

## (پژوهشی)

## ارزیابی زایش هیدروکربن در سنگ مادر با استفاده از مطالعات ژئوشیمیایی و مدل‌سازی یک‌بعدی حوضه رسوبی در میدان کیش، شمال شرق خلیج فارس

اعظم سلحشوری<sup>۱</sup>، احسان حسینی\*<sup>۱</sup>، عبدالحمید انصاری<sup>۱</sup>، سید حسین مجتهدزاده<sup>۱</sup>

۱- دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد، دانشگاه یزد، یزد، ایران  
(دریافت: مرداد ۱۴۰۰، پذیرش: بهمن ۱۴۰۰)

## چکیده

میدان کیش یک میدان فوق‌عظیم گازی است که در قسمت شرقی خلیج فارس واقع شده است و در افق‌های کنگان و دالان خود دارای مقادیر فراوانی گاز است. ارزیابی توان هیدروکربن زایی سنگ مادرهای محتمل با انتخاب ۵۸ نمونه سنگ از سازندهای پابده، گورپی، ایلام، لافان، سروک، کژدمی، داریان، گدوان، فهلیان، سورمه، نیریز، دشتک، دالان و فراقان با گامای طبیعی بالا و انجام آنالیز پیرولیز راک - ایول ۶ صورت گرفت. مقدار کربن آلی کل نمونه‌ها بین ۰/۱۶ تا ۱/۶ درصد وزنی متغیر است. بیشتر نمونه‌ها دارای پتانسیل هیدروکربن زایی ضعیفی هستند. تعداد محدودی از نمونه‌های سازند گورپی و پابده پتانسیل هیدروکربن زایی متوسط با بلوغ پایین را از خود نشان دادند. بررسی تاریخچه تدفین، حرارتی و زمان زایش هیدروکربن سنگ مادرهای پابده، گورپی و سرچاهان با انجام مدل‌سازی یک‌بعدی روی یکی از چاه‌های عمیق میدان انجام گرفت. نتایج مدل نشان داد که سازندهای پابده و گورپی نابالغ و دارای ضریب تبدیل صفر هستند درحالی‌که سازند سرچاهان به‌عنوان اصلی‌ترین سنگ مادر میدان، ۹۵ درصد از پتانسیل خود را در طول زمان تولید کرده و در حال حاضر در محدوده تولید گاز خشک قرار دارد.

## کلمات کلیدی

توان هیدروکربن زایی، تاریخچه تدفین، مدل‌سازی حرارتی، سازند سرچاهان

\*عهده‌دار مکاتبات: ehosseiny@yazd.ac.ir

## ۱- مقدمه

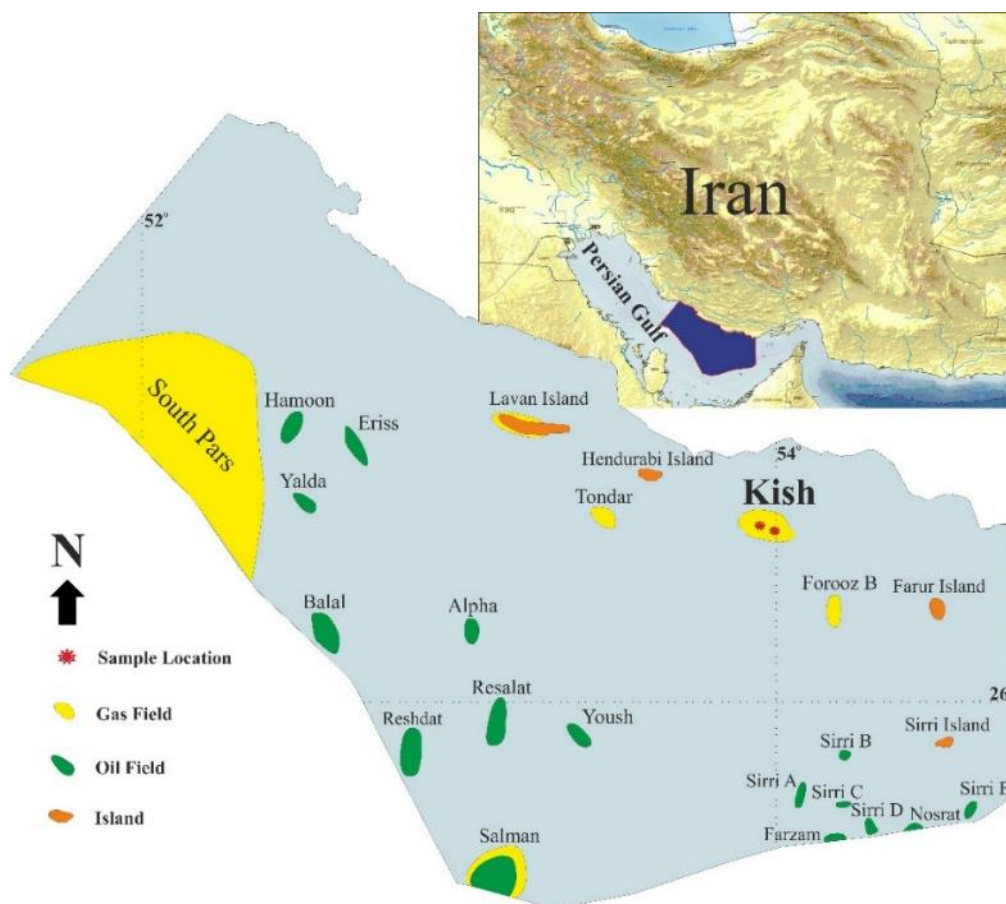
شده است. در بخش ایرانی خلیج فارس بالغ بر ۱۵ میلیارد بشکه نفت قابل برداشت در ۱۶ میدان نفتی توسعه یافته در مخازن کربناته با سن ژوراسیک، کرتاسه و ترشیاری ذخیره شده است [۲].

میدان مورد مطالعه، میدان گازی کیش است که در قسمت شرقی خلیج فارس واقع شده است (شکل ۱). این میدان یکی از چندین میدان گازی موجود در شرق حوضه خلیج فارس است که با توجه به موقعیت استراتژیک و دارا بودن حجم زیاد گاز در مخازن پرموتریاس، بسیار حائز اهمیت است [۳]. میدان گازی کیش دارای ساختمان تقادیمی با شیب ملایم و امتدادی شرقی - غربی در زیر جزیره کیش و اطراف آن در ناحیه خلیج فارس گسترش دارد [۴].

هدف از این پژوهش، مطالعه توان هیدروکربن زایی و مدل سازی تاریخچه تدفین و حرارتی سنگ های مادر محتمل در میدان گازی کیش با استفاده از اطلاعات زمین شناسی، پیرولیز راک - ایول و نتایج مطالعات پتروگرافی آلی است.

حوضه خلیج فارس یکی از حوضه های مهم هیدروکربنی جهان است که توسط میدان های عظیم نفت و گاز حوضه زاگرس در شمال و میدان های بسیار بزرگ کشورهای حاشیه جنوبی خلیج فارس احاطه شده است. سنگ های مادر بسیار خوبی در این حوضه در طول یکسری دوره های احيایی همراه با بالا آمدگی سطح آب دریا، فرونشست های متعدد محلی و شرایط آب و هوایی مرطوب در طول سیلورین، ژوراسیک میانی و کرتاسه پسین نهشته شده است، بیشتر نفت تولید شده توسط این سنگ های مادر در مخازن کربناته تجمع یافته است [۱].

عمق متوسط خلیج فارس ۳۵ متر و عمیق ترین بخش آن در نزدیکی ورودی تنگه هرمز حدود ۱۰۰ متر است. کشورهای حاشیه خلیج فارس دارای ۶۰ درصد نفت دنیا (حدود ۷۲۸ بیلیون بشکه نفت) و ۴۵ درصد ذخایر گاز دنیا (۲ هزار و ۵۰۰ تریلیون فوت مکعب گاز طبیعی) می باشند که بخشی از این ذخایر هیدروکربنی در خلیج فارس واقع



شکل ۱: نقشه میدان های نفتی و گازی در قسمت شرقی خلیج فارس [۷].

## ۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه

خلیج فارس فرونشست تکتونیکی کم‌عمقی است که در اواخر دوره ترشیاری در بخش جنوبی چین خوردگی زاگرس تشکیل شده است، اما محور و روند اصلی آن در زمان پلیو - پلیستوسن و در اثر چین خوردگی زاگرس شکل گرفته است. این حوضه ساختاری نامتقارن دارد و شیب آن در بخش سواحل ایران زیادتر و بیشترین عمق آن در این بخش واقع شده است [۲]. بلندای قطر، خلیج فارس را به دو حوضه رسوبی متمایز تقسیم کرده است: یکی بخش شمال غربی و دیگری بخش جنوب شرقی که هر یک رژیم رسوبی و ذخایر هیدروکربن مربوط به خود را دارند [۵].

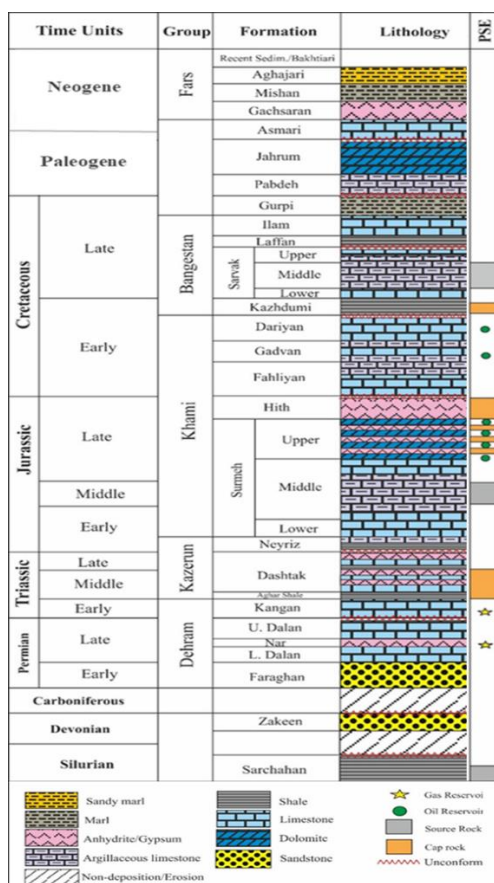
میدان کیش تاقدیسی است که در ۳۰ کیلومتری خاور جزیره لاوان در قسمت شرقی خلیج فارس واقع شده است و در افق‌های پرموتریاس دارای مقدار قابل توجهی گاز است (شکل ۱). این میدان در قسمت شرق بلندای قطر واقع شده بنابراین تابع زمین‌شناسی و رژیم رسوبی بخش شرقی خلیج فارس است. در بخش شرقی خلیج فارس در زمان فعالیت تکتونیکی هر سینین پسین چند بالاآمدگی دیاپیری به وجود آمدند که توسط ناودیس‌های کرتاسه پسین - ترشیاری احاطه شده و تشکیل جزیره‌ای مرجانی کوچک دایره‌ای یا بیضوی داده‌اند به علاوه در بین این دیاپیرها بالشک‌های نمکی با شکل‌های مختلف ولی محدود به وجود آمده‌اند که بیشتر شکل بیضوی دارند و تله‌های تجمع هیدروکربن را در منطقه تشکیل می‌دهند [۶]. ستون چینه‌شناسی این بخش در شکل ۲ مشخص شده است.

## ۳- سیستم‌های نفتی فعال در شرق خلیج فارس

در محدوده زاگرس فعلی ایران و در ساحل مجاور آن پنج سیستم نفتی باعث تجمع چشم‌گیر میدان‌های نفتی و گازی شده‌اند که به ترتیب حدود ۸ و ۱۵ درصد ذخایر نفت و گاز جهان را تشکیل می‌دهند [۸] (شکل ۲). در قسمت شرق خلیج فارس سه سیستم نفتی پالئوزوئیک، ژوراسیک پسین و کرتاسه پسین فعال هستند [۹]. سازند سرچاهان متعلق به دوره‌ی پالئوزوئیک (سیلورین) است که سنگ مادر اصلی سیستم نفتی پالئوزوئیک می‌باشد. سنگ مخزن این سیستم نفتی سازند کنگان / دالان است و سازند تبخیری دشتک نقش پوش‌سنگ برای این مخازن ایفا می‌کند [۸، ۱۰]. سنگ مادر سیستم نفتی ژوراسیک پسین،

سازند سورمه میانی (دیاب) است. میدان‌های بلال، سلمان، رشادت و رسالت در شرق خلیج فارس توسط سورمه میانی شارژ شده‌اند. مخازن اصلی این سیستم نفتی در شرق خلیج فارس شامل سورمه بالایی (عرب)، گدوان و داریان است که توسط پوش سنگ‌های هیث، گدوان و کزدمی پوشیده شده‌اند. سازند دیاب (سورمه میانی) در منطقه شرقی خلیج فارس در قسمت ایرانی پتانسیل مناسبی ندارد در حالی که به سمت ساحل ابوظبی کمیت، کیفیت و بلوغ آن افزایش می‌یابد [۹، ۱۱].

سازند سروک در شرق خلیج فارس سیستم نفتی کرتاسه پسین را تشکیل داده است که باعث شارژ و تجمع نفت در میدان‌های سیری، رسالت و رشادت شده است. حسینی و همکاران (۲۰۱۶) پتانسیل خوب و عالی را برای سروک میانی در شرق خلیج فارس گزارش کرده‌اند. سازند ایلام و سروک بالایی مخزن این سیستم نفتی هستند که توسط شیل‌ها و مارل‌های سازند گورپی پوشیده شده‌اند [۷، ۹].



شکل ۲: ستون چینه‌شناسی و عناصر سیستم‌های نفتی مختلف

در منطقه شرق خلیج فارس. اقتباس با تغییراتی از [۹].

## ۴- روش مطالعه

می‌پردازد؛ بنابراین مطالعات در دو مرحله آنالیز ژئوشیمیایی و مدل‌سازی نرم‌افزاری صورت گرفته است. اطلاعات ورودی زمین‌شناسی مدل شامل سن، لیتولوژی سازندها، ضخامت و عمق بالا و پایین لایه‌ها و ضخامت رسوبات فرسایش‌یافته است که با استفاده از گزارش‌های زمین‌شناسی میدان و چاه و مناطق هم‌جوار تعیین شد (جدول ۱).

این پژوهش به ارزیابی ژئوشیمیایی سنگ‌های مادر محتمل در میدان کیش واقع در شمال شرق خلیج فارس با کمک نتایج پیرولیز راک - ایول ۶ و بازسازی تاریخچه تدفین و حرارتی آنها با استفاده از نرم‌افزار پترومد ۲۰۱۱

جدول ۱: برخی از داده‌ها و اطلاعات ورودی به نرم‌افزار از چاه B میدان کیش.

Layer	Thick (m)	Eroded (m)	Depo from (Ma)	Depo to (Ma)	Eroded from (Ma)	Eroded to (Ma)	Lithology
Sediment Suarface	۴۹۰		۱۷	۰			مارل/کنگلومرا
Gachsaran	۱۵۹		۲۰/۴۳	۱۷			لایمستون/انیدریت/مارل/ سندستون/دولومیت
Asmari	۸۶		۲۸/۴۰	۲۰/۴۳			دولومیت/لایمستون
Jahrum	۳۶۸	۱۰۰	۵۵	۳۷/۲۰	۳۷/۲۰	۴۰/۲۸	لایمستون/انیدریت
Pabdeh	۲۵۵		۶۱	۵۵			مارل/لایمستون
Gurpi	۷۶	۱۰۰	۸۰	۶۸	۶۸	۶۱	مارل
Ilam	۴۹		۸۵	۸۰			لایمستون
Laffan	۱۷		۸۸	۸۵			شیل
Sarvak – Mishriff	۲۰	۰	۹۵	۹۳	۹۳	۸۸	لایمستون
Sarvak – Ahmadi	۲۰		۹۸	۹۵			لایمستون/شیل
Sarvak – Mauddud	۱۸		۱۰۱	۹۸			لایمستون
Kazhdumi	۳۴		۱۱۰	۱۰۱			شیل/مارل
Dariyan	۱۲۴	۵۰	۱۲۲	۱۱۵	۱۱۵	۱۱۰	لایمستون
Gadvan	۵۰		۱۲۵	۱۲۲			لایمستون/مارل
Fahliyan	۲۶۹		۱۳۳	۱۲۵			لایمستون/دولومیت
Hith	۱۰۷	۰	۱۵۱	۱۴۸	۱۴۸	۱۴۵/۵۰	انیدریت
Surmeh	۶۳۱		۱۵۸	۱۵۱			لایمستون
Neyriz	۳۰		۲۰۹	۱۵۸			دولومیت/شیل/انیدریت
Dashtak	۳۹۴	۱۰۰	۲۴۹	۲۰۹	۲۰۹	۱۹۰	شیل/انیدریت
Kangan	۲۰۴		۲۵۳	۲۴۹			دولومیت/لایمستون/ شیل/انیدریت
Dalan – Upper	۲۷۷	۰	۲۶۰/۴۰	۲۵۳	۲۵۳	۲۵۱	دولومیت/انیدریت/شیل
Dalan – Nar	۲۴۵		۲۶۳	۲۶۰/۴۰			دولومیت/انیدریت
Dalan – Lower	۲۷۶		۲۶۸	۲۶۳			دولومیت/شیل
Faraghan	۷۸		۲۹۵	۲۶۸			سندستون/شیل/ سیلتستون
Zakeen	۵۲۸	۱۰۰۰	۳۸۵	۳۷۴/۵۰	۳۷۴/۵۰	۲۹۵	سندستون/شیل/ سیلتستون
Sarchahan	۲۵۵	۱۰۰	۴۴۳/۸	۴۲۸	۴۲۸	۳۸۵	شیل/شیل سیاه

## ۴-۱- آنالیز پیرولیز راک - ایول

برحسب میلی‌گرم هیدروکربن به گرم سنگ، ثبت می‌شود. پیک S3 بیانگر میزان CO2 است که در طول شکست کروژن حاصل می‌شود. با استفاده از آنالیز دستگاه پیرولیز راک - ایول پارامترهایی نظیر شاخص تولید  $PI=S1/S1+S2$  و شاخص هیدروژن S2/TOC و شاخص اکسیژن S3/TOC به دست می‌آید [۱۳]. در این پژوهش تعداد ۵۸ نمونه سنگ به‌جز سازند سرچاهان از دو چاه A و B میدان کیش مورد آنالیز پیرولیز راک - ایول قرار گرفت. مقادیر میانگین به‌دست‌آمده سازندهای مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است.

روش پیرولیز راک - ایول یکی از روش‌های ارزیابی سنگ مادر است که به‌طور گسترده در اکتشافات نفت و گاز در حوضه‌های رسوبی مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش مقدار کمی از نمونه سنگ مادر (حدود ۱۰۰ میلی‌گرم) در یک برنامه دمایی معین و در یک محیط خنثی (نیتروژن) حرارت داده می‌شود [۱۲]. در طی این آنالیز چندین پیک شاخص در درجه حرارت‌های مختلف به دست می‌آید، در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد پیک S1 و در دمای بین ۳۰۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد پیک S2

جدول ۲: میانگین پارامترهای آنالیز راک - ایول ۶ از دو چاه A و B در میدان کیش.

RO (درصد)	PI	OI (mgHC/gTOC)	HI (mgHC/gTOC)	Tmax (°C)	S3 (mgHC/gRock)	S2 (mgHC/gRock)	S1 (mgHC/gRock)	TOC (درصد)	سازند
۰٫۲۴	۰٫۳۵	۳۰۰	۱۹۶	۴۴۲٫۲۷	۱٫۰۵	۱٫۱۵	۰٫۳۳	۰٫۶۹	پابده
۰٫۴۹	۰٫۶۱	۲۲۵	۲۶۸	۴۳۰٫۶۶	۰٫۹۹	۱٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۵۲	گورپی
۰٫۴۶	۰٫۴۷	۳۰۶	۳۸۲	۴۳۱	۱	۱٫۳۲	۰٫۶۱	۰٫۳۴	ایلام
-	۰٫۷۳	۲۷۸	۶۱	۴۲۳٫۵	۰٫۸۳	۰٫۱۸	۰٫۱۵	۰٫۲۹	لافان
-	۰٫۴۵	۲۳۰	۳۳	۴۱۹	۱٫۰۹	۰٫۱۱	۰٫۰۵	۰٫۳۳	سروک
۰٫۴۸	۰٫۷۷	۳۲۵	۱۲۴	۳۸۸٫۵	۰٫۶۷	۰٫۲۳	۰٫۱۸	۰٫۲	کژدمی
-	۱٫۱۸	۱۷۶	۹۳	-	۱٫۰۲	۰٫۵۴	۰٫۶۴	۰٫۵۸	داریان
-	۰٫۲۶	۱۷۸	۷۳	۴۲۶	۰٫۶۵	۰٫۲۵	۰٫۰۶	۰٫۳۷	گدوان
-	۰٫۲۴	۲۵۵	۶۲	۴۲۴٫۵	۰٫۹۶	۰٫۲۳	۰٫۰۸	۰٫۳۸	فهلپیان
-	۰٫۳۳	۲۵۱	۸۹	۴۲۸	۰٫۸	۰٫۲۶	۰٫۰۸	۰٫۳۷	سورمه
-	۰٫۳۹	۱۲۷	۴۳	۴۳۳٫۵	۰٫۱۸	۰٫۱۴	۰٫۰۴	۰٫۳۴	نیریز
-	۰٫۴۳	۱۴۶	۷۱	۴۲۰	۰٫۵۶	۰٫۲۷	۰٫۱۹	۰٫۴۶	دشتک
-	۰٫۲۹	۲۳۱	۹۳	۳۹۸٫۳۳	۱٫۶۴	۰٫۴۵	۰٫۱۸	۰٫۴۹	دالان
-	۰٫۴۶	۱۷۷	۶۴	۴۳۷	۰٫۷۵	۰٫۲۷	۰٫۱۲	۰٫۴۲	فراقان

نحوه تخمین یک بخش استفاده کرد، این اطلاعات درجه‌بندی باارزشی برای بازسازی تاریخچه تدفین را فراهم می‌کند [۱۴].

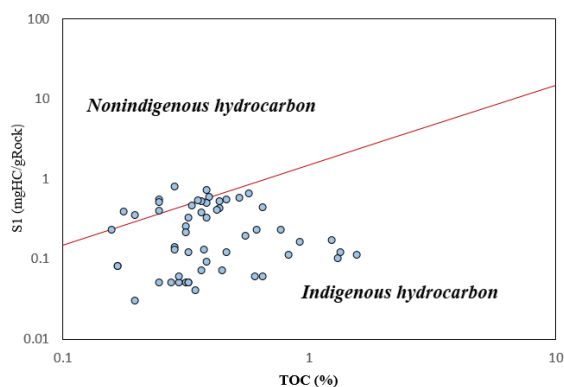
## ۴-۳- مدل‌سازی یک‌بعدی حوضه رسوبی

مدل‌سازی حوضه رسوبی ابزاری مفید، برای بازسازی و مطالعه فرآیند نفت‌زایی سنگ مادر است. تولید نفت از سنگ مادر توسط دو پارامتر زمان و دما کنترل می‌شود که در پختگی سنگ مادر مؤثر هستند. مدل‌سازی تاریخچه تدفین و تاریخچه حرارتی هر دو پارامتر را مدنظر دارد [۱۵]. مدل‌سازی حوضه رسوبی با کمک کامپیوتر نیازمند

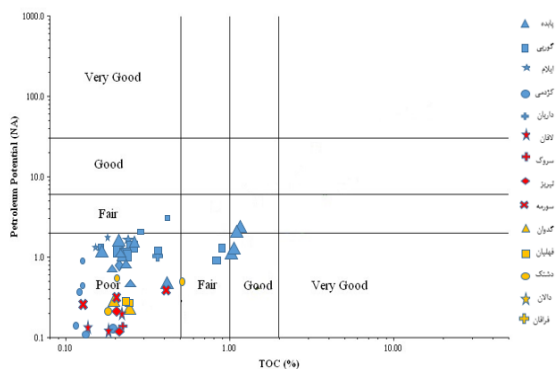
## ۴-۲- انعکاس ویتربینایت

انعکاس ویتربینایت به‌عنوان تکنیکی جهت تعیین بلوغ ماده آلی در سنگ‌های رسوبی برای اولین بار توسط Teichmuller Marlies در مطالعه خود از حوضه ولدن در سال ۱۹۸۵ تشریح شد. این تکنیک یکی از رایج‌ترین روش‌های ارزیابی بلوغ حرارتی انعکاس مواد آلی در سنگ‌های مادر است [۶]. ضریب انعکاس ویتربینایت به‌طور پیوسته با افزایش عمق افزایش می‌یابد. داو (۱۹۷۷) نشان داد که چگونه از این پارامتر می‌توان برای پی بردن به وجود گسل‌ها، منفذها و تغییرات در شیب زمین‌گرایی و

استفاده شد. مقادیر TOC در سازندهای مختلف بین ۰/۱۶ تا ۱/۵۹ و میزان اندیس پتانسیل هیدروکربن زایی ( $PP = S1+S2$ ) بین ۰/۰۸ تا ۴/۱۶ ( $mg\ HC/g\ Rock$ ) متغیر است (شکل ۴). TOC و  $PP$  به ترتیب کمتر از ۰/۵ و ۳، پتانسیل هیدروکربن زایی ضعیف و TOC بین ۰/۵ تا ۱ و  $S1+S2$  بین ۳ تا ۶ پتانسیل هیدروکربن زایی متوسط را برای سنگ مادر نشان می‌دهد [۱۹]. بیشتر نمونه‌ها دارای پتانسیل هیدروکربن زایی ضعیفی هستند، فقط تعداد محدودی از نمونه‌های سازند گورپی و پابده پتانسیل هیدروکربن زایی متوسطی را از خود نشان می‌دهند (شکل ۴).



شکل ۳: نمودار تغییرات مقادیر  $SI$  در برابر  $TOC$  به منظور تعیین وجود یا عدم وجود آلودگی و آغستگی نمونه‌های مورد مطالعه به مواد هیدروکربنی اقتباس با تغییراتی از [۱۸].



شکل ۴: نمودار پتانسیل هیدروکربنی در برابر  $TOC$ .

ارزیابی کیفی ماده آلی شامل بررسی نوع ماده آلی و یا نوع کروژن است. برای تعیین نوع ماده آلی از نمودار  $OI$  در برابر  $HI$  که به نمودار ون - کرولن معروف است استفاده شده است [۱۸]. تمام نمونه‌ها تقریباً تیپ III و IV را از خود نشان می‌دهند. نمونه‌هایی از گورپی و پابده که دارای پتانسیل متوسط هیدروکربنی هستند، دارای کروژن تیپ III و به صورت محدود II/III هستند (شکل ۵). جهت تشخیص و تعیین میزان بلوغ نمونه‌ها، از پارامترهای  $T_{max}$

درک کامل از تکامل زمین‌شناسی و بیان کمی این تکامل است. موفقیت این مدل با انطباق پارامترهای محاسبه شده در مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده در واقعیت، ارزیابی می‌شود [۱۶]. مدل‌سازی یک‌بعدی دارای محدودیت‌هایی می‌باشد، مدل تنها بیانگر یک نقطه‌ی مشخص است و محاسبات مرتبط با آن مثل دما، فشار نیز در یک بعد صورت می‌گیرد [۱۱، ۱۷].

در این پژوهش بازسازی بلوغ حرارتی و زایش نفت سنگ‌های مادر پابده، گورپی و سرچاهان در چاه B (عمق ۴۲۴۴ متری) میدان کیش مورد بررسی قرار گرفته است. مدل کینتیکی برای سنگ‌های مادر پابده، گورپی و سرچاهان از مدل‌های موجود در نرم‌افزار استفاده شد.

## ۵- بحث

### ۵-۱- ارزیابی سنگ مادر

نمونه‌های آنالیز شده از افق‌های با گامای طبیعی بالای سازندهای پابده، گورپی، ایلام، لافان، سروک، کزدمی، داریان، گدوان، فهلیان، سورمه، نیریز، دشتک، دالان و فراقان گرفته شده است. لازم به ذکر است به علت عمق زیاد سازند سرچاهان، نمونه‌ای از این سازند مورد آنالیز قرار نگرفته است؛ اما بر اساس شواهد زمین‌شناسی و مطالعات ژئوشیمیایی از مناطق هم‌جوار این سازند یکی از سنگ مادرهای اصلی میدان کیش محسوب می‌شود. سازند سرچاهان در عربستان سعودی دارای  $TOC$  بین ۴ تا ۱۲ درصد است و بلوغ آن از نابالغ تا اوج پنجره نفتی متغیر است. این سازند در ایران در رخنمون خود در مناطق کوه فراقان و گهگم دارای کمیت خوب ( $TOC < 5.1$ ) و بلوغ زیاد مواد آلی است [۸، ۱۰].

برای اطمینان از آلوده نبودن نمونه‌ها و صحت نتایج آنالیز پیرولیز راک - ایول از منحنی تغییرات  $SI$  در برابر  $TOC$  استفاده شد [۱۸]. نمونه‌های با نسبت  $SI/TOC$  کمتر از ۱/۵ عاری از آلودگی در نظر گرفته شدند. شایان‌ذکر است نمونه‌های آلوده در تفسیرهای ژئوشیمیایی بعدی حذف گردیدند. تعدادی از نمونه‌های سازندهای ایلام، کزدمی، پابده و گورپی با وجود داشتن آلودگی،  $TOC$  پایینی ( $< 1$ ) از خود نشان دادند (شکل ۳).

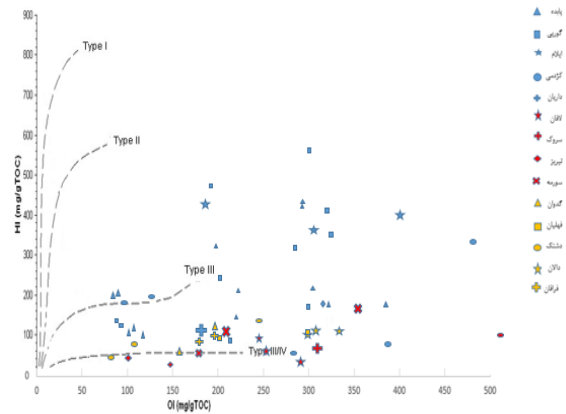
جهت ارزیابی کمی پتانسیل هیدروکربن زایی سازندهای مورد مطالعه از نمودار  $S1+S2$  در برابر  $TOC$

## ۵-۲- مدل‌سازی یک‌بعدی تاریخچه تدفین و حرارتی میدان کیش

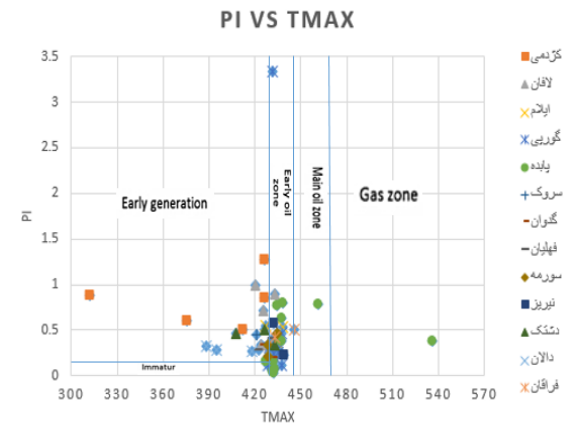
هدف از مدل‌سازی یک‌بعدی، بازسازی تاریخچه تدفین و حرارتی سازندها (وضعیت دما، بلوغ، عمق، زمان زایش هیدروکربن) در یک نقطه در یک حوضه است. شکل ۷، تاریخچه تدفین و روند نهشته شدن سازندها را برای چاه B میدان کیش نشان می‌دهد. محور افقی، زمان زمین‌شناسی و محور عمودی، عمق تدفین سازندها و خطوط نمودار روند فرونشست را در این چاه نشان می‌دهد. تاریخچه حرارتی و بلوغ لایه‌ها چندین مرتبه با مدل سویننی و بورنهام (۱۹۹۰) [۲۰] تخمین زده می‌شود تا در نهایت با داده‌های اندازه‌گیری شده انعکاس ویتترینات کالیبره گردد. رویه نشان داده‌شده در شکل ۷، روند بلوغ حرارتی سنگ‌های مادر پابده، گورپی و سرچاهان را در طول زمان زمین‌شناسی نشان می‌دهد؛ بنابراین سازندهای پابده و گورپی به پختگی لازم جهت تولید هیدروکربن نرسیده‌اند و دارای نسبت تبدیل صفر هستند (شکل ۸). سازند سرچاهان به‌عنوان اصلی‌ترین سنگ مادر میدان هم‌اکنون در زون تولید گاز خشک قرار دارد و در طول زمان ۹۵ درصد از پتانسیل خود را تا به حال تولید کرده است. این سازند به ترتیب از حدود ۱۵۰ و ۱۲۰ میلیون سال پیش وارد پنجره نفتی و گازی خود شده است (شکل ۷ و ۸).

دماهای ته چاهی تصحیح‌شده و داده‌های ضریب انعکاس ویتترینات به ترتیب برای تخمین و کالیبراسیون جریان گرمایی کنونی و دیرینه منطقه استفاده شد. دما و انعکاس ویتترینات تخمین زده‌شده در مدل با دما و انعکاس ویتترینات اندازه‌گیری شده تطابق خوبی نشان می‌دهد، بنابراین مدل دمایی و حرارتی ساخته‌شده در میدان کیش قابل‌اعتماد است (شکل ۹).

و انعکاس ویتترینات استفاده شد. به‌طورکلی Tmax پایین‌تر از ۴۳۵ درجه سانتی‌گراد بیانگر مواد آلی نابالغ است درحالی‌که Tmax بیشتر از ۴۷۰ درجه سانتی‌گراد بیانگر زون گاز تر است [۱۳]. با توجه به شکل ۳، اکثر نمونه‌ها نابالغ یا در ابتدای بلوغ حرارتی قرار گرفته‌اند. این نتیجه‌گیری با مقادیر اندازه‌گیری انعکاس ویتترینات نیز تأیید می‌گردد (جدول ۲).

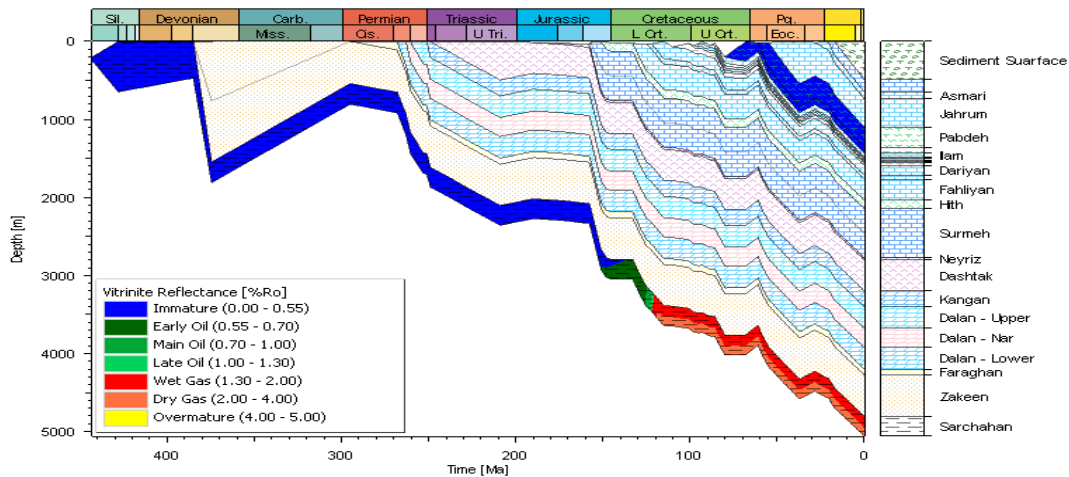


شکل ۵: نمودار OI در برابر HI جهت تعیین نوع کروژن موجود.

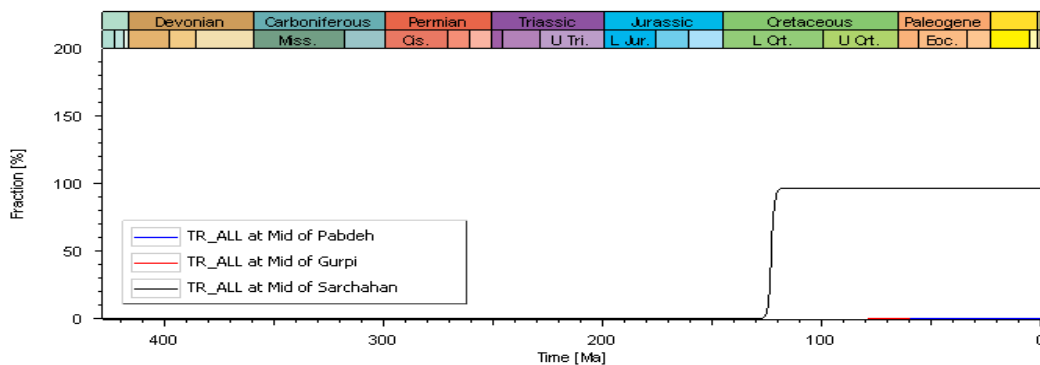


شکل ۶: نمودار تغییرات مقادیر PI در برابر Tmax به‌منظور تعیین میزان بلوغ نمونه‌های مورد مطالعه.

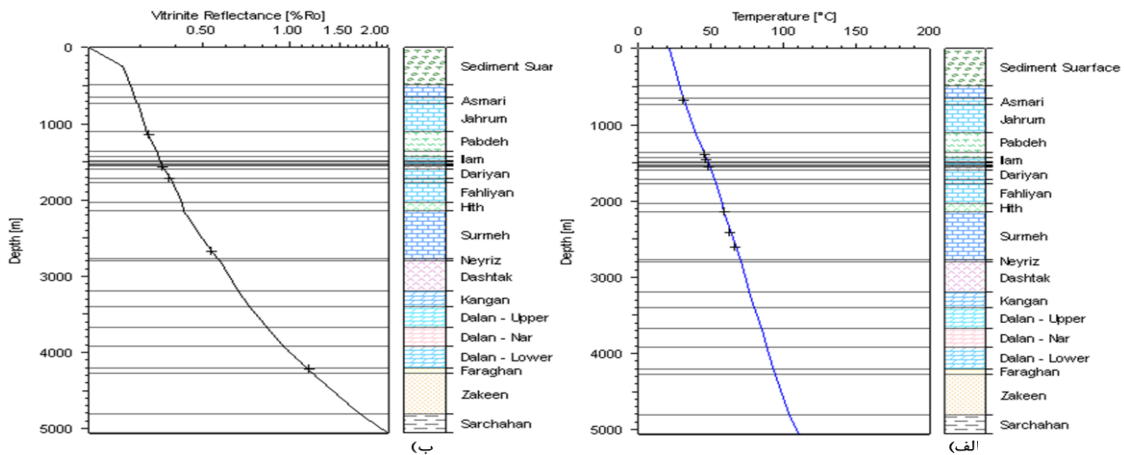




شکل ۷: مدل تاریخچه تدفین به همراه انعکاس ویتترینایت مدل شده برای چاه B میدان کیش.



شکل ۸: نسبت تبدیل سازندهای سرچاهان، گورپی و پابده در چاه B میدان کیش.



شکل ۹: کالیبراسیون حرارتی (الف) دما و (ب) انعکاس ویتترینایت مدل یک‌بعدی برای چاه B میدان کیش.

خود نشان می‌دهند. همچنین پارامترهای ژئوشیمیایی بلوغ، میزان پایین بلوغ را برای نمونه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد؛ بنابراین شیل‌های غنی از مواد آلی سرچاهان اصلی‌ترین سنگ مادر میدان کیش و مناطق هم‌جوار محسوب می‌شوند. مدل‌سازی حرارتی و بلوغ سازندهای پابده، گورپی و سرچاهان در چاه B میدان کیش نشان می‌دهد سازندهای پابده و گورپی به پختگی لازم جهت

## ۶- نتیجه‌گیری

ارزیابی ژئوشیمیایی نتایج حاصل از آنالیز پیرولیز راک - ایول ۵۸ نمونه سنگ مورد مطالعه نشان داد که بیشتر نمونه‌ها دارای پتانسیل هیدروکربن زایی ضعیفی هستند. فقط تعداد محدودی از نمونه‌های سازند گورپی و پابده پتانسیل هیدروکربن زایی متوسط با کروژن تیپ III را از



Persian Gulf. Journal of Petroleum Science and Engineering 150, 54–68.

[10] Saberi, M.H., Rabbani, A.R., Ghavidel-syooki, M., 2016. Hydrocarbon Potential and Palynological Study of the Latest Ordovician – Earliest Silurian Source Roc (Sarchahan Formation) in the Zagros Mountains, Southern Iran. Marine and Petroleum Geology 71, 12–25.

[11] Hosseiny, E., Rahmani, A., 2021. Evaluation of petroleum generation potential and burial history of probable source rocks in the Salman field, eastern part of the Persian Gulf. Researches in Earth Sciences 12 (2), 112-123 (In Persian).

[12] Behar, F., Beaumont, V., and H.L. De B. Pentead, De B., 2001. Rock-Eval Technology: performances and Developments: Oil & Gas Science and Technology - Rev. IFP 56 (2), 111-134.

[13] Hosseiny, E., Barati Boldaji, S., 2020. Evaluation of hydrocarbon generation potential of Sargelu source rock in the southwestern Iran and northwestern Persian Gulf. Journal of Analytical and Numerical Methods in Mining Engineering 10 (23), 79-89 (In Persian).

[14] Dow, W.G., 1977. Kerogen studies and geological interpretations. Journal of Geochemical Exploration 7, 77–99.

[15] Waples, D. W., 1980. Time and temperature in petroleum formation: application lopatin method to petroleum exploration. AAPG Bulletin 64, 916- 926.

[16] Ibrahim, S.G., Kerem, K., Akper, F., 1997. Deep petroleum occurrences in the Lower Kura Depression, South Caspian Basin, Azerbaijan: an organic geochemical and basin modeling study. Marine and Petroleum Geology 14 (718), 731-762.

[17] Saberi, M.H., Ashrafi, T., Khaleghi, M., 2017. 1D modeling of sedimentary basin in Tabnak Gas Field of Coastal Fars region, Iran. Advanced Applied Geology, 7(3), 65-75 (In Persian).

[18] Hunt, J.M., 1996. Petroleum Geochemistry and Geology. 2nd Edition. W.H. Freeman and Company, New York. 743 p.

[19] Peters, K.E., 1986. Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis: AAPG Bulletin, 70, 318-329.

[20] Sweeney, J., Burnham, A. K., 1990. Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics: American Association of Petroleum Geologist Bulletin 74, 1559-1570.

تولید هیدروکربن نرسیده‌اند و دارای نسبت تبدیل صفر هستند درحالی‌که سازند سرچاهان، ۹۵ درصد از پتانسیل خود را تولید کرده است و هم‌اکنون در محدود پنجره گاز خشک قرار دارد.

## مراجع

[1] Bordenave M.L., Hux A.Y., 1995, The Cretaceous source rocks in the zagros Foothills of Iran. Revue De L institute Francais DU petrole 50, 727-754.

[2] Rabbani, A.R., Mashhadi, Z., Rezaie, Z., Heydari, S., 2013. Source rock evaluation of Gadvan Formation (Barremian to Early Aptian) in Persian Gulf. Journal of Geotechnical Geology 9 (1), 21-30 (In Persian).

[3] Motiei, H., 1995. Petroleum Geology of Zagros. Geological Survey of Iran Publication, 589 p. (In Persian).

[4] Aghanabati, A., 2004. The Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, 586 p. (In Persian).

[5] Ghasemi-Nejad, E., J.Head, M., Naderi, M., 2009 .Palynology and petroleum potential of the Kazhdumi Formation (Cretaceous: Albian–Cenomanian) in the South Pars field, northern Persian Gulf. Marine and Petroleum Geology 26, 805–816 .

[6] Attariyan, M., Moallemi, S.A., Memariani, M., 2016. Evaluation of burial history and thermal modeling of an oil field located in the east of the Persian Gulf. 20th Conference of the Iranian Geological Society, 1735-1742 (In Persian).

[7] Hosseiny, E., Rabbani, A.R., Moallemi, S.A., 2016. Source rock characterization of the Persian Formation in the eastern part of the Iranian sector of Organic Geochemistry 99, 53-66.

[8] Bordenave, M.L., Hegre, J.A., 2010. 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: Leturmy, P., Robin, C. (Eds.), Tectonic and Stratigraphic Evolution of Zagros and Makran during the Mesozoic- Cenozoic. Geological Society Special Publication, London 330, 291–353.

[9] Hosseiny, E., Rabbani, A.R., Moallemi, S.A., 2017. Oil families and migration paths by biological markers in the eastern Iranian sector of