

## ارزیابی زایش نفت، بازسازی تاریخچه تدفین و بلوغ حرارتی با استفاده از داده‌های پیرولیز راک- اول و مدل آرنیوس در یکی از چاه‌های میدان نفتی پارسی

ابوذر بازوندی<sup>۱</sup>، بیژن ملکی\*<sup>۲</sup>، سعیده سنماری<sup>۲</sup>، پرویز آرمانی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اکتشاف نفت، دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

۲- عضو هیئت علمی، دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

\*malekibijan@yahoo.com; maleki@eng.ikiu

دریافت شهریور ۱۳۹۸، پذیرش آبان ۱۳۹۸

### چکیده

بررسی سنگ‌های منشا احتمالی در میدان های نفتی اهمیت زیادی دارد. در این تحقیق، علاوه بر ارزیابی پتانسیل هیدروکربنی، از مدل سینتیکی آرنیوس، برای ارزیابی دقیق‌تر وضعیت بلوغ سنگ منشاء و همچنین درصد زایش نفت در میدان نفتی پارسی استفاده شد. در مدل آرنیوس، دمای آهنگ تجزیه کروژن از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مطالعه برخی از سنگ های منشاء که آزمایش پیرولیز حرارتی بر روی آنها صورت گرفته است از جنبه سینتیکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نسبت تبدیل کروژن به هیدروکربور (TR) در آنها تعیین شد. بر اساس نتایج بدست آمده از بازسازی تاریخچه تدفین و مدل‌سازی حرارتی، مشخص گردید که سازندهای کژدمی و پابده در چاه مورد مطالعه وارد پنجره هیدروکربورزایی شده اند. بر اساس مدل آرنیوس مقادیر TTI سازند کژدمی مربوط به محدوده نفتی است، در صورتیکه TTI سازند پابده در محدوده گازی، بدست آمده است. همچنین نرخ تبدیل کروژن به نفت برای سازند گورپی، بعلت مواد آلی ناچیز، مورد بررسی قرار نگرفت. بنابراین از میان سازندهای کژدمی، گورپی و پابده در میدان نفتی پارسی، سازند کژدمی به عنوان اصلی‌ترین و موثرترین سنگ منشأ این میدان نفتی معرفی می‌شود که دارای  $TR=100$  و TTI بالایی است.

کلمات کلیدی: ارزیابی سینتیکی، سنگ منشاء، مدل آرنیوس، تاریخچه تدفین، میدان نفتی پارسی.

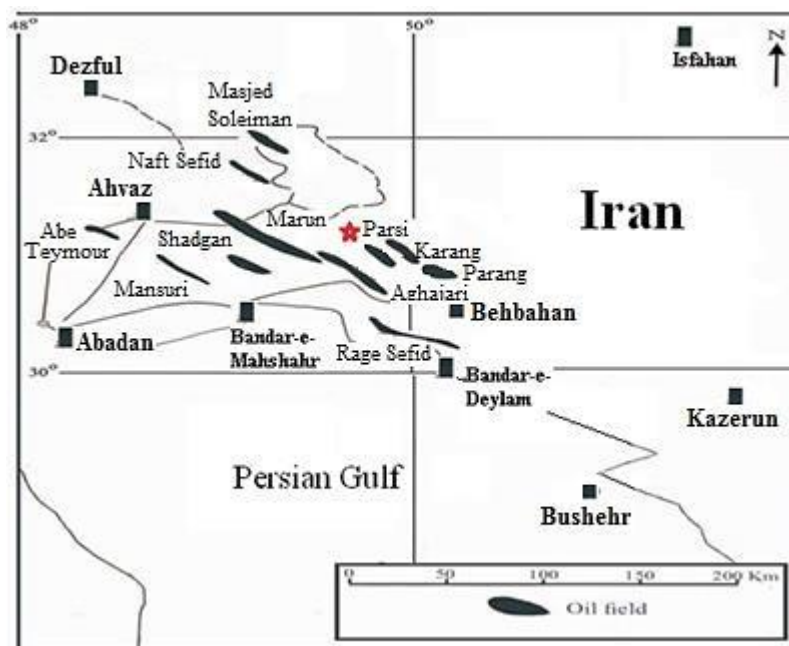
## ۱- مقدمه

امروزه هیدروکربورها بیشترین سهم تولید انرژی را در زندگی بشر دارند و اولین قدم در بهره‌گیری از آنها اکتشاف است. در این راستا ژئوشیمی آلی علمی است که کارایی آن در بهبود اکتشاف، توسعه میادین نفتی و مدیریت مخازن نفتی ثابت شده است. در مطالعات وابسته به ژئوشیمی، خواص سنگ‌های منشاء بررسی می‌شود. قرار گرفتن سنگ‌های منشاء در اعماق زیاد و دیده نشدن آنها در بعضی مقاطع از جمله محدودیت‌های شناخت آنها است. لذا جهت شناخت بخش‌های عمیق حوضه، عواملی همچون بازسازی حوادث زمین‌شناسی و حرارتی گذشته می‌تواند نقش مهمی را در ارزیابی داشته باشد. در این راستا با استفاده از مدل‌های بازسازی و آزمایش‌های مربوط به سنگ منشاء، می‌توان در حد زیادی عملکرد این سنگ‌ها را ارزیابی نمود. بنابراین یکی از اهداف مهم علم ژئوشیمی، ارزیابی پتانسیل هیدروکربنی سازندها است. بدین منظور، از پارامترهای ژئوشیمیایی آلی سازندهای مورد مطالعه که حاصل نتایج آنالیزهای راک-اول و مدل‌سازی تاریخیچه حرارتی است می‌توان استفاده نمود. مطالعه تاریخیچه حرارتی یکی از روش‌های غیر مستقیم به منظور ارزیابی سنگ منشاء و پی بردن به وضعیت بلوغ و درجه پختگی مواد آلی و همچنین تعیین عمق و زمان تشکیل هیدروکربن است (رضایی، ۱۳۸۳). مدل‌سازی حرارتی روشی است که با استفاده از روش لوپاتین انجام می‌شود. با این روش، تأثیر هر دو عامل زمان و درجه حرارت (مدل TTI) در محاسبه بلوغ حرارتی مواد آلی رسوبات در نظر گرفته می‌شود. در دهه ۹۰ میلادی افرادی نظیر Burwood و Bordenave در حوضه زاگرس مطالعاتی بر اساس مدل‌سازی حرارتی انجام دادند (Bordenave and Burwood 1990). همچنین در مطالعه دیگر از روش مدل‌سازی حوضه رسوبی و مدل‌سازی حرارتی در کوه خامی و کوه میش استفاده شد. در مدل‌سازی حرارتی، فرسایش تأثیر زیادی بر میزان پختگی مواد آلی لایه‌ها داشته و در واقع فرسایش منجر به کاهش عمق تدفین شده که خود سبب کاهش نرخ واکنش‌های نفت زایی می‌گردد (زینل زاده و همکاران، ۱۳۸۹). کمالی و همکاران با استفاده از بازسازی تاریخیچه تدفین و مدل‌سازی حرارتی لوپاتین سنگ منشاء گدوان، در ناحیه فارس را مورد بررسی قرار دادند (کمالی و همکاران، ۱۳۸۴). همچنین مدل‌سازی حرارتی با استفاده از روش لوپاتین در فروافتادگی دزفول در سال ۱۳۸۹ توسط صالحی انجام شد. البته امروزه برخی از محققان با استفاده از روش LLNL مقدار (ضریب انعکاس ویتربینایت)  $R_0$  را محاسبه کرده که این مدل سینتیکی جایگزین مدل لوپاتین شده است. در واقع برای بهینه‌سازی این مدل، از داده‌های تکمیلی از قبیل پارامترهای بلوغ ماده آلی مانند داده‌های انعکاس ویتربینایت استفاده شده است. شناسایی سنگ‌های منشاء بالقوه، میزان بلوغ و نحوه توزیع آنها در منطقه، توسط غربالگری سریع نمونه‌های سنگی با استفاده از دستگاه راک-اول انجام می‌گیرد (Lafargue et al., 1998). در این روش آنالیز نمونه‌ها به‌طور خودکار انجام می‌شود و نتایج آن به صورت نمودار ژئوشیمیایی ارائه می‌گردد. از سویی دیگر در برخی از مطالعات، توزیع کمی سینتیکی زایش نفت پیشنهاد می‌شود. در این راستا، پیش‌بینی خواص کروژن به کمک مدل سینتیکی و بر پایه رخساره آلی نسبت به نمودار ون-کروژن انجام می‌شود (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۱). در مدل سینتیکی، انواع مولکول‌های واکنش دهنده (اولیه یا ثانویه)، انواع کروژن (I-IV) و انواع اجزای نفت تولیدشده (کلی، نفت-گاز، سینتیک ترکیبی) از یکدیگر تمیز داده می‌شود. البته مدل‌های سینتیکی متعددی برای تشکیل هیدروکربن وجود دارد. مدل کلی فراهم شده توسط انستیتوی نفت فرانسه (IFP) و آزمایشگاه ملی لیورمور نسبت به مدل‌های دیگر، به‌طور گسترده‌تری مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل بر طبق یکسری واکنش‌های موازی به نام مدل ویتربینایت ارائه شده است (Sweeney and Burnham, 1990). در طی سال‌های اخیر از ضریب انعکاس ویتربینایت به عنوان شاخص بلوغ به‌طور گسترده استفاده می‌شود. همچنین مدل‌های مختلفی برای پیش‌بینی مقادیر  $R_0$  با توجه به عوامل زمان و دما ارائه شده است (اشکان، ۱۳۸۳). در بین مدل‌های ارائه شده، مدل‌های VITRINATE و EASY%R0 بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Burnham, 2019). در مدل سوئینی و برنهام (Sweeney and Burnham, 1990) انرژی فعال‌سازی جهت تجزیه

ویترینایت طی چهار واکنش تجزیه‌ای شامل واکنش حذف آب، متان، دی‌اکسید کربن و هیدروکربن‌های سنگین است. در این رابطه با فراوانی که به دست می‌آید می‌توان توزیع نهایی انرژی فعال‌سازی با فاکتور فراوانی را محاسبه کرد. در مدل دیگر، انعکاس ویترینایت با نرخ تبدیل (TR) به صورت نمایی و در بازه مشخص (۴۷/۶۶٪ و ۰٫۲۰) اصلاح می‌شود. در این تحقیق سعی شده است، مدل آرنیوس به عنوان یکی از روش‌های ژئوشیمیایی نفت معرفی گردد. بر این اساس سازندهای سنگ منشأ احتمالی در میدان پارسی، مورد ارزیابی ژئوشیمیایی قرار گرفتند.

## ۲- موقعیت جغرافیایی میدان نفتی پارسی

میدان پارسی بعنوان یکی از بزرگترین میدانی نفتی در زاگرس، در ۱۳۰ کیلومتری جنوب غربی اهواز و در حدود ۴۰ کیلومتری جنوب غرب شهرستان رامهرمز و در بلافصل شمال غربی میدان کرنج و بر روی محور پیشینه فرونشست فروافتادگی دزفول قرار دارد (شکل ۱). این میدان با طول ۳۶ کیلومتر و عرض ۷ کیلومتر، از غرب به میدان نفتی پرنج و میدان نفتی کرنج، از شمال به میدان نفتی ماماتین و از جنوب به میدان نفتی آغاچاری محدود شده است. این میدان در محدوده عرض جغرافیایی  $30^{\circ} 55'$  تا  $31^{\circ} 12'$  و طول جغرافیایی  $49^{\circ} 49'$  تا  $50^{\circ} 00'$  واقع شده است (یزدانی و همکاران، ۱۳۸۵). در این میدان سازندهای کژدمی، گورپی و پابده از گروه بنگستان دارای گسترش وسیعی بوده و می‌توانند به عنوان سنگ منشأ احتمالی مورد بررسی قرار گیرند.



شکل ۱- موقعیت میدان نفتی پارسی و میدان‌های نفتی همجوار آن واقع در جنوب غرب ایران (مطیعی، ۱۳۷۴).

## ۳- روش‌ها و تکنیک‌ها

دما و عمق دو عامل مهمی هستند که در بررسی تشکیل نفت و ارزیابی بلوغ سنگ منشأ نقش مهمی را ایفا می‌کنند (Dembicki, 2017)، به‌ویژه وقتی که با دیگر نشانگرهای بلوغ ترکیب شوند (اشکان، ۱۳۸۳). اولین روش سینتیکی در مدل-سازای تولید نفت به‌وسیله هابیخت ارائه شد (Habicht, 1964). هابیخت انرژی فعال‌سازی  $5 \text{ kcal/mol}$  و ضریب  $A=5 \times 10^6 \text{ sec}$  را در مطالعه مدل آرنیوس را مورد استفاده قرار داد. این رابطه اولین مدل ریاضی برای تولید نفت با استفاده از نظریه سینتیک آرنیوس همراه با منحنی تاریخچه تدفین سنگ منشأ توسط تیسوت است که منتشر شد (Tissot, 1969). در روش

TTI تأثیرات هر دو عامل زمان و درجه حرارت در محاسبه بلوغ مواد آلی در نظر گرفته می‌شود. در این رابطه مقدار TTI با انعکاس ویتربینایت مطابق معادله یک رابطه مستقیم دارد.

$$R_0 = 0/06359 \times (1444TTI)^{0/2012} \quad \text{معادله ۱}$$

در واقع روش TTI برای پیش‌بینی تشکیل نفت و شکسته شدن مولکول‌های آن استفاده می‌شود. این روش نوع کروژن را مشخص نمی‌کند اما می‌تواند ارتباط کلی با کروژن را نشان دهد. در مدل‌سازی به روش TTI فرض بر این است که: عوامل مؤثر بر بلوغ ماده آلی فقط زمان و دما هستند. زمان و دما می‌توانند جایگزین یکدیگر شوند، یعنی هر قدر دما کمتر باشد زمان طولانی‌تری برای رسیدن به مرحله خاصی از بلوغ لازم خواهد بود. لویاتین از بهسازی مدل TTI برای رسم نمودارهای زمان-دما به منظور تولید نفت استفاده کرد (Lopatin, 1976). بر اساس این تحقیق، نرخ افزایش بلوغ در هر ۱۰ درجه سانتی‌گراد دو برابر می‌شود. وود شاخص زمان-دما را بر اساس معادله آرنیوس،  $TTI_{ARR}$  نامید تا از TTI لویاتین تمیز داده شود و روابطی برای تعیین آن ارائه داد (Wood, 1988). وود برای مدل‌سازی بلوغ سنگ منشاء، رابطه بین  $TTI_{ARR}$  و دما-زمان را برای تعدادی از تاریخچه‌های تدفین بکاربرد. وی سپس روش خود را با روش لویاتین مقایسه نمود و نتیجه گرفت که روش لویاتین برای کروژن‌های با واکنش سریع، ارزیابی پایین داشته و همچنین برای تفاوت‌های زیاد در آهنگ‌های حرارتی، تخمین مناسبی ندارد (Wood, 1988; Hunt, 1996). در جدول یک ارتباط TTI و انعکاس ویتربینایت با وضعیت بلوغ سنگ منشاء نشان داده شده است.

جدول ۱- مقادیر TTI و  $R_0\%$  و ارتباط آن‌ها با وضعیت بلوغ سنگ منشاء (مطبیعی، ۱۳۷۴)

وضعیت بلوغ	درصد انعکاس ویتربینایت	TTI وضعیت بلوغ
بالغ	۰/۰-۰/۵۵	۰-۳
بلوغ اولیه	۰/۵۵-۰/۷۰	۳-۲۰
بلوغ میانی	۰/۷۰-۱/۰۰	۲۰-۷۵
بلوغ نهایی	۱/۱-۰۰/۳۰	۷۵-۱۸۰
گاز زایی	۱/۲-۳۰/۰۰	۱۸۰-۹۰۰

در مدل آرنیوس، دمای آهنگ تجزیه کروژن از اهمیت زیادی برای تعیین پارامترهای معادله یک برخوردار است. در این تحقیق برخی از سنگ‌های منشاء که آزمایش پیرولیز حرارتی بر روی آن‌ها صورت گرفته است از جنبه سینتیکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نسبت تبدیل سنگ منشاء (TR) تعیین می‌شود. بنابراین بر اساس آن می‌توان، توان نفت‌زایی سنگ را تعیین نمود. بنابر مطالعه کنونی (مدل سازی سینتیکی) لازم بود که نوع کروژن تقسیم‌بندی جزئی‌تری نماید. از این‌رو نیاز به تعیین انرژی اکتیواسیون یا فعال‌سازی کروژن بود. روش‌های مختلفی برای تعیین این انرژی وجود دارد. از جمله می‌توان به محتوی گوگرد اشاره کرد که چهار نوع کروژن تیپ دو پیشنهاد گردیده است. تقسیم‌بندی چهار گانه ضعیف، متوسط، خوب، خیلی خوب و عالی بترتیب معادل با A, B, C, D در نظر گرفته شد. البته برای کروژن نوع دو تقسیم‌بندی دیگر بر اساس

محتوی گوگرد نیز صورت گرفته است، که کروژن تیپ دو را به دو و سه دسته تقسیم نموده است (Hunt et al., 1991). همچنین می توان انرژی اکتیواسیون را بدون در نظر گرفتن محتوی گوگرد و با کمک داده های راک-اول تعیین نمود (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۴؛ کسایبی و افتخاری، ۱۳۸۶). در جدول ۲ رابطه بین پارامترهای راک-اول (S1, S2, TOC) و کیفیت کروژن آمده است،

جدول ۲- دستورالعمل های تفسیری برای کمیت، کیفیت و بلوغ سنگ (Peters and Cassa 1994; Baik et al., 2000)

Quantity	TOC (%)	S1 (mg HC/g TOC)	S2 (mg HC/g TOC)
Poor	۰/۵<	۰/۵<	۲/۵<
Fair	۰/۵-۱	۰/۵-۱	۲/۵-۵
Good	۱-۴	۱-۴	۵-۲۰
Excellent	۴>	۴>	۲۰>
Quality	HI (mg HC/g TOC)	S2/S3	Kerogen type
None	۵۰<	۱<	IV
Gas	۵۰-۲۰۰	۱-۵	III
Gas and Oil	۲۰۰-۳۰۰	۵-۱۰	II/III
Oil	۶۰۰-۳۰۰	۱۰-۱۵	II
Oil	۶۰۰>	۱۵>	I
Maturation	R0 (%)	T <sub>max</sub> (°C)	TAI
Immature	۰/۲-۰/۶	۴۳۰<	۱/۵-۲/۶
Early mature	۰/۰-۶/۶۵	۴۳۰-۴۴۰	۲/۶-۲/۷
Peak mature	۰/۶۵-۰/۹	۴۴۰-۴۵۰	۲/۷-۲/۹
Late mature	۰/۹-۱/۳۵	۴۵۰-۴۷۰	۲/۹-۳/۳
Post mature	۱/۳۵>	۴۷۰>	۳>

وابستگی نهایی دمای تجزیه کروژن برحسب عبارت های نظری، به وسیله معادله ۲ بیان می شود.

$$K=A \exp (-E/RT)$$

معادله ۲

$K$  = ثابت آهنگ واکنش (l/my)،  $A$  = ضریب پیش نمایی یا فرکانس (l/my)،  $R$  = ثابت گاز ایده آل،  $T$  = دما برحسب کلوین (C+273). پارامترهای سینتیکی  $E$  (مقدار انرژی فعال سازی) و  $A$  (فاکتور فراوانی) می باشند که می توان آنها را به طور آزمایشی با حرارت دادن سنگ منشاء در دماهای مختلف و اندازه گیری محصول هیدروکربن بدست آورد. اگر در زمان  $t_0$  مقدار کروژن برابر با  $V_0$  و بیتومن برابر با صفر باشد و همچنین در زمان  $t$  مقدار کروژن برابر  $(V_0 + V_t)$  و بیتومن برابر  $V_t$  باشد، نرخ تبدیل کروژن به بیتومن در دمای ثابت بستگی به مقدار کروژن باقیمانده داشته واز معادله ۳ به دست می آید.

$$\frac{dv}{dt} = K (V_0 + V_t) n$$

معادله ۳

$(V_0 + V_t)$  کمیت باقی مانده واکنش،  $K$  نرخ ثابت معادله، و  $n$  درجه واکنش است. مدل های سینتیکی برای مدل سازی هر واکنش، نیازمند پارامترهای سینتیکی است که باید در آزمایشگاه اندازه گیری شده و یا از طریق مقادیر استاندارد جهانی استفاده

شود. امروزه به دست آوردن پارامترهای سینتیکی از آزمایش‌های پیرولیز رایج است (Chen et al, 2017; Vitzthum et al, 2017). این آزمایش‌ها در مدت زمان کم و دمای بالا صورت می‌گیرند و در نهایت مکانیسم‌های واکنشی متفاوتی را دارا می‌باشند. در معادله ۴، نرخ تبدیل کروژن ارائه شده است.

$$V = V_0 \cdot \text{Exp}(-Kt) \quad \text{معادله ۴}$$

در این معادله  $V_0$  کمیت اولیه کروژن،  $K$  نرخ ثابت معادله و  $V$  مقدار باقیمانده کروژن بعد از زمان  $t$  است. در این رابطه محاسبه  $TTI_{ARR}$  از معادله آرنیوس توسط وود (Wood, 1988) و هانت (Hunt, 1996) توضیح داده شده است. وود (Wood, 1988) بیان می‌کند که استخراج  $TTI$  راه حل تجزیه تقریبی انتگرال معادله آرنیوس در دماهای کمتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد است و مقادیر  $E$  بیشتر از  $50 \text{ kJ/mol}$  خطایی کمتر از ۱ دارد. در فرم نموداری روش آرنیوس، شاخص زمان-دما به ازای افزایش خطی هر ۱۰ درجه سانتی‌گراد، ارائه شده است. شاخص زمان-دما بر اساس معادله آرنیوس، توسط وود (Wood, 1988) طبق معادله ۵ بیان شد.

$$TTI_{ARR} = \frac{A(t_{n+1} - t_n)}{T_{n+1} - T_n} \left\{ \left[ \frac{RT^2}{E + 2RT_{n+1}} e^{\left(\frac{-E}{RT_{n+1}}\right)} \right] - \left[ \frac{RT^2}{E + 2RT_n} e^{\left(\frac{-E}{RT_n}\right)} \right] \right\} \times 100 \quad \text{معادله ۵}$$

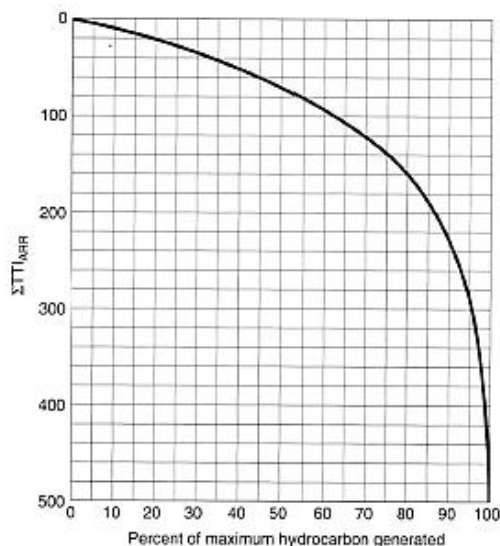
در این معادله  $t_{n+1}$  و  $t_n$  به ترتیب زمان ( $my$ ) و دمای مطلق ( $C+273$ ) در شروع و پایان یک بازه ۱۰ درجه سانتی‌گرادی هستند. فاکتورهای  $A$ ,  $E$ ,  $R$  همانند معادله ۲ است. این عبارت آهنگ حرارت خطی را در هر ۱۰ درجه سانتی‌گراد در نظر می‌گیرد. ضرب در ۱۰۰ برای حالت حذفی مقادیر با اعشار است. برخی از منحنی‌های تاریخچه تدفین دارای دوره‌های زمانی طولانی در دمای ثابت و با فرونشست یا بالآمدگی ناچیز هستند. به منظور تخمین دقیق مقدار  $TTI_{ARR}$  را می‌توان مطابق معادله ۶ محاسبه نمود.

$$TTI_{ARR} = [(t_{n+1} - t_n) A e^{(E/RT)}] \times 100 \quad \text{معادله ۶}$$

افزودن مقادیر  $TTI_{ARR}$  برای هر بازه ۱۰ درجه سانتی‌گراد، یا دوره دمای ثابت، در منحنی تاریخچه تدفین سنگ منشاء شاخص جمع‌بندی ( $\sum TTI_{ARR}$ ) را فراهم می‌کند. با استفاده از این شاخص می‌توان حداکثر میزان درصد نفت تشکیل شده را بوسیله معادله ۷ محاسبه نمود.

$$X\% = [1 - \exp(-\sum TTI_{ARR}/100)] \times 100 \quad \text{معادله ۷}$$

معادله ۷ را می‌توان به صورت نموداری نیز نشان داد (شکل ۲). در این شکل مشاهده می‌شود که با افزایش  $\sum TTI_{ARR}$  درصد نفت تولید شده نیز افزایش می‌یابد. همانطور که ملاحظه می‌شود به ازای  $\sum TTI_{ARR}$  بیشتر از ۴۰۰، زایش نفت تقریباً به ۱۰۰ درصد می‌رسد.



(Hunt, 1996)  $\sum TTI_{ARR}$  شکل ۲- حداکثر میزان درصد نفت و گاز تولید شده به موازات افزایش

#### ۴- منطقه مورد مطالعه

هدف از این مطالعه، بررسی پتانسیل هیدروکربن زایی سازندهای کژدمی، گورپی و پابده در یکی از چاه‌های واقع در میدان نفتی پارسی است. بدین منظور، از پارامترهای ژئوشیمیایی سازندهای مختلف که حاصل نتایج آنالیزهای راک-اول، مدل آرنیوس و مدل‌سازی تاریخچه حرارتی در این میدان است استفاده شد. با کمک تاریخچه تدفین، اندیس زمان-دما تعیین گردید تا درصد نفت زایشی بدست آید. در این رابطه مدل‌های سینتیکی، برای ارزیابی دقیق‌تر وضعیت بلوغ سنگ منشاء و همچنین درصد نفت زایش شده معرفی شده است.

در این تحقیق از نتایج آنالیز راک-اول مربوط به نمونه‌های خرده حفاری در یکی از چاه‌های میدان پارسی متعلق به سازندهای مذکور استفاده شد (فایق ایرانی و همکاران، ۱۳۹۳). در جدول ۳ داده‌های بدست آمده از آنالیز پیرولیز راک-اول، نشان داده شده است.

جدول ۳- داده‌های پیرولیز راک-اول برای نمونه‌های سازندهای کژدمی، گورپی و پابده در یکی از چاه‌های میدان پارسی

سازند	عمق m)	TOC %	S1 mg HC/g Rock	S2 mg HC/g Rock	Tmax	HI	نوع کروژن	مرغوب یت	معادل کروژن آرنیوس
پابده	۲۰۷۰	۳/۱۵	۱/۷۸	۱۸/۲۵	۴۲۸	۷۵۹	I	E <sup>1</sup>	IIA
	۲۰۹۰	۳/۵۳	۱/۷۱	۱۸/۵۹	۴۳۰	۵۲۷	II	E	
	۲۱۲۰	۲/۴۴	۱/۳۵	۱۱/۹۳	۴۳۰	۴۸۹	II	E	
	۲۱۵۰	۱/۳	۰/۵۷	۵/۹۸	۴۳۱	۴۶۰	II	G <sup>2</sup>	
گورپی	۲۳۰۰	۰/۴۷	۰/۳۴	۱/۲۲	۴۳۵	۲۶۰	III, II	P <sup>3</sup>	IID
	۲۳۳۰	۰/۵	۰/۳۷	۱/۰۸	۴۳۴	۲۱۶	III, II	P	
	۲۳۷۰	۰/۱۸	۰/۳۵	۱/۱۲	۴۳۴	۶۲۲	II	P	

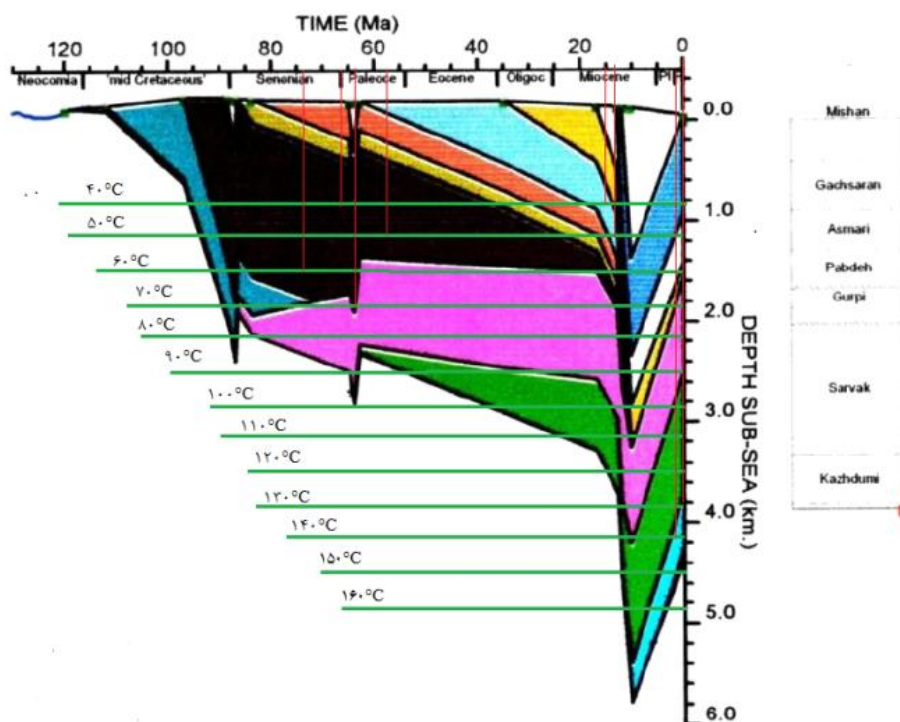
<sup>1</sup> Excellent

<sup>2</sup> Good

<sup>3</sup> Poor

کژدمی	۴۲۰۰	۳/۰۷	۱/۵۴	۳/۳۷	۴۴۵	۱۱۰	III, II	E	IIA
	۴۲۶۰	۲/۵۹	۱/۶۲	۳/۰۲	۴۴۹	۱۱۷	III, II	E	
	۴۲۶۰	۳/۰۷	۱/۵۲	۳/۵۷	۴۴۹	۱۱۶	III, II	E	
	۴۳۲۰	۲/۱۹	۱/۲۲	۲/۲۹	۴۵۱	۱۰۵	III, II	E	

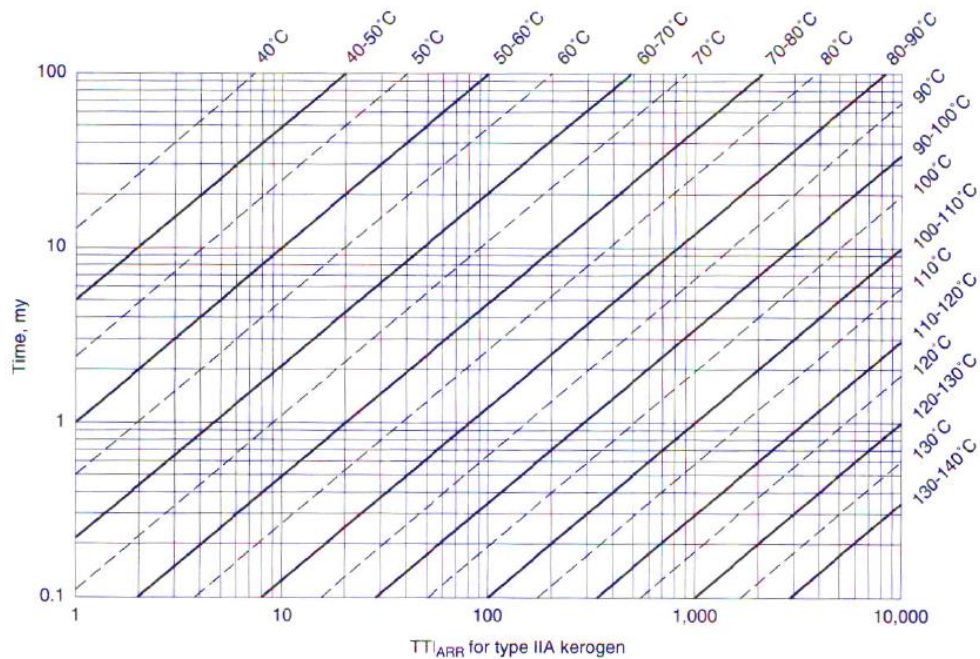
تاریخچه تدفین سنگ منشاء در محدوده این چاه در شکل ۳ آمده است. برای استفاده از این تاریخچه در مدل آرنیوس، معادل حرارتی عمق‌های مختلف تعیین شده و زمان قرارگیری هر سازند در محدوده‌های دمایی مختلف تعیین گردید. از آنجائیکه برای سازندهای ضخیم، قاعده و راس سازند رژیم‌های حرارتی مختلفی را تحمل می‌نماید لذا رژیم حرارتی میانه سازند به عنوان نماینده کل سازند در نظر گرفته شد. به کمک خطوط افقی و عمودی، زمان قرارگیری هر سازند در محدوده‌های دمایی مختلف مشخص شد.



شکل ۳- تاریخچه تدفین سنگ منشا و سایر سکانس‌های رسوبی در یکی از چاه‌های میدان پارس به همراه خطوط هم‌دما.

مطابق جدول ۴ با مشخص شدن کروژن آرنیوس برای هر سازند، بر روی نمودار آرنیوس (شکل ۴) محدوده دمایی آن مشخص می‌گردد. تقاطع‌های هر یک از خطوط قطری توپر، محدوده دما را با خط زمان در امتداد خطوط محورها با مقادیر  $TTI_{ARR}$  نشان می‌دهد. با استفاده از نمودارهای آرنیوس مربوط به هر کروژن،  $TTI_{ARR}$  کروژن هر سازند به ازای محدوده‌های دمایی مختلف به دست می‌آید. به عنوان مثال، سازند کژدمی با کروژن IIA در محدوده دمایی ۷۰-۸۰ درجه سانتیگراد و عمق ۱/۸۳۳-۲/۱۶۶ قرار دارد. نتایج روش نشان می‌دهد، زمان در معرض قرارگیری پنجره نفتی ۶۴ میلیون سال بوده و مقدار  $\sum TTI_{ARR} = 1267/8$  می‌باشد. نرخ تبدیل سنگ منشا (TR) بر اساس معادله ۷ صددرصد است.





شکل ۴- رابطه بین زمان، دما و  $TTI_{ARR}$  در کروژن نوع IIA (Hunt, 1996).

جدول ۴: پارامترهای مدل آرنیوس برای سنگ منشا سازند پابده و کژدمی در یکی از چاه های میدان پارسی

نام سازند	نوع کروژن	عمق سازند	محدوده دما	زمان در معرض $my$ (قرارگیری)	$TTI_{ARR}$	$TTI_{ARR} \sum$	X%
پابده	IIA	۸۳۳-۱/۱۶۶	۴۰-۵۰	۲	۰	۲۰۱۲	۱۰۰
		۱/۱۶۶-۱/۵۰۰	۵۰-۶۰	۱۳	۱۲		
		۱/۵۰۰-۱/۸۳۳	۶۰-۷۰	۰	۰		
		۱/۸۳۳-۲/۱۶۶	۷۰-۸۰	۰	۰		
		۲/۱۶۶-۲/۵۰۰	۸۰-۹۰	۰	۰		
		۲/۵۰۰-۲/۸۳۳	۹۰-۱۰۰	۰	۰		
		۲/۸۳۳-۳/۱۶۶	۱۰۰-۱۱۰	۰	۰		
		۳/۱۶۶-۳/۵۰۰	۱۱۰-۱۲۰	۰	۰		
		۳/۸۳۳-۴/۱۶۶	۱۲۰-۱۳۰	1	۲۰۰۰		
۴/۱۶۶-۴/۵۰۰	۱۳۰-۱۴۰	۱/۳	۰				
گورپی	IID	-	-	-	-	۰	۰
کژدمی	IIA	۸۳۳-۱/۱۶۶	۴۰-۵۰	۸/۵	۰/۸	۱۲۶۷/۸	۱۰۰
		۱/۱۶۶-۱/۵۰۰	۵۰-۶۰	۱۶/۵	۱۷		
		۱/۵۰۰-۱/۸۳۳	۶۰-۷۰	۱۰	۵۰		
		۱/۸۳۳-۲/۱۶۶	۷۰-۸۰	۶۴	۱۲۰۰		

## ۵- بحث و بررسی

سازندهای کژدمی، گورپی و پابده به عنوان سنگ‌های منشاء احتمالی موجود در میدان نفتی پارسی از نظر کمیت، کیفیت و بلوغ ماده آلی با استفاده از نتایج پیرولیز راک-اول مورد بررسی قرار گرفتند. بر این اساس، توان هیدروکربن‌زایی سازند کژدمی خیلی خوب، سازند گورپی فقیر، و سازند پابده خوب تا خیلی خوب ارزیابی شد. بر پایه مطالعات انجام گرفته قبلی (فایق ایرانی و همکاران، ۱۳۹۳)، کروژن و ماده آلی سازند گورپی در مراحل ابتدایی بلوغ قرار داشته، در حالیکه سازندهای پابده و کژدمی در اوج زایش هیدروکربن قرار دارند. بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق و بازسازی تاریخچه تدفین و مدل‌سازی حرارتی، سازندهای کژدمی و پابده وارد پنجره نفتی گردیده‌اند، در حالی که، سازند گورپی به علت داشتن کروژن با کیفیت پایین (جدول ۳) علیرغم ورود به پنجره نفت زایی، TTI ناچیزی داشته و نرخ تبدیل آن تقریباً صفر می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه مقادیر TTI سازند کژدمی مربوط به پنجره نفتی است، لذا این سازند به عنوان اصلی‌ترین و موثرترین سنگ منشأ نفت این میدان معرفی می‌شود. سازند پابده نیز علیرغم داشتن نرخ تبدیل بالا ( $X=10\%$ )، به علت TTI بالا در محدوده گازی (جدول ۴)، سنگ منشأ نفتی خوبی محسوب نمی‌شود.

## ۶- نتیجه گیری

در این تحقیق کاربرد مدل آرنیوس در ارزیابی سنگ‌های منشاء یکی از چاه‌های میدان پارسی مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا از نتایج آزمایش پیرولیز راک-اول و تاریخچه تدفین نمونه‌های سنگ منشأ در میدان نفتی پارسی استفاده شد. نتایج کمی به دست آمده از مدل سینتیکی، نرخ تبدیل متفاوتی را برای سنگ‌های منشاء نشان داد. در این مطالعه سازندهای کژدمی و پابده بالاترین نرخ تبدیل را دارند. با توجه به اینکه یکی از ویژگی‌های مدل آرنیوس تفکیک دقیق‌تر سنگ‌های منشأ نفتی و گازی از یکدیگر است، سازند کژدمی با TTI بیشتر در پنجره نفتی، سازند اصلی مولد نفت معرفی می‌گردد. سازند گورپی نیز بدلیل نرخ تبدیل بسیار پایین، به عنوان یک سنگ مولد خوب مطرح نیست. نتایج مدل آرنیوس با سایر نتایج بدست آمده مقایسه گردید که تا حد زیادی باهم انطباق داشت. به نظر می‌رسد وجود اندکی عدم تطابق دریافته‌های حاصل، می‌تواند ناشی از خطای محاسباتی در استفاده از تاریخچه تدفین و نمودارهای آرنیوس و همچنین عدم دقت در تعیین نوع کروژن باشد.

## ۷- تشکر و قدردانی

از داوران محترم آقایان دکتر بهمن سلیمانی و دکتر محمود معماربانی قدردانی می‌گردد.

## منابع

- [۱] اشکان، س.ع.م.، ۱۳۸۳، اصول مطالعات ژئوشیمیایی سنگ‌های منشأ هیدروکربوری و نفت‌ها با نگرش ویژه به حوضه رسوبی زاگرس، مدیریت اکتشاف، اداره مطالعات و تحقیقات ژئوشیمی، ۳۵۵ صفحه.
- [۲] کسائی، ن.م.، افتخاری، ن.، ۱۳۸۶، تعیین پارامترهای سینتیکی مواد آلی در سنگ‌های مادر با استفاده از دستگاه راک-اول، مجله مهندسی معدن و متالورژی، سال ۱۸، شماره ۶۷، صفحه ۱۹-۲۶.
- [۳] علیزاده، ب.، صراف دخت، ه.، ۱۳۹۰، ارزیابی ژئوشیمیایی سازندهای سنگ منشأ در میدان نفتی کیلورکریم، جنوب غرب ایران: مجله زمین‌شناسی نفت ایران، سال دوم، شماره دوم، صفحه ۱۰۹-۱۲۵.

- [۴] علیزاده، ب.، جنت مکان، ن.، فلاوند، ه.، حیدری، م.م.، ۱۳۹۱، مطالعه ژئوشیمیایی و تأثیر تغییرات محیط رسوبی بر پتانسیل هیدروکربنی سازند پابده در میدان نفتی منصوری: مجله زمین‌شناسی نفت ایران، سال سوم، شماره چهارم، صفحه ۲۲-۱.
- [۵] فایق ایرانی، م.م.، موسوی، م.ح.، کمالی، م.ر.، ۱۳۹۳، مدل سازی تاریخچه تدفین، بلوغ گرمایی، مواد آلی و توان هیدروکربنی سنگ های منشا احتمالی در میدان نفتی پارس: ژئوشیمی، سال اول، شماره چهارم، صفحه ۳۲۸-۳۴۱.
- [۶] رضایی، م. ر.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی نفت: انتشارات علوی، ۵۵۲ صفحه.
- [۷] زینل زاده، ا.، افتخاری، ن.، تولایی، م.، هنرمند، ج.، ۱۳۸۹، مدل‌سازی حرارتی یک بعدی رخنمون‌های سطحی، مثالی از کوه خامی و کوه میش، پژوهش نفت، سال بیستم، شماره ۶۱، صفحه ۷۷-۸۷.
- [۸] سلطانی، ز.، علیزاده، ب.، صراف دخت، ه.، ۱۳۹۴، تعیین پارامترهای کینتیکی (A و B) در سنگ منشاء کزدمی با استفاده از دستگاه راک-اول. هفتمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه دامغان، ۱۰۶۰ صفحه.
- [۹] علیزاده، ب.، صراف دخت، ه.، ۱۳۹۰، ارزیابی ژئوشیمیایی سازندهای سنگ منشاء در میدان نفتی کیلورکریم، جنوب غرب ایران، مجله زمین‌شناسی نفت ایران، سال یکم، شماره دوم.
- [۱۰] کمالی، م.ر.، بیجاری پور، آ.، زینل زاده، ا.، ۱۳۸۴، بازسازی تاریخچه تدفین و مدل سازی حرارتی سنگ منشاء گدوان در ناحیه فارس: مجله علوم دانشگاه تهران، سال سی و یکم، شماره اول، صفحه ۲۶۹-۲۸۲.
- [۱۱] مطیعی، ه.، ۱۳۷۴، زمین‌شناسی نفت زاگرس: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۹ صفحه.
- [۱۲] یزدانی، م.، علوی، س.ا.، سراج، م.، ۱۳۸۵. تحلیل ساختاری و شکستگی های میدان نفتی پارس. زمین‌شناسی ایران، سال دوم، شماره پنجم، صفحه ۴۳-۵۶.

- [13] BAIK, H.Y., RICHTMYER, A., ASAFU-ADZAYE, N.B., ADZEI-AKPOR, N. and MANU, T., 2000, Tectono stratigraphy and hydrocarbon potential of an active transform margin basin: Accra/Keta Basin, Ghana, West Africa. Aapg Annual Convention, New Orleans, Louisiana, AAPG Search and Discovery Abstract Article No. 9091.
- [14] BORDENAVE, M. L. and BURWOOD R., 1990, Source rock distribution and maturation in Zagros belt: province Asmari and Bangestan reservoir oil accumulation: *AAPG Bull.*, **16** (1), 369-387. DOI: 10.1016/0146-6380(90)90055-5
- [15] BURNHAM, A. K., 2019, Kinetic models of vitrinite, kerogen, and bitumen reflectance: *Organic Geochemistry*, **131**, 50-59.
- [16] CHEN, Z.H., LIU, X., GUO, Q., JIANG, CH. and MORT, A., 2017, Inversion of source rock hydrocarbon generation kinetics from Rock-Eval data: *Fuel*, **194**, 91-101.
- [17] DEMBICKI, H., 2017, Practical Petroleum Geochemistry for Exploration and Production: *Elsevier Inc.*, 19-60.
- [18] GETTY OIL INTERNATIONAL 1985, Exploration well prognosis Haho1, offshore Togo: Rapport interne B. N R M Togo, 75.
- [19] HABICHT, J. K. A., 1964, Comment on the history of migration in the Gifhorn Trough: Proceedings of the sixth World Petroleum Congress, 480.
- [20] HUNT, J. M., LEWAN, M. D. and HENNET, R. J.C., 1991, Modelling oil generation with time-temperature index graphs on the Arrhenius equation: *AAPG Bull.*, **75**, 795-807.
- [21] HUNT, J.M., 1996, Petroleum Geochemistry and Geology (Second Edition): Edited by J. M. Hunt, W. H. Freeman, et al. Company, New York, 743.
- [22] HUANG, B., XIAO, X. and ZHANG, M., 2003, Geochemistry, grouping and origins of crude oils in the Western Pearl River Mouth Basin, offshore South China Sea: *Organic Geochemistry*, **34**, 993-1008. DOI: 10.1016/S0146-6380(03)00035-4
- [23] LAFARGUE, E., ESPITALIE, J. MARQUIS, F. and PILLOT, D., 1998, Rock-Eval 6 Applications in Hydrocarbon Exploration, Production and in Soil Contamination Studies: *In Revue de l'Institut Français du Pétrole*, **53** (4), 421-437.
- [24] LOPATIN, N.V., 1976, The determination of the influence of temperature and geologic time on the catagenic processes of calcification and oil - gas formation: *Moscow, SSSR*, 361-366.
- [25] PETERS, K.E. and CASSA M.R., 1994, Applied source rock geochemistry. In: Magoon, L.B., Dow, W.G. (Eds.), The Petroleum System – From Source to Trap: *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, **60**, 93-120.

- [26] SWEENEY, J. J. and BURNHAM, A. K., 1990, Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics: *AAPG Bull.*, **74**, 1559-1570.
- [27] TISSOT, B., 1969, Première données sur les mécanismes et la cinétique de la formation du pétrole dans les sédiments: Simulation d'un schéma réactionnel sur ordinateur: *Revue de l'Institut Français du Pétrole B.*, **24** (4), 470-501.
- [28] VITZTHUM, V. B., BOUNACEUR, R. MICHELS, R., SCACCHI, G. and MARQUAIRE, P. M., 2017, Kinetic parameters for the thermal cracking of simple hydrocarbons: From laboratory to geological time-temperature conditions: *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **125**, 40-49.
- [29] WOOD, D. A., 1988, Relationships between thermal maturity indices calculated using Arrhenius equation and Lopatin method: Implications for petroleum exploration: *AAPG Bull.*, **72**, 115-134

## Estimation of oil production, restoration of burial history and thermal maturity using Pyrolysis Rock-Eval data and Arrhenius model in one of the wells of the Parsi oil field

Abuzar Bazvandi, Bijan Maleki\*, Saeedeh Senemari, Parviz Armani

[malekibijan@yahoo.com](mailto:malekibijan@yahoo.com); [maleki@eng.ikiu.ac.ir](mailto:maleki@eng.ikiu.ac.ir)

Received: September 2019, Accepted: October 2019

### Abstract

Investigating potential source rocks in an oilfield is important. In this study, in addition to evaluating the hydrocarbon potential, the Arrhenius kinetic model was used to more accurately assess the source rock maturity status as well as the percentage of oil generation in the Parsi oilfield. In the Arrhenius model, the rate of kerogen decomposition is very important. In this research, some samples from different source rocks that have been tested by thermal pyrolysis were kinetically analyzed and the source rock Transformation Ratio (TR) was determined. Based on the results of burial history and thermal modeling, it was found that Kazhdumi and Pabdeh formations were in the oil Window well. According to Arrhenius model, TTI values of Kazhdumi Formation are related to oil range, while TTI of Pabdeh Formation is obtained in gas range. Also, kerogen to oil conversion rates for the Gurpi Formation due to poor organic matter was not studied. Therefore, among the Kazhdumi, Gurpi and Pabdeh formations in the Parsi oilfield, Kazhdumi Formation is considered as the main and most effective source rock of this Oilfield with high TTI and TR = 100.

**Keywords:** Kinetic evaluation, Source rock, Arrhenius model, Burial history, Pars Oilfield.