

## مدل سازی حرارتی مقطع عرضی تاقدیس گچساران

ارسلان زینلزاده\*

پست الکترونیکی: zeinalzadeha@ripi.ir

تاریخ دریافت: ۸۷/۹/۵ تاریخ پذیرش: ۸۶/۸/۱۲

### چکیده

فرآیند نفت زایی سنگ منشاء تحت تأثیر دما و زمان رخ می دهد. دمای یک لایه تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می گیرد که پس از بازسازی تاریخچه تدفین، تاریخچه دمای لایه مشخص می شود. نرخ رسوب گذاری لایه های مختلف در حقیقت نرخ تدفین لایه های پائین تر را مشخص می سازد. چین خوردگی زاگرس در روند تدفین لایه های مختلف رسوبی و فرآیند نفت زایی سنگ منشاء اثر گذاشته است. در این مطالعه یک مقطع عرضی تاقدیس گچساران با استفاده از مدل سازی حرارتی مورد مطالعه قرار گرفته است و ویژگی های سنگ منشاء در مقطع عرضی تاقدیس بررسی شده است. این مطالعه نشان می دهد، میزان پختگی سنگ های منشاء کژدمی و پابده از بالای تاقدیس به سمت یال ها افزایش می یابد. زمان ورود سازند کژدمی به پنجره نفت زایی الیگوسن است. این سازند در قسمت های عمیق تاقدیس در انتهای پنجره نفت زایی است در حالی که در قسمت های کم عمق تر در ابتدای پنجره نفت زایی قرار دارد. سازند پابده دارای پختگی کمتری نسبت به کژدمی است و تنها در قسمت عمیق تاقدیس به پنجره نفت زایی نزدیک شده است. بررسی حجمی مقدار نفت زایی نشان می دهد سازند کژدمی در قسمت های مختلف تاقدیس مقادیر بسیار متفاوتی هیدروکربن تولید کرده است در حالی که سازند پابده، مقدار اقتصادی نفت تولید نکرده است.

واژه های کلیدی: مدل سازی حرارتی، میدان گچساران، سازند کژدمی، سازند پابده

### مقدمه

حرارت و زمان زمین شناسی رخ می دهد. لذا برای مطالعه و شناخت این پدیده وضعیت حرارتی سنگ منشاء در طول زمان زمین شناسی بازسازی می شود که با مدل سازی تاریخچه تدفین و تاریخچه حرارتی این هدف به دست می آید [۱].

مدل سازی حرارتی<sup>۱</sup> ابزاری برای بازسازی و مطالعه فرآیند نفت زایی<sup>۲</sup> سنگ منشاء است. فرآیند نفت زایی تحت تأثیر

\* مربی واحد ژئوشیمی - مرکز مطالعات اکتشاف و تولید - پژوهشگاه صنعت نفت - تهران

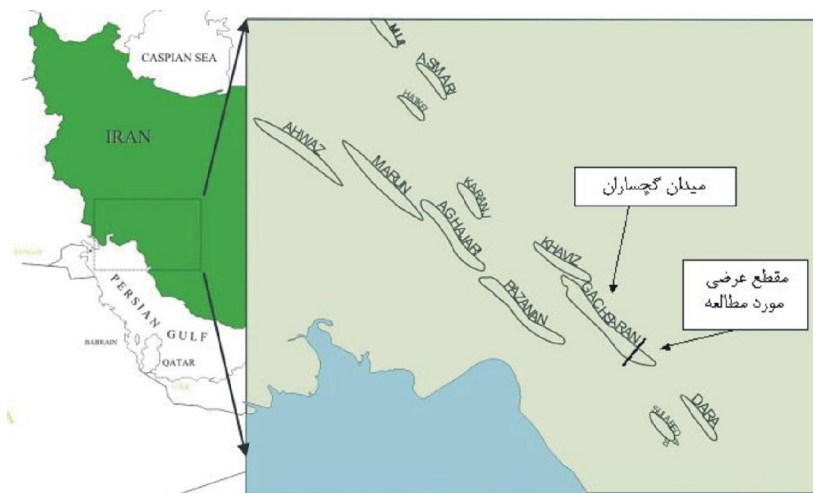
مدل سازی کمی فرآیند زایش نفت نیازمند شناخت فاکتورهای کنترل کننده تبدیل مواد آلی به نفت و

1- Thermal modeling  
2- Oil generation

آمده‌اند. چین‌خوردگی همراه با رسوب‌گذاری و فرسایش بعد از آن تأثیر زیادی بر فرآیند نفت‌زایی سنگ منشاء داشته است و موجب شده میزان پختگی سنگ منشاء و تاریخچه خروج نفت از آن در مناطق مختلف تا حد زیادی تحت تأثیر چین‌خوردگی قرار گیرد. در این مقاله یک مقطع عرضی از تاق‌دیس گچساران مورد بررسی قرار گرفته و فرآیند نفت‌زایی در مقطع عرضی با روش مدل‌سازی حرارتی مطالعه شده است (شکل ۱).

گاز و همچنین نقش انواع مختلف مواد آلی است. مواد آلی با گذشت زمان و در اثر حرارت تغییرات غیرقابل برگشتی به خود می‌گیرد. این تغییرات در خواص فیزیکی و شیمیایی مواد آلی تأثیر گذاشته و به وسیله پارامترهای تعریف شده‌ای مثل انعکاس ویترنایت و تغییرات بایومارکرها قابل اندازه‌گیری هستند [۱].

تاق‌دیس‌ها، تله‌های نفتی اصلی در حوضه زاگرس هستند که در فاز اصلی فشرده‌گی زاگرس به وجود



شکل ۱- موقعیت تاق‌دیس گچساران و مقطع مورد مطالعه

میکروپالیونتولوژی و مگنتواستراتیگرافی امکان‌پذیر است [۳].

سنگ منشاء اصلی نفت میدان گچساران سازند کژدمی و سنگ منشاء فرعی سازند پابده در نظر گرفته شده است [۴-۶].

بیش‌تر اطلاعاتی که از سنگ‌های منشاء میدان‌های نفتی در دسترس است حاصل مطالعه نمودارهای پتروفیزیکی و خرده‌های حفاری است که عمدتاً در بالای تاق‌دیس‌ها حفاری شده‌اند. در یال‌ها و ناودیس‌های اطراف تاق‌دیس عمق سنگ منشاء بیش‌تر است و دسترسی به نمونه‌های سنگ منشاء محدودتر است این محدودیت موجب شده

مطالعه حسامی و همکارانش در ۲۰۰۱ زمان شروع چین‌خوردگی زاگرس را بعد از پایان ائوسن دانسته‌اند چین‌خوردگی از زون فرورانش زاگرس شروع شده و به سمت جنوب غرب کشیده شده است. بیش‌تر تاق‌دیس‌های فروافتادگی دزفول در میوسن انتهایی وجود داشته‌اند. تاق‌دیس‌های نزدیک به جبهه کوهستانی قدیمی‌تر هستند و ساختارها از شمال شرق به سمت جنوب غرب جوان‌تر می‌شوند [۲]. تعیین دقیق‌تر سن چین‌خوردگی با تفسیر داده‌های لرزه‌ای با دقت بالا و سن‌گذاری قسمت‌های مختلف سازند آغاچاری با استفاده از

در عرض این تاقدیس مورد مطالعه قرار گرفته و میزان پختگی<sup>۱</sup> و رانش نفت<sup>۲</sup> از سنگ منشاء مشخص شده است. شروع پنجره نفت‌زایی ۰/۶۵٪ انعکاس ویتربینایت و پایان پنجره نفت‌زایی ۱٪ انعکاس ویتربینایت در نظر گرفته شده است.

مقطع زمین‌شناسی تاقدیس گچساران و داده‌های چاه گچساران-۸۳ در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. در این مقطع، در ده محل داده‌های عمق سازندها، به صورت ده چاه در نظر گرفته شده و به صورت چاه-۱ الی چاه-۱۰ نام‌گذاری شده‌اند که چاه دروغین<sup>۳</sup> هستند.

برای مدل‌سازی تاریخچه تدفین به جای ضخامت واقعی از ضخامت عمودی لایه‌ها استفاده می‌شود (شکل ۲). شیب‌دار بودن لایه موجب می‌شود ضخامت عمودی از ضخامت واقعی بیش‌تر باشد. از آن‌جا که شیب لایه‌ها در طول زمان زمین‌شناسی تغییر کرده است ضخامت عمودی لایه نیز مقدار ثابتی نداشته است. چین‌خوردگی لایه‌ها در مقطع مورد مطالعه موجب شده لایه‌ها از حالت افقی خارج شده و یک تاقدیس را تشکیل دهند. تصحیح چرخش لایه‌ها در زمان چین‌خوردگی لایه‌ها انجام شده است (جداول ۱ و ۲). سازندهای آغاچاری، میشان و گچساران بعد از چین‌خوردگی نهشته شده‌اند و شیب این سازندها در اغلب موارد متفاوت با شیب لایه‌های پائینی است و تغییر شیب برای این لایه‌ها منظور نشده است. برای دیگر سازندها در نمودار تاریخچه تدفین ضخامت عمودی لایه‌ها به صورت متغیر<sup>۴</sup> در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر ضخامت عمودی در زمان زمین‌شناسی تغییر کرده است.

است وضعیت سنگ منشاء در یال تاقدیس و ناودیس ناشناخته باقی بماند. در این گونه موارد مدل‌سازی حرارتی ابزاری بسیار مفید است. زیرا داده‌هایی مورد نیاز مدل‌سازی حرارتی را می‌توان از مقاطع لرزه‌ای، مطالعه رخنمون لایه‌ها و گزارش چاه‌های منطقه برداشت نمود. در دهه اخیر از روش مدل‌سازی حرارتی در مطالعات متعددی استفاده شده است [۷-۱۰].

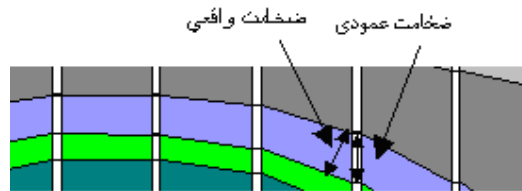
### روش مطالعه

دما مهم‌ترین فاکتور کنترل‌کننده زایش نفت است. زمان در دمای پایین (کم‌تر از ۵۰°C) نمی‌تواند یک سنگ منشاء را به مرحله زایش نفت برساند [۱۱] در حالی که در دمای بالای ۱۳۰°C پختگی خیلی سریع رخ می‌دهد. دمای بالا باعث رسیدن به پختگی بالا در یک دوره کوتاه زمین‌شناسی می‌گردد بنابراین تأثیر زمان کم‌ترین مقدار را دارا خواهد بود. تنها در پنجره بین ۷۰ تا ۱۰۰°C است که زمان نقش عمده‌ای دارد [۱۲].

فرایند نفت‌زایی با دما به صورت توانی و با زمان به صورت خطی تغییر می‌کند. به ازای هر ۱۰°C افزایش دما نرخ واکنش تقریباً دو برابر می‌شود. نفت‌زایی یک جهته و برگشت‌ناپذیر است و با کاهش دما به حالت تعلیق در می‌آید. در مدل‌سازی فرآیندی که در طول زمان زمین‌شناسی رخ داده، بازسازی می‌شود و با استفاده از آن، کیفیت و کمیت فرایند مشخص می‌شود، از جمله تاریخچه پختگی مواد آلی توسط مدل‌های حرارتی محاسبه می‌شود. به منظور بررسی صحت بازسازی دما و تدفین لایه‌ها مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و مقادیر محاسبه شده مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

در این مطالعه تاقدیس گچساران با استفاده از روش مدل‌سازی حرارتی بررسی شده است و با استفاده از نرم‌افزار Winbury وضعیت سنگ منشاء کزدمی و پابده

1- Maturity  
2- Expulsion  
3- Pseudowell  
4- Variable thickness



شکل ۲- ضخامت واقعی و عمودی لایه‌ها

جدول ۱- ضخامت عمودی سازندها

ضخامت عمودی سازندها (متر)						
چاه	آسماری	پابده-گورپی	ایلام-سروک	کژدمی	گروه خامی	شیب لایه
۱	۵۲۱	۳۵۵	۶۵۲	۳۲۶	۶۷۴	۰
۲	۷۷۴	۴۳۱	۷۸۴	۳۳۸	۷۱۱	۳۵
۳	۶۶۷	۴۴۰	۹۲۱	۴۷۴	۸۷۵	۴۲
۴	۵۲۴	۳۴۴	۷۱۰	۴۳۷	۸۶۹	۲۵
۵	۴۹۰	۳۲۳	۶۳۰	۳۰۲	۶۸۸	۰
۶	۵۰۱	۳۰۷	۵۹۴	۳۰۸	۶۸۰	۰
۷	۵۵۴	۲۹۹	۶۵۴	۳۶۳	۷۸۰	۲۵
۸	۶۳۶	۳۳۰	۸۰۶	۴۱۶	۸۴۳	۳۸
۹	۷۴۲	۳۹۹	۸۴۴	۳۹۱	۸۳۸	۴۰
۱۰	۶۸۸	۳۹۸	۸۳۹	۳۴۰	۸۱۳	۳۰

جدول ۲- ضخامت واقعی سازندها

ضخامت واقعی سازندها (متر)									
چاه	آغاجاری	میشان	گچساران	آسماری	پابده-گورپی	ایلام- سروک	کژدمی	گروه خامی	شیب لایه
۱			۳۱۵۴	۵۲۱	۳۵۵	۶۵۲	۳۲۶	۶۷۴	۰
۲			۲۴۳۵	۶۳۴	۳۵۵۳	۶۴۲	۲۷۷	۵۸۲	۰
۳			۱۴۹۴	۴۹۶	۳۲۷	۶۸۵	۳۵۲	۶۵۰	۰
۴	۷۳	۹۰۹	۹۰۹	۴۷۵	۳۱۲	۶۴۳	۳۹۶	۷۸۸	۰
۵	۳۹۶	۴۸۲	۴۸۲	۴۹۰	۳۲۳	۶۳۰	۳۰۲	۶۸۸	۰
۶	۳۹۷	۴۰۲	۴۰۲	۵۰۱	۳۰۷	۵۹۴	۳۰۸	۶۸۰	۰
۷	۵	۱۰۰۳	۱۰۰۳	۵۰۲	۲۷۱	۵۹۳	۳۲۹	۷۰۷	۰
۸	۱۹۳	۱۰۸۱	۱۰۸۱	۵۰۱	۲۶۰	۶۳۵	۳۲۸	۶۶۵	۰
۹	۳۸	۵۰۳	۱۳۹۴	۵۶۹	۳۰۶	۶۴۷	۳۰۰	۶۴۲	۰
۱۰	۳۷۰	۴۵۴	۱۹۹۲	۵۹۶	۳۴۵	۷۲۶	۲۹۵	۷۰۴	۰

زمین سازندهای گچساران، میشان، آغاچاری و بختیاری  
رخنمون دارد [۱۴].

میدان گچساران در فروافتادگی دزفول واقع شده این  
فروافتادگی با وسعت ۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع در برگیرنده  
۴۵ میدان نفتی می باشد که اغلب همراه با کلاهمک گازی  
هستند. بعضی از این تاقدیس ها مانند میدان گچساران،  
بی بی حکیمه، اهواز و آغاچاری دارای ۱۰ تا ۵۰ میلیارد  
بشکه نفت درجا هستند [۱۵].

سنگ پوشش مخزن آسماری سازند گچساران است. این  
سازند با رسوبات تبخیری انیدریت، ژپیس و نمک یک  
سنگ پوش بسیار خوب با گسترش مناسب است. خواص  
پلاستیکی نمک و دیگر رسوبات تبخیری موجب خواص  
سنگ پوشی بسیار مؤثر شده است.

سازند سروک، دومین مخزن اصلی حدود ۷۵۰ متر  
ضخامت دارد. رخساره های پلت فورمی و پرانژی  
سروک متخلخل است. این مخزن توسط مارن های پابده و  
گورپی پوشیده شده است. در نتیجه شکستگی شدید در  
قسمت های بالایی تاقدیس گچساران بین مخازن آسماری  
و سروک ارتباط وجود دارد [۱۴].

ویژگی های سنگ منشاء کژدمی در حد عالی است. مقدار  
ماده آلی اولیه در بعضی جاها بیش تر از ۱۰٪ است و  
هیدروژن ایندکس حدود ۶۰۰ گرم هیدروکربن بر کیلوگرم  
سنگ (g HC/kg C) و ضخامت ۳۰۰ متر و گاهی بیش تر  
می باشد. مواد آلی این سنگ منشاء عمدتاً جلبکی با  
سولفور بالا است که به عنوان کروژن نوع II<sub>s</sub> شناخته  
شده است. سازند کژدمی در یک گودی درون قاره ای در  
نتیجه لایه بندی آب دریا در طی آلبین نهشته شده است  
[۱۶]. این سنگ منشاء در گودی هایی که گسترش خوبی  
داشته اند و در آب های کم عمق یک حوضه درون قاره ای  
که با اقیانوس تیس جنوبی ارتباط داشته نهشته شده

خروج نفت از سنگ منشاء به تخلخل سنگ و میزان  
اشباع<sup>۱</sup> سنگ از نفت بستگی دارد. هنگامی که پختگی  
سنگ منشاء به وضعیت مناسب می رسد. تبدیل مواد آلی  
به هیدروکربن شروع شده و میزان هیدروکربن موجود در  
خلل و فرج سنگ بیش تر می شود و هنگامی که سنگ  
منشاء به درجه اشباع از هیدروکربن برسد هیدروکربن  
تولید شده از سنگ منشاء خارج می شود. قبل از این که  
سنگ منشاء به درجه اشباع برسد به صورت یک سیستم  
بسته عمل می کند [۱۳].

بالا بودن تخلخل سنگ منشاء موجب می شود مدت زمان  
لازم برای اشباع شدن و خروج هیدروکربن از سنگ منشاء  
بیش تر باشد [۱۳]. بالا بودن مقدار ماده آلی و ایندکس  
هیدروژن اولیه، موجب افزایش پتانسیل سنگ منشاء و در  
نتیجه تولید و خروج بیش تر هیدروکربن از سنگ منشاء  
می گردد [۱۳].

### زمین شناسی منطقه

میدان نفتی گچساران در استان کهگیلویه و بویراحمد  
است. شهرستان گچساران بر روی این میدان واقع شده و  
در سال ۱۳۰۷ کشف گردیده است. ضخامت ستون نفتی  
آن به ۲۱۶۵ متر می رسد. سازند آسماری مهم ترین مخزن  
این میدان و دومین مخزن، سازند سروک از گروه بنگستان  
است که در سال ۱۳۴۱ کشف گردید و سومین مخزن  
سازند فهلیان است که دارای گاز می باشد. مخازن آسماری  
و بنگستان در ارتباط فشاری هستند و دارای نفت با API  
۳۱/۱ با مقدار سولفور ۱/۷٪ می باشد. میدان گچساران  
یکی از بزرگ ترین میدان های نفتی ایران است. ساختار  
تاقدیس گچساران در ابعاد ۲۵ × ۷ کیلومتر و در سطح

$C_o$  درجه پختگی اولیه مواد آلی که معمولاً ۰/۲ مورد

استفاده قرار می‌گیرد

$$a = 2/7 \times 10^{-6}$$

$$\alpha = 0/0068 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\gamma = 5/635$$

مقادیر ثابت جهت تطابق بهتر مقدار محاسبه با واقعیت استفاده می‌شود.

تشکیل نفت با چندین واکنش درجه اول موازی بر اساس قانون آرنیوس تشکیل می‌گردد:

$$dx_n/dt = A_n \exp^{(-E_n/RT)} x_n$$

$E_n$  انرژی فعال‌سازی واکنش n

$A_n$  ثابت آرنیوس ( $s^{-1}$ )

$$cal/mol.K \quad R$$

$T$  دما (K)

$x_n$  پتانسیل نفتی باقی‌مانده نسبت به واکنش n (mg/gorg.C)

$x_{no}$  پتانسیل نفتی اولیه نسبت به واکنش n (mg/g) (org.C)

$t$  زمان

مقدار کمی نفت توسط فرمول زیر حساب می‌شود:

$$q = \phi n (x_{no} - x_n)$$

$x_n$  پتانسیل نفتی باقی‌مانده نسبت به واکنش n (mg/gorg.C)

$x_{no}$  پتانسیل نفتی اولیه نسبت به واکنش n (mg/g) (org.C)

$q$  مقدار نفت تولید شده است (mg/g org.C)

است. بالا آمدن آب دریا<sup>۱</sup> در آب و هوای گرم و مرطوب و وجود مانع در ارتباط گودی با دریا موجب لایه‌بندی<sup>۲</sup> آب دریا شده است. در این وضعیت شرایط احیایی و مناسب حفظ مواد آلی در این گودی حاکم شده و موجب گسترش سنگ منشاء عالی شده است [۵ و ۱۶].

### محاسبه میزان پختگی و میزان خروج نفت از سنگ منشاء

برای مدل کردن فرآیند نفت‌زایی در طول زمان داده‌های زمان و دما مورد نیاز است در عمل این اطلاعات به صورت سن‌های زمین‌شناسی و عمق لایه‌ها وجود دارد که از گزارش‌های چینه‌شناسی چاه‌ها، رخنمون‌ها و مقاطع لرزه‌ای استخراج می‌شود. با استفاده از این اطلاعات تاریخچه تدفین (شکل ۳) ترسیم شده است. تاریخچه تدفین در حقیقت سرگذشت لایه‌ها از زمان رسوب‌گذاری تا زمان حال است و تدفین لایه‌ها در طول زمان زمین‌شناسی را نشان می‌دهد سنگ منشاء در اعماق مختلف قرار گرفته و از دمای محیط رسوبی به دمای زمان حال رسیده است. برای محاسبه میزان پختگی یک لایه دما و مدت زمانی که یک لایه در دماهای مختلف قرار گرفته است در محاسبات وارد می‌شود. در این مطالعه از فرمول زیر در نرم‌افزار مدل‌سازی استفاده شده که در حقیقت روش تغییر یافته شاخص زمان-دما<sup>۳</sup> است و معادل انعکاس ویتروینایت است [۱۷]:

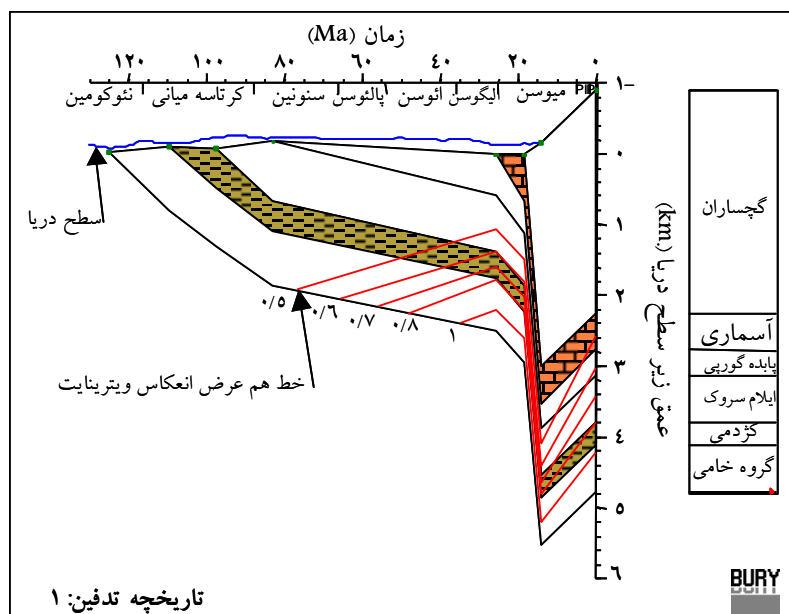
$$R_o^\gamma = a \int_0^\tau e^{\alpha T} + C_o$$

که در آن  $R_o$  مقدار انعکاس ویتروینایت به درصد،

$T$  درجه حرارت به درجه سانتی‌گراد

$\tau$  زمان به میلیون سال از رسوب‌گذاری

- 1 High stand
- 2- Stratification
- 3- Time Temperature Index (TTI)

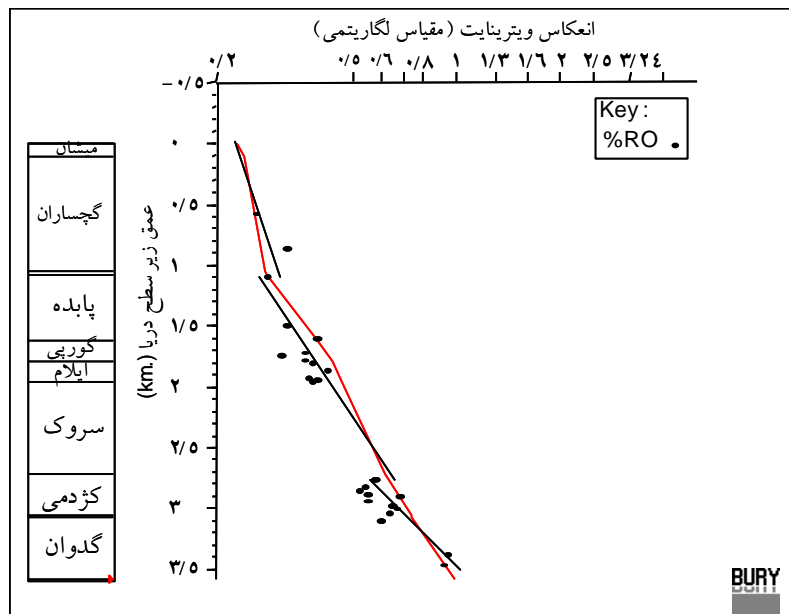


شکل ۳- تاریخچه تدفین چاه-۱

### نتایج مدل سازی

مدل سازی براساس یک سری فرضیه و رابطه ریاضی و نتیجه محاسباتی است که با استفاده از تعدادی فرمول به دست می آید. به علت حجم زیاد و پیچیده بودن محاسبات، این عمل با استفاده از نرم افزار و کامپیوتر انجام پذیر است [۱]. برای اعتبار بخشیدن به نتایج ضروری است که مدل به دست آمده با واقعیت های موجود و داده های به دست آمده از آنالیزها یا روش های دیگر مقایسه شده و میزان درستی آنها مشخص شود. در این مطالعه از داده های انعکاس ویترنایت برای به دست آوردن یک مدل صحیح استفاده شده است. باید توجه داشت داده های آزمایشگاه نیز دارای خطا هستند و با واقعیت کاملاً مطابقت ندارند با این وجود این داده ها برای رسیدن به یک مدل واقعی کمک زیادی می کنند.

شکل ۴ نمودار انعکاس ویترنایت در مقابل عمق را نشان می دهد. این نمودار، روند پختگی سازندها با افزایش عمق است که با استفاده از تاریخچه تدفین و تاریخچه حرارتی به دست آمده است. نقاط روی نمودار داده های انعکاس ویترنایت چاه گچساران-۸۵ از مقاله خسروی (۱۹۸۷) است [۱۸] که از مطالعات آزمایشگاهی پتروگرافی به دست آمده اند. بر اساس این نقاط خطوط شکسته ای ترسیم شده است که در پائین سازند گچساران و بالای سازند کژدمی شکستگی دیده می شود. این شکستگی ها می تواند حاصل حرکت های گسل معکوس باشد. نمودار شکل ۴ تطابق قابل قبولی بین داده های آزمایشگاهی و نمودار پختگی به دست آمده از مدل سازی نشان می دهد که تأیید کننده درستی داده ها و روش استفاده شده در مدل سازی است.

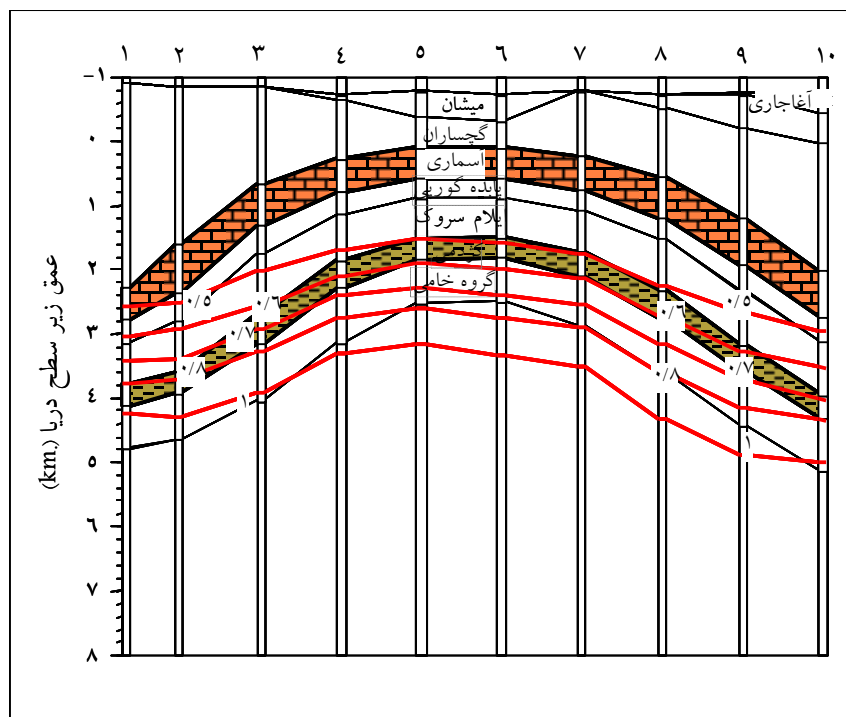


شکل ۴- نمودار انعکاس ویترنایت در مقابل عمق چاه گچساران-۸۳. نقاط داده‌های انعکاس ویترنایت است [۱۸]، خط شکسته بر اساس داده‌های انعکاس ویترنایت ترسیم شده، خط پیوسته بر اساس مدل‌سازی به دست آمده است.

سازندهای پابده-گورپی در بالای تاقدیس به پنجره نفت‌زایی نرسیده است در حالی که در یال‌ها پختگی بیشتر می‌شود اما به پنجره نفت‌زایی نرسیده است. در این مقطع تغییرات ضخامت سازند گچساران قابل توجه است و از شکل تاقدیس پیروی نمی‌کند، به گونه‌ای که در یال‌ها ضخامت عمودی سازند گچساران حدود ۳۰۰۰ متر و در بالای تاقدیس حدود ۱۰۰۰ متر است. تفاوت ضخامت تأثیر قابل توجهی در تاریخچه تدفین چاه‌ها داشته است.

شکل ۵ مقطع به دست آمده از مدل‌سازی و خطوط هم پخت را نشان می‌دهد. سازند کژدمی با زمینه شیل و سازند آسماری با زمینه آهک در شکل‌ها نشان داده شده است. میزان پختگی لایه‌ها در بالای تاقدیس کم‌ترین مقدار است و به سمت یال‌ها میزان پختگی افزایش می‌یابد. سازند کژدمی در بالای تاقدیس به پنجره نفت‌زایی (پختگی ۰/۶۵٪ انعکاس ویترنایت) نرسیده است. در حالی که در یال سمت چپ در انتهای پنجره نفت‌زایی و در زون حداکثر تولید هیدروکربن است.

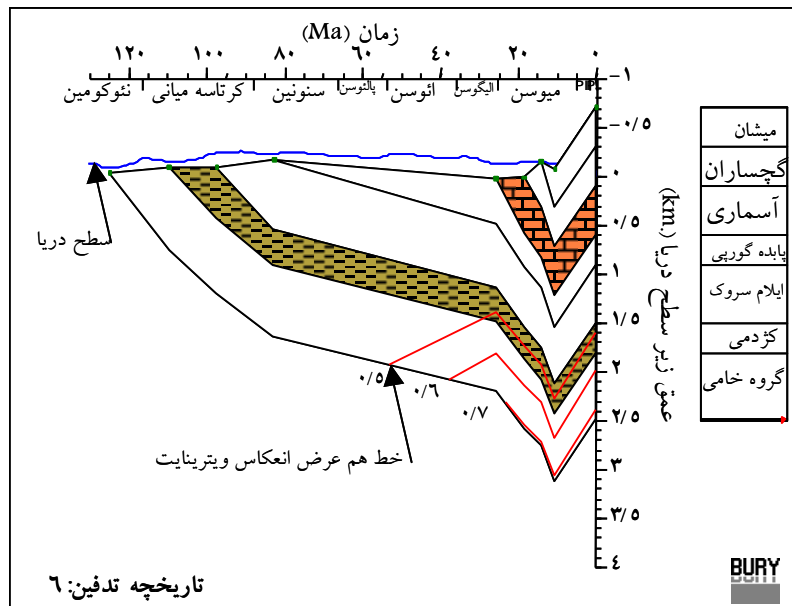




شکل ۵- مقطع چاه های مورد مطالعه همراه با خطوط هم پخت

است (شکل ۳). سازندهای پایده- گورپی دارای پختگی  $0.6\% - 0.5\%$  انعکاس ویترونیات است و نمی تواند نفت به مقدار اقتصادی تولید کرده باشد. چاه-۶ در بالای تاقدیس قرار دارد. در این چاه سازند گچساران و میشان نسبت به دیگر سازندها تفاوت ضخامت زیادی ندارد (شکل ۶) اما نرخ رسوب گذاری بالاتری دارد. تاریخچه تدفین چاه-۶ در مقایسه با تاریخچه تدفین چاه-۱ که در انتهای یال تاقدیس و در واقع در یک ناودیس قرار دارد، تغییرات نرخ تدفین کمتری نشان می دهد. کژدمی از الیگوسن بالایی دارای پختگی  $0.5\%$  انعکاس ویترونیات است و به پنجره نفت زایی نرسیده است همچنین سازندهای پایده- گورپی فاصله زیادی با پنجره نفت زایی دارند.

تاریخچه تدفین چاه-۱ در شکل ۳ نشان داده شده است. در این تاریخچه تدفین عمق محیط رسوبی سازندها در نظر گرفته شده است و با توجه به تغییرات جهانی سطح آب دریا و بالا آمدگی حاصل از کوهزایی زاگرس تاریخچه تدفین لایه ها ترسیم شده است. در این چاه سازند گچساران دارای ضخامت قابل توجهی نسبت به دیگر سازندها است و در تاریخچه تدفین نرخ رسوب گذاری سریع تر را نشان می دهد که نرخ تدفین و عمق تدفین بیش تر سنگ منشاء کژدمی را باعث شده است. در این چاه سازند کژدمی دارای پختگی  $0.8\%$  تا  $1\%$  انعکاس ویترونیات است، در این پختگی فرایند نفت زایی در حداکثر مقدار است. از ابتدای الیگوسن سازند کژدمی در شرایط مناسب نفت زایی قرار داشته



شکل ۶- تاریخچه تدفین چاه-۶

چاه-۱۰ دربرگیرنده سازندهای آجاجاری، میشان و گچساران است و تاریخچه تدفین این چاه (شکل ۷) نشان می دهد که این سازندها با نرخ رسوب گذاری بالاتری نسبت به دیگر سازندها نهشته شده اند. این وضعیت برای سازند گچساران در چاه-۱ نیز دیده می شود. در چاه-۶ با وجودی که نرخ رسوب گذاری سازندهای میشان و گچساران بالا است. اما شباهت بیش تری بین تاریخچه تدفین چاه-۱۰ و چاه-۱ دیده می شود. این تشابه حاصل موقعیت مشابه این چاه ها در ساختار تاقدیس است. در چاه-۱۰ سازند کزدمی در ابتدای الیگوسن بالایی وارد پنجره نفت زایی شده است و اکنون دارای پختگی ۰/۷٪ تا ۰/۸٪ است. پابده- گورپی به پنجره نفت زایی نرسیده است.

چاه-۱ در چاه-۱۰ را نشان داده است. در این شکل، نمودار نفت درجا<sup>۱</sup> و نفت رانده شده<sup>۲</sup> از سنگ منشاء نشان داده شده، میزان نفت و گاز رانده شده از سنگ منشاء در این چاه به ترتیب ۲۲۴/۵ و ۲۰/۷ معادل بشکه بر متر مربع (b equiva/m<sup>2</sup>) و میزان نفت و گاز در جا به ترتیب ۱۶/۴ و ۲/۱ معادل بشکه بر مترمربع است (جدول ۳).

جدول ۳- مقادیر نفت و گاز رانده شده و درجا سنگ

منشاء کزدمی (b equiva/m<sup>2</sup>)

چاه	نفت رانده شده	نفت درجا	گاز رانده شده	گاز درجا
۱	۲۲۴/۵	۱۶/۴	۲۰/۷	۲/۱
۶	۰	۰/۶	۰	۰
۱۰	۸۲/۱	۱۵/۸	۶/۸	۲

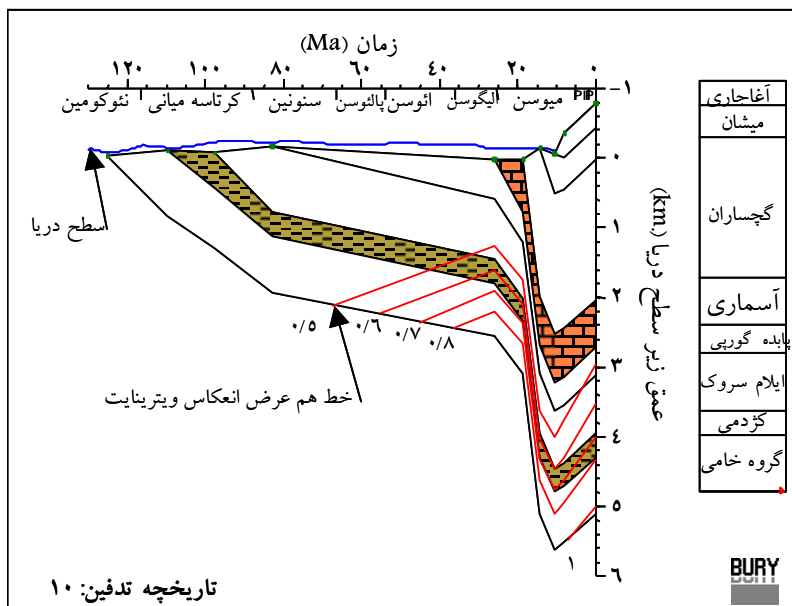
در چاه-۶ هنوز نفتی از سازند کزدمی رانده نشده (شکل ۹) و گاز درجا وجود ندارد. میزان نفت درجا ۰/۶ معادل

سازند کزدمی در مدل به عنوان سنگ منشاء تعریف شده است و با توجه به ویژگی های سنگ منشاء در نظر گرفته شده، نرم افزار محاسبات حجمی نفت زایی را انجام داده است. در شکل ۸ نمودار میزان خروج نفت از سنگ منشاء

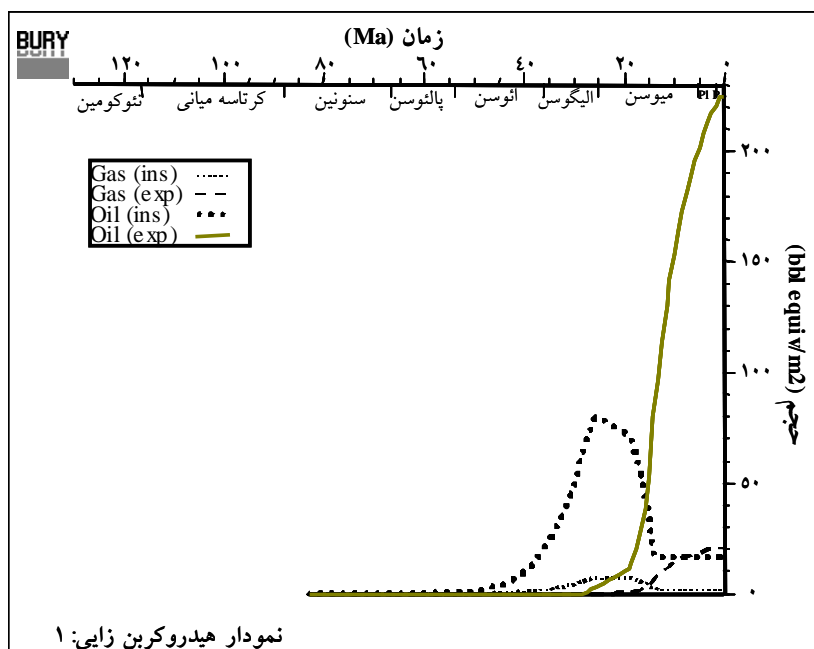
1- In situ  
2- Expelled

بشکه بر مترمربع است. به سمت چاه-۱۰ تولید سنگ منشاء افزایش می‌یابد و مقدار نفت و گاز رانده شده به ۸۲/۱ و ۶/۸ معادل بشکه بر مترمربع می‌رسد. (جدول ۳).

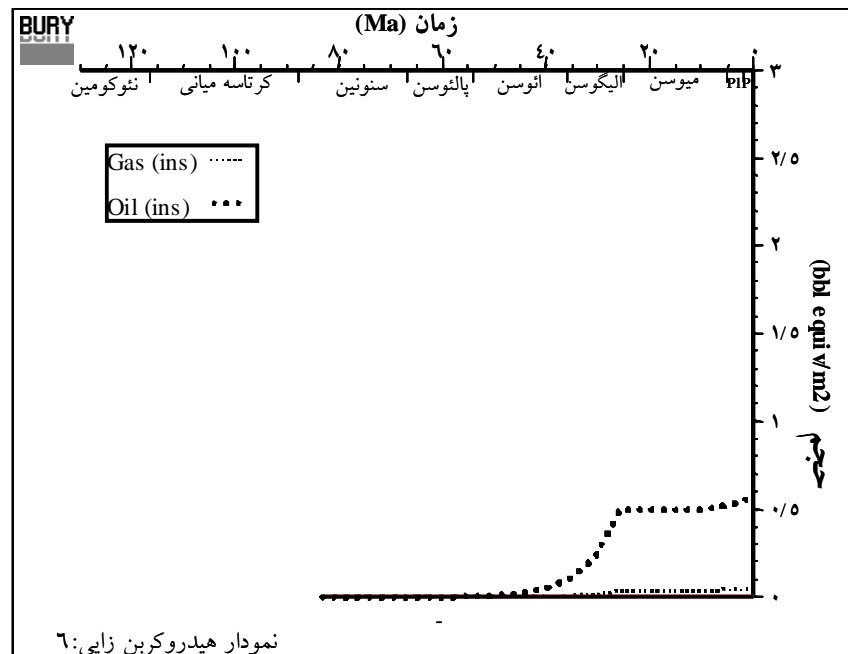
در حالی که سازند کژدمی در چاه-۱۰ در عمق بیش‌تر قرار دارد اما به علت این که گرادیان حرارتی کمتر، میزان نفت‌زایی و پختگی کم‌تری نسبت به چاه-۱ دارد.



شکل ۷- تاریخچه تدفین چاه ۱۰



شکل ۸- نمودار نفت‌زایی سازند کژدمی در چاه-۱



شکل ۹- نمودار نفت‌زایی سازند کژدمی در چاه-۶

### بحث و نتیجه‌گیری

تطابقی که بین داده‌های آزمایشگاهی انعکاس و تیرینایت و نتایج مدلسازی وجود دارد، تأیید کننده درستی فرضیات مورد استفاده است و با اطمینان بیشتری می‌توان مدل را مورد استفاده قرار داد. از لایه‌هایی که در اعماق زیاد قرار دارند، امکان نمونه‌برداری وجود ندارد. برای این قسمت‌ها می‌توان ابزار مدلسازی را مورد استفاده قرار داد. در مقطع مورد مطالعه عمق تدفین لایه‌ها به ۶۰۰۰ متر می‌رسد از این اعماق نمونه در دسترس نیست. اما مدل میزان پختگی لایه‌ها را در این اعماق نشان می‌دهد. بیش‌تر مطالعاتی که صورت می‌گیرد بر روی نمونه‌هایی از چاه‌های حفاری شده در قسمت‌های بالای تاقدیس است. تفاوت زیادی بین وضعیت سنگ منشاء در بالای تاقدیس گچساران و قسمت‌های عمیق‌تر یال‌ها وجود دارد. به گونه‌ای که سازند کژدمی در بالای تاقدیس به پنجره نفت‌زایی نرسیده است اما در یال‌ها در پنجره نفت‌زایی قرار دارد زمان ورود

به پنجره نفت‌زایی در چاه‌ها از الیگوسن پایینی تا الیگوسن بالایی است. میزان نفت‌زایی در یال جنوب غرب تاقدیس گچساران (چاه-۱) بیش‌ترین مقدار است در یال شمال شرق (چاه-۱۰) میزان کم‌تری نفت‌زایی رخ داده است و در بالای تاقدیس مقدار اقتصادی نفت تولید نشده است.

سازند پابده- گورپی در تاقدیس گچساران وارد پنجره نفت‌زایی نشده است و در مرحله‌ای نیست که مقدار اقتصادی نفت تولید کرده باشد.

این مطالعه نشان می‌دهد بررسی سنگ منشاء در چاه‌ها تصویر کلی از وضعیت ناحیه‌ای سنگ منشاء نشان نمی‌دهد و لازم است با استفاده از روش‌های مدلسازی حرارتی قسمت‌هایی که امکان نمونه‌برداری وجود ندارد مورد توجه قرار داد و با توجه به وجود نرم‌افزارهای دو بعدی و سه بعدی مدلسازی حرارتی از این ابزارها در شناخت و رفع ابهامات موجود استفاده شود.

## مراجع

- [۷] علیزاده، ب، تژه، ف، آدابی، م، ح، تعیین بلوغ مواد آلی و تاریخچه تدفین رسوبات توسط TTI و Tmax در میدان نفتی مارون، بیست و سومین گردهمایی علوم زمین شناسی سازمان زمین شناسی کشور، ۱۳۸۳.
- [8] Pitman, J.K., Steinshouer, D., and Lewan, M.D., "Petroleum generation and migration in the Mesopotamian Basin and Zagros Fold Belt of Iraq: results from a basin-modeling study", *GeoArabia*, 9 (2004) 41-72.
- [9] Memariani, M., Kamali, M.R. and Angajivand, M., "Source rock assessment and geochemical processes involved in formation of heavy oil in Kuh-e-Mund, SW Iran", *GeoArabia*, 5 (2000) 142.
- [10] Rabbani, A.R. and Kamali, M.R., "Source rock evaluation and Petroleum Geochemistry Offshore SW Iran", *J. Pet. Geol.*, 28 (2005) 413-425.
- [11] Gretner, P.E. and Curtis, C.D., "Role of temperature and time on organic metamorphism", *AAPG Bull.*, 66 (1982) 1124-1149.
- [12] Barker, C.E., "Temperature and time in thermal maturation of organic matter", In: *Thermal history of sedimentary basin-methods and case history*, (Edited by N.D. Naeser and T.H. MacCulloh) Springer Verlag New York, (1991).
- [۱۳] مطیعی، ه، زمین شناسی نفت زاگرس، ۱۳۷۴.
- [14] Ungerer, P. and Pelet, R., "Modeling of petroleum generation and expulsion- an update to recent reviews", In: Dore, A.G. et al. (Eds), *Basin Modeling: Advances*
- [1] Barker, C., "Thermal Modeling of Petroleum Generation: Theory and Applications", *Development in Petroleum Science*, 45 (1996) 512.
- [2] Hessami, K., Koyi, H.A., Talbot, C.J., Tabasi, H. and Shabanian, E., "Progressive unconformities within an evolving foreland fold-thrust belt, Zagros Mountains", *Journ. Geol. Soc. London*, 158 (2001) 969-981.
- [3] Humkes, Verges, J., Garces, M., Emami H. and Kakpuz, R., "Magnetostratigraphy of Miocene-Pliocene Zagros foreland deposits in the front of the Push-e Kush Arc (Lurestan Province, Iran)", *Earth and Planetary Science Letters*, 225 (2004) 397-410.
- [4] Ala, M.A., Kinghorn, R.R.F. and Rahman, M., "Organic geochemistry and source rock characteristics of the Zagros petroleum province, Southwest Iran", *J. Pet. Geol.*, 3 (1980) 16-89.
- [5] Bordenave, M.L. and Hegre, J.A., "The influence of tectonics on the entrapment of oil in the Dezful Embayment, Zagros foldbelt, Iran", *J. Pet. Geol.*, 28 (2005) 339-368.
- [6] Versfelt Porter, L.J., "Major hydrocarbon potential in Iran, in *Petroleum Provinces of the Twenty First Century*", *AAPG Memoir*, 74 (2001) 417-427.

- [17] Falvey, D.A. and Middleton, M.F., "Passive Continental Margins: Evidence for a Prebreakup Deep Crustal Metamorphic Subsidence Mechanism", *Oceanologica ACTA*, (1981) 103-114.
- [18] Khosrovi Said, A., "Geochemical concepts on origin, migration and entrapment of oil in southwest Iran", In: Kumar, R.K. et al. (Eds), *Petroleum Geochemistry and Exploration in the Afro-Asian Region*, Balkema, Rotterdam, (1987) 531-539.
- and Applications, *Norwegian Petroleum Society Special Publication 3*, Elsevier, Amsterdam, (1987) 219-232.
- [15] Bordenave, M.L., "The Middle Cretaceous to Early Miocene petroleum system in the Zagros Domain of Iran, and its prospect evaluation", *AAPG Annual Meeting*, March 10-12, Houston, Texas, (2002).
- [16] Bordenave, M.L. and Burwood, R., "Source rock distribution and maturation in the Zagros orogenic belt: Province of Asmari and Bangestan reservoir oil accumulation", *Org. Geochem.*, 16 (1990) 369-387.