بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف نفت

ارزیابی خواص پتروفیزیکی شیل گازی (سازند دشتک) توسط روش احتمالی در میدان نفتی سلمان

نگارنده: سید سجاد علائی

اساتید راهنما:

دکتر منصور ضیایی

دکتر علی کدخدایی

استاد مشاور:

مهندس جواد قیاسی فریز

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۱

مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره : ۴/۱۹۳۲
تاریخ : ۹۱/۱۲/۲۳
ویرایش :

فرم صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای سید سجاد علائی رشته مهندسی نفت گرایش اکتشاف تحت عنوان ارزیابی خواص پتروفیزیکی شیل گازی (سازند دشتک) توسط روش احتمالی در میدان نفتی سلمان که در تاریخ ۹۱/۱۱/۲۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه : خوب امتیاز ۱۸) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱ـ عالی (۲۰ ـ ۱۹/۰۱)
۲ـ بسیار خوب (۱۸/۹۹ ـ ۱۸)
۳ـ خوب (۱۷/۹۹ ـ ۱۶)
۴ـ قابل قبول (۱۵/۹۹ ـ ۱۴)
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنما	دکتر منصور ضیایی	استادیار	
	دکتر علی کدخدایی	استادیار	
۲ـ استاد مشاور	مهندس جواد قیاسی	مربی	
۳ـ نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر مهرداد سلیمانی	استادیار	
۴ـ استاد ممتحن	دکتر علی مرادزاده	دانشیار	
۵ ـ استاد ممتحن	دکتر عزیزالله طاهری	دانشیار	

رئیس دانشکده :

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

تشکر و سپاسگزاری

پروردگار بخشنده را سپاس که یاری‌رسان من در تمامی مراحل زندگی بوده است.

از اساتید محترم آقایان دکتر منصور ضیایی و دکتر علی کدخدایی که با مساعدت و راهنمایی ایشان، مسیر انجام این پروژه هموار گردید، کمال تشکر را دارم.

از آقای مهندس جواد قیاسی که زحمت مشاوره این پایان نامه را بر عهده گرفتند و مرا در تکمیل این پایان‌نامه کمک کردند، تشکر و قدردانی می‌کنم.

در انتها از جناب آقای دکتر امیری از شرکت نفت و گاز پارس و هم چنین از دوستان عزیزم مهندس امیر نگهداری و مهندس مهدی رستگارنیا و تمامی عزیزانی که مرا در طول این مسیر یاری کردند، سپاسگزارم.

تعهد نامه

اینجانب سید سجاد علائی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی اکتشاف نفت دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه "ارزیابی خواص پتروفیزیکی شیل گازی (سازند دشتک) توسط روش احتمالی در میدان نفتی سلمان" تحت راهنمائی دکتر منصور ضیایی و دکتر علی کدخدایی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

سازند دشتک با سن تریاس پایینی تا میانی، سنگ پوش مخازن کنگان و دالان در خلیج فارس می‌باشد. این سازند که تناوبی از سنگ‌های کربناته، انیدریت و شیل است تاکنون اهمیت چندانی به عنوان یک مخزن هیدروکربوری نداشته است و از لحاظ پتروفیزیکی مورد بررسی قرار نگرفته است. با این حال اخیراً داده‌های حفاری در میدان سلمان، وجود گاز را در بخش‌هایی از این سازند تأیید می‌کند. با توجه به این که این سازند یک سنگ پوش است و لایه‌های شیلی متعددی دارد، وجود گاز در این سازند می‌تواند با این شیل‌ها در ارتباط باشد. هدف از این تحقیق ارزیابی پتروفیزیکی سازند دشتک به منظور یافتن پتانسیل گازی آن و بررسی بخشهای شیلی آن به عنوان یک شیل گاز احتمالی است.

در این تحقیق، داده‌های چاه‌پیمایی چاه 2SK-1 که اخیراً در میدان سلمان حفر شده به منظور حصول پارامترهای پتروفیزیکی دخیل در پتانسیل هیدروکربوری سازند دشتک مورد استفاده قرار گرفت. از این رو مدل های پتروفیزیکی متعددی برای آنالیز احتمالی بخش‌های شیلی و کربناته و انیدریتی تنظیم گردید تا تخلخل، تخلخل پر شده از گاز و آب و حجم شیل را تخمین بزند. نتایج این ارزیابی نشان می‌دهد لایه‌های بخش فوقانی سازند دشتک به ضخامت تقریبی ۲۷۰ متر با لیتولوژی عمده آهک که به صورت متناوب با دولومیت و انیدریت جایگزین می‌شوند و معادل بخش عربی قلیله در میدان سلمان است، ناحیه‌ای اشباع از گاز است. با توجه به نتایج ارزیابی لاگ‌ها تخلخل کل، تخلخل اشباع از آب و گاز و حجم شیل در لایه‌های آهکی قلیله محاسبه گردید که مقادیر آن‌ها به طور متوسط برابر با ۶ درصد، ۱ درصد، ۵ درصد و ۱۰ درصد است. در بالای بخش سودیر نیز چندین لایه شیلی شناسایی شدند که با توجه به نتایج این مطالعه کانی رسی غالب آن‌ها ایلیت است. به دلیل وجود آهک در سومین لایه شیلی از بخش سودیر به ضخامت تقریبی ۳۵ متر، تخلخل و گاز زیادی در این لایه دیده می شود. تخلخل بسیار بالای محاسبه شده این لایه شیلی می‌تواند متأثر از وجود ماده آلی باشد،

بنابراین توسط روش Δlog-R میزان ماده آلی کل آن بررسی شد که در غنی‌ترین بخش‌های آن به ۲.۵ درصد می‌رسد.

شیل آغار در پایین سازند دشتک و بالای سازند کنگان قرار گرفته است. میزان TOC این بخش نیز محاسبه گشت. نتایج حاکی از آن است حدوداً ۵ متر از آن دارای TOC بیش از ۲ درصد می‌باشد که نشان می‌دهد شیل‌های آغار و بخش سودیر فوقانی از سازند دشتک می‌توانند به عنوان سنگ منشأ این سازند عمل کنند.

کلمات کلیدی: *شیل گازی، سازند دشتک، TOC، ارزیابی پتروفیزیکی، روش‌های قطعی و احتمالی*

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- پیشینه تحقیق ۳

۱-۳- ضرورت و اهداف تحقیق ۷

۱-۴- روش مطالعه ۸

۱-۵- ناحیه مورد مطالعه ۹

۱-۵-۱- تاریخچه میدان سلمان ۹

۱-۵-۲- مطالعات چینه شناسی سازند دشتک ۱۱

۱-۵-۳- سازند دشتک در میدان سلمان ۱۳

۱-۵-۳-۱- بخش قلیله ۱۴

۱-۵-۳-۲- بخش خلیل ۱۷

۱-۵-۳-۳- بخش سودیر ۱۷

۱-۵-۳-۴ شیل آغار ۱۸

۱-۵- ساختار پایان نامه ۱۸

فصل دوم: مبانی شیل‌های گازی

۲-۱- مقدمه ۲۱

۲-۲- مخازن غیرمتعارف ۲۱

۲-۳- شیل‌های گازی ۲۴

۲-۳-۱- تعریف شیل‌های گازی ۲۴

۲-۳-۲- پتروفیزیک شیل‌های گازی ۲۵
۲-۳-۲-۱- لاگ‌های چاه‌پیمایی و شیل‌های گازی ۲۶
۲-۳-۲-۲- تخلخل ۲۷
۲-۳-۲-۳- تراوایی ۲۸
۲-۳-۲-۴- اشباع گاز ۲۹
۲-۳-۳- پارامترهای ژئوشیمیایی دخیل در ارزیابی شیل‌های گازی ۲۹
۲-۳-۴- مدل‌های شیل گازی ۳۱
۲-۴- شیل‌های گازی در ایران ۳۲

فصل سوم: روش‌های قطعی و احتمالی در ارزیابی پتروفیزیکی

۳-۱- مقدمه ۳۴
۳-۲- روش قطعی ۳۴
۳-۳- روش‌های احتمالی ۳۶
۳-۳-۱- معرفی روش‌های احتمالی ۳۶
۳-۳-۲- مدل‌های سنگی ۳۶
۳-۳-۳- توابع پاسخ ۳۷
۳-۳-۴- پارامترهای ناحیه ۳۸
۳-۳-۵- زون‌های مورد بررسی ۳۹
۳-۳-۶- اصول روش احتمالی ۳۹

فصل چهارم: ارزیابی پتروفیزیکی سازند دشتک

۴-۱- مقدمه ۴۴
۴-۲- الگوی کار ۴۴
۴-۳- تصحیحات لاگ‌های چاه‌پیمایی ۴۶

۴-۴- مدل‌ها ۴۶
۴-۴-۱- تعیین کانی‌های رسی ۴۷
۴-۴-۲- تعیین لیتولوژی ۵۰
۴-۴-۳- پارامترهای سنگ و سیال ۵۱
۴-۵- معادله اشباع آب ۵۳
۴-۶- نتایج ارزیابی پتروفیزیکی ۵۷
۴-۶-۱- بخش قلیله ۵۷
۴-۶-۲- بخش خلیل ۶۲
۴ -۶-۳- بخش سودیر ۶۶

فصل پنجم: تخمین محتوای آلی لایه‌های شیلی سازند دشتک

۵-۱- مقدمه ۷۴
۵-۲- روش‌های تخمین TOC با استفاده از لاگ‌های چاه‌پیمایی ۷۴
۵-۲-۱- تحمین TOC از لاگ پرتو گامای کل ۷۴
۵-۲-۲- تخمین TOC توسط لاگ چگالی ۷۵
۵-۲-۳- روش دلتا لاگ آر (ΔLOG-R) ۷۶
۵-۲-۴- ارزیابی TOC سازند دشتک ۷۸

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه‌گیری ۸۵
۶-۲- پیشنهادات ۸۶

منابع ۸۸

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: موقعیت میدان سلمان در آب‌های خلیج فارس ۱۰

شکل ۱-۲: مقطع عمودی از مرز فوقانی سازندهای مختلف در میدان سلمان ۱۱

شکل ۱-۳: سازندهای میدان سلمان به همراه معادل عربی آن‌ها ۱۵

شکل ۱-۴: توالی چینه‌شناسی میدان سلمان ۱۶

شکل ۲-۱: مقطع زمین‌شناسی شماتیکی از مخازن هیدروکربوری متعارف و غیرمتعارف..... ۲۳

شکل ۲-۲: مؤلفه‌های مختلف تأثیرگذار بر لاگ‌های چاه‌پیمایی در شیل‌های گازی..... ۲۶

شکل ۲-۳: اجزاء مختلف مدل پتروفیزیکی متداول برای شیل‌های گازی..... ۳۱

شکل ۴-۱: مراحل انجام ارزیابی پتروفیزیکی در این مطالعه توسط نرم‌افزار GEOLOG..... ۴۵

شکل ۴-۲: طیف نگاری پتاسیم و توریم به همراه نگار اثر فتوالکتریک در بازه عمقی ۳۰۰۰/۵ تا ۳۳۷۵ متر..... ۴۸

شکل ۴-۳: تعیین کانی‌های رسی در یک لایه شیلی از سازند دشتک توسط نمودار متقاطع توریم-پتاسیم..... ۴۹

شکل ۴-۴: تعیین کانی‌های رسی بخش سودیر از سازند دشتک توسط نمودار متقاطع PE- TH/K..... ۴۹

شکل ۴-۵: نمودار متقاطع M-N جهت تعیین کانی‌های قسمتی از بخش قلیله..... ۵۱

شکل ۴-۶: لاگ ضریب سیمان‌شدگی در سازند دشتک..... ۵۶

شکل ۴-۷: توالی چینه‌شناسی قلیله فوقانی به ضخامت ۱۹۶ متر..... ۵۸

شکل ۴-۸: نتایج ارزیابی احتمالی قسمتی از بخش قلیله حاوی کانی‌های مختلف..... ۵۹

شکل ۴-۹: حجم اجزاء تشکیل‌دهنده لایه‌های فوقانی بخش قلیله..... ۶۱

شکل ۴-۱۰: نتایج آنالیز احتمالی در قسمت زیرین بخش قلیله..... ۶۲

شکل ۴-۱۱: لاگ‌های چاه‌پیمایی مختلف در بخش دولومیتی خلیل..... ۶۳

شکل ۴-۱۲: حجم اجزاء تشکیل دهنده بخش خلیل از سازند دشتک..... ۶۴

شکل ۴-۱۳: نتایج ارزیابی احتمالی بخش خلیل..... ۶۵
شکل ۴-۱۴: قسمت فوقانی از بخش سودیر با چندین لایه شیلی..... ۶۸
شکل ۴-۱۵: قسمت زیرین بخش سودیر (انیدریت توده ای و سودیر تحتانی) با پتانسیل هیدروکربوری پایین. ۶۹
شکل ۴-۱۶: مقادیر لاگ اندازه‌گیری شده در کنار مقادیر محاسبه شده توسط مدل در زیرواحد سودیرفوقانی.۷۱
شکل ۴-۱۷ پارامترهای پتروفیزیکی به همراه حجم کانی‌های زیرواحد سودیر فوقانی ۷۱
شکل ۴-۱۸: نتایج ارزیابی احتمالی سودیر فوقانی..... ۷۲
شکل ۵-۱: : نمودار استاندارد تخمین TOC به روش ΔLOG-R ۷۷
شکل ۵-۲: نحوه‌ی آماده‌سازی داده‌های چاه‌پیمایی جهت تخمین میزان مواد آلی به روش ΔLOG-R..... ۷۸
شکل ۵-۳: جدایش لاگ صوتی و مقاومت ویژه در سومین لایه شیلی از بخش سودیر ۷۹
شکل ۵-۴: جدایش لاگ صوتی و مقاومت ویژه در لایه شیلی آغار ۸۰
شکل ۵-۵: TOC تخمین زده شده در لایه‌های شیلی بخش سودیر ۸۲

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: ویژگی‌های یک شیل گازی مطلوب..... ۳۰
جدول ۴-۱: پارامتر های سنگ استفاده شده در مدل ها..... ۵۲
جدول ۴-۲: پارامترهای سیال استفاده شده در زون قلیله فوقانی..... ۵۳
جدول ۴-۳: نتایج پارامترهای پتروفیزیکی مختلف محاسبه شده سازند دشتک در لایه های بخش قلیله..... ۶۰
جدول ۴-۴: نتایج حاصل از ارزیابی احتمالی واحد های تشکیل دهنده سودیر..... ۷۰
جدول ۵-۱: پارامترهای مورد استفاده در روش ΔLOG-R..... ۸۱
جدول ۵-۲: میزان کربن آلی کل تخمین زده شده در شیل آغار..... ۸۳

فصل اول:

کلیات

۱-۱- مقدمه

بهره‌گیری از روش‌های پتروفیزیکی به منظور محاسبه‌ی پارامترهای دخیل در کیفیت مخازن هیدروکربوری همواره جزء جدایی‌ناپذیر فعالیت‌های اکتشافی و بهره‌برداری از این منابع ارزشمند بوده است. در این رهگذر با تلفیق اطلاعات به دست آمده از چاه‌نگاری، مغزه و داده‌های سرچاهی از جمله خرده‌های حفاری، امکان ارزیابی محیط‌های تحت‌الارضی فراهم می‌شود. در این زمینه به طور معمول مخازنی که عنوان متعارف[۱] به آن ها اطلاق می‌گردد، مورد توجه بیشتری قرار می‌گیرند. با این وجود در دهه‌های اخیر با اهمیت یافتن مخازن غیرمتعارف[۲] از جمله شیل‌های گازی، تلاش گسترده‌ای در کشور های معدودی جهت شناسایی و تولید از این منابع عظیم صورت پذیرفته است. تا جایی که شیل‌های گازی با دارا بودن ذخایر فراوان، سهم عمده‌ای از نیاز کشور ایالات متحده را فراهم می‌کنند.

در مقایسه با مخازن متعارف، خواص پتروفیزیکی مورد مطالعه در شیل‌های گازی عموماً مشابه هستند اما علاوه بر فاکتورهای تعیین‌کننده میزان ذخیره[۳] همچون تخلخل و اشباع سیالات مختلف و پارامترهای مؤثر بر تولید همچون تراوایی، موارد دیگری نیز حائز اهمیت می‌باشند. در این مخازن جهت دستیابی به یک ارزیابی کامل و تعیین بخش‌های بهره‌ده، میزان کربن آلی کل[۴] و بلوغ آن، شکنندگی سنگ[۵]، نوع کانی‌های موجود، میزان گاز جذب شده[۶] و ... بایستی مورد بررسی قرار گیرند. با این اوصاف مدل‌های سنگی و پتروفیزیکی معرفی شده برای این دست مخازن تا حدودی متفاوت می‌نماید که علت آن را می توان در وجود ماده آلی و کانی‌های رسی مختلف جست و جو کرد.

[1] Conventional reservoirs
[2] Unconventional reservoirs
[3] Reserve
[4] Total organic carbon (TOC)
[5] Rock brittleness
[6] Adsorbed gas

فضای متخلخل در شیل‌ها به دلیل اندازه‌ی ریز ذرات از حفراتی کوچک تشکیل شده است. تحقیقاتی که توسط SEM[۷] بر روی شیل‌ها انجام شده است، نشان می‌دهد بخشی از این تخلخل مربوط به مواد آلی و به طور خاص کروژن موجود در سنگ است. اشباع گاز نیز علاوه بر گاز آزاد موجود در حفرات میان دانه ای و شکستگی‌ها، شامل گاز جذب شده به سطوح مواد آلی و کانی‌ها و همچنین گاز محلول در بیتومین و آب هم می‌شود. مقدار TOC پارامتری است که در کنار دیگر خواص ژئوشیمیایی سنگ‌های منشأ، تعیین کننده‌ی میزان هیدروکربن تولیدشده است و هم چنین بررسی آن در محاسبه ی گاز جذب شده حائز اهمیت است.

۱-۲- پیشینه تحقیق

سابقه‌ی تولید از مخازن شیل گازی به سال ۱۸۲۱ باز می‌گردد که سکنه‌ی شهر فردونیا[۸] در ایالات متحده برای مدتی به تولید اقتصادی از شیل غنی از مواد آلی دونین[۹] پرداختند. پس از حفاری چاه‌های نفتی در دهه‌های بعد و توسعه‌ی لاگ‌های چاه‌پیمایی، ارزیابی شیل‌ها هم به عنوان بخشی از مطالعات سازندهای تحت‌الارضی مورد توجه واقع شد. ردپای استفاده از لاگ‌های چاه‌پیمایی جهت ارزیابی سازندهای شیلی غنی از مواد آلی را می‌توان حتی تا دهه‌ی ۱۹۴۰ میلادی همچون مطالعات بیرز[۱۰] در سال ۱۹۴۵ مشاهده نمود. در ابتدا لاگ شدت پرتوی گاما و به تدریج لاگ‌های پیشرفته‌تری همچون دانسیته، صوتی و مقاومت ویژه راه خود را به این مطالعات باز نمودند.

[7] Scanning electron microscope
[8] Fredonia
[9] Devonian shale
[10] Beers

با وجود این که سنگ‌های رسوبی دانه‌ریز در مقیاس‌های کوچک، پیچیدگی فراوانی از خود نشان می دهند استخراج پارامترهایی همچون تخلخل، میزان کربن آلی و درصد اشباع سیالات گوناگون توسط آنالیز لاگ‌های چاه پیمایی امکان پذیر است. مطالعات فراوانی که در این زمینه صورت گرفته مؤید این امر است:

از جمله مطالعات کورتیس[۱۱] و فینگلتون[۱۲](۱۹۷۹)، گایدری[۱۳] و والش[۱۴] (۱۹۹۳) و راس[۱۵] و بوستین[۱۶] (۲۰۰۸) برای یافتن پتانسیل گازی شیل‌ها نشان می‌دهد که برای چندین دهه، بررسی شیل‌های گازی از اهمیت زیادی برخوردار بوده است. از جمله تحقیقات دیگر در زمینه بررسی شیل‌های گازی توسط لاگ های چاه پیمایی می توان به موارد زیر اشاره نمود.

گایدری و لوفل[۱۷] در سال ۱۹۸۹ با توجه به سابقه ناحیه مورد مطالعه خود معادلات پاسخ لاگ های القای دوگانه، صوتی، شدت پرتو گاما، اثر فتوالکتریک، چگالی و نوترون را جهت استخراج تخلخل و درصد اشباع گاز در شیل گازی دونین به کار بردند و با نتایج مغزه مقایسه کردند که تطابق قابل قبولی داشت.

براتوویچ[۱۸] و سومر[۱۹] در سال ۲۰۰۹ با استفاده از لاگ‌های چاه‌پیمایی، میزان کانی‌های چندین سنگ منشأ، تخلخل، TOC، گاز در جا وهم چنین خصوصیات ژئومکانیکی آن را تعیین کردند.

گستره‌ی جغرافیایی این مطالعات عموماً به ایالات متحده محدود می‌باشد که با دارا بودن چندین سازند شیلی وسیع و ضخیم غنی از مواد آلی از جمله شیل‌های بارنت[۲۰]، مارسلوس[۲۱]، آنتریم[۲۲] و ... بخش قابل

[11] Curtis
[12] Fingleton
[13] Guidry
[14] Walsh
[15] Ross
[16] Bustin
[17] Luffel
[18] Bratovich
[19] Sommer
[20] Barnett
[21] Marcellus
[22] Antrim

توجه ای از نیاز خود به انرژی را رفع می‌کند. البته در سال‌های اخیر محقیقین کشورهای دیگری نظیر کانادا نیز دست به مطالعات جامعی برای تعیین پتانسیل سازندهای شیلی زده‌اند. در این بین راس و بوستین در سال ۲۰۰۸ با ارزیابی پتروفیزیکی حوضه ی رسوبی غربی کانادا به احتمال وجود شیل‌های گازی پرداختند. مطالعات کلان دیگری در استرالیا و اروپا از جمله لهستان نیز در حال انجام است. اما تا کنون پژوهش قابل توجهی در مورد بررسی پتانسیل شیل های حوضه های رسوبی ایران از لحاظ دارا بودن گاز قابل تولید صورت نگرفته است.

در سال ۱۹۸۰ مایر[۲۳] و سیبیت[۲۴] یک روش کاملاً جدید جهت آنالیز پتروفیزیکی چاه‌ها ارائه دادند. آن‌ها به جای در نظر گرفتن جواب‌های مورد نیاز یعنی پارامترهای مهم پتروفیزیکی چون تخلخل، بر اثری که محیط لاگ‌گیری شده بر لاگ‌ها می‌گذارد، تمرکز نمودند.آن ها معادلات پاسخ[۲۵] را برای هر لاگ بر حسب حجم کانی‌ها و سیالات اثرگذار بر هر گیرنده تنظیم نمودند. در نهایت حجم کانی‌ها و سیالات را به نحوی محاسبه نمودند که مناسبت‌ترین تطابق میان لاگ اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده به دست آید.

در سال ۱۹۸۶ کوئیرن[۲۶] و همکاران، تکنیک بالا را با اضافه نمودن معادلات پاسخ لاگ‌های بیشتری که همگی به شکل خطی بودند، بسط دادند. با پیشرفت علوم رایانه‌ای در این عصر، روش احتمالی بیشتر توجه پتروفیزیست[۲۷]ها را به خود جلب نمود.

[23] Mayer
[24] Sibbit
[25] Response equation
[26] Quirein
[27] Petrophysist

کانن[۲۸] و کوتز[۲۹] در سال ۱۹۹۰ روش‌های احتمالی را با داده‌های مغزه تلفیق نمودند. چندین مقاله دیگر نیز در این زمینه منتشر شده است که از آن جمله می توان به مطالعات گایسن[۳۰] و همکاران در سال ۱۹۸۷ و رودریگز[۳۱] و همکاران در سال ۱۹۸۹ اشاره نمود.

تخمین مواد آلی از روی لاگ‌های چاه‌پیمایی به مرور زمان و با ورود ابزارهای چاه‌نگاری جدید دستخوش تغییرات فراوانی شده است.

اشموکر[۳۲] در سال ۱۹۸۰ یک رابطه خطی میان شدت پرتو گاما و TOC ارائه کرد که ضرایب آن بایستی توسط داده‌های مغزه تنظیم می‌شد. این رابطه دقت پایینی داشت.

استفاده از لاگ چگالی به منظور تخمین TOC نیز توسط اشموکر در سال ۱۹۸۰ ارئه شد که برای مقادیر کربن آلی کل بیش از ۲ درصد دقیق نیست.

پاسی[۳۳] و همکاران در سال ۱۹۹۰ روشی را ارائه دادند که نسبت به روش‌های ساده قبلی یک پیشرفت بزرگ محسوب می‌شد. آن‌ها با در نظر گرفتن این نکات که با افزایش بلوغ مواد آلی، مقاومت ویژه سنگ منشأ افزایش می‌یابد و سرعت عبور صوت در کروژن پایین است، با استفاده از میزان بلوغ سازند و لاگ-هایی نظیر مقاومت ویژه و صوتی TOC را تخمین زدند. البته این روش در مواد آلی با بلوغ متوسط جواب دقیق تری به دست می‌دهد.

استفاده از روش‌های هوشمند برای محاسبه TOC نیز در سال‌های اخیر رایج شده است که مستلزم وجود داده‌های مغزه می‌باشد.

[28] Cannon
[29] Coates
[30] Gysen
[31] Rodriguez
[32] Schmocker
[33] Passey