

مطالعات ژئوشیمیایی سنگ‌های منشأ هیدروکربوری با استفاده از داده‌های پیرولیز راک-اول و با نگرش ویژه به مدل آرنیوس در یکی از چاه‌های میدان نفتی اهواز

ابوذر بازوندی، سعیده سنماری^{*}، بیژن ملکی و پرویز آرمانی

گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۱۹

چکیده

در این تحقیق، کاربرد مدل آرنیوس به‌عنوان یک مدل سینتیکی مناسب برای ارزیابی درصد نفت زایش شده در سنگ منشأ نشان داده شده است. بدین منظور، سازندهای کژدمی و پابده به‌عنوان سنگ‌های منشأ احتمالی در میدان نفتی اهواز برای نشان دادن نحوه کاربرد روش، مورد مطالعه قرار گرفتند. در این رابطه وضعیت بلوغ سنگ منشأ و همچنین درصد زایش نفت در میدان نفتی اهواز تعیین گردید. بررسی ژئوشیمیایی سازندها نشان داد که از میان سازندهای موجود در میدان نفتی اهواز، سازند کژدمی به‌عنوان اصلی‌ترین سنگ منشأ این میدان نفتی مطرح است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که پتانسیل تولید هیدروکربن سازندهای کژدمی و پابده به ترتیب خیلی خوب و فقیر است و کروژن غالب در آنها به ترتیب از نوع III-II و III می‌باشد. براساس نتایج به‌دست آمده از بازسازی تاریخچه تدفین و مدل‌سازی حرارتی، سازند کژدمی در این چاه وارد پنجره نفتی گردیده، در حالی که سازند پابده بعلت رژیم حرارتی نامناسب وارد پنجره نفت‌زایی نشده است ($X=0$). بنابراین از میان سازندهای مذکور، سازند کژدمی به‌عنوان اصلی‌ترین و مؤثرترین سنگ منشأ میدان نفتی اهواز معرفی می‌شود که حداکثر تبدیل نفت ($X=100$) را دارد.

کلمات کلیدی: ارزیابی سینتیکی؛ مدل آرنیوس؛ جنوب غرب ایران؛ سنگ منشأ؛ زایش نفت

مقدمه

مطالعه آنها است. لذا، برای بررسی بخش‌های عمیق حوضه از عواملی نظیر بازسازی تاریخچه تدفین و بررسی بلوغ حرارتی گذشته می‌توان استفاده نمود. بررسی فرآیند نفت‌زایی از سنگ منشأ در جهت مشخص نمودن کیفیت و کمیت نفت‌زایی در هر سیستم نفتی صورت می‌گیرد.

در مطالعات ژئوشیمیایی، خواص سنگ منشأ و نقش آنها در تولید نفت بررسی می‌شود. قرار گرفتن این سنگ‌ها در اعماق زیاد از جمله محدودیت‌های

*مسئول مکاتبات
آدرس الکترونیکی: s.senemari@eng.ikiu.ac.ir
شناسه دیجیتال: (DOI: 10.22078/pr.2019.3852.2756)

چاه‌های میدان نفتی اهواز از نقطه نظر ژئوشیمیایی آلی مورد بررسی قرار گرفت. سازندهای مذکور جزء مهم‌ترین سنگ‌های منشأ در حوضه رسوبی زاگرس هستند [۱۱]. در فروافتادگی دزفول، سازند کژدمی به‌عنوان سنگ منشأ مواد هیدروکربوری ذخیره شده در سنگ مخزن آسماری و گروه بنگستان معرفی می‌شود [۱۲]. همچنین سازند پابده از نظر میزان مواد آلی دارای پتانسیل خوب می‌باشد. در زمینه ارزیابی سینتیکی مطالعاتی توسط برخی از محققین نیز انجام شده است [۱۳-۱۷].

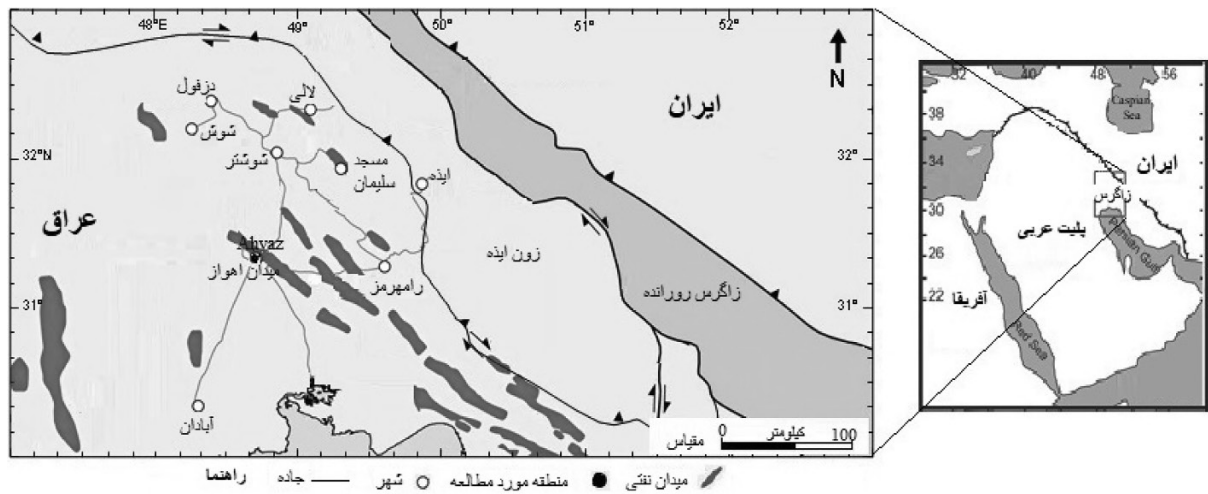
موقعیت جغرافیایی میدان نفتی اهواز

میدان نفتی اهواز با روند شمال غربی- جنوب شرقی، بزرگ‌ترین میدان نفتی در ایران است. این میدان در استان خوزستان، در محدوده شهرستان اهواز و در میانه فروافتادگی دزفول واقع شده است [۱۸]. موقعیت جغرافیایی آن $20^{\circ} 31'$ شمالی و $48^{\circ} 40'$ شرقی است (شکل ۱). میدان نفتی اهواز از شمال به میدان کوپال از شرق به میدان مارون، از جنوب به میدان‌های منصوری و شادگان و از غرب به میدان آب تیمور منتهی می‌شود. تعداد چاه‌های این میدان ۴۲۵ حلقه است. این میدان به دلیل وجود ذخایر نفتی و گازی از دیرباز مورد توجه زمین‌شناسان بوده است. با توجه به اهمیت آشنایی با سازندهای مختلف مورد بحث، در شکل ۲ ستون چینه‌شناسی کلی سازندها ارائه شده است.

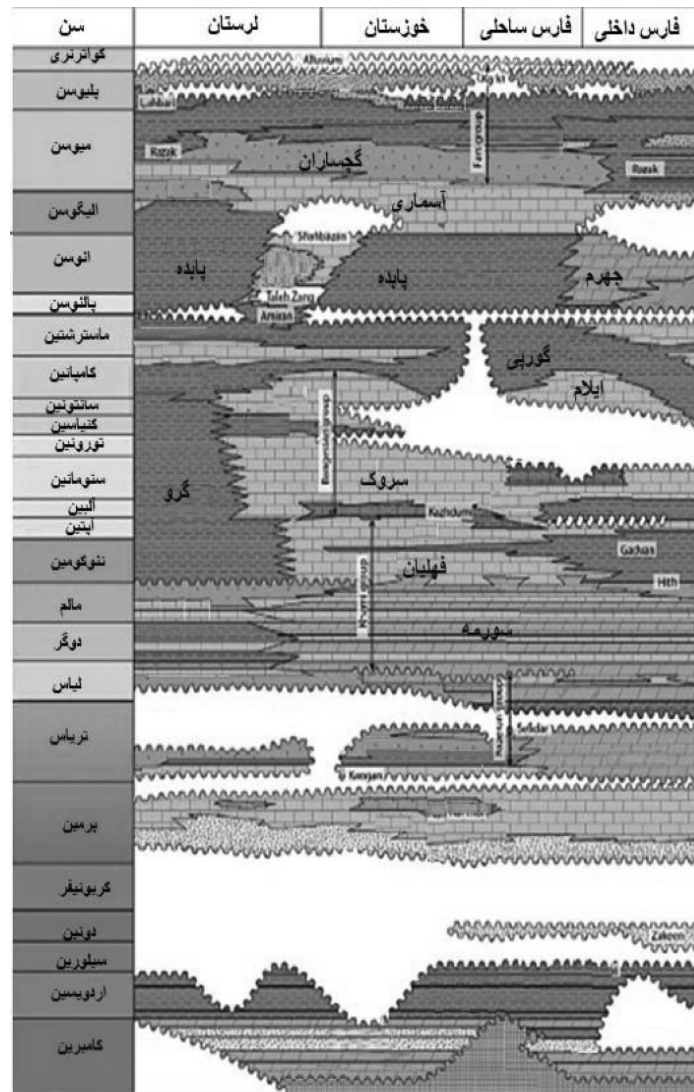
مواد، روش‌ها و مبانی ریاضی

دو فاکتور مهم که در هیدروکربورزایی و بلوغ سنگ منشأ نقش مهمی را ایفا می‌کنند، دما و عمق هستند [۲۱]. در این رابطه، اولین روش سینتیکی در مدل‌سازی تولید نفت توسط هابیخت ارائه شد [۲۲]. این رابطه اولین مدل ریاضی برای تولید نفت با استفاده از نظریه سینتیک آرنیوس، همراه با منحنی تاریخچه تدفین سنگ منشأ توسط تیسوت [۲۳] است.

سنگ منشأ سنگی است که در طول تدفین عمیق و تحت تأثیر حرارت قادر به تولید مقادیر قابل توجهی مواد هیدروکربوری است. واژه کروژن به تمامی مواد آلی موجود در سنگ‌های رسوبی که در اسیدها، بازها و حلال‌های آلی غیرقابل حل هستند، اطلاق می‌شود [۱]. میزان ماده آلی تحت عنوان کل کربن آلی (TOC) بیان می‌شود. مقدار TOC در سنگ‌ها به شدت وابسته به اندازه دانه‌های رسوب بوده و مقدار TOC بالا در رسوب مؤید آن است که نگهداری ماده آلی و نیز انتقال آن به خوبی صورت گرفته است. امروزه جهت مطالعه وضعیت سنگ منشأ از لحاظ پتانسیل تولید هیدروکربن و بلوغ، از روش پیرولیز راک-ایول استفاده می‌کنند [۳ و ۲]. در این روش فرآیند تولید هیدروکربور از سنگ منشأ در شرایط اکسیداسیون و احیاء در دستگاه راک-اول شبیه سازی شده و به دنبال آن، پارامترهایی نظیر کمیت، کیفیت و بلوغ مواد آلی در سنگ منشأ بررسی می‌گردد. در نهایت، نتایج پیرولیز به صورت نمودارهای ژئوشیمیایی ارائه می‌شود. در این راستا، نهایتاً تعیین نوع کروژن (I-IV) به کمک مدل سینتیکی و براساس نوع مواد آلی نسبت به نمودار ون-کرولن انجام و تفکیک می‌شود [۴]. مدل‌های سینتیکی متعددی برای تعیین هیدروکربن وجود دارد. از جمله مدل‌هایی که به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدل وپترینایت است [۵ و ۶]. اخیراً مدل لوپاتین نیز مورد استفاده قرار گرفته است [۸ و ۷]. با این روش، تأثیر هر دو عامل زمان و درجه حرارت در محاسبه بلوغ حرارتی مواد آلی رسوب در نظر گرفته می‌شود. مدل لوپاتین دارای محدودیت‌هایی است، از این رو برای رفع محدودیت‌ها، مدل آرنیوس معرفی گردید. این مدل، از جمله روش‌های غیر مستقیمی است که به منظور ارزیابی سنگ منشأ و تعیین وضعیت بلوغ و درجه پختگی مواد آلی و نیز مشخص نمودن عمق و زمان تشکیل هیدروکربن استفاده می‌شود [۹ و ۱۰]. در مطالعه حاضر، سازندهای کژدمی و پابده در یکی از



شکل ۱ موقعیت میدان نفتی اهواز و میدان‌های نفتی هم‌جوار آن واقع در جنوب غرب ایران [۱۹]



شکل ۲ ستون چین‌شناسی سازندها در منطقه زاگرس [۲۰]

$$K=A \exp (-E/RT) \quad (2)$$

که در این معادله K ثابت آهنگ واکنش (l/My) ، A ضریب پیش‌نمایی یا فرکانس (s⁻¹) ، R ثابت عمومی گازها (Ws/mol/K31447/8) و T دما برحسب کلوین (K) است. پارامترهای سینتیکی، E مقدار انرژی فعال‌سازی / (kcal/mol) و A می‌باشند که می‌توان آنها را به‌طور آزمایشی با حرارت دادن سنگ منشأ در دماهای مختلف و اندازه‌گیری محصول هیدروکربن به‌دست آورد. ترکیب هر نوع کروژن، دارای پتانسیل متفاوتی برای زایش نفت است و نفت تولید شده می‌تواند به گاز نیز تبدیل شود [۲۶]. اگر چنانچه در زمان t₀ مقدار کروژن برابر با V₀ و مقدار بیتومن برابر با صفر باشد، در زمان t مقدار کروژن برابر با V₀ + V_t و مقدار بیتومن برابر V_t است و نرخ تبدیل کروژن به بیتومن در دمای ثابت بستگی به مقدار کروژن باقی‌مانده دارد که از رابطه ۳ به‌دست خواهد آمد.

$$\frac{dv}{dt} = K(V_0 + V_t)^n \quad (3)$$

K + V₀ کمیت باقی‌مانده واکنش، n درجه واکنش و K نرخ ثابت معادله است. بنابراین، مدل‌های سینتیکی نیازمند پارامترهای سینتیکی برای مدل‌سازی هر واکنش است که باید در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده و یا از مقادیر استاندارد جهانی استفاده شود. امروزه، به‌دست آوردن پارامترهای سینتیکی از آزمایش‌های پیرولیز قابل انجام است [۲۷ و ۲۸]. این درحالی است که آزمایش‌های مذکور در مدت زمان کم و دمای بالا صورت گرفته و در نهایت، مکانیسم‌های واکنشی متفاوتی را خواهند داشت. در رابطه ۴ نرخ تبدیل کروژن ارائه شده است.

$$V = V_0 \exp(-kt) \quad (4)$$

در این معادله، V₀ کمیت اولیه کروژن، K نرخ ثابت معادله و V مقدار باقی‌مانده کروژن بعد از زمان t است. در این رابطه محاسبه TTIARR از معادله آرنیوس، توسط وود [۲۴] و هانت [۱] توضیح داده شده است.

در این روش، تأثیر هر دو عامل زمان و درجه حرارت با معرفی پارامتر TTI^۱ در محاسبه بلوغ مواد آلی در نظر گرفته می‌شود. روش TTI برای پیش‌بینی تشکیل نفت استفاده می‌شود. این روش، نوع کروژن را مشخص نمی‌کند، اما می‌تواند زایش هیدروکربور را با توجه به نوع کروژن نشان دهد. مطابق معادله یک، مقدار TTI با انعکاس ویترونیات رابطه مستقیم دارد. از این رابطه و همچنین، جدول ۱ می‌توان برای اعتبارسنجی مدل با روش‌های متداول (انعکاس ویترونیات) استفاده نمود. عوامل زمان و دما می‌توانند جایگزین یکدیگر شوند. بدین معنی که هر قدر دما کاهش یابد، زمان طولانی‌تری برای رسیدن به مرحله بلوغ لازم است.

$$R_0[\%] = 0.06359 \times (1444 TTI)^{0.2012} \quad (1)$$

جدول ۱ مقادیر TTI و R0% و ارتباط آن‌ها با وضعیت بلوغ سنگ منشأ [۱۸]

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

در مدل آرنیوس، دمای مربوط به تجزیه کروژن از اهمیت زیادی برای تعیین پارامترهای رابطه ۱ برخوردار است. در تحقیق حاضر برخی از نمونه‌های متعلق به سنگ منشأ که آزمایش پیرولیز حرارتی قبلاً بر روی آن‌ها انجام شده است، از نظر سینتیکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. هانت [۱] و وود [۲۴] نشان دادند که برای محاسبه TTI می‌توان از مدل آرنیوس استفاده کرد. از آنجائی که پختگی و بلوغ حرارتی توسط زمان و درجه حرارت کنترل می‌شود، لذا بررسی تاریخچه تدفین می‌تواند وضعیت حرارتی سنگ منشأ را بیان کند [۲۵]. میزان واکنش کروژن به دما وابستگی زیادی دارد که به‌وسیله رابطه ۲ بیان می‌شود.

$$C\% = [1 - \exp(-\sum TTI_{ARR}/100)] \times 100 \quad (7)$$

رابطه ۷ را می‌توان به صورت نموداری نیز نشان داد (شکل ۳). 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٪ می‌رسد.

در مدل آرنیوس، دمای آهنگ تجزیه کروژن از اهمیت زیادی برای تعیین پارامترهای رابطه یک برخوردار است. در این تحقیق، برخی از سنگ‌های منشأ که قبلاً آزمایش پیرولیز حرارتی بر روی آن‌ها صورت گرفته است، از لحاظ سینتیکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نسبت تبدیل سنگ منشأ (TR) در آنها تعیین شده است. بنابراین، می‌توان نفت‌زایی سنگ منشأ را تعیین نمود. بنابر مطالعه کنونی لازم شد که نوع کروژن تقسیم‌بندی جزئی‌تری شود، از این‌رو، نیاز به تعیین انرژی اکتیواسیون یا فعال‌سازی کروژن است. روش‌های مختلفی برای تعیین این انرژی وجود دارد. از جمله، می‌توان به محتوی گوگرد اشاره کرد که براساس آن چهار نوع کروژن تیپ دو پیشنهاد گردیده است. البته برای کروژن نوع دو، تقسیم‌بندی‌های دیگری براساس محتوی گوگرد نیز صورت گرفته است که کروژن تیپ دو را، به دو یا سه دسته تقسیم می‌نماید [۳۰ و ۳۱].

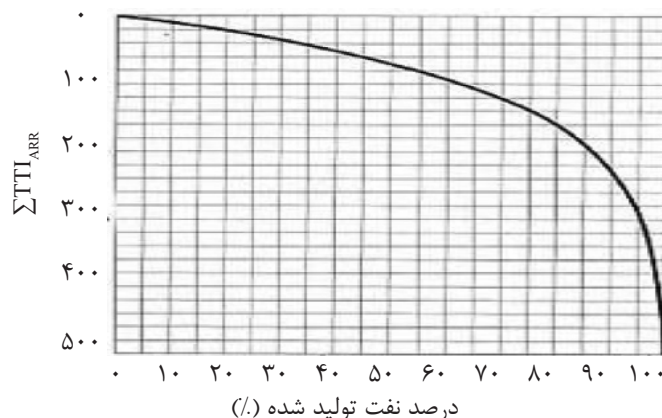
وود [۲۴] بیان می‌کند که استخراج TTI راه حل تجزیه تقریبی انتگرال معادله آرنیوس در دماهای کمتر از 300°C است و مقادیر E بیشتر از 50 kJ/mol خطایی کمتر از ۱ دارد. در اینجا روند حرارت، خطی و به ازای هر 10°C است و شاخص زمان-دما (TTI) نیز براساس معادله آرنیوس، توسط وود [۲۴] طبق معادله ۵ بیان گردید.

$$TTI_{ARR} = \frac{A(t_{n+1} - t_n)}{T_{n+1} - T_n} \quad (5)$$

$\left\{ \left[\frac{RT_{n+1}^2}{E + 2RT_{n+1}} e^{\left(\frac{-E}{RT_{n+1}}\right)} \right] - \left[\frac{RT_n^2}{E + 2RT_n} e^{\left(\frac{-E}{RT_n}\right)} \right] \right\} \times 100$
در این معادله، t_{n+1} و t_n به ترتیب زمان (میلیون سال) و دمای مطلق (K) در شروع و پایان یک بازه دمایی 10°C است. فاکتورهای A, E, R همانند معادله ۲ است. در واقع این معادله آهنگ حرارت خطی را در هر 10°C در نظر می‌گیرد و ضریب ۱۰۰ برای حذف مقادیر با اعشار است. برخی از منحنی‌های تاریخچه تدفین دارای دوره‌های زمانی طولانی مدت در دمای ثابت و با فرونشست یا بالآمدگی ناچیز هستند. به منظور تخمین دقیق، مقدار TTI_{ARR} را می‌توان مطابق رابطه ۶ محاسبه کرد.

$$TTI_{ARR} = [(t_{n+1} - t_n) A e^{\left(\frac{E}{RT}\right)}] \times 100 \quad (6)$$

افزودن مقادیر TTIARR برای هر بازه دمایی 10°C یا دوره دمایی ثابت، در منحنی تاریخچه تدفین سنگ منشأ، شاخص جمع‌بندی ($\sum TTI_{ARR}$) را فراهم می‌کند. با استفاده از این شاخص، می‌توان حداکثر میزان درصد نفت تشکیل‌شده را در رابطه ۷ محاسبه کرد.



شکل ۳ حداکثر میزان درصد نفت تولید شده [۲۹]

در ابتدا از نتایج آنالیز راک-اول مربوط به نمونه‌های یکی از چاه‌های میدان نفتی اهواز متعلق به سازندهای کژدمی و پابده استفاده شد. در آزمایش راک-اول، پارامترهایی نظیر مقدار کل کربن آلی (TOC)، S1، S2، شاخص هیدروژن (HI) و نوع کروژن به دست می‌آید [۳۶]. پارامتر S1 (mgHC/g) مربوط به هیدروکربوری است که زایش شده ولی نتوانسته از سنگ خارج شود. پارامتر S2 (mgHC/g) معرف مقدار هیدروکربوری است که در اثر تجزیه حرارتی زایش می‌شود. همچنین، شاخص هیدروژن نسبت TOC/S2 (mgHC/g) است. در جدول ۳ اطلاعات حاصل از پیرولیز راک-اول و همچنین مدل آرنیوس ارائه شده است. تاریخچه تدفین سنگ منشأ این میدان، مطابق شکل ۴ ارائه شده است. برای ترسیم تاریخچه تدفین، اطلاعات مربوط به سن هر سازند، دمای سطحی، عمق رأس سازند، شیب زمین گرمایی یا دمای ته چاه لازم است.

همچنین، می‌توان انرژی فعال‌سازی را بدون در نظر گرفتن محتوی گوگرد و با کمک داده‌های راک-اول تعیین نمود [۳۲ و ۱۰]. تقسیم‌بندی‌های چهارگانه ضعیف، متوسط، خوب، خیلی خوب (یا عالی) به ترتیب معادل با A, B, C, D در نظر گرفته شد. با توجه به جدول ۲ از روی پارامترهای راک-اول (S1, S2, TOC) که نشان‌دهنده رابطه بین انرژی فعال‌سازی با برخی پارامترهای راک-اول است، تقسیمات جزئی‌تری صورت گرفت.

مطالعه موردی

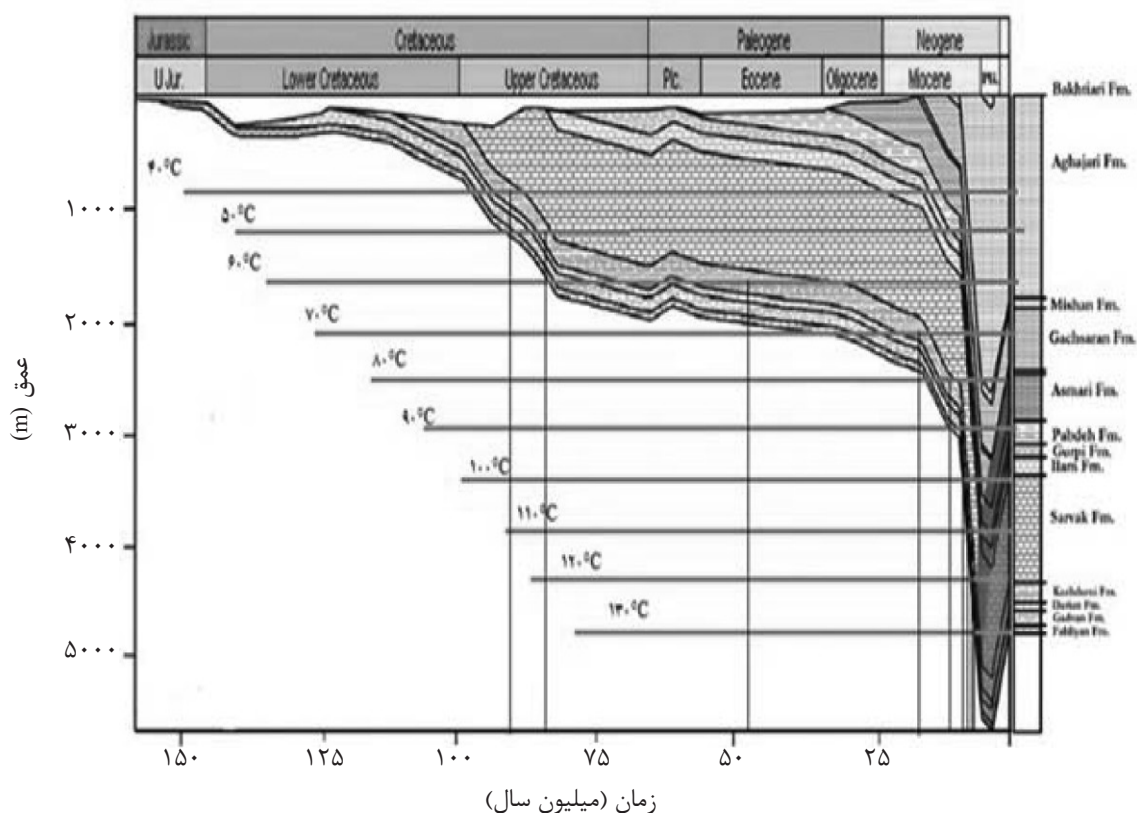
در این تحقیق، پتانسیل زایشی هیدروکربن در زمان ته نشست سازندهای کژدمی و پابده در یکی از چاه‌های واقع در میدان نفتی اهواز مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه با استفاده از پارامترهای ژئوشیمیایی مربوط به سازندهای مذکور که حاصل نتایج آنالیزهای راک-اول و مدل آرنیوس انجام شد.

جدول ۲ دستورالعمل‌های تفسیری برای کمیت، کیفیت و بلوغ سنگ [۳۳-۳۵]

کیفیت	TOC (%)	S1 (mg HC/g TOC)	S2 (mg HC/g TOC)
فقیر (P)	>۰/۵	>۰/۵	<۲/۵
ضعیف (F)	۰/۵-۱	۰/۵-۱	۲/۵-۵
خوب (G)	۱-۴	۱-۴	۵-۲۰
بسیار خوب یا عالی (E)	>۴	>۴	>۲۰
کیفیت	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	۳۰۰-۶۰۰	۱۰-۱۵	II
Oil	>۶۰۰	>۱۵	I
Maturation	R0 (%)	T _{max} (°C)	TAI
Immature	۰/۲-۰/۶	<۴۳۰	۱/۵-۲/۶
Early mature	۰/۶-۰/۶۵	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

جدول ۳ نتایج پیرولیز راک- اول برای نمونه‌های سازندهای میدان نفتی اهواز

نام سازند	عمق (m)	T _{max} (°C)	(%) TOC	S1 mg HC/g Rock	S2 mg HC/g Rock	HI	نوع کروژن	بلوغ	کیفیت	کروژن آرنیوس
کژدمی	۴۳۶۲	۴۴۴	۰/۹	۵/۵۵	۳/۴۷	۳۸۱	II	M	G	IIA
	۴۳۸۲	۴۴۳	۳/۳	۲۱/۲۸	۹/۳۶	۲۸۰	III, II	M	E	
	۴۴۰۴	۴۳۷	۶/۱	۲۸/۶۸	۱۷/۶۰	۲۸۹	III, II	M	E	
	۴۴۲۰	۴۴۲	۴/۵	۲۰/۸۹	۱۳/۹۰	۲۹۴	III, II	M	E	
	۴۴۴۰	۴۴۰	۴/۲	۲۶/۹۳	۱۰/۰۰	۲۳۹	III, II	M	E	
پابده	۴۴۵۹	۴۲۹	۸/۱	۲/۸۵	۲/۷۱	۱۵۱	III	I	G	III
	۴۴۷۸	۳۳۳	۱/۹	۳/۴۵	۳/۵۵	۱۸۴	III	I	G	
	۴۴۹۶	۴۳۴	۲/۰	۲/۴۳	۴/۱۸	۲۰۸	III, II	I	G	
	۴۵۱۶	۴۳۷	۲/۴	۲/۹۲	۴/۵۹	۱۸۹	III	M	G	
	۴۵۳۲	۴۳۸	۳/۰	۳/۶۰	۹/۶۰	۳۲۵	III	M	E	



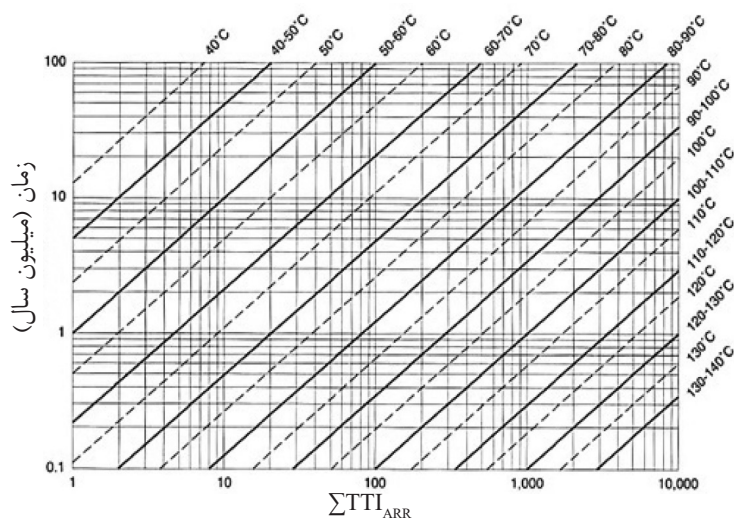
شکل ۴ تاریخچه تدفین سنگ منشا در میدان نفتی اهواز به همراه خطوط هم دما

شد. سپس با استفاده از نمودارهای TTI_{ARR} برای انواع کروژن، درصد تبدیل نفت مطابق جدول ۴ به دست آمد.

بحث و بررسی

در این مقاله کاربرد روش آرنیوس برای تعیین وضعیت سنگ منشا نشان داده شد. این روش دارای دقت بیشتر نسبت به روش لوپاتین است. در روش لوپاتین از مدل TTI برای رسم نمودارهای زمان-دما به منظور تولید نفت استفاده می‌گردد [۳۷]. برای آنکه روش آرنیوس از روش لوپاتین تمیز داده شود، وود [۲۴] شاخص زمان-دما را براساس رابطه آرنیوس، TTI_{ARR} نامید تا از TTI لوپاتین [۳۷] تمیز داده شود.

برای استفاده از این شکل در مدل آرنیوس، معادل حرارتی عمق‌های مختلف تعیین شده و زمان قرارگیری هر سازند در محدوده‌های دمایی مختلف مشخص شد. رژیم حرارتی میانه سازند، به عنوان پارامتری برای کل سازند در نظر گرفته شد. در این رابطه نتایج راک-اول و سایر مشخصات نمونه‌های یک چاه، نیز معدل‌گیری گردید. متعاقباً با استفاده از نمودارهای آرنیوس مربوط به هر کروژن شکل ۵، TTI_{ARR} کروژن هر سازند به ازای محدوده‌های دمایی مختلف به دست می‌آید. نمودارهای تقاطع‌های هر یک از خطوط قطری توپر، محدوده دما را با خط زمان در امتداد خطوط محورها با مقادیر TTI_{ARR} بیان می‌کند. در نهایت جهت ارزیابی دقیق، از نتایج حاصل از روش‌های توصیفی قبلی استفاده



شکل ۵ مثالی از رابطه بین زمان، دما و TTI_{ARR} در کروژن نوع IIA [۲۹]

جدول ۴ پارامترهای مدل آرنیوس برای سنگ منشا سازند کژدمی و پابده در میدان نفتی اهواز

نام سازند	نوع کروژن	عمق سازند	محدوده دما	زمان در معرض قرارگیری 10 ⁶ year	TTI	ΣTTI	X%
کژدمی	IIA	۸۳۳-۱/۱۶۶	۴۰-۵۰	۶	۰/۳	۱۲۵۶/۳	۱۰۰
		۱/۱۶۶-۱/۵۰۰	۵۰-۶۰	۳۷	۳۶		
		۱/۵۰۰-۱/۸۳۳	۶۰-۷۰	۳۲	۱۵۰		
		۱/۸۳۳-۲/۱۶۶	۷۰-۸۰	۳/۵	۷۰		
		۲/۱۶۶-۲/۵۰۰	۸۰-۹۰	۱۲/۵	۱۰۰۰		
پابده	III	-	-	-	-	۰	۰

روش پیرولیز راک-اول، سازند کژدمی در اوج مرحله زایش نفت قرار دارد. این سازند از نظر مقدار TOC وضعیت بسیار خوب را نشان می‌دهد، به طوری که حداکثر مقدار آن به ۶/۱۱٪ نیز می‌رسد. در سازند پاینده نیز به دلیل این که این سازند در بیشتر اعماق مختلف به بلوغ حرارتی نرسیده است (اعماق ۴۴۹۶-۴۴۵۹ m)، لذا به ندرت در زایش نفت شرکت کرده است. با این حال، در اعماق ۴۵۳۲-۴۵۱۶ m به دلیل بلوغ بیشتر، سازند مذکور وارد محدوده نفت‌زایی شده است (جدول ۴). دلایل بلوغ بیشتر سازند پاینده در این اعماق براساس مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و وجود گرادیان حرارتی بالا، اثر وجود سیستم‌های شکستگی بیشتر و در نتیجه انتقال بهتر حرارت است [۳۸]. براساس نتایج به دست آمده از بازسازی تاریخچه تدفین و مدل‌سازی حرارتی، مشخص شد که سازند کژدمی در این چاه وارد پنجره نفتی گردیده، در حالی که سازند پاینده بعثت رژیم حرارتی نامناسب وارد پنجره نفت‌زایی نشده است. بنابراین از میان سازندهای مذکور در میدان نفتی اهواز، سازند کژدمی به عنوان اصلی‌ترین و مؤثرترین سنگ منشأ این میدان نفتی معرفی می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق کاربرد روش سینتیکی مدل آرنیوس در ارزیابی سنگ‌های منشأ واقع در یکی از چاه‌های میدان اهواز مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا، از نتایج آزمایش پیرولیز راک-اول و تاریخچه تدفین نمونه‌های سنگ منشأ نیز استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داد که سازند کژدمی بالاترین نرخ تبدیل را داشته در حالی که سازند پاینده به دلیل نرخ تبدیل بسیار پایین، منبع هیدروکربوری مناسبی نمی‌باشد. در این مطالعه، نتایج مدل آرنیوس با سایر نتایج به دست آمده مقایسه شد به نحوی که نتایج حاصله تا حد زیادی باهم انطباق داشت.

او به منظور مدل‌سازی بلوغ سنگ منشأ، رابطه بین TTI_{ARR} و دما-زمان را برای برخی از تاریخچه‌های تدفین استفاده نمود. سپس روش خود را با روش لوپاتین [۳۷] مقایسه کرد و نتیجه گرفت که روش لوپاتین برای کروژن‌های با واکنش سریع، ارزیابی پایین داشته و در اختلافات زیاد حرارتی، تخمین و ارزیابی مناسبی ندارد. در این رابطه سازندهای کژدمی و پاینده به عنوان سنگ‌های منشأ احتمالی موجود در میدان نفتی اهواز از لحاظ کمیت، کیفیت و بلوغ ماده آلی و با استفاده از نتایج قبلی روش پیرولیز راک-اول مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که کروژن سازندهای کژدمی و پاینده به ترتیب از نوع III، II و III است که به ترتیب از مواد آلی مناطق دریایی و خشکی مشتق شده‌اند. با استفاده از مقادیر اندیس هیدروژن (HI) و T_{max} نوع هیدروکربور تولیدی از نمونه‌های متعلق به سازندها ارزیابی شد (جدول ۳). در سازند کژدمی با مشخص شدن کروژن آرنیوس (IIIA) در محدوده دمایی $90^{\circ}C$ و در عمقی معادل ۲۵۰۰-۸۳۳ m و زمان در معرض قرارگیری ۹۱ میلیون سال منجر به مقدار $1256/3$ $\sum TTI_{ARR}$ در تاریخچه تدفین می‌شود. به طور کلی مطالعه پتانسیل زایشی به روی سنگ منشأ کژدمی در یکی از چاه‌های میدان اهواز نشان می‌دهد که سنگ منشأ مذکور وارد پنجره نفت‌زایی شده و تقریباً کل کروژن آن تبدیل به نفت شده است ($X=100\%$). لذا، این سازند از پتانسیل نفت‌زایی بسیار خوب برخوردار بوده و مقدار TTI بالایی دارد. اما سنگ منشأ پاینده وارد پنجره نفت‌زایی نشده و از پتانسیل نفت‌زایی ضعیفی برخوردار است ($TTI=0$ و $X=0\%$). در این مورد به منظور مقایسه تحقیقات توصیفی با نتایج عددی این تحقیق، نرخ تبدیل ۰ تا ۳۰ معادل پتانسیل نفتی ضعیف، نرخ تبدیل ۳۰ تا ۶۰ با پتانسیل نفتی مناسب، و نرخ تبدیل ۶۰ تا ۱۰۰ با پتانسیل نفت‌زایی بسیار خوب در نظر گرفته می‌شود. در راستای مطالعات انجام شده و براساس مقادیر T_{max} اندازه‌گیری شده با

مراجع

- [1]. Hunt J. M., "Petroleum geochemistry and geology," 2nd ed., W.H. Freeman & Company, New York, pp. 1-743, 1996.
- [2]. Espitalié J., Madec M. and Tissot B., "Role of mineral matrix in kerogen pyrolysis: influence on petroleum generation and migration," American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol. 4, pp. 59-66, 1980.
- [3]. Lafargue E., Espitalie J. Marquis F. and Pillot D., "Rock-eval 6 applications in hydrocarbon exploration, production and in soil contamination studies," In Revue de l'Institut Français du Pétrole, Vol. 53 (4), pp. 421-437, 1998.
- [۴]. علیزاده ب., جنت مکان ن., قلاوند ه., حیدری م. م. "مطالعه ژئوشیمیایی و تأثیر تغییرات محیط رسوبی بر پتانسیل هیدروکربنی سازند پابده در میدان نفتی منصوری," مجله زمین‌شناسی نفت ایران، دوره ۳، شماره ۴، صفحات ۲۲-۱، ۱۳۹۱.
- [5]. Sweeney J. J. and Burnham A. K., "Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics," AAPG Bull., Vol. 74, No. 10, pp. 1559-1570, 1990.
- [6]. Burnham A. K., "Kinetic models of vitrinite, kerogen, and bitumen reflectance," Organic Geochemistry, Vol. 131, pp. 50-59, 2019.
- [7]. Bordenave M. L. and Burwood R., "Source rock distribution and maturation in Zagros belt: province Asmari and Bangestan reservoir oil accumulation," AAPG Bull., Vol. 16, No. 1, pp. 369-387, 1990. DOI: 10.1016/0146-6380(90)90055-5.
- [۸]. کمالی م. ر، بیجاری‌پور، آ، زینل‌زاده، ا. "بازسازی تاریخچه تدفین و مدل‌سازی حرارتی سنگ منشأ گدوان در ناحیه فارس،" مجله علوم دانشگاه تهران، دوره ۳۱، شماره ۱، صفحات ۲۶۹-۲۸۲، ۱۳۸۴.
- [۹]. رضایی م. ر. "زمین‌شناسی نفت،" انتشارات علوی، تهران، صفحه ۵۵۲، ۱۳۸۳.
- [۱۰]. کسایبی نجفی. م، افتخاری، ن. "تعیین پارامترهای سینتیکی مواد آلی در سنگ‌های مادر با استفاده از دستگاه راک-اول،" مهندسی معدن و متالورژی، دوره ۱۸، شماره ۶۷، صفحات ۱۹-۲۶، ۱۳۸۶.
- [11]. Bordenave M. L. and Hegre J. A., "Current distribution of oil and gas fields in the Zagros fold belt of Iran and contiguous offshore as the result of the petroleum systems," Geological Society, London, Special Publications, Vol. 330, pp. 291- 353, 2010.
- [12]. Asadi Mehmandousti E., Adabi M. H., Bowden S. A. and Alizadeh B., "Geochemical investigation, oil-oil and oil-source rock correlation in the Dezful Embayment, Marun Oilfield, Zagros, Iran," Marine and Petroleum Geology, Vol. 68, pp. 1-16, 2015.
- [13]. Chen Z., Liu X., Guo Q., Jiang C. and Mort A., "Inversion of source rock hydrocarbon generation kinetics from Rock-Eval data," Fuel, Vol. 194, pp. 91-101, 2017.
- [14]. Chen Z., Liu X. and Osadetz K. G., "Petroleum generation kinetic models for Late Ordovician kukersite Yeoman formation source rocks," Williston Basin (southern Saskatchewan), Canada, Fuel, Vol. 241, pp. 234-246, 2019.
- [15]. Chen Z., Guo Q., Jiang C., Liu X., Reyes J., Mort A. and Jia, Z., "Source rock characteristics and Rock-Eval-based hydrocarbon generation kinetic models of the lacustrine Chang-7 shale of triassic Yanchang formation, ordos basin, China," International Journal of Coal Geology, Vol. 182, pp. 52-65, 2017.

- [16]. Braun R. L. and Burnham A. K., "Analysis of chemical reaction kinetics using a distribution of activation energies and simpler models," Energy Fuels, Vol. 1, pp. 153-61, 1987.
- [17]. Burnham A. K., "A simple kinetic model of oil generation, vaporization, coking, and cracking," Energy and Fuels, Vol. 29, No. 11, pp. 7156-7167, 2015.
- [۱۸]. مطیعی ه. "زمین شناسی نفت زاگرس،" سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۹ صفحه، ۱۳۷۴.
- [19]. Beiranvand B. and Ghasemi-Nejad E., "High resolution planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Gurpi Formation, K/Pg boundary of the Izeh Zone, SW Iran," Revista Brasileira de Paleontologia, Vol. 16, No. 1, pp. 5-26, 2013.
- [20]. James G. A. and Wynd J. C., "Stratigraphy nomenclature of Iranian oil consortium agreement area," American association petroleum geologist bulletin, Vol. 49, No. 12, pp. 2118-2245, 1965.
- [21]. Dembicki H., "Practical petroleum geochemistry for exploration and production," Elsevier Inc., pp. 19-60, 2017.
- [22]. Habicht J. K. A., "Comment on the history of migration in the Gifhorn Trough," Proceedings of the sixth World petroleum Congress, 6th World Petroleum Congress, Vol. 1, pp. 454-480, Frankfurt am Main, Germany, 19-26 June 1964.
- [23]. Tissot B., "Première données sur le mécanismes et la cinétique de formation du pétrole dans les sédiments: Simulation d'un schéma réactionnel sur ordinateur," Revue de l'Institut Français du Pétrole, Vol. 24, No. 4, pp. 470-501, 1969.
- [24]. Wood D. A., "Relationships between thermal maturity indices calculated using Arrhenius equation and Lopatin method, Implications for petroleum exploration," AAPG Bull., Vol. 72, No. 2, pp. 115-134, 1988.
- [۲۵]. اشکان س. ع. م. "اصول مطالعات ژئوشیمیایی سنگ‌های منشأ هیدروکربوری و نفت‌ها با نگرش ویژه به حوضه رسوبی زاگرس،" مدیریت اکتشاف، اداره مطالعات و تحقیقات ژئوشیمی، ایران، ۱۳۸۳.
- [۲۶]. علیزاده ب.، صراف دخت ه. "ارزیابی ژئوشیمیایی سازندهای سنگ منشأ در میدان نفتی کیلورکریم، جنوب غرب ایران،" مجله زمین شناسی نفت ایران، دوره ۲، شماره ۲، صفحات ۱۲۵-۱۰۹، ۱۳۹۰.
- [27]. Chena Zh., Liua X., Guob Q., Jianga Ch. and Morta A., "Inversion of source rock hydrocarbon generation kinetics from Rock-Eval data," Fuel, Vol. 194, pp. 91-101, 2017.
- [28]. Vitzthuma V. B., Bounaceura R., Michelsb R., Scacchia G. and Marquairea P. M., "Kinetic parameters for the thermal cracking of simple hydrocarbons: From laboratory to geological time-temperature conditions," Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Vol. 125, pp. 40-49, 2017.
- [29]. Hunt, J. M., "Petroleum geochemistry and geology," Second Edition, San-Francisco, Freeman, 617 pp., 1979.
- [30]. Ellisa G. S., Zhang T., Kralert P. G. and Tang Y., "Kinetics of elemental sulfur reduction by petroleum hydrocarbons and the implications for hydrocarbon thermal chemical alteration," Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 251, pp. 192-216, 2019.
- [31]. Hunt J. M., Lewan M. D. and Hennes R. J. C., "Modelling oil generation with time- temperature index graphs on the Arrhenius equation," AAPG Bull., Vol. 75, No. 4, pp. 795-807, 1991.

[۳۲]. سلطانی ز، علیزاده ب، صراف دخت ه. "تعیین پارامترهای کنیتیکی (E و A) در سنگ منشأ کژدمی با استفاده از دستگاه راک-اول"، هفتمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران. ایران، دانشگاه دامغان، ۱۳۹۴.

[33]. Getty Oil International, "Exploration well prognosis Haho1, offshore Togo", Rapport interne B. N R M Togo, 75 pp, 1985.

[34]. Baik H. Y., Richtmyer A., Asafu-Adzaye N. B., Adzei-Akpor N. and Manu T., "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, 2000.

[35]. Huang B., Xiao X. and Zhang M., "Geochemistry, grouping and origins of crude oils in the Western Pearl River Mouth Basin, offshore South China Sea," Organic Geochemistry, Vol. 34, pp. 993-1008, DOI: 10.1016/S0146-6380(03)00035-4, 2003

[36]. Behar F., Beaumont V. and Pentea Do B., "Rock-Eval 6 technology: performances and developments," Oil & Gas Science and Technology-Rev. IFB, Vol. 56, pp. 111-134, 2001.

[37]. Lopatin N. V., "Determination of the influence of temperature and geologic times on the katagenic processes of coalification and oil and gas formation," Int. Geol. Congr. XXV. Session, Moscow, 361-366, 1976.

[۳۸]. کمالی م. ر، شایسته م. "مبانی ژئوشیمی در اکتشاف نفت"، انتشارات پژوهشگاه صنعت نفت، ایران، ۱۳۸۷.



Petroleum Research

Petroleum Research, 2020(February-March), Vol. 29, No. 109, 39-41

DOI: 10.22078/pr.2019.3852.2756

Geochemical Studies of Hydrocarbon Source Rocks Using Rock-Eval Pyrolysis Data with Special Regard to Arrhenius Model in One of Ahwaz Oilfield Borehole

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

Department of Mining, College of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

s.senemari@eng.ikiu.ac.ir

DOI: 10.22078/pr.2019.3852.2756

Received: July/10/2019

Accepted: September/28/2019

INTRODUCTION

The Zagros belt is one of the most important basins in the world; in addition, more than 98% of Iran's gas and oil reservoirs are located in this basin. The Dezful embayment is a part of this basin, which it is located in the southwest of Iran. This embayment is considered as one of the most economical hydrocarbon regions in regarding with presence of source rock and its strategic location. Moreover, source rock is one of the important components of an oil system. Detailed identification of source rock and its corresponding processes is considered as one of the main steps to identify an oil system in each area. Hence, having information about an oil system in a sedimentary basin will provide a good opportunity for explorative and generative studies in an oil field. In all of the studies,

organic geochemistry plays an important role in exploring gas and oil reservoirs. Nowadays, most of oil companies provide organic geochemical diagrams for exploring gas and oil, since they do not excavate without enough geochemical information. The potential for hydrocarbon production in various oil field formations can be evaluated by the Rock-Eval 6 Pyrolysis method and thus reduced exploration costs [1]. Finally, one of the most extensive deposits in this area is the marine sediments of Kazhdumi and Pabdeh formations in Ahwaz oilfield, which the marine sediments were studied based on Rock-Eval Pyrolysis data with special regard to Arrhenius model studies. The Ahwaz oilfield is a super-giant oil field located in Khuzestan, which it is in the vicinity of the Koupal, Mansori, Ab Teymur, and Shadegan oil fields.

MATERIALS AND METHODS

In this study, the Kazhdumi and Pabdeh formations, which are considered as possible source rocks in Ahwaz oilfield are evaluated by us. In addition, to assess the hydrocarbon potential, kinetic models were used to more accurately assess the maturity of rocks and the percentage of oil production in the Ahwaz oilfield. The Rock-Eval 6 Pyrolysis method was used to access geochemical information. This tool is considered as the newest generation of Rock-Eval introduced by the French company Vinci Technology in 1996 [2]. In the Rock-Eval method, the potential for hydrocarbon productivity in sedimentary rocks is tested with the aid of pyrolysis of the samples in neutral environmental conditions and increase in temperature using a thermal program [3]. This method is a suitable technique for the rapid detection of source rock hydrocarbon generation potential from non-generative one [4]. Subsequently, the Arrhenius model was also used to kinetically evaluate oil production from potential source rocks. Wood in 1988 obtained the time-temperature index based on the Arrhenius equation (TTIARR) [5]. In this regard, the relationship between TTIARR and temperature-time is determined for a number of burial histories [6]. Therefore, the thermal maturity according to the Arrhenius equation is obtained for fast-reacting kerogens.

RESULTS AND DISCUSSIONS

The application of petroleum geochemistry and the determination of petroleum source rock will greatly help to reduce the risk of oil exploration. In this regard, kinetic models have been introduced to more accurately assess the maturity of the source rock as well as the

percentage of refined oil. In this study, the application of Arrhenius model as a suitable kinetic model for estimating the percentage of refined petroleum in the source rock has been demonstrated. For this purpose, the Kazhdumi and Pabdeh formations were studied as potential source rocks in the Ahwaz oilfield to illustrate the application of the method. The selection was such that the samples should represent all the formations. At first, using the results of Rock-Eval analysis, the type of kerogen was determined based on the Arrhenius model classification. In fact, in this study, the same as other geochemical analysis, preparing the samples is the first step to assess Rock-Eval 6 Pyrolysis and evaluate TOC and Tmax. Afterwards, with the burial history, the time-temperature index was determined and the conversion rates of the probable source rocks were determined using diagrams and model relationships. For validation, the results were compared with previous descriptive research.

CONCLUSIONS

The geochemical survey of formations showed that Kazhdumi Formation is the main source of this oilfield among the formations of Ahwaz oilfield. The results show that the hydrocarbon production potential of the Kazhdumi and Pabdeh formations are very good and poor respectively. Finally, the dominant kerogen in the Kazhdumi and Pabdeh formations are II and III respectively. Based on Tmax values, despite the fact that the Pabdeh Formation has not reached the oil window, but the presence of organic matter and the type of kerogen classifies this formation as a good source rock. On the other hand, Kazhdumi Formation has reached to the peak of hydrocarbon production in this field.

The modeling of burial history also indicates that Kazhdumi Formation has entered the hydrocarbon production stage.

REFERENCES

- [1]. Espitalié J., Madec M. and Tissot B., *“Role of mineral matrix in kerogen pyrolysis: influence on petroleum generation and migration,”* American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol. 4, pp. 59-66, 1980.
- [2]. Behar F., Beaumont V. and Pentea Do B., *“Rock-Eval 6 technology: performances and developments,”* Oil & Gas Science and Technology-Rev. IFB, Vol. 56, pp. 111-134, 2001.
- [3]. Chen Z., Liu X., Guo Q., Jiang C. and Mort A., *“Inversion of source rock hydrocarbon generation kinetics from Rock-Eval data,”* Fuel, Vol. 194, pp. 91-101, 2017.
- [4] Chen Z., Liu X. and Osadetz K. G., *“Petroleum generation kinetic models for Late Ordovician kukersite Yeoman formation source rocks,”* Williston Basin (southern Saskatchewan), Canada, Fuel, Vol. 241, pp. 234–246, 2019.
- [5]. Wood D. A., *“Relationships between thermal maturity indices calculated using Arrhenius equation and Lopatin method, Implications for petroleum exploration,”* AAPG Bull., Vol. 72, No. 2, pp. 115-134, 1988.
- [6]. Burnham A. K., *“A simple kinetic model of oil generation, vaporization, coking, and cracking,”* Energy and Fuels, Vol. 29, No. 11, pp. 7156-7167, 2015.