تا عالی قرار دارد و در بخش های جنوبی میدان نسبت به شمال بالاتر است. با توجه به ضخامت زون غنی از مواد آلی در بخش بالایی سازند کژدمی و لایه های شیلی می توان این سازند را به عنوان سنگ منشأ بالقوه مخزن سروک بویژه در بخش جنوبی میدان مورد مطالعه معرفی نمود.

کلمات کلیدی: پتانسیل هیدروکربورزایی، سازند کژدمی، نمودار چاه پیمایی گاما و صوتی

مقدمه

منشأ کژدمی در دشت آبادان انجام می گیرد. عموماً این نکته پذیرفته شده است که کاربردهای ژئوشیمی به طرز قابل ملاحظه ای درصد موفقیت را در اکتشافات نفتی افزایش می دهند (Bordenave, 1993). هم اکنون روش های استاندارد توسط شرکت های نفتی برای ارزیابی های ژئوشیمیایی به کار می رود که یکی از مهمترین آنها روش پیرولیز راک-ایول می باشد (Behar et al., 2001).

لاگ های پتروفیزیکی به دلیل داشتن مزیت پیوستگی داده ها و امکان ثبت آنها در فواصل کم مورد استفاده قرار گرفته، از طرف دیگر آنالیزهای ژئوشیمیایی علی رغم اینکه هزینه بالا را تحمل می نماید، لیکن دارای نتایج بسیار دقیق و انکارناپذیر بوده و در تفسیر نتایج نقش تعیین کننده ای دارند. از اولین مطالعات در این باره می توان به (Hertzog et al., 1989) و همکاران (۱۹۸۹) اشاره کرد که با توجه به رابطه خطی و مستقیم موجود بین نگار گاما و کل محتوی کربن آلی، از این نگار برای شناسایی سنگ های غنی از مواد آلی استفاده کردند. در سال ۲۰۱۲ علیزاده و همکاران با استفاده از نمودارهای چاه پیمایی با بکارگیری روش های شبکه عصبی و آنالیز خوشه ای رخساره های آلی و تاریخچه تدفین را در سازندهای کژدمی، کنگان و دالان تخمین زدند.

برای شناخت و اکتشاف یک منطقه نفت خیز لازم است نخست عناصر و فرایندهای شکل گیری سیستم های هیدروکربوری مطالعه شود. یکی از عناصر اصلی شکل گیری ذخیره هیدروکربوری سنگ منشأ می باشد. این مطالعه با هدف مشخص کردن پتانسیل هیدروکربوری سازند کژدمی به عنوان یکی از مهمترین سنگ های منشأ احتمالی در یکی از میادین دشت آبادان با استفاده از داده های ژئوشیمیایی حاصل از آنالیز راک-ایول و لاگ های پتروفیزیکی گاما و صوتی صورت گرفته است. تاکنون سازند کژدمی در برخی میادین فروافتادگی دزفول مانند میدان نفتی رگ سفید به عنوان سنگ منشأ غنی معرفی شده است (علیزاده و همکاران ۱۳۸۸).

مطالعه جامعی که توسط (Bordenave and Hegre, 2010) در سیستم نفتی کرتاسه میانی تا میوسن آغازی در مناطق فروافتادگی دزفول، ناحیه فارس و خلیج فارس صورت گرفت، مشخص شد که سنگ های منشأ کژدمی و پابده در فروافتادگی دزفول مخازن کربناتی آسماری و بنگستان را تغذیه کرده اند. این سیستم با پوش سنگ های تبخیری سازند گچساران (میوسن آغازی) پوشش یافته است. ولی این مطالعه ای است که بر روی سنگ

زمین شناسی و موقعیت جغرافیایی محدوده‌ی مورد مطالعه

میدان مورد مطالعه در ناحیه دشت آبادان، در فاصله ۳۰ کیلومتری جنوب غرب میدان جفیر و ۸۰ کیلومتری غرب اهواز واقع شده است. این میدان با وسعتی حدود ۷۴۰ کیلومتر مربع و حجم نفت درجای بالغ بر ۳۳ میلیارد بشکه، یکی از ابر میادین نفتی در حال توسعه جهان محسوب می‌گردد (شکل ۱). در این میدان چهار لایه سروک، بخش زیرین کژدمی، گدوان و فهلیان به عنوان مخازن قابل بهره‌برداری شناخته شده و با حفر چاه شماره ۷ این میدان، سازندهای نفتی ایلام و لایه ماسه‌سنگی آزادگان (بورگان) نیز حاوی نفت قابل تولید ارزیابی گردیده است. براساس مطالعات صورت گرفته لایه سروک عمدتاً نفت سنگین بوده و حدود ۸۰ درصد نفت میدان در این لایه قرار دارد (مطیعی، ۱۳۸۹). تاقدیس فوق، فاقد هر گونه رخنمون بوده، امتداد آن شمالی- جنوبی و با تاقدیس دارخوین دارای روند مشابه می‌باشد. با توجه به نقشه‌های عمقی لرزه‌ای، این تاقدیس در افق‌های بنگستان و خامی دارای بستگی می‌باشد. (نیک طبع، ۱۳۸۱). شروع لایه شیلی به رنگ قهوه‌ای و خاکستری مایل به سبز بیتومینه به‌عنوان رأس سازند کژدمی معرفی می‌گردد که در ادامه آن ضخامت قابل توجهی آهک رسی تیره قرار دارد. با وجودی که سازند کژدمی در ذهن توالی از سنگ‌های رسی اعم از شیل و رس سنگ را تداعی می‌کند اما در این میدان عمدتاً از سنگ‌های آهکی نرم و قهوه‌ای و خاکستری تا سفید نیمه سخت تا سخت و بافت نوع I تا II توصیف شده است (فریدعباسعلی‌نیا، ۱۳۸۹). در بخش انتهایی سازند، بخش ماسه‌سنگ آزادگان (ماسه‌سنگ بورگان) گسترش دارد که از توالی شیل خاکستری مایل به سبز، ماسه‌سنگ‌های متوسط دانه شفاف با دانه‌بندی خوب، رس سنگ خاکستری و قهوه‌ای حاوی بیتومین پراکنده، مارل خاکستری و آهک دولومیتی و آهک رسی تشکیل شده است (سپهوند، ۱۳۹۰).

روش مطالعه

آنالیزهای زمین شیمیایی

جهت انجام این مطالعه تعداد ۳۶ نمونه خرده سنگ حاصل از حفاری سازند کژدمی در میدان نفتی مورد مطالعه مورد آنالیز قرار گرفت. مقدار ۵۰ تا ۷۰ میلی‌گرم از هر نمونه تیمار و هموژنیزه شده و سپس توسط دستگاه پیرولیز راک‌لایول ۶ موجود در مرکز پژوهشی زمین‌شناسی و زمین‌شیمی نفت دانشگاه شهید چمران اهواز آنالیز و مقدار کل کربن آلی (TOC)، نوع کروژن، میزان بلوغ نمونه‌ها در هر چاه و پارامترهای دیگر مورد بررسی قرار گرفته است. در (جدول ۱) اطلاعات حاصل از پیرولیز راک‌لایول نمونه‌های برداشت شده از سازند کژدمی داده شده است.

روش پیرولیز عبارت است از حرارت دادن یک نمونه سنگی در شرایط فاقد اکسیژن برای انجام واکنش‌های تجزیه حرارتی (Thermal Cracking)، که عملاً برای به دست آوردن پتانسیل زایشی باقیمانده در نمونه به کار گرفته می‌شود (Peters et al., 2005; Waples, 1985). برنامه حرارتی این روش شامل افزایش دما با نرخ ۲۵ درجه سانتیگراد در دقیقه از دمای ۶۵۰-۳۰۰ در کوره پیرولیز و ۸۵۰-۳۰۰ در کوره اکسیدان است. پارامترهای حاصل از این آنالیز عبارتند از پارامتر S_1 (mg HC/g rock) که مبین هیدروکربورهای آزاد موجود در سنگاست و تا دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد آزاد می‌شوند، پارامتر S_2 (mg HC / g rock) بیانگر هیدروکربور-هایی است که در طی پیرولیز و در دمای بین ۳۰۰-۶۵۰ درجه سانتی‌گراد آزاد می‌شوند و پارامتر S_3 معرف ترکیبات اکسیژن‌داری است (گروه‌های کربوکسیل) که تا دمای ۳۹۰ درجه سانتی‌گراد تجزیه شده و گاز CO_2 حاصل از تجزیه آنها آزاد گشته و به شکل بیشینه S_3 (mg CO_2 / g rock) نمایش داده می‌شود. شاخص هیدروژن (HI)، شاخص اکسیژن (OI) به‌همراه T_{max} و

میزان TOC، از دیگر پارامترهای مهمی هستند که توسط این دستگاه ارائه می‌شود (Behar et al., 2001).

بررسی‌های پتروفیزیکی

در این بخش تعداد ۵ حلقه چاه انتخاب و ستون سنگ‌شناسی و لاگ‌های صوتی و گاما توسط نرم‌افزار Corel Draw ترسیم شده است (شکل ۲).

نمودار پرتو گاما

در میان تشعشعات اصلی رادیواکتیو (شامل اشعه‌های α ، β ، γ)، دو ذره β و α دارای قدرت نفوذ پایین بوده و ممکن است توسط جداره چاه متوقف شوند. در صورتیکه پرتو گاما از امواج الکترومغناطیسی پرنانرژی است و مشابه پرتو X توانایی نفوذ تا حدود یک فوت در سنگ‌های رسوبی را دارد. این پرتو بطور خود به خود از عناصر رادیواکتیو ^{238}Th ، ^{40}K و ^{232}U ساطع می‌شود (Luccia, 2007). پرتو گاما ساطع شده توسط هر کدام از این عناصر دارای طیف انرژی خاصی است. از آنجا که مواد رادیواکتیو عمدتاً در شیل‌ها و رس‌ها متمرکز می‌شوند، لذا در سنگ‌های رسوبی ابزار پرتو گاما بطور معمول محتوای شیل یا رس سازند را مشخص می‌کند (Schlumberger, 2004). البته باید توجه داشت که در میان این سه عنصر، اورانیوم دارای منشأ دیاژنتیکی است. لذا قبل از استفاده از نمودار پرتو گاما باید تشعشعات اورانیوم حذف شوند.

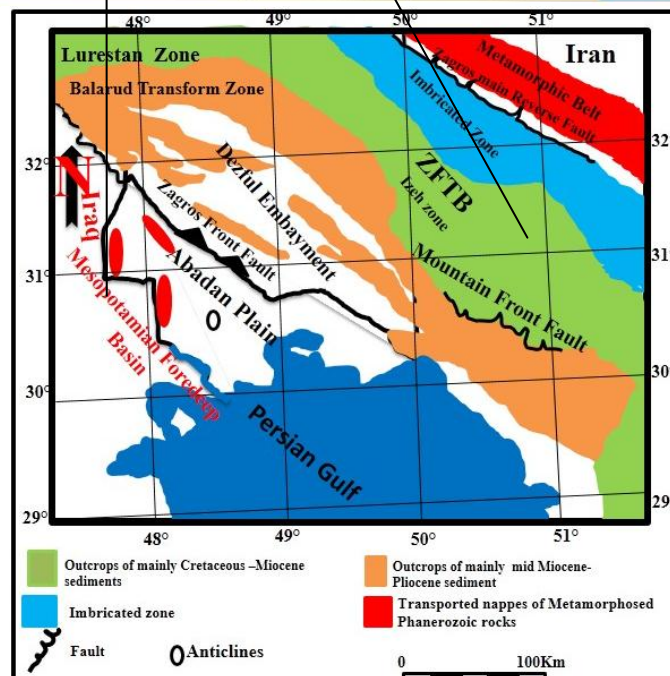
برای این منظور می‌توان از نمودار طیف‌نمای پرتو گاما (Log NGS) استفاده کرد. در سنگ‌های رسوبی، نمودار پرتو گاما اساساً تا حدودی بیانگر حجم رس سازند است، چون عناصر رادیواکتیو نظیر پتاسیم، توریوم و اورانیوم عمدتاً در رس‌ها متمرکزند. سازندهای تمیز (عاری از رس) معمولاً یک سطح بسیار پایین از رادیواکتیو دارند، مگر اینکه دارای ناخالصی‌هایی مانند خاکستر آتشفشانی یا گرانیات هوازده باشند، و یا آب سازندها حاوی این عناصر باشد. بر این اساس مقیاس استاندارد که برای اندازه‌گیری شدت پرتو گاما در نظر گرفته شده است (مقیاس API) در مقدار بیشینه (معمولاً ۱۰۰) نشانگر وجود یک شیل است و مقدار کمینه‌ی آن (۰) یک ماسه‌سنگ تمیز را نشان می‌دهد (Luccia, 2007).

لاگ صوتی

این نمودار برای اولین بار در سال ۱۹۵۴ بعنوان ابزار اندازه‌گیری تخلخل شناخته شد و در ابتدا بعنوان وسیله‌ای برای تفسیر اطلاعات اکتشافات لرزه‌ای شناخته می‌شد. این نمودار عمق را در مقابل زمان اندازه‌گیری کرده و آن مدت زمانی است که یک ضربه‌ی صوتی (Acoustic Pulse) طول یک فوت از یک سنگ را طی می‌نماید (Kamali and Mirshady, 2004). زمان عبور محاسبه شده Δt نامیده می‌شود و واحد اندازه‌گیری آن میکروثانیه بر فوت بوده و با سرعت صوت نسبت عکس دارد. لذا هرچه زمان رفت و برگشت بیشتر باشد به معنی سرعت کمتر حرکت صوت خواهد بود. سرعت موج صوتی در سنگ‌ها تابعی از لیتولوژی، تخلخل، نوع فضاهای خالی، سیال درون آنها و فشار هیدرواستاتیک این سیال است. سرعت موج صوتی برای چند لیتولوژی که در این مطالعه نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند در (جدول ۲) آمده است.

بحث و بررسی

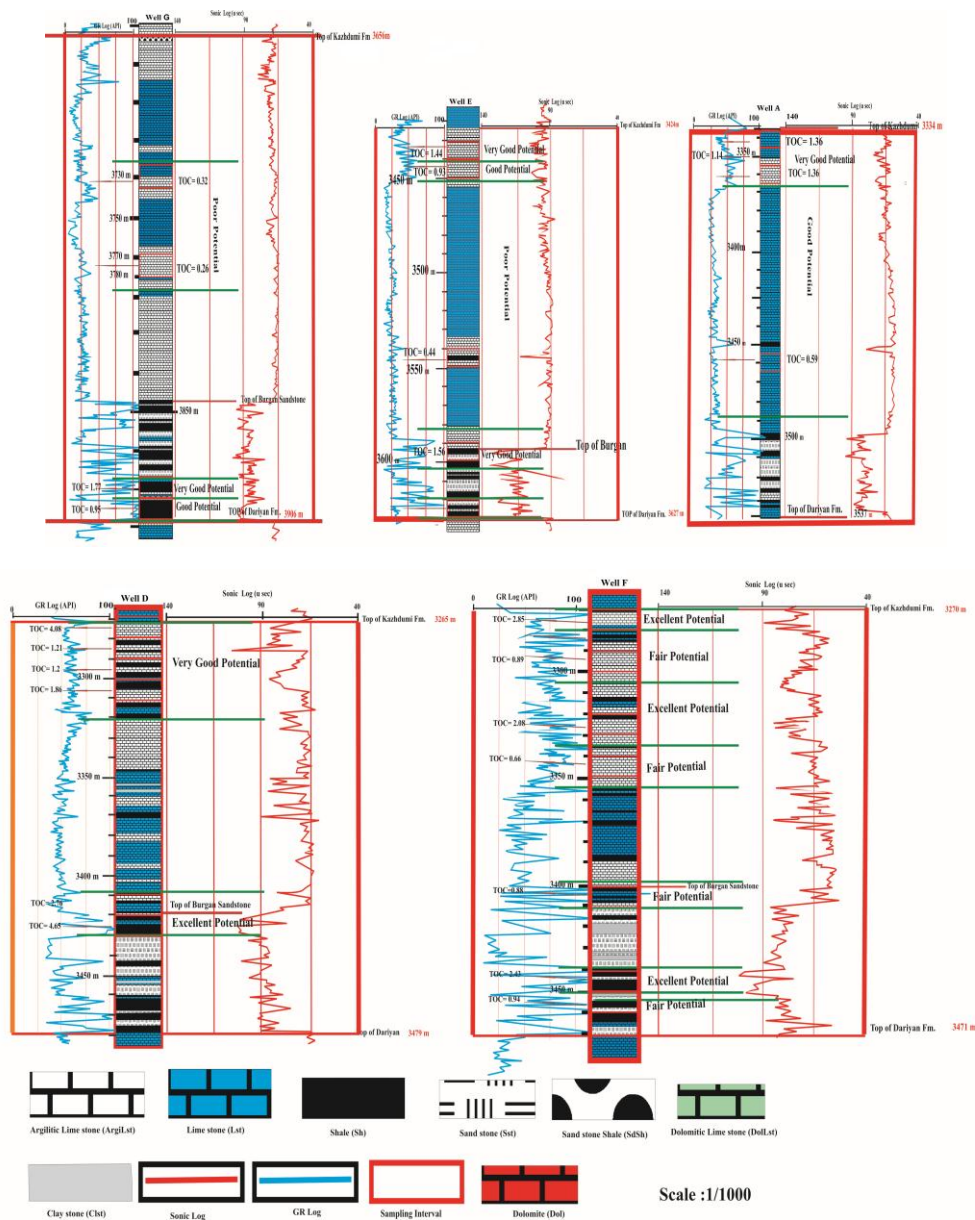
به‌منظور اطمینان از عدم آغستگی نمونه‌ها به مواد هیدروکربنی از نمودار S_1/TOC (Hunt, 1996) استفاده می‌گردد. این نمودار مبین عدم آلودگی هیدروکربنی نمونه‌های مورد بررسی می‌باشد (شکل ۳)، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت هیدروکربن موجود در نمونه‌ها از نوع برجا بوده و قابل تفسیر می‌باشند. با توجه به اینکه بخش شمالی میدان با قسمت‌های مرکزی و جنوبی از لحاظ تولید و خواص مخزنی متفاوت می‌باشد و از طرفی دیگر به منظور بررسی دقیق‌تر میدان و مقایسه بهتر پارامترهای ژئوشیمیایی و پتروفیزیکی نتایج هر کدام از چاه‌ها بصورت مجزا ارائه می‌شود.



شکل ۱. موقعیت دشت آبادان و برخی میادین موجود در آن (اقتباس از فریدعباسعلی نیا، ۱۳۸۹).

جدول ۱. برخی از مهمترین داده‌های حاصل از پیرولیز نمونه‌های سازند کزدمی در میدان نفتی مورد مطالعه توسط دستگاه راک-ایول

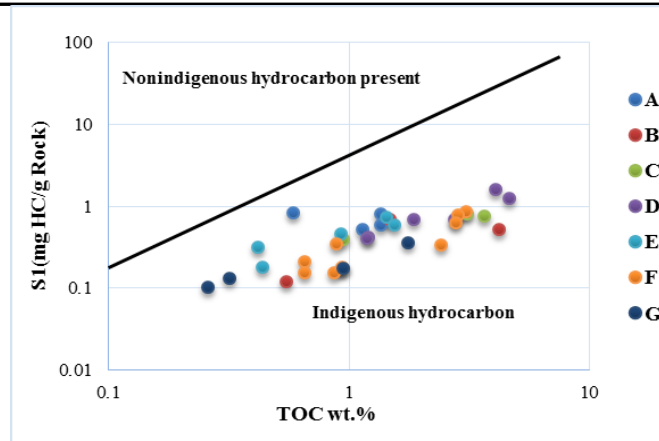
چاه	عمق (متر)	S ₁ (mg HC/gr Rock)	S ₂ (mg HC/gr Rock)	S ₃ (mg CO ₂ /gr Rock)	T _{max} (°C)	HI(mg HC/gr TOC)	OI(mg CO ₂ /gr TOC)	PI	TOC (wt. %)
A	۳۳۳۵	۰/۸	۳/۱۴	۲/۳۱	۴۲۴	۳۵۴	۱۷۰	۰/۱۴	۱/۳۶
	۳۳۴۵	۰/۵۲	۴/۸۱	۲/۲	۴۲۹	۲۷۵	۱۹۳	۰/۱۴	۱/۵۹
	۳۳۵۵	۰/۵۸	۱/۷۴	۱/۷۸	۴۲۶	۱۲۸	۱۳۱	۰/۲۵	۱/۳۶
	۳۴۵۵	۰/۸۱	۰/۶۶	۱/۰۶	۴۲۵	۱۱۲	۱۸۰	۰/۵۵	۰/۵۹
B	۳۳۹۰	۰/۶۹	۸/۴۴	۱/۰۶	۴۲۸	۵۷۰	۷۲	۰/۰۸	۱/۴۸
	۳۵۰۵	۰/۱۲	۰/۳۱	۰/۸۶	۴۲۵	۵۶	۱۵۵	۰/۲۸	۰/۵۵
	۳۵۶۰	۰/۵۱	۷/۹۴	۱/۶۳	۴۲۶	۱۸۹	۳۹	۰/۰۶	۴/۲
C	۳۴۱۰	۰/۳۹	۲/۴۲	۱/۵۴	۴۲۸	۲۵۵	۱۶۲	۰/۱۴	۰/۹۵
	۳۵۷۰	۰/۷۴	۷/۰۹	۲/۵۷	۴۳۳	۱۹۳	۷۰	۰/۰۹	۳/۶۸
	۳۵۸۰	۰/۸	۵/۶۲	۲/۰۱	۴۲۷	۱۸۰	۶۴	۰/۰۷	۳/۱۳
D	۳۲۷۰	۱/۵۶	۲۰/۴۴	۲	۴۲۵	۵۰۱	۴۹	۰/۱۲	۴/۰۸
	۳۲۸۰	۰/۴۱	۲/۹۵	۱/۹۵	۴۲۳	۲۴۴	۱۶۱	۰/۱۷	۱/۲۱
	۳۲۹۰	۰/۴	۱/۹۸	۲/۲۸	۴۳۲	۱۶۵	۱۹۰	۰/۰۹	۱/۲
	۳۳۱۰	۰/۶۹	۶/۹	۱/۸۴	۴۲۷	۳۷۱	۹۹	۰/۱۱	۱/۸۶
	۳۴۱۰	۰/۶۹	۵/۳۶	۱/۹۹	۴۳۱	۱۹۴	۷۲	۰/۱	۲/۷۶
	۳۴۲۰	۱/۲۴	۱۱/۳۷	۲/۰۱	۴۲۸	۲۴۲	۴۳	۰/۱	۴/۶۵
E	۳۴۳۰	۰/۷۳	۶/۷۱	۱/۳۲	۴۲۴	۴۶۶	۹۲	۰/۱	۱/۴۴
	۳۴۴۰	۰/۴۶	۲/۳۶	۱/۵۶	۴۳۰	۲۵۴	۱۶۸	۰/۱۶	۰/۹۳
	۳۵۴۰	۰/۱۸	۰/۵۲	۱/۱۹	۴۲۶	۱۱۸	۲۷۰	۰/۲۶	۰/۴۴
	۳۵۹۰	۰/۵۸	۲/۶۴	۱/۷	۴۳۶	۱۶۹	۱۰۹	۰/۱۸	۱/۵۶
	۳۶۲۰	۰/۳۱	۰/۶۵	۱/۳۸	۴۲۶	۱۵۵	۳۲۹	۰/۳۲	۰/۴۲
	۳۶۳۰	۰/۲۹	۰/۶۳	۱/۳۱	۴۳۰	۱۶۶	۳۴۵	۰/۳۱	۰/۳۸
F	۳۲۷۰	۰/۷۸	۱۳/۷۵	۱/۷۲	۴۲۴	۴۸۲	۶۰	۰/۰۵	۲/۸۵
	۳۲۸۰	۰/۱۷	۲/۱۶	۱/۴۵	۴۳۳	۲۳۰	۱۵۴	۰/۰۷	۰/۹۴
	۳۲۹۰	۰/۳۴	۲/۲۶	۲/۴۳	۴۳۶	۲۵۴	۲۷۳	۰/۱۳	۰/۸۹
	۳۳۲۰	۰/۶۳	۱۲/۸۶	۱/۴۶	۴۲۷	۴۵۹	۵۲	۰/۰۵	۲/۸
	۳۳۴۰	۰/۱۵	۰/۷۹	۰/۹۵	۴۳۶	۱۲۰	۱۴۴	۰/۱۶	۰/۶۶
	۳۴۰۰	۰/۱۵	۱/۴۲	۱/۱۱	۴۳۱	۱۶۳	۱۲۸	۰/۰۹	۰/۸۷
	۳۴۴۰	۰/۳۳	۷/۰۴	۰/۵۸	۴۳۱	۲۹۰	۲۴	۰/۰۴	۲/۴۳
	۳۴۵۰	۰/۱۸	۰/۹۹	۱/۳۲	۴۲۸	۱۰۵	۱۴۰	۰/۱۶	۰/۹۴
G	۳۷۲۵	۰/۱۳	۰/۶۵	۰/۸	۴۳۵	۲۰۳	۲۵۰	۰/۱۷	۰/۳۲
	۳۷۷۰	۰/۱	۰/۴۷	۰/۷۵	۴۳۵	۱۸۱	۲۸۸	۰/۱۷	۰/۲۶
	۳۸۸۵	۰/۳۵	۳/۱۱	۱/۰۷	۴۳۵	۱۷۶	۶۰	۰/۱	۱/۷۷
	۳۸۹۵	۰/۱۷	۱/۴۲	۱/۰۸	۴۳۵	۱۴۹	۱۱۴	۰/۱۱	۰/۹۵



شکل ۲. ستون چینه‌ای همراه با نمودارهای پتروفیزیکی برای سازند کزدمی در میدان مورد مطالعه

جدول ۲. سرعت موج صوتی در چند ماده (با تغییر از Luccia, 2007)

$\mu\text{s}/\text{f}$	نوع ماده	$\mu\text{s}/\text{f}$	نوع ماده
۶۶.۷	نمک	۴۳.۵ - ۴۷.۶	سنگ آهک
۱۶۷	شیل	۴۳.۵	دولومیت
۱۸۹	آب یا ۲۰٪ نمک	۵۱	انیدریت
۲۱۸	آب خالص	۵۲.۶	ماسه سنگ متراکم
۲۳۸	نفت	۵۷	لوله جداری (استیل)



شکل ۳. منحنی تغییرات S_1 در برابر TOC به منظور اطمینان از عدم آلودگی در نمونه‌های مربوط به سازند کژدمی (اقتباس از Hunt 1996)

احیایی و در یک محیط در حال پیشروی رسوب کرده، شرایط برای تشکیل و حفظ‌شدگی ماده آلی بالا بوده و پتانسیل هیدروکربورزایی نسبتاً خوب تا عالی بوده و حاوی کروژن نوع II می‌باشد (شکل‌های ۵، ۶ و ۷).

چاه D

این چاه در قسمت جنوب میدان قرار دارد. براساس داده‌های ژئوشیمیایی سازند کژدمی در محدوده‌ی چاه D پتانسیل هیدروکربورزایی خوب تا عالی داشته و تحت شرایط احیایی در یک محیط در حال پیشروی ته‌نشست یافته و حاوی کروژن نوع II می‌باشد (شکل‌های ۵، ۶ و ۷). نمونه‌برداری صورت گرفته از این محدوده از لحاظ لیتولوژی شیل مخلوط با آهک‌رسی با حداکثر کل کربن آلی ($TOC = 4.08\%$) می‌باشد. از عمق ۳۲۷۰ متری تا ۳۳۳۰ متری به ضخامت ۶۰ متر مقدار پرتو گاما بین ۴۸ تا ۷۸ درجه API و مقدار لاگ صوتی بین ۶۰ تا ۱۰۵ میکروثانیه بر فوت می‌باشد (شکل ۲)، که تغییرات لاگ‌ها افزایش شدت پرتو گاما و زمان عبور صوت) نیز این مطلب را تایید می‌نماید. در قسمت میانی سازند از عمق ۳۳۳۰ متری تا ۳۴۱۰ متری آنالیز ژئوشیمیایی صورت نگرفته است ولی با توجه به نمونه‌های ژئوشیمیایی با محتوی TOC زیاد در بالا و پایین محدوده فوق و همچنین براساس مقدار نزدیک به ۵۰ لاگ‌گاما و روند سیر نسبتاً یکنواخت لاگ گاما و صوتی در مقایسه با قسمت‌های بالا و پایین می‌توان گفت که دو لیتولوژی آهکی و آهک‌رسی به طور نسبی دارای مقادیر قابل ملاحظه‌ای مواد آلی می‌باشند، در چاه D حداکثر مقدار لاگ گاما و صوتی برای لیتولوژی شیلی در محدوده‌ی شیل‌های متناوب با ماسه‌سنگ در بخش ماسه‌سنگی بورگان که در تناوب با شیل است مقدار پرتو گاما از ۷۵ تا بالای ۱۰۰ درجه API می‌باشد و نشان دهنده‌ی درصد بالایی از مواد آلی می‌باشد (شکل ۲).

چاه E

این چاه در نیمه شمالی و در نزدیکی بخش مرکزی میدان قرار دارد. در این چاه بخش بالایی سازند کژدمی حداثا عمق ۳۴۲۵ تا ۳۴۵۵ متری داده‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد علی‌رغم اینکه سازند کژدمی اکثراً در شرایط پسروده با محیطی دارای مواد آلی قاره‌ای و دریایی رسوبگذاری کرده لیکن به دلیل شرایط احیایی مواد آلی حفظ شده و دارای پتانسیل هیدروکربورزایی عالی هستند (شکل‌های ۶ و ۷). مقادیر پرتو گاما بین ۲۵-۷۰ درجه API و سرعت صوت بین ۱۰۵-۹۰ میکروثانیه بر فوت را نشان دهنده محدوده با محتوی کربن آلی بالا می‌باشد و نتایج حاصل از داده‌های ژئوشیمیایی توسط داده‌های پتروفیزیکی تایید می‌شود. مقدار لاگ‌های گاما و صوتی در بخش آهکی این چاه (۳۴۵۵-۳۴۵۵ متری) تا رسیدن به ماسه‌سنگ بورگان به ترتیب بین ۳۰-۱۵ درجه API و ۱۰۵-۹۰ میکروثانیه بر فوت می-

چاه A

این چاه تقریباً در مرکز میدان نفتی مورد مطالعه قرار دارد. بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی، سازند کژدمی در چاه A حداثا عمق ۳۳۴۰-۳۳۷۰ متری دارای پتانسیل هیدروکربورزایی خوب می‌باشد (شکل ۴)، پتانسیل خوب به یک محیط پیشرونده با شرایط احیایی و کروژن نوع II و قابلیت بالای حفظ و تولید مواد آلی اشاره دارد که نمودارهای جونز ۱۹۸۷ و TOC در برابر HI نیز موید این مطلب هستند (شکل‌های ۵، ۶ و ۷). نمونه‌برداری صورت گرفته از این محدوده از لحاظ سنگ‌شناسی، شیل مخلوط با آهک و آهک‌رسی با حداکثر محتوی کل کربن آلی ($TOC = 11.36\%$) می‌باشد. مقدار نمودارهای پتروفیزیکی در این اعماق برای لاگ گاما بین ۲۸ تا ۸۰ درجه API و برای لاگ صوتی بین ۶۰ تا ۷۲ میکروثانیه بر فوت است که بیانگر یک زون غنی از مواد آلی و دارای پتانسیل تولیدی مناسبی می‌باشد و تأییدکننده داده‌های ژئوشیمیایی می‌باشد. در ادامه تا عمق ۳۵۰۰ متری دو نمودار گاما و صوتی قسمت‌های آهکی را با یک روند تقریباً یکنواخت و مقدار پرتو گاما ۳۰ - ۲۰ درجه API و سرعت صوت ۶۵-۵۵ میکروثانیه بر فوت طی می‌کنند. مقدار پایین لاگ گاما در مقابل لیتولوژی آهکی در عمق حدود ۳۳۷۰ - ۳۵۰۰ کم بودن مقدار مواد آلی را نشان می‌دهد. داده‌های ژئوشیمیایی در این محدوده بیانگر محیط پسروده مجاور مناطق قاره‌ای و مقادیر بالای شاخص اکسیژن با محتویات پایین مواد آلی به علت تولید یا تجزیه آنها محتوی کروژن نوع III را معرفی می‌کند (شکل‌های ۵، ۶ و ۷) که تأییدکننده داده‌های پتروفیزیکی می‌باشد. در بخش ماسه‌سنگی بورگان که در تناوب با شیل است مقدار پرتو گاما از ۷۵ تا بالای ۱۰۰ درجه API و برای لاگ صوتی ۱۰۰ - ۷۵ میکروثانیه بر فوت در لایه‌های شیلی تغییر می‌کند و نشان‌دهنده بالا بودن میزان مواد آلی در بخش‌های شیلی در این محدوده است.

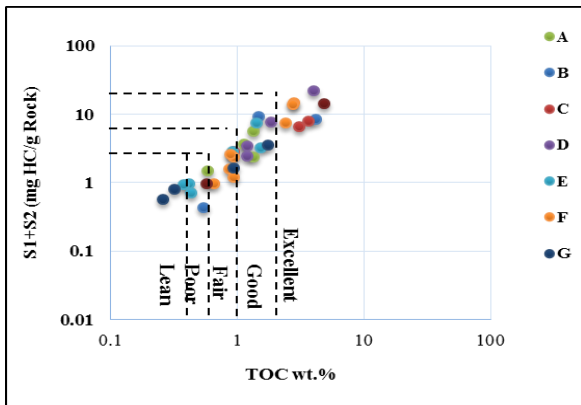
چاه B

این چاه تقریباً در قسمت مرکز و متمایل به سمت جنوب میدان قرار دارد. براساس داده‌های ژئوشیمیایی سازند کژدمی در محدوده‌ی چاه B با وجود اینکه در شرایط کاملاً متفاوتی از پسروری و پیشروی و محیط‌های احیایی تا مجاور قاره‌ای اکسیدان رسوبگذاری کرده، احتمالاً بدلیل رسوبگذاری سریع، محتوی کربن آلی (TOC) آن حفظ شده و پتانسیل هیدروکربورزایی خوب تا بسیار خوب داشته و حاوی کروژن‌های نوع III و II می‌باشد (شکل‌های ۵، ۶ و ۷).

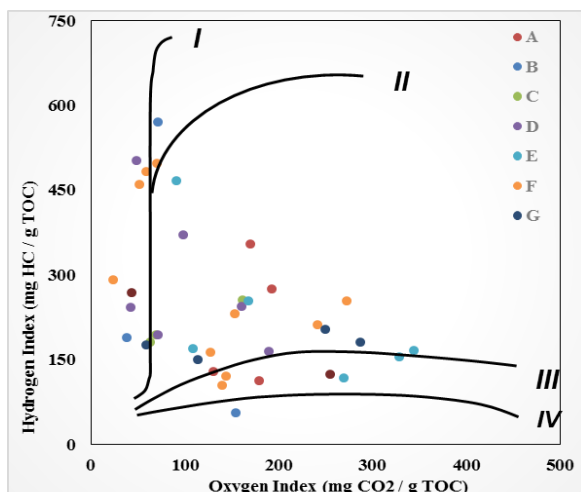
چاه C

این چاه در قسمت شمال‌غربی میدان قرار دارد. براساس داده‌های ژئوشیمیایی، سازند کژدمی در محدوده‌ی چاه C به علت اینکه تحت شرایط

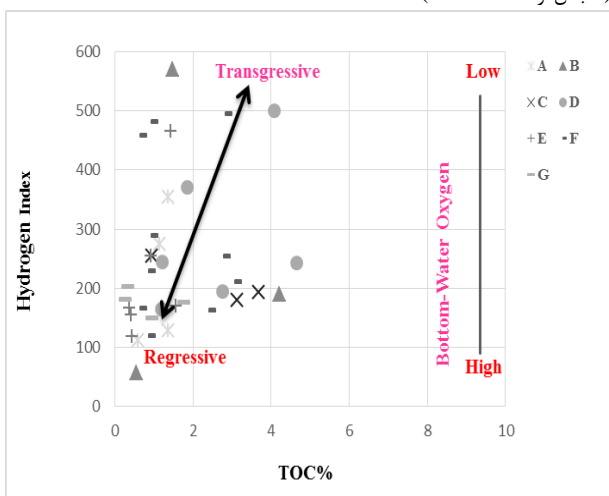
براساس انطباق داده‌های پتروفیزیکی و ژئوشیمیایی دو لیتولوژی مذکور سنگ منشأ ضعیفی در این چاه محسوب می‌شوند. در محدوده ماسه‌سنگ بورگان برای شیل‌های متناوب با ماسه‌سنگ حداکثر مقدار لاگ‌های گاما و صوتی به ترتیب به بالای ۱۰۰ درجه API و ۱۰۰ میکروثانیه بر فوت می‌رسد. در محدوده‌ی این چاه سازند کژدمی پتانسیل هیدروکربورزایی کمتری نسبت به بقیه قسمت‌های میدان دارد (شکل ۲).



شکل ۴. نمودار تغییرات S_1+S_2 در برابر TOC به منظور ارزیابی پتانسیل ژنتیکی سازند کژدمی (اقتباس از Huang et al., 2003).



شکل ۵. نمودار تغییرات HI در برابر OI جهت تعیین نوع کروژن سازند کژدمی (اقتباس از Hunt 1996).



شکل ۶. نمودار HI در برابر OI برای مطالعه شرایط محیط رسوبگذاری سازند کژدمی (اقتباس از Dean et al 1986).

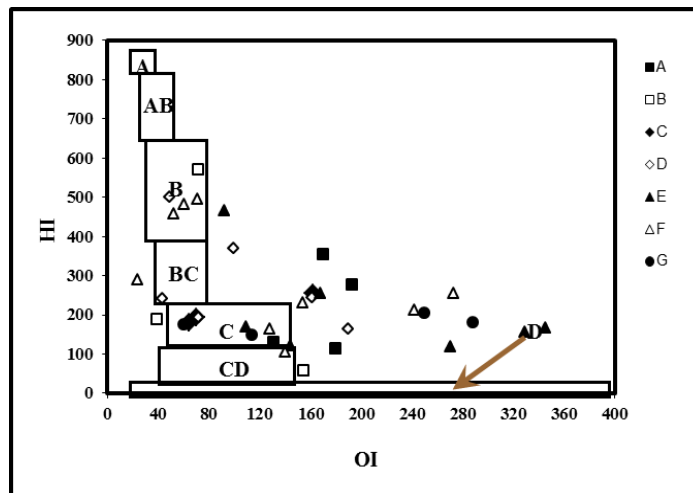
باشد و روند تقریباً یکنواختی را طی می‌کند و این میزان به محتوی نسبتاً پایین مواد آلی ($TOC = 0.44\%$) در این محدوده اشاره دارد. با توجه به اینکه سازند کژدمی در این محدوده تحت شرایط پسروده و در ارتباط با محیط قاره‌ای قرار دارد و احتمالاً مقادیر بالای شاخص اکسیژن (OI بالای ۳۰۰) نمونه‌های مورد بررسی نیز حکایت از این امر دارد که شرایط برای تولید و یا حفظ مواد آلی محیا نبوده است. در بخش ماسه‌سنگی بورگان و در شیل‌های متناوب با ماسه‌سنگ ($3630-3590$ متری) مقدار لاگ‌های گاما و صوتی به ترتیب بین ۱۰۰-۲۵ درجه API و ۹۰-۱۳۵ میکروثانیه بر فوت می‌باشد (شکل ۲).

چاه F

این چاه در جنوبی‌ترین بخش میدان نفتی مورد مطالعه قرار دارد. در عمق ۳۲۷۰-۳۲۸۰ متری به علت محتوی کل کربن آلی بالا ($TOC = 2.85\%$) حداکثر مقدار پرتو گامای بالای ۱۰۰ API و سرعت صوت ۹۰ میکروثانیه بر فوت و در عمق ۳۳۲۰-۳۳۳۵ متری ($TOC = 2.8\%$) حداکثر مقدار پرتو گامای بالای ۱۰۰ API و سرعت صوت ۸۰ میکروثانیه بر فوت می‌باشد. داده‌های ژئوشیمیایی سازند کژدمی در این دو محدوده پتانسیل هیدروکربورزایی عالی را نشان داده (شکل ۴) و تأیید کننده داده‌های پتروفیزیکی می‌باشند، همچنین بر اساس نمودار جونز و OI در برابر HI در این محدوده‌ها سازند کژدمی در یک محیط نسبتاً احیایی در حال پیشروی با محتوی کروژن نوع II ته نشست یافته است (شکل‌های ۵، ۶ و ۷) که باعث حفظ و تشکیل مواد آلی گشته است. در سایر بخش‌های این سازند تا رسیدن به بخش ماسه‌سنگی بورگان کل کربن آلی $TOC = 0.89\%$ می‌باشد. در این محدوده‌ها با اینکه محیط رسوبی حالت احیایی داشته ولی احتمالاً سرعت رسوبگذاری متوسط با تولید و حفاظت کم همچنین حالت پسروری احتمالاً باعث عدم حفظ کامل یا تولید مواد آلی شده است. مقدار پرتو گاما در این قسمت بین ۲۵ تا ۱۰۰ درجه API و سرعت صوت بین ۶۰ تا ۸۰ میکروثانیه بر فوت می‌باشد. در این چاه برخلاف سایر چاه‌ها مقدار نسبتاً بالای پرتو گاما در مقابل لیتولوژی آهک رسی وجود دارد (حداکثر مقدار پرتو گاما گاهی به ۹۰ درجه API می‌رسد) ولی داده‌های راک-پولاز محدودده‌های نمونه‌برداری شده مقادیر کمتری از محتوی کل کربن آلی را نشان می‌دهد ($TOC = 0.66\%$). با توجه به اینکه در ستون چینه‌شناسی این چاه رس، متناوب با سایر لیتولوژی‌ها یافت می‌شود و همچنین به صورت ناخالصی هم با آهک یافت می‌شود می‌توان این مقدار از پرتو گاما را به کانی‌های رسی نسبت داد. به این ترتیب مشاهده می‌شود که داده‌های ژئوشیمیایی در بعضی قسمت‌های این چاه داده‌های پتروفیزیکی را تأیید، و در برخی قسمت‌ها (جاهای با محتوی ماده آلی پایین و شدت گامای بالا) تصحیح می‌کنند.

چاه G

این چاه در شمالی‌ترین بخش میدان نفتی آزادگان قرار دارد. براساس داده‌های ژئوشیمیایی سازند کژدمی در محدوده‌ی چاه G با اینکه حاوی کروژن نوع II بوده و در یک محیط احیایی با سرعت رسوبگذاری متوسط ته-نشست یافته است (شکل‌های ۶ و ۷). لیکن احتمالاً سرعت نه چندان زیاد رسوبگذاری همراه با شرایط پسروده و شاخص اکسیژن بالا مانع از حفظ کامل مواد آلی گشته و باعث شده پتانسیل هیدروکربورزایی ضعیف‌تر نسبتاً خوب داشته باشد (شکل ۵). در محدوده هر دو لیتولوژی آهکی و آهکی‌رسی نمونه-برداری شده تا قبل از رسیدن به ماسه‌سنگ بورگان تقریباً حداکثر مقدار کل کربن آلی 0.32% می‌باشد. مقادیر لاگ‌های گاما و صوتی در دو لیتولوژی مذکور به ترتیب بین ۵۰-۱۰ درجه API و ۷۸-۶۵ میکروثانیه بر فوت نشان از فراوانی نسبتاً کم مواد آلی بوده و نتایج داده‌های پتروفیزیکی را تأیید می‌کند.



شکل ۷. نمودار جونز (شاخص هیدروژن در برابر شاخص اکسیژن) برای تعیین رخساره آلی سازند کژدمی (Jones, 1987). ویژگی‌های محدوده‌های مشخص شده عبارتند از: A= محیط دریاچه‌ای شدیداً احیایی، AB= محیط‌های دریایی پیشرونده احیایی، B= محیط‌های دریایی یا دریاچه‌ای نسبتاً احیایی، BC= محیط‌های دارای مواد آلی دریایی و قاره‌ای و رسوبگذاری سریع در شرایط نسبتاً اکسیدان، C= محیط‌هایی با سرعت رسوبگذاری متوسط در شرایط احیایی، CD= محیط‌های عمیق در مجاورت نقاط کوهزایی، D= محیط‌های قاره‌ای شدیداً اکسیدان.

نتیجه‌گیری

اطلاعات حاصل از آنالیزهای زمین شیمیایی و پتروفیزیکی نتایج ذیل را بدست می‌دهند:

۱. براساس نتایج حاصل از آنالیز راک - ایول سازند کژدمی در میدان نفتی مورد مطالعه پتانسیل هیدروکربورزایی ضعیف تا عالی دارد و از شمال میدان به سمت جنوب بر میزان محتوای مواد آلی و در نتیجه پتانسیل هیدروکربورزایی افزوده می‌شود.
۲. بیشترین شدت پرتو گاما در بخش‌های شیلی می‌باشد و در بخش‌های آهکی لاگ گاما شدت کمتری را نسبت به لایه‌های شیلی نشان می‌دهد و نشان دهنده کمتر بودن میزان مواد آلی در اکثر قسمت‌های لیتولوژی آهکی است.
۳. براساس داده‌های پتروفیزیکی شدت پرتو گاما در مناطق جنوبی میدان بیشتر از بخش‌های شمالی می‌باشد که مؤید داده‌های ژئوشیمیایی می‌باشد.
۴. بطور کلی در بخش بالایی سازند کژدمی یک زون غنی از مواد آلی با پتانسیل تولید هیدروکربور مناسب وجود دارد که ضخامت آن از جنوب میدان به سمت شمال کاهش پیدا می‌کند بطوریکه ضخامت این زون غنی از مواد آلی در چاه D در جنوب میدان ۶۰ متر و در شمال میدان

۴. در چاه شماره E به ۳۰ متر کاهش می‌یابد و در چاه G واقع در شمالی-ترین بخش میدان ناپدید می‌شود.
۵. با توجه به اینکه نمونه‌ها با فواصل ۱۰ متری گرفته شده‌اند و مخلوط-شدگی شیل و آهک وجود دارد مقدار TOC واقعی را برای شیل‌ها نشان نداده ولی در مجموعه‌های راک - ایول در بخش‌های شیلی در اغلب قسمت‌های میدان TOC بالا ولی در بخش‌های آهک‌رسی و آهکی در برخی قسمت‌ها مقدار TOC پایینی را نشان می‌دهند. نتایج حاصل از داده‌های پتروفیزیکی نیز مطلب فوق را تأیید می‌کند.
۶. باتوجه به ضخامت لایه‌های غنی از مواد آلی واقع در بخش بالایی سازند کژدمی و لایه‌های شیلی (بین ۳۶ متر در شمال تا ۴۹/۵ متر در جنوب میدان)، سازند کژدمی در میدان نفتی آزادگان به عنوان سنگ منشأ احتمالی معرفی شده و مبرهن است که در قسمت جنوبی میدان نسبت به قسمت شمالی آن دارای پتانسیل بیشتری بعنوان سنگ منشأ است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران به منظور تأمین بودجه لازم برای این تحقیق، دانشگاه شهید چمران اهواز و مرکز پژوهشی زمین‌شناسی و زمین‌شیمی نفت دانشگاه شهید چمران جهت تأمین امکانات آزمایشگاهی تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

- سپهوند، س.، ۱۳۹۰. گزارش تکمیلی زمین شناسی چاه شماره ۱۰- میدان آزادگان، اداره کل زمین شناسی مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران.
- فریدعباسعلی‌نیا، م.، ۱۳۸۹. گزارش تکمیلی زمین شناسی چاه شماره ۷- میدان آزادگان، اداره کل زمین شناسی مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران.
- علیزاده، ب؛ جانباز، م؛ شایسته، م؛ حسینی، ح.، ۱۳۸۸. مطالعه ژئوشیمیایی و تأثیر کانی ماتریکس بر پتانسیل سنگ‌های منشأ احتمالی هنگام پیرولیز در میدان نفتی رگ-سفید، جنوب غرب ایران. مجله علمی پژوهشی پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، دانشگاه اصفهان شماره ۳۶، ص ۱-۱۶.
- مطیعی، ه.، ۱۳۸۹. مقدمه‌ای بر ارزیابی مخازن نفتی زاگرس (برای زمین‌شناسان)، چاپ اول. انتشارات ایران زمین. جلد دوم. صفحه ۶۸۱.
- نیک طبع، م. ر.، ۱۳۸۱. گزارش تکمیلی زمین شناسی چاه شماره ۵- میدان آزادگان، اداره کل زمین شناسی مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران.
- Alizadeh, B., Najjari, S., Kadkhodaie-Ilkhchi, A., 2012, Artificial neural network modeling and cluster analysis for organic facies and burial history estimation using well log data: A case study of the South Pars Gas Field, Persian Gulf, Iran, Computers and Geosciences, v. 45, pp 261-269.
- Behar, F., Beaumont, V., Pentea do, B., 2001, Rock-Eval 6 Technology: Performances and Developments, Oil and Gas Science and Technology-Rev. IFB, v. 56, pp.111-134.

- Bordenave. M. L., Hegre. J. A., 2010, Current distribution of oil and gas fields in the Zagros Fold Belt of Iran and contiguous offshore as the result of the petroleum systems. In: P. Leturmy, C. Robin, (Eds.), Tectonic and Stratigraphic Evolution of Zagros and Makran during the Mesozoic-Cenozoic, Geological Society, London, Special Publications, v. 330, p:291-353.
- Bordenave. M.L., 1993, Applied Petroleum Geochemistry. Paris: Editions technip, p: 524.
- Dean. W.E., Arthur. M. A., and Claypool. G.E, 1986. Depletion of ^{13}C in Cretaceous marine organic matter: Source, diagenetic, or environmental signal, Marine Geology, v.70, pp. 119-154.
- Huang. B., Xiao. X. and Zhang. M., 2003. Geochemistry, grouping and origins of crude oils in the western Pearl River Mouth Basin, Offshore South China Sea. J. of Organic Geochemistry, v.34, p: 993-1008.
- Hunt. J.M., 1996. Petroleum Geochemistry and Geology. 2nd Edition. W.H. Freeman and Company, New York. P: 743
- Jones, R.W., 1987. Organic Facies. In: Brooks, J., Welte, D. (Eds.), Advances in Petroleum
- Kamali. M.R., Mirshady. A. A., 2004. Total organic carbon content determined from well logs using $\Delta\text{Log R}$ and Neuro Fuzzy techniques, Journal of Petroleum Science and Engineering 45, p:141- 148.
- Luccia. F.J., 2007, Carbonate Reservoir Characterization, 2nd Edition, Springer Publications, p: 336.
- Peters. K. E., Clifford. C. E. and Moldowan. J. M., 2005. The Biomarker Guide. 2nd ed. Prentice Hall, New Jersey.
- Schlumberger., 2004. Log interpretation principles/application, Schlumberger educational services.
- Waples. D.W., 1985, Geochemistry in Petroleum Exploration. Reidel Publish. Cy., Dordrecht, p:232.
- Hertzog. R., Colson. L., Seeman. B., O'Brian. M., Scott. H., Mckee. D., Wraight. P., Grau. J., Schweitzer. J. and Herron. M., 1989. Geochemical logging with spectrometry tools. Society of Petroleum Engineers Formation Evaluation, v.4, p: 153-162.