

# مدل‌سازی فرآیند نفت‌زاوی سنگ منشأ در مقاطع تراستی: مثالی از حوضه زاگرس

ارسلان زینل‌زاده<sup>۱</sup>، سید رضا موسوی حرمی<sup>۱\*</sup>، محمد کسایی نجفی<sup>۲</sup> و مریم میرشاھانی<sup>۲</sup>

۱- دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۲- پژوهشکده علوم زمین، واحد ژئوشیمی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۱۳

## چکیده

فرآیند نفت‌زاوی موجب تولید نفت از مواد آلی سنگ‌ها در طی میلیون‌ها سال می‌شود. نفت تولید شده پس از مهاجرت، در سنگ مخزن جمع شده و یک تجمع یا میدان نفتی را تشکیل می‌دهد. در این مطالعه با استفاده از روش مدل‌سازی حوضه، تاریخچه حرارتی در یک مقطع تراستی شبیه‌سازی شده و تاریخچه هیدرولیکی زاوی سنگ‌های منشأ بررسی شده است. در این مقاله، با استفاده از داده‌های چینه‌شناسی، زمین‌شناسی و ژئوشیمیابی و به کمک نرم افزار مدل‌سازی یک بعدی، تاریخچه تدفین و نفت‌زاوی ترسیم شده است. میزان پختگی مواد آلی سازندۀ، وضعیت پنجره نفت‌زاوی و گاز‌زاوی و همچنین میزان کمی هیدرولیکی برای سنگ‌های منشأ پایده، کژدمی، گرو و سرگلو به دست آمده است. از داده‌های پختگی مواد آلی سازندۀ بر اساس انعکاس ویترینایت، جهت کترول کیفی کار مدل‌سازی و اطمینان از درستی مدل، استفاده شده است. براساس این مطالعه، در مقطع تراستی، گسل موجب افزایش عمق و پختگی سنگ‌های منشأ و سرعت بخشیدن به فرآیند نفت‌زاوی شده است. میزان تاثیر گسل تراستی هنگامی که سنگ منشأ به مرحله حداقل نفت‌زاوی نرسیده است، بیشتر خواهد بود. در صورتی که سنگ منشأ قبل از گسل خوردگی بخش عمده توان نفت‌زاوی خود را از دست داده باشد، گسل تراستی تاثیری به مراتب کمتر در نفت‌زاوی دارد.

**کلمات کلیدی:** مدل‌سازی یک بعدی حوضه، فرآیند نفت‌زاوی، مقطع تراستی، کربن‌دزگرس، سنگ‌های منشأ

می‌گردد. فرآیند نفت‌زاوی<sup>۱</sup> از جمله فرآیندهای مهم در شکل‌گیری منابع هیدرولیکی است که در سنگی غنی از ماده آلی به نام سنگ منشأ رخ می‌دهد. این فرآیند در طی زمان زمین‌شناسی و در طول میلیون‌ها سال، رخ می‌دهد [۱ و ۲].

## مقدمه

اکتشاف و تولید هیدرولیکن در مناطق نفت‌خیز نیازمند مطالعاتی است که منجر به شناخت بهتری از چگونگی تولید، مهاجرت و تجمع منابع هیدرولیکن

وجود ذخیره اقتصادی هیدروکربن در بعضی از تاقدیس‌های جبهه کوهستانی زاگرس، از جمله میدان مختار [۱۰] در نزدیکی شهر یاسوج، (شکل ۱) لزوم انجام مطالعه بیشتر این منطقه را نمایان می‌سازد. هدف از این مطالعه، بررسی چگونگی فرآیند نفت‌زایی سنگ‌های منشأ در بخش‌های چین خورده کوهستانی زاگرس است. نقش و تاثیری که گسل‌های تراستی در فرآیند نفت‌زایی می‌توانند داشته باشند مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

مدل‌سازی حوضه، روشی برای بررسی فرآیندهای نفت‌زایی در حوضه‌های رسوبی است و بررسی این فرآیندها، نیازمند محاسبات زیادی می‌باشد. در نرمافزارهای مدل‌سازی، معادلات و تغوری‌ها به شکل یک برنامه ارائه شده و در مدت زمان کوتاه، می‌توان فرآیندهای رخداده در میلیون‌ها سال را بازسازی کرد. نرمافزارهای مدل‌سازی و سخت‌افزارهای کامپیوتری پیشرفت، امکان انجام مطالعات مدل‌سازی حوضه‌های رسوبی را فراهم آورده است. در این زمینه مطالعات مختلفی در شرکت‌های نفتی با استفاده از نرمافزارهای یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی انجام می‌شود. در سال‌های اخیر استفاده از روش مدل‌سازی حوضه رسوبی در بررسی میدان‌های نفتی خاورمیانه مورد توجه قرار گرفته است [۱۱-۱۵].

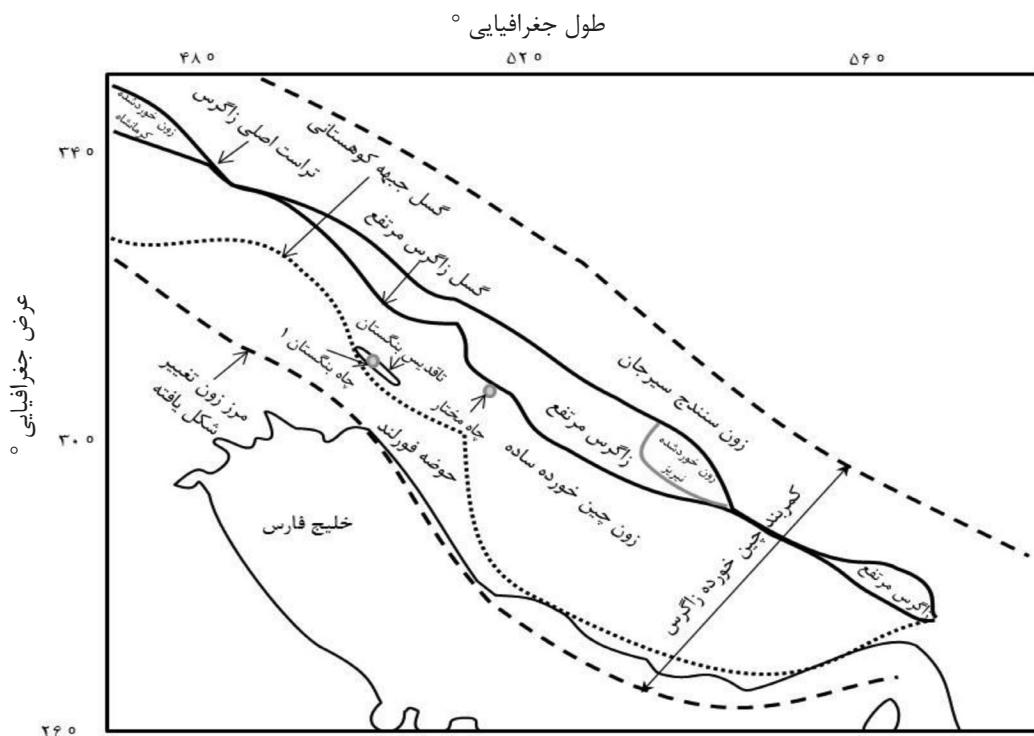
در این مطالعه، با استفاده از داده‌های موجود از تاقدیس بنگستان که در زاگرس مرتفع واقع است (شکل ۱)، چاهی فرضی<sup>۱</sup> دارای گسل تراستی یا غیر نرمال، شبیه‌سازی شده است (شکل ۲). نمودارهای تاریخچه نفت‌زایی سنگ‌های منشأ پابده، کژدمی، گرو و سرگلو روند تولید هیدروکربن و نقش گسل خوردگی در این فرآیند را نشان می‌دهد.

فرآیند نفت‌زایی، تحت تاثیر عوامل زیادی از جمله حرارت، زمان زمین‌شناسی، نوع مواد آلی و جنس سنگ‌ها است [۳ و ۴]. از این‌رو جهت بررسی فرآیند نفت‌زایی، عوامل کمی و کیفی مختلفی در نظر گرفته می‌شود. پیچیدگی و حجم زیاد محاسبات این فرآیند، استفاده از نرم‌افزارها و روش‌های مدل‌سازی حوضه را اجتناب ناپذیر کرده است.

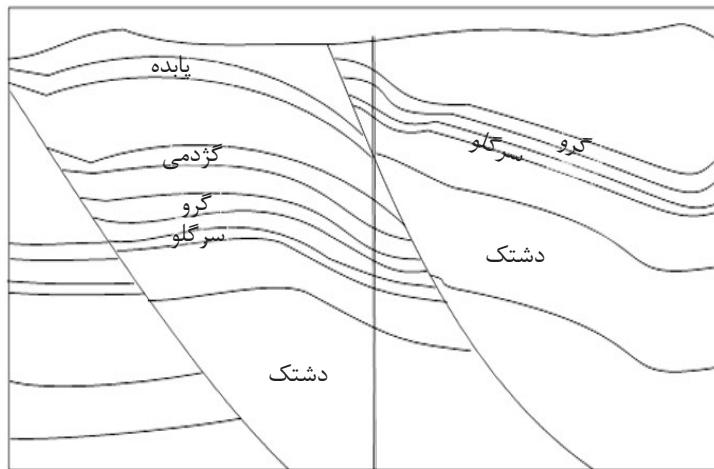
مطالعه فرآیند نفت‌زایی سنگ‌های منشأ زاگرس در قالب بررسی سیستم نفتی، مورد توجه شرکت‌ها و موسسات فعال در زمینه اکتشاف و تولید منابع هیدروکربنی قرار گرفته است. نتایج مطالعات انجام شده در زمینه سیستم‌های نفتی زاگرس در مقالات مختلفی منتشر شده است [۴-۸].

در کمربند‌های چین‌خورده و تراستی، حدود ۱۴٪ منابع هیدروکربنی جهان ذخیره شده است که در این میان کمربند چین‌خورده و تراستی زاگرس ۸٪ این منابع را دارا است [۵ و ۹]. با توجه به نقش این مناطق زمین‌شناسی در تامین انرژی جهان، مطالعه و بررسی سیستم‌های نفتی آنها مورد توجه قرار گرفته است.

بخش‌هایی از زاگرس مانند فروافتادگی دزفول، بیشتر مورد توجه فعالیت‌های اکتشاف و تولید هیدروکربن بوده است [۸]. در مقابل در بخش‌های کوهستانی و تراستی زاگرس فعالیت کمتری انجام شده که دلایل متعددی می‌تواند داشته باشد. از آن جمله می‌توان به سختی فعالیت اکتشاف و تولید هیدروکربن در بخش کوهستانی زاگرس اشاره کرد که منابع هیدروکربنی کمتری را دارا است. به علت بهمریختگی لایه‌ها در بخش‌های تراستی، انجام نمونه‌برداری و شناسایی لایه‌ها وقت و هزینه بیشتری نیاز دارد و ساختارهای سطحی و زیر سطحی تفاوت‌های زیادی با هم دارند. همچنین وجود گسل‌های متعدد باعث کاهش کیفیت پوش‌سنگ و تله‌های نفتی شده است.



شکل ۱- بخش‌های ساختمانی کمربند چین خورده و تراستی زاگرس (تغییر یافته از [۶])



شکل ۲- مقطع شماتیک بازسازی شده

### زمین‌شناسی منطقه

کمربند زاگرس با راستای شمال غرب - جنوب شرق حاصل سیستم کوه‌زایی آلپی-هیمالیا است و در پی بسته شدن دریای تیس تشکیل شده است [۱۶ و ۱۷].

نتایج این مطالعه، دیدی کلی از چگونگی تولید هیدروکربن از سنگ‌های منشأ در بخش کوهستانی و تراستی زاگرس نشان می‌دهد و تفاوت‌های این بخش از زاگرس را با مناطقی مانند فروافتادگی دزفول آشکار می‌سازد. دست‌آوردهای این بررسی می‌تواند جهت مطالعات جامع اکتشافی مناطق کوهستانی زاگرس، مورد توجه قرار گیرد.

در بخش‌های گسل خورده، این چاه‌ها اغلب در برگیرنده تکرار شدگی سنگ‌های منشأ در بخش پایین دستی گسل‌های تراستی نیستند؛ لذا در اغلب موارد، جهت بررسی سنگ‌های منشأ با استفاده از روش‌های معمول، داده‌های کافی در دسترس نیست. در مدل‌سازی امکان بازسازی وضعیت‌های مختلف وجود دارد و با توجه به داده‌های موجود، فرآیند نفت‌زاویی سنگ‌های منشأ در قسمت‌هایی بررسی می‌شود که دسترسی مستقیم به آن به علت عمق دفن زیاد امکان‌پذیر نیست.

در این مطالعه با استفاده از روش مدل‌سازی، فرآیند نفت‌زاویی زون‌های سنگ منشأ در یک چاه فرضی، مورد بررسی قرار گرفته است. جهت این کار یک مقطع فرضی<sup>۱</sup> بازسازی شده (شکل ۲) و از داده‌های موجود از چاه بنگستان-۱ (شکل ۱)، شامل داده‌های ژئوشیمی و زمین‌شناسی استفاده شده است. تاقدیس بنگستان در حاشیه فروافتادگی دزفول واقع شده (شکل ۱) و شامل لایه‌های گدوان در بالاتر رسوبات با سن کرتاسه مربوط به سازند دشتک است. در این چاه در سازند دشتک گسل‌های تراستی شناسایی شده است [۲۴].

برای مدل‌سازی تاریخچه‌های تدفین و حرارتی، از داده‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی استفاده شده است. این داده‌ها شامل سن زمین‌شناسی سازندها [۲۵]، سنگ‌شناسی [۲۶]، گرادیان حرارتی، دمای لایه‌ها [۲۷]، عمق پی‌سنگ [۲۸] و داده‌های انعکاس ویترینایت [۲۹] است.

با توجه به اینکه در مقاطع تراستی، لایه‌ها تکرار می‌شوند و روند افزایش سن با عمق، صدق نمی‌کند، بازسازی تاریخچه تدفین این مقاطع نسبت به وضعیت‌های معمول با محاسبات پیچیده‌تری همراه است.

کمربند زاگرس در سمت جنوب‌غرب ایران به خلیج فارس و در شمال‌شرق به زون دگرگونی-رسوبی سندنج‌سیرجان محدود شده است (شکل ۱). برخورد صفحه عربی و ایرانی موجب تشکیل رسوبات ضخیم لایه و همچنین تغییر شکل لایه‌ها شده است که از محل برخورد به سمت جنوب‌غرب از شدت آن کاسته می‌شود [۱۸ و ۱۹]. این کمربند از شمال‌شرق به سمت جنوب‌غرب به چهار زون تقسیم شده است: زون دگرگونی سندنج‌سیرجان، زون تراستهای هم آغوش، کمربند چین‌خوردۀ ساده، حوضه فورلند (شکل ۱) [۲۰ و ۲۱]. مرز جبهه کوهستانی زاگرس<sup>۲</sup> توسط توپوگرافی برجسته، مشخص شده و خط مشترک بین جبهه کوهستانی و حوضه فورلند است. زون تراستی و زاگرس مرتفع دارای گسل‌های متعدد تراستی است.

در طی نئوژن بر اثر کوهزاویی زاگرس، چارچوب رسوبی منطقه تغییر کرده است [۲۲]. چین‌خوردگی موجب بالآمدگی و فرسایش لایه‌ها در بخش کوهستانی زاگرس و تشکیل رسوبات همزمان با کوهزاویی<sup>۳</sup> سازند آغازگاری و بختیاری در بخش‌های پایین دست شده است [۲۳]. همچنین در بخش‌های کوهستانی گسل‌های تراستی در اثر فاز فشارشی کوهزاویی زاگرس شکل گرفته است.

## روش مطالعه

فرآیند نفت‌زاویی یک جهته و برگشت ناپذیر است و با کاهش دما به حالت تعليق در می‌آيد. در مدل‌سازی، فرآیند نفت‌زاویی شبیه‌سازی می‌شود و با استفاده از آن، کیفیت و کمیت فرآیند مشخص می‌شود، از جمله تاریخچه پختگی مواد آلی توسط مدل‌های حرارتی محاسبه می‌شود.

گسل‌های تراستی موجب تکرار شدگی و افزایش عمق لایه‌های بخش پایینی گسل می‌شود. از آنجا که چاه‌های نفتی حداقل تا عمق ۴۰۰۰ m ۵۰۰۰ m حفاری می‌شوند و وجود مشکلات حفاری

1. Mountain Front Flexure (MFF)

2. Synorogenic

3. Synthetic

بالایی، کاهش حدود ۲۰۰۰ m ضخامت مقطع و رخنمون یافتن سازند گدوان شده است.

جهت اطمینان از درستی روش مدل‌سازی و صحت داده‌های مورد استفاده، از داده‌های انعکاس ویترینایت استفاده شده است. تطابق خوبی بین نمودار تاریخچه پختگی محاسبه شده توسط مدل‌سازی و داده‌های انعکاس ویترینایت اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه، به دست آمده که نشان دهنده درستی نتایج حاصل از مدل است (شکل ۵).

در بخش بالایی گسل، سازند گدوان با پختگی ۶٪ انعکاس ویترینایت در بالای لایه‌ها واقع شده و میزان پختگی همراه با عمق دفن افزایش یافته و به حدود ۱۱٪ انعکاس ویترینایت برای سازند نیریز، افزایش پیدا کرده است (شکل ۵). سنگ‌های منشأ گرو و سرگلو در بخش بالای گسل در پنجره نفت‌زاوی واقع شده‌اند. در مقایسه با پختگی سنگ‌های منشأ در فروافتادگی دزفول [۸]، سنگ‌های منشأ بخش بالایی، میزان پختگی کمتری دارند. که این می‌تواند به علت فرسایش بخشی از مقطع باشد.

میزان پختگی لایه‌ها در بخش پایینی گسل از ۷٪ تا ۲۳٪ انعکاس ویترینایت به ترتیب برای سازندهای گورپی تا دشتک، افزایش یافته است. سنگ منشأ پابده قبل از گسل خوردگی، وارد پنجره نفت‌زاوی شده و اکنون سازند کژدمی در پنجره گاززایی واقع شده‌اند. وضعیت سنگ‌های منشأ در پنجره نفت‌زاوی شبیه مناطق شمال شرق فروافتادگی دزفول است [۸]. همچنین سازندهای گرو و سرگلو در اکثر ناویدیس‌های فروافتادگی دزفول و فارس شمالی در پنجره گاززایی قرار دارند [۱۵]. در این مطالعه عمق بالاتر دفن سنگ‌های منشأ در این مطالعه می‌تواند دلیل پختگی بالای سنگ‌های منشأ باشد.

در این مطالعه از نرم‌افزار مدل‌سازی یک بعدی GenTect، ارائه شده توسط مؤسسه نفت فرانسه<sup>۱</sup>، استفاده شده است. این نرم‌افزار دارای قابلیت مدل‌سازی حرارتی وضعیت‌های پیچیده و گسل خوردگی است. وضعیت پختگی و رانش نفت<sup>۲</sup> از سنگ‌های منشأ پابده، کژدمی، گرو و سرگلو محاسبه شده است. شروع و پایان پنجره نفت‌زاوی به ترتیب مطابق با ۶۵٪ و ۱٪ انعکاس ویترینایت در نظر گرفته شده [۲۸] و میزان پختگی سازندها با روش Easy Ro محاسبه شده است.

در چاه بنگستان-۱ لایه‌های بالای سازند گدوان فرسایش یافته است. براساس داده‌های انعکاس ویترینایت مقدار ضخامت حذف شده بر اثر فرسایش ۲۰۰۰ m در نظر گرفته شده است. این مقدار فرسایش با مطالعات قبلی انجام شده در زاگرس مطابقت دارد [۲۹].

زمان بالاًمدگی صفحه ایران ۱۲ تا ۱۵ میلیون سال پیش در نظر گرفته شده است [۱۶]. از آن زمان حوضه زاگرس تحت نیروهای فشارشی و گسل‌های تراستی قرار گرفته است. در چاه فرضی مورد مطالعه، گسل تراستی در سازند دشتک با سن ۵ میلیون سال پیش در نظر گرفته شده که بعد از این زمان فرسایش لایه‌های بیرون زده رخ داده است.

### مدل‌سازی حرارتی

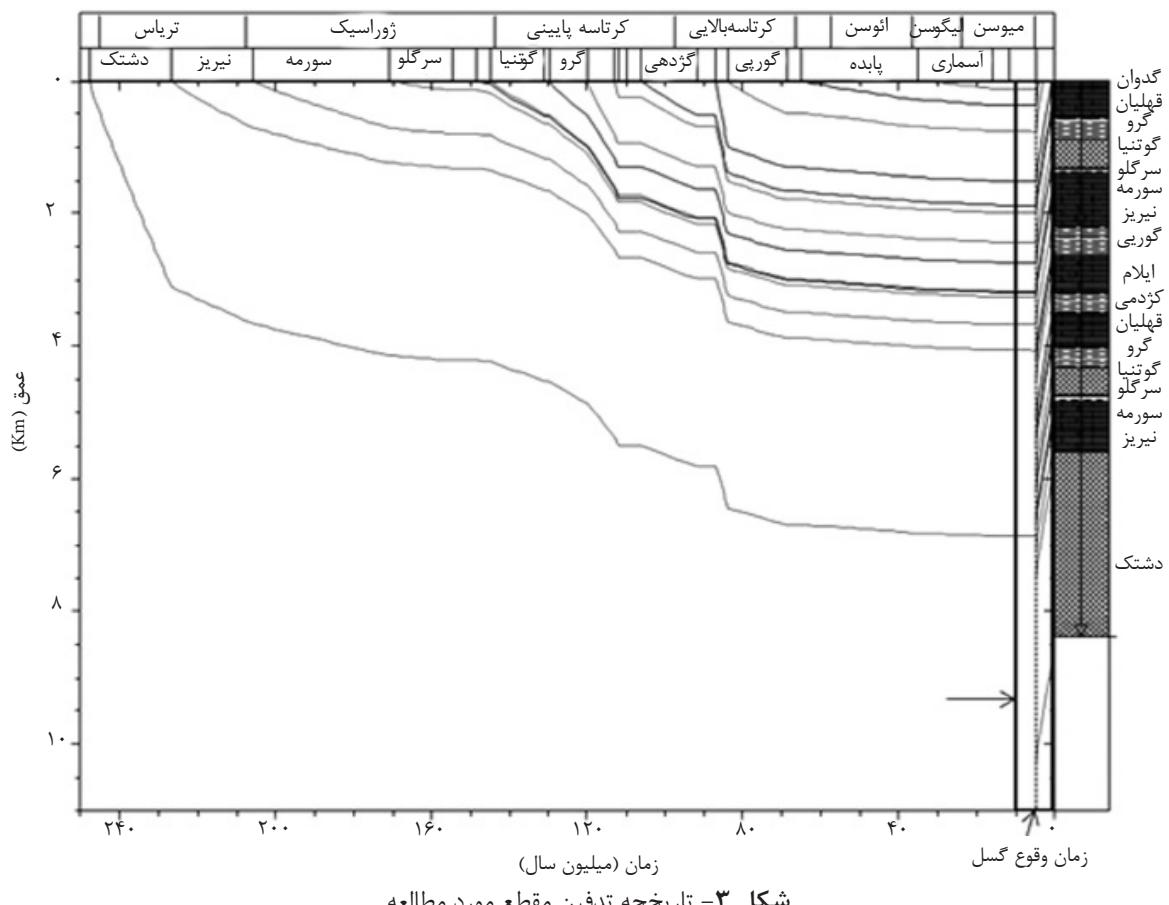
تاریخچه تدفین مدل‌سازی شده برای چاه فرضی نشان می‌دهد که گسل خوردگی در ۵ میلیون سال پیش رخ داده است (شکل‌های ۳ و ۴). گسل تراستی موجب شده سازندهای گورپی تا سازند دشتک در زیر سازند نیریز واقع شود. گسل خوردگی موجب دفن شدن سطح پایینی سازند دشتک تا عمق حدود ۲۰۰۰ m شده است (شکل ۴) سپس همزمان با گسل یافته‌گی (۵ میلیون سال پیش) فرسایش لایه‌ها در سطح زمین شروع شده و تا زمان حال ادامه داشته است. فرسایش موجب حذف لایه‌های

1. IFP

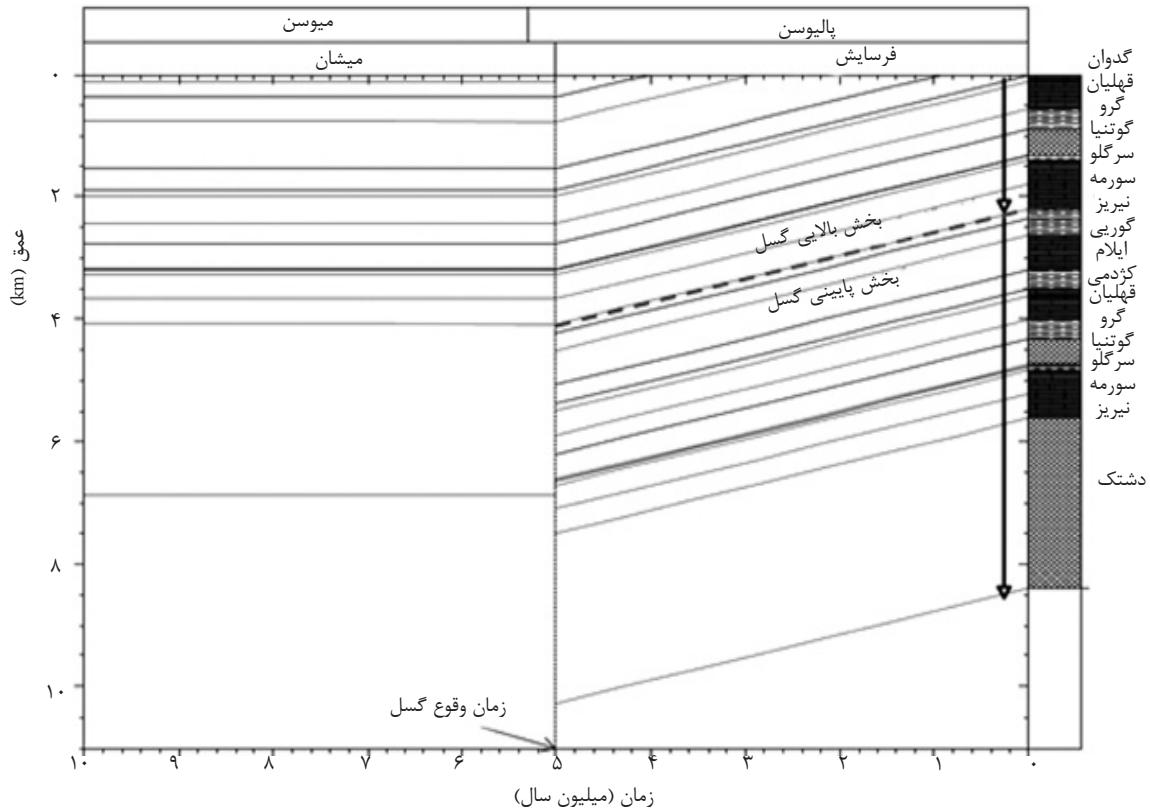
2. Expulsion

# پژوهش نفت

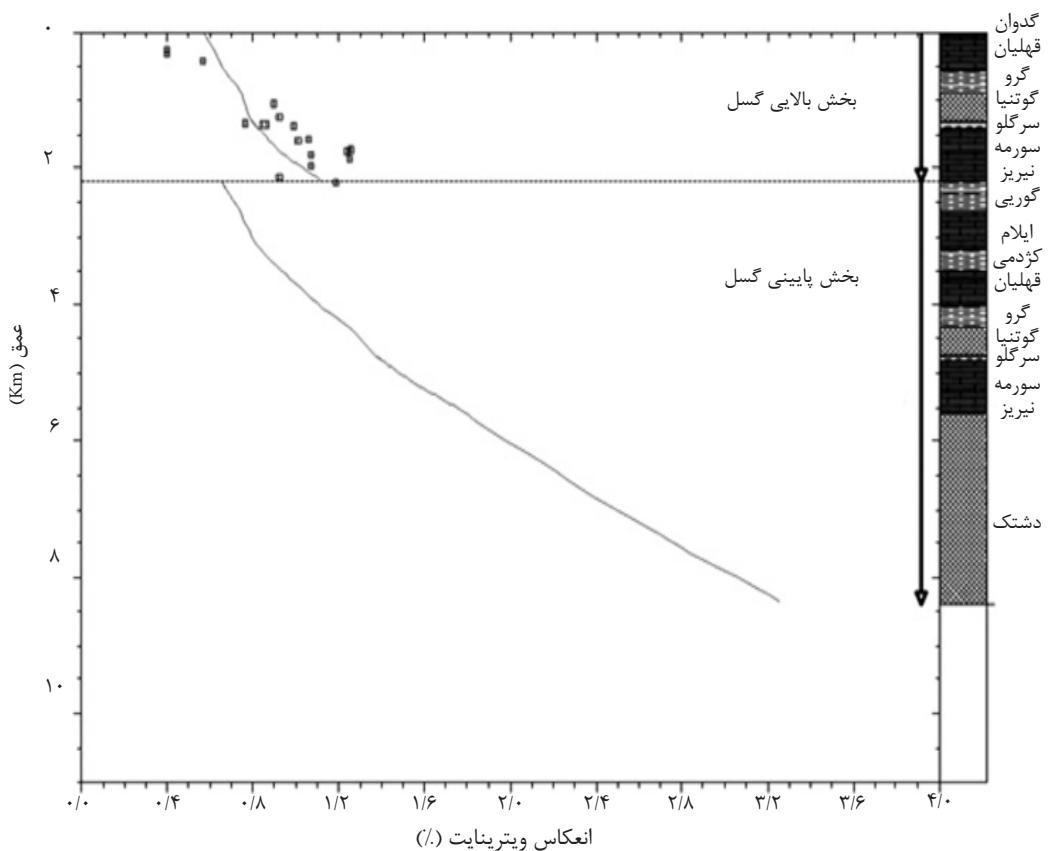
• شماره ۸۳



شکل ۳ - تاریخچه تدفین مقطع مورد مطالعه



شکل ۴ - تاریخچه تدفین مقطع مورد مطالعه از ۱۰ میلیون سال پیش تا زمان حال



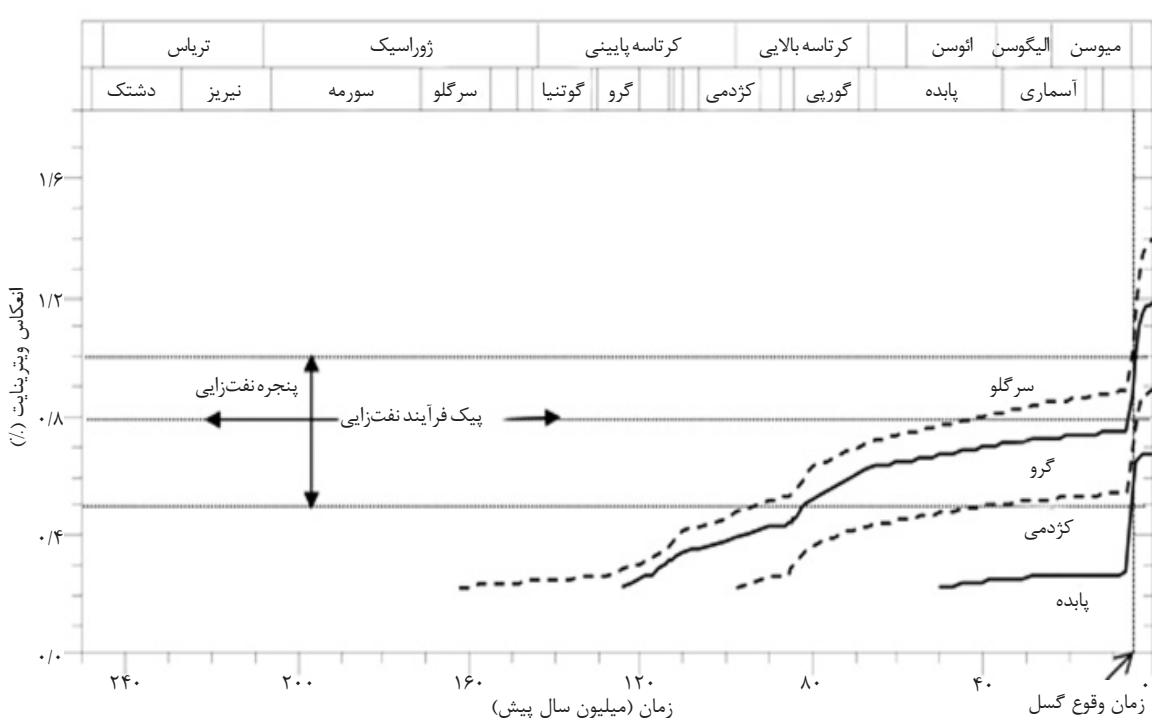
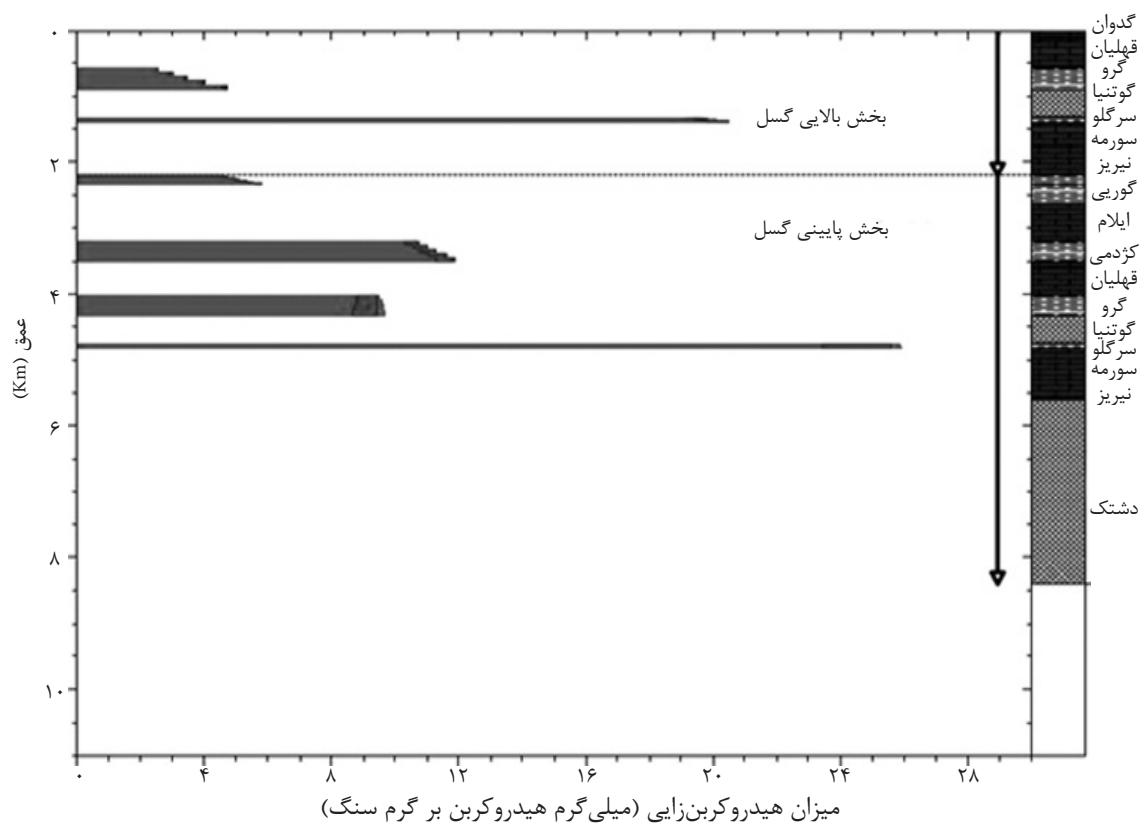
شکل ۵- نمودار میزان پختگی محاسبه شده و میزان پختگی بدست آمده در آزمایشگاه و داده‌های انعکاس ویترینایت [۲۴]

تاریخچه هیدروکربن‌زاویی به دست آمده از بخش پایین‌دستی گسل، نشان‌دهنده تاثیر رخ داد گسل در کمیت نفت‌زاویی سنگ‌های منشأ است (شکل ۸). سنگ منشأ سرگلو در کرتاسه بالایی تا ائوسن بخش عمده‌ای از توان هیدروکربن‌زاویی خود را دست داده است. با گسل خوردگی جهشی در میزان هیدروکربن‌زاویی رخ داده میزان پختگی بالا موجب شده، کمیت قابل توجهی از هیدروکربن تولیدی از این سازند به شکل گاز باشد.

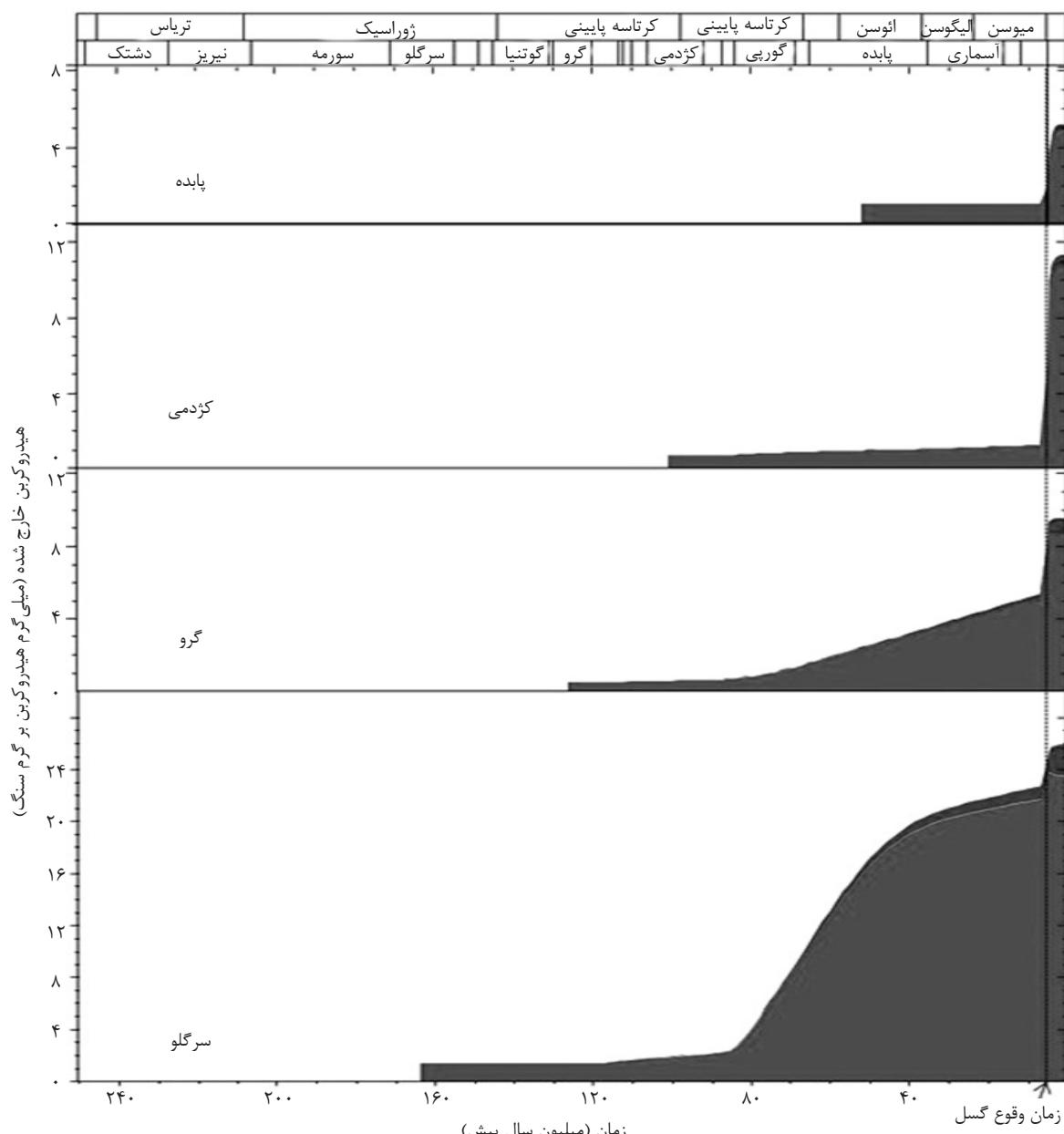
سنگ منشأ گرو در کرتاسه بالایی شروع به نفت‌زاویی کرده (حدود ۱۲۰ میلیون سال پیش) که تا زمان حال ادامه داشته است و افزایشی ناگهانی در میزان هیدروکربن‌زاویی این سازند بعد از گسل خوردگی (حدود ۵ میلیون سال پیش) و افزایش عمق تدفین رخ داده است. تاریخچه هیدروکربن‌زاویی شده‌اند (شکل ۷). هم‌زمان با وقوع گسل، سازندهای سرگلو و گرو با افزایش میزان پختگی وارد پنجره گاز‌زاویی شده‌اند.

در شکل ۶ سنگ‌های منشأ چاه فرضی مورد مطالعه همراه با میزان هیدروکربن‌زاویی بر حسب میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم سنگ منشأ، دیده می‌شود. گسل تراستی موجب تکرار شدن سنگ‌های منشأ در بخش پائین‌دستی گسل شده است. میزان هیدروکربن‌زاویی سرگلو در دو بخش بالادستی و پایین‌دستی گسل دارای تفاوت ۵ میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم سنگ است. به علت عمق تدفین بیشتر در بخش پائین‌دستی گسل، میزان هیدروکربن‌زاویی در این بخش بیشتر است. تفاوت میزان هیدروکربن‌زاویی در این بخش‌ها به مقدار ماده آلی اولیه و پختگی آنها بستگی دارد.

تاریخچه پختگی سنگ‌های منشأ نشان می‌دهد که سازند سرگلو و گرو در کرتاسه بالایی و سازند کردمی در الیگوسن وارد پنجره نفت‌زاویی شده‌اند (شکل ۷). هم‌زمان با وقوع گسل، سازندهای سرگلو و گرو با افزایش میزان پختگی وارد پنجره گاز‌زاویی شده‌اند.



شکل ۷- نمودار پختگی سنگ‌های منشأ در طول زمان زمین‌شناسی در بخش پایینی چاه فرضی



شکل ۸- نمودار میزان خروج هیدروکربن از سنگ‌های منشأ در بخش پایینی گسل

جدول ۱- میزان هیدروکربن‌زایی سنگ‌های منشأ قبل و بعد از گسل خوردگی

درصد هیدروکربن‌زایی (میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم سنگ)	سنگ منشأ		
	قبل وقوع گسل	بعد از وقوع گسل	کل
۱۲	۲۶	۳	۲۳
۳۵	۸/۵	۳	۵/۵
۹۲	۱۲	۱۱	۱
۸۰	۵	۴	۱

ویترینیات رسیده که قبل از مرحله حداکثر نفت زایی است. این افزایش پختگی منجر به ۸۰٪ کل هیدروکربن‌زایی این سازند شده است.

با توجه به نتایج این مطالعه، گسل تراستی می‌تواند موجب تکرار شدن و افزایش عمق تدفین لایه‌های سنگ منشأ در مدت زمان کم زمین شناسی شده که این افزایش عمق تدفین همراه با افزایش ناگهانی پختگی سنگ‌های منشأ خواهد بود. میزان تاثیر این افزایش پختگی بر فرآیند نفت‌زایی سنگ منشأ، بستگی به وضعیت سنگ منشأ در پنجره نفت‌زایی دارد. در صورتی که قبل از وقوع گسل تراستی، سنگ منشأ در ابتدای پنجره نفت‌زایی باشد، افزایش عمق دفن حاصل از گسل می‌تواند موجب حداکثر نفت‌زایی را موجب شود. در چاه فرضی مورد مطالعه فرآیند نفت‌زایی سازند کژدمی بیش از سایر سنگ‌های منشأ تحت تاثیر گسل خودگی قرار گرفته است. به دلیل اینکه، این سنگ منشأ قبل از گسل خودگی در مراحل ابتدایی نفت‌زایی بوده و با افزایش عمق حاصل از گسل به مرحله حداکثر نفت‌زایی رسیده است.

با توجه به نتایج این مطالعه و تاثیری که گسل تراستی می‌تواند در فرآیند نفت‌زایی سنگ‌های منشأ داشته باشد، انجام بررسی جامع فرآیند نفت‌زایی در مناطق تراستی نیازمند در نظر گرفتن وقوع گسل خودگی در مدل‌سازی حوضه است.

### نتیجه‌گیری

عوامل متعددی از جمله بهمریختگی لایه‌ها، عمق زیاد سنگ‌های منشأ و مشکلات حفاری موجب شده انجام مطالعات مرتبط با اکتشاف و تولید در مناطقی که تحت تاثیر گسل‌های تراستی واقع شده‌اند با مشکلات بیشتری نسبت به مناطق چین خورده ساده، همراه باشد. لذا داده‌ها و منابع کمتری در این زمینه منتشر شده است. روش مدل‌سازی حوضه و در نظر گرفتن چاه یا برش فرضی راه حلی است که در مطالعات منتشر شده [۳۰ و ۳۱] استفاده شده است.

بررسی آماری نتایج حاصل در این مطالعه نشان می‌دهد، میزان هیدروکربن‌زایی سازند سرگلو بعد از گسل خودگی ۱۲٪ کل نفت‌زایی این سازند است (جدول ۱). این مقدار برای سنگ‌های منشأ گرو و کژدمی بیشتر است و به ترتیب ۳۵٪ و ۹۰٪ می‌رسد. در حالی که درصد هیدروکربن برای سازند پابده، حدود ۱۰٪ کمتر از سازند کژدمی است. بنابراین بخش عمده‌ای از نفت‌زایی سازندهای کژدمی و پابده بعد از افزایش عمق حاصل از گسل رخ داده است. این افزایش عمق باعث شده سازند کژدمی وارد مرحله حداکثر نفت‌زایی (میزان پختگی ۸٪) می‌شود. بنابراین نسبت انعکاس ویترینیات (شکل ۷) به سایر سازندها درصد بیشتری از نفت‌زایی آن بعد گسل خودگی رخ داده است. سنگ منشأ پابده بعد از گسل خودگی از پختگی ۳٪ به ۷٪ انعکاس

### مراجع

- [1]. Hunt J. M., "Petroleum Geochemistry and Geology," 2<sup>nd</sup> ed, W. H. Freeman, 1995.
- [2]. Magoon L. B. and Dow W. G., "The Petroleum System, from Source to Trap," AAPG memoir 60, pp. 655, 1994.
- [3]. Hantschel T. and Kauerauf A. I., "Fundamentals of basin and petroleum systems modeling," Springer, pp. 476, 2009.
- [4]. Beaumont E .A. and Foster N. H., "AAPG Treatise of Petroleum Geology," Handbook of Petroleum Geology, AAPG, pp.1150, 2000.
- [5]. Bordenave M. L., "Petroleum systems and distribution of the oil and gas fields in the iranian part of the zagros foldbelt," Hydrocarbon Exploration in the Zagros Mountains of Iraqi Kurdistan and Iran Conference, The Geological Society, London, 2013.

- [6]. Tavakoli Shirazi S., “*The geology of the high Zagros (Iran) tectonic and thermal evolution during the paleozoic,*” Ph. D. Thesis, Université de Cergy-Pontoise, France, 2012.
- [7]. Alizadeh B., Sarafdokht H., Rajabi M., Opera A. and Janbaz M., “*Organic geochemistry and petrography of Kazhdumi (Albian–Cenomanian) and Pabdeh (Paleogene) potential source rocks in southern part of the Dezful Embayment,*” Iran, *Organic Geochemistry*, Vol. 49, pp. 36–46, 2012.
- [8]. Bordenave M. L. and J. A. Hegre, “*Current distribution of oil and gas fields in the Zagros Fold Belt of Iran and contiguous offshore as the result of the petroleum systems,*” In: P. Leturmy and C. Robin (Editors), *Tectonic and Stratigraphic Evolution of Zagros and Makran During the Mesozoic-Cenozoic: Special Publication 330*. Geological Society, London, Special Publications, pp. 291–353, 2010.
- [9]. Cooper M., “*Structural style and hydrocarbon prospectivity in fold and thrust belts: a global review,*” Geological Society, London, Special Publications, Vol. 272, pp. 447–472, 2007.
- [10]. Bosold A., Schwarzhans W., Julapour A. , Ashrafzadeh A. R. and Ehsani S. M., “*The structural geology of the High Central Zagros revisited (Iran),*” *Petroleum Geoscience*, Vol. 11, pp. pp. 225–238, 2005.
- [11]. Shariatinia Z., Haghghi M., Feiznia S., Alizai A. H. and Levresse G., “*Hydrocarbon migration in the Zagros Basin, offshore Iran, for understanding the fluid flow in the Oligocene–Miocene carbonate reservoirs,*” *Russian Geology and Geophysics*, Vol. 54, pp. 64–81, 2013.
- [12]. Pitman J. K. et al., “*Assessment of undiscovered conventional oil and gas resources of the Arabian Peninsula and Zagros Fold Belt,*” U.S. Geological Survey, pp. 4, 2012.
- [13]. Abeed Q., Leythaeuser D. and Littke R., “*Geochemistry, origin and correlation of crude oils in Lower Cretaceous sedimentary sequences of the southern Mesopotamian Basin, southern Iraq,*” *Organic Geochemistry*, Vol. 46, pp. 113–126, 2012.
- [14]. Bashari A., “*Thermal history reconstruction in the Soroosh and Nowrooz fields, Persian Gulf, based on apatite fission track analysis and vitrinite reflectance data,*” *Journal of Petroleum Geology*, Vol. 31, pp. 153–165, 2008.
- [15]. Rudkiewicz J., Sherkati S. and Letouzey J., “*Evolution of Maturity in Northern Fars and in the Izeh Zone (Iranian Zagros) and Link with Hydrocarbon Prospectivity,*” In: O. Lacombe, F. Roure, J. Lavé and J. Vergés (Editors), *Thrust Belts and Foreland Basins. Frontiers in Earth Sciences*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 229–246, 2007.
- [16]. Mouthereau F., Lacombe O. and Vergés J., “*Building the Zagros collisional orogen: Timing, strain distribution and the dynamics of Arabia/Eurasia plate convergence,*” *Tectonophysics*, Vol. 532–535, pp. 27–60, 2012.
- [17]. Frizon de Lamotte D. et al., “*The southernmost margin of the Tethys realm during the Mesozoic and Cenozoic: Initial geometry and timing of the inversion processes,*” *Tectonics*, Vol. 30, TC3002.
- [18]. Berberian M., “*Master “blind” thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics,*” *Tectonophysics*, Vol. 241, pp. 193–224, 1995.
- [19]. Alavi M., “*Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations,*” *Tectonophysics*, Vol. 229, pp. 211–238, 1994.
- [20]. Colman-Sadd S. P., “*Fold development in Zagros simply folded belt, Southwest Iran,*” *AAPG Bulletin*, Vol. 62, pp. 984–1003, 1978.

- [21]. Falcon N. L., "Southern Iran: Zagros mountains," Geological Society, London, Special Publications, Vol. 4, pp. 199-211, 1974.
- [22]. Bahroudi A. and Koyi H. A., "Tectono-sedimentary framework of the Gachsaran Formation in the Zagros foreland basin," Marine and Petroleum Geology, Vol. 21, pp. 1295-1310, 2004.
- [23]. Pirouz M., Simpson G. Bahroudi A. and Azhdari A., "Neogene sediments and modern depositional environments of the Zagros foreland basin system," Geological Magazine, Vol. 148, pp. 838-853, 2011.
- [24]. Burwood R., "Well Bangestan-1 source rock potential evaluation and characterisation," Oil Service Company of Iran, Unpub, 1978.
- [25]. Koop W. J. and Orbell G., "Regional chronostratigraphic thickness and facies distribution maps of SW Iran Area (Permian and younger)," Oil Service Company of Iran, Report Number 1269, 1977.
- [26]. Orbell G., "Geothermal gradient map," Oil Service Company of Iran, Drawing No. 327091, 1977.
- [27]. Koop W. J., "Basement depth map," Oil Service Company of Iran, Drawing No. 32661.
- [28]. Sweeney, J. and A.K. Burnham, "Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics," AAPG Bulletin, Vol. 74, pp. 1559-1570, 1990.
- [29]. Bordenave M. L. and Hegre J. A., "The influence of tectonics on the entrapment of oil in the Dezful Embayment, Zagros foldbelt, Iran," Journal of Petroleum Geology, Vol. 28, pp. 339-368, 2005.
- [30]. Husson L. and Moretti I., "Thermal regime of fold and thrust belts—an application to the Bolivian sub Andean zone," Tectonophysics, Vol. 345, pp. 253-280, 2002.
- [31]. Parra M. et al., "The Monagas fold-thrust belt of eastern Venezuela. part I: structural and thermal modeling," Marine and Petroleum Geology, Vol. 28, pp. 40-69, 2011.