

مدل سازی تاریخچه های تدفین و حرارتی جهت آنالیز حوضه رسوبی سازند پابده در یکی از میدان های نفتی فروافتادگی دزفول جنوبی

زینب اورک^۱، معصومه کردی^{۱*} و احمدرضا کریمی^۲

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

۲- شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۴

چکیده

در این مطالعه با مدل سازی یک بعدی تاریخچه های تدفین و حرارتی در سه چاه A ۱، A ۲ و A ۳ در یکی از میدان های فروافتادگی دزفول جنوبی، تأثیرات متقابل رسوب گذاری، تدفین، فرونشست و بالآمدگی های حوضه رسوبی بر روی تغییرات درجه حرارت نسبت به عمق و زمان و در نتیجه، بلوغ مواد آلی سازند پابده در قالب حوضه رسوبی مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی، مقادیر دما و انعکاس ویتربینایت اندازه گیری شده، جهت واسنجی مدل استفاده شده است. بازسازی تاریخچه های تدفین نشان می دهد حوضه رسوبی در زمان نهشته شدن سازند پابده از پالیوسن تا الیگوسن، سرعت رسوب گذاری کمی داشته که مرتبط با محیط رسوبی کم انرژی آن در حاشیه غیرفعال حوضه نئوتتیس بوده است. بیشترین نرخ تدفین سازند پابده در میوسن میانی تا پلیوسن میانی رخ داده که هم زمان با رسوب گذاری نسبتاً سریع سازندهای گچساران، میشان و آجاجاری در حوضه فورلند زاگرس بوده است. بر اساس مدل سازی های حرارتی، سازند پابده از میوسن میانی در دمای بالاتر از ۶۰ °C قرار داشته و در پلیوسن میانی که این سازند در بیشترین عمق تدفین قرار داشته، دما به حدود ۱۰۰ °C رسیده بود که دمای مناسب برای زایش نفت می باشد. با این حال، از پلیوسن میانی تا حال حاضر، بالآمدگی ها و فرسایش های ایجاد شده در اثر فعالیت های کوهزایی زاگرس، موجب کاهش دمای سازند پابده و کند شدن نرخ افزایشی بلوغ مواد آلی آن شده است. بر اساس مقادیر پایین انعکاس ویتربینایت (Ro < ۰/۶٪)، سازند پابده در میدان مورد مطالعه در ابتدای پنجره نفتی قرار داشته و به علت عدم بلوغ کافی به عنوان یک سنگ منشأ با پتانسیل ولی نابالغ در نظر گرفته می شود که بطور کامل وارد زون تولید نفت نشده است.

کلمات کلیدی: سازند پابده؛ آنالیز حوضه رسوبی؛ بلوغ؛ تاریخچه تدفین؛ تاریخچه حرارتی

مقدمه

با افزایش نیاز به اکتشاف منابع جدید هیدروکربنی، تاریخچه شکل‌گیری تجمعات نفت و گاز در حوضه‌های رسوبی با دقت بیشتری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مدل‌سازی حوضه، ابزاری بسیار کاربردی جهت بررسی سیستم‌های هیدروکربنی از دیدگاه کمی و کیفی می‌باشد. در مدل‌سازی حوضه، فرآیندهای تولید، مهاجرت و تجمع نفت و گاز در طی زمان زمین‌شناسی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در یک سیستم نفتی، وجود سنگ منشأ به‌عنوان شرط اصلی جهت هرگونه تجمع هیدروکربنی است. پختگی سنگ منشأ و زایش هیدروکربن از آن توسط دو پارامتر زمان و درجه حرارت کنترل می‌شود [۱]. رسوب‌گذاری و تدفین در حوضه رسوبی باعث افزایش درجه حرارت در طی زمان شده و شرایط دمایی لازم جهت پختگی و بلوغ مواد آلی موجود در سنگ‌های منشأ را به وجود می‌آورند. با مدل‌سازی تاریخچه تدفین و حرارتی می‌توان تأثیرات متقابل رسوب‌گذاری، فرسایش، فرونشست^۱ و بالآمدگی‌های^۲ حوضه رسوبی بر روی تغییرات درجه حرارت نسبت به عمق و زمان و در نتیجه، مراحل و میزان بلوغ ماده آلی در رسوبات را در طول زمان زمین‌شناسی مورد بررسی قرارداد. بدین طریق در این بررسی‌ها می‌توان زمان، عمق و دمای زایش نفت و گاز در سیستم‌های نفتی را مشخص و مناطق با اولویت اکتشافی و یا توسعه‌ای را معرفی نمود.

سازند پابده با سن پالئوسن تا الیگوسن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین سنگ منشأهای ایران شناخته می‌شود [۲] و مطالعات زیادی بر روی آن انجام شده است. بررسی‌های ژئوشیمیایی انجام شده بر روی سازند پابده عمدتاً در بخش شمالی فروافتادگی دزفول صورت گرفته و سنگ منشأ بودن این سازند در این بخش به اثبات رسیده است [۳-۶] ولی در بخش جنوبی فروافتادگی دزفول مطالعات کمتری انجام شده است. مطالعات ژئوشیمیایی

انجام شده در این بخش بیشتر بر مبنای تعبیر و تفسیر آنالیزهای پیرولیز راک اول بوده و بررسی تکامل سنگ منشأ در طول زمان زمین‌شناسی و در نتیجه عمق و زمان احتمالی زایش هیدروکربن در قالب آنالیز حوضه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. به‌طور مثال، کمالی و همکاران به بررسی ژئوشیمی نفت و مدل‌سازی حرارتی سازند پابده در دزفول فروافتاده پرداختند [۳]. همچنین، علیزاده و همکاران، ژئوشیمی آلی و پتروگرافی سنگ منشأ کژدمی و پابده در بخش شمالی فروافتادگی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که سازند پابده در مرحله بلوغ حرارتی برای تولید هیدروکربن است [۴]. کریمی و همکاران به ارزیابی ژئوشیمیایی و مدل‌سازی حرارتی سازند پابده و سازند گورپی در نواحی شمالی فروافتادگی دزفول پرداخته و همچنین کنتیک، تاریخچه تدفین و مدل‌سازی حرارتی سازندهای کژدمی و پابده در تقادیس اهواز را مورد مطالعه قراردادند [۵ و ۶]. در مطالعات سلمان‌زاده، با ارزیابی میزان بلوغ سنگ‌های منشأ چاه بینک-۴ به این نتیجه رسیدند که سازند پابده به دلیل بلوغ پایین و ضخامت کم و مقادیر اندک کربن آلی کل، توان هیدروکربن‌زایی کمی دارد [۷]. اپرا و همکاران نیز با بازسازی تاریخچه تدفین و مدل‌سازی بلوغ حرارتی در فروافتادگی دزفول مشخص نمودند که سازند پابده در مرحله اولیه پنجره نفتی قرار دارد [۸]. در مطالعات اورک و همکاران، نتایج حاصل از آنالیز راک اول خرده‌های حفاری سازند پابده در منطقه فروافتادگی دزفول جنوبی حاکی از غنای متوسط تا عالی این سازند و وجود کروژن‌های نوع II و III/II در آن می‌باشد [۹].

با توجه به مطالعات قبلی، هدف از این تحقیق این است که از طریق بازسازی تاریخچه‌های تدفین و حرارتی، مراحل و میزان بلوغ ماده آلی سازند پابده از زمان رسوب‌گذاری تا حال حاضر در قالب حوضه

1. Subsidence

2. Uplift

و با برخورد صفحه عربی به صفحه ایران در زمان میوسن پسین، اقیانوس نئوتتیس به طور کامل بسته شد. همگرایی و فشار وارده که اکنون نیز ادامه دارد موجب چین خوردگی رسوبات ضخیم و ایجاد کمربند چین خورده-رانده زاگرس گردیده است [۱۱ و ۱۰].

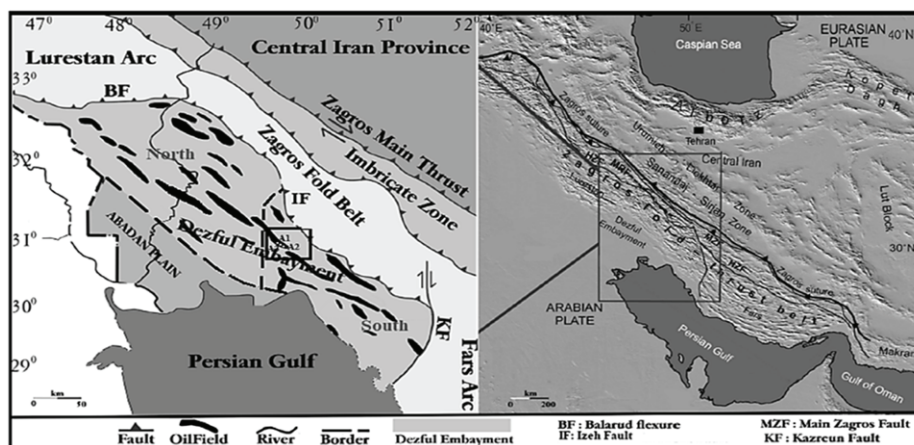
از دیدگاه ساختاری و ریخت‌شناسی، زاگرس به دو پهنه راندگی‌ها و زاگرس چین خورده تقسیم شده است. در زاگرس چین خورده عملکرد توأم گسل‌های قطر-کازرون، ایذه و بالارود موجب شکل‌گیری زیرپهنه ساختاری-چینه ای فروافتادگی دزفول شده است (شکل ۱) [۱۲]. زیرپهنه فروافتادگی دزفول در جنوب غرب تراس زاگرس واقع شده و حدود 60000 km^2 وسعت دارد [۱۳]. وجود سنگ‌های منشأ، مخزن و پوش سنگ مناسب در این زیرپهنه موجب شده تا بخش اعظمی از ذخایر نفت ایران را در خود جای دهد [۱۳]. زیرپهنه فروافتادگی دزفول توسط گسل هنديجان-بهرگانسر به دو بخش جنوبی و شمالی تقسیم می‌شود. میدان مورد مطالعه در نیمه جنوبی زیرپهنه فروافتادگی دزفول واقع شده است (شکل ۱).

سازند پایده به‌عنوان یکی از مهم‌ترین سنگ-منشأهای زیرپهنه فروافتادگی دزفول، مخصوصاً در نیمه شمالی آن، در نظر گرفته شده است [۳-۶]. این سازند از مارن، آهک و شیل تشکیل شده و سن آن پالئوسن تا الیگوسن است [۲ و ۹] (شکل‌های ۲ و ۳).

رسوبی مطالعه شود. این نوع مدل‌سازی‌ها به منظور بررسی تولید یا عدم تولید هیدروکربن و شبیه‌سازی پدیده‌هایی است که در طی زمان زمین‌شناسی منجر به بلوغ یا عدم بلوغ ماده آلی سازند پایده در میدان مورد مطالعه شده است. آنالیز حوضه رسوبی و بررسی میزان بلوغ سنگ منشأ، عمق و زمان زایش هیدروکربن، در برنامه ریزی‌ها و کاهش ریسک‌های اکتشافی و توسعه‌ای کمک شایانی می‌نماید.

زمین‌شناسی منطقه

کمربند چین خورده-رانده زاگرس، بخشی از نوار کوه‌زایی آلپ-همالیاست که در نتیجه بسته شدن اقیانوس نئوتتیس و برخورد دو صفحه عربی و ایران بوجود آمده است [۱۰-۱۲]. این دو صفحه در اوایل پالئوزوئیک جزئی از ابرقاره گندوانا بودند. با ایجاد ریفت درون‌قاره‌ای در حاشیه شمال شرقی گندوانا در زمان کربونیفر پسین تا پرمین پسین، بازشدگی اقیانوس نئوتتیس میان دو صفحه عربی و ایران آغاز شد. این بازشدگی تا اواخر تریاس ادامه داشت تا اینکه در این زمان با باز شدن ریفت دریای سرخ و گسترده‌گی اقیانوس‌های اطلس و هند، رژیم واگرایی بین صفحات عربی و ایران به همگرایی تبدیل شد. با فرورانش صفحه عربی به زیر صفحه ایران، اقیانوس نئوتتیس شروع به بسته شدن نمود



شکل ۱ نقشه پهنه‌های اصلی زاگرس، موقعیت زیرپهنه فروافتادگی دزفول بر اساس گسل‌های قطر-کازرون (KF)، ایذه (IF) و بالارود (BF) و چاه‌های مورد مطالعه در بخش جنوبی این زیرپهنه، اقتباس از [۶].

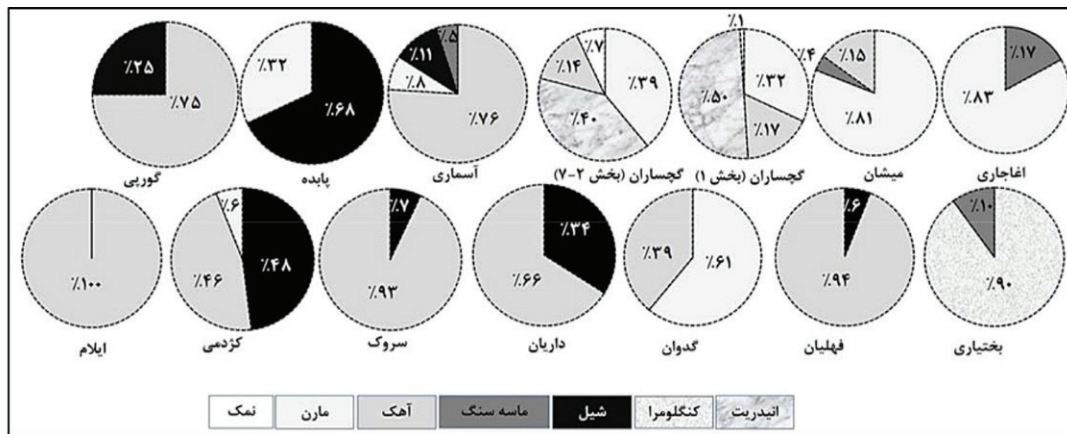
ویترینایت^۵ (Ro%) که توسط شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب اندازه گیری شده اند (جدول ۲)، به ترتیب برای تصحیحات دما و بلوغ مورد استفاده قرار گرفته اند. برای به دست آوردن جریان حرارتی در هر مدل، ابتدا مقادیر حدودی آن وارد مدل گردیده، سپس مقادیر انعکاس ویترینایت و دمای حاصل از مدل سازی با داده های اندازه گیری شده مقایسه شده اند. مقدار جریان حرارتی که بهترین انطباق بین نتایج مدل و داده های واقعی برای هر دو پارامتر را نشان می دهد به عنوان جریان حرارتی در نظر گرفته شده است. بلوغ حرارتی سازند پابده به وسیله مدل کنتیکی Easy/Ro موجود در نرم افزار پترومد که براساس تحقیقات سوئی و برنهام [۲۰] می باشد محاسبه شده است.

خطوط نمودار تاریخچه تدفین، نرخ رسوب گذاری و روند تغییرات عمق تدفین سازندها در طی زمان زمین شناسی را نشان می دهند. براین اساس در جایی که شیب خط به سمت پایین نمودار باشد، نشان دهنده رسوب گذاری و تدفین می باشد. در جایی که شیب خط به طرف بالای نمودار باشد، بیانگر بالآمدگی و فرسایش است. در شرایطی که خط افقی باشد نشانگر هیاتوس رسوبی یا عدم رسوب گذاری می باشد. شیب خط، نرخ رسوب گذاری و نرخ تدفین لایه ها را مشخص می کند و شیب های بیشتر، نرخ رسوب گذاری و نرخ تدفین بالاتری را نشان می دهند. نرخ رسوب گذاری لایه های مختلف در واقع نرخ تدفین لایه های پایین تر را تعیین می کند. نرخ رسوب گذاری از ضخامت اولیه سازند، در زمان رسوب گذاری (قبل از فشردگی) به مدت زمان رسوب گذاری محاسبه می گردد [۲۱]. در نرم افزار مورد استفاده تصحیح فشردگی رسوبات به منظور تعیین ضخامت های اولیه هر سازند اعمال شده است.

توالی های رسوبی وارد شده در مدل به ترتیب شامل سازندهای فهلیان، گدوان، داریان، کژدمی، سروک، ایلام، پابده، آسماری، گچساران بخش ۱ (پوش سنگ)، گچساران (بخش ۲ تا ۷)، میشان، آغاجاری و بختیاری می باشند (شکل ۴). داده های ورودی مدل ها شامل سن سازندها براساس پالئولاگها، شرایط محیط دیرینه رسوب گذاری، اطلاعات میکروپالئونتولوژی، عمق سرسازند و قاعده آنها بر اساس لاگ های گرافیکی هر چاه، سنگ شناسی هر سازند بر اساس اطلاعات درصدهای سنگ شناسی هر سازند که در حین حفاری به دست آمده، مقادیر کربن آلی کل (TOC) و شاخص هیدروژن (HI) سازندهای منشأ بر اساس نتایج آنالیز راک اول در شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب می باشند (جدول ۱). در مدل سازی بلوغ حرارتی، شرایط مرزی مدل شامل دمای سطح تماس آب و رسوب^۱ (SWIT)، عمق آب دیرینه^۲ (PWD) و جریان حرارتی^۳ (HF) است [۱۶ و ۱۷].

دمای سطح تماس آب و رسوب در نرم افزار پترومد بر اساس مدل های جهانی دمای میانگین سطح^۴ (GMST) بر مبنای مطالعات وایگرالا [۱۷] و مقادیر عمق آب دیرینه و همچنین موقعیت جغرافیای دیرینه منطقه مورد مطالعه که در نیمکره شمالی و صفحه عربی بوده، محاسبه شده است. تخمین عمق آب دیرینه دارای عدم قطعیت نسبتاً بالایی است، به همین دلیل معمولاً میانگین حداکثر و حداقل عمق آب در زمان های مختلف برای قسمت های مختلف حوضه در نظر گرفته می شود [۱۷ و ۱۸]. عمق آب دیرینه سازند پابده در این مطالعه از روی رخساره های رسوبی، ترکیب سنگ شناسی، محیط رسوب گذاری، فسیل و چینه شناسی منطقه خاورمیانه به دست آمده است. جریان حرارتی پارامتر ورودی مهمی در مدل سازی حوضه رسوبی است [۱۷ و ۱۹]. بنابراین، مدل های تاریخچه حرارتی معمولاً در برابر بلوغ و داده های حرارتی مورد تصحیح قرار می گیرند. در این مطالعه، داده های واقعی دما و انعکاس

1. Sediment Water Interface Temperature
2. Paleo Water Depth
3. Heat Flow
4. Global Mean Surface Temperature
5. Vitrinite Reflectance



شکل ۴ نمودار ترکیب سنگ‌شناسی سازندهای موجود در چاه‌های مورد مطالعه.

جدول ۱ داده‌ها و اطلاعات ورودی به نرم‌افزار پترومد از چاه ۳ A.

سیستم نفتی	شاخص هیدروژن	کربن آلی کل (%)	وقفه رسوبگذاری (میلیون سال)		فرسایش (m)	زمان رسوبگذاری (میلیون سال)		ضخامت (m)	قاعده سازند (m)	سرسازند (m)	سازند
			از	تا							
			۰/۳	۳/۱۰	۱۰۰	۳/۵	۵	۰	۰	۰	بختیاری
			۰	۰/۳	۲۰	۵	۹	۷۶۸	۷۶۸	۰	آغاچاری
						۹	۱۱/۲	۳۹۸	۱۱۶۶	۷۶۸	میشان
						۱۱/۲	۱۵/۸	۱۴۶	۱۳۱۲	۱۱۶۶	گچساران (۷-۲)
پوش سنگ						۱۵/۸	۱۶/۶	۳۹	۱۳۵۱	۱۳۱۲	گچساران (۱)
سنگ مخزن						۱۶/۶	۳۳	۳۲۸	۱۶۷۹	۱۳۵۱	آسماری
سنگ منشأ	۱۰۱	۲				۳۳	۶۱	۲۷۵	۱۹۵۴	۱۶۷۹	پایده
سنگ منشأ	۱۵۲	۰/۵	۶۱	۶۵	۱۰۰	۶۵	۸۲	۵۷	۲۰۱۱	۱۹۵۴	گوریبی
						۸۲	۸۴	۴۹	۲۰۶۰	۲۰۱۱	ایلام
سنگ مخزن						۸۴	۹۹	۱۱۵۰	۳۲۱۰	۲۰۶۰	سروک
سنگ منشأ	۴۳	۲/۵				۹۹	۱۱۲	۲۵۲	۳۴۶۲	۳۲۱۰	کزدمی
						۱۱۲	۱۲۳	۵۸	۳۵۲۰	۳۴۶۲	داریان
سنگ منشأ	۱۵۲	۰/۵				۱۲۳	۱۴۵	۱۱۳	۳۶۳۳	۳۵۲۰	گدوان
						۱۴۵	۱۵۸	۴۹۰	۴۱۲۳	۳۶۳۳	فهلیان
						۱۰۰	۱۵۸	۱۶۱	۴۲۸۰	۴۱۲۳	گرو

جدول ۲ مقادیر واقعی دما و انعکاس ویتربینایت اندازه گیری شده در چاه های مورد مطالعه.

چاه	عمق (m)	انعکاس ویتربینایت (/.)	دما (°C)	کربن آلی کل (/.)
A1	۲۵۱	۰/۵۴	۳۲	۱/۵
	۶۶۶		۴۳	
	۲۰۹۸		۸۲	
	۲۵۲۰			
A2	۱۴۸۴	۰/۶۲	۶۴	۱/۸
	۱۹۰۴			
	۲۲۴۳			
	۲۲۹۳			
	۳۷۷۴			
۴۰۴۷				
A3	۷۶۸	۰/۵۵	۶۰	۲
	۱۱۶۶			
	۱۳۵۱			
	۱۸۸۲			
	۱۹۸۳			
۳۲۸۹				
	۳۵۵۲			

میانی، سازند پایده حدود ۱۷ m در هر میلیون سال تدفین داشته است. از میوسن میانی تا پلیوسن میانی به شدت تدفین آن افزوده شده، به طوریکه در این مدت نرخ تدفین سازند ۲۱۷ m در هر میلیون سال بوده است. در پلیوسن میانی سازند پایده به حداکثر عمق تدفین حدود ۳۰۵۵ m رسیده بود ولی از آن زمان تا عهد حاضر حوضه شروع به بالآمدگی نموده است. این بالآمدگی موجب فرسایش حدود ۸۶۷ m از رسوبات سازندهای آجاجاری و بختیاری شده است. امروزه سازند پایده در این چاه در عمق ۲۰۳۷ تا ۲۱۸۸ m قرار دارد (شکل ۵).

مدل سازی حرارتی و بلوغ در چاه A ۱

در مدل سازی های حرارتی و بلوغ، واسنجی بین مدل و پارامترهای اندازه گیری شده، برای کنترل صحت مدل سازی نقش کلیدی دارد. جریان های گرمایی در مدل حرارتی باید به نحوی تنظیم گردند که داده های حرارتی اندازه گیری شده و محاسبه شده بر یکدیگر منطبق شوند.

در مدل سازی ها، ترکیب سنگ شناسی سازندها اهمیت زیادی دارد، به دلیل اینکه پارامترهایی نظیر نرخ فشردگی و جریان حرارتی را کنترل می نماید [۲۲]. در این مطالعه، اطلاعات درصدهای ترکیب سنگ شناسی هر سازند بر اساس لاگ های گرافیکی که در زمان حفاری هر چاه تهیه شده اند بدست آمده است (شکل ۴).

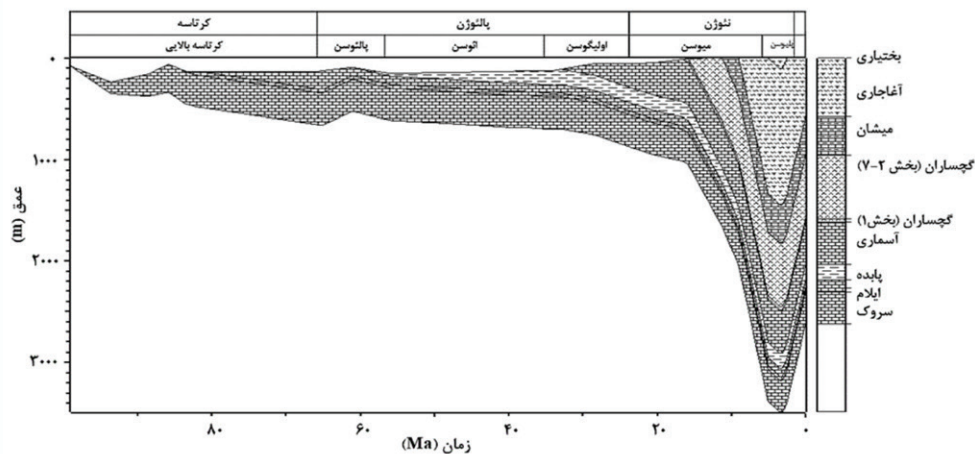
نتایج

مدل سازی تاریخچه های تدفین، حرارتی و بلوغ

مواد آلی سازند پایده

بازسازی تاریخچه تدفین در چاه A ۱

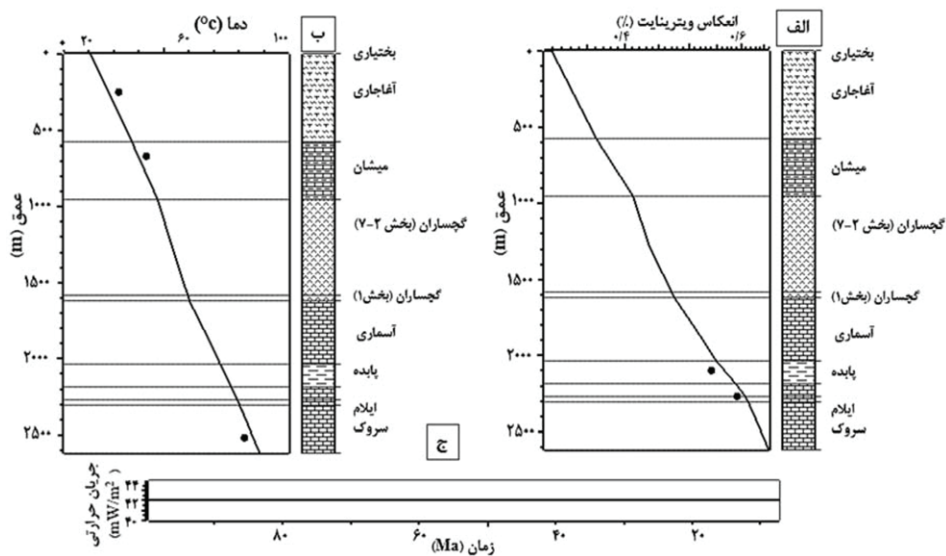
مدل سازی یک بعدی تاریخچه تدفین بر روی چاه A ۱ انجام گرفت (شکل ۵). این چاه تا عمق ۲۶۲۱ متری (سازند سروک) حفاری شده است. تاریخچه تدفین نشان می دهد که سازند پایده از پالئوسن تا الیگوسن پیشین با نرخ کم حدود ۶ m در هر میلیون سال نهشته شده است. پس از رسوب گذاری، از الیگوسن پیشین تا میوسن



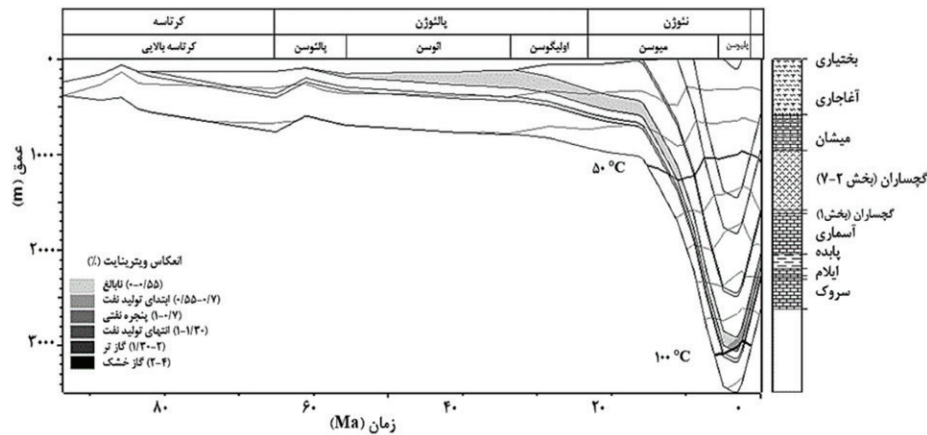
شکل ۵ نمودار تاریخچه تدفین در چاه ۱ A.

در این مطالعه، مقادیر انعکاس و پترینایت و دمای حاصل از مدل سازی با داده های واقعی اندازه گیری شده (جدول ۲) انطباق داده شده اند. همانطوری که در شکل ۶ نشان داده شده است، در واسنجی صورت گرفته بین داده های اندازه گیری شده دما و انعکاس و پترینایت (نقاط سیاه رنگ) با نتایج حاصل از مدل سازی در جریان حرارتی 42 mW/m^2 (خطوط ممتد سیاه رنگ) انطباق خوبی را نشان می دهد. نتایج مدل حرارتی (شکل ۷) نشان می دهند که از میوسن میانی تا پلیوسن میانی، به علت سرعت زیاد تدفین سازند پاینده، بلوغ حرارتی با سرعت بالایی افزایش داشته است. این سازند در میوسن

میانی در عمق حدود 1600 m و دمای حدود 60°C قرار گرفته و در اواسط پلیوسن، به حداکثر عمق تدفین حدود 3055 m و حداکثر دمای 101°C رسیده بود. هنگامی که این سازند در بیشترین عمق تدفین بوده، بیشترین مقدار انعکاس و پترینایت 57% را نیز داشته است. از زمان پلیوسن میانی به بعد، بالا آمدگی و فرسایش ایجاد شده موجب کاهش دمای سازند پاینده شده است، بطوریکه از پلیوسن میانی تا عهد حاضر، سازند پاینده در این چاه حدود 25°C سردتر شده است. در طی این زمان مقدار انعکاس و پترینایت و بلوغ حرارتی تغییر زیادی نداشته است (شکل ۷).



شکل ۶ نمودار انطباق مناسب نتایج مدل سازی با داده اندازه گیری شده انعکاس و پترینایت (الف)، دما (ب) و تغییرات جریان حرارتی (ج) در چاه ۱ A.

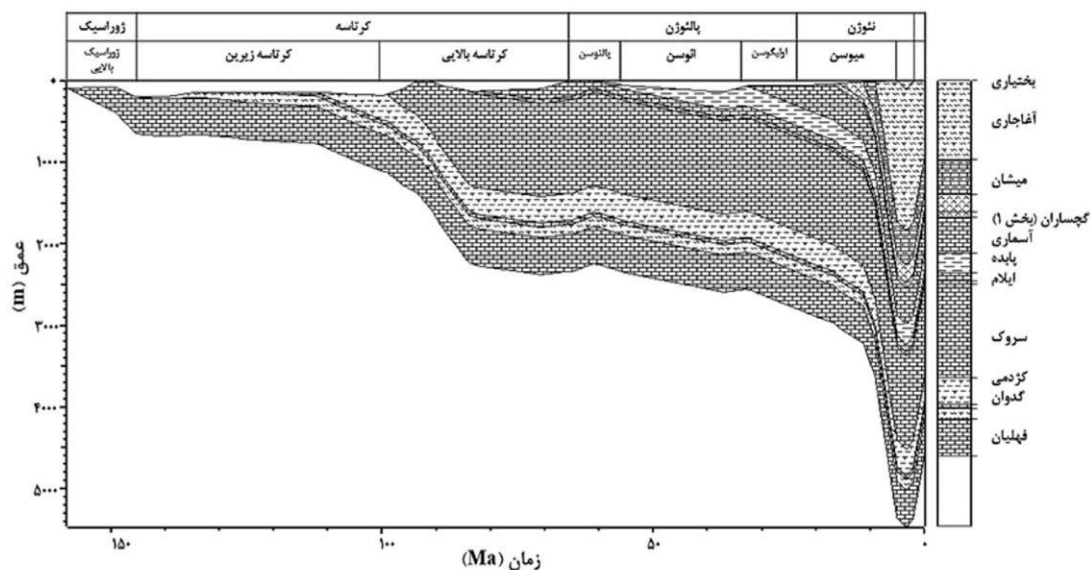


شکل ۷ نمودار تغییرات دما و بلوغ حرارتی در چاه A ۱.

میانی تا پلیوسن میانی به شدت تدفین افزوده شده بطوریکه در این مدت، این سازند با سرعت حدود ۲۹۲ m در هر میلیون سال تدفین شده است. سازند پایده در پلیوسن میانی به بیشترین عمق تدفین حدود ۳۲۲۰ m رسیده بود. با این حال به علت بالآمدگی و فرسایش رخ داده از پلیوسن میانی تا عهد حاضرکه موجب فرسایش حدود ۸۶۴ m از رسوبات سازندهای آغاچاری و بختیاری شده، عمق تدفین این سازند در این چاه امروزه به ۲۱۱۰ تا ۲۳۵۶ m رسیده است (شکل ۸).

بازسازی تاریخچه تدفین در چاه A ۲

چاه A۲ تا سازند فهلیان (عمق ۴۶۰۰ m) حفاری شده است. نمودار تاریخچه تدفین در این چاه (شکل ۸) نشان می دهد که سازند پایده از پالئوسن تا ائوسن پسین با نرخ حدود ۱۲ m در هر میلیون سال نهشته شده است. در فاصله زمانی ائوسن پسین تا الیگوسن پیشین، بالآمدگی و فرسایش در حوضه اتفاق افتاده و پس از آن، از الیگوسن پیشین تا میوسن میانی، سازند پایده با سرعت حدود ۳۰ m در هر میلیون سال تدفین داشته است. از میوسن

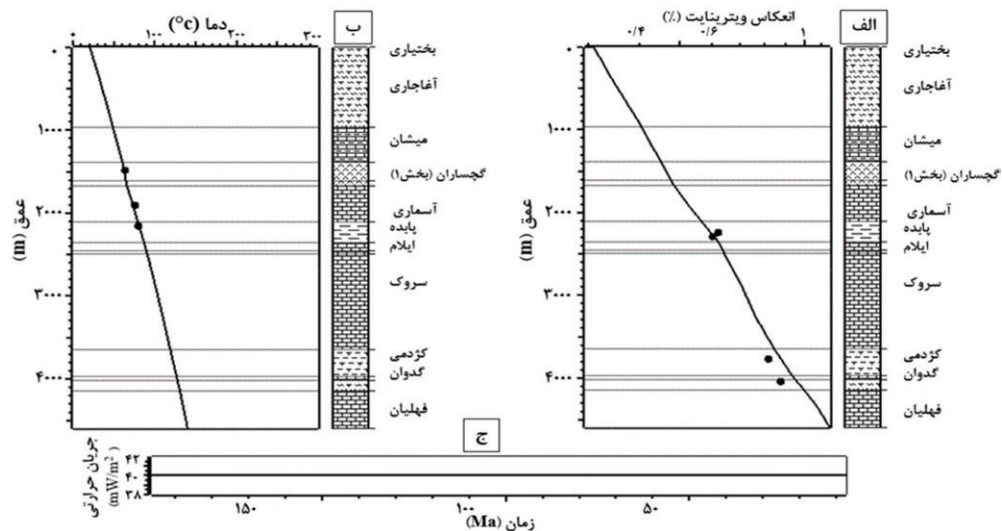


شکل ۸ نمودار تاریخچه تدفین در چاه A ۲.

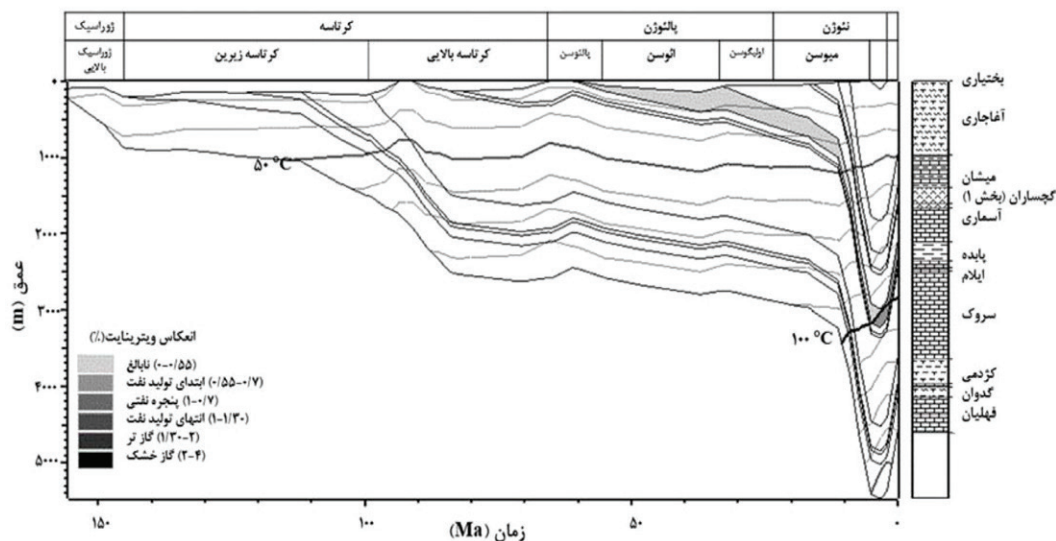
مدل سازی حرارتی و بلوغ در چاه A ۲

سرعت بالایی داشته است. در پلیوسن میانی که این سازند بیشترین عمق تدفین حدود ۳۲۲۰ m را داشته، بیشترین مقدار دما که 105°C بوده را نیز داشته است. پس از آن، از پلیوسن میانی تا عهد حاضر، به علت بالا آمدگی و فرسایش، مقدار دمای سازند حدود 20°C کمتر شده است. میزان انعکاس ویترونیات در زمان پلیوسن میانی 0.06% بوده که بعد از این زمان تا عهد حاضر روند افزایشی زیادی نداشته است (شکل ۱۰).

در این چاه، واسنجی انجام شده بین داده‌های اندازه‌گیری شده دما و انعکاس ویترونیات و همچنین، نتایج حاصل از مدل سازی، با جریان حرارتی 40 mW/m^2 بهترین انطباق را نشان می‌دهد (شکل ۹). نتایج مدل سازی (شکل ۱۰) نشان می‌دهند که در میوسن میانی عمق سازند پابده حدود ۱۵۴۰ m و دمای آن حدود 60°C بوده است. از میوسن میانی تا پلیوسن میانی، بدلیل افزایش سرعت تدفین سازند پابده، بلوغ حرارتی آن نیز



شکل ۹ نمودار انطباق مناسب نتایج مدل سازی با داده اندازه گیری شده انعکاس ویترونیات (الف)، دما (ب) و تغییرات جریان حرارتی (ج) در چاه A ۲.



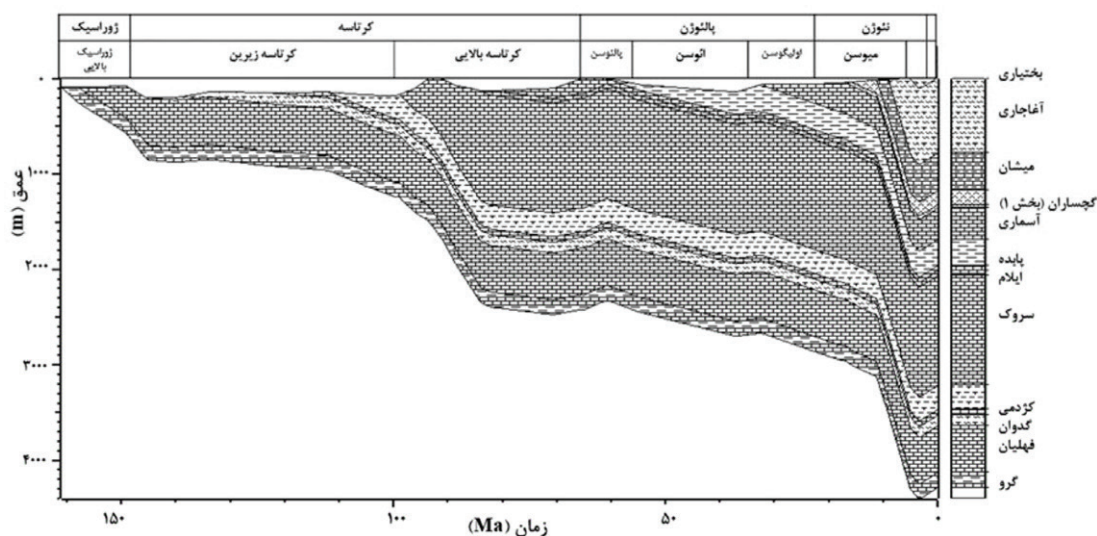
شکل ۱۰ نمودار تغییرات دما و بلوغ حرارتی در چاه A ۲.

بازسازی تاریخچه تدفین در چاه A ۳

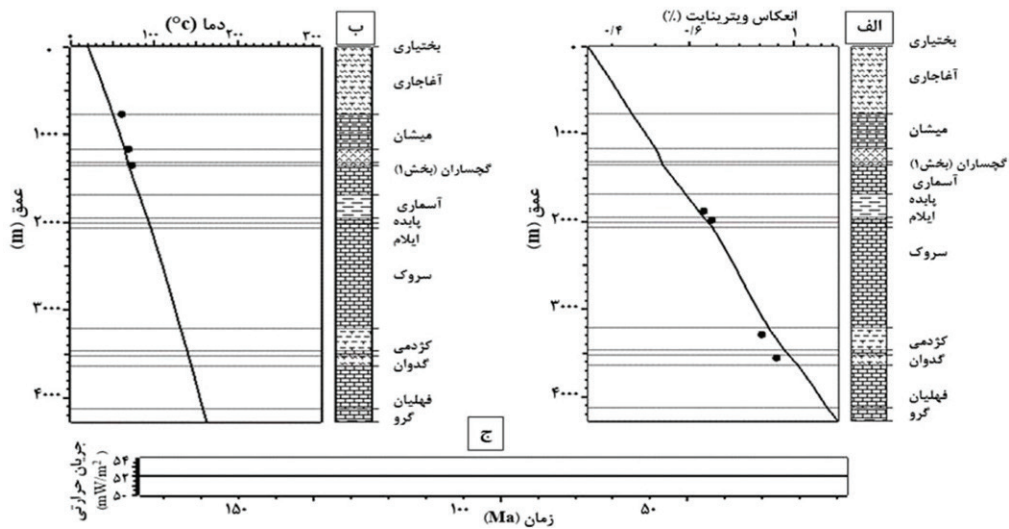
حفاری در چاه A ۳ تا سازند گرو (عمق ۴۲۸۰ m) انجام شده است. بر اساس نتایج بازسازی تاریخچه تدفین (شکل ۱۱)، از پالئوسن تا ائوسن پسین، رسوب‌گذاری سازند پابده با سرعت حدود ۱۶ m در هر میلیون سال انجام شده است. از ائوسن پسین تا الیگوسن پیشین، حوضه شاهد یک بالآمدگی و فرسایش بوده است. بعد از این زمان، از الیگوسن پیشین تا میوسن میانی، سرعت تدفین سازند پابده حدود ۲۱ m در هر میلیون سال بوده است. در طی زمان میوسن میانی تا پلیوسن میانی، به‌شدت تدفین سازند پابده افزوده شده به‌طوری‌که در این مدت سازند با نرخ حدود ۱۶۵ m در هر میلیون سال تدفین داشته است. این سازند در پلیوسن میانی به حداکثر عمق تدفین حدود ۲۰۷۴ m رسیده بود ولی امروزه عمق تدفین سازند پابده در این چاه بین ۱۶۷۹ تا ۱۹۵۴ m می‌باشد. از پلیوسن میانی تا کنون در اثر بالآمدگی حوضه، حدود ۱۲۰ m از رسوبات سازندهای آغاچاری و بختیاری فرسایش یافته‌اند.

مدل‌سازی حرارتی و بلوغ در چاه A ۳

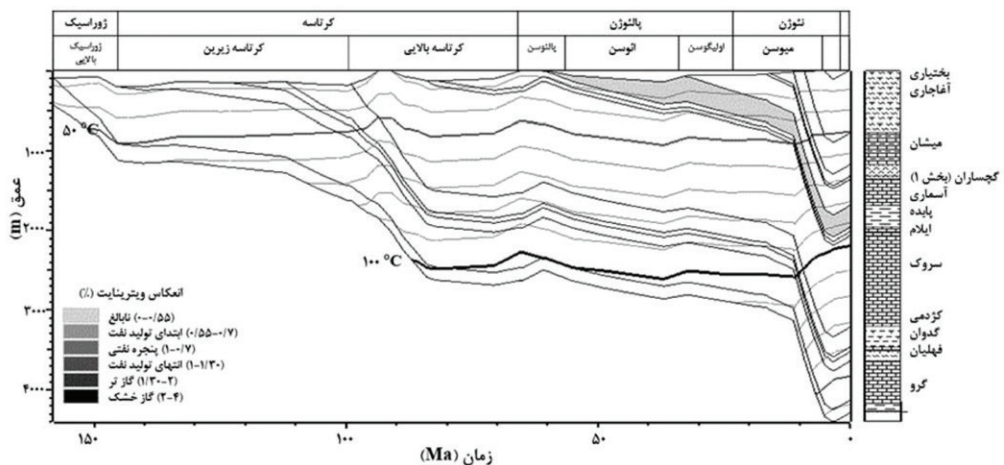
واسنجی صورت گرفته بین داده‌های اندازه‌گیری شده دما و انعکاس ویترنایت با نتایج بازسازی تاریخچه تدفین و مدل‌سازی حرارتی با مقدار جریان حرارتی 52 mW/m^2 انطباق خوبی را نشان می‌دهد (شکل ۱۲). نتایج مدل (شکل ۱۳) مشخص می‌کنند که در میوسن میانی، سازند پابده در عمق تدفین حدود ۱۱۷۰ m به دمای 60°C رسیده است. به علت نرخ تدفین زیاد سازند پابده از میوسن میانی تا پلیوسن میانی، بلوغ حرارتی در این زمان با سرعت بالایی رخ داده است. در بیشترین عمق تدفین این سازند (حدود ۲۰۷۴ m) که در پلیوسن میانی بوده، دما به 94°C و انعکاس ویترنایت به $52/0\%$ رسیده بود. پس از این زمان تا عهد حاضر، حوضه در حال بالآمدن و فرسایش بوده که بلوغ حرارتی سازند پابده را تحت تأثیر قرار داده است بطوریکه از پلیوسن میانی تا عهد حاضر، بلوغ حرارتی این سازند افزایش چشمگیری نداشته است (شکل ۱۳).



شکل ۱۱ نمودار تاریخچه تدفین در چاه A ۳.



شکل ۱۲ نمودار انطباق مناسب نتایج مدل سازی با داده اندازه گیری شده انعکاس ویتترینایت (الف)، دما (ب) و تغییرات جریان حرارتی (ج) در چاه ۳ A.



شکل ۱۳ نمودار تغییرات دما و بلوغ حرارتی در چاه ۳ A.

بحث

تغییرات بلوغ مواد آلی سازند پابده براساس انعکاس ویتترینایت

بازسازی تاریخچه حرارتی و مدل کنتیکی Easy%Ro از روش های متداول برای تعیین بلوغ حرارتی سنگ های منشأ می باشند [۲۶ و ۲۰]. براساس نظر واپلس [۱] (جدول ۳)، انعکاس ویتترینایت در آستانه تولید نفت معادل ۰/۱۶٪ و در پیک تولید نفت حدود ۰/۱۸٪ می باشد. انتهای پنجره نفتی معادل با انعکاس ویتترینایت ۰/۱۳۵٪ است که در واقع شروع تولید گاز است. بر این اساس، کروژن هایی که انعکاس ویتترینایت کمتر از ۰/۱۶٪ دارند،

به مقدار کافی تحت تأثیر حرارت قرار نگرفته اند و نابالغ^۱ هستند. کروژن های بالغ^۲ که در پنجره نفتی می باشند در محدوده انعکاس ویتترینایت بین ۰/۱۶٪ و ۰/۱۳۵٪ و حرارت ۶۰°C تا ۱۵۰°C قرار می گیرند. در مرحله فوق بالغ^۳ که زون تولید گاز تر و خشک و یا پنجره گازی است، مقدار انعکاس ویتترینایت بیشتر از ۰/۱۳۵٪ بوده و سازند تحت تأثیر دمای ۱۵۰°C تا ۲۰۰°C قرار می گیرد.

1. Immature
2. Mature
3. Post-mature

جدول ۳ تطابق زایش هیدروکربن و مقادیر انعکاس و پتیرینایت استاندارد [۱] با مقادیر محاسبه شده در مدل‌های چاه‌های مورد مطالعه.

زایش هیدروکربن	انعکاس و پتیرینایت استاندارد (%Ro)	حداکثر Easy%Ro در مدل چاه‌های مورد مطالعه (%Ro)
نفت میعانی از رزینیت	۰/۴۰	
پنجره نفتی ابتدا ↑ پیک تولید نفت ↓ انتهای	۰/۵۰	۰/۵۲ در چاه A۳ ←
	۰/۶۰	۰/۵۷ در چاه A۱ ←
	۰/۶۵	۰/۶۰ در چاه A۲ ←
	۰/۷۰	
	۰/۹۰	
	۱/۰۰	
گاز تر	۱/۳۵	
گاز خشک	۲/۰۰	

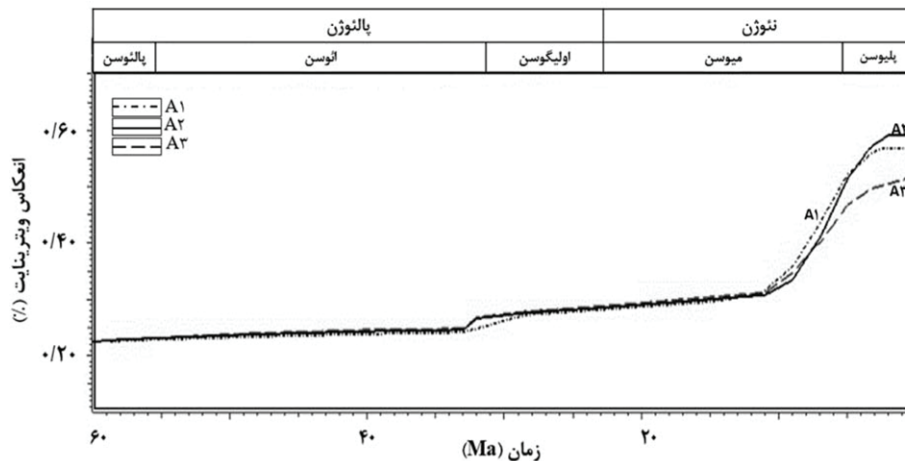
مقادیر نسبتاً پایین انعکاس و پتیرینایت سازند پابده در چاه‌های مورد مطالعه می‌توان دریافت که سازند پابده در میدان مورد مطالعه در ابتدای پنجره نفتی قرار دارد و به طور کامل وارد زون تولید نفت نشده است.

آنالیز حوضه رسوبی بر اساس مدل‌های تدفین و حرارتی سازند پابده

مطالعات بازسازی حوضه نئوتتیس نشان داده است که در پالئوسن که زمان شروع رسوب‌گذاری سازند پابده بوده، حوضه رسوبی نئوتتیس با جهت تقریبی شمال غرب-جنوب شرق گسترش داشته است [۱۰ و ۱۳]. در این زمان، فروانش صفحه عربی به زیر صفحه ایران مرکزی که از اواخر کرتاسه آغاز شده بود، ادامه داشته و حوضه نئوتتیس در حال بسته شدن بوده است [۱۱ و ۱۰]. مدل‌های تاریخچه تدفین در منطقه مورد مطالعه (اشکال ۵، ۸ و ۱۱) نشان می‌دهند که سازند پابده در زمان رسوب‌گذاری، برخی بین ۶ تا ۱۶ m در میلیون سال داشته که در مقایسه با سازندهای جوان‌تر از آن نرخ پایینی و مرتبط با محیط رسوبی کم انرژی آن در حوضه حاشیه غیرفعال^۱ می‌باشد.

در این تحقیق، نمودار Easy%Ro در مقابل زمان برای تعیین بلوغ سازند پابده در منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار پترومد استخراج شده است (شکل ۱۴). روند تغییرات انعکاس و پتیرینایت سازند پابده در طول زمان زمین‌شناسی در سه چاه مورد مطالعه نشان می‌دهد که این سازند در چاه A۱ با بیشترین عمق تدفین ۳۰۵۵ m و حداکثر انعکاس و پتیرینایت ۰/۵۷٪ و در چاه A۲ با بیشترین عمق تدفین ۳۲۲۰ m و حداکثر انعکاس و پتیرینایت ۰/۰۶٪، در پلیوسن میانی در ابتدای پنجره نفتی و شروع تولید نفت سنگین قرار داشته است. سازند پابده در چاه A۳ با توجه به قرار گرفتن در بیشترین عمق تدفین ۲۰۷۴ m در پلیوسن میانی و حداکثر انعکاس و پتیرینایت ۰/۵۲٪ نابالغ بوده است. از پلیوسن میانی تا حال حاضر مقادیر انعکاس و پتیرینایت در سازند پابده تغییر زیادی نکرده است. در واقع سازند پابده از زمان پلیوسن میانی وارد پنجره نفتی شده، اما به دلیل کم بودن نرخ افزایش بلوغ، میزان پختگی تغییر چندانی نکرده است. جدول ۳ تطابق بین مقادیر انعکاس و پتیرینایت و بلوغ حرارتی یا زایش هیدروکربن از سنگ منشأ در حالت استاندارد [۱] با مقادیر محاسبه شده در مدل‌های چاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بطور کلی، با توجه به

1. Passive Margin Basin



شکل ۱۴ نمودار تغییرات Easy%Ro سازند پابده در چاه‌های مورد مطالعه.

شدن بیشتر مواد رسوبی به حوضه شده است. بنابراین، سازندهای الیگوسن و جوان‌تر بیانگر نرخ بالاتر پر شدن حوضه رسوبی می‌باشند [۲۵]. بازسازی تاریخچه‌های تدفین (اشکال ۵، ۸ و ۱۱)، نشان می‌دهد که به علت سرعت بالای ته نشست رسوبات از میوسن میانی تا پلیوسن میانی، نرخ تدفین سازند پابده در این زمان افزایش زیادی داشته و حدود ۱۶۵ تا ۲۹۲ m در هر میلیون سال بوده است.

همانطور که در نمودارهای تاریخچه حرارتی سه چاه مورد مطالعه (اشکال ۷، ۱۰ و ۱۳) مشخص شده است، سازند پابده در اواسط میوسن به درجه حرارت 60°C رسیده بوده است. از میوسن میانی با افزایش نرخ تدفین سازند، مقادیر درجه حرارت و انعکاس و پترینایت با سرعت زیادتری افزایش پیدا کرده، به طوری که در پلیوسن میانی درجه حرارت سازند پابده بین 94°C تا 105°C و انعکاس و پترینایت بین 0.052 تا 0.06 بوده است. این شرایط، ابتدای ورود سازند پابده به پنجره نفتی می‌باشد. با این حال، این شرایط مدت طولانی تداوم نداشته و با آخرین فاز تکتونیکی ایجاد شده که معادل با تشکیل چین‌خوردگی‌ها و فعالیت گسل‌های پی‌سنگی در زمان پلیوسن و کواترنری و تشکیل زیرپهنه‌های اصلی

شروع برخورد قاره‌ای-قاره‌ای صفحات عربی و ایران مرکزی در زمان ائوسن پسین-الیگوسن پیشین در قسمت شمالی صفحه عربی اتفاق افتاده و این برخورد به سمت جنوب شرقی تا اواخر میوسن ادامه داشته است [۱۱]. در نمودارهای تاریخچه تدفین چاه‌های مورد مطالعه، مرز ائوسن-الیگوسن بصورت ناپیوستگی همراه با فرسایش مشخص می‌باشد که نشانگر شروع برخورد قاره‌ای-قاره‌ای صفحات عربی و ایران در این زمان است.

با تبدیل حوضه حاشیه غیرفعال به حوضه فورلند^۲ و باریک شدن حوضه در الیگوسن-میوسن، پسروی دریا و شرایط دریای کم‌عمق، منجر به رسوب‌گذاری سازند کربناته آسماری در این زمان شده است [۱۰ و ۱۳]. بر اساس نمودارهای تاریخچه تدفین چاه‌های مورد مطالعه (اشکال ۵، ۸ و ۱۱)، نرخ تدفین سازند پابده در این زمان بین ۱۷ تا ۳۰ m در هر میلیون سال بوده است. در زمان میوسن میانی تا پلیوسن، با پسروی دریا و کم شدن عمق حوضه، سازندهای گروه فارس (سازندهای گچساران، میشان و آجاجاری) نهشته شده‌اند. افزایش نرخ نهشته شدن رسوبات در حوضه، با سازند آسماری شروع شده و با نهشته شدن سازندهای گچساران، میشان و آجاجاری ادامه داشته است. نرخ‌های بالای رسوب‌گذاری این سازند‌ها، هم زمان با فعالیت کوهزایی زاگرس بوده که منجر به ورود و نهشته

از الیگوسن پیشین تا میوسن میانی، همزمان با رسوب گذاری سازند آسماری، سازند پابده با سرعت ۱۷ تا ۳۰ m در هر میلیون سال تدفین داشته است. بیشترین نرخ تدفین با میزان ۱۶۵ تا ۲۹۲ m در هر میلیون سال، در زمان میوسن میانی تا اواسط پلیوسن رخ داده که همزمان با رسوب گذاری سازندهای گچساران، میشان و آغا جاری بوده است. سازند پابده در میوسن میانی به دمای حدود 60°C رسیده بوده است. حداکثر عمق تدفین این سازند در اواسط پلیوسن بوده، به طوری که در این زمان حداکثر درجه حرارت سازند بین 94°C تا 105°C و مقادیر انعکاس ویتروینایت بین 0.052 تا 0.06 بوده است. بنابراین، سازند پابده از میوسن میانی تا پلیوسن میانی در ابتدای پنجره نفتی قرار داشته ولی این شرایط مدت طولانی تداوم نداشته و از اواسط پلیوسن به بعد، حوضه تحت تأثیر رخدادهای کوهزایی زاگرس قرار گرفته که منجر به بالآمدگی و فرسایش شده است. این شرایط موجب کاهش دمای سازند پابده به مقدار $25-20^{\circ}\text{C}$ و کندی نرخ افزایشی بلوغ حرارتی و در نتیجه عدم زایش نفت از آن شده است. بنابراین، سازند پابده در میدان مورد مطالعه که در بخش جنوبی فروافتادگی دز فول واقع شده است را نمی توان به عنوان سنگ منشأ اصلی برای مخازن هیدروکربنی متعارف آن منطقه در نظر گرفت ولی به عنوان یک ذخیره غیرمتعارف می تواند مورد توجه و بررسی بیشتر قرار گیرد.

زاگرس به صورت امروزه است [۱۱ و ۱۰]، حوضه شروع به بالا آمدن و فرسایش کرده است. ماسه سنگ های بالایی سازند آغا جاری نشانگر شروع فاز اصلی چین خوردگی زاگرس می باشند و جوان ترین سازند همراه با کوهزایی پلیوسن- پلیتوسن، سازند کنگلومرای بختیاری است که به صورت ناپیوستگی بر روی فاز اصلی چین خوردگی نهشته شده است [۱۱ و ۱۳]. نمودارهای تاریخچه تدفین چاه های مورد مطالعه (اشکال ۵، ۸ و ۱۱)، بالآمدگی حوضه که همراه با فرسایش بوده را از زمان پلیوسن میانی تا حال حاضر نشان می دهند. بر اساس این نمودارها، این فاز فرسایشی باعث از بین رفتن به طور متوسط ۶۱۷ m از رسوبات سازندهای آغا جاری و بختیاری شده است. به علت بالآمدگی و فرسایش رخ داده، دمای سازند پابده از پلیوسن میانی تا به امروزه حدود $25-20^{\circ}\text{C}$ کاهش یافته و به همین دلیل از روند افزایشی بلوغ حرارتی سازند پابده کاسته شده است. با توجه به مقادیر انعکاس ویتروینایت ($0.06 - 0.052$) می توان اظهار داشت که سازند پابده در میدان مورد مطالعه در مرحله نابالغ قرار داشته و به نفتزایی نرسیده است.

نتیجه گیری

بازسازی تاریخچه تدفین نشان می دهد سازند پابده با سن پالتوسن تا الیگوسن پیشین، با نرخ ۶ تا ۱۶ m در میلیون سال در حوضه رسوب گذاری کرده است.

منابع

- [1]. Waples DW (1985) Geochemistry in petroleum exploration, International Human Resources Development Corporation, Boston, D. Reidel publishing company 232.
- [۲]. مطیعی ه، «زمین شناسی ایران، زمین شناسی نفت زاگرس»، سازمان زمین شناسی کشور، ۵۹۶ صفحه، ۱۳۷۴.
- [3]. Kamali MR, Fathi Mobarakabad A, Mohsenian E (2006) Petroleum geochemistry and thermal modeling of Pabdeh formation in Dezful Embayment, Journal of Undergraduate Science & Technology 32, 2: 1-11.
- [4]. Alizadeh B, Sarafdokht H, Rajabi M, Opera A, Janbaz M (2012) Organic geochemistry and petrography of Kazhdumi (Albian-Cenomanian) and Pabdeh (Paleogene) potential source rocks in southern part of the Dezful Embayment, Iran, Organic geochemistry 49: 36-46.
- [5]. Karimi AR, Rabbani AR, Kamali MR, Heidarifard MH (2016) Geochemical evaluation and thermal modeling of the Eocene-Oligocene Pabdeh and Middle Cretaceous Gurpi Formations in the northern part of the Dezful

- Embayment, Arabian Journal of Geosciences 9, 5: 423:1-16.
- [6]. Karimi AR, Rabbani AR, Kamali MR (2016) A bulck kinetic, burial history and thermal modeling study of the Albian Kazhdumi and the Eocene-Oligocene Pabdeh Formations in the Ahvaz anticline, Dezful embayment, Iran, Journal of Petroleum Science and Engineering 146: 61-70.
- [۷]. سلمانزاده کلهردوی ح. و کمالی م. ر.، «مدل‌سازی حرارتی به منظور بازسازی تاریخچه تدفین رسوبات و تعیین عمق و زمان زایش هیدروکربن در ناحیه فروافتاده»، یازدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، ۱۳۸۵.
- [8]. Opera A, Alizadeh B, Sarafdokht H, Janbaz M, Fouladvand R, Heidarifard M H (2013) Burial history reconstruction and thermal maturity modeling for the Middle Cretaceous–Early Miocene Petroleum System, southern Dezful Embayment, SW Iran, Coal Geology 120: 1-14.
- [۹]. اورک ز.، کردی م. و کریمی ا. ر.، «ارزیابی ژئوشیمیایی و گسترش رخساره‌های آلی سازند پابده در سواحل شمال غربی خلیج فارس و جنوب فروافتادگی دزفول با استفاده از تجزیه و تحلیل راک-اول»، پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب شناسی، دوره ۳۴، شماره ۳، صفحات ۹۵-۱۰۸، ۱۳۹۷.
- [10]. Alavi M (2004) Regional stratigraphy of the Zagros fold thrust belt of Iran and its proforeland evolution, American Journal of Science 304: 1-20 .
- [11] Kordi M (2019) Sedimentary basin analysis of the Neo-Tethys and its hydrocarbon systems in the Southern Zagros fold-thrust belt and foreland basin, Earth-Science Reviews 191: 1-11, 2019.
- [۱۲]. آقانیاتی ع، «زمین‌شناسی ایران»، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، تهران، ۵۸۶ صفحه، ۱۳۸۳.
- [13]. Bordenave ML, Hegre JA (2005) The influence of tectonics on the entrapment of oil in the Dezful Embayment, Zagros Fold belt, Iran, Journal of Petroleum Geology 28, 4: 339-368.
- [14]. James GA, Wynd JG (1965) Stratigraphic nomenclature of the Iranian oil consortium agreement area, American Association of Petroleum Geologists Bulletin 49: 2182-2245.
- [15] Sepehr M, Cosgrove JW (2004) Role of the Kazerun Fault Zone in the formation and deformation of the Zagros fold-thrust belt, Iran, Marine and Petroleum Geology, 21: 829-843.
- [۱۶]. ربانی ا. ر.، «زمین‌شناسی و ژئوشیمی نفت خلیج فارس»، چاپ اول، انتشارات تفرش، ۵۸۲ صفحه، ۱۳۹۲.
- [17]. Wygrala BP (1989) Integrated Study of an Oil Field in the Southern Po Basin. Northern Italy, Diss. University of Cologne, Berichte Kernforschungsanlage Jülich, Germany, 217.
- [18]. Yalçın M N, Littke R, Sachsenhofer R F (1997) Thermal History of Sedimentary Basins, Petroleum and Basin Evolution, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 71–167.
- [19]. Clift PD, Turner J (1998) Paleogene igneous underplating and subsidence anomalies in the Rockall-Faeroe-Shetland area, Marine and Petroleum Geology 15, 3: 223-243.
- [20]. Sweeney JJ, Burnham AK (1990) Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics, American Association of Petroleum Geologists Bulletin 74: 1559–1570.
- [21]. Allen PA, Allen JR (2005) Basin analysis, principles and applications, 2nd edition, New Jersey Wiley-Blackwell 500.
- [22]. Barker C (1996) Thermal Modeling of Petroleum Generation: Theory and Applications: Development in Petroleum Science, Elsevier 45: 512.
- [۲۳]. زینل‌زاده ا.، بهروز ت. و مرادپور م.، «استفاده از مدل‌سازی یک بعدی حوضه در مطالعه سیستم نفتی: مثالی از سنگ‌های منشأ کژدمی و پابده در جنوب فروافتادگی دزفول»، پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب شناسی، دوره ۲۹، شماره ۲، صفحات ۱۱۹-۱۰۷، ۱۳۹۲.
- [24]. Hantschel T, Kauerauf A (2009) Fundamentals of Basin and Petroleum Systems Modeling, Springer-Verlag, 425.
- [۲۵]. زینل‌زاده ا.، رضایی م. ر. و کمالی م. ر.، «نقش نهشته‌های الیگوسن و نئوژن در سیستم نفتی حاشیه شمال شرق فروافتادگی دزفول»، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳۰، شماره ۲، صفحات ۲۵۸-۲۴۷، ۱۳۸۳.
- [26]. Senglaub Y, Littke R, Brix MR (2006) Numerical modelling of burial and temperature history as an approach for an alternative interpretation of the Bramsche anomaly, lower saxony basin, International Journal of Earth Sciences 95: 204–224.

had relatively low sedimentation rate (6-16 m/Ma). After that, during early Oligocene to middle Miocene, sedimentation of the Asmari Formation resulted in burial of the Pabdeh Formation (rate of 17-30 m/Ma). The rate of burial was highest (165-292 m/Ma) during middle Miocene to middle Pliocene. The Pabdeh Formation was in its deepest burial depth (2074-3220 m) in the middle Pliocene. From the middle Pliocene to present day, the basin was uplifted, and the burial depth of the Pabdeh Formation was decreased, as seen in Figure 2.

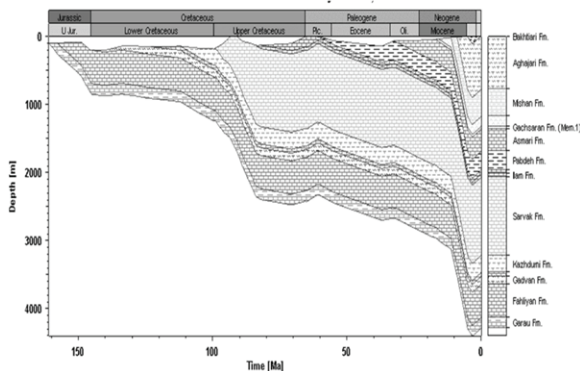


Fig. 2 Burial history diagram in the Well A3.

Thermal Modeling

The measured and modeled amounts of temperature and vitrinite reflection were calibrated in three studied wells. In Figure 3, the best calibration of the temperature, vitrinite reflection, and heat flow (40 mW/m²) in the Well A2 is shown.

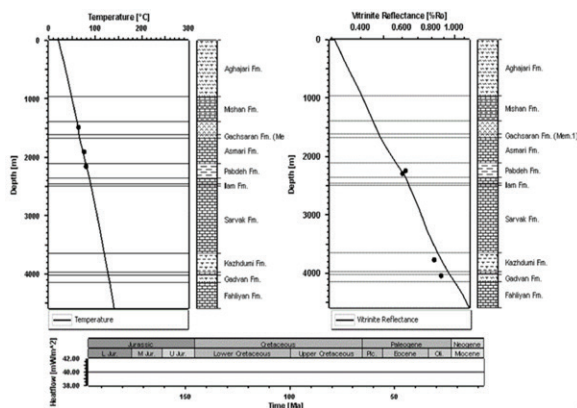


Fig. 3 Correlation of the measured parameters and modeled parameters in the Well A2.

The thermal histories modeling (Figure 4) show that from middle Miocene to middle Pliocene, the thermal maturation of organic matter in Pabdeh Formation was increased rapidly. In the middle Miocene, the formation had temperature of about 60 °C. In Pliocene, the formation reached to its highest temperature (94-105°C) and highest vitrinite reflection (0.52-0.6%). From middle Pliocene to the present time, the basin's uplift caused decrease of the temperature (20-25°C), and thus the vitrinite reflections were not increased that much during this time.

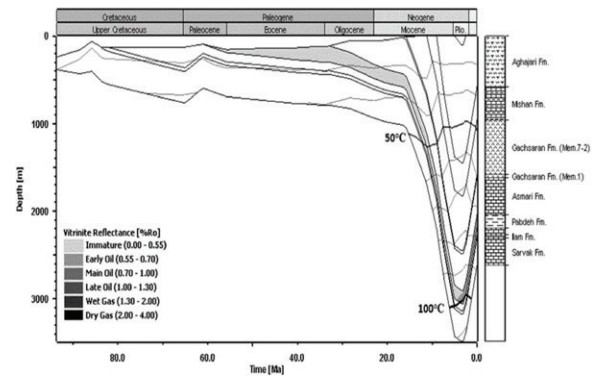


Fig. 4 Thermal history diagram in the Well A1.

Maturation of the Pabdeh Formation based on the vitrinite reflection

For determining the thermal maturation, the kinetic Easy %Ro and thermal modeling are the common and useful methods [3]. The evolution of Easy %Ro of the Pabdeh Formation during geological time in three studied wells has been shown in Figure 5. The maximum vitrinite reflections (0.52% - 0.6%) show that the Pabdeh Formation in the studied area is in the beginning of the oil window, and it could not generate that much hydrocarbon.

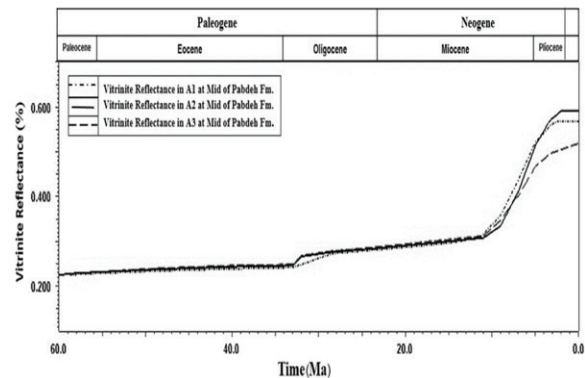


Fig. 5 Changes of the Easy %Ro in the studied wells.

Basin Analysis Based on Burial and Thermal Histories Modeling

During the Paleocene to Oligocene, which was the time of Pabdeh Formation sedimentation, the Neo-Tethys basin was extended in northwest-southeastern direction. During this time, the Neo-Tethys was closing as the subduction of Arabian Plate beneath the Iran Plate was in progress [2]. Based on the models, the rate of sedimentation of the Pabdeh Formation was low (6-16 m/Ma) due to its low energy environment at the passive margin of the Neo-Tethys. The initial collision of the Arabian and Iranian plates was happened in Eocene-Oligocene time. By formation of the Zagros foreland basin in Oligocene-Miocene, the Asmari Formation was deposited in shallow water environment. During this time, the Pabdeh Formation was buried with the rate of 17 to 30 m/Ma. With sea level regression during middle Miocene to Pliocene,

the Fars Group (Ghachsaran, Mishan and Aghajari Formations) deposited in basin with the high rate of sedimentation. The burial rate of the Pabdeh Formation was increased during this time, in a way that it reached its highest burial depth (2074-3220 m), its maximum temperature (94-105°C) and its maximum vitrinite reflection (0.52%-0.6%) in middle Pliocene. This condition was associated with the beginning of oil window. However, this situation was shortly changed by uplift of the basin due to orogeny of the Zagros Fold-Thrust Belt. The models show the uplift of the basin from middle Pliocene to the present day that resulted in erosion of about 617 m sediments of the Aghajari and Bakhtyari Formations. In these circumstances, the temperature of the Pabdeh Formation was decreased about 20-25°C, and the rate of thermal maturation was not changed that much. Therefore, the maturity of the Pabdeh Formation could not be completed and thus the hydrocarbon could not be generated from this formation.

Conclusions

The burial histories reconstruction shows that the Pabdeh Formation was deposited in Paleocene to early Oligocene with the low rate of sedimentation (6-16 m/Ma). The highest rate of burial (165-292 m/Ma) happened in middle Miocene to middle Pliocene, associated with sedimentation of the Gachsaran, Mishan and Aghajari Formations. The highest burial depth of the Pabdeh Formation (2074-3220 m) was in middle Pliocene. During this time, the formation reached the highest temperature (94-105°C) and maximum vitrinite reflection (0.52%-0.6%). This situation was suitable for hydrocarbon generation; however, due to the continent-continent collision of the Arabian and Iran Plates and formation of the Zagros fold-thrust belt, the uplift of the basin was happened. The uplift and erosion phase, which started in middle Pliocene and continued to present day, caused decrease of temperature of the Pabdeh Formation (20-25°C), and thus inappropriate condition for thermal maturation and hydrocarbon generation. Therefore, the Pabdeh formation in the studied field at the southern Dezful Embayment could not act as the main active source rock; however, it could be considered as potential unconventional resources.

References

1. Waples DW (1980) Time and temperature in petroleum formation: application of Lopatin's method to petroleum exploration, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 64: 6, 916-926.
2. Kordi M (2019) Sedimentary basin analysis of the Neo-Tethys and its hydrocarbon systems in the Southern Zagros fold-thrust belt and foreland basin, Earth-Science Reviews, 191, 1-11.
3. Hantschel T, Kauerauf A (2009) Fundamentals

of Basin and Petroleum Systems Modeling, Springer-Verlag, p. 425.