

الله اعلم



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

شماره: ۱۹۳۳۲  
تاریخ: ۹۱/۱۲/۲۳  
ویرایش:

بسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی  
فرم شماره (۶)

فرم صورت جلسه 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: ۱۷ )  دفاع مجدد  مردود

۱- عالی (۲۰-۱۹)

۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹-۱۸)

۳- خوب (۱۷/۹۹-۱۶)

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹-۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

| عضو هیأت داوران                 | نام و نام خانوادگی  | مرتبۀ علمی | امضاء |
|---------------------------------|---------------------|------------|-------|
| ۱- استادراهنما                  | دکتر منصور ضیایی    | استادیار   |       |
|                                 | دکتر علی کدخدایی    | استادیار   |       |
| ۲- استاد مشاور                  | مهندس جواد قیاسی    | مریی       |       |
| ۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی | دکتر مهرداد سلیمانی | استادیار   |       |
| ۴- استاد ممتحن                  | دکتر علی مرادزاده   | دانشیار    |       |
| ۵- استاد ممتحن                  | دکتر عزیزالله طاهری | دانشیار    |       |

رئیس دانشکده  
دانشگاه صنعتی شاهرود

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 پایان نامه 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 رستگاری 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 راهنمایی 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 افزارها 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 مدل‌های 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 می‌شود. تخلخل بسیار بالای محاسبه شده این لایه شیلی می‌تواند متأثر از وجود ماده آلی باشد،

بنابراین توسط روش  $\Delta \log-R$  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

| صفحه      | عنوان                         |
|-----------|-------------------------------|
|           | فصل اول: کلیات                |
| ۱-۱-۱-۱   | مقدمه                         |
| ۲         | ۱-۱-۱-۱                       |
| ۱-۲-۱-۱   | پیشینه تحقیق                  |
| ۳         | ۱-۲-۱-۱                       |
| ۱-۳-۱-۱   | ضرورت و اهداف تحقیق           |
| ۷         | ۱-۳-۱-۱                       |
| ۱-۴-۱-۱   | روش مطالعه                    |
| ۸         | ۱-۴-۱-۱                       |
| ۱-۵-۱-۱   | ناحیه مورد مطالعه             |
| ۹         | ۱-۵-۱-۱                       |
| ۱-۵-۱-۱-۱ | تاریخچه میدان سلمان           |
| ۹         | ۱-۵-۱-۱-۱                     |
| ۱-۵-۱-۲   | مطالعات چینه شناسی سازند دشتک |
| ۱۱        | ۱-۵-۱-۲                       |
| ۱-۵-۱-۳   | سازند دشتک در میدان سلمان     |
| ۱۳        | ۱-۵-۱-۳                       |
| ۱-۵-۱-۳-۱ | بخش قلیله                     |
| ۱۴        | ۱-۵-۱-۳-۱                     |
| ۱-۵-۱-۳-۲ | بخش خلیل                      |
| ۱۷        | ۱-۵-۱-۳-۲                     |
| ۱-۵-۱-۳-۳ | بخش سودیر                     |
| ۱۷        | ۱-۵-۱-۳-۳                     |
| ۱-۵-۱-۴   | شیل آغار                      |
| ۱۸        | ۱-۵-۱-۴                       |
| ۱-۵-۱-۵   | ساختار پایان نامه             |
| ۱۸        | ۱-۵-۱-۵                       |

## فصل دوم: مبانی شیل های گازی

|         |                    |
|---------|--------------------|
| ۱-۲-۱   | مقدمه              |
| ۲۱      | ۱-۲-۱              |
| ۱-۲-۲   | مخازن غیرمتعارف    |
| ۲۱      | ۱-۲-۲              |
| ۱-۲-۳   | شیل های گازی       |
| ۲۴      | ۱-۲-۳              |
| ۱-۳-۲-۱ | تعریف شیل های گازی |
| ۲۴      | ۱-۳-۲-۱            |

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

### فصل سوم: روش‌های قطعی و احتمالی در ارزیابی پتروفیزیکی

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

### فصل چهارم: ارزیابی پتروفیزیکی سازند دشتک

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

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

#### فصل پنجم: تخمین محتوای آلی لایه‌های شیلی سازند دشتک

|    |   |
|----|---|
| ۷۴ | ۵-۱- مقدمه  |
| ۷۴ | ۵-۲- روش‌های تخمین TOC با استفاده از لاگ‌های چاه‌پیمایی |
| ۷۴ | ۵-۲-۱- تخمین TOC از لاگ پرتو گامای کل                   |
| ۷۵ | ۵-۲-۲- تخمین TOC توسط لاگ چگالی                         |
| ۷۶ | ۵-۲-۳- روش دلتا لاگ آر ( $\Delta\text{LOG-R}$ )         |
| ۷۸ | ۵-۲-۴- ارزیابی TOC سازند دشتک                           |

#### فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

|    |                 |
|----|-----------------|
| ۸۵ | ۶-۱- نتیجه‌گیری |
| ۸۶ | ۶-۲- پیشنهادات  |
| ۸۸ | منابع           |

## فهرست اشکال

| صفحه    | عنوان   |
|---------|---|
| ۱۰..... | شکل ۱-۱: موقعیت میدان سلمان در آب‌های خلیج فارس .....   |
| ۱۱..... | شکل ۲-۱: مقطع عمودی از مرز فوقانی سازندهای مختلف در میدان سلمان .....                               |
| ۱۵..... | شکل ۳-۱: سازندهای میدان سلمان به همراه معادل عربی آن‌ها .....                                       |
| ۱۶..... | شکل ۴-۱: توالی چین‌شناسی میدان سلمان .....  |
| ۲۳..... | شکل ۱-۲: مقطع زمین‌شناسی شماتیکی از مخازن هیدروکربوری متعارف و غیرمتعارف.....                       |
| ۲۶..... | شکل ۲-۲: مؤلفه‌های مختلف تأثیرگذار بر لاگ‌های چاه‌پیمایی در شیل‌های گازی.....                       |
| ۳۱..... | شکل ۳-۲: اجزاء مختلف مدل پتروفیزیکی متداول برای شیل‌های گازی.....                                   |
| ۴۵..... | شکل ۱-۴: مراحل انجام ارزیابی پتروفیزیکی در این مطالعه توسط نرم‌افزار GEOLOG.....                    |
| ۴۸..... | شکل ۲-۴: طیف نگاری پتاسیم و توریم به همراه نگار اثر فتوالکتریک در بازه عمقی ۳۰۰۰/۵ تا ۳۳۷۵ متر..... |
| ۴۹..... | شکل ۳-۴: 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.....                |
| ۵۱..... | شکل ۵-۴: نمودار متقاطع M-N جهت تعیین کانی‌های قسمتی از بخش قلیله.....                               |
| ۵۶..... | شکل ۶-۴: لاگ ضریب سیمان‌شدگی در سازند دشتک.....   |
| ۵۸..... | شکل ۷-۴: توالی چین‌شناسی قلیله فوقانی به ضخامت ۱۹۶ متر.....   |
| ۵۹..... | شکل ۸-۴: نتایج ارزیابی احتمالی قسمتی از بخش قلیله حاوی کانی‌های مختلف.....                          |
| ۶۱..... | شکل ۹-۴: حجم اجزاء تشکیل‌دهنده لایه‌های فوقانی بخش قلیله.....                                       |
| ۶۲..... | شکل ۱۰-۴: نتایج آنالیز احتمالی در قسمت زیرین بخش قلیله.....   |
| ۶۳..... | شکل ۱۱-۴: لاگ‌های چاه‌پیمایی مختلف در بخش دولومیتی خلیل.....  |
| ۶۴..... | شکل ۱۲-۴: حجم اجزاء تشکیل‌دهنده بخش خلیل از سازند دشتک.....   |

- 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 سودیر فوقانی. 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  $\Delta\text{LOG-R}$  ..... ۷۷
- شکل ۵-۲: نحوه‌ی آماده‌سازی داده‌های چاه‌پیمایی جهت تخمین میزان مواد آلی به روش  $\Delta\text{LOG-R}$ ..... 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

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

## 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<sup>۱</sup> به آن‌ها اطلاق می‌گردد، مورد توجه بیشتری قرار می‌گیرند. با این وجود در دهه‌های اخیر با اهمیت یافتن مخازن غیرمتعارف<sup>۲</sup> 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<sup>۳</sup> 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<sup>۴</sup> و بلوغ آن، شکنندگی سنگ<sup>۵</sup>، نوع کانی‌های موجود، میزان گاز جذب شده<sup>۶</sup> 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 می‌توان در وجود ماده آلی و کانی‌های رسی مختلف جست و جو کرد.

---

<sup>1</sup> Conventional reservoirs

<sup>2</sup> Unconventional reservoirs

<sup>3</sup> Reserve

<sup>4</sup> Total organic carbon (TOC)

<sup>5</sup> Rock brittleness

<sup>6</sup> Adsorbed gas



فضای متخلخل در شیل‌ها به دلیل اندازه‌ی ریز ذرات از حفراتی کوچک تشکیل شده است. تحقیقاتی که توسط SEM<sup>7</sup> 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 محاسبه‌ی 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<sup>۸</sup> در ایالات متحده برای مدتی به تولید اقتصادی از شیل غنی از مواد آلی دونین<sup>۹</sup> 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<sup>۱۰</sup> 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.

---

<sup>7</sup> Scanning electron microscope

<sup>8</sup> Fredonia

<sup>9</sup> Devonian shale

<sup>10</sup> Beers

با وجود این که سنگ‌های رسوبی دانه‌ریز در مقیاس‌های کوچک، پیچیدگی فراوانی از خود نشان می‌دهند 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<sup>۱۱</sup> و فینگلتون<sup>۱۲</sup> (۱۹۷۹)، گایدری<sup>۱۳</sup> و والش<sup>۱۴</sup> (۱۹۹۳) و راس<sup>۱۵</sup> و بوستین<sup>۱۶</sup> (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 لاگ‌های چاه پیمایی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

گایدری و لوفل<sup>۱۷</sup> در سال ۱۹۸۹ با توجه به سابقه ناحیه مورد مطالعه خود معادلات پاسخ لاگ‌های 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<sup>۱۸</sup> و سومر<sup>۱۹</sup> در سال ۲۰۰۹ با استفاده از لاگ‌های چاه‌پیمایی، میزان کانی‌های چندین سنگ منشأ، تخلخل، TOC، گاز در جا و هم 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<sup>۲۰</sup>، مارسلوس<sup>۲۱</sup>، آنتریم<sup>۲۲</sup> و ... بخش قابل

---

<sup>11</sup> Curtis

<sup>12</sup> Fingleton

<sup>13</sup> Guidry

<sup>14</sup> Walsh

<sup>15</sup> Ross

<sup>16</sup> Bustin

<sup>17</sup> Luffel

<sup>18</sup> Bratovich

<sup>19</sup> Sommer

<sup>20</sup> Barnett

<sup>21</sup> Marcellus

<sup>22</sup> Antrim

توجه ای از نیاز خود به انرژی را رفع می‌کند. البته در سال‌های اخیر محققین 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 شیل‌های حوضه های رسوبی ایران از لحاظ دارا بودن گاز قابل تولید صورت نگرفته است.

در سال ۱۹۸۰ مایر<sup>۲۳</sup> و سیبیت<sup>۲۴</sup> 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. آن‌ها معادلات پاسخ<sup>۲۵</sup> 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<sup>۲۶</sup> 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 پتروفیزیکست<sup>۲۷</sup> ها را به خود جلب نمود.

---

<sup>23</sup> Mayer

<sup>24</sup> Sibbit

<sup>25</sup> Response equation

<sup>26</sup> Quirein

<sup>27</sup> Petrophysist

کانن<sup>۲۸</sup> و کوتز<sup>۲۹</sup> 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 می‌توان به مطالعات گایسن<sup>۳۰</sup> و همکاران در سال ۱۹۸۷ و رودریگز<sup>۳۱</sup> 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<sup>۳۲</sup> 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 ارائه شد که برای مقادیر کربن آلی کل بیش از ۲ درصد دقیق نیست.

پاسی<sup>۳۳</sup> 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.

---

<sup>28</sup> Cannon

<sup>29</sup> Coates

<sup>30</sup> Gysen

<sup>31</sup> Rodriguez

<sup>32</sup> Schmocker

<sup>33</sup> Passey

### ۳-۱- ضرورت و اهداف تحقیق

در قرن بیستم با توسعه‌ی زیرساخت‌های صنعتی، پیشرفت تکنولوژی و اهمیت رو به رشد منابع هیدروکربوری، ضرورت و در عین حال امکان بررسی راهکارهای جدید تولید انرژی فراهم گشت. مخازن هیدروکربوری متعارف از روزهای آغازین کشف این منابع، همواره تأمین کننده اصلی سوخت‌های فسیلی مورد نیاز صنایع گوناگون بوده‌اند، اما تشدید بحران انرژی در جهان و افزایش قیمت نفت و گاز در دهه های اخیر سبب گشته است توجه فراوانی به مخازن غیرمتعارف معطوف گردد. در اهمیت این مخازن جایگزین همین بس که تخمین‌ها نشان می‌دهد گاز در جای شیل‌های گازی کانادا بیش از هزار تریلیون فوت مکعب است که رقمی نزدیک به کل ذخیره گاز میدان پارس جنوبی می‌باشد (Bustin, 2005). این تخمین‌ها برای دو کشور ایالات متحده و لهستان نیز در حدود ۸۰۰ تریلیون فوت مکعب می‌باشد.

تجمع گاز تولید شده توسط یک سنگ منشأ از جنس شیل در درون خود، موجب تشکیل یک شیل گازی می‌شود. حوضه‌ی رسوبی زاگرس در ایران شامل چندین سازند شیلی غنی از مواد آلی با گستردگی و ضخامت بالا است که از جمله آن‌ها می‌توان به سازندهای گرو، کژدمی، گورپی و پابده اشاره نمود. لازم به ذکر است مطالعات پتروفیزیکی بخش جدایی‌ناپذیر پژوهش‌های جامعی است که می‌تواند به یافتن گزینه‌های مستعد از میان شیل‌های مختلف کمک نماید. اخیراً با حفاری‌های انجام شده در میدان سلمان، وجود گاز در سازند دشتک که بخش زیرین آن را شیل آغار تشکیل می‌دهد و به عنوان سنگ پوش مخزن کنگان عمل می‌کند، تأیید گشته است (Tehran Energy Consultants, 2004).

به کارگیری مدل‌ها و روش‌های مناسب پتروفیزیکی جهت بررسی طیف گسترده‌ای از خواص سازندهای شیلی می‌تواند راهگشای اکتشاف شیل‌های گازی ایران باشد. در تحقیق حاضر از اعمال روش‌های

احتمالی<sup>۳۴</sup> بر روی داده‌های چاه‌پیمایی سازند دشتک برای تعیین خواص پتروفیزیکی (تخلخل، درصد اشباع آب و گاز) این سازند استفاده می‌شود. مقدار کربن آلی کل در بخش‌های شیلی سازند نیز با استفاده از روش دلتا لاگ آر<sup>۳۵</sup> محاسبه می‌گردد تا بتوان ارتباط وجود گاز در بخش‌های آهکی این سازند با بخش زیرین آن را بررسی و در نهایت پتانسیل گازی سازند دشتک را تعیین نمود.

#### ۴-۱ - روش مطالعه

اساس پروژه حاضر، استفاده از داده‌های چاه‌پیمایی جهت تخمین پارامترهای پتروفیزیکی، حجم کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ و میزان مواد آلی موجود در لایه‌های شیلی سازند دشتک است. روش پتروفیزیکی مورد استفاده در این تحقیق که تحت عنوان روش احتمالی شناخته می‌شود، روش تبیین شده توسط مایر و سیبیت در سال ۱۹۸۰ است که با در نظر گرفتن معادلات پاسخ به طور همزمان محتمل‌ترین حجم از کانی‌ها را به همراه تخلخل کل، تعیین می‌کند.

نرم افزارهای متعددی چون GLOBAL و ULTRA به منظور آنالیز لاگ‌های چاه‌پیمایی استفاده می‌شوند. در این مطالعه از نرم افزار<sup>۳۶</sup> GEOLG 6.7 بدین منظور بهره گرفته شد. برای استخراج خواص پتروفیزیکی و ژئوشیمیایی سازند دشتک از داده‌های چاه 2SK-1 مراحل زیر انجام می‌پذیرد:

- تصحیحات محیطی لاگ‌ها

<sup>34</sup> Probabilistic approaches

<sup>35</sup>  $\Delta \log-R$  method

<sup>36</sup> Software program of Paradigm™ Rock & Fluid Canvas™ | Epos™ 3.0

- محاسبه پارامترهای آرچی<sup>۳۷</sup>
- محاسبه پارامترهای سنگ و سیال
- محاسبه تخلخل، حجم شیل و درصد اشباع آب و گاز توسط روش احتمالی
- محاسبه مقدار ماده آلی بخش‌های شیلی با استفاده از روش دلتا لاگ آر

با استخراج پارامترهای مذکور و تفسیر آن‌ها می‌توان میزان اهمیت سازند دشتک در دارا بودن ذخایر گازی را دریافت و به بررسی لایه‌های شیلی آن پرداخت.

## ۱-۵- ناحیه مورد مطالعه

### ۱-۵-۱- تاریخچه میدان سلمان

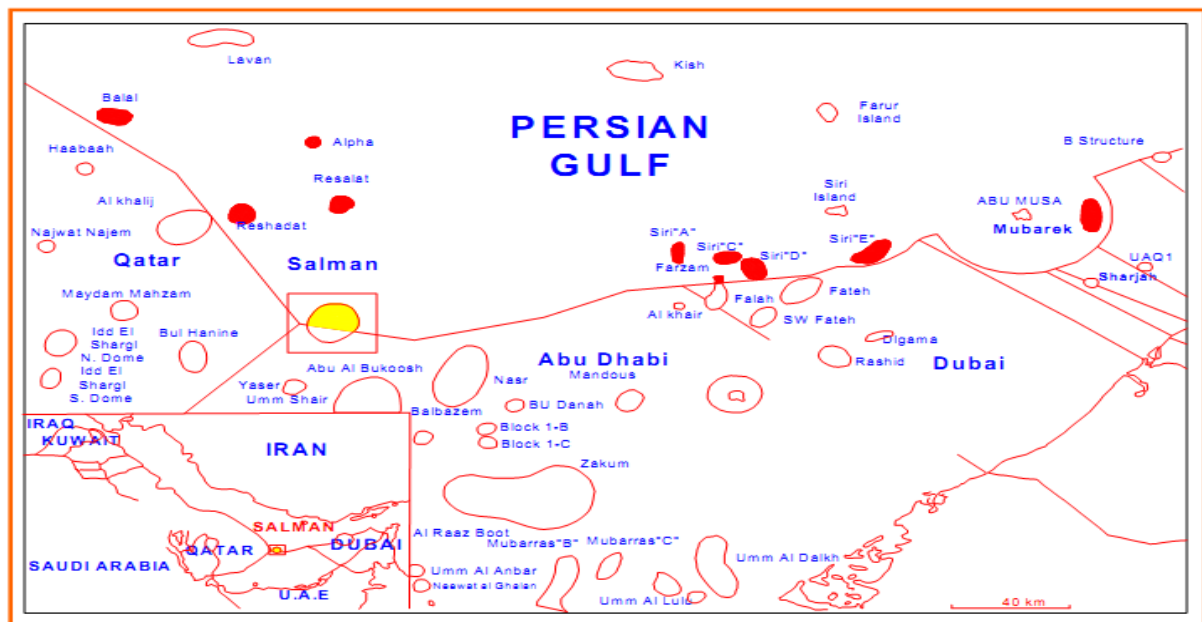
میدان سلمان در قسمت میانی خلیج فارس و در ۱۴۰ کیلومتری جنوب جزیره لاوان واقع شده است (شکل ۱-۱). این میدان مرزهای آبی بین‌المللی را قطع می‌کند و یک میدان مشترک بین ایران و ابوظبی محسوب می‌شود. بخش عمده میدان (تقریباً دو سوم آن) درون آب‌های ایران قرار دارد و تنها نزدیک به یک سوم آن در محدوده‌ی آب‌های ابوظبی جای دارد. مخازن نفتی واقع در بخش ایرانی میدان سلمان از سال ۱۹۶۸ در حال بهره‌برداری می‌باشند.

میدان سلمان که پیشتر ساسان نامیده می‌شد، طی عملیات لرزه‌نگاری دوبعدی که در سال ۱۹۶۴ توسط شرکت ملی نفت ایران صورت گرفت، کشف گردید. اولین چاه اکتشافی با نام 2S-01 با هدف سنجش میزان پتانسیل هیدروکربوری سنگ‌های کرتاسه پیشین و ژوراسیک توسط شرکت آتلانتیک ریچفیلد<sup>۳۸</sup>

<sup>37</sup> Archie

<sup>38</sup> Atlantic Richfield

حفر گشت. هم چنین در این چاه اکتشافی، لایه‌های ترشیاری<sup>۳۹</sup>، کرتاسه میانی و پسین به عنوان اهداف ثانوی مد نظر قرار گرفتند. در آن زمان اهمیت توالی‌های پرمو-تریاس<sup>۴۰</sup> به عنوان مخازن گازدار هنوز ناشناخته بود. ساختار بخش ایرانی با توجه به لرزه‌نگاری صورت گرفته در چند دهه پیش، یک گنبد دایره ای با وسعت ۷۲ کیلومتر مربع و یک گسل نرمال در قسمت شمالی آن بود. ساختار کلوزر میدان سلمان در حال حاضر با بررسی داده‌های چاه، لرزه‌نگاری دوبعدی اواخر دهه هشتاد میلادی و لرزه‌نگاری سه بعدی در سال‌های اخیر، تعیین گشته است. وسعت افقی میدان ۱۵ در ۱۶ کیلومتر و ضخامت مقطع لایه های مخزنی آن حدود ۶۰۰ متر می‌باشد. همانطور که از شکل ۱-۲ پیداست پیمایش‌های سه بعدی لرزه-ای نشان می‌دهد، یال‌های این میدان شیب کمی در حدود ۳ تا ۷ درجه دارند (Tehran Energy Consultants, 2004).

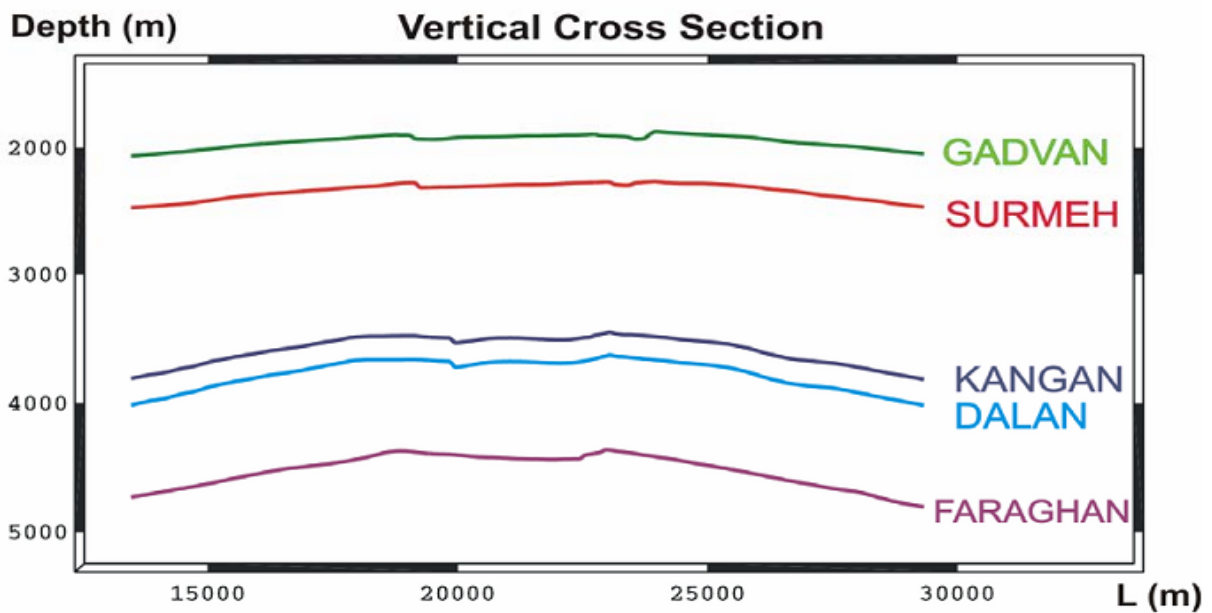


شکل ۱-۱: موقعیت میدان سلمان در آب‌های خلیج فارس (Tehran Energy Consultants, 2004)

<sup>39</sup> Tertiary

<sup>40</sup> Permo-Triassic





شکل ۱-۲: مقطع عمودی از مرز فوقانی سازندهای مختلف در میدان سلمان (جهت کراس سکشن: شمال شرق-جنوب غرب) (Tehran Energy Consultants, 2004)

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

این سازند پیشتر با نام شیل سودیر<sup>۴۱</sup> شناخته می‌شد. در محل بُرش الگو (تاق‌دیس دشتک، ۷۵ کیلومتری باختر شیراز) مرز زیرین و زیرین این سازند گسله است (آقا نباتی، ۱۳۸۳). به همین رو، برش چاه شماره (۱) کوه سیاه، به ضخامت ۸۱۴ متر، به عنوان الگو انتخاب شده است. سازند دشتک رخساره سنگی ناهمگن دارد از همین‌رو از پایین به بالا، به شش عضو زیر تقسیم شده است.

- **عضو شیلی آغار:** در گذشته این عضو را واحد جداکننده پرمین و تریاس می‌دانستند و امروزه عضوی از سازند دشتک به حساب می‌آید که نام آن از تاق‌دیس آغار، در حوالی فیروزآباد فارس

<sup>41</sup> Sudaire Shale

گرفته شده که از ذخایر گازی عظیم کشور است. این عضو شامل ۱۰ تا ۴۰ متر شیل قهوه‌ای تیره با تناوب‌هایی از شیل‌های سُرخ و سبز است به همین دلیل سیمای رنگارنگ دارد و با تیغه‌های نازک دولومیت، انیدریت و سیلت سنگ در تناوب است. گسترش جغرافیایی عضو شیلی آغار درخور توجه است و به تقریب در همه جا گسترش دارد.

- **عضو تبخیری A:** به ضخامت ۲۲۰ متر، شامل سنگ‌آهک و دولومیت رُسی در پایین، انیدریت ضخیم لایه تا توده‌ای در وسط و یک ردیف شیلی در بالا است (آقناباتی، ۱۳۸۳).

- **بخش تبخیری B:** به ضخامت ۴۰ متر، ردیفی از انیدریت و دولومیت است که گسترش جغرافیایی زیاد دارد.

- **عضو تبخیری C:** ضخامتی متغیر (۰ تا ۲۵۰ متر) از دولومیت و انیدریت است که علت این امر تغییرات رخساره‌ای است که موجب جانشینی دولومیت‌ها و انیدریت‌ها به شکل خاص گردیده است (آقناباتی، ۱۳۸۳).

- **عضو دولومیت سفیدار:** شامل یک لایه راهنما از دولومیت‌های سخت و برجسته به رنگ قهوه‌ای تیره، متبلور، با دانه‌های درشت تا متوسط است که نام آن از چاه شماره (۱) سفیدار، واقع در ۶۰ کیلومتری جنوب شیراز، گرفته شده است. عضو دولومیت سفیدار در همه جا وجود ندارد. در کوه سورمه، در قاعده این عضو یک طبقه کنگلومرای آهکی وجود دارد که شاید بتواند نشان دهنده یک فاز فرسایشی باشد.

- **عضو تبخیری D:** شامل تناوبی از دولومیت، انیدریت و شیل است که گسترش جغرافیایی محدود دارد (آقناباتی، ۱۳۸۳).

گفتنی است که، از میان عضوهای یاد شده دو عضو شیلی آغار و دولومیت سفیدار، رسمی و بقیه غیررسمی اند. عضوهای شش گانه یاد شده رخساره، ضخامت و دوام همیشگی ندارند. تغییرات جانبی رخساره‌ها و تبدیل یک عضو به عضو دیگر و یا حذف شدگی فرسایشی در سازند دشتک زیاد است. با همه این‌ها، این سازند (دشتک) در نواحی فارس و لرستان بسیار گسترده است. لازم به گفتن است که:

- درباره سن سازند دشتک اتفاق نظر وجود ندارد. برزگر (۱۳۶۰) به سن تریاس میانی - بالایی، شرکت نفت بریتانیا (BP) به تریاس پایینی، خردپیر و زابو به سن تریاس پایینی تا میانی باور دارند که قابل قبول تر است (آقناباتی، ۱۳۸۳).
- سازند دشتک نخستین سازند از گروه کازرون است. دومین سازند این گروه سازند نیریز به سن ژوراسیک پایینی است.

ذکر این نکته ضروری است که در گزارشات زمین‌شناسی مربوط به نواحی مرزی آب‌های خلیج فارس، بخش بندی صورت گرفته در بالا چندان کاربردی نیست. به عنوان مثال سازند دشتک به خصوص در بخش فوقانی حاوی سنگ‌آهک است، بنابراین در مقاطع چینه‌نگاری این سازند از معادل‌های عربی آن استفاده می‌گردد.

### ۱-۵-۳ - سازند دشتک در میدان سلمان

شکل ۱-۳ ستون چینه‌نگاری میدان سلمان را همراه با معادل‌های عربی آن نشان می‌دهد. در شکل ۱-۴ توالی چینه‌شناسی و مشخصات واحدهای سنگی موجود در میدان سلمان به نمایش درآمده است. این سازند در چاه‌های حفرشده در منطقه خلیج فارس بعد از یک لایه شیلی در کف سازند نیریز واقع شده است.

از آن جایی که تاکنون گزارش زمین‌شناسی از چاه جدید 2SK-1 تهیه نشده است تلاش شد با استفاده از لاگ های چاه‌پیمایی و با توجه به بررسی لیتولوژی و ضخامت بخش‌های مختلف سازند دشتک در چاه-های مجاور و داده‌های عمقی زمین‌شناس سر چاه که با خطایی در حد چندین متر همراه است، این بخش‌ها را جهت ارزیابی پتروفیزیکی تفکیک نماییم. هم چنین جهت نتیجه‌گیری بهتر ارزیابی پتروفیزیکی سازند دشتک، ستون‌های زمین‌شناسی این چاه به همراه لاگ‌های مختلف و نتایج ارزیابی احتمالی آن‌ها در فصل پنجم آورده شده است.

در چاه 2SK-1 پس از عبور از سازند نیریز، سازند دشتک به ضخامت تقریبی ۵۳۴ متر (از عمق ۳۰۰۰/۵ تا ۳۵۳۴/۵ متر) واقع شده است.

سازند دشتک در میدان سلمان بر اساس معادل‌های چینه نگاری عربی به طور کلی از سه بخش قلیله، خلیل و سودیر تشکیل شده است و در کف سودیر شیل آگار قرار دارد. فواصل عمقی این بخش‌ها در چاه 2SK-1 بدین شرح است.

#### ۱-۵-۳-۱- بخش قلیله

این بخش در چاه 2SK1 در بازه عمقی ۳۰۰۰/۵ تا ۳۲۷۰/۵ متر (با ضخامت ۲۷۰ متر) واقع شده است. بخش قلیله در میدان سلمان از یک سری سنگ‌آهک ریزدانه خاکستری تا قهوه‌ای رنگ به همراه لایه‌های نازک دولومیت شکر پی‌ریتی قهوه‌ای روشن تا خاکستری تشکیل شده است. در قسمت میانی لایه‌های نازک انیدریت توده‌ای به همراه شیل‌های تیره‌رنگ وجود دارد. با رفتن به قسمت‌های زیرین این بخش، دولومیت افزایش می‌یابد و در پایین آن، یک لایه ضخیم انیدریت شاخص تحت عنوان انیدریت توده‌ای با ضخامت ۲۰ تا ۳۰ متر وجود دارد. وجود گاز در قسمت میانی بخش قلیله با لیتولوژی سنگ آهک، گزارش شده است.

| Qatar/Emirates, Stratigraphic Names<br>Used in the Salman previous/drilled wells |                |                 |                        | Iranian Stratigraphic Nomenclature<br>now in use |                  |          |
|--|----------------|-----------------|------------------------|--|------------------|----------|
| Period   | Epoch          | Group           | Formation/Member       | Group  | Formation/Member |          |
| TERTIARY   | Oligo-Miocene  | Fars            | Fars                   | Fars Group                                       | Bakhtiyari       |          |
|  |                |                 | Asmari                 |  | Aghajari         |          |
|  |                |                 | Dammam                 |  | Mishan           |          |
|  | Rus            | Gachsaran       |                        |  |                  |          |
|  | Eocene         | Umm Er Raduhoma | Umm Er Raduhoma        | Asmari   | Fars Group       | Asmari   |
|  |                |                 |                        | Jahrum   |                  | Jahrum   |
| Sachun   |                |                 |                        | Sachun   |                  |          |
| Pabdeh   | Pabdeh         |                 |                        |  |                  |          |
| CRETACEOUS   | Upper          | Aruma Group     | Sharghi                | Bangestan Group                                  |                  | Gurpi    |
|  |                |                 | Halul                  |  |                  | Ilam     |
|  |                |                 | Laffan                 |  | Laffan           |          |
|  | Middle         | Wasia Group     | Khatiyah               |  | Bangestan Group  | Sarvak   |
|  |                |                 | Ahmadi                 |  |                  | Kazhdumi |
|  |                |                 | Mauddud                |  |                  | Dariyan  |
|  | Lower          | Thamama Group   | Nahr Umr               | Group  | Gadvan           |          |
|  |                |                 | Shuaiba                |  | Fahliyan         |          |
|  |                |                 | Zubair                 |  |                  |          |
|  |                |                 | Upper Buwaib           |  |                  |          |
|  |                |                 | Lower Buwaib (BL1,2,3) |  |                  |          |
|  |                |                 | Yamama                 |  |                  |          |
| JURASSIC   | Upper Jurassic | Areaaj          | Sulaiy                 | Khami  | Hith             |          |
|  |                |                 | Hith                   |  | Surmeh           |          |
|  |                |                 | Upper Arab (U1-U8)     |  |                  |          |
|  |                |                 | Lower Arab (L1,L2)     |  |                  |          |
|  |                |                 | Darb                   |  |                  |          |
|  |                |                 | Diyab                  |  |                  |          |
|  | M. J.          | Areaaj          | Upper Areaaj           |  |                  | Khami    |
|  |                |                 | Uwainat                |  |                  |          |
|  | L. J.          | Areaaj          | Lower Areaaj           |  | Khami            | Surmeh   |
|  |                |                 | Izharu                 |  |                  |          |
| TRIASSIC   |                |                 | Neyriz                 | Kazerun Group                                    | Neyriz           |          |
|  |                |                 | Gulailah               |  | Dashtak          |          |
|  |                |                 | Khalil                 |  |                  |          |
|  |                |                 | Sudair                 |  |                  |          |
| PERMIAN  |                |                 | Khuff                  | Dehram Group                                     | Kangan           |          |
|  |                |                 | Pre Khuff              |  | Upper Dalan      |          |
|  |                |                 |                        |  | Nar Mem.         |          |
|  |                |                 |                        |  | Lower Dalan      |          |
|  |                |                 |                        |  | Faraghan         |          |

شکل ۱-۳: سازندهای میدان سلمان به همراه معادل عربی آنها (Tehran Energy Consultants, 2004)

| AGE               | Group         | FORMATION/MEMBER                                  | LITHOLOGY   | REMARKS  |  |          |  |
|-------------------|---------------|---|-------------|--|--|----------|--|
| TERTIARY          | FARS Gr       | MISHAN  |             | Mainly Anhydrite, Marl and Gypsum                |  |          |  |
|                   |               | GACHSARAN Equiv.                                  |             | Mainly Limestone, Gypsum                         |  |          |  |
|                   |               | ASMARI  |             | Limestone  |  |          |  |
|                   |               | JAHNUM  |             | Mainly Limestone and Shale                       |  |          |  |
|                   |               | SACHUN Equiv.                                     |             | Anhydrite  |  |          |  |
|                   |               | PABDEH Equiv.                                     |             | Mainly Dolomite and Limestone                    |  |          |  |
| CRETACEOUS        | BANGESTAN Gr  | GURPI   |             | Limestone and Marl                               |  |          |  |
|                   |               | ILAM  |             | Mostly Limestone and Shale                       |  |          |  |
|                   |               | LAFFAN  |             | Dolomite and some layers of Shale                |  |          |  |
|                   |               | SARVAK  | KHATIYAH    |  | Mainly Dolomite and Limestone, including Bitumen     |          |  |
|                   |               |   | AHMADI      |  | Mainly Argillaceous Limestone and Dolomite           |          |  |
|                   |               |   | MAUDDUD     |  | Mainly Limestone                                     |          |  |
|                   |               | KAZHDUMI  |             | Mainly Claystone/Shale, Siltstone in lower parts |  |          |  |
|                   |               | DARIYAN   |             | Limestone, Argillaceous in places                |  |          |  |
|                   |               | GADVAN  |             | Limestone, Argillaceous in places.               |  |          |  |
|                   |               | FAHLIYAN  |             | Limestone, including traces of Chert             |  |          |  |
|                   |               | HITH  |             | Mainly Anhydrite                                 |  |          |  |
| JURASSIC          | KHAMI GROUP   | SURMEH  | UPPER ARAB  |  | Mostly Dolomite, some layers of Anhydrite.           |          |  |
|                   |               |   | LOWER ARAB  |  | Mostly Dolomite, Anhydrite, some layers of Anhydrite |          |  |
|                   |               |   | DARB        |  | Mainly Limestone including traces of Chert           |          |  |
|                   |               |   | DIYAB       |  | Limestone and Dolomite                               |          |  |
|                   |               |   | UPPER ARAEJ |  | Limestone  |          |  |
|                   |               |   | UWAINAT     |  | Mostly Limestone and some minor layers of Dolomite   |          |  |
|                   |               |   | LOWER ARAEJ |  | Mainly Limestone, Argillaceous in upper part.        |          |  |
|                   |               |   | IZHARA      |  | Limestone, Layers of Shale at the Base               |          |  |
|                   |               |   | NEYRIZ      |  | Limestone, Beds of Shales and Marls                  |          |  |
|                   |               |   | TRIASSIC    | KAZERUN GROUP                                    | DASHTAK  | GULAILAH |  |
| KHALIL            |               | Mainly Dolomite, Some Claystone at the base       |             |  |  |          |  |
| SUDAIR            |               | Anhydrite and Dolomite, Argillaceous Limestone.   |             |  |  |          |  |
| UPPER SUDAIR      |               | Layers of Claystone/Shale, Argillaceous Limestone |             |  |  |          |  |
| MASSIVE ANHYDRITE |               | Mainly Anhydrite                                  |             |  |  |          |  |
| LOWER SUDAIR      |               | Anhydrite including Dolomite and Claystone/Shale. |             |  |  |          |  |
| AGHAR SHALES      |               | Reddish brown Shale and Claystone                 |             |  |  |          |  |
| KANGAN            | UPPER KANGAN  |   |             |  | Dolomite and some interbedded layers of Shale        |          |  |
|                   | MIDDLE KANGAN |   |             |  | Limestone and Dolomite, thin layers of Anhydrite.    |          |  |
|                   | LOWER KANGAN  |   |             |  | Mainly Limestone, Dolomite in upper parts.           |          |  |
| PERMIAN           | DEHRAM GROUP  | DALAN   |             |  | UPPER DALAN  |          | Limestone and Dolomite with few beds of Anhydrite                    |
|                   |               |   |             |  | NAR MEMBER   |          | Anhydrite with thin layers of Dolomite and Limestone in lower parts. |
|                   |               |   |             |  | LOWER DALAN  |          | Limestone and Dolomite with few beds of Shale                        |
|                   |               | FARAGHAN  |             | Sandstone and Shale                              |  |          |  |

شکل ۱-۴: توالی چین‌شناسی میدان سلمان (Tehran Energy Consultants, 2004)

### ۱-۵-۳-۲- بخش خلیل

این بخش در چاه 2SK1 در بازه عمقی ۳۲۷۰/۵ تا ۳۳۳۰/۵ متر (با ضخامت ۶۰ متر) واقع شده است. با توجه به خرده‌های حفاری، بخش خلیل با دولومیت‌های رسی قهوه‌ای با یک لایه رس‌سنگ در مرز فوقانی آن با ضخامتی معادل با ۳ تا ۵ متر و یک رس‌سنگ دیگر در پایین آن شناخته می‌شود. برای تشخیص رس‌سنگ با استفاده از لاگ‌های چاه‌پیمایی بدون اشتباه گرفتن آن با شیل، لاگ صوتی کمک شایانی می‌کند. هم‌چنین بایستی توجه داشت رس‌سنگ‌ها بر خلاف شیل چندان رادیواکتیو نیستند.

### ۱-۵-۳-۳- بخش سودیر

این بخش در چاه 2SK1 در بازه عمقی ۳۳۳۰/۵ تا ۳۵۲۲ متر (با ضخامت ۱۹۱/۵ متر) واقع شده است. در بخش سودیر در میدان سلمان یک توالی از شیل‌های قهوه‌ای تیره و شیل‌های قرمز رنگ به همراه دولومیت‌های رسی به رنگ قهوه‌ای روشن مشاهده می‌شود. در ۳۰ متر تحتانی آن انیدریت‌های سفید و سخت، لیتولوژی غالب می‌شود. همان‌گونه که از شکل ۱-۴ بر می‌آید، این بخش خود به چند زیرواحد تقسیم می‌شود. در قسمت بالای آن که سودیر فوقانی نامیده می‌شوند، توالی لایه‌هایی با ضخامت چندین متر از جنس شیل، آهک رسی، انیدریت و دولومیت وجود دارد. طول بازه‌های عمقی این زیرواحد در این چاه به ترتیب ۸۴ متر به نظر می‌رسد.

در پایین سودیر فوقانی یک انیدریت توده‌ای و سپس سودیر پایینی قرار گرفته است که تناوبی از دولومیت و انیدریت است. ضخامت این دو زیرواحد در مجموع حدود ۱۰۶ متر می‌باشد.

## ۱-۵-۳-۴ شیل آغار

شیل آغار در میدان سلمان از شیل‌های چسبنده<sup>۴۲</sup> قهوه‌ای مایل به قرمز تشکیل شده است. در این چاه شیل آغار در بازه‌ی عمقی ۳۵۲۲ تا ۳۵۳۴/۵ متر واقع شده است.

این بخش در سراسر حوضه رسوبی خلیج فارس و زاگرس به خوبی قابل تشخیص است (صفاری، ۱۳۸۷).

## ۱-۵- ساختار پایان نامه

مطالب پیش رو در این مطالعه بدین شرح است:

در فصل دوم، ابتدا به معرفی مخازن غیرمتعارف و سپس به تبیین شیل‌های گازی به عنوان یکی از شاخص‌ترین مخازن نامتعارف و بررسی پارامترهای پتروفیزیکی و ژئوشیمیایی دخیل در کیفیت آن‌ها پرداخته می‌شود.

فصل سوم این تحقیق با هدف مرور اجمالی بر روش‌های قطعی و احتمالی در ارزیابی پتروفیزیکی سازندهای زمین‌شناسی ارائه شده است. هدف از نگارش این فصل آشنایی با مفهوم این دو روش و اصول ریاضیاتی آن‌ها است.

در فصل چهارم، نتایج ارزیابی پتروفیزیکی سازند دشتک در بخش‌های مختلف آن به بحث گذاشته می‌شود. مقادیر پارامترهای پتروفیزیکی استخراج شده از جمله تخلخل کل، تخلخل اشباع از گاز و آب ارائه شده و لیتولوژی لایه‌های متعدد این سازند جهت تفکیک دقیق‌تر آن‌ها ارائه شده و بخش‌های مطلوب از دیدگاه مخزنی تعیین می‌گردند و به طور خاص لایه‌های شیلی در این فصل مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

---

<sup>42</sup> Sticky



فصل پنجم، معرفی روش‌های تعیین TOC به کمک داده‌های چاه‌پیمایی را شامل می‌شود، همچنین توسط روش دلتا لاگ آر میزان TOC در لایه‌های شیلی سازند دشتک از جمله شیل آغار تخمین زده می‌شود.

در فصل آخر هم با نگاهی جامع به نتایج فصول قبل به جمع‌بندی این پژوهش پرداخته و پیشنهاداتی جهت مطالعات آتی ارائه می‌شود.

فصل دوم:

مبانی شیل های گازی

## ۲-۱- مقدمه

درک خصوصیت‌های پتروفیزیکی مخازن غیرمتعارف به ویژه شیل‌های گازی در کنار فراهم آوردن زمینه‌ای برای تعیین پارامترهای مخزنی، می‌تواند راهگشای تعیین پتانسیل گازی و همچنین کلیدی برای طراحی روش‌های بهره‌برداری از آن‌ها تلقی گردد. البته بایستی توجه داشت لاگ‌های چاه‌پیمایی به تنهایی نمی‌توانند تمامی اطلاعات مورد نیاز جهت مدل کردن یک مخزن شیل‌گازی را در اختیار بگذارند. خصوصیات پیچیده مخزنی<sup>۱</sup> شیل‌ها و عدم تشابه رژیم جریان<sup>۲</sup> آن‌ها با مخازن متعارف، اهمیت مطالعات ژئوشیمیایی و گاز جذب شده به مواد آلی یا کانی‌های رسی و همچنین اهمیت بررسی کانی‌های رسی موجود در شیل و مطالعات ژئومکانیکی جهت ایجاد شکست هیدرولیکی<sup>۳</sup>، نشان دهنده‌ی نیاز به در پیش گرفتن رویه‌ای کاملاً متفاوت برای بررسی همه جانبه‌ی شیل‌های گازی است.

## ۲-۲- مخازن غیرمتعارف

مخازن غیرمتعارف عموماً به مخازنی اطلاق می‌شود که تولید اقتصادی از آن‌ها نیازمند به کارگیری تکنولوژی‌های پیشرفته‌ای است یا به عبارت دیگر خصوصیات مخزنی به ویژه تراوایی آن‌ها به گونه‌ای می‌باشد که فرآیند تولید را با مشکل مواجه می‌سازد. از دیدگاه مخزنی می‌توان گفت بر خلاف مخازن متعارف، تمام ذخیره آن‌ها در حفرات بین‌دانه‌ای قرار ندارد. خصوصیت بارز دیگر این دست مخازن، تراوایی پایین است که کمتر از یک میلی داری برآورد می‌شود (Interdisciplinary MIT Study, 2011).

به منظور تولید از مخازن غیرمتعارف که مستلزم غلبه بر شرایط زمین‌شناسی خاص آن‌هاست، استفاده از ابزارهایی همچون شکافت هیدرولیکی و حفر چاه‌های افقی در اکثر موارد ضروری به نظر می‌رسد. نفت یا گاز طبیعی

<sup>۲</sup> Flow regime

<sup>۳</sup> Hydraulic fracturing

می‌تواند تشکیل دهنده‌ی ذخایر آن‌ها باشد، با این وجود در زیر تنها به معرفی برخی از مخازن گازی غیرمتعارف می‌پردازیم:

- شیل‌های گازی از مهم‌ترین منابع غیرمتعارف می‌باشند. شیل‌های غنی از مواد آلی که وارد پنجره گاز زایی شده‌اند و بخش قابل توجهی از گاز تولید شده را درون خود به دام انداخته‌اند.
- متان زغال سنگ<sup>۴</sup>، به مخازنی اطلاق می‌شود که گاز در لایه‌های زغال به صورت گاز جذب شده واقع شده است.
- ماسه‌های مستحکم<sup>۵</sup>، ماسه سنگ‌هایی با تراوایی کمتر از ۰/۱ میلی داری هستند.

با وجود این که توسعه‌ی میدین مرتبط با شیل‌های گازی و متان زغال سنگ، صرف زمان و هزینه بیشتری را به همراه دارد اما ذخایر آن‌ها به مراتب بزرگتر از ماسه‌های مستحکم است. در شکل ۱-۲ نمای کلی مخازن غیر متعارف در مقایسه با مخازن متعارف به صورت مقطع زمین‌شناسی نمایش داده شده است.

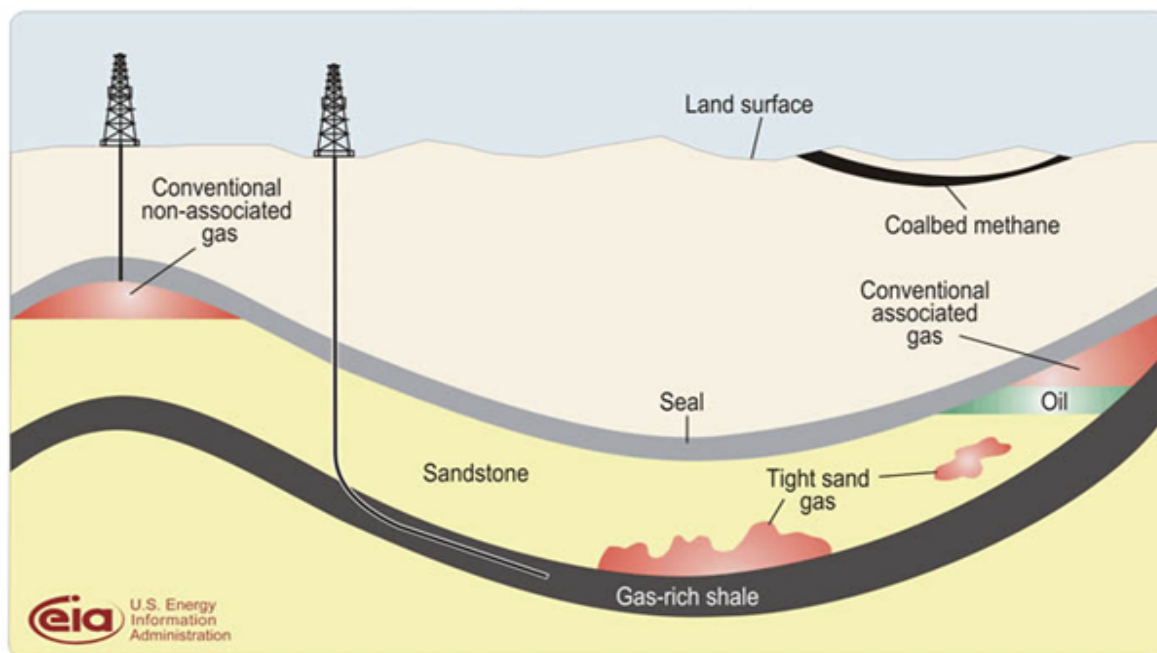
ذخایر گازی غیرمتعارف (شیل گازی، متان زغال و ماسه‌های مستحکم) در برخی کشورها، به دلیل ویژگی‌های گاز ذخیره شده و ضریب بازیافت<sup>۶</sup> نسبتاً خوب، اهداف اکتشافی بسیار مهمی محسوب می‌گردند. به طور خاص اکتشاف و بهره‌برداری شیل‌های گازی در ایالات متحده عمدتاً به علت تخلیه ذخایر متعارف می‌باشد. با این وجود توالی ضخیم شیل‌ها، بلوغ حرارتی، تراوایی (به علت وجود شکاف‌های طبیعی و واحدهای قابل شکاف) و وجود زیرساخت‌های اقتصادی در این موفقیت نقش داشته‌اند. از شیل‌های گازی به عنوان ذخایر تکنولوژیکی<sup>۷</sup> یاد می‌شود زیرا نیاز به حفاری افقی، طراحی ایجاد شکاف و تحریک چاه و داده‌های لرزه نگاری سه بعدی دارند (Ross and Bustin, 2008).

<sup>4</sup> Coal-bed methanes

<sup>5</sup> Tight sand gas

<sup>6</sup> Recovery factor

<sup>7</sup> Technological plays



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

(Energy Information Administration)

ذخایر گازی غیرمتعارف (شیل گازی، متان زغال و ماسه‌های مستحکم) در برخی کشورها، به دلیل ویژگی‌های گاز ذخیره شده و ضریب بازیافت<sup>۸</sup> نسبتاً خوب، اهداف اکتشافی بسیار مهمی محسوب می‌گردند. به طور خاص اکتشاف و بهره‌برداری شیل‌های گازی در ایالات متحده عمدتاً به علت تخلیه ذخایر متعارف می‌باشد. با این وجود توالی ضخیم شیل‌ها، بلوغ حرارتی، تراوایی (به علت وجود شکاف‌های طبیعی و واحدهای قابل شکاف) و وجود زیرساخت‌های اقتصادی در این موفقیت نقش داشته‌اند. از شیل‌های گازی به عنوان ذخایر تکنولوژیکی<sup>۹</sup>

<sup>۸</sup> Recovery factor

<sup>۹</sup> Technological plays

یاد می‌شود زیرا نیاز به حفاری افقی، طراحی ایجاد شکاف و تحریک چاه و داده‌های لرزه نگاری سه بعدی دارند (Ross and Bustin, 2008).

## ۲-۳- شیل‌های گازی

### ۲-۳-۱- تعریف شیل‌های گازی

از منظر زمین‌شناختی، شیل سنگی است رسوبی متشکل از ذرات ریز که حاوی مقادیر قابل توجهی کانی رسی باشد. این کانی‌ها به دلیل خاصیت تورق‌پذیری بالا باعث سستی سنگ و ورقه‌ای شدن شیل‌ها می‌شوند. کانی‌های رسی همچون ایلیت و کائولینیت که ترکیبات شیمیایی پیچیده‌ای متشکل از عناصر اکسیژن، آلومینیوم و سیلیسیم هستند به همراه کانی‌هایی چون کوارتز یا کلسیت، اجزاء تشکیل دهنده‌ی شیل‌ها می‌باشند.

در بررسی سیستم‌های هیدروکربوری معمولاً شیل‌ها به عنوان یک سنگ منشأ مناسب جهت نگهداری مواد آلی به جا مانده از موجودات زنده و تولید نفت و گاز شناخته می‌شوند. با این وجود تجربه‌ی تولید اقتصادی از شیل‌ها نشان از لزوم بررسی آن‌ها به عنوان یک مخزن است. شیل‌های گازی، مخازن غیرمتعارفی هستند که درعین شناخته شدن به عنوان سنگ منشأ، گاز تولید شده را در خود به دام انداخته و نقش مخزن را بازی می‌کنند.

گاز در این مخازن به سه شیوه ذخیره می‌شود:

- گاز آزاد<sup>۱۰</sup> که همانند مخازن متعارف در خلل و فرج میان دانه‌ای سنگ یا شکستگی‌های آن ذخیره می‌شود.
- گاز جذب شده به سطوح کانی‌های مختلف و مواد آلی.
- گاز محلول<sup>۱۱</sup> در بیتومین و آب.

---

<sup>10</sup> Free gas

<sup>11</sup> Dissolved gas

تفاوت شیل‌های گازی با ماسه سنگ‌ها یا سیلت استون‌های شیلی گازدار در این نکته است که همانند زغال‌های حاوی متان، گاز جذب شده بخشی از گاز کل مخزن را تشکیل می‌دهد. در عین حال شیل‌های گازی بر خلاف لایه‌های زغال سنگ، حاوی گاز آزاد می‌باشند.

در شیل‌های گازی، جریان سیال از قانون داری تبیعت نمی‌کند. با کوچک شدن اندازه حفرات، پیچیدگی ساختار آن‌ها افزایش یافته و قانون داری قابلیت توصیف آن را از دست می‌دهد (Curtis et al., 2010). به طور کلی هرچند تعیین ساختار حفرات ریز شیل‌ها توسط روش‌هایی همچون طیف‌سنجی  $^{13}\text{C}$  MRI و  $^{12}\text{C}$  NMR امکان‌پذیر است، اما هزینه‌های بالا چنین پژوهش‌هایی را با چالش روبرو کرده است (Bustin et al., 2008).

### ۲-۳-۲- پتروفیزیک شیل‌های گازی

ممکن است سازندهایی که تحت عنوان شیل شناخته می‌شوند، بخش عمده‌ی آن‌ها از کانی‌های رسی تشکیل نشده باشند و در واقع سیلت استون یا سیلت‌های رسی باشند. آن‌ها ممکن است گاز یا حتی نفت هم تولید کنند اما نبایستی مدل‌های مربوط به شیل گازی را در آن‌ها استفاده نمود. برخی ماسه سنگ‌هایی که به صورت متناوب با شیل نهشته شده‌اند بایستی به عنوان ماسه سنگ شیلی مورد بررسی قرار گیرند. به خصوص سازندهای سیلت استونی که شامل مقادیر بالایی از کانی‌های کوارتز و دولومیت هستند اما کانی رسی کمی دارند که در این صورت **Tight gas sand** به حساب می‌آیند. از سوی دیگر سازندی مانند هاینسویل<sup>۱۴</sup> که نیمی از آن را کانی‌های رسی و باقی آن را کوارتز و کلسیت تشکیل داده‌اند، تخلخل مؤثر و تراوایی پایینی دارد و همچنین میزان کربن آلی کل آن نسبتاً بالاست و در نتیجه در برگیرنده‌ی گاز جذب شده به عنوان بخشی از گاز کل آن است، در رده بندی شیل‌های گازی قرار می‌گیرد. استفاده از مدل ناصحیح برای آنالیز لاگ‌ها منتج به جواب‌های بی‌معنی می‌شود (Crain, 2011).

<sup>12</sup> Nuclear magnetic resonance spectroscopy

<sup>13</sup> Magnetic Resonance Imaging

<sup>14</sup> Haynesville

## ۲-۳-۲-۱- لاگ‌های چاه‌پیمایی و شیل‌های گازی

اطلاع از پاسخ لاگ‌های چاه‌پیمایی به فاکتورهای گوناگون شیل‌های گازی می‌تواند در تحلیل آن‌ها راهگشا باشد. شکل ۲-۲ پارامترهای تأثیرگذار یک شیل گازی بر لاگ‌های مختلف را نشان می‌دهد.

| لاگ         | خصوصیات مؤثر بر لاگ    |
|-------------|------------------------|
| اشعه گاما   | رس و کروژن             |
| دانسیته     | کروژن و تخلخل          |
| نوترون      | رس و گاز               |
| مقاومت ویژه | کروژن، آب، گاز و تخلخل |
| صوتی        | کروژن و گاز            |

شکل ۲-۲: مؤلفه‌های مختلف تأثیرگذار بر لاگ‌های چاه‌پیمایی در شیل‌های گازی (Sondergeld et al., 2010)

ابزار اندازه‌گیری شدت پرتو گاما میزان انتشار پرتوهای رادیواکتیو از عناصری چون پتاسیم، توریم و اورانیوم را در یک سازند اندازه‌گیری می‌کند. از موارد استفاده اصلی آن می‌توان به تشخیص نواحی ماسه‌سنگی اشاره نمود که لاگ پرتو گاما در آن‌ها بسیار پایین است. پاسخ لاگ گاما در شیل‌ها به دلیل وجود عناصر رادیواکتو به ویژه پتاسیم در کانی‌های رسی، به شدت بالاست. اگر هدف مطالعاتی یک شیل باشد، این لاگ ممکن است کمک چندانی به بررسی آن نکند. با این حال نسبت مشارکت پرتو حاصل از اورانیوم در شیل‌های غنی از مواد آلی، در مقایسه با توریم و پتاسیم افزایش محسوسی پیدا می‌کند.

اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه می‌تواند شاخصی در ارزیابی تراوایی و اشباع سیالات مختلف باشد. اما این راهکار در مورد شیل‌های گازی به دلیل حجم بالای کانی رسی و تراوایی پایین چندان قابل اعتنا نیست. با این وجود



اکثر شیل‌های در حال تولید به دلیل داشتن کروژن و گاز، مقاومت ویژه بیشتری از یک حد خاص، تحت عنوان مقاومت ویژه خط پایه شیل خاکستری دارند (به فصل پنجم رجوع شود).

لاگ‌های دانسیته و نوترون جهت تعیین تخلخل و در مرحله بعد تعیین ذخیره مخازن به کار برده می‌شوند. این نمودارها عموماً برای تخمین تخلخل کل استفاده می‌شوند. بایستی توجه داشت به دلیل حجم بالای کانی رسی در شیل‌ها اختلاف میان تخلخل کل و مؤثر زیاد می‌باشد.

لاگ‌های صوتی علاوه بر ارزیابی کروژن و گاز که با حضورشان سرعت موج ارسال شده به شدت کاهش می‌یابد، جهت تعیین خواص مکانیکی سازند همچون نسبت پوآسون، مدول‌های برشی و یانگ و ... جهت پیش بینی واکنش سازند به عملیات ایجاد شکاف هیدرولیک، کاربرد دارند.

لاگ‌های پیشرفته‌تر می‌توانند به شکل دقیق‌تری به ارزیابی شیل‌های گازی کمک کنند. به طور خلاصه از لاگ‌های تصویری جهت استخراج ویژگی‌های ساختاری، گسل‌ها، شکستگی‌های القایی در حین حفاری، لایه‌بندی و غیره استفاده می‌شود. هم‌چنین با توجه به ساختار پیچیده شیل‌ها، نگارهای NMR (MRIL<sup>15</sup>) می‌تواند اطلاعات بسیار مفیدی را در اختیار بگذارد که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به تعیین آب محصور در کانی‌های رسی و تخلخل مفید و تراوایی اشاره کرد. این لاگ با هزینه کمتری نسبت به داده‌های مغزه اطلاعات دقیقی جهت ارزیابی شیل‌ها فراهم می‌کند (Parker et al., 2009).

## ۲-۳-۲-۲-۲ تخلخل

تخلخل به صورت نسبت فضای خالی سنگ به کل حجم سنگ تعریف می‌شود. تخلخل توسط روش‌های گوناگونی اندازه‌گیری می‌شود که در اغلب موارد، نتایج هر روش بر روی یک نمونه خاص یکسان نمی‌باشد.

---

<sup>15</sup> Magnetic Resonance Imaging Logging

تخلخل مخازن شناخته شده‌ی شیل گازی بین ۳ تا ۶ درصد می‌باشد (Barlai and Crain, 2012). فضای خالی

شیل‌ها مقیاس بسیار ریزی دارند که همین امر اندازه‌گیری تخلخل آن‌ها را پیچیده‌تر می‌کند.

به طور کلی روش‌های عمده‌ی مورد استفاده در شیل‌ها برای تعیین تخلخل (مفید یا کل) بدین شرح است:

- تزریق جیوه یا هر سیال دیگری جهت تعیین تخلخل مفید

- پیکنومتر<sup>۱۶</sup> (تخلخل کل)

- استفاده از لاگ NMR

- مطالعات SEM جهت بررسی ساختار ریز شیل‌ها

در صورت استفاده از لاگ برای یک مطالعه جامع بر روی شیل‌های گازی، به منظور تعیین تخلخل استفاده از

لاگ NMR ترجیح داده می‌شود زیرا تحت تأثیر تغییرات لیتولوژی و کانی‌ها قرار نمی‌گیرد. مقایسه تخلخل کل

NMR و مغزه در بسیاری از شیل‌ها نشان دهنده‌ی توانایی این لاگ در تعیین تخلخل است. از سوی دیگر

استفاده از لاگ‌های دیگر چون چگالی و نوترون ممکن است با حضور کانی‌های متغیر و مواد آلی با چگالی کم، با

مقداری خطا همراه باشد (Bratovich and Sommer, 2009). با این حال در این مطالعه با توجه به داده‌های

موجود و به کمک مجموعه‌ای از لاگ‌ها در قالب روش‌های احتمالی، تخلخل کل محاسبه می‌گردد.

## ۲-۳-۲-۳- تراوایی

به توانایی یک سنگ در عبور دادن سیال از خود تراوایی گفته می‌شود. به علت ریز بودن دانه‌های ماتریکس

سنگ در شیل‌ها، تراوایی آن‌ها بسیار پایین و در حد میکرو یا نانو داری<sup>۱۷</sup> است. بدین جهت به منظور بالا

بردن تراوایی و تولید از شیل‌های گازی، تحریک چاه به روش‌های مختلف از جمله شکافت هیدرولیکی ضروری

است.

<sup>16</sup> Pycnometer

<sup>17</sup> Darcey

## ۲-۳-۲-۴ - اشباع گاز

یکی از پارامترهای کلیدی در ارزیابی یک مخزن، تعیین میزان گاز موجود در حفرات آن است. همانطور که ذکر شد، گاز می‌تواند به سه طریق در سازند ذخیره شود: گاز جذب شده، گاز آزاد (گازی که به سطوح داخلی نچسبیده باشد) و گاز محلول در آب و بیتومین. جهت تعیین دقیق میزان گاز یا درصد اشباع گاز بایستی هر سه مورد مدنظر قرار گیرد. گاز محلول که در شرایط آزمایشگاه قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد معمولاً بخشی از گاز جذب شده در نظر گرفته می‌شود. ذخیره گاز کل یک شیل گازی مجموع سه گاز مذکور است:

$$G_{st} = G_s + G_{sf} + G_{sd} \quad (۲ - ۱)$$

که در آن  $G_{st}$  ذخیره گاز کل،  $G_s$  گاز جذب شده،  $G_{sf}$  گاز آزاد و  $G_{sd}$  گاز محلول، همگی بر حسب scf/ton می‌باشند.

برای تعیین گاز جذب شده، از ایزوترم‌های جذب که ماکزیمم حجم متان قابل جذب برای یک سنگ در شرایط تعادل، در دما و فشار مشخصی است، بهره گرفته می‌شود. روش مستقیم اندازه‌گیری گاز جذب شده نیز شکستن مغزه و محاسبه گاز منتشر شده از آن در طول یک بازه‌ی زمانی خاص است. در این مطالعه به دلیل عدم دسترسی به این داده‌ها از محاسبه گاز جذب شده‌ی بخش‌های شیله‌ی سازند دشتک صرف نظر شد.

## ۲-۳-۳ - پارامترهای ژئوشیمیایی دخیل در ارزیابی شیل‌های گازی

TOC که به طور معمول به صورت درصد وزنی بیان می‌شود، مقدار کربن آلی کل سنگ نسبت به جرم سنگ است. این پارامتر ژئوشیمیایی، تعیین‌کننده میزان گاز یا نفت تولید شده و همچنین توانایی یک شیل در نگاه داشتن گاز جذب شده در سنگ منشأ فارغ از گاز موجود در فضای متخلخل است. شیل‌هایی با TOC بالا نسبت به شیل‌هایی که اصطلاحاً خاکستری نامیده می‌شوند، گزینه‌های مناسب‌تری جهت پی‌جویی شیل‌های

گازی می‌باشند. برای محاسبه آن به روش مستقیم از پیرولیز راک ایول<sup>۱۸</sup> استفاده می‌شود. میزان کربن آلی مطلوب برای یک شیل گازی بزرگتر از ۲٪ وزنی می‌باشد (جدول ۱-۲).

ضریب انعکاس ویتترینایت<sup>۱۹</sup> که بیانگر بلوغ ماده آلی است نیز علاوه بر تأثیرگذاری بر خواص پتروفیزیکی شیل‌ها از جمله مقاومت ویژه، تعیین‌کننده‌ی مراحل مختلف عمر یک سنگ منشأ است. با افزایش ضریب انعکاس، گاز از مرحله نابالغی به سمت پنجره نفت زایی، گاززایی و دگرگونی حرکت می‌کند.

در شیل‌های گازی با افزایش ضریب انعکاس ویتترینایت، TOC کاهش یافته و با بالا رفتن بلوغ حرارتی، گاز خشک‌تر می‌شود (Kennedy, 2010).

نوع کروژن در شیل‌های گازی معمولاً از تیپ II می‌باشد. نوع کروژن، تعیین‌کننده پتانسیل گاززایی یا نفت زایی سنگ‌های منشأ می‌باشد. نوع کروژن در میزان گاز جذب شده نیز تأثیر می‌گذارد (Crain, 2011).

جدول ۱-۲: ویژگی‌های یک شیل گازی مطلوب (Sondergeld et al., 2010)

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| پارامتر                               | مقدار مطلوب   |
| درصد اشباع آب                         | کمتر از ۴۰٪   |
| عمق                                   | عمق کم اما واقع در پنجره گازی                             |
| شکستگی‌ها                             | در جهات عمودی   |
|                                       | باز   |
| ترکیب گاز                             | H <sub>2</sub> S و N <sub>2</sub> و CO <sub>2</sub> پایین |
| تخلخل اشباع از گاز                    | بیشتر از ۲ درصد   |
| نوع گاز (ترمورنیک، بیورنیک یا ترکیبی) | ترمورنیک  |
| ناهمگنی عمودی                         | کمتر  |
| کانی‌شناسی                            | بیشتر از ۴۰ درصد کوارتز یا کریستالین                      |
|                                       | کمتر از ۲۰ درصد کانی رسی                                  |
|                                       | قابلیت انبساط کمتر  |
|                                       | سیلیس بیورنیک   |
| گاز در جا (آزاد و جذب شده)            | بیشتر از ۱۰۰ میلیارد فوت مکعب                             |
| تراوایی                               | بیشتر از ۱۰۰ نانودارسی                                    |
| دمای سازند                            | بیشتر از ۲۳۰ درجه فارنهایت                                |
| بلوغ حرارتی                           | ضریب انعکاس ویتترینایت بیش از ۱.۴                         |
| ضخامت                                 | بیشتر از ۲۰ متر   |
| TOC                                   | بیشتر از ۲ درصد   |

<sup>18</sup> Rock Eval Pyrolysis

<sup>19</sup> Vitrinite reflectance

## ۲-۳-۴ - مدل‌های شیل گازی

مدل‌های معمول در بررسی شیل‌های گازی عموماً پیچیده‌تر از مدل‌های مخازن متعارف هستند. محتوای ماده آلی (کروژن) که مولد گاز است، بخشی از فضای سنگ را اشغال می‌کند که بایستی از تخلخل متعارف و آب محصور در کانی‌های رسی تمیز داده شود. در شکل ۲-۳ مؤلفه‌هایی که معمولاً برای مدل سنگی شیل‌های گازی استفاده می‌شود بیان شده‌اند. فضای متخلخل متعارف آب کاهش نیافتنی و آب غیرقابل استحصال و گاز آزاد را در بر می‌گیرد. کانی‌های رسی هم حاوی آب محصور و گاز جذب شده‌اند.

| کروژن         |             |          |
|---------------|-------------|----------|
| $\Phi_{BW}$   | $\Phi_{FW}$ | $\Phi_H$ |
| کانولینیت     | ایلیت       | کوارتز   |
| میکا          |             |          |
| پیریت         |             |          |
| کانی‌های دیگر |             |          |

شکل ۲-۳: اجزاء مختلف مدل پتروفیزیکی متداول برای شیل‌های گازی (Crain, 2011)

هرچند دریافتن ویژگی‌های موجود در شیل‌های گازی شناخته شده می‌تواند به روند اکتشاف ذخایر گازی جدید کمک شایانی نماید اما باید توجه داشت وجود ناهمگنی در شیل‌ها و گل‌سنگ‌ها این فرآیند را محدود می‌کند. ناهمگنی شیل‌ها در مقیاس نانومتر مهر تأییدی بر این امر است. بنابراین هر مخزن شیلی قبل از اعمال روش‌های مبتنی بر تشابه و مقایسه با مخازن دیگر در حیطه‌ی ارزیابی، نیاز به رویکردها و عملیات منحصر به خود دارد. از این منظر، پارامترهای مهمی چون نوع کربن بالغ (تیپ کروژن) و فراوانی آنها، گسترش عمودی و جانبی

شیل، عمق سازند (تأیین کننده بلوغ حرارتی، دما و فشار سازند)، تخلخل و نحوه‌ی توزیع حفرات حائز اهمیت می باشند. ترکیب کانی‌های موجود نیز به دلیل تأییرگذاری بر نوع شکاف‌های طبیعی و طراحی تحریک چاه، کلید مهمی در ارزیابی پتانسیل شیل‌گازی است.

## ۲-۴- شیل‌های گازی در ایران

تاکنون مطالعه‌ی تفصیلی بر روی منابع شیل‌گازی در ایران انجام نشده است. در سال ۱۳۹۰ مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، پی‌جویی مقدماتی منابع شیل‌گازی در حوضه‌های رسوبی زاگرس، کپه داغ و ایران مرکزی را به اتمام رسانده است. این مطالعه سازندهای گرو و سرگلو در بخش مرکزی ناحیه زمین‌شناسی لرستان را برای پی‌جویی‌های تفصیلی پیشنهاد کرده است. بر این اساس پژوهشگاه صنعت نفت، مطالعه شیل‌های گازی سازندهای شیلی سرگلو و گرو به سن ژوراسیک میانی و کرتاسه زیرین-بالایی در ناحیه لرستان از حوضه رسوبی زاگرس را با همکاری مدیریت اکتشاف در سه فاز ارائه کرده که مطالعه فاز نخست از نیمه دوم سال ۱۳۹۱ در برنامه‌های مطالعاتی پژوهشگاه صنعت نفت قرار گرفته است (نعمتی، ۱۳۹۱).

فصل سوم:

روش‌های قطعی و احتمالی در ارزیابی پتروفیزیکی

### ۳-۱- مقدمه

به فرآیند تفسیر لایه‌های زمین‌شناسی جهت تعیین توانایی آن‌ها در تولید هیدروکربور، ارزیابی سازند<sup>۱</sup> گفته می‌شود که مستلزم آنالیز داده‌های چاه‌پیمایی است. ارزیابی پتروفیزیکی توسط لاگ‌های چاه‌پیمایی جهت تخمین پارامترهای اهداف مطالعاتی به دو روش عمده‌ی قطعی<sup>۲</sup> و احتمالی تقسیم می‌شوند. در گذشته استفاده از لاگ‌های چاه‌پیمایی تنها به منظور محاسبه‌ی تخلخل، اشباع آب و در مواردی تراوایی سازندها بود. بعدها با پیشرفت ابزارهای چاه‌پیمایی که امکان تعیین لیتولوژی را فراهم می‌کرد، اهمیت اجزاء تشکیل دهنده سنگ و میزان آن‌ها افزایش یافت. هدف از این گونه ارزیابی، تقسیم حجم کل سنگ به تخلخل و کانی‌های تشکیل دهنده‌ی سازند است. در این فصل مفهوم این دو روش معرفی می‌شوند.

### ۳-۲- روش قطعی

روش سنتی ارزیابی سازند، محاسبه‌ی یک سری معادلات به صورت زنجیروار است. برای مثال فرآیند زیر یک نمونه معمول در ارزیابی پتروفیزیکی است:

- محاسبه حجم شیل یا رس
- محاسبه تخلخل
- محاسبه درصد اشباع آب و هیدروکربن

البته برای محاسبه‌ی مجهولات هر مرحله می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده نمود. مثلاً حجم شیل را می‌توان با استفاده از لاگ گاما یا SP استخراج کرد. در قدم بعدی تخلخل محاسبه می‌گردد که وابسته به پاسخ

<sup>1</sup> Formation evaluation

<sup>2</sup> Deterministic approach



معادله‌ی قبل (حجم شیل) است. نهایتاً درصد اشباع آب محاسبه می‌گردد که به حجم شیل و تخلخل بدست آمده از مراحل قبلی بستگی دارد.

تا حدودی نتایج بدست آمده از هر مرحله توسط نتایج مرحله‌ی قبل تعیین می‌گردد. از این فرآیند تحت عنوان آنالیز قطعی یاد می‌شود. نتایج روش‌های قطعی کیفیت پایینی دارند که یک مثال آن می‌تواند محاسبه تخلخل در یک ناحیه گازی باشد. در هر قدم از زنجیره‌ی فرآیند قطعی، تنها یک ویژگی سازند و پاسخ تولیدی آن در یک یا حداکثر دو دستگاه اندازه‌گیری در نظر گرفته می‌شود. از جمله شدت اشعه گاما که معمولاً تنها تابعی از شیل و نه دولومیت و فلدسپات در نظر گرفته می‌شود. در اینجا معادلات پاسخ برای اندازه‌گیری‌ها تنها اثر یک پارامتر را وارد نموده و باقی اثرات را نادیده می‌گیرد (Multimin, 2009).

در ارزیابی پتروفیزیکی به روش قطعی، حل سیستم معادلات جایگزینی برای حل زنجیروار معادلات می‌باشد. معادلات پاسخ به همراه معادله بالانس جرم<sup>۳</sup> را می‌توان به عنوان سیستم معادلاتی با حجم بخش‌های مختلف سنگ به عنوان مجهول در نظر گرفت. این سیستم را می‌توان به روش‌های مختلف ریاضیاتی حل نمود. مزایای این رویکرد در زیر ذکر شده است:

- تمام مجهولات به صورت همزمان حل می‌شوند به همین دلیل صورت کامل معادلات پاسخ در سیستم ظاهر می‌شوند (برای مثال تأثیر بخش متخلخل سازند بر روی پرتو گاما دیگر نادیده گرفته نمی‌شود).
- امکان بیشتری جهت اعمال قیودی که در مورد گستره‌ی قابل قبول برای مجهولات وجود دارد، فراهم می‌شود. برای مثال با جایگزین کردن صفر به جای مقادیر منفی به دست آمده تفسیر آماری را به فرآیند ارزیابی اضافه می‌کند.
- خطاهای تجمعی در روند زنجیروار کاهش می‌یابد.

---

<sup>3</sup> Material balance

### ۳-۳- روش‌های احتمالی

#### ۳-۳-۱- معرفی روش‌های احتمالی

در سال ۱۹۸۰، مایر و سیبیت روش جدیدی را جهت بررسی پتروفیزیکی ارائه کردند. آنها در مطالعاتشان بر روی پاسخ ابزار اندازه‌گیری نمودارهای چاهی، بر روی محیط نمودارگیری تمرکز کردند و مقدار پاسخ را برای تخمین هر اندازه‌گیری در رشته نمودارگیری با در نظر گرفتن تاثیر مقدار کانی‌ها و سیالات بر گیرنده‌ها تهیه نمودند. این مقادیر جهت حصول محتمل‌ترین تطابق میان مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده در سراسر مدل تنظیم می‌شوند. برای مثال مقدار اندازه‌گیری یا مشاهده شده پاسخ نمودار چگالی سازند توسط معادله زیر مدل یا تخمین زده می‌شود.

$$\hat{\rho}_b = \rho_{oil}V_{oil} + \rho_{fw}V_{fw} + \rho_{qtz}V_{qtz} + \rho_{cal}V_{cal} + \rho_{dol}V_{dol} + \rho_{wcs}V_{wcs} \quad (1-3)$$

که در آن  $\rho$  چگالی برای کانی‌های مختلف  $V$  درصد حجم آن‌ها می‌باشد. در اینجا محدودیتی برای تعداد ترکیبات وجود نداشته و می‌توان این تعداد را انتخاب نمود. یک انتخاب مناسب می‌تواند مقدار مدل شده یا تخمین مطلوبی نزدیک به مقدار اندازه‌گیری شده را برای چگالی سازند نتیجه دهد.

$$\hat{\rho}_b = \rho_b \quad (2-3)$$

در الگوریتم قطعی، تعداد معادلات برابر با تعداد خواص مجهول سازند است. در روش احتمالی تعداد معادلات از مجهولات بیشتر است. این بدین معناست که تعداد لاگ‌های چاه‌پیمایی در کم‌ترین حالت برابر با تعداد کانی‌ها و مؤلفه‌های دیگر سنگ است. یعنی هیچ جواب دقیقی در تمام معادلات صدق نمی‌کند.

#### ۳-۳-۲- مدل‌های سنگی

ایجاد یک مدل در روش احتمالی به میزان اندازه‌گیری‌های موجود جهت تخمین مجهولات بستگی دارد. مدل چند مینرالی (چندین کانی) با استفاده از اجزاء متفاوت سیال و ماتریکس ایجاد می‌شود و هر مدل از نمودارهای

ورودی متفاوت جهت ایجاد معادلات همزمان استفاده می‌کند. مهمترین عامل موثر در تعیین نوع مدل میزان اطلاعات ورودی است، هر چه تعداد لاگ‌ها بیشتر و اطلاعات کامل‌تر باشد می‌توان از مدل‌های دقیق‌تر با تعداد مجهولات بیشتر استفاده کرد. برای مثال در صورت وجود داده‌های فراوان در یک چاه می‌توان از مدلی استفاده کرد که حاوی تخلخل مفید و چندین کانی مختلف از جمله کلسیت، دولومیت، کوارتز و کانی‌های رسی همچون کائولینیت و ایلیت باشد و در غیر این صورت از مدل سنگی شامل تخلخل مفید، کربناته و شیل استفاده نمود.

### ۳-۳-۳- توابع پاسخ

در سال‌های اخیر لاگ‌های جدیدی نقش خود را به ارزیابی پتروفیزیکی سازندها باز نموده‌اند. به منظور تعیین لیتولوژی به روش احتمالی، تنها لاگ‌هایی به کار گرفته می‌شوند که به ترکیب کانی‌ها و نه به فاکتورهای دیگر نظیر درصد اشباع سیالات حساسیت نشان می‌دهند. رابطه ریاضی میان درصد حجمی کانی‌های یک سنگ و اندازه‌گیری لاگ‌ها تابع پاسخ نامیده می‌شود. به طور مثال معادله (۳-۱) یک تابع پاسخ است. مقادیر اندازه‌گیری شده توسط برخی از لاگ‌ها مثل پرتو گاما و اثر فتوالکتریک به میزان جرم کانی‌های مربوطه بستگی دارند و نه به حجم آنها و از این رو کسرهای حجمی مجهول در روابط پاسخ آن‌ها در چگالی مخصوص کانی‌ها ضرب می‌شوند. معادلات پاسخ می‌توانند خطی یا غیر خطی باشند. معادله‌ی خطی (۳-۳) میزان پتاسیم را تخمین می‌زند و معادله غیر خطی ریمر<sup>۴</sup> (۳-۴) مربوط به زمان عبور صوت از سازند می‌باشد.

$$K \times \rho_b = K_{fluid} \times \rho_{fluid} \times \phi + K_{carb} \times \rho_{carb} \times V_{carb} + K_{shale} \times \rho_{shale} \times V_{shale} \quad (3-3)$$

$$\frac{1}{\Delta t} = \frac{\phi}{\Delta t_{fluid}} + \frac{(1-\phi)^2}{\Delta t_{matrix}} \quad (3-4)$$

که در آن  $\Delta t_{matrix}$  میانگین سرعت عبور صوت از قسمت‌های مختلف سنگی سازند می‌باشد.

<sup>4</sup> Raymer equation

### ۳-۳-۴ - پارامترهای ناحیه<sup>۵</sup>

در معادلات پاسخ پارامترهای دیگری به جز میزان حجم کانی‌ها نقش بازی می‌کنند. آنها عموماً مقادیر ویژه کمیت‌های اندازه‌گیری شده برای کانی‌های مختلف هستند از جمله چگالی مخصوص. آنها پیش از ارزیابی معین فرض شده و پارامترهای ناحیه‌ای یا سنگ و سیال نامیده می‌شوند که برای یک بازه از یک سازند زمین‌شناسی ثابت فرض می‌شوند.

از منابع مختلفی جهت استخراج پارامترهای ناحیه استفاده می‌شود:

- در انتشارات و هندبوک‌های شرکت‌های چاه‌پیمایی و غیره. برای مثال چگالی مخصوص کانی‌های مختلف از چنین منابعی قابل دسترسی است.
- با مطالعه لاگ‌های مختلف می‌توان مقدار برخی پارامترها را آشکار نمود. برای مثال در لایه‌هایی که میزان شیل نزدیک به صد در صد است پارامترهای ناحیه‌ای شیل قابل تعیین است.
- آنالیز لاگ‌ها در صورت وجود مغزه به آن کالیبره می‌شود. به طور کلی توصیفات زمین‌شناسی بر اساس مغزه‌ها و خرده‌های حفاری کانی‌های موجود در سازند را آشکار می‌کند. مقایسه تخلخل مغزه با تخلخل به دست آمده از نتایج چاه‌پیمایی ممکن است نشان‌دهنده‌ی آن باشد که مقدار پارامترهای ناحیه‌ای لاگ‌های تخلخل، نادرست است.
- در مطالعات میدانی که چندین چاه در یک دوره‌ی زمانی خاص مورد بررسی قرار می‌گیرند، تجارب به دست آمده از تفسیر یک چاه از جمله مدل لیتولوژی و پارامترهای ناحیه قابل انتقال به چاه دیگر است.
- بازخوردی میان پارامترهای ناحیه و نتایج حاصل از آنالیز مدل وجود دارد به این شکل که در صورت وجود اختلاف میان مقادیر اندازه‌گیری شده و پاسخ تئوری، این اختلاف با تغییر پارامترهای زون قابل کاهش است (Barlai and Crain, 2012).

---

<sup>5</sup> Zone parameters

### ۳-۳-۵- زون‌های مورد بررسی

آنالیز کمی لیتولوژی در یک چاه در بازه‌ای صورت می‌پذیرد که از لحاظ تولید هیدروکربن اهمیت دارد و عموماً بخش‌های مخزنی و برخی بازه‌های مجاور را شامل می‌شود که ممکن است از لحاظ سنگ شناسی همگن باشند، اما معمولاً چند سازند زمین‌شناسی با سن و ترکیبات کانی شناسی مختلف را در بر می‌گیرد. ترکیبات و مدل‌های سنگ و پارامترهای ناحیه بایستی به صورت مجزا بر روی این سازندها اعمال شود.

زون‌بندی بازه‌های تفسیر شده بر اساس تغییرات زمین‌شناختی تحت عنوان سازندها یا بخش‌های مختلف صورت می‌پذیرد.

احتیاج به تعریف نواحی مختلف ممکن است تحت تأثیر مسائل فنی باشد. یعنی در برخی نواحی تفسیر شده که کیفیت لاگ‌های موجود مناسب نباشد. برای مثال احتمال دارد برخی از لاگ‌ها به دلیل اثرات دهانه‌ی چاه نامفید باشند. در این صورت در آن بازه کاهش داده‌های ورودی به معنای کاهش غنای خروجی و عدم به کارگیری مدل جزئی‌تر است.

نواحی مختلف با بازه‌ی عمقی خود شناسایی می‌شوند. برای زون‌های مختلف می‌توان از یک کانی خاص با پارامترهای مختلف استفاده نمود اما در نمایش خروجی در تمام نواحی به یک صورت نمایش داده می‌شود.

### ۳-۳-۶- اصول روش احتمالی

برای ارزیابی پتروفیزیکی با رویکرد احتمالی مراحل زیر طی می‌شود:

- یک شاخص عدم انسجام<sup>۶</sup> برای ارزیابی کیفیت هر کدام از جواب‌های تخمینی سیستم معادلات تعریف می‌شود.

---

<sup>6</sup> Incoherence

- یک مسأله بهینه‌سازی برای یافتن مجموعه جواب‌هایی که بهترین مقدار کیفیت را ایجاد می‌کند، تعریف می‌شود.

- حدود بالا و پایین حجم کانی‌ها تعیین می‌شوند.

- روش‌های پیشرفته ریاضیاتی برای حل مسأله بهینه‌سازی به کار برده می‌شود و مجموعه‌ی مقادیر کانی‌ها به همراه شاخص کیفیت مربوطه تعیین می‌گردد.

شاخص عدم انسجام با آزمودن تطابق اندازه‌گیری‌های واقعی و اندازه‌گیری‌های مدل شده برای هر لاگ محاسبه می‌شود. خطای مربوط به هر لاگ چاه‌پیمایی و هر جواب به وسیله‌ی تابع پاسخ تعیین می‌گردد. عوامل این خطا بدین شرح است:

- اثرات محیطی: بزرگ شدن یا تغییر شکل دهانه چاه، تأثیرات گل حفاری و ...

- خطاهای ناشی از اصول اندازه‌گیری (طبیعت تصادفی انتشار رادیواکتیو)

- خطاهای ناشی از تطبیق عمق و اثرات اختلاف عمق بررسی برای ابزارهای مختلف چاه‌پیمایی

- به علاوه انتخاب مدل لیتولوژی و پارامترهای ناحیه‌ای خطا را افزایش می‌دهد.

تمامی منابع خطا با یکدیگر جمع شده و یک خطای تصادفی را ایجاد می‌کنند که به صورت یک توزیع نرمال با مقدار میانگین صفر و انحراف از معیار  $S_i$  برای  $i$ -امین اندازه‌گیری و جواب فرض می‌شود.

شاخص عدم انسجام به صورت زیر تعریف می‌شود (barlai and Crain, 2012):

$$I^2 = \frac{1}{nf} \times \sum_{i=1}^n \frac{(b_i - b_{th,i})^2}{\sigma_i} \quad (5 - 3)$$

که در آن  $b_i$  مقدار اندازه گیری شده توسط لاگ  $-i$ ،  $b_{th,i}$  مقدار محاسبه شده توسط تابع پاسخ برای لاگ  $-i$ ،  $\sigma_i$  انحراف از معیار خطا برای  $-i$  امین اندازه گیری و  $nf$  درجه آزادی می باشد که برابر با تعداد لاگ های چاه پیمایی به علاوه ی یک، منهای تعداد مجهولات است.

در مواردی خاص می توان از مدل ساده ای همچون مدل یک ماسه سنگ که از سه مؤلفه تشکیل شده است (تخلخل، کوارتز و شیل)، استفاده کرد. اما در شرایط واقعی ترکیبات و کانی های بیشتری یک سنگ را تشکیل می دهند، مثل کلسیت، سیلت، رس و کانی های آهن دار و ... . تمام این موارد را می توان ارزیابی کرد ولی تعداد آنها از تعداد معادلات بیشتر خواهد شد. در چنین حالتی از مدل های چندگانه استفاده می شود که در آنها تعداد معادلات از تعداد مؤلفه های تشکیل دهنده سنگ بیشتر است.

خاصیت چند جوابی بودن این سیستم ارزیابی باعث می شود تا با بررسی شاخص های عدم انسجام، مناسب ترین مدل را انتخاب کرد. به عنوان یک اصل، مدلی که دارای کمترین شاخص عدم انسجام است، از اعتبار بیشتری در یک عمق خاص برخوردار می باشد. با این وجود در شرایط خاصی می توان از مدل های دیگری نیز استفاده نمود:

- جهت رعایت پیوستگی لایه های زمین شناسی و تولید بازه های همگن که نیازمند مقایسه مدل انتخابی با مدل سنگی نقاط نزدیک است، می توان مدل دارای شاخص عدم انسجام بیشتر اما سازگارتر با محیط را انتخاب نمود.

- اگر لیتولوژی مدل انتخاب شده با نتایج فراهم شده توسط منابع دیگر مانند مغزه همخوانی نداشته باشد (barlai and Crain, 2012).

عموماً ارزیابی پتروفیزیکی با روش احتمالی در یک چرخه صورت می پذیرد: در ابتدا نوع کانی ها، مدل سنگی و پارامترهای ناحیه انتخاب می شوند. سپس تفسیر صورت می پذیرد و نتایج مورد آزمایش قرار می گیرند. در صورتی که شاخص کیفیت به شکل غیرمنتظره ای مقادیر زیادی داشته باشد، ورودی های مذکور تغییر داده می شوند.

- کانی‌های جدید به مدل اضافه می‌شود.
- مدل‌های سنگی بیشتری استفاده می‌شود.
- پارامترهای ناحیه تغییر داده می‌شود.



فصل چهارم:

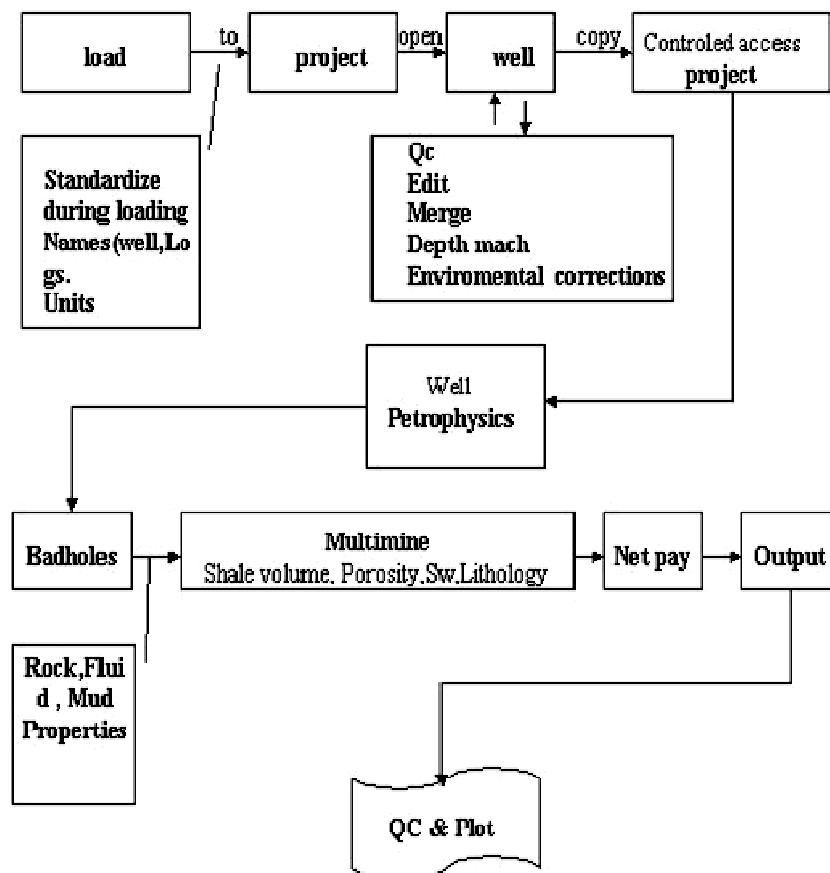
ارزیابی پتروفیزیکی سازند دشتک

#### ۴-۱- مقدمه

سازند دشتک شامل توالی سنگ‌های کربناته، انیدریت و شیل است. مدل‌های نواحی کربناته و شیلی و بخش‌های ترکیبی آن‌ها بایستی به منظور سنجش توان تولیدی هر یک از بخش‌ها با آنالیز احتمالی بررسی گردد. در این فصل، نتایج حاصل از ارزیابی داده‌های چاه‌پیمایی سازند دشتک در چاه 2SK-1 به روش احتمالی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

#### ۴-۲- الگوی کار

جهت آنالیز نمودارها از مدل احتمالی موجود در نرم افزار Geolog به نام Multimin استفاده گردید. این مدل روابط را برای حصول نوع کانی‌های موجود، تخلخل و اشباع آب بر اساس مدل‌های موجود حل می‌نماید. در این حالت، مدل شامل دسته‌ای از اندازه‌گیری‌ها (نمودارها) بوده که بعنوان ورودی در نظر گرفته می‌شوند. بعلاوه دسته‌ای از مجهولات وجود داشته که باید حل شوند. همچنین برای هر مدل محدودیت‌ها و ضرایب احتمالی آن - با توجه به عدم قطعیت مربوط به هر پارامتر ورودی - باید مشخص شود. همواره در انتهای یک ارزیابی پتروفیزیکی نتایج با اندازه‌گیری‌های مغزه، توصیف مغزه یا نمودارهای گرافیکی چاه در صورت وجود هر یک از آن‌ها مقایسه و مطابقت داده شود. از آن جایی که تا کنون مطالعه‌ای بر روی سازند دشتک صورت نپذیرفته است، از انجام آن صرف نظر می‌شود. شکل ۴-۱ مراحل انجام کار از ورود اطلاعات تا تفسیر داده‌های پردازش شده را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱: مراحل انجام ارزیابی پتروفیزیکی در این مطالعه توسط نرم افزار Geolog

در این تحقیق از اندازه گیری های لاگ های شدت پرتو گاما، مقاومت ویژه عمیق و کم عمق، لاگ های تخلخل شامل صوتی، دانسیته نوترون در چاه 2SK-1 که به عنوان ورودی های مدل در نظر گرفته می شوند، برای بررسی سازند دشتک مورد استفاده قرار گرفته اند. با توجه به آن ها مدل های مختلف تنظیم گشته و پارامترهای سنگ و سیال و هم چنین کانی های رسی سازند استخراج شده اند.

دمای لایه‌های زمین‌شناسی که با افزایش عمق زیاد می‌شود باعث ایجاد خطا در مقادیر اندازه‌گیری شده توسط لاگ‌ها می‌شود. بنابراین بایستی تغییرات دما در محیط تحت الارضی را محاسبه و در تصحیحات لاگ‌ها لحاظ نمود. با در اختیار داشتن دمای سازندهای کنگان و دالان (به ترتیب ۲۲۶ و ۲۳۲ درجه فارنهایت)، میزان گرادیان زمین گرمایی در حدود ۱۷ درجه سانتیگراد بر کیلومتر تخمین زده می‌شود (Tehran Energy Consultants, 2004).

#### ۴-۳- تصحیحات لاگ‌های چاه‌پیمایی

قبل از به کارگیری لاگ‌ها جهت تفسیر پتروفیزیکی بایستی تصحیحات محیطی بر روی آن‌ها اعمال شود تا در شرایط استاندارد که ابزار اندازه‌گیری به منظور آن رانده شده قرار گیرند. هر کدام از اندازه‌گیری‌های صورت گرفته نیازمند تصحیحات خاص خود هستند. برای مثال برای لاگ‌های مقاومت ویژه، بایستی تصحیحات دهانه چاه و نفوذ گل صورت پذیرد و در صورت نیاز از شیب سنج برای اعمال تصحیحات در چاه‌های افقی استفاده شود. تصحیحات لاگ دانسیته شامل سایز دهانه چاه می‌شود در حالی که برای اندازه‌گیری‌های نوترون، دما، فشار و تعداد زیادی از پارامترهای چاه و سازند بایستی مد نظر قرار گیرد. برای اعمال تصحیحات ممکن است از روش‌های دستی، جداول یا نرم افزارها استفاده شود. در این مطالعه تصحیحات لاگ‌های گاما، نوترون، دانسیته و مقاومت ویژه توسط نرم افزار Geolog 6.7 انجام گرفت.

#### ۴-۴- مدل‌ها

در بررسی سازند دشتک در میدان سلمان با توجه به تناوب لایه‌های مختلف آهکی، دولومیتی، شیلی و تبخیری (انیدریت) از چندین مدل استفاده گردید. بدین منظور به چندین مسأله برای انتخاب مدل در فواصل عمقی

توجه شده است از جمله داده‌های حفاری که مرز بخش‌های مختلف سازند دشتک را مشخص نموده‌اند و بررسی الگوی تغییرات اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط لاگ‌ها، مطالعات چینه‌شناسی سازند دشتک و در نهایت استفاده از چارت‌ها و نمودارهایی که برای تعیین لیتولوژی استفاده گردیده‌اند.

هم چنین در بخش‌هایی که لاگ‌های دارای بالشتک همچون دانسیته و اثر فتوالکتریک از سوی موقعیت چاه تحت تأثیر واقع شده است از مدل Badhole استفاده گردیده است. نمودار تخلخل نوترون ترمال<sup>۱</sup> توسط نرم افزار ژئولاگ از لاگ نوترون به دست آمد و از معادلات پاسخ آن در این مطالعه استفاده گردید. تمامی مدل‌های عنوان شده جهت حصول تخلخل، اشباع آب، مقدار شیل، مقادیر کانی‌ها و سیالات ترکیب شده، مورد استفاده قرار گرفتند.

#### ۴-۴-۱- تعیین کانی‌های رسی

با استفاده از طیف نگاری اشعه گامای طبیعی<sup>۲</sup> که مقادیر اورانیوم (U)، توریم (Th) و پتاسیم (K) را به طور مجزا تعیین می‌کند، می‌توان نوع کانی‌های رسی را مشخص نمود. برای تعیین نوع کانی‌های رسی، می‌توان از موارد ذیل استفاده نمود:

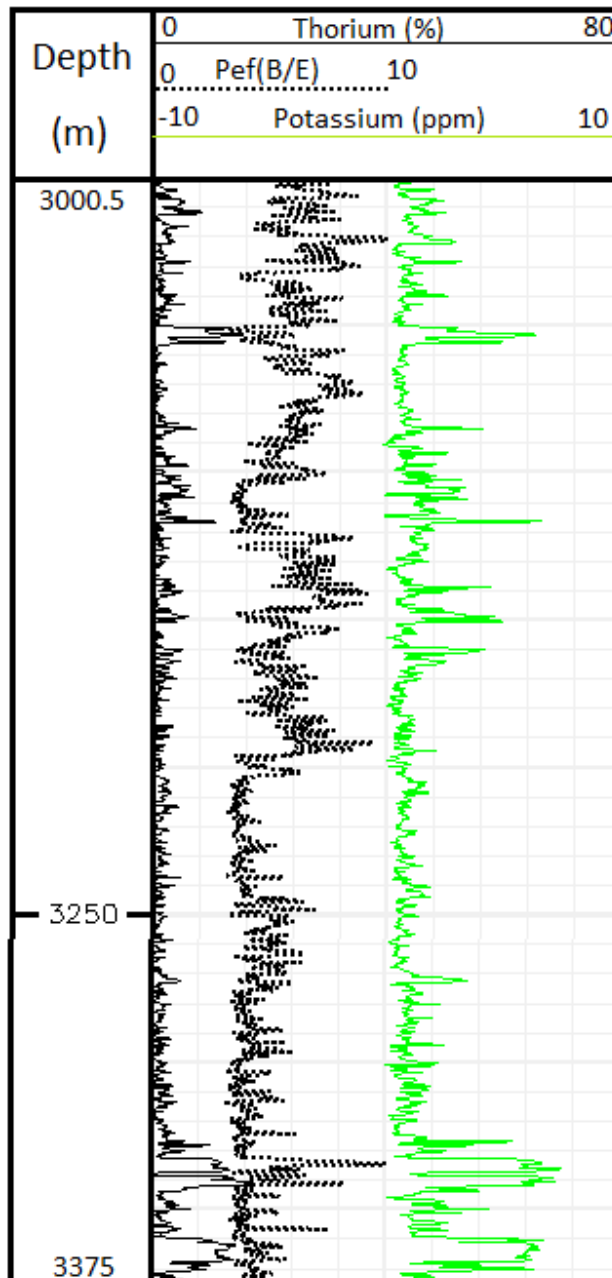
- نمودار متقاطع پتاسیم (K) - اثر فتوالکتریک (Pe)
- نمودار متقاطع Pe - Th/K (شکل ۴-۴)
- نمودار متقاطع K - Th (شکل ۳-۴)
- آنالیز XRD مغزه

به دلیل عدم دسترسی به مغزه، از نمودارهای متقاطع فوق‌الذکر برای تعیین کانی‌های رسی در بخش‌های مختلف سازند دشتک بهره گرفته شد. طیف نگاری پرتو گاما شامل شدت پرتو ناشی از پتاسیم، توریم به همراه

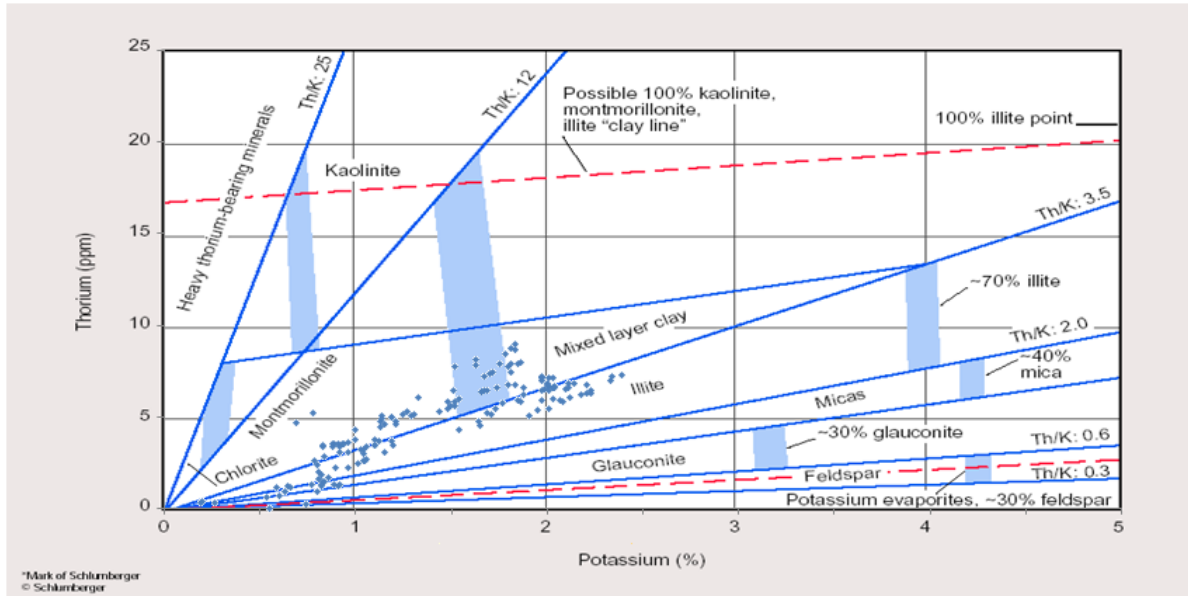
<sup>۱</sup> Thermal neutron porosity

<sup>۲</sup> NGT

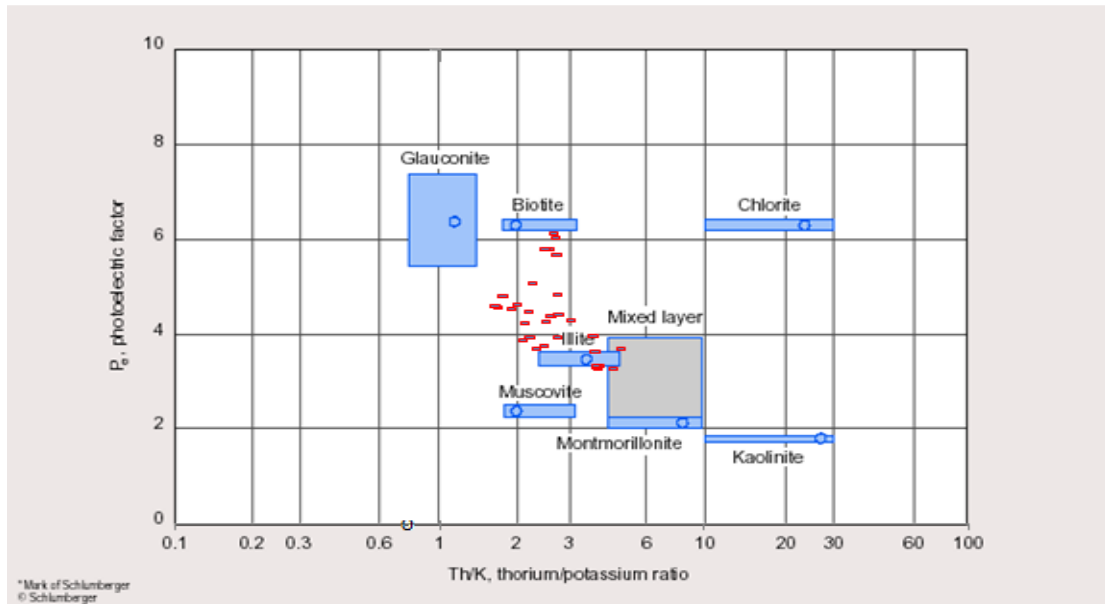
اثر فتوالکتریک از عمق ۳۰۰۰/۵ تا ۳۳۷۵ متری در شکل ۲-۴ به نمایش در آمده است. با نگاشتن میزان این پارامترها بر روی نمودارهای مقاطع  $Pe - Th/K$  و  $K-Th$  می‌توان نوع کانی رسی لایه‌های شیلی در بازه‌های عمقی مورد نظر را تعیین نمود (شکل‌های ۳-۴ و ۴-۴).



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



شکل ۳-۴: تعیین کانی‌های رسی در یک لایه شیلی از سازند دشتک توسط نمودار مقاطع توریم-پتاسیم (از عمق ۳۰۵۰ تا ۳۰۵۷ متر)



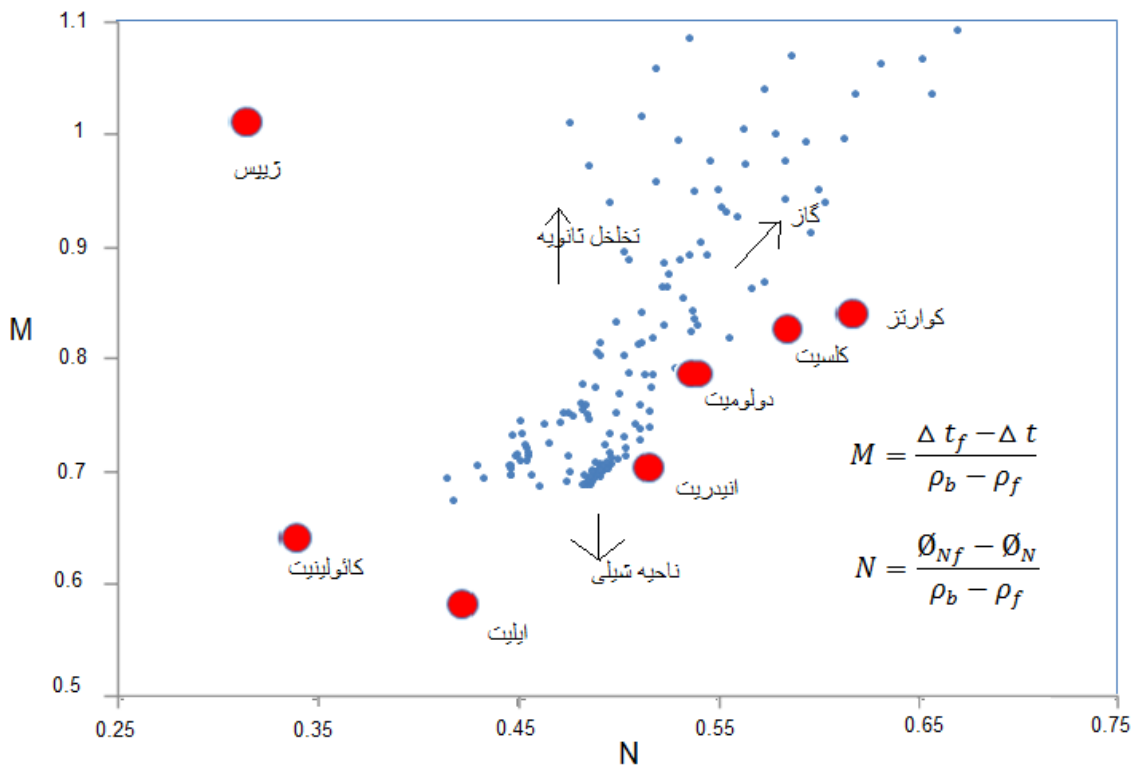
شکل ۴-۴: تعیین کانی‌های رسی بخش سودیر از سازند دشتک توسط نمودار مقاطع Pe- Th/K (از عمق ۳۳۳۲ تا ۳۳۳۵ متر)

وجود باریت در گل حفاری و تأثیرات ناشی از دهانه چاه باعث پایین آمدن دقت لاگ فوتوالکتریک می‌شود. به همین دلیل تعیین کانی‌های رسی از دو نمودار اول با مقداری خطا همراه است. با این وجود با توجه به شکل های ۳-۴ و ۴-۴ می‌توان نتیجه گرفت کانی رسی غالب در سازند دشتک، ایلیت می‌باشد. از این رو کانی ایلیت را می‌توان در مدل پتروفیزیکی سازند دشتک قرار داد.

#### ۴-۴-۲- تعیین لیتولوژی

لیتولوژی سازند دشتک عموماً تناوبی از سنگ‌آهک، دولومیت، انیدریت و شیل می‌باشد. به طور کلی نمودارهای گرافیکی چاه و توصیف مغزه جهت کمک به تعیین ترکیب کانی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و لیتولوژی و کانی‌شناسی می‌تواند از طریق نمودارها و روش‌های متعددی که در سالهای اخیر توسعه یافته‌اند، استخراج شود. برای مثال نمودار متقاطع M-N که از سه لاگ چگالی، نوترون و صوتی برای تعیین لیتولوژی استفاده می‌کند. پارامترهای M و N با توجه به لاگ‌های مذکور به دست می‌آیند و در نمودار استاندارد مربوطه به کار برده می‌شوند. شکل ۴-۵ لیتولوژی قسمتی از بخش فوقانی بخش سازند دشتک معادل با بخش عربی قلیله با استفاده از نمودار M-N را نمایش می‌دهد. با توجه به تنوع لیتولوژی در بخش قلیله، نقاط مورد بررسی در نمودار M-N پراکندگی زیادی از خود نشان می‌دهند. بازه عمقی مورد مطالعه متشکل از شیل و انیدریت و کربناته می‌باشد که پتانسیل گازی بالایی دارد. وجود تخلخل ثانویه مربوط به سنگ‌های کربناته است.





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

#### ۴-۴-۳- پارامترهای سنگ و سیال

میزان در نظر گرفته شده برای پاسخ لاگ‌های اندازه‌گیری به کانی‌های مختلف در این مطالعه در جدول ۴-۱ آورده شده است. این مقادیر خصوصاً کانی ایلیت جهت حصول جوابی بهینه با توجه به مطالعات قبلی صورت گرفته در میدان سلمان انتخاب شده‌اند. جهت تعیین پارامترهای مربوط به کانی‌های کلسیت، دولومیت و انیدریت می‌توان مقادیری را که معمولاً به صورت استاندارد در منابع مختلف از جمله نرم افزار Geolog ذکر شده است، به کار برد. همچنین پارامترهای مربوط به کانی ایلیت با قرائت لاگ‌های مختلف در یک ناحیه شیلی قابل دسترسی است.

جدول ۴-۱: پارامترهای سنگ استفاده شده در مدل‌ها (Tehran Energy Consultants, 2004)

|          | Calcite | Dolomite | Anhydrite | Illite | Units            |
|----------|---------|----------|-----------|--------|------------------|
| RHO_COR  | ۲.۷۱۰   | ۲.۸۴۷    | ۲.۹۷۷     | ۲.۵۰۰  | g/c <sup>3</sup> |
| TNPH     | ۰       | ۰.۰۲۵    | -۰.۰۲۰    | ۰.۲۵۰  | v/v              |
| DT       | ۴۷.۷۹   | ۴۳.۴۹    | ۴۹.۹۹     | ۱۰۱.۹۰ | μs/f             |
| U        | ۱۴.۱۳   | ۹.۶۰     | ۱۴.۹۵     | ۱۰     | B/c <sup>3</sup> |
| GR_COR   | ۱۱      | ۸        | ۵         | ۱۶۰    | GAPI             |
| THOR_COR | ۰       | ۰        | ۰.۲       | ۱۲.۳   | PPM              |
| POTA_COR | ۰       | ۰        | ۰         | ۴.۴۸   | %                |
| CT       | ۰       | ۰        | ۰         | ۰      | MH/M             |
| CXO      | ۰       | ۰        | ۰         | ۰      | MH/M             |

به دلیل در دسترس نبودن داده‌های آنالیز گاز موجود در سازند دشتک، وزن مخصوص گاز در این مطالعه از داده‌های مربوط به سازند کنگان استفاده گردید و مقداری برابر با  $0.6986 \text{ gr/cm}^3$  در نظر گرفته شد.

نرم افزار مولتی‌مین پاسخ لاگ‌های مختلف به سیال‌های آب، گاز و نفت در بخش‌های بکر سازند و زون شسته شده را نیز دریافت می‌کند. با توجه به گرادیان زمین‌گرایی و فشار، این مقادیر بر خلاف پارامترهای سنگ در

هر زون متفاوت می‌باشند در جدول زیر پاسخ لاگ‌های مورد استفاده به این سیالات در زون قلیله فوقانی آمده است (Geolog 6.7, 2007). سیالات پرکننده منافذ در بخش‌های بکر و شسته شده سازند شامل X Gas، X Irrw، X FreeW و U gas می‌باشد که به ترتیب معادل با گاز آزاد، آب کاهش‌نیافتنی و آب آزاد در بخش شسته شده و گاز آزاد و آب کاهش‌نیافتنی در بخش بکر سازند می‌باشند.

جدول ۴-۲: پارامترهای سیال در زون قلیله فوقانی (Geolog 6.7, 2007)

|          | X Gas   | X Irrw | X FreeW | U gas | U Irrw | Units            |
|----------|---------|--------|---------|-------|--------|------------------|
| RHO_COR  | ۰.۱۰۰۹  | ۱.۱۴۶  | ۱.۰۶۳   | ۰     | ۰      | g/c <sup>3</sup> |
| TNPH     | ۰.۴۸۵۳  | ۰.۸۴۸۴ | ۰.۹۱۱   | ۰     | ۰      | v/v              |
| DT       | ۲۵۰     | ۱۸۹    | ۱۸۹     | ۰     | ۰      | μs/f             |
| U        | ۰.۰۲۷۰۴ | ۱.۶۱۴  | ۱.۰۱۳   | ۰     | ۰      | B/c <sup>3</sup> |
| GR_COR   | ۰       | ۰      | ۰       | ۰     | ۰      | GAPI             |
| THOR_COR | ۰       | ۰      | ۰       | ۰     | ۰      | PPM              |
| POTA_COR | ۰       | ۰      | ۰       | ۰     | ۰      | %                |
| CT       | ۰       | ۰      | ۰       | ۰     | ۶۹.۰۷  | MH/M             |
| CXO      | ۰       | ۶۹.۰۷  | ۴۵.۴۵   | ۰     | ۰      | MH/M             |

#### ۴-۵- معادله اشباع آب

یکی از مراحل مهم ارزیابی سازند تعیین درصد اشباع سیالات موجود در فضای خالی آن است که برای تعیین مخازن هیدوکربوری و در نهایت میزان حجم هیدروکربن موجود در واحد حجم سنگ ضروری می‌باشد. به طور

کلی روش‌های مهم تعیین اشباع آب عبارتند از: معادله آرچی (معادله ۴-۱)، معادله اندونزی<sup>۳</sup>، معادله واکسمن-اسمیت، معادله سایمندوکس<sup>۴</sup>، معادله هسین، روش آب دوگانه (Crain, 2011).

در نرم افزار Geolog می توان از معادلات آرچی، اندونزی، واکسمن-اسمیت<sup>۵</sup> و آب دوگانه استفاده نمود. تجربه استفاده از هر یک از معادلات فوق در شیل‌های گازی نشان می‌دهد روش سایمندوکس بهترین جواب‌ها را تولید می‌کند (Crain, 2011). هم چنین با علم بر اینکه دو روش اندونزی و آب دوگانه در ایران کارایی بالایی دارند ولی با در نظر گرفتن این مطلب که این روش‌ها به میزان بسیار زیادی به عدم قطعیت مربوط به پارامتر ظرفیت تبادل یونی حساس هستند و تعیین آن برای شیل لازم و ضروری است، بنابراین ترجیح داده شد که از مدل آرچی جهت محاسبات استفاده شود. معادله آرچی به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$S_w^n = \frac{a \times R_w}{R_t \times \phi^m} \quad (1 - 4)$$

که در آن  $S_w$  درصد اشباع آب،  $a$  ضریب لیتولوژی،  $R_w$  مقاومت ویژه آب سازند بر حسب اهم-متر،  $R_t$  مقاومت ویژه بخش بکر سازند بر حسب اهم-متر،  $\phi$  تخلخل،  $m$  ضریب سیمان‌شدگی و  $n$  توان اشباع می‌باشد. در این مطالعه مقدار اشباع آب با استفاده از رابطه آرچی و مقادیر تخلخل موثر و حجم شیل از طریق روش مولتی مینرال محاسبه گردید. مقاومت ویژه سازند نیز از روی نمودار مقاومت ویژه لاترولاگ عمیق تصحیح شده بدست آمد. بعلت کمبود داده‌های اندیس مقاومت ( $I_R$ )، مقدار توان اشباع برای تمام مخزن برابر ۲ در نظر گرفته شد. هم چنین مقادیر ضریب سیمان‌شدگی برای سازند دشتک، متغیر در نظر گرفته شده است.

به طور کلی دو روش جهت محاسبه ضریب سیمان‌شدگی موجود می‌باشد:

<sup>3</sup> Indonesia

<sup>4</sup> Simandoux

<sup>5</sup> Waxman-smith

۱. داده‌های مغزه

۲. داده‌های چاه پیمایی

از آنجا که در این مطالعه اطلاعات مغزه در اختیار نبود، عملاً امکان استفاده از روش اول میسر نمی‌باشد. لذا از روش دوم استفاده گردید. به منظور تعیین ضریب سیمان‌شدگی از روابط گوناگونی که تابعی از تخلخل سازند می‌باشند و برای جنس سنگ‌های مختلف تنظیم شده‌اند، استفاده می‌شود. با توجه به یکی بودن حوضه رسوبی سازندهای دشتک و کنگان و همچنین در نظر گرفتن این نکته که لیتولوژی هر دو سازند در بخش‌های حاوی هیدروکربن عموماً کربناته می‌باشد از رابطه‌ی زیر که در ارزیابی سازند کنگان جواب مناسبی به دست داده است، استفاده گردیده است (Tehran Energy Consultants, 2004).

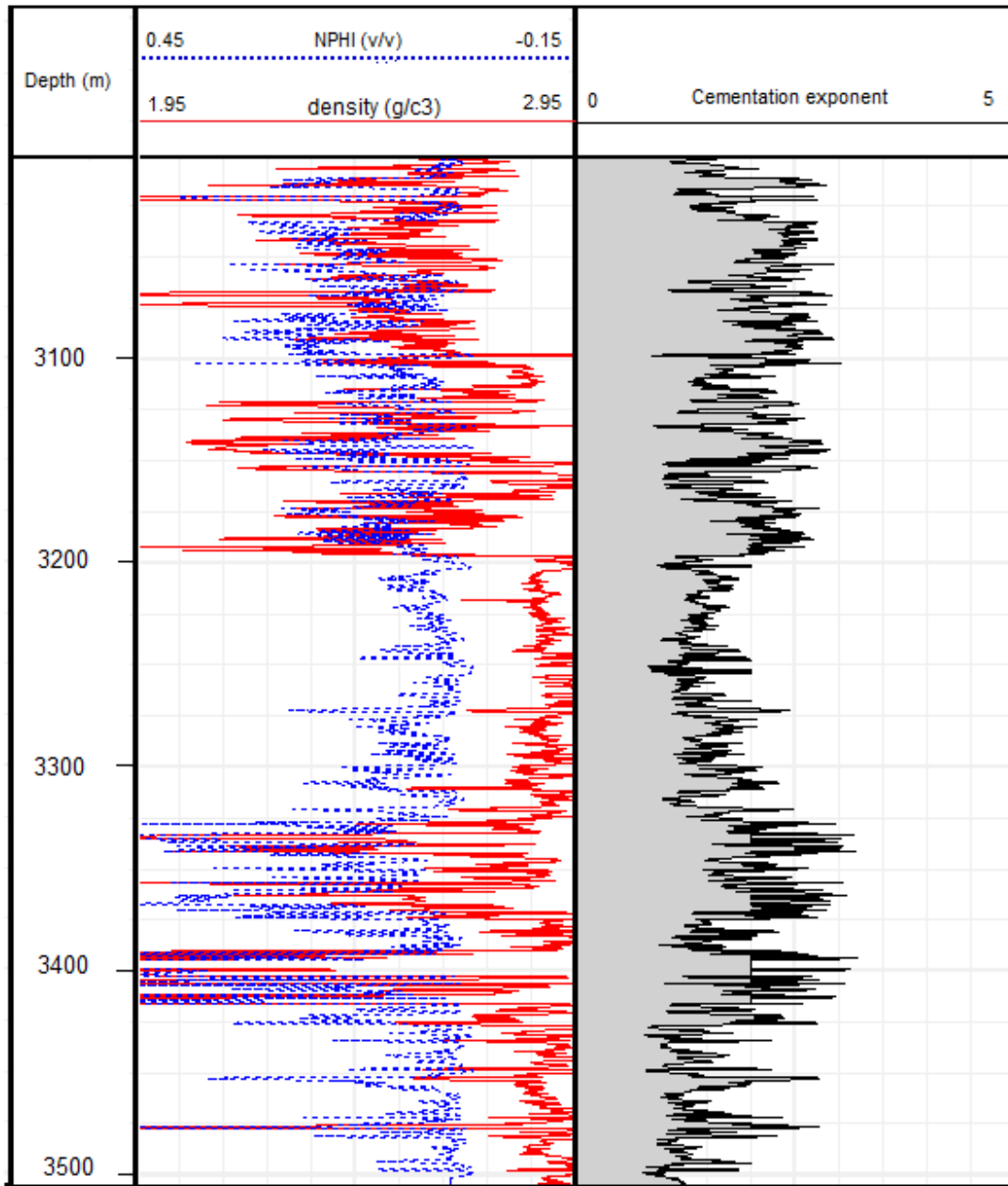
$$m = 4.393 \times \phi^{0.385} \quad (۲ - ۴)$$

بدین جهت تخلخل حاصل از دو لاگ نوترون و چگالی استفاده گردید. تخلخل ناشی از لاگ دانسیته با فرمول زیر بدست می‌آید.

$$\phi_D = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_{fl}} \quad (۳ - ۴)$$

که در آن  $\rho_{ma}$  چگالی خمیره سنگ،  $\rho_b$  چگالی سنگ و  $\rho_{fl}$  چگالی سیال سازند است.

با گرفتن میانگین از تخلخل ناشی از نوترون و چگالی و لاگ تخلخل چشمی، ضریب سیمان‌شدگی بدست آمد. شکل ۴-۶ لاگ ضریب سیمان‌شدگی برای سازند دشتک را نشان می‌دهد که در نرم افزار **multimin** برای مدل‌های مختلف به کار گرفته شد.



شکل ۴-۶: لاگ ضریب سیمان‌شدگی در سازند دشتک

آنالیز آب سازندهای کنگان و دالان نشان می‌دهد شوری آن‌ها برابر با ۲۴۴۴۴۴ ppm می‌باشد که معادل ۰/۰۱۳۵ اهم-متر در دمای مخزن است (Tehran Energy Consultants, 2004). در این مطالعه با توجه به عدم دسترسی به داده‌های مربوط به آنالیز آب سازندی در دشتک از داده‌های کنگان استفاده گردید.

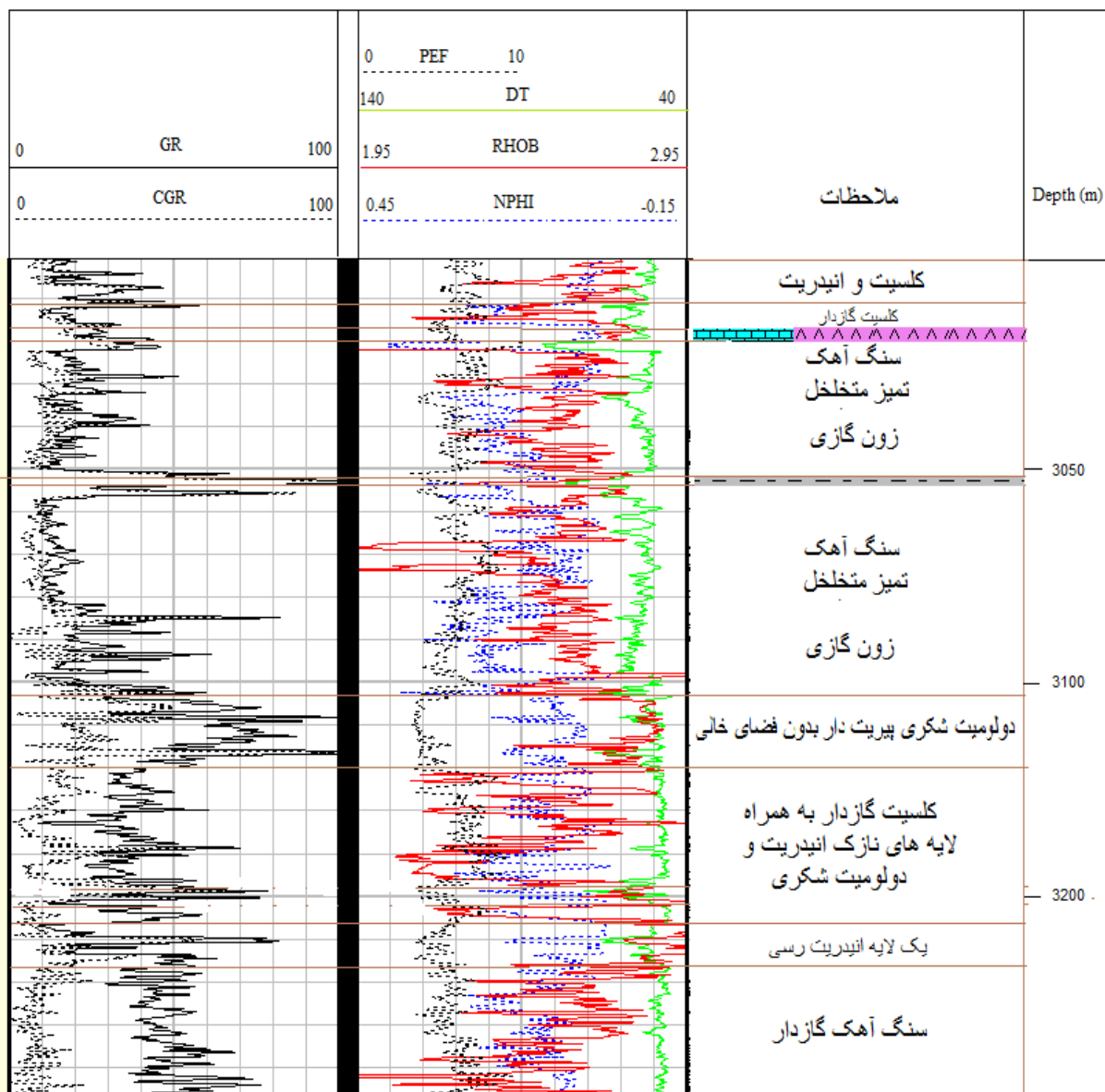
#### ۴-۶- نتایج ارزیابی پتروفیزیکی

ارزیابی پتروفیزیکی بر روی چاه 2SK-1 توسط ابزارهای چاه‌پیمایی LWD صورت گرفت. بازه‌ی این آنالیز از عمق اندازه‌گیری شده (MD) ۳۰۰۰/۵ تا ۳۵۳۴/۵ متر می‌باشد.

رشته نمودارگیری شرکت شلمبرژه شامل نگارهای DLL، MSFL، LDT، NGT و CNL در این تفسیر به کار گرفته شدند. به طور کلی کیفیت این اندازه‌گیری‌ها مناسب در نظر گرفته می‌شود. این ارزیابی برای بخش‌های مختلف سازند توسط مدل‌های گوناگونی در محیط Multimin نرم افزار Geolog صورت گرفت.

#### ۴-۶-۱- بخش قلیله

نتایج آنالیز احتمالی در قلیله فوقانی (بازه‌ی عمقی ۳۰۰۰/۵ تا ۳۱۹۶/۵ متر) که از سنگ‌آهک، دولومیت، چندین لایه شیلی و اندکی انیدریت تشکیل شده است، نشان می‌دهد پتانسیل گازی بیشتری نسبت به سایر بخش‌های دیگر سازند دشتک دارد. با توجه به لاگ NGT نوع کانی رسی، ایلیت در نظر گرفته شد. سیالات گاز و آب غیر قابل استحصال به همراه کانی‌های کلسیت، دولومیت، انیدریت و ایلیت جهت دستیابی به یک جواب بهینه در مدل سنگی منظور گردید. به دلیل کمبود داده‌های مغزه از محاسبه آب محصور در کانی‌های رسی صرف نظر گردید. در این بازه، اندازه‌گیری‌های لاگ‌های چگالی و Pef نشان از کیفیت خوب داده‌ها و عدم تأثیر پذیری از شرایط چاه می‌باشد. این ناحیه با ضخامت ۱۹۶ متر از چندین لایه سنگ‌آهک تمیز، انیدریت و دولومیت و شیل است (شکل ۴-۷). با توجه به نتایج، لایه‌های شیلی قابل توجهی در این بخش وجود ندارد و به طور متوسط ۱۱/۸ درصد از حجم سنگ را شیل (غالباً ایلیت) تشکیل می‌دهد. با توجه به شکل ۴-۷ کسر عمده‌ای از این بخش که پرتو گامای زیادی را تولید می‌کنند دارای چگالی بالا و تخلخل نوترون پایین هستند و لاگ فتوالکتریک حدوداً مقداری معادل با ۵ را می‌خواند. از سوی دیگر لاگ صوتی مقدار کمی را نشان می‌دهد و مقاومت ویژه سازند نیز نسبتاً بالاست. بنابراین شدت پرتو گاما احتمالاً به دلیل وجود کانی کلسیت یا دولومیت حاوی اورانیم به میزان بالا است.

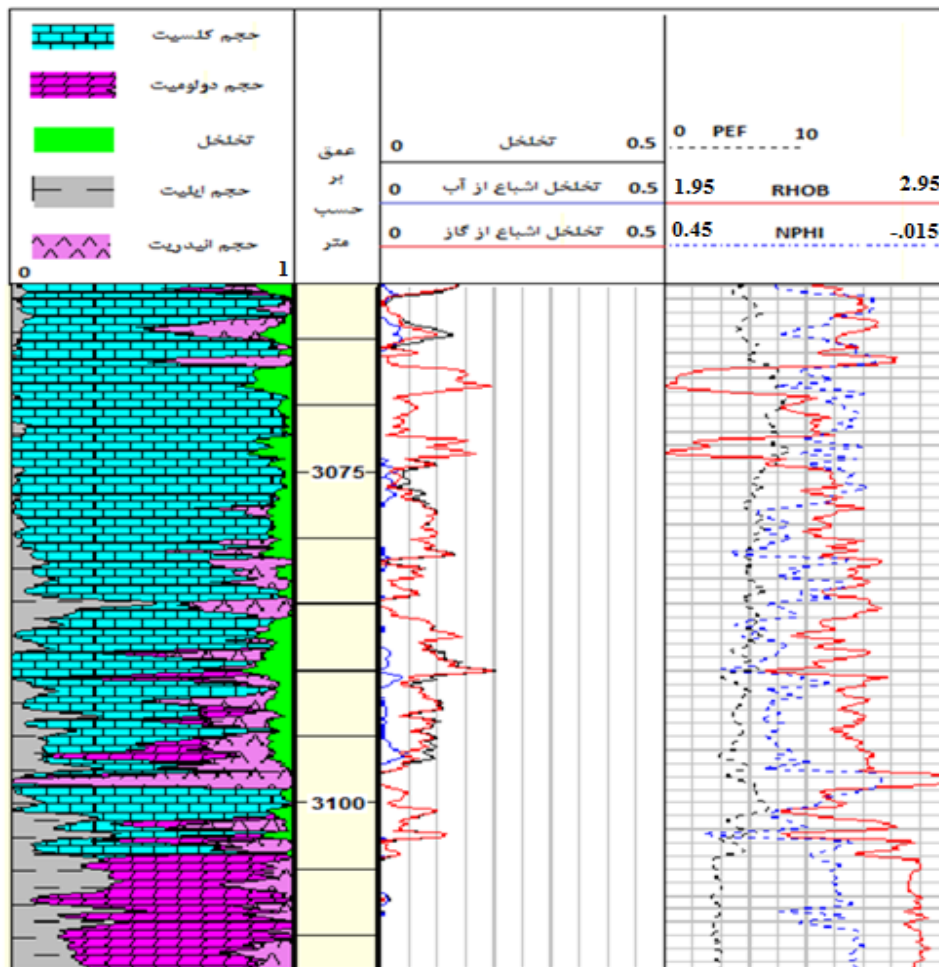


شکل ۴-۷: توالی چینه‌شناسی قلیله فوقانی به ضخامت ۱۹۶ متر

ضخامت لایه‌های آهکی گازدار در قلیله فوقانی حدوداً ۱۶۰ متر می‌باشد. در صد اشباع گاز بالا و کم بودن حجم شیل در کنار گزارشات سابق حفاری مبنی بر وجود گاز در این بخش نشان از پتانسیل گازی بالای آن است (شکل ۴-۸). پارامترهای پتروفیزیکی تخمین زده شده برای لایه‌های مختلف این بخش در جدول ۴-۳ نمایش داده شده است. لیتولوژی غالب قلیله فوقانی کانی سنگ آهک است (شکل ۴-۹) که بر خلاف دولومیت‌های این



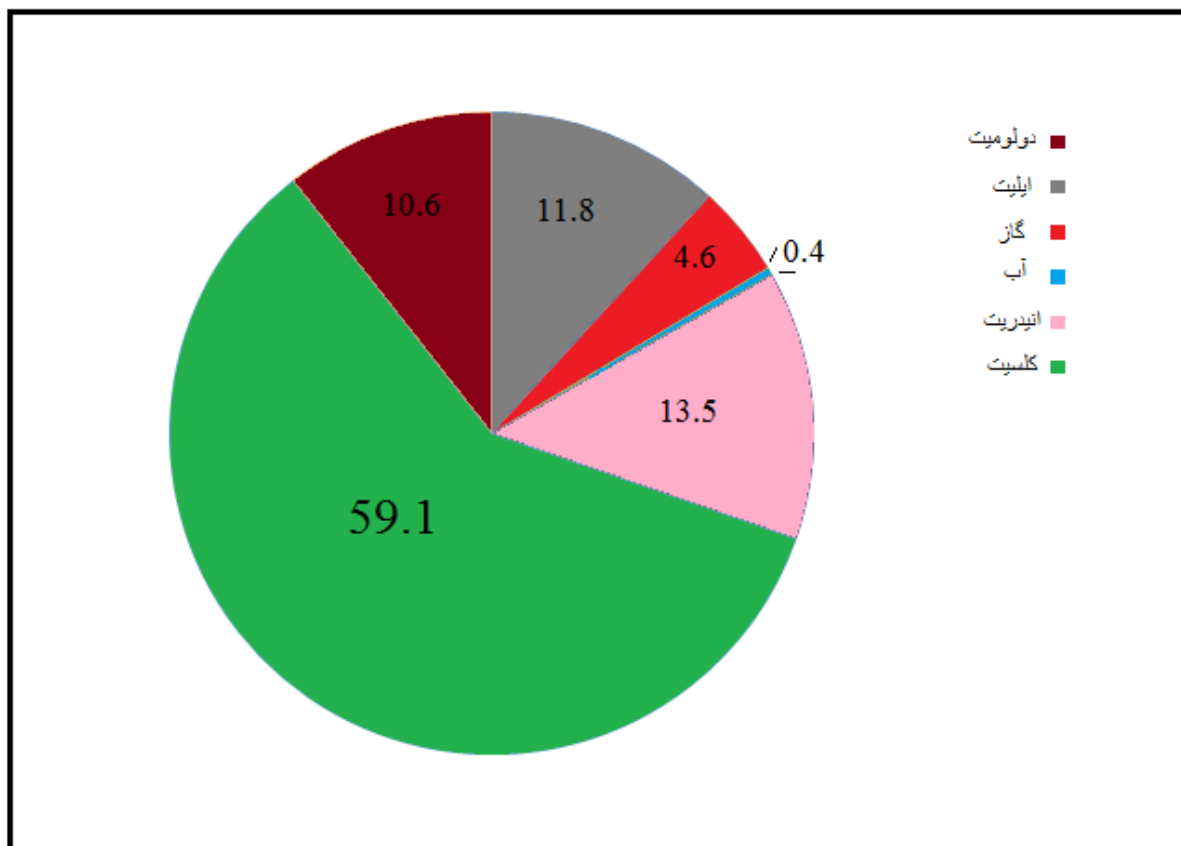
بخش تخلخل نسبتاً خوبی (به طور متوسط ۷ درصد) از خود نشان می‌دهد. بر طبق نتایج درصد اشباع گاز بسیار بالاست.



شکل ۴-۸: نتایج ارزیابی احنمالی قسمتی از بخش قلیله حاوی کانی‌های مختلف

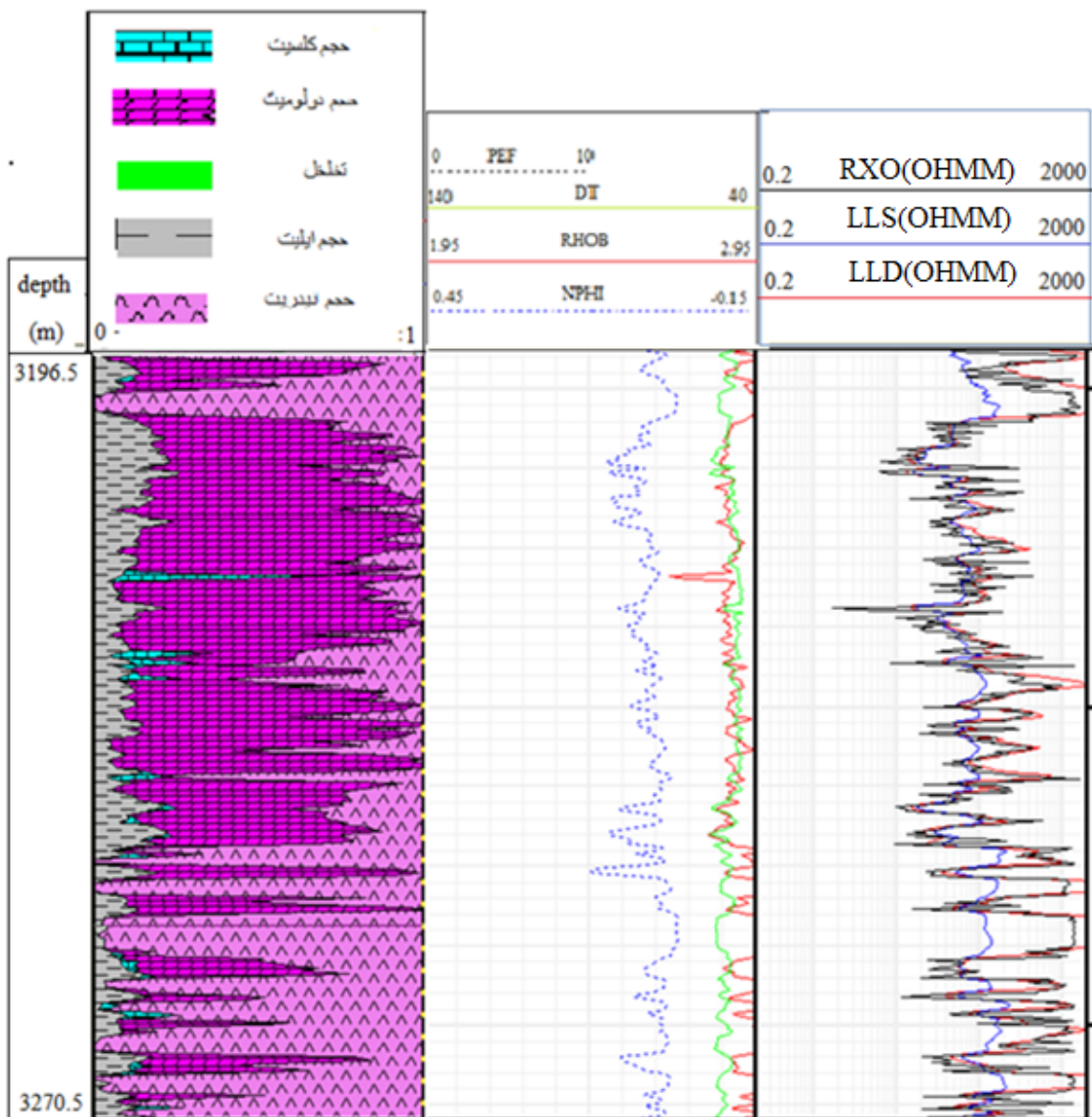
جدول ۳-۴: نتایج پارامترهای پتروفیزیکی مختلف محاسبه شده سازند دشتک در لایه‌های بخش قلیله

| ویژگی<br>لایه    | عمق<br>(متر)   | دمای سازند<br>(فارنهایت) | تخلخل<br>(%) | حجم شیل<br>(%) | تخلخل اشباع<br>از گاز (%) | تخلخل اشباع<br>از آب (%) |
|------------------|----------------|--------------------------|--------------|----------------|---------------------------|--------------------------|
| سنگ آهک انیدریتی | ۳۰۰۰.۵ تا ۳۰۱۱ | ۲۱۰                      | ۳.۳          | ۱۱.۹           | ۳                         | ۰.۳                      |
| سنگ آهک          | ۳۰۱۱ تا ۳۰۱۶   | ۲۱۰                      | ۸.۷          | ۱۲.۶           | ۷.۸                       | ۰.۹                      |
| انیدریت          | ۳۰۱۶ تا ۳۰۲۰   | ۲۱۰                      | ۰            | ۱۵.۸           | ۰                         | ۰                        |
| سنگ آهک          | ۳۰۲۰ تا ۳۰۵۱   | ۲۱۱                      | ۷.۲          | ۸.۴            | ۶.۴                       | ۰.۶                      |
| دولومیت شیلی     | ۳۰۵۱ تا ۳۰۵۵   | ۲۱۱                      | ۱.۶          | ۵۱             | ۱.۱                       | ۰.۵                      |
| سنگ آهک          | ۳۰۵۵ تا ۳۱۰۴   | ۲۱۲                      | ۶.۸          | ۷.۱            | ۶.۲                       | ۰.۶                      |
| دولومیت شکری     | ۳۱۰۴ تا ۳۱۲۰   | ۲۱۳                      | ۰.۵          | ۲۵.۷           | ۰.۴                       | ۰.۱                      |
| سنگ آهک انیدریتی | ۳۱۲۰ تا ۳۱۵۶   | ۲۱۴                      | ۵            | ۹.۷            | ۵                         | ۰                        |
| انیدریت رسی      | ۳۱۵۶ تا ۳۱۶۵   | ۲۱۵                      | ۰            | ۱۷             | ۰                         | ۰                        |
| سنگ آهک          | ۳۱۶۵ تا ۳۱۹۶.۵ | ۲۱۵                      | ۴.۹          | ۹              | ۰                         | ۴.۹                      |



شکل ۴-۹: حجم اجزاء تشکیل دهنده لایه‌های فوقانی بخش قلیله از سازند دشتک، تخمین زده شده توسط آنالیز احتمالی بر حسب درصد.

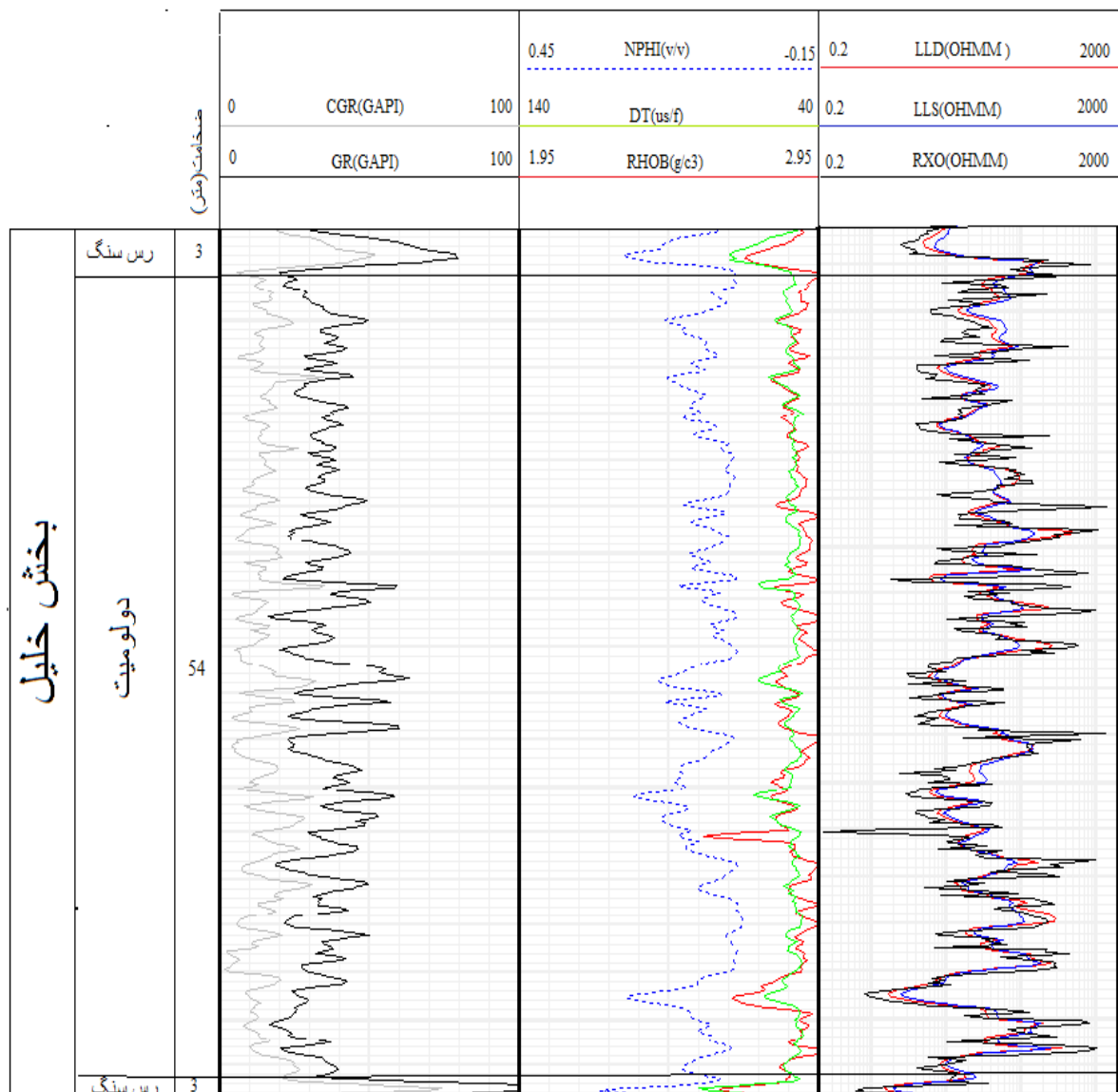
بررسی قسمت تحتانی بخش قلیله نشان می‌دهد دولومیت و انیدریت، لیتولوژی عمده‌ی ۷۴ متر پایینی این بخش را تشکیل می‌دهند. چگالی دو کانی انیدریت و دولومیت بالا می‌باشد و سرعت عبور صوت نیز در آن‌ها پایین است. بر این اساس و با توجه به مقاومت ویژه بالای انیدریت بررسی لاگ‌ها نشان می‌دهد دو لایه‌ی فوقانی و تحتانی قلیله پایینی انیدریت و در بین آن‌ها یک لایه دولومیت وجود دارد. تخلخل این لایه‌ها نزدیک به صفر است و از دیدگاه مخزنی اهمیتی ندارند. ۲۰ متر انتهایی بخش قلیله (از عمق ۳۲۵۰/۸ تا ۳۲۷۰/۵) یک لایه انیدریت شاخص که به آن انیدریت توده‌ای اطلاق می‌شود، وجود دارد (شکل ۴-۱۰).



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

#### ۴-۶-۲- بخش خلیل

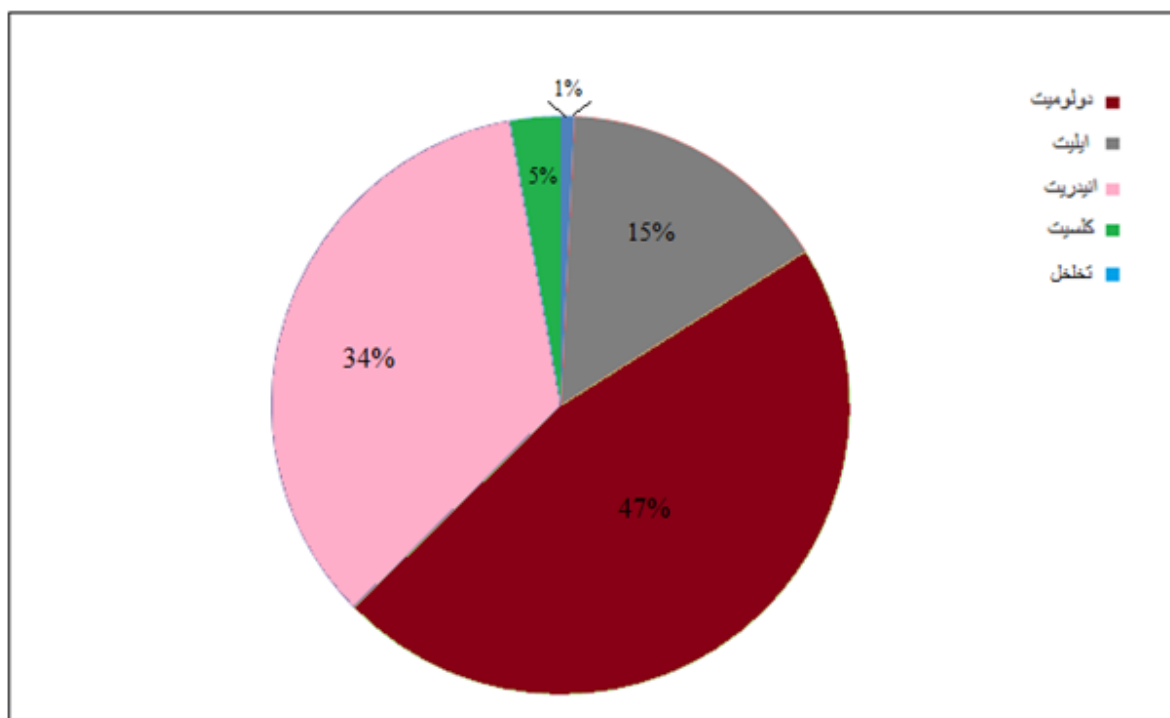
بخش خلیل در چاه 2SK-1 حدوداً از عمق اندازه‌گیری شده ۲۳۷۰/۵ متر با یک پیک لاگ گاما که نشان دهنده رس سنگ فوقانی شاخص آن است آغاز می‌شود. ضخامت بخش خلیل در این چاه حدود ۶۰ متر است (شکل ۴-۱۱).



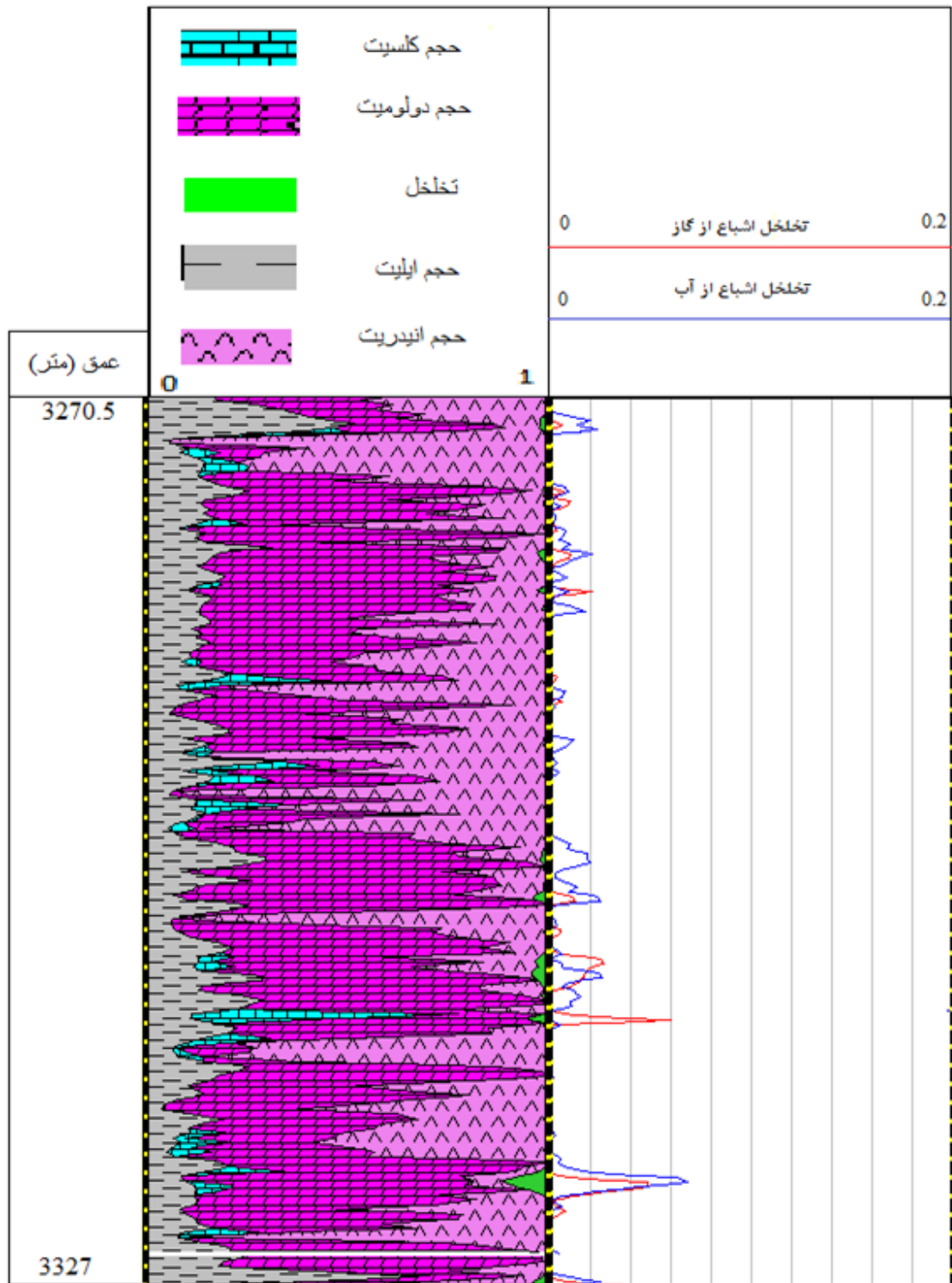
شکل ۴-۱۱: لاگ‌های چاه‌پیمایی مختلف در بخش دولومیتی خلیل

دولومیت لیتولوژی غالب آن و بر اساس پارامترهای پتروفیزیکی تخمین زده شده دارای تخلخل پایین می‌باشد که عمدتاً از آب اشباع (حدوداً ۷۰ درصد) شده است. به نظر می‌آید تخلخل موجود هم کم و بیش مرتبط با کلسیت باشد. معمولاً در گزارشات زمین شناسی این بخش دولومیتی در نظر گرفته می‌شود اما نتایج این مطالعه

نشان می‌دهد انیدریت نیز کسر قابل توجهی از بخش خلیل را تشکیل می‌دهد (شکل ۴-۱۳). قرائت لاگ صوتی در مرزهای فوقانی و تحتانی این بخش در حدود ۶۰ میکرو ثانیه بر فوت است که نشان می‌دهد رس سنگ‌های این بخش مستحکم هستند.



شکل ۴-۱۲: حجم اجزاء تشکیل‌دهنده بخش خلیل از سازند دشتک، تخمین زده شده توسط آنالیز احتمالی بر حسب درصد



شکل ۴-۱۳: نتایج ارزیابی احتمالی بخش خلیل

#### ۴-۶-۳- بخش سودیر

از لحاظ لیتولوژی بخش سودیر را می‌توان متنوع‌ترین بخش سازند دشتک در نظر گرفت. نتایج بررسی پتروفیزیکی چاه 2SK-1 نشان می‌دهد دو لایه نسبتاً ضخیم شیلی در ۴۰ متر فوقانی این بخش وجود دارد که توسط یک لایه دولومیت آهکی به ضخامت تقریبی ۱۵ متر از هم جدا می‌شوند و در ادامه از عمق ۳۳۷۲ متری یک لایه انیدریتی به ضخامت حدوداً بیست متر وجود دارد. پس از آن شیل‌های آهکی و سنگ‌آهک رسی به ضخامت ۳۵ متر در زیر واحد سودیر فوقانی که می‌توان آن را یک زون هیدروکربوری ایده آل به شمار آورد با تخلخل بسیار زیاد وجود دارد. البته این فضای خالی زیاد می‌تواند به دلیل وجود کروژن باشد که در فصل بعد به آن پرداخته می‌شود. به طور کلی شیل‌های بخش سودیر تیره هستند بنابراین گزینه‌هایی محتمل در دارا بودن مواد آلی هستند. بیش از ۱۰۰ متر از انتهای بخش سودیر عمدتاً تناوبی از دولومیت و انیدریت ضخیم لایه است (شکل‌های ۴-۱۴ و ۴-۱۵).

نتایج حاصل از ارزیابی احتمالی بخش سودیر در جدول ۴-۴ آمده است. به غیر از ایلیت که اصلی‌ترین کانی تشکیل دهنده این شیل هاست، کانی کلسیت با افزایش تخلخل ثانویه، نقش مهمی در فضای خالی آن‌ها دارد. لاگ Pef و چگالی در این ناحیه تحت تأثیر ریزش دهانه چاه به علت حجم شیل بالا قرار گرفته‌اند و در واقع badhole می‌باشند. به منظور دستیابی به جوابی بهینه بایستی تأثیر این دو لاگ در محاسبات کم‌رنگ شود. از این رو با بالا بردن عدم قطعیت این گونه لاگ‌ها جواب‌ها به مقادیر واقعی نزدیک می‌شوند (شکل ۴-۱۶). این روند جهت تعیین جواب بهینه ممکن است بارها تکرار شود. مقاومت ویژه پایین لایه‌های شیلی نشان می‌دهد میزان آب محصور به کانی‌های رسی بالاست که با معادله آرچی قابل ارزیابی نیست. در مورد نتایج این ارزیابی بایستی به چند نکته توجه نمود:

- اندازه‌گیری‌های لاگ‌های چاه‌پیمایی به تمامی عناصر تشکیل‌دهنده‌ی سازند وابستگی دارند. از این رو میزان کروژن در آن‌ها منعکس می‌شود. با توجه به این که در مدل‌های پتروفیزیکی لایه‌های شیلی، از

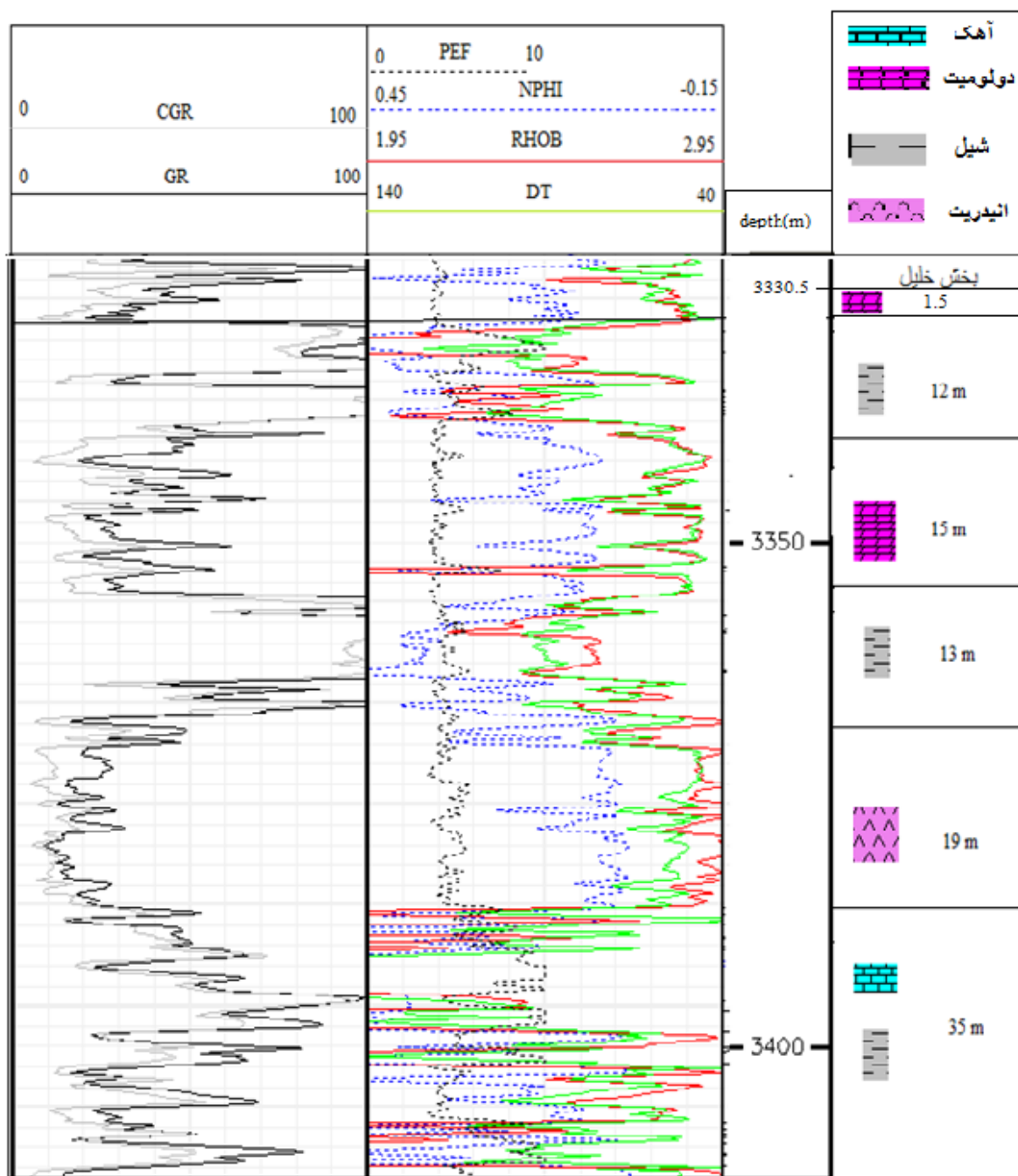


کروژن استفاده نشده است ممکن است به دلیل تشابه خصوصیات فیزیکی تخلخل و کروژن ( از جمله زمان عبور صوت و چگالی ) خطایی بر میزان تخلخل محاسبه شده اضافه کند. در فصل بعد میزان کربن آلی این لایه‌ها بررسی خواهند شد.

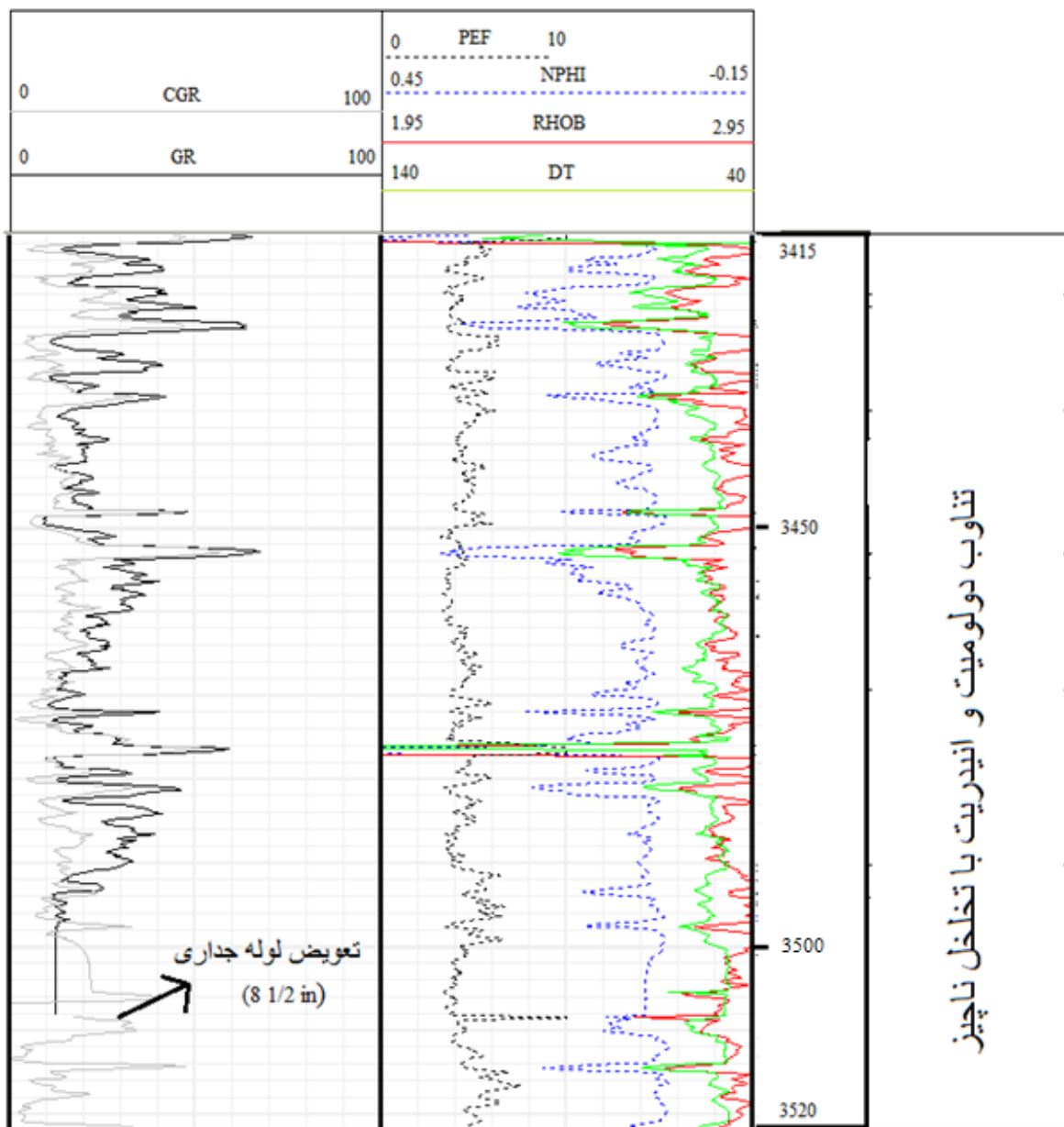
- آب میان رسی یکی از سیالات مهم پرکننده منافذ است. در این جا به دلیل استفاده از رابطه آرچی این پارامتر به شکل دقیقی محاسبه نشده است و بصورت درصد اشباع آب جای داده شده است. از آن جایی که این آب نیز بخشی از فضای خالی کل را تشکیل می‌دهد، یافتن آن به منظور تعیین تخلخل مفید ضروری می‌باشد. پس این که گفته می‌شود تخلخل یک بخش زیاد است لزوماً به معنای تخلخل مفید زیاد نیست. به عنوان مثال لاگ نوترون این آب میان رسی را در محاسبه، تخلخل در نظر می‌گیرد و آن را از تخلخل مفید جدا نمی‌کند.

- در این مطالعه وقتی در مورد اشباع گاز به خصوص در لایه‌های شیلی گزارش می‌شود تنها به گاز آزاد موجود در حفرات اشاره می‌شود. همانطور که در فصل دوم اشاره شد جهت تعیین گاز جذب شده بایستی مطالعاتی بر روی مغزه شیلی صورت پذیرد.

همانطور که ذکر گردید با توجه به نتایج، قسمت تحتانی زیر واحد سودیر فوقانی با تخلخل کل متوسط ۱۶.۵ درصد، درصد اشباع گاز تقریباً ۵۰ درصد و ضخامت ۳۵ متر مستعدترین شیل بخش سودیر است. با توجه به شکل ۴-۱۸ تخلخل در قسمتی از این لایه به شدت افزایش می‌یابد. تمامی لاگ‌های تخلخل مقادیر بالایی را نشان می‌دهند، از جمله لاگ صوتی به ۱۶۰ میکروثانیه برفوت می‌رسد. هرچند قرائت زیاد لاگ کالیبر در این لایه می‌تواند نشان‌دهنده وجود خطایی در نتایج باشد اما تنظیم مدل‌های مختلف با توابع پاسخ و عدم قطعیت آن‌ها جهت حاکی از وجود تخلخل بالاست.



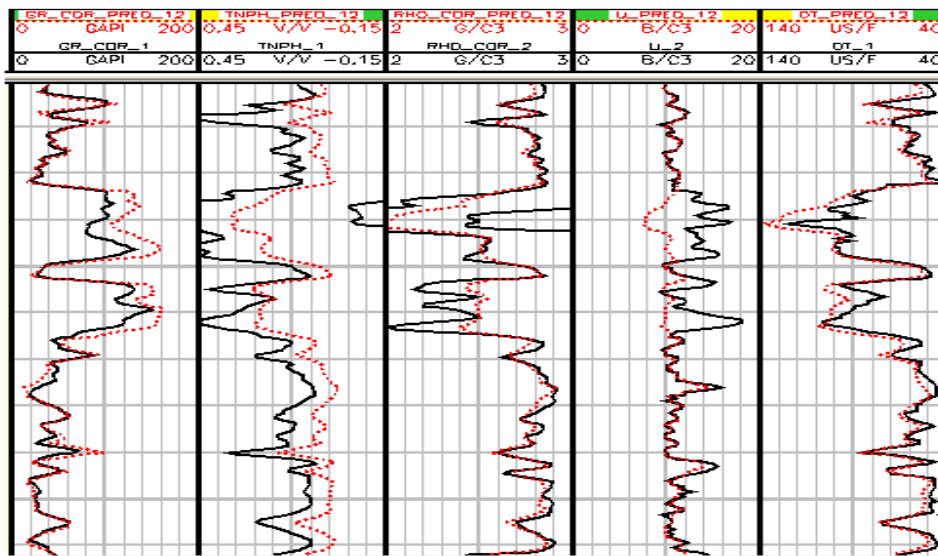
شکل ۴-۱۴: قسمت فوقانی از بخش سودیر با چندین لایه شیلی



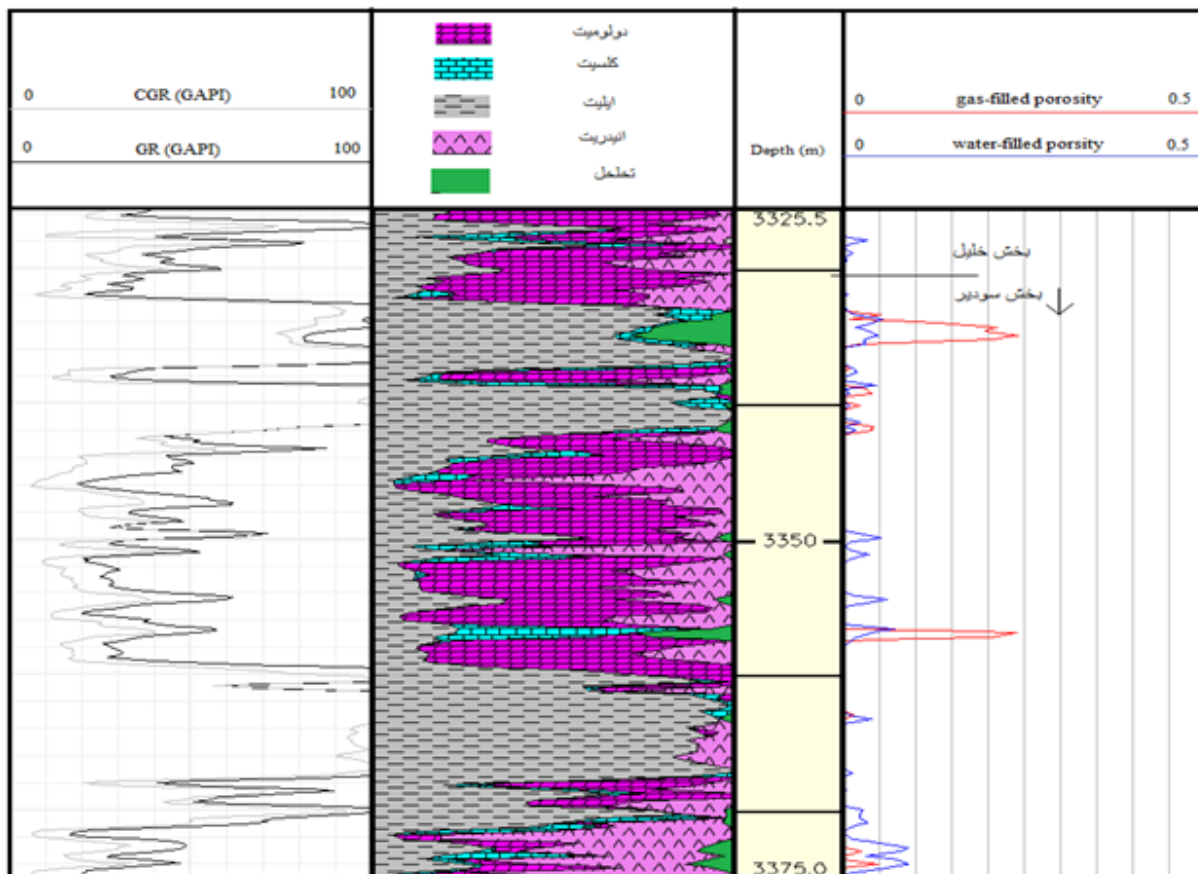
شکل ۴-۱۵: قسمت زیرین بخش سودیر (انیدریت توده‌ای و سودیر تحتانی) با پتانسیل هیدروکربوری پایین

جدول ۴-۴: نتایج حاصل از ارزیابی احتمالی واحدهای تشکیل دهنده سودیر

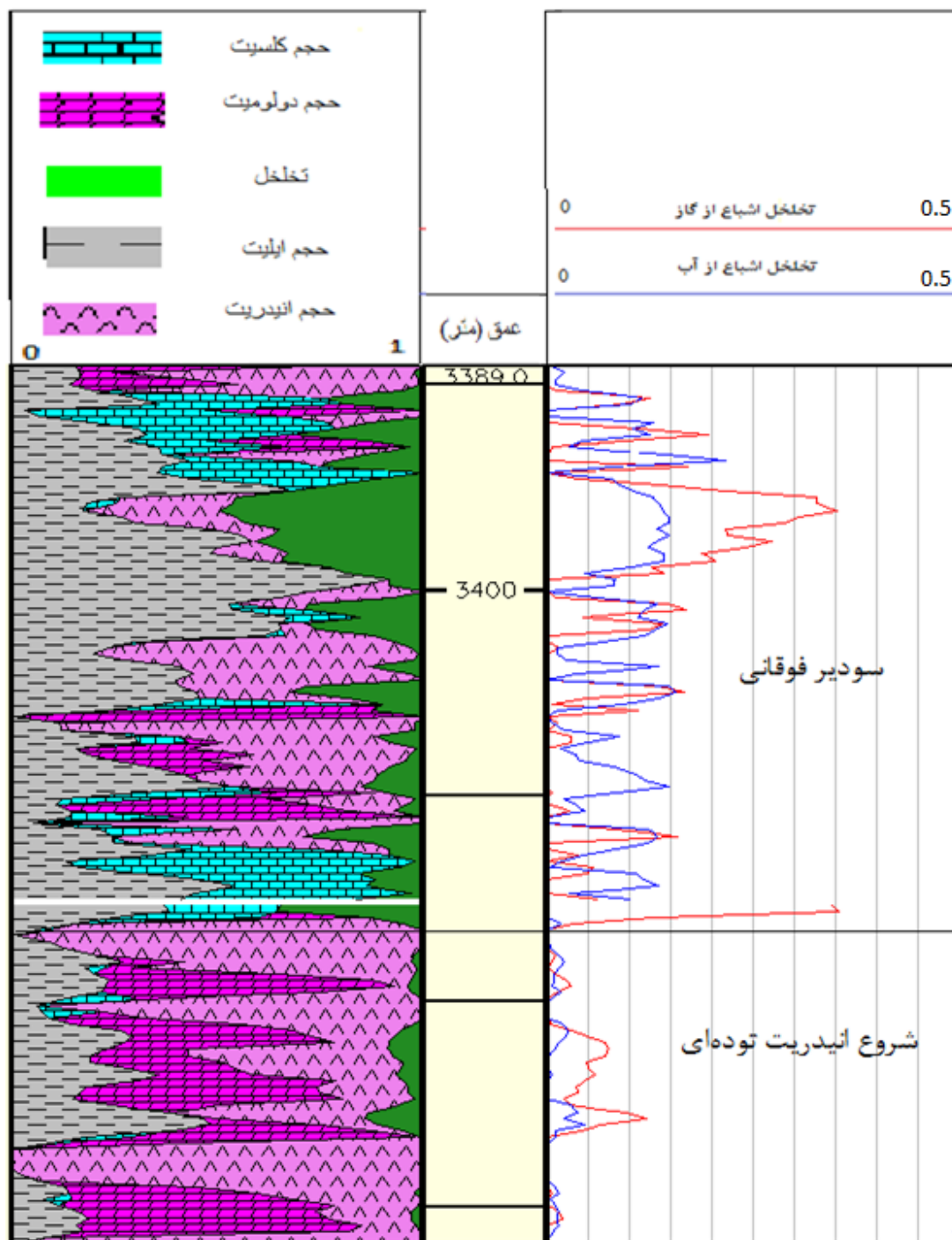
| ویژگی<br>لایه | عمق<br>(متر)   | دمای سازند<br>(فارنهایت) | تخلخل<br>(%) | حجم شیل<br>(%) | تخلخل اشباع<br>از گاز (%) | تخلخل اشباع<br>از آب (%) |
|---------------|----------------|--------------------------|--------------|----------------|---------------------------|--------------------------|
| شیل           | ۳۳۳۲ تا ۳۳۴۴   | ۲۲۰                      | ۶.۷          | ۶۶.۵           | ۴.۷                       | ۲                        |
| دولومیت       | ۳۳۴۴ تا ۳۳۵۹   | ۲۲۱                      | ۳            | ۲۱.۲           | ۱.۴                       | ۱.۶                      |
| شیل           | ۳۳۷۲ تا ۳۳۵۹   | ۲۲۱                      | ۲.۲          | ۷۵.۹           | ۰.۷                       | ۱.۵                      |
| انیدریت آهکی  | ۳۳۷۲ تا ۳۳۹۱   | ۲۲۲                      | ۲.۴          | ۱۲.۵           | ۱.۳                       | ۱.۱                      |
| شیل آهکی      | ۳۳۹۱ تا ۳۴۲۶   | ۲۲۲                      | ۱۶.۵         | ۳۷.۶           | ۸.۳                       | ۸.۲                      |
| سودیر تحتانی  | ۳۴۲۶ تا ۳۵۳۰.۵ | ۲۲۴                      | ۱.۸          | ۱۳.۹           | ۱.۳                       | ۰.۵                      |



شکل ۴-۱۶: مقادیر لاگ اندازه‌گیری شده در کنار مقادیر محاسبه شده توسط مدل برای زیر واحد سودیر فوقانی



شکل ۴-۱۷: پارامترهای پتروفیزیکی به همراه حجم کانی‌های زیر واحد سودیر فوقانی



شکل ۴-۱۸: نتایج ارزیابی احتمالی سودیر فوقانی

## فصل پنجم:

تخمین محتوای آلی لایه‌های شیلی سازند دشتک

## ۵-۱- مقدمه

میزان و نحوه‌ی توزیع TOC علاوه بر تعیین توان تولید هیدروکربن، در ارزیابی پتانسیل گازی شیل‌ها و تکمیل چاه حائز اهمیت می‌باشند. لاگ‌های دانسیته و صوتی می‌توانند بیانگر تغییرات در میزان مواد آلی موجود در شیل باشند. با افزایش مواد آلی، چگالی سازند کاهش و زمان عبور صوت افزایش می‌یابد زیرا چگالی کروژن نسبت به کوارتز و رس کم‌تر است.

استفاده از لاگ‌های چاه پیمایی جهت ارزیابی محتوای آلی شیل‌ها سابقه‌ای طولانی دارد. در گذشته تنها از لاگ شدت پرتو گاما برای جدا کردن شیل غنی از مواد آلی از زمینه استفاده می‌شد. با پیشرفت تکنولوژی، استفاده از لاگ‌های دانسیته و بعدها صوتی و مقاومت ویژه رواج یافت.

از آن جایی که سازند دشتک سنگ پوش می‌باشد، میزان مواد آلی لایه‌های شیلی سازند دشتک بایستی مورد ارزیابی قرار گیرد تا بتوان ارتباط میان این لایه‌ها با گاز موجود در سازند دشتک را تعیین نمود. در این فصل به معرفی این روش‌ها و ارزیابی میزان ماده آلی لایه‌های شیلی سازند دشتک به روش دلتا لاگ آر پرداخته می‌شود.

## ۵-۲- روش‌های تخمین TOC با استفاده از لاگ‌های چاه پیمایی

### ۵-۲-۱- تخمین TOC از لاگ پرتو گامای کل

دلیل رادیواکتیو بودن مواد آلی و به طور خاص کروژن بدین شرح است. اورانیوم در محیط احيایی دریا حضور دارد و ته نشین می‌گردد. این عنصر رادیواکتیو با مواد به‌جا مانده از موجودات زنده در مرز میان رسوبات و آب



دریا یا زیر آن، ترکیبات ارگانومتال<sup>۱</sup> پیچیده‌ای را تشکیل می‌دهند. این فرآیند زمانبر در محیطی به دور از اکسیژن صورت می‌پذیرد (Cluff and Miller, 2010).

با توجه به نکات گفته شده می‌توان علت استفاده از این روش را درک نمود. در تخمین TOC توسط لاگ شدت پرتوی گاما از یک رابطه ی خطی ساده استفاده می‌گردد.

$$TOC = mGR + b \quad (۵ - ۱)$$

که در آن  $m$  شیب نمودار گاما (گابی) برحسب کربن آلی کل (wt%) می‌باشد و  $b$  از تقاطع این خط با محور پرتوی گاما در TOC برابر با صفر (خط پایه شیل خاکستری) است. برای استفاده از این رابطه نرمالیزه کردن لاگ گاما مورد نیاز است. در مورد استفاده از این رابطه ذکر دو نکته ضروری است:

- ضرایب ثابت و مشخصی برای این معادله وجود ندارد.
- بایستی توسط مغزه با داده های محلی کالیبره شود.

این روش دقت پایینی دارد زیرا حتی در یک سازند خاص هم، تأثیر ماده آلی بر اورانیوم اندازه‌گیری شده، متغیر است.

### ۵-۲-۲- تخمین TOC توسط لاگ چگالی

در دهه هفتاد میلادی که استفاده از لاگ چگالی رایج شد، کاهش چگالی شیل‌های سیاه مشهود بود. علت آن چگالی کم کروژن (همانند زغال) است که اثری مشابه تخلخل بر لاگ چگالی می‌گذارد.

رابطه‌ی زیر جهت استخراج میزان TOC با استفاده از لاگ گاما و دانسیته می‌باشد (Schmocker, 1980):

---

<sup>1</sup> Organometal

$$TOC = \frac{GR_{baseline} - GR_{unit}}{Am} \quad (۲ - ۵)$$

که در آن  $GR_{baseline}$  میزان شدت پرتو گاما در لایه بدون ماده آلی،  $GR_{unit}$  میزان شدت پرتو گاما در سازند مورد نظر،  $m$  شیب نمودار شدت پرتو گاما بر حسب چگالی سازند و  $A$  یک ثابت با مقدار  $۰.۳$  می‌باشد. این رابطه برای مقادیر  $TOC$  کمتر از  $۲$  درصد دقیق است. همچنین استفاده از رابطه بالا مستلزم وجود همبستگی میان لاگ پرتو گاما و دانسیته است.

### ۵-۲-۳- روش دلتا لاگ آر ( $\Delta \text{Log-R}$ )

پاسی<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۹۰) روش دلتا لاگ آر را که پیشرفته‌تر از دو مدل ساده قبلی بود، برای تخمین میزان کربن آلی کل با به کارگیری لاگ‌های مختلف معرفی نمودند. اساس این روش بر چند مشاهده بنیان گشته است:

- زمان عبور صوت و چگالی به تغییرات کروژن موجود در سنگ حساس هستند.
- با افزایش بلوغ مواد آلی، مقاومت ویژه هم افزایش می‌یابد.
- جدایش لگاریتمی میان قرائت لاگ صوتی و مقاومت ویژه عمیق به محتوای ماده آلی بستگی دارد.

مقدار دلتا لاگ آر از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\Delta \log R = \log_{10} \left( \frac{R}{R_{baseline}} \right) + 0.02(\Delta t - \Delta t_{baseline}) \quad (۳ - ۵)$$

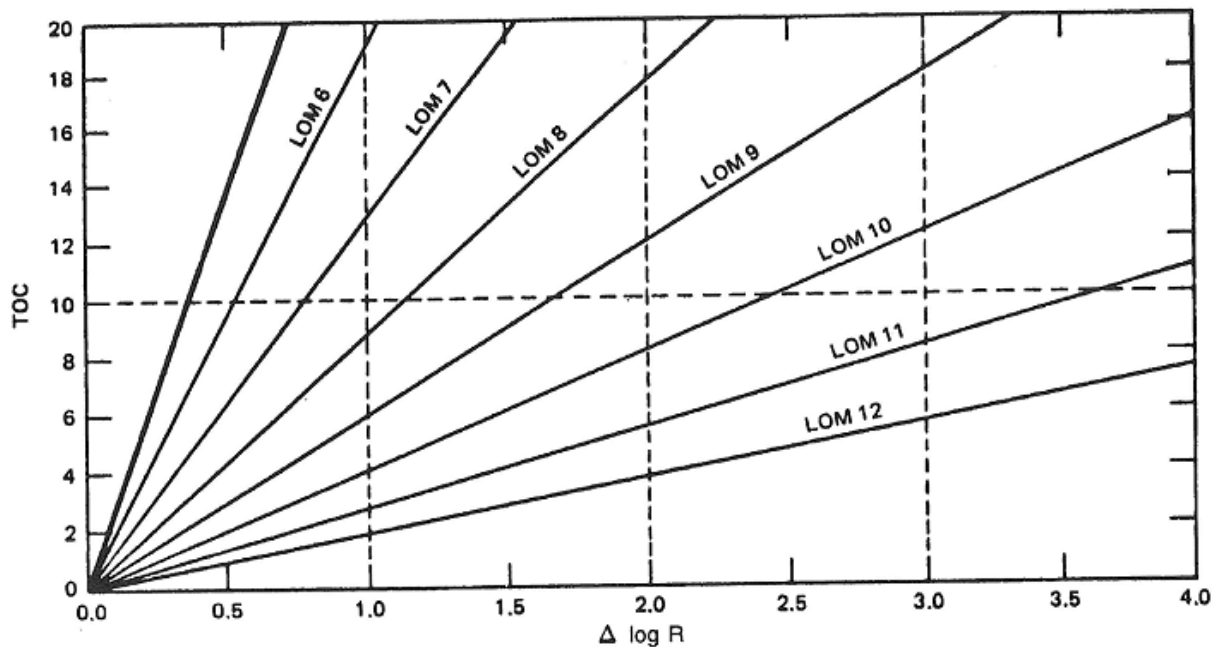
که در آن  $\Delta t_{baseline}$ ، زمان عبور صوت و  $R_{baseline}$  مقاومت ویژه در خط پایه شیل خاکستری است.

<sup>2</sup> Passey

با این پارامتر در صورت مشخص بودن بلوغ ماده آلی می‌توان میزان کربن آلی کل را محاسبه کرد.

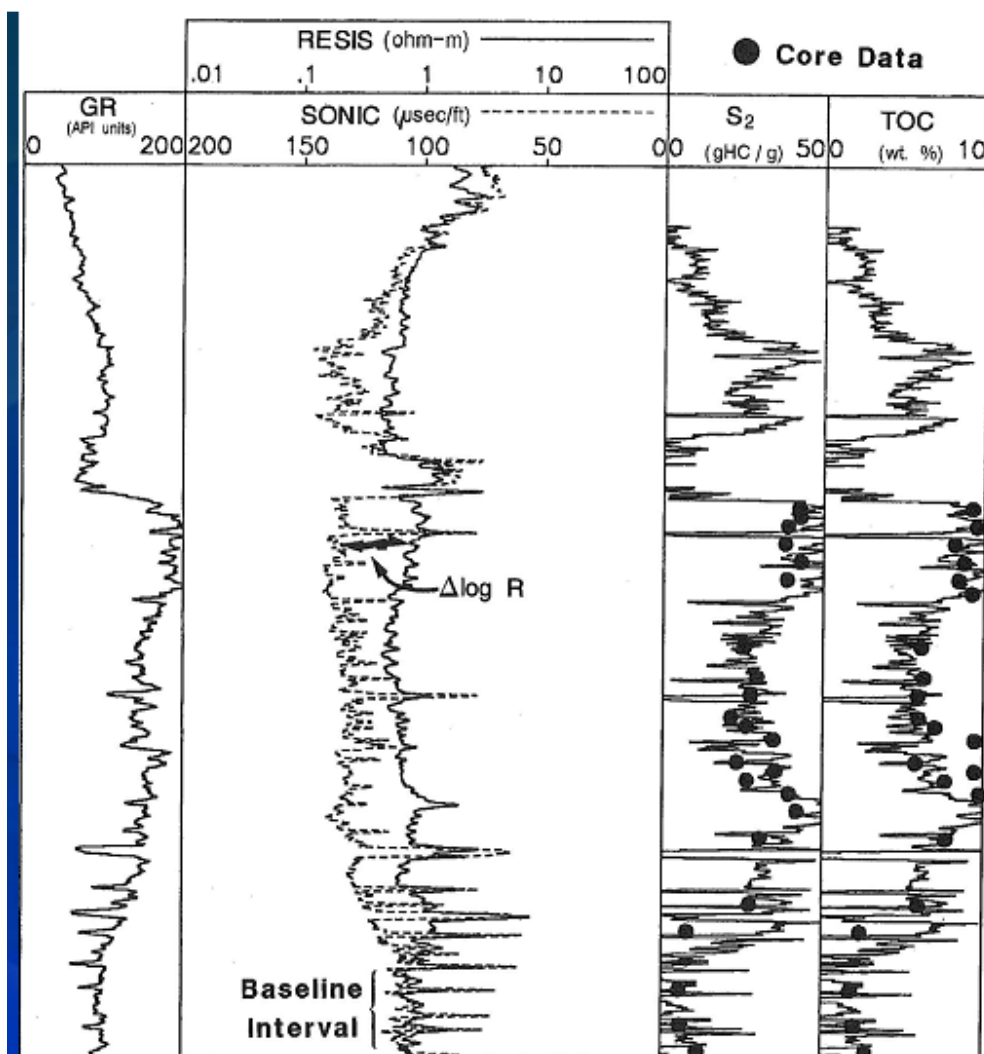
$$\text{TOC}(\text{wt}\%) = \Delta \log R \times 10^{(2.297 - 0.1688 \times \text{LOM})} \quad (۴ - ۵)$$

که در آن TOC میزان کربن آلی موجود در شیل بر حسب درصد وزنی و LOM درجه بلوغ ماده آلی می‌باشد. در هر  $\Delta \log R$  مشخص، با افزایش بلوغ، TOC کاهش می‌یابد. هم‌چنین می‌توان به جای استفاده از این معادله از یک نمودار استاندارد جهت استخراج TOC بهره برد (شکل ۵-۱).



شکل ۵-۱: نمودار استاندارد تخمین TOC به روش دلتا لاگ آر (Cluff and Miller, 2010)

پاسی و همکاران نشان دادند پارامتر  $\Delta \log R$  را می‌توان با میزان جدایش لاگ‌های نوترون و صوتی از لاگ مقاومت ویژه نیز محاسبه نمود. با این حال به دلیل اطمینان بیشتر نسبت به اندازه‌گیری های لاگ صوتی، استفاده از آن بر دو لاگ ذکر شده ترجیح داده می‌شود. جهت استفاده از این روش بایستی محور اندازه‌گیری لاگ مقاومت ویژه و صوتی را به شکلی استاندارد مدرج نمود (شکل ۵-۲).

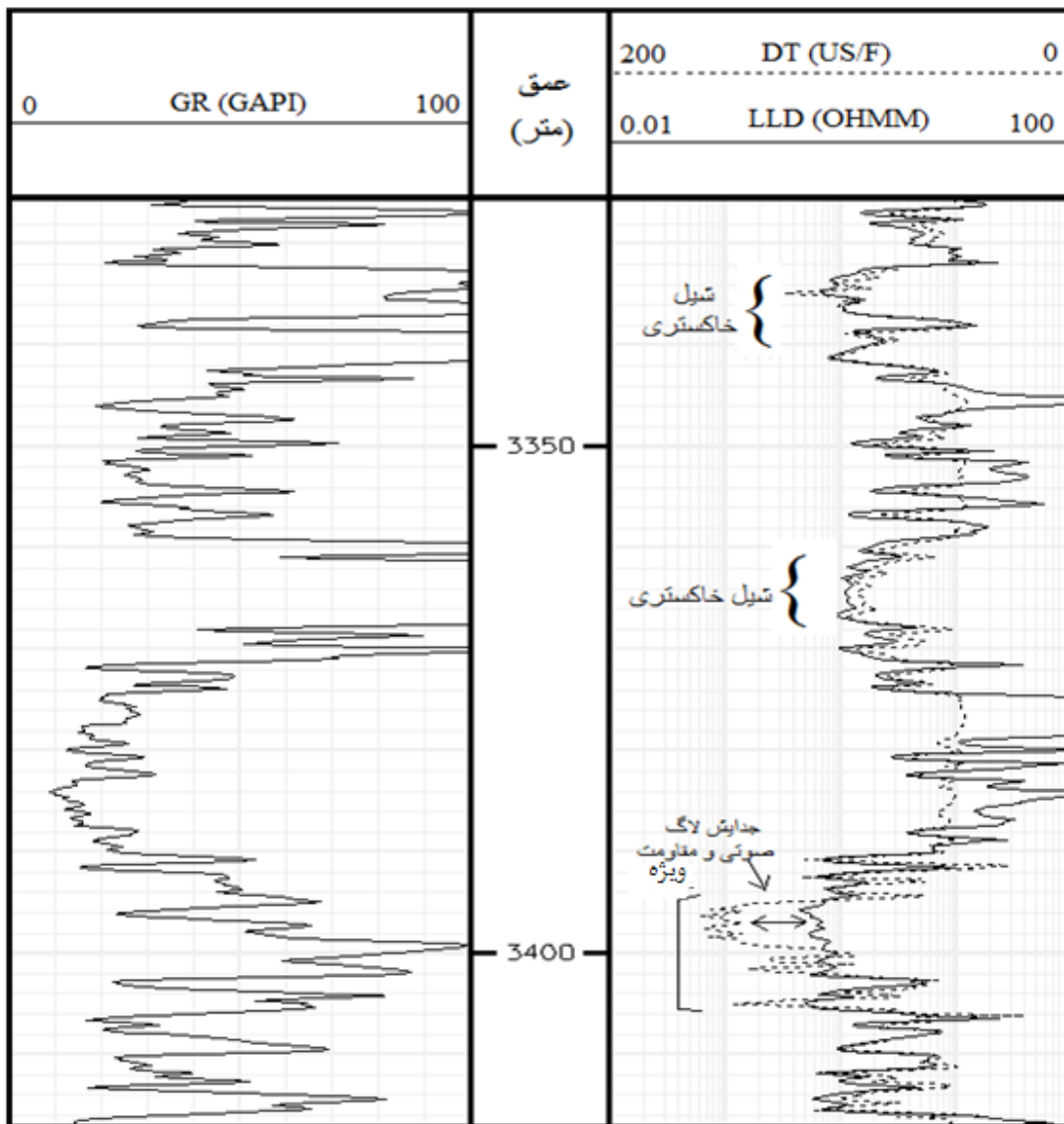


شکل ۲-۵: نحوه‌ی آماده‌سازی داده‌های چاه‌پیمایی جهت تخمین میزان مواد آلی به روش دلتا لاگ آر (Passey et al, 1990) در برخی از شیل‌ها در صورت نیاز از داده‌های مغزه جهت تصحیح مقادیر به دست آمده از روش  $\Delta \log R$  استفاده می‌شود. در چنین مواردی یک عدد ثابت در سمت راست معادله ۴-۵ ضرب می‌شود. در این مطالعه به دلیل عدم وجود نتایج آنالیز راک ایول شیل‌های سازند دشتک از اعمال این تصحیح صرف نظر می‌شود.

#### ۴-۲-۵ - ارزیابی TOC سازند دشتک

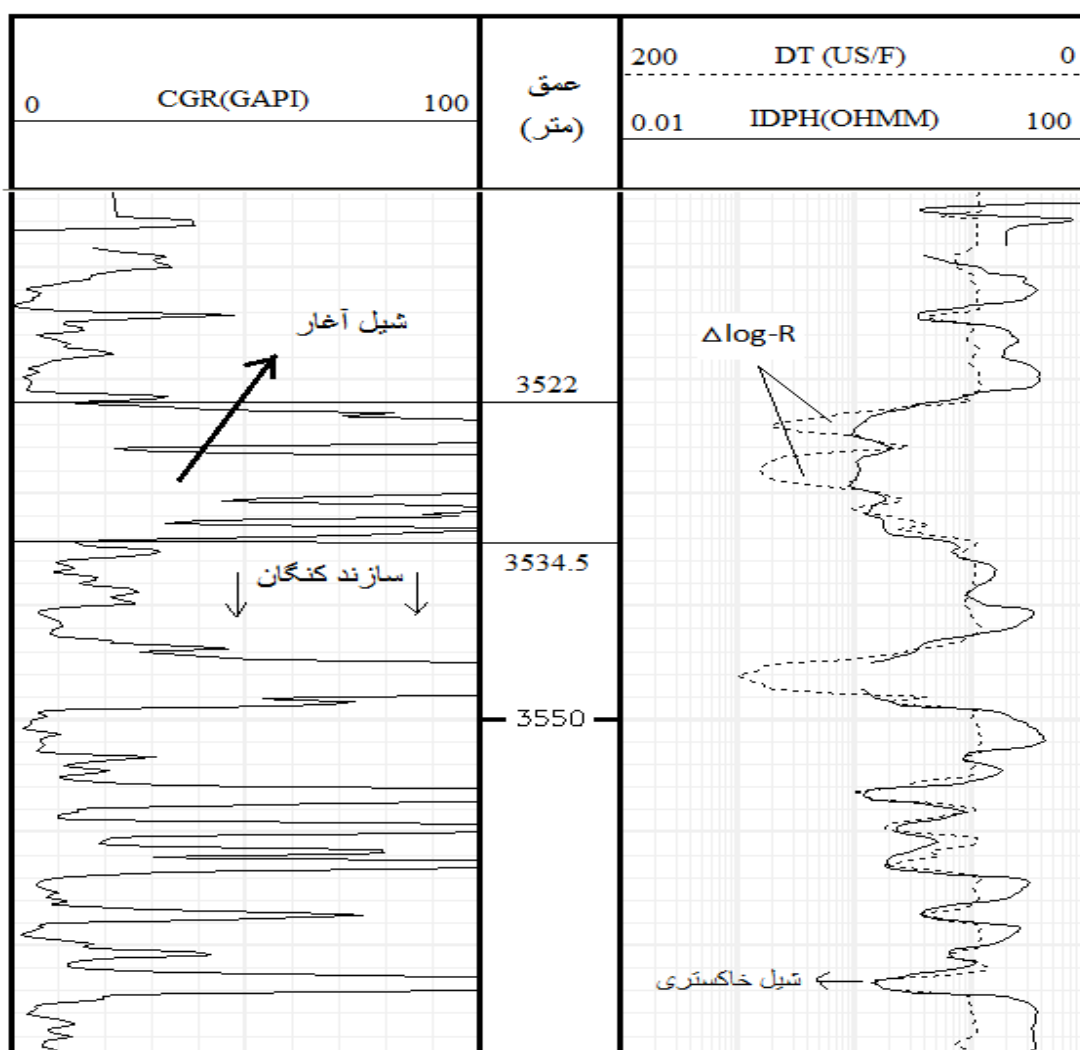
همانطور که در فصل قبل اشاره شد، سه لایه شیلی در بخش سودیر وجود دارند که طبق گزارشات زمین شناسی در زمره‌ی شیل‌های تیره قرار می‌گیرند. لاگ صوتی و لاترولاگ عمیق بر اساس استاندارد تعریف شده در

روش دلتا لاگ آر، در این لایه‌ها بررسی شد (شکل ۵-۳). جدایش میان لاگ‌های مقاومت ویژه صوتی به خوبی در شیل شماره ۳ بخش سودیر دیده می‌شود. از شیل‌های کم‌عمق تر که بر این مبنا مواد آلی ندارند به منظور استخراج  $\Delta t_{baseline}$  و  $R_{baseline}$  بهره گرفته شد.



شکل ۵-۳: جدایش لاگ صوتی و مقاومت ویژه در سومین لایه شیلی از بخش سودیر

از لحاظ غنای آلی، شیل آغار در انتهای سازند دشتک دیگر گزینه مستعد است. البته لاگ مقاومت ویژه لاترولاگ پس از راندن لوله‌ی جداری هشت و یک دوم اینچ، دیگر در چاه مورد استفاده قرار نگرفته است و در عوض لاگ IDPH<sup>3</sup> موجود است که جریان‌هایی متناوب با فرکانس بالا به درون سازند القا می‌کند و دقت بالاتری دارد.



شکل ۴-۵: جدایش لاگ صوتی و مقاومت ویژه در لایه شیلی آغار

<sup>3</sup> deep induction phasor-processed device

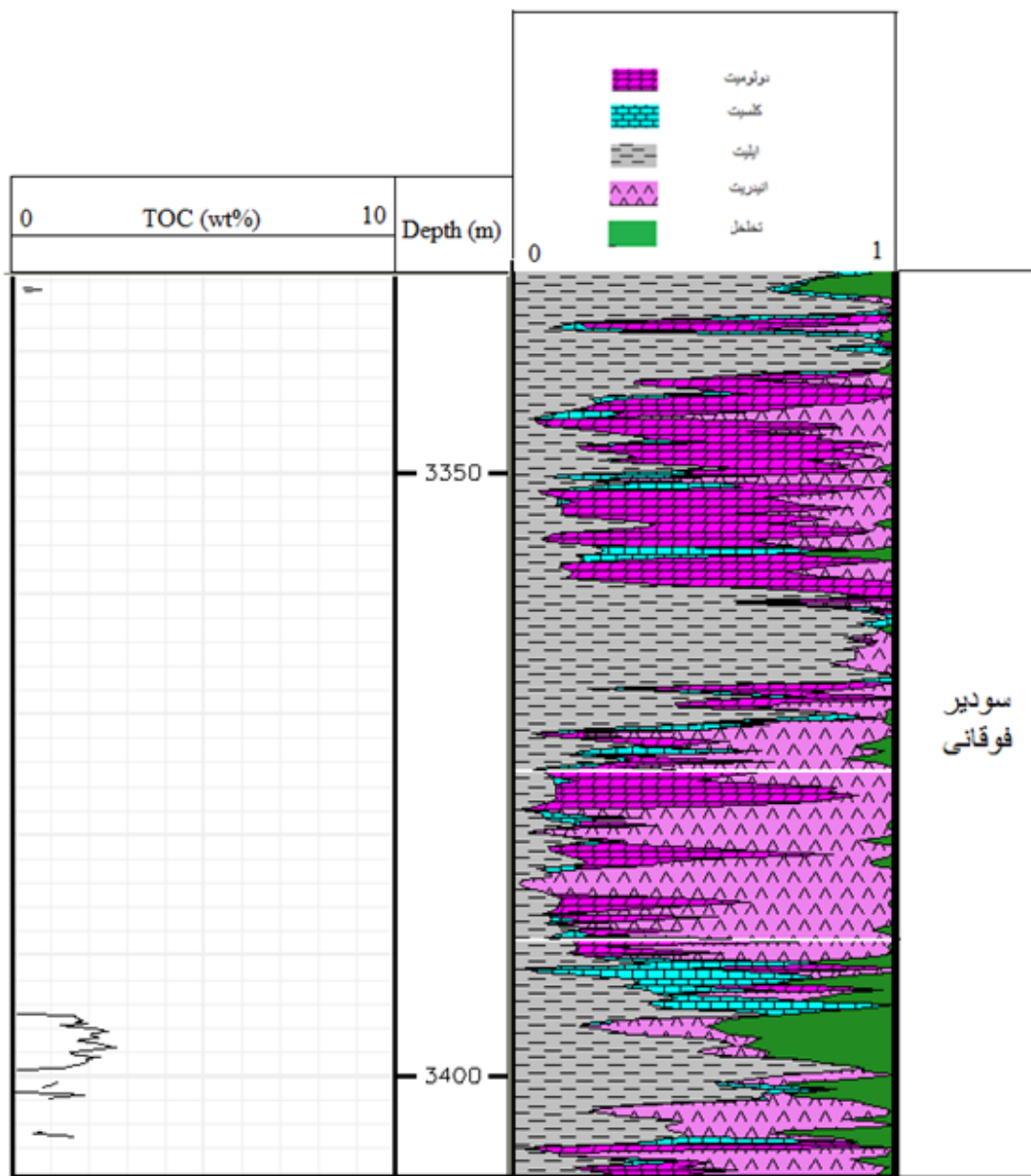
با توجه به شکل صفحه قبل، شیل آگار را نیز می‌توان به عنوان یک شیل غنی از مواد آلی در نظر گرفت. نکته‌ی قابل توجه در شکل بالا مشاهده یک لایه‌ی شیلی دیگر از سازند کنگان به ضخامت تقریبی ۵ متر است که  $\Delta \log-R$  زیادی از خود نشان می‌دهد. مقادیر مقاومت ویژه و زمان عبور صوت لایه شیلی آخر در شکل نیز معادل  $\Delta t_{\text{baseline}}$  و  $R_{\text{baseline}}$  برای ارزیابی TOC شیل آگار در نظر گرفته شد.

پارامتر LOM که بیانگر بلوغ مواد آلی است تابعی از پارامترهای ژئوشیمیایی چون ضریب انعکاس و پترینایت،  $T_{\text{max}}$  و شاخص دگرسانی گرمایی می‌باشد. با توجه به عمق زیاد سازند دشتک برای شیل‌های سازند دشتک این مقدار برابر با ۱۱ در نظر گرفته شد.

جدول ۵-۱: پارامترهای مورد استفاده در روش دلتا لاگ آر

| پارامتر<br>لایه | LOM                  | $\Delta t_{\text{baseline}}$ ( $\mu\text{s}/\text{ft}$ ) | $R_{\text{baseline}}$ (OHMM) |
|-----------------|----------------------|--|------------------------------|
|                 | شیل بخش سودیر فوقانی | ۱۱   | ۱۰۵                          |
| شیل آگار        | ۱۱                   | ۹۳   | ۱.۳                          |

با این اوصاف مقادیر TOC برای شیل‌های بخش سودیر و آگار محاسبه گردید (شکل ۵-۵ و جدول ۵-۲). نتایج نشان می‌دهد میزان کربن آلی کل برابر با ۲ درصد می‌باشد. با توجه به عمق و سن زیاد سازند دشتک احتمالاً این لایه‌ها موفق به تولید هیدروکربن هم شده‌اند.



شکل ۵-۵: TOC تخمین زده شده در لایه‌های شیلی بخش سودیر



جدول ۵-۲: میزان کربن آلی کل تخمین زده شده در شیل آغار

| Depth (ft) | TOC (wt.%) | Depth (ft) | TOC (wt.%) | Depth (ft) | TOC (wt.%) |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 11556.5    | 0.21       | 11564.5    | 0          | 11572.5    | 2.182      |
| 11557      | 0.399      | 11565      | 0          | 11573      | 2.337      |
| 11557.5    | 0.55       | 11565.5    | 0          | 11573.5    | 2.346      |
| 11558      | 0.882      | 11566      | 0          | 11574      | 2.426      |
| 11558.5    | 1.028      | 11566.5    | 0          | 11574.5    | 2.432      |
| 11559      | 1.025      | 11567      | 0          | 11575      | 2.389      |
| 11559.5    | 1.075      | 11567.5    | 0          | 11575.5    | 2.347      |
| 11560      | 1.471      | 11568      | 0          | 11576      | 2.325      |
| 11560.5    | 1.813      | 11568.5    | 0          | 11576.5    | 2.225      |
| 11561      | 2.038      | 11569      | 0.564      | 11577      | 2.106      |
| 11561.5    | 2.113      | 11569.5    | 1.094      | 11577.5    | 1.94       |
| 11562      | 2.112      | 11570      | 1.667      | 11578      | 1.684      |
| 11562.5    | 2.029      | 11570.5    | 1.934      | 11578.5    | 1.475      |
| 11563      | 1.691      | 11571      | 2.046      | 11579      | 1.189      |
| 11563.5    | 1.236      | 11571.5    | 2.016      | 11579.5    | 0.651      |
| 11564      | 0.616      | 11572      | 2.112      | 11580      | 0.358      |

فصل ششم:

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

## ۶-۱- نتیجه‌گیری

- بررسی داده‌های چاه‌پیمایی از چاه 2SK-1 در میدان سلمان، ضخامت سازند دشتک را حدوداً ۵۳۴ متر تخمین می‌زند. ضخامت بخش قلیله حدود ۲۷۰ متر، بخش خلیل ۶۰ متر، بخش سودیر ۱۹۱ متر و شیل آگار ۱۳ متر می‌باشد.
- لیتولوژی سازند دشتک بسیار متنوع است. البته نتایج ارزیابی پتروفیزیکی سازند دشتک نشان می‌دهد تناوب دولومیت و انیدریت تشکیل‌دهنده قسمت عمده‌ای از این سازند هستند. سه لایه شیلی با ضخامت چندین متر در بخش سودیر شناسایی شد که با توجه به لاگ طیفی پرتو گاما و نمودارهای متقاطع توریم بر حسب پتاسیم و ... کانی رسی غالب آن‌ها ایلیت تشخیص داده شد. نکته قابل توجه آن که تقریباً کانی رسی عمده در تمام شیل‌های گازی ایالات متحده ایلیت می‌باشد.
- نتایج ارزیابی لایه‌های شیلی بخش سودیر نشان می‌دهد شیل واقع در سودیر بالایی با ضخامت ۳۵ متر که حاوی کلسیت زیادی است، پتانسیل بالایی به عنوان یک شیل گازی دارد. با مقایسه میان مقادیر مطلوب پارامترهای شیل‌های گازی و مقادیر محاسبه شده در این مطالعه برای شیل‌های سازند دشتک به این نتیجه رسیدیم که شیل واقع در سودیر فوقانی با داشتن تخلخل میانگین بالا در حدود ۱۶ درصد، حجم شیل حدود ۳۷ درصد و درصد اشباع گاز تقریباً ۵۰ درصد بیشترین پتانسیل را دارد. هم چنین میزان کربن آلی کل محاسبه شده برای این شیل نشان می‌دهد در بیشتر نقاط بالای ۲ درصد و نزدیک به آن است که برای یک شیل گازی مقدار مناسبی می‌باشد. به هر اندازه که کانی‌های یک شیل گازی شکننده‌تر باشند، گزینه مطلوب‌تری جهت تولید است. زیرا برای تولید از شیل‌های گازی بایستی شکافت هیدرلیکی صورت پذیرد. پس وجود کلسیت در این شیل می‌تواند یک نکته منفی تلقی شود. با این حال این نقطه به دلیل تخلخل و اشباع گاز بالا نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد.

- با توجه به تغییرات کیفی داده‌های چاه‌پیمایی از چندین مدل استفاده گردید. مدل badhole در برخی فواصل مورد استفاده قرار گرفت. به طور کلی کیفیت لاگ‌های چاه‌پیمایی مطلوب ارزیابی شد. شاخص کیفیت در بیشتر فواصل از ۱ کمتر بود.
- ارزیابی پتروفیزیکی با استفاده از برنامه مولتی مین نرم‌افزار Geolog در سازند دشتک انجام شد. همانطور که داده‌های حفاری حاکی از وجود گاز در بخش قلیله بود، نتایج این تحقیق نیز بر این امر دلالت دارد که چندین لایه آهکی ضخیم با تخلخل ۵ تا ۸ درصد و درصد اشباع گاز بسیار بالا وجود دارد.
- میزان کربن آلی کل با استفاده از روش دلتا لاگ آر در لایه‌های شیلی محاسبه گردید. با توجه به سن زیاد سازند دشتک معادل تریاس، LOM برابر با ۱۱ فرض شد. TOC شیل سودیر بالایی و شیل آغار حدوداً ۲ درصد است.
- با توجه به این که سازند دشتک سنگ پوش مخزن کنگان است احتمالاً گاز بخش‌های کربناته مرتبط با شیل‌های آغار و سودیر است.

## ۲-۶- پیشنهادات

- با توجه به عدم دسترسی به مغزه در این مطالعه و با توجه به نتایج که نشان می‌دهد مواد آلی در لایه‌های شیلی وجود دارد، آنالیز این شیل‌ها توسط راک ایول پیشنهاد می‌گردد. به طور خاص پیشنهاد می‌گردد خرده‌های حفاری اعماق ۳۵۲۷ تا ۳۵۳۰ متری از شیل آغار مورد آنالیز قرار گیرند.
- با توجه به عدم دسترسی به مغزه در سازند دشتک ترجیح داده شد از رابطه آرچی جهت تخمین درصد اشباع آب و گاز استفاده شود. ضریب لیتولوژی (a) برابر با یک، توان اشباع برابر با ۲ و با توجه به داده‌های سازند کنگان ضریب سیمان‌شدگی متغیر فرض شد. از آنالیز آب سازند کنگان جهت تعیین

مقاومت ویژه آب سازند دشتک در دما و فشارهای مختلف استفاده گردید. در این مطالعه آب محصور در کانی‌های رسی به دلیل استفاده از رابطه آرچی تعیین نگردید. بدین جهت پیشنهاد می‌شود جهت حصول دقیق‌تر درصد اشباع سیالات مختلف از روابط مناسب‌تری چون مدل آب دوگانه استفاده گردد که نیازمند بررسی بر روی داده‌های مغزه از سازند دشتک است.

- به طور کلی می‌توان نگاه جدی‌تری به سازند دشتک به عنوان یک سازند مهم در سیستم‌های نفتی داشت به شکلی که احتمالاً نقش سنگ پوش، سنگ مخزن و سنگ منشأ را به طور همزمان بازی می‌کند.

## منابع

تمام منابعی که در متن این پایان نامه از آن نام برده شده است اگر سال انتشار میلادی داشته باشند در بخش منابع انگلیسی و اگر دارای سال انتشار هجری شمسی باشند در بخش منابع فارسی گردآوری شده‌اند.

### الف – منابع فارسی

- آقائباتی، سید علی، ۱۳۸۳، "زمین شناسی ایران"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۶۹ص.
- صفاری، بهزاد، ۱۳۸۷، بررسی سازند دشتک در حوضه رسوبی زاگرس (کوه سورمه و دنا)، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۵۰. ۵۴ص.
- نعمتی، مسعود، ۱۳۹۱، اقدامات صورت گرفته جهت توسعه شیل های گازی در ایران و جهان، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۹۵. ۱۹ص.

## References

### ب – منابع انگلیسی

- Barlai, Z. and Crain, E. R., 2012. Lithology/Mineralogy from probabilistic models. Crain's Petrophysical Handbook, Online Shareware Petrophysics Training and Reference Manual.
- Beers, R. F., 1945. Radioactivity and organic content of some Paleozoic shales. AAPG Bull., 29(1), p. 1-22.
- Bratovich, M. and Sommer, D. A., 2009. Application of an integrated petrophysical evaluation approach to North American shale gas reservoirs. SPWLA 2<sup>nd</sup> India Regional Symposium.
- Bustin, R. M., 2005. Gas shale tapped for big pay: AAPG Explorer, February, v. 26, p. 5 – 7.
- Bustin, R. M., Bustin, A. M. M., Cui, X., Ross, D. J. K. and Pathi, V. S. M., 2008. Impacts of shale properties on pore structure and storage characteristics. SPE 119892.
- Cannon, D.E. and Coates, G.R., 1990. Applying Mineral Knowledge to Standard Log Interpretation, paper V in Transactions, 31st SPWLA Annual Logging Symposium.

- Cluff, B. and Miller, M., 2010. Mineral Log evaluation of gas shales: a 35-year perspective. DWLS luncheon.
- Crain, E. R., 2011. Unicorns in the garden of good and evil: part 4 - Shale gas. Reservoir Issue.
- Curtis, J. B., and Fingleton, W. G., 1979. A well log method for evaluating the Devonian shales in the Appalachian basin. Prepared for the "United States Department of Energy Morgantown Energy Technology Center Eastern Gas Shales Project"
- Curtis, M. E., Ambrose, R. J., Sondergeld, C. H. and Rai, C. S., 2010. Structural characterization of gas shales on Micro- and Nano-scales. SPE, paper no. 137693-MS.
- Geolog 6.7, 2007. Software Program of Paradigm Inc & Fluid Canvas™| Epos™ 3.0.
- Guidry, F. K. and Walsh, J. W., 1993. Well Log Interpretation of a Devonian Gas Shale: An Example Analysis, SPE 26932.
- Gysen, M., Mayer, C. and Hashmy, K. H., 1987. A New Approach to Log Analysis Involving Simultaneous Optimization of Unknowns and Zoned Parameters, paper B in Transactions, 11th CWLS Formation Evaluation Symposium, Calgary.
- Interdisciplinary MIT Study, 2011. The future of natural gas, Report, The MIT Energy Initiative (MITEI).
- Kennedy, R. B., 2010. Shale gas challenges/technologies over the asset life cycle. Baker Hughes Incorporated, U.S.-China Oil and Gas Industry forum.
- Luffel, D.L. and Guidry, F., 1989. Reservoir rock properties of Devonian shale from core and log analysis. SCA Conference paper number 8910.
- Mayer, C. and Sibbit, A., 1980. Global, a New Approach to Computer-Processed Log Interpretation, paper SPE 9341 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition
- Multimin Technical Reference Basics, 2009. Paradigm Inc.
- Parker, M., Buller, D., Petre, E. and Dreher, D., 2009. Haynesville Shale-Petrophysical Evaluation. SPE 122937.
- Passey, Q.R., Creaney, S., Kulla, J.B., Moretti, F.J. and Stroud, J.D., 1990 A practical model for organic richness from porosity and resistivity logs. AAPG BULL 74 (12), p. 1777-1794.

- Quirein, J., Kimminau, S., LaVigne, J., Singer, J. and Wendel, F., 1986. A Coherent Framework for Developing and Applying Multiple Formation Evaluation Models. Paper DD in Transactions, 27th SPWLA Annual Logging Symposium.
- Rodriguez, E., Mezzatesta, A. and Tetzlaff, D., 1989. Determination of Statistical Confidence Intervals for Petrophysical Formation Properties. Paper in Transactions, SPWLA London Chapter LASER (Log Analysis and Software Evaluation & Review) Symposium, London.
- Ross, D. J. K. and Bustin, R. M., 2008. Characterizing the shale gas resource potential of Devonian-Mississippian strata in the Western Canada sedimentary basin: application of an integrated formation evaluation. AAPG Bulletin, V. 92, NO. 1, pp 87-125.
- Sondergeld, C. H., Newsham, K. E., Comisky, J. T., Rice, M. C. and Rai, C. S., 2010. Petrophysical Considerations in Evaluating and Producing Shale Gas Resources. SPE 131768.
- Schmoker, J. W., 1980, Determination of organic-matter content of Appalachian Devonian shales from gamma-ray logs: AAPG Bulletin, v. 64, p. 2156 – 2165.
- Tehran Energy Consultants (TEC), 2004. Well 2SKD-1 Final Drilling and Completion Report, Volume I (Kangan-Dalan).
- US Energy Information Administration (EIA) website, [www.eia.gov](http://www.eia.gov), 2012.



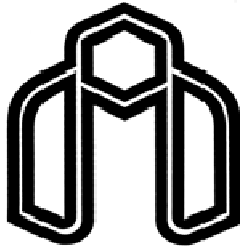
## **Abstract**

Dashtak formation, deposited in Lower to Middle Triassic, is a cap rock for Kangan and Dalan gas reservoirs in Persian Gulf. This formation is a sequence of carbonates, anhydrite and shale. As this formation has not been important as a hydrocarbon reservoir, hence no petrophysical evaluation is carried out there yet. However some recent drilling data confirm presence of gas in some parts of this formation. Considering the point that Dashtak is a cap rock and features some shale layers, gas could be related to these shales. The purpose of this study is to evaluate Dashtak formation for determining its gas potential and shale layers as a probable shale gas.

In this study, well log data of a new drilled well 2SK-1 is used to assess key parameters involved in gas potential of Dashtak formation. Thus several rock models were used for probabilistic analysis of different geological layers to estimate porosity, gas-filled and water-filled porosities and shale volume. The results show that calcareous layers in upper part of Dashtak formation equivalent to Arabic Gulailah member of approximately 270 meters which is mainly from limestone being substituted alternatively by anhydrite and dolomite, is a gas zone. Log interpretation of Gulailah member suggests that total porosity, gas-filled and water-filled porosities and shale volume is averagely measured as 6, 1, 5 and 10 percent, respectively. Some shale layers were detected in upper part Sudair member having illite as the dominant clay mineral. Presence of calcite causes the third shale layer of Sudair member of 35 meters thick to be a high porosity zone. This high porosity might be an indicator of organic richness. So total organic carbon (TOC) determined in this layer using  $\Delta\log-R$  method showing TOC amounts exceed 2% in the richest parts.

Aghar shale located in bottom of Dashtak formation separates it from Kangan formation. Organic richness is investigated in this layer too. The results suggest that roughly 5 meters of Aghar shale have TOCs more than 2% which leads to conclusion that Dashtak shaly parts could be the source rock for itself.

**Key words:** *Shale gas, Dashtak formation, TOC, petrophysical evaluation, Deterministic and probabilistic approaches.*



**Shahrood University of Technology**

**Petrophysical evaluation of shale gas (Dashtak formation) using probabilistic  
approach in Salman oil field**

Thesis

Submitted in Partial Fulfillment of the  
Requirements for the Degree of Master of Science (M.Sc.)  
Department of Mining, Petroleum and Geophysics Eng.

Shahrood University of Technology

By:

**Seyyed Sajjad Alaei**

Supervisors:

**Dr. Mansour Ziiai**

**Dr. Ali Kadkhodaie**

Advisor:

**Javad Ghiasi Freez**

Feb. 2013