نشریه علمی ژئومکانیک نفت
JOURNAL OF PETROLEUM GEOMECHANICS
(JPG)

مقاله پژوهشی

ارزیابی توان هیدروکربن‌زایی سنگ‌های منشأ در منطقه دزفول شمالی به روش تعیین غنای مواد آلی با استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی

امیر یگانی[1*]؛ مجید نبی بیدهندی[2]؛ جلیل سعدونی[3]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

۲- استاد؛ موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

۳- دکتری؛ شرکت ملی نفت ایران- مدیریت اکتشاف

دریافت دست‌نوشته: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱ پذیرش دست‌نوشته: ۱۴۰۱/۰۶/۱۲

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22107/jpg.2022.346732.1169

واژگان کلیدی

ماذه آلی کل، سنگ منشأ، نگارهای چاه‌پیمایی، روش $\Delta\ log\ R$ ، منطقه دزفول شمالی

چکیده

در اکتشاف نفت، سنگ منشأ به عنوان مهم‌ترین بخش اصلی در یک سیستم نفتی، برای اکتشاف مواد هیدروکربنی در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از نگارهای گاما، نوترون، چگالی، صوتی و مقاومت ویژه تحلیل و تفسیر بر روی چاه‌های مورد مطالعه ازطریق روش $\Delta\ log\ R$ و با استفاده از داده‌های دیجیتال نگارها و تلفیق آن‌ها توسط نرم‌افزار *Interactive Petrophysics (IP)*، به نواحی حاوی کربن آلی در سازند پابده دست یافتیم. نواحی دارای سنگ منشأ بالغ در سازند پابده توسط نگارهای ذکر شده در چاه‌های سوسنگرد شرقی شماره a، شهیدان شماره b، دهلران شماره c یافت شد. با توجه به توالی تکرارشده توسط نگار گاما در همه چاه‌ها در سازند پابده در چهار چاه سوسنگرد شرقی شماره a، شهیدان شماره b، دهلران شماره c و مهر شماره d و با مقایسه توالی در این چاه‌ها، یافتن سنگ منشأ بالغ در چاه مهرd که فاقد داده‌های نگارها به غیر از نگار گاما بود، فقط با استفاده از نگار گاما و با کمک از این توالی یافت‌شده از چاه‌های دیگر محقق شد. بازه عمقی غنی از مواد آلی برای سنگ‌های منشأ در هر یک از چاه‌های مورد مطالعه شناسایی شد.

۱. پیش‌گفتار

نفت یا پترولیوم مایعی غلیظ و قابل اشتعال به‌رنگ قهوه‌ای سیر یا سبز تیره یا سیاه است که در لایه‌های بالایی بخش‌هایی از پوسته کره زمین یافت می‌شود. نفت شامل آمیزه پیچیده‌ای از هیدروکربن‌هایی گوناگون است. بیش‌تر این هیدروکربن‌ها از زنجیره آلکان هستند. ولی ممکن است از دید ظاهر، ترکیب یا خلوص تفاوت‌های زیادی داشته باشند. نفت مایعی است که عمدتاً از دو عنصر آلی هیدروژن وکربن تشکیل شده و دارای مقادیر کم‌تری از عناصر دیگر مانند نیتروژن، اکسیژن و گوگرد می‌باشد و به‌صورت طبیعی در زیر زمین و به‌صورت استثنایی در روی زمین بصورت چشمه یافت می‌شود. مواد هیدروکربنی مانند نفت از سنگ منشأ[1] حاصل می‌شوند. سنگ منشأ، سنگ غنی از ماده آلی است که می‌تواند در اثر تکامل حرارتی هیدروکربن تولید کند. معمولا سنگ منشأ شیل و گل سنگ آهکی بوده که سرشار از مواد ارگانیکی می‌باشند. [۱۳]

سنگ های غیر منشأ نیز حاوی مواد آلی می‌باشند ولی مقدار آن قابل ملاحظه نیست(به طور مثال کمتر از یک درصد وزنی). به طور کل برای ارزیابی بلوغ و غنای سنگ منشأ از یک سری آنالیزهای آزمایشگاهی (به طور مثال آنالیز کربن آلی کل *TOC*[2]، تجزیه در اثر حرارت، آنالیز عنصری، بازتاب *vitrinite* و...) استفاده می‌شود. سنگ‌های منشأ را می‌توان به سه گروه

[1] *Source rock*

[2] *Total Organic Carbon*

* تهران؛ تهران؛ انتهای کارگر شمالی، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران. تلفن: ۸۸۰۰۱۱۱۵ کد پستی:۱۴۳۵۹۴۴۴۱۱

رایانامه: *amir.yegani1993@ut.ac.ir*

تقسیم کرد که سنگ منشأ موثر[۳] که منبع تولید هیدروکربن است، سنگ منشأ محتمل و سنگ منشأ بالقوه[۴] که سنگ نابالغ است و به درجه بلوغ کافی برای تولید هیدروکربن نرسیده است ولی در صورت رسیدن به آن درجه توانایی تولید هیدروکربن را خواهد داشت [۳]. در اکتشاف نفت، سنگ منشأ به عنوان مهم ترین بخش برای اکتشاف نفت و مواد هیدروکربن دار تعریف می‌شود. سنگ‌های منشأ بعنوان مخازن اقتصادی غیر متعارف مقدار قابل توجهی مواد آلی داشته و توانایی تولید نفت را در صورت بلوغ کافی دارا می‌باشند. تشخیص یک سنگ منشأ در زیر سطح و توزیع کمی، ضخامت و غنای آلی نقش موثری در ارزیابی ایده‌ها و پیش‌بینی‌های اکتشافی دارد. نمودارهای چاه‌پیمایی نیز تخمین خوبی از پتانسیل سنگ منشأ می‌دهند. در تخمین سنگ منشأ ابتدا باید سازند و ناحیه‌های مولد سنگ منشأ را شناخت. سازندهایی که می‌توان در آن‌ها سنگ منشأ را پیدا کرد عبارتست از: پابده، گورپی، کژدمی، گدوان و گرو. سازندهای آسماری، سروک و ایلام مخازن عادی هستند [۲] [۱].

تخمین مقدار مواد آلی کل در سازند منشأ، با تلفیق نمودارهای چاه پیمایی و تفسیر داده‌ها به وسیله نرم افزار و سیستم محاسباتی بدست می‌آید. در این مسیر با استفاده از داده‌های چاه‌های نفتی واقع در منطقه دزفول شمالی و با استفاده از نرم افزار *interactive petrophysics* و نگارهای کابلی[۵] مقدار هیدروکربن در این چاه‌ها و عمق قرار گیری و چگونگی تشکیل آن به طور کامل بررسی می‌شود. تحلیل پارامترهای ژئوشیمیایی مقدار کربن آلی کل یکی از مهم‌ترین عوامل درارزیابی پتانسیل تولید و بررسی خصوصیات ژئوشیمیایی واحدهای هیدروکربنی می‌باشد. هدف این مطالعه شامل برآورد سریع تر و ساده تر قابلیت سنگ منشأ، استفاده حداکثر از منابع موجود (نگارهای رقومی)، کاهش چشمگیر هزینه‌های پروژه‌های اکتشافی و تطابق چاه‌ها با هم با استفاده از داده‌ها می‌باشد [۱۳].

۲. روش کار

۱.۲. نگارهای چاه‌پیمایی

چاه پیمایی[۶] عملیاتی است که در آن، دستگاهی اندازه‌گیر به داخل چاه اسال و خواص معین فیزیکی طبقات زمین اندازه‌گیری و بر روی نمودارهایی ثبت می‌شود. نمودار حاصل را می‌توان با توجه به ویژگی‌های سنگ، سیال موجود در طبقات و ساختمان چاه تفسیر کرد. از جمله نمودارهای متداول چاه پیمایی در این مطالعه می‌توان به نمودار های مقاومت‌ویژه، صوتی، گاما، نوترون و چگالی اشاره کرد. اندازه-گیری مقاومت ویژه سازند یکی از مهم‌ترین روش‌های نمودارگیری می‌باشد. مقاومت یک خاصیت اساسی ماده است که با سهولت عبور جریان الکتریکی از درون آن رابطه مستقیم دارد. مقاومت ویژه یک جسم توانایی آن در جلوگیری از عبور جریان الکتریکی از درون خود است و با اهم متر[۷] نمایش داده می‌شود. پاسخ‌نگار مقاومت ویژه در سازندهای دارای سنگ منشاء و هیدروکربن بالا است [۱۱]. برای اندازه‌گیری محتوای مواد آلی علاوه بر نگار مقاومت، نگارهای چگالی، صوتی و تخلخل (نوترون) نیز مورد نیاز می‌باشند. از نگار گاما بعنوان نگار مرجع برای تطابق بین لاگ‌ها و چاه های منطقه استفاده می‌شود. در اندازه‌گیری چگالی، سازند تحت بمباران اشعه گاما قرار می‌گیرد. از پرکاربرد ترین منابع تولید کننده گاما می‌توان به کبالت ۶۰ و سزیم ۱۳۷ اشاره کرد. این نگار چگالی حجم و سیال سازند را اندازه‌گیری می‌کند. مواد آلی جامد از تراکم (چگالی) کمتری نسبت به بافت سنگ دربرگیرنده برخوردار می‌باشد لذا به کارگیری لاگ چگالی برای تخمین غلظت مواد آلی پیشنهاد شده است [۸].

نگار گاما، نمودار خصوصیات رادیواکتیویته سنگ‌ها در داخل چاه‌های حفر شده می‌باشد که به نام نمودارگیری رادیواکتیو بیان می‌شود. در این روش نمودارگیری تشعشعات طبیعی سنگ‌ها در داخل چاه حفر شده، اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. می‌توان به طور کلی سه عنصر رادیواکتیو پتاسیم، اورانیوم و توریوم را به منشأ رادیواکتیویته سنگ‌ها ربط داد. نگار نوترون کاربرد محدودی در ارزیابی میزان کربن آلی کل در سنگ‌های غنی از مواد آلی را دارد. خاصیت این سوند حساسیت نسبت به مقادیر کم کربن آلی می‌باشد. بنابراین نیازی به کالیبراسیون با داده‌های مغزه‌های حفاری نمی‌باشد. این نگار اساساً غلظت هیدروژن را اندازه‌گیری می‌کند. پاسخ تخلخل

[3] *effective source rock*
[4] *potential source rock*
[5] *Well log*
[6] *Well logging*
[7] *Ohm_meter*

ورود به سیستم نوترونی در سنگ‌های منبع بیشتر از سنگ-های غیرمنبع است. نگار صوتی بصورت ثبت زمان لازم برای عبور از یک فوت سازند در مقابل عمق بیان می‌شود که به آن زمان عبور[8] گفته می‌شود. در برخی مقالات با عنوان کندی[9] نیز یاد می‌شود. نگار صوتی عکس سرعت عبور موج صوتی می‌باشد. سرعت صوت در سازندهای زیرسطحی به خواص ارتجاعی ماتریس سنگ، تخلخل و تراکم سازندها و محتوای سیال و فشار آن‌ها بستگی دارد. زمان گذر (DT) متناسب با تاخیر موج فشاری در گذر از سنگ و تابعی از سنگ شناسی سازند، تخلخل و نوع و مدل های توزیع سیالات (آب، گاز، نفت، کروژن و غیره) است. نگار صوتی رابطه مستقیم به مقدار کربن آلی کل دارد [۹] [۴].

همانطور پیش تر اشاره شد این مطالعه از ۵ نگار مقاومت‌ویژه، صوتی، گاما، نوترون و چگالی استفاده شد. برای بررسی دقیق ماده آلی کل اولین نگار مهم برای این مطالعه نگار مقاومت ویژه و سپس صوتی می‌باشد، به این دلیل که پاسخ های دقیق تر و شفاف تری از وجود Toc ارائه می‌دهند. نگار GR و CGR برای شناسایی جنس لایه کاربرد ویژه ای دارد. در کنار این نگارها، دو نگار چگالی و نوترون نیز برای تایید پاسخ‌ها به کار رفته است.

۲.۲. سنگ منشأ

سنگ‌های منشأ معمولاً شیل‌ها و گل‌سنگ‌های آهکی هستند که حاوی بیش از ۰٫۵ درصد وزنی کربن آلی کل می باشند. روش معمول برای ارزیابی غنا و بلوغ سنگ‌های منشأ از طریق انواع آنالیزهای آزمایشگاهی است (به عنوان مثال، تجزیه و تحلیل کربن آلی کل، تجزیه در اثر حرارت، تجزیه عنصری، بازتاب ویترینیت، شاخص تغییرات حرارتی، کروماتوگرافی گازی، و توصیف کروژن بصری) [۹]. سنگ منشأ نفت ظبق تعریف، هر سنگ طبیعی می‌باشد که توانایی تولید و دفع هیدروکربن های کافی برای تشکیل تجمع نفت یا گاز را داشته باشد. مهمترین عامل کنترل‌کننده تولید نفت و گاز، محتوای هیدروژن ماده آلی است. مقدار مواد آلی معمولاً به صورت کربن آلی کل بیان می‌شود و با تکنیک راک-اول[10] اندازه‌گیری می‌شود [۶].

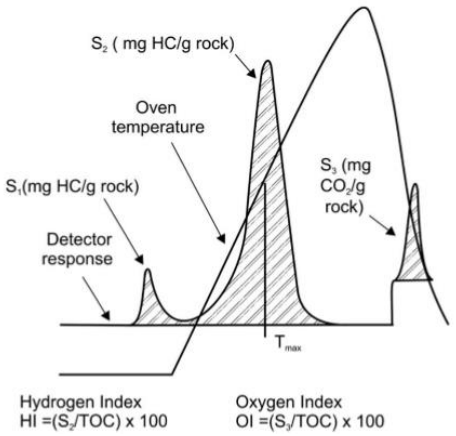
سنگ‌های رسوبی حاوی ماده آلی هستند که مقدار آن بسته به شرایط محیط رسوب گذاری و حفظ شدگی متفاوت است. این مقدار در اغلب سنگ‌ها بین ۰٫۲ درصد تا ۲۰ درصد متغیر بوده ولی در بیشتر سنگ‌ها پایین تر از ۱ درصد است. در طول روند تشکیل نفت و هیدروکربن، افزایش عمق باعث افزایش حرارت و تبدیل مواد آلی به نفت، گاز و پیروبیتومن[11] می‌شوند. رنگ سنگ نیز از عواملی است که می‌توان مقدار ماده آلی را تا حدی نشان داد به طوری که هرچه رنگ سنگ تیره‌تر باشد، مقدار ماده آلی در آن بالاتر است. مهم‌ترین عوامل کنترل کننده تولید هیدروکربن از یک سنگ منشأ محتوای هیدروژن ماده آلی می‌باشد. هرچه نسبت هیدروژن به کربن بیشتر باشد، میزان هیدروکربن ایجاد و تولید شده توسط سنگ منشأ نیز بیشتر خواهد بود. مواد آلی در سنگ منشأ، پس از تدفین و متحمل شدن تغییراتی، به کروژن تبدیل می‌شوند. کروژن‌ها مواد آلی رسوبی شکننده‌ای هستند که در حلال‌های آلی و غیر آلی غیرمحلول هستند و دارای ساختار پلیمری می‌باشند. مواد آلی شکننده‌ای که در حلال‌های آلی محلول باشند، بیتومن[12] نامیده می‌شوند. بیتومن مایع غلیظ و خمیری شکل سیاه رنگ، مخلوطی از هیدورکربن‌ها بوده که به طور طبیعی وجود داشته یا از طریق تقطیر نفت خام حاصل می‌شود [۳]. کروژن را می‌توان توسط اسیدهایی مانند HCl و HF از سنگ‌های رسوبی جدا کرده و توسط روش دانسیته و استفاده از مایعات سنگین، آن را رسوب داد زیرا کروژن نسبت به کانی‌های دیگر سبک بوده و وزن مخصوص کمتری دارد. کروژن های اولیه انواع مختلفی دارند. کروژن نوع اول که در این کروژن نسبت هیدروژن به کربن بالا است و نسبت اکسیژن به کربن پایین می‌باشد. این نوع کروژن مرغوب‌ترین نوع کروژن است و غالباً تولید نفت می‌کند. موجودات تشکیل دهنده این نوع کروژن، جلبک‌ها هستند. کروژن نوع دوم که این نوع کروژن دارای مقدار متوسط از هیدروژن به کربن و اکسیژن به کربن می‌باشد و درصد قابل توجهی از نفت و گاز را تشکیل می‌دهد (حدود ۶۰ درصد). این نوع کروژن در محیط‌های دریایی و اقیانوسی تشکیل می‌شود و بخش عمده تولیدات آن نفت و مقداری هم گاز است. کروژن نوع دوم فراوان‌ترین کروژن در سطح جهانی

[8] *DT*
[9] *slowness*
[10] *Rock-Eval*
[11] *pyrobitumen*
[12] *Bitumen*

و همچنین حوضه زاگرس است؛ به این دلیل که در گذشته بیشتر قسمت‌های زمین را محیط‌های دریایی تشکیل داده بودند. کروژن نوع سوم که در این کروژن نسبت هیدروژن به کربن کمتر است (حدود ۰/۷) و اکسیژن نسبت به کربن بیشتر است. کروژن نوع سوم از لیگنیت و قطعات چوبی گیاهان که در خشکی تولید می‌شود به وجود می‌آید. منشأ اولیه این نوع کروژن مواد آلی گیاهی در نظر گرفته می‌شود که اغلب در رسوبات ذغالی و ذغال‌ها یافت می‌شود. محصول اصلی این نوع کروژن گاز است. این نوع کروژن صرفاً کربن خالص یا اصطلاحاً گرافیت تولید می‌کند. برای این‌که کروژن موجود در "سنگ‌های منشأ" توانایی تولید نفت را پیدا کند، باید دانه‌های درشت مواد آلی به تدریج شکسته شوند و تبدیل به مواد آلی ریزدانه‌تر و قابل انحلال در اسیدهای آلی شوند. این مسیر تغییر و تحولات مواد آلی درون سنگ منشأ را "بلوغ مواد آلی" گویند). از آنجایی که حرارت با عمق تدفین افزایش می‌یابد، عمق واقعی برای یک سنگ منشأ خاص برای تولید هیدروکربن به همان میزان که به نوع کروژن و تاریخچه تدفین بستگی دارد، به شیب زمین گرمایی ناحیه نیز بستگی دارد. در عمق کم، متان بیوژنیک تولید می‌شود (در آغاز دیاژنز شروع می‌شود) .مرحله کاتاژنز بطور معمول در حدود عمق ۳ کیلومتری اتفاق می افتد. بازه حرارتی متناسب با مرحله کاتاژنز که در آن بیشترین مقدار هیدروکربن تولید می‌شود پنجره نفتی[۱۳] نامیده می‌شود [۳].

۳.۲. تکنیک راک_اول

در زمینه تخمین مقدار ماده آلی روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از این روش‌ها و از مهم‌ترین‌ها، پیرولیز راک-اول می‌باشد. پیرولیز راک-اول، یک روش حرارتی است که برای تشخیص کمیت، کیفیت و بلوغ حرارتی سنگ منشأ استفاده می‌شود. این روش به کمک دستگاه انجام می‌شود، ماده آلی حرارت داده می‌شود تا مانند شرایط واقعی بلوغ کروژن شبیه سازی گردد. بطورکلی پیرولیز، به تجزیه مواد آلی با حرارت دادن در غیاب اکسیژن گفته می‌شود. ژئوشیمی‌دان‌های آلی از تجزیه در اثر حرارت برای اندازه‌گیری غنا و بلوغ سنگ‌های منشأ بالقوه استفاده می‌کنند. در تجزیه و تحلیل پیرولیز، ابتدا محتوای آلی در غیاب اکسیژن پیرولیز می‌شود و سپس باقیمانده نمونه در کوره دستگاه، در حضور اکسیژن سوزانده می‌شود. مقدار هیدروکربن ها و دی اکسید کربن آزاد شده اندازه‌گیری می‌شود. در پیرولیز راک-اول، مقدار کمی پودر سنگ در یک ظرف چینی نسوز قرار داده می‌شود و ابتدا طبق یک برنامه دمایی به تدریج تا دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد تحت فشار یک اتمسفر گرم می‌شود (شکل ۱). در این محدوده دمایی، هیدروکربن‌های آزاد موجود در نمونه تبخیر شده و به عنوان پیک معروف به *S1* ثبت می شوند. در مرحله بعدی، با ادامه حرارت دادن تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد، کروژن موجود در نمونه شکسته شده و تولید نفت و گاز می نماید. هیدروکربن آزاد شده در این مرحله بعنوان پیک *S2* توسط دستگاه ثبت می‌شود. CO_2 تولید شده از سنگ در این دو مرحله به عنوان پیک *S3* ثبت می‌شود (شکل ۱). در پایان مرحله سوزاندن، کربن باقی مانده نیز اندازه‌گیری می‌شود و به عنوان *S4* ثبت می‌شود [۱۳].



شکل۱. چرخه تجزیه و تحلیل پیرولیز راک-ایول[۱۴]

مطابق شکل ۱، شاخص هیدروژنی عبارت است از نسبت *S2* به مقدار ماده آلی کل *(TOC)*. شاخص اکسیژنی *(OI)* نسبت مقدار *S3* به مقدار *TOC* می‌باشد. روندهای تغییرات این پارامترها می‌توانند به عنوان شاخصی از بلوغ حرارتی مورد استفاده قرار گیرند. هنگام استفاده از روندهای شاخص هیدروژن برای یک سنگ منشأ باید توجه داشت که سنگ منشأ مورد مطالعه دارای ویژگی‌های یکنواختی باشد. در چنین شرایطی مشاهده کاهش در مقادیر شاخص هیدروژن می‌تواند نشانگر شروع زایش نفت از سنگ منشأ باشد. در

[13] *Oil generation window*

چرخه تجزیه و تحلیل پیرولیز راک-اول پارامتری به نام T_{max} وجود دارد که این پارامتر، دمایی است که در آن، پیک $S3$ به بیشینه خود می‌رسد. این دما پارامتری مهم برای ارزیابی بلوغ حرارتی نمونه های سنگ منشأ است زیرا نشان‌دهنده درجه حرارتی است که در آن مقدار تولید هیدروکربن، از یک کروژن قرار داده شده در شرایط پیرولیز، به بیشترین نرخ خود می‌رسد[۱۰].

۴.۲. بلوغ حرارتی ماده آلی

بلوغ حرارتی ، رسیدن و بلوغ مواد آلی مدفون شده در اثر بالا رفتن دما و حرارت است. تعیین بلوغ حرارتی یک واحد سنگ منشأ یکی از مراحل اصلی ارزیابی ژئوشیمیایی سنگ های منشأ است که دارای اهمیت بالایی بوده و به روش های گوناگون قابل اندازه‌گیری می‌باشد. یکی از روش‌های تعیین بلوغ حراراتی مواد آلی، ترسیم نمودار تغییرات مقدار ماده آلی کل در برابر $S2$ می‌باشد. این مجموعه حاصل پیرولیز راک-اول است. برای بدست آوردن بلوغ حرارتی با استفاده از نتایج راک-اول، ابتدا ضریب بازتاب ویترینایت (RO) با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود و در نهایت با استفاده از نمودار، مقدار انعکاس ویترینایت به مقدار بلوغ ماده آلی (LOM) تبدیل می‌شود تا در نرم‌افزار استفاده شود [۵].

$$R_o(calculated) = 0/0180 \times T_{max} - 7/16$$

LOM از روش‌های مختلف آنالیز نمونه‌ها (برای مثال انعکاس ویترینایت، اندیس دگرسانی حرارتی و یا مقادیر T_{max}) به دست می‌آید و با استفاده از تاریخچه تدفین و حرارتی حوضه برآورد می‌شود [۹].

۵.۲. روش $\Delta \log R$ پسی و همکاران (۱۹۹۰)

در تخمین مقدار ماده آلی کل روش‌های مختلفی از جمله روش‌های آزمایشگاهی وجود دارد که روش مستقیم برای تخمین ماده آلی کل محسوب می‌شود. از معایب این روش‌ها که از مهم‌ترین آن‌ها پیرولیز راک-اول می‌باشد، هزینه بالای این قبیل روش‌های آزمایشگاهی می‌باشد. برای جلوگیری از هزینه بالای این روش‌ها، از روش‌های محاسباتی استفاده می‌شود مانند روش پسی و همکاران (۱۹۹۰). پسی روش $\Delta \log R$ را با ترکیب نگارهای تخلخل و مقاومت ویژه ابداع کرد. این یک روش اثبات شده برای تخمین کمیت و کیفیت TOC به شمار می‌رود که با استفاده از چاه‌نگاری سنگ منشأهای غنی از ماده آلی انجام می‌شود. در این روش بعد از تصحیح مقیاس نگارها، نگارهای مقاومت ویژه و تخلخل بر روی هم رسم شده و جداشدگی بین این دو منحنی می‌تواند ما را ابتدا به $\Delta log R$ سپس TOC برساند. جداشدگی این دو نگار در سازندهای آبدار می‌تواند وجود داشته باشد ولی در این حالت جداشدگی به صورت موازی خواهد بود ولی در سازندهای دارای ماده آلی جداشدگی چشم‌گیر نشان دهنده وجود ماده آلی به صورت کروژن و یا هیدروکربن می باشد. این جداشدگی در اثر دو عامل شکل گیرد، اول اینکه به علت کم سرعت و کم چگال بودن ماده آلی، نگارهای تخلخل مقدار بالاتری نشان می دهند و دومین دلیل هم تغییرات مقدار مقاومت ویژه بر اساس بلوغ ماده آلی و نیز وجود سیال منفذی می باشد. به دلیل بلوغ ماده آلی و تولید هیدروکربن در سازند، منحنی مقاومت ویژه افزایش خواهد یافت [۹].

۶.۲. زمین شناسی منطقه

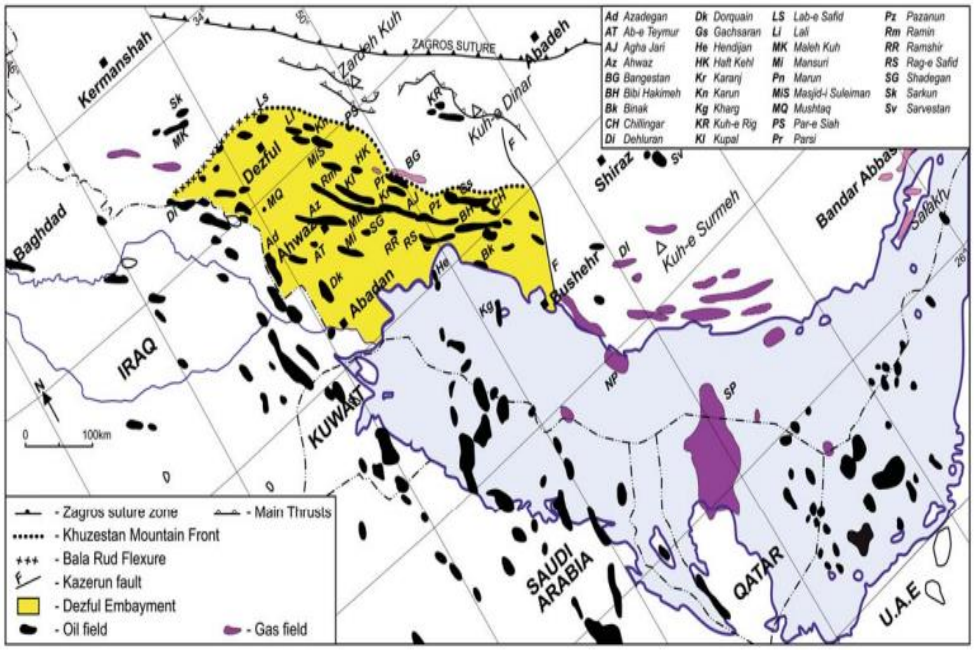
حوضه زاگرس نمونه‌ای عالی از حوضه تصادم قاره ای است که در نتیجه برخورد صفحه عربستان- اروآسیا در اواخر کرتاسه آغاز شد و در دوره ائوسن شتاب گرفت. این منطقه رویدادهای تکتونیکی زیادی را تجربه کرده است که از پالئوزوئیک تا به امروز رخ داده است. کمربند رانش زاگرس عمدتاً از سه ناحیه تشکیل شده است: ناحیه منفصل که زاگرس مرتفع نامیده می‌شود و در شمال قرار دارد، کمربند چین و رانش زاگرس که در فروافتادگی دزفول قرار دارد و پیشانی زاگرس (حوضه بین النهرین و خلیج فارس، دشت آبادان) واقع در جنوب غربی. منطقه مورد مطالعه در فروافتادگی دزفول قرار دارد. فروافتادگی دزفول بیش از ۶۰۰۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد که در شرق و جنوب شرقی توسط گسل کازرون- قطر محدود می‌شود و در قسمت جنوبی به دشت آبادان می رسد. شکل ۲ نقشه موقعیت مکانی حوضه مورد مطالعه را نمایش می‌دهد [۱۲].

فروافتادگی دزفول و دشت آبادان در جنوب غربی ایران، منشأهای اصلی هیدروکربنی حوضه زاگرس هستند. این منطقه شامل پنج سیستم نفتی در محدوده سنی دوره پالئوزوئیک تا پالئوژن است که سنگ های منشأ اصلی در آن‌ها شامل سازندهای سرچاهان (سیلورین)، سرگلو، گرو، کژدمی

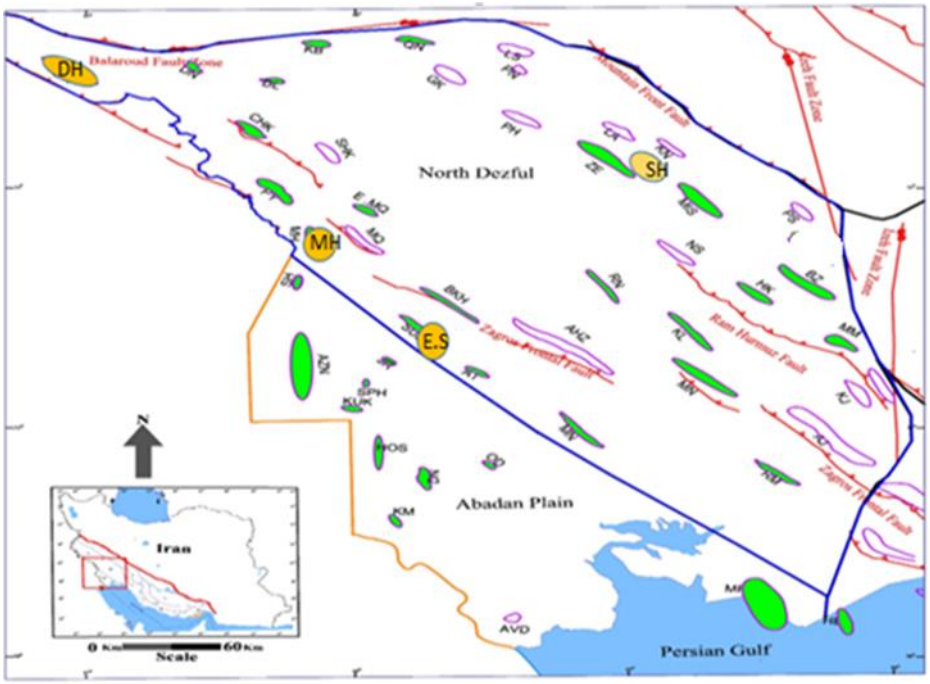
(آلبین) و پابده (پالئوسن تا الیگوسن) می‌باشد. سنگ منشأ اصلی پالئوژن در جنوب ایران، سازند پابده است که به دلیل پتانسیل آن برای شارژ مخزن اصلی منطقه (سازند آسماری) در نقاطی که به بلوغ کافی رسیده‌اند، اهمیت زیادی دارد. شارژ می‌تواند در ناودیس ها یا اعماق دفن بالا در سازند پابده رخ دهد[۲].

سازندهای منشأ اثبات شده در منطقه دزفول شمالی شامل پابده، گورپی، کژدمی، گدوان و گرو می‌باشد. به دلیل اینکه تمرکز اصلی این مطالعه بر اساس لاگ‌های موجود در سازند پابده است، در ادامه به توضیح بیشتر در مورد این سازند پرداخته می‌شود.کمالی و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که انواع کروژن رایج در سازند پابده کروژن ۲ و ۳ است. مدل‌سازی حرارتی انجام‌شده توسط محققین نشان داد که در بیشتر قسمت‌های فروافتاده دزفول، سازند پابده به پنجره تولید نفت رسیده است. برخی از مطالعات بر روی سازند پابده و کژدمی در ناحیه جنوب دزفول نشان داد که سازند پابده پتانسیل تولید نفت نسبتاً خوب را از خود نشان می دهد که به تدریج از منطقه شمال به منطقه جنوب کاهش می یابد و در نتیجه پتانسیل تولید متوسطی در کوه موند ایجاد می‌شود. تولید و مهاجرت اصلی نفت در سازند پابده به دلیل رویداد کوه‌زایی نئوژن که کل حوضه زاگرس را تحت تاثیر قرار می‌دهد، رخ داده است. در بخش‌های شمالی که توسط زون شمالی دزفول احاطه شده است، سازند پابده به پنجره تولید نفت رسیده است. در شکل۴ چاه‌های مورد مطالعه در منطقه دزفول شمالی با رنگ زرد مشخص شده‌اند که شامل ۴ چاه مهر *d*، دهلران *c*، شهیدان *b* و سوسنگرد شرقی *a* می‌باشند[۲].

شکل ۲. نقشه موقعیت مکانی عمومی منطقه خاورمیانه؛ ناحیه کادر بندی شده محل شکل ۳ را نشان می‌دهد[۲].



شکل ۳ . نقشه موقعیت میادین نفت و گاز در دامنه‌های زاگرس و حوزه‌ی خلیج فارس(قسمت زرد رنگ) [۲]



شکل ۴. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه و میادین نفتی حوضه زاگرس با مرزهای زمین ساختی اصلی [۲]. *MH*: مهر، *E.S*: سوسنگرد شرقی، *DH*: دهلران، *SH*: شهیدان

۷.۲. چینه شناسی و محیط رسوبی منطقه

سازند پابده به دلیل ویژگی توپوگرافی در فروافتادگی دزفول در بخش جنوبی ایران نامگذاری شده است (جیمز و وینند، ۱۹۶۵). از پایین به بالا، این سازند شامل شیل، مارن آبی و بنفش، و سنگ آهک نازک رسی بین لایه‌ای است. در بالاترین لایه، از شیل خاکستری و سنگ آهک باریک با ندول های چرتی[۱۴] تشکیل شده است. مطالعات دیرینه شناسی تشکیل این حوضه را به دوران ترشیاری ابتدایی اختصاص دادند و سن بالایی آن توسط برخی محققان، میوسن آغازین در استان خوزستان در نظر گرفته شده است. سازند پابده به طور پیوسته توسط کربنات‌های الیگو-میوسن سازند آسماری پوشانده شده است و بصورت معمولاً ناپیوسته با نبود تقریباً پنج میلیون ساله بر روی سازند گورپی به سن کرتاسه پسین نشسته است.. مقدار *TOC* این سازند بطور میانگین معادل ۶/۵ درصد وزنی می‌باشد که نسبت به دشت آبادان بالاتر است و در گروه سنگ های منشأ خوب و عالی قرار می گیرد [۲] [۷] [۴]. شکل ۵ نمودار چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

سازندهای پابده، گورپی، کژدمی، گدوان و گرو از سازندهای منشأ محسوب می‌شود.

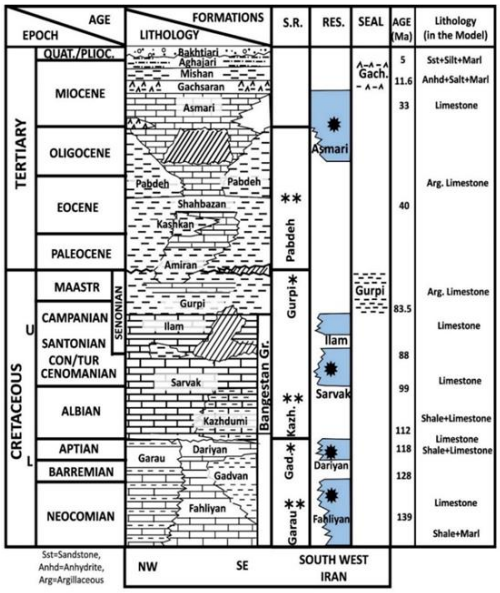
ویژگی اصلی زمین ساختی حوضه زاگرس در دوره پالئوسن-ائوسن فعال شدن یک گسل کوهستانی بود که حوضه را به دو قسمت تقسیم می‌کند. در این منطقه، ستون‌های چینه‌شناسی مختلف در چاه‌های حفرشده میدان‌های نفتی اروند، خرمشهر و دارخوین نشان‌دهنده وجود سنگ آهک و آهک دولومیتی در سازند پابده است [۲].

۳. بحث و صحت سنجی

در ارزیابی ماده آلی کل در منطقه دزفول شمالی بر روی تعدادی چاه مطالعه صورت گرفت که از این تعداد چاه، به بررسی چهار چاه برتر از لحاظ میزان *TOC* در سنگ های منشأ به خصوص در سازند پابده می‌پردازیم. در راستای تفسیر این چاه‌ها از نرم افزار *Interactiv petrophysycs* (*IP*) استفاده شد. در علم پتروفیزیک به پژوهش و مطالعه در مورد خواص فیزیکی و شیمیایی سنگ ها و ارتباط آن با سیالات پرداخته

[14] *Chert nodules*

می‌شود و مطالعه مخازن هیدروکربنی و دیگر مباحث سنگ-شناسی از پرکاربردترین مباحث این حوزه هستند. *Interactive Petrophysics* یک راه حل نرم‌افزاری سریع و مقیاس پذیر برای دانشمندان و مهندسین زمین شناسی است که همواره در تلاشند تا از داده های سطوح زیرزمینی حداکثر استفاده را ببرند. تشخیص یک سنگ منشأ در زیر سطح و توزیع کمی، ضخامت و غنای مواد آلی نقش موثری در ارزیابی ایده‌ها و پیش‌بینی‌های اکتشافی دارد. نمودارهای چاه‌پیمایی نیز تخمین خوبی از پتانسیل سنگ منشأ می‌دهند.



شکل ۵. نمودار چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه [۲]

در تخمین سنگ منشأ باید لایه و بخش‌های مولد سنگ را شناخت. لایه‌های مولد در سنگ منشأ بخش های غنی از مواد آلی در سازندهای پابده، گورپی، کژدمی، گدوان و گرو هستند که دارای بلوغ کافی برای تولید نفت و گاز می‌باشند. سازندهای آسماری، سروک و ایلام سنگ مخزن در منطقه دزفول شمالی هستند. پتروفیزیست ها و زمین شناسان با امکاناتی که *IP* در اختیارشان قرار می دهد، می‌توانند به بررسی سریع نمودارهای پتروفیزیکی پرداخته و زون های مورد نظر خود را جدا کنند. در آنالیز چاه‌های مورد مطالعه از ۵ نگار اصلی یعنی مقاومت ویژه، گاما، صوتی (زمان تاخیر[۱۵])، چگالی[۱۶] و نوترون استفاده شد که با ایجاد لاگ جامع هرکدام از این نگارها و ترکیب این نگارها با یکدیگر پاسخ مناسبی از هر چاه دریافت شد که با تفسیر هرکدام از آن‌ها می‌توان به هدف مطالعه دست پیدا کرد. همچنین از تکنیک $\Delta \log R$ برای مقایسه و فهم بهتر مطالعه استفاده شد. برای مقایسه اطلاعات مورد مطالعه و تفسیر و صحت سنجی آن‌ها، آنالیز های آزمایشگاهی نیز در این تحقیق استفاده شد تا از نتیجه بدست آمده اطمینان حاصل شود. در اندازه‌گیری مقدار ماده آلی کل، مقدار بالای ۰٫۵ درصد وزنی سنگ منشأ محسوب می‌شود. باید در نظر داشت که ماده آلی موجود در سنگ منشأ به صورت کروژن، بیتومن، هیدروکربن آزاد (نفت و گاز) وجود دارد. در سنگ مخزن کروژن وجود ندارد بلکه بیتومن و هیدروکربن آزاد حضور دارد که در تفسیر نتایج به آن توجه می‌شود. با توجه به میزان غنای سنگ منشاء و میزان هیدروکربن موجود در سنگ، کیفیت آن از خوب تا عالی دسته بندی می‌شود. جدول ۱ چاه‌های مورد مطالعه و اطلاعات آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱. لیست چاه‌های مورد استفاده در این مطالعه به همراه عمق نهایی هر چاه و بازه عمقی قرار گیری سازند پابده در آنها

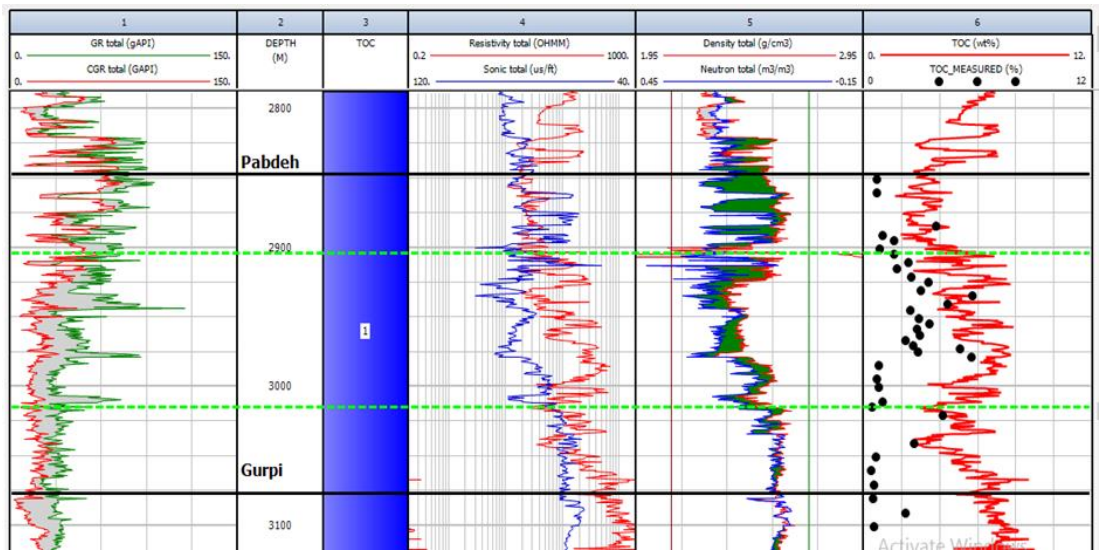
نام چاه	عمق چاه	عمق سازند پابده
سوسنگرد شرقی a	۴۱۱۲	۲۸۴۷-۳۰۷۷
شهیدان b	۳۶۶۴	۲۳۵۱-۲۶۹۵
دهلران c	۵۲۴۵	۳۰۷۰-۳۵۰۸
مهر d	۳۹۲۱	۳۰۰۹-۳۲۴۰

۱.۳. چاه سوسنگرد شرقی شماره a

میدان سوسنگرد در ۴۵ کیلومتری شمال غرب شهر اهواز و ۲۰ کیلومتری جنوب غربی میدان اهواز در منطقه دزفول شمالی و در جنوب خط جبهه چین‌های زاگرس[۱۷] واقع شده است. تاقدیس سوسنگرد دارای امتداد شمال غرب- جنوب شرق بوده و محدوده ی آن بوسیله ی فعالیت‌های ژئوفیزیکی مشخص گردیده است. این چاه جزو اصلی ترین چاه‌های مورد مطالعه ما از نظر سنگ‌های منشأ می‌باشد. عمق این چاه ۴۱۱۲ متر می‌باشد و سازندهای آغاجاری، میشان، گچساران،

[15] *Delay time*
[16] *Density*
[17] *Zagross Deformation Front*

آسماری، پابده، گورپی، ایلام و سروک را از بالا به پایین حفاری کرده است. هماطور که از قبل گفته شده بود سازندهایی از قبیل پابده و گورپی جزو سازندهای سنگ منشأ می‌باشند. از این چاه ۵ نگار مقاومت ویژه، صوتی، گاما، نوترون و چگالی در اختیار است. مطابق شکل ۶، ستون شماره ۱ شامل نگار گاما و CGR می‌باشد که به ترتیب با رنگ سبز و قرمز نمایش داده شده‌است. ستون شماره ۲ عمق چاه را نمایش می‌دهد. ستون شماره ۴ نگارهای مقاومت ویژه و صوتی و ستون شماره ۵ شامل نگارهای نوترون و چگالی را نشان می‌باشد و در نهایت ستون شماره ۶ مقدار ماده آلی کل[18] و مقدار ماده آلی اندازی‌گیری شده[19](آنالیزهای آزمایشگاهی) را نشان می‌دهد (مقدار ماده آلی کل اندازه گرفته شده در اشکال با دایره‌های مشکی کوچک نشان داده شده‌اند). ستون شماره ۳ صرفا پاسخ نرم افزار به ادغام داده‌های اولیه است و معنای خاصی ندارد. بر اساس روش پسی (۱۹۹۰) با تغییر مقیاس لاگ‌ها در ستون شماره ۴ علاوه بر تولید خط مبنا، $\Delta log\ R$ (با فاصله گرفتن دو نگار مقاومت و صوتی $\Delta log\ R$ تشکیل می‌شود) ایجاد شده است. چون تشکیل لاگ TOC با مقادیر بسیار بالا در این روش متاثر از ترکیب لاگ‌ها می‌باشد و ممکن است با واقعیت سنگ منشأ یکسان نباشد، لذا یکسری از عوامل موثر بر لاگ‌هایی مانند مقاومت ویژه، صوتی، چگالی، تخلخل و گاما در تفسیر باید مدنظر قرار گیرد.



شکل ۶. خروجی نرم افزار *IP* جهت تفسیر غنای مواد آلی در سازند پابده در چاه سوسنگرد شرقی *a* (عمق ۲۸۴۷ تا ۳۰۷۷ متر)

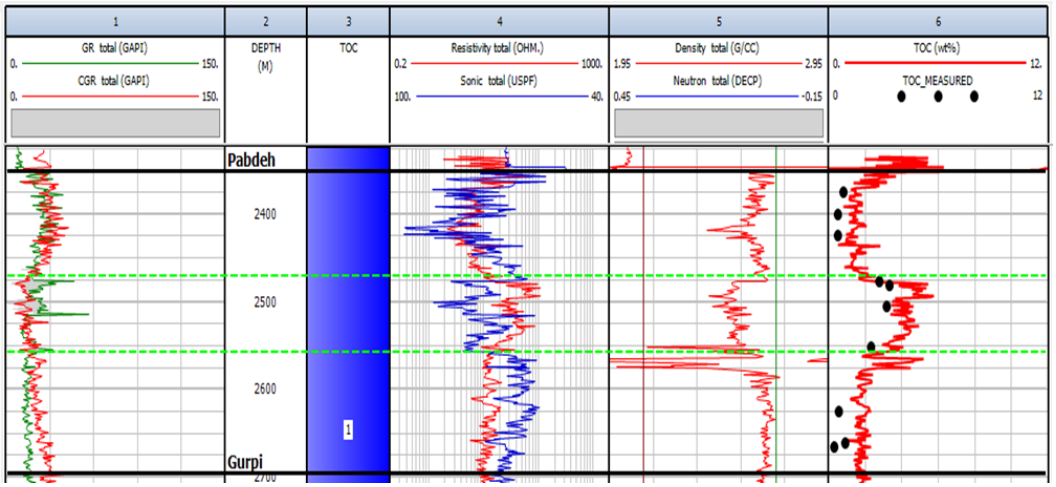
۲.۳ چاه شهیدان شماره b

ساختمان ژئوفیزیکی شهیدان با روند شمال غرب-جنوب شرق در ناحیه دزفول شمالی در جنوب ساختمان لالی، شرق زیلوئی، شمال‌غرب مسجد سلیمان و جنوب غرب کارون قرار دارد. این ساختمان که در سطح زمین توسط رسوبات آغاجاری پوشیده شده‌است، در ۲۳ کیلومتری شمال‌غربی شهر شوشتر و ۲۵ کیلومتری شمال شرق شهر مسجد سلیمان قرار دارد. روند عمومی ساختمان‌های این ناحیه به طور عمده از روند زاگرسی یعنی شمال غرب-جنوب شرق تبعیت نموده و در مجاورت گسل بالارود در مرز شمالی آن با پهنه ساختاری لرستان به روند شرقی-غربی بدل می‌شوند. سازند پابده در چاه شهیدان ۱ از عمق ۲۳۵۱٫۵ تا ۲۶۹۵ متری قرار دارد. با توجه به شکل ۶ در ابتدای این لایه میزان نسبی گاما بالا می‌باشد. مقاومت ویژه پایین و نمودار صوتی بسیار بالا است. همچنین چگالی نیز نسبتاً بالا است. با توجه به تفسیر نمودارها، از ابتدای سازند پابده تا عمق ۲۴۳۹ متری آب شور

[18] *TOC*

[19] *TOC measured*

در لایه موجود می‌باشد. با توجه به شکل در عمق حدود ۲۴۸۷ تا ۲۵۵۷ متری در همین سازند میزان جداشدگی خوبی بین نگار مقاومت و صوتی ملاحظه می‌شود ($\Delta \log R$) که حاکی از وجود مواد آلی زیاد در این بازه است که با نتایج آنالیزهای آزمایشگاهی مطابقت می‌کند. بنابراین در عمق ذکرشده یک لایه مولد نسبتاً بالغ با پاسخ مناسب مشابه با چاه سوسنگرد شرقی a حاصل شده است.

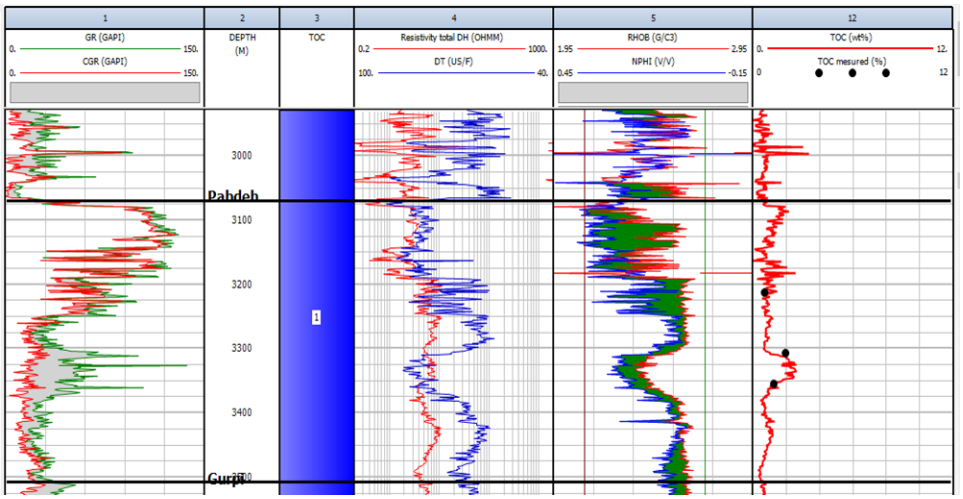


شکل ۷. سازند پابده در چاه شهیدان *b* بر اساس تفسیر نرم افزار *IP* (عمق ناحیه کادر بندی شده ۲۳۵۱/۵ تا ۲۶۹۵ متری می‌باشد که بیشترین مقدار *TOC* در آن متمرکز شده است.)

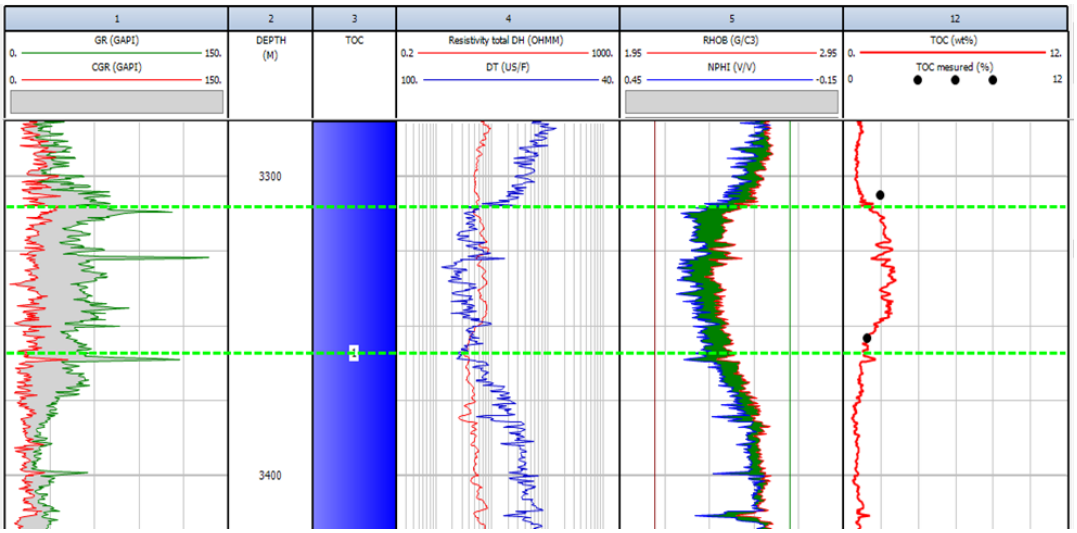
۳.۳ .چاه دهلران شماره c

ساختمان دهلران در ناحیه دزفول شمالی و در مجاورت مرز جنوب غربی استان لرستان واقع شده است. حفاری این چاه تا عمق نهایی ۵۲۴۵ متری حدود ۱۴۴/۵ متر در سازند گرو انجام گرفته است. براساس ارزیابی پتروفیزیکی بخشی از سازند پابده و سازندهای سروک و داریان دارای پتانسیل هیدروکربنی بوده و سایر سازندها آبخیز و یا متراکم می‌باشند.

شکل ۸ تفسیر نرم‌افزاری سازند پابده در چاه دهلران *c* را نشان می‌دهد. در شروع سازند پابده پاسخ *CGR* و *GR* بسیار بالا می‌باشد که این امر نشان دهنده شیلی بودن این لایه است، ولی با توجه به کم بودن مقاومت ویژه و همچنین بالا بودن نمودار صوتی می‌توان به وجود آب شور در این ناحیه پی برد. شکل ۹ نیز نمایی نزدیک‌تر از سازند پابده و اطلاعات مربوط به نگارها رانمایش می‌دهد.



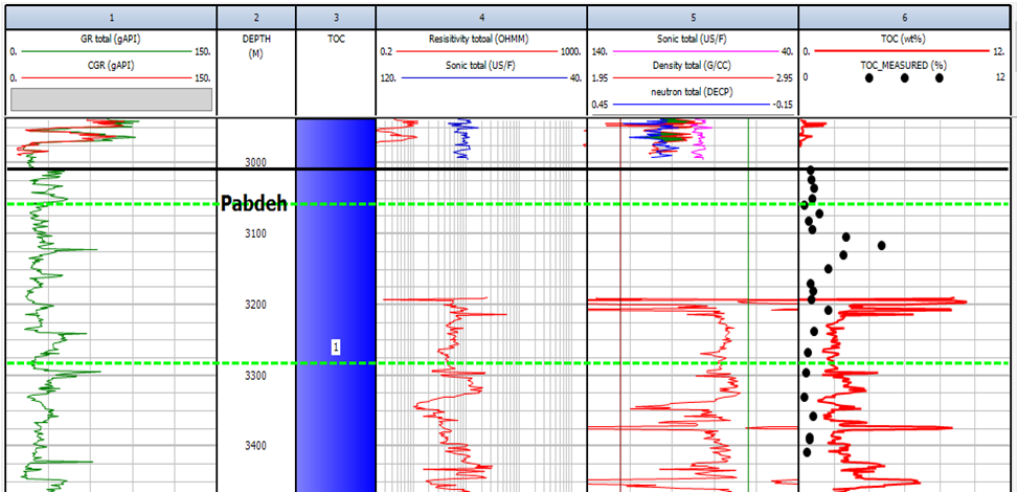
شکل ۸.. کیفیت سازند پابده در چاه دهلران *c* (عمق سازند از ۳۰۷۰ تا ۳۵۰۸ متری می‌باشد)



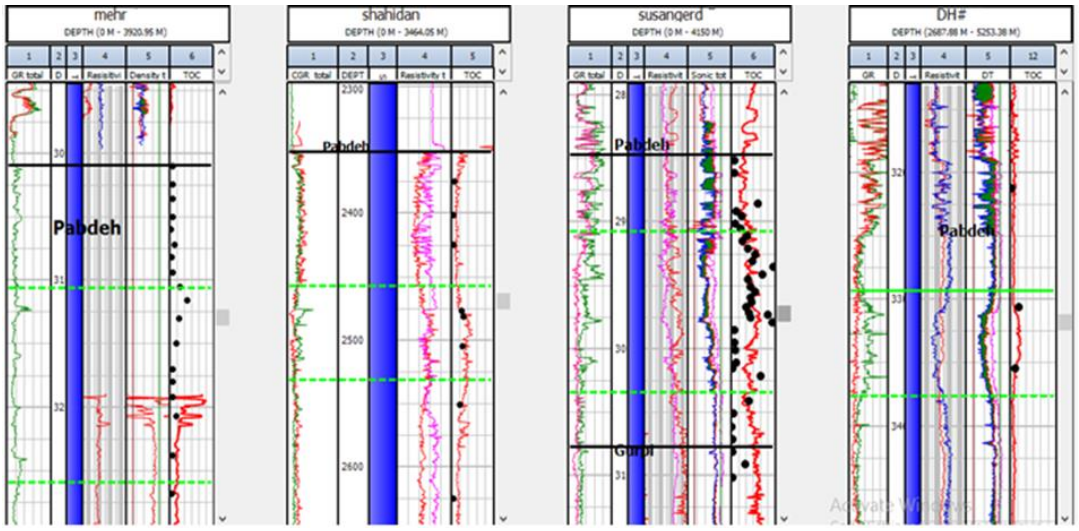
شکل ۹. سازند پابده در چاه دهلران c با بزرگ نمایی بیشتر نسبت به شکل ۸. قسمت مشخص شده بین دو خط سبز بخش مولد سازند را نشان می‌دهد. عمق این ناحیه ۳۳۱۰ تا ۳۳۵۹ متری می‌باشد.

۴.۳ .چاه مهر شماره d

ساختمان ژئوفیزیکی چاه مهر d در ناحیه دزفول شمالی در جنوب میدان پایدار و شمال میدان آزادگان و غرب میدان مشتاق قراردارد. محل چاه بر روی محور ساختمان و فاصله ۲/۵ کیلومتری مرز ایران و عراق واقع شده است که توسط رسوبات عهد حاضر و آغاجاری پوشیده شده است. حفاری این چاه به منظور ارزیابی سازندهای آسماری و سروک بعنوان اهداف اصلی و بخش‌های خلیج، ماسه سنگ‌های کوشک، آزادگان و اهواز بعنوان اهداف فرعی پیشنهاد و انجام شد. عمق نهایی این چاه ۳۹۲۱ متر می‌باشد. در این چاه از عمق حدود ۲۶۵۰ متر تا عمق ۲۹۵۰ که بیشتر آن در سازند آسماری است، همه نگارهای لازم برای بررسی و نظر دقیق درباره کیفیت مواد آلی در اختیار می‌باشد. داده‌های لازم در سازندهای منشأ مانند پابده موجود نمی‌باشد و در این چاه نمی‌توانیم در ارتباط با سنگ منشأ اظهار نظر کنیم. با توجه به نبود تعداد کافی از داده‌ها در نگارهای مورد استفاده در این مطالعه در سازندهای مولد مانند پابده، نمی‌توان اظهار نظر دقیقی از وجود سنگ منشأ در این سازند کرد، ولی با توجه به طرح ترسیمی نگار گاما برای سازند پابده در چاه های دیگر می‌توان تفسیری با کمک نگار گاما و کربن آلی اندازه‌گیری شده انجام داد. با توجه به شکل ۱۰ که سازند پابده در چاه مهر d را نشان می‌دهد، طرح ویژه نگار گاما در عمق ۳۱۰۰ تا ۳۲۰۰ متر نشان‌دهنده لایه شیلی می‌باشد که دارای TOC اندازه‌گیری شده بالایی است. این طرح در چاه های مطالعه شده قبلی دیده می‌شود. نگارهای دیگر از جمله مقاومت‌ویژه و صوتی برای تحلیل این بازه عمقی موجود نمی‌باشد.



شکل ۱۰. کیفیت سازند پابده ازند پابده در چاه مهر (عمق ناحیه مشخص شده در سازند پابده از ۳۰۵۸ تا ۳۲۸۳ متری می‌باشد)



شکل ۱۱. تطابق بازه های تفسیر شده از سازند پابده در چاه‌های دهلران c، سوسنگرد شرقی a، شهیدان b و مهر d.

۵.۳. تطابق بخش‌های مولد در سازند پابده

همانطور که تا این قسمت گفته شد، سازند پابده یکی از اصلی‌ترین و مهم‌ترین سازندهای مولد سنگ منشأ در چاه‌های مورد مطالعه می‌باشد که سنی حدود پالئوسن آغازی تا میوسن آغازی دارید. بخش مولد سازند پابده دارای سن ائوسن میانی تا بالایی است که احتمالاً در اثر پیش روی دریا در عمق بیشتری نسبت به بخش های بالایی و پایینی سازند پابده نهشته شده است. با توجه به تفاسیری که در هر چاه انجام شد، می‌توان فهمید که بخشی از سازند پابده که غنی از مواد آلی است، نگار گاما در یک فاصله عمقی پاسخ نسبتاً یکسانی در این سازند در هر چاه می‌دهد که با توجه به این موضوع و با کمک از آنالیز آزمایشگاهی می‌توان به بررسی توالی تکرارشده سنگ منشأ در چاه‌های مورد مطالعه پرداخت. با توجه شکل ۱۱ در چاه دهلران c از عمق ۳۳۰۳ تا ۳۳۷۳ شاهد سه پیک در نگار گاما هستیم که این پیک‌ها در چاه سوسنگرد شرقی a از عمق ۲۹۳۰ تا ۳۰۲۱، در چاه شهیدان b از عمق ۲۴۷۰ تا ۲۵۲۳ و در چاه مهر d از ۳۱۰۰ تا ۳۲۱۸ متر بطور نسبتاً مشابه وجود دارند که نشان دهند بخش مولد (غنی‌تر از مواد آلی نسبت به بخش های دیگر) در سازند پابده می‌باشد.

۴. نتیجه‌گیری

بررسی و دقت عمل این نرم‌افزار همراه با داده‌های آنالیزهای آزمایشگاهی حاکی از قابل اتکا بود به پاسخ نرم‌افزار و دقت بالای آن می‌باشد. معیار ارزیابی نتایج، آنالیزهای آزمایشگاهی و داده‌های خرده حفاری است که بر حسب درصد وزنی می‌باشد. همچنین نتایج آنالیز آزمایشگاهی از شرکت ملی اکتشاف نفت ایران اخذ شد و بررسی‌ها نشان از بسیار نزدیک بودن پاسخ نرم‌افزار و آنالیز های آزمایشگاهی می‌باشد. نتایج این پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

۱- در چاه سوسنگرد شرقی a در سازند پابده عمق ۲۹۰۴ تا ۳۰۱۵ متری، افزایش نگارهای مقاومت ویژه و صوتی، تشکیل $\Delta \log R$، پاسخ TOC نرم‌افزار و آنالیزهای آزمایشگاهی سنگ منشأ عالی در این ناحیه را نمایش می‌دهد. در قسمت انتهایی سازند پابده تخلخل کم می‌شود و نمونه‌های آزمایشگاهی پاسخ کمی را در این محدوده ثبت کرده اند.

۲- در چاه شهیدان b در عمق ۲۴۸۷ تا ۲۵۵۷ متر در سازند پابده در لایه‌ای شیلی با تخلخل بالا کیفیت سنگ منشأ بسیار خوب می‌باشد.

۳- در چاه دهلران c در عمق ۳۳۱۰ تا ۳۳۵۹ متر در سازند پابده در لایه‌ای شیلی با تخلخل بالا مانند چاه شهیدان b کیفیت سنگ منشأ بسیار خوب می‌باشد.

۴- با توجه به طرح نگار گاما در بخش مولد سازند پابده در چهار چاه سوسنگرد شرقی a، شهیدان b، دهلران c (به سن ائوسن میانی-بالایی) و تطابق آن با همین طرح در نگار گاما چاه مهر d، می‌توان به وجود سنگ منشأ خوب در عمق ۳۱۰۰ تا ۳۲۱۸ در این چاه (مهر d) فقط با استفاده از نگار گاما و با کمک از این توالی یافت شده از چاه‌های دیگر دست یافت.

۵- چاه سوسنگرد شرقیa به عنوان بهترین چاه از نظر میزان سنگ منشأ بلقوه و به بلوغ رسیده در بین چاه‌های مورد مطالعه در این تحقیق شناخته شد.

۶- این روش برخلاف آنالیزهای آزمایشگاهی دارای هزینه‌ی بسیار پایین‌تری بوده و باعث کاهش هزینه‌های پروژه می‌شود. همچنین سرعت انجام کار به نسبت دقت آن بسیار بالا می‌باشد.

۷- با استفاده از روش تحلیل و تفسیر به وسیله نرم‌افزار، کیفیت سنگ‌های منشأ را می‌توان در سریع‌ترین زمان و به شکلی ساده تشخیص داده و به بهره‌برداری رساند. این روش برخلاف آنالیزهای آزمایشگاهی دارای هزینه بسیار پایین‌تری بوده و باعث کاهش هزینه‌های پروژه می‌شود. بنابر این استفاده از نرم‌افزار *Interactive Petrophysics* با کاربردهای فراوان و کاربری آسان برای پیدا کردن هرچه بهتر و سریع‌تر سنگ منشأ، تفسیرهای دقیق و مطمئن برای یک یا ده‌ها چاه، انجام محاسبات اصلی مانند حجم رس، اشباع نفت/ اشباع آب، تجزیه و تحلیل نوترون پالس، شیل های آلی و تفسیر*NMR* و بسیاری کاربردهای دیگر توصیه می‌شود.

۵. سپاس و قدردانی

از مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران بابت در اختیار گذاشتن داده‌ها و همکاری در طول این مطالعه تشکر و قدردانی می‌نماییم.

۶. مراجع

[1] Alavi, M., (2007). "Structures of the Zagros fold thrust belt in Iran". American Journal of Science v.307, pp.1064–1095.

[2] 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". Geological Society London, Special Publications.v.330, pp. 291-353.

[3] Hunt, (1996). Petroleum geochemistry and geology, 2nd edition. W. H. Freeman and Company, pp. 743.

[4] Habibi, T., Nielsen, J.K., Ponedelik, A.A., Ruban, D.A., (2017)." paleogeoghraphical peculiarities of the Pabdeh formation (Paleogene) in Iran: new evidence of global diversity-determined geological heritage". Journal of African Earth Sciences.

[5] Jarvie, D. M., Morelos, A., and Han, Z., (2001), Detection of pay quality, Gulf of Mexico: Application of Geochemical techniques: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, v. 54, pp. 151-160.

[6] J Espitalie (1997) Thermal cracking of kerogen in open and closed systems: determination of kinetic parameters and stoichi stoichiometric coefficients for oil and gas generation, elsevier .

[7] James, G.A., Wynd, J.G., (1965). "Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area". AAPG bulletin v.49, N12, pp. 2182-2245

[8] Kamali, M. R., Mirshadi, A. A., (2004). Total Organic Carbon content determined from well logs using LogR and neuro fuzzy techniques. Journal of petroleum Science and Engineering, v. 45, pp. 141-

148.

[9] Passey. Creaney, S., Kulla, B., Moretti, F. J., Stroud, J. D., (1990). A practical model for organic richness from porosity and resistivity logs. AAPG, v. 74, No. 12.

[10] Peters, K. E., (1986). Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis: AAPG Bulletin, v. 70, pp. 329.

[11] Schlumberger, (1989). Log interpretation Principles/ Applications, 8th printing Feb 1999.

[12] Sherkati, S., Molinaro, M., Frizon de Lamotte, F., Letouzey, J., (2005). "Detachment folding in the Central and Eastern Zagros fold belt (Iran): salt mobility, multiple detachments and late basement control". Journal of Structural Geology, v.27, pp.1680-1969.

[13] Tissot, B. P., Welte, D. H., (1984). Petroleum Formation and Occurrence. 2nd Edition. Springer-Verlag, New York.