

## مدل سازی دوبعدی حوضه و سیستم نفتی ترشیاری-کرتاسه: مثالی از فروافتادگی دزفول

اشکان ملکی، دانشگاه سمنان ■ محمدحسین صابری\*، سید علی معلمی، محمدحسن جزایری مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران

### چکیده

تولید هیدروکربن از سنگ منشا حاصل فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی است. مدل سازی سیستم هیدروکربنی ابزار قدرتمندی جهت شبیه سازی این فرآیندها بوده که از یک تا سه بعدی را شامل می شود. بر اساس مطالعات گذشته، مهم ترین سنگ های منشا در فروافتادگی دزفول شمالی سازندهای سرگلو، گرو، کژدمی و پابده هستند. این مطالعه به منظور ارزیابی و تکامل سیستم های هیدروکربنی با استفاده از روش مدل سازی یک بعدی دو حلقه چاه و مدل سازی دو بعدی یک مقطع (شمال شرقی-جنوب غربی) در فروافتادگی دزفول شمالی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج مدل سازی نشان داد که سازند پابده به دلیل عمق تدفین اندک به پختگی و بلوغ لازم برای تولید هیدروکربن نرسیده است و سازندهای سرگلو و گرو تقریباً در کلیه مدل ها حداکثر پختگی را تجربه کرده اند. این دو سنگ منشا در حال حاضر در پنجره گازی قرار دارند. با توجه به زمان کوهزایی زاگرس، سازند کژدمی یکی از موثرترین سنگ های منشا در شارژشدگی میدین منطقه است که در پنجره نفتی قرار دارد و میزان پختگی آن از شرق به غرب منطقه فروافتادگی دزفول کاهش می یابد.

با توجه به اینکه منطقه فروافتادگی دزفول دارای تکتونیک آرامی بوده و نوسانات عمقی زیادی در این منطقه مشهود نیست، در مقطع مذکور نیز تغییرات زیادی در بلوغ سازندهای منشا نبوده است. نتایج مدل مهاجرت حاکی از آن است که نشت از سازند کژدمی فقط از محل تاقدیس ها اتفاق می افتد و فشار پوش سنگی کژدمی مانع از عبور هیدروکربن ها در خارج از محدوده تاقدیس ها شده است. اتصال سیستم های نفتی کرتاسه پیشین و میانی فقط در محل میدین به دلیل ژئومتری و بعضاً حضور گسل ها رخ می دهد و جدانشدگی این دو سیستم توسط سازند کژدمی اتفاق می افتد. این مقطع مهاجرت هیدروکربن را در مخازن زیر کژدمی با شدت نسبتاً زیاد به سمت دشت آبادان نشان می دهد.

### اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۸/۱۰/۰۳

تاریخ ارسال به داور: ۹۸/۱۰/۰۹

تاریخ پذیرش داور: ۹۹/۰۱/۱۸

### واژگان کلیدی:

مدل سازی یک بعدی، مدل سازی دو بعدی، فروافتادگی دزفول، سنگ منشا، مهاجرت.

### مقدمه

و فرسایش) را در طول تکامل یک حوضه شرح می دهد و مبنای مدل سازی عددی را ایجاد می کند. [۲]  
مدل سازی حوضه رسوبی با استفاده از روش های مدل سازی یک، دو و سه بعدی انجام می شود. در این مطالعه از روش مدل سازی یک و دو بعدی استفاده شده است. در مدل سازی یک بعدی، فرآیند نفت زایی از سنگ منشا در یک بعد شبیه سازی می شود و عمدتاً از داده های چاه استفاده می شود. [۳] مدل سازی دو بعدی (در یک مقطع) برای بازسازی تولید نفت و یا گاز از سنگ های منشا، مهاجرت و انباشت و تاریخچه فشار سازند استفاده می شود. ابزار مدل سازی به طور گسترده ای در کارهای اکتشاف نفت استفاده می شود و می تواند در درک بهتر سیستم های نفتی در منطقه و روابط متقابل از ذخایر هیدروکربن کمک کند. بازسازی تاریخچه تدفین، نمایش گرافیکی تغییرات قائم افق های چینهای در یک حوضه رسوبی است که معرف

عدم دسترسی به اطلاعات مناطق حفاری نشده موجب شد تا بسیاری از شرکت های نفتی به سمت استفاده از روش های غیرمستقیم برای ارزیابی و اکتشاف نفت بروند. ایران نیز به عنوان یکی از بزرگترین کشورهای تولیدکننده نفت از این قاعده مستثنی نبوده و در سال های اخیر پیشرفت های چشمگیری در این زمینه به انجام رسانده است. شبیه سازی سیستم هیدروکربنی یکی از روش های غیرمستقیم در ارزیابی پتانسیل اکتشافی یک منطقه است.  
هر شبیه سازی عددی بر اساس مدل مفهومی پایه گذاری می شود. اولین گام در مدل سازی، تهیه مدل مفهومی منطقه مورد مطالعه است. ابزار مدل سازی به طور گسترده ای در کارهای اکتشاف هیدروکربور استفاده می شود و می تواند در درک بهتر سیستم های نفتی در منطقه و روابط متقابل از ذخایر هیدروکربن کمک کند [۱] این مدل فرآیندهای پایه زمین شناسی (رسوب گذاری، عدم رسوب گذاری

\* نویسنده عهد دار مکاتبات (mh.saberi@semnan.ac.ir)

(شمال شرقی-جنوب غربی) که به لحاظ ویژگی های ساختمانی شناخته شده باشد، مدل دو بعدی ساخته شد. در این مطالعه برای شبیه سازی فرآیندهای مذکور از نرم افزار شبیه ساز اوپن فلو<sup>۱</sup> استفاده شد.

## ۲- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

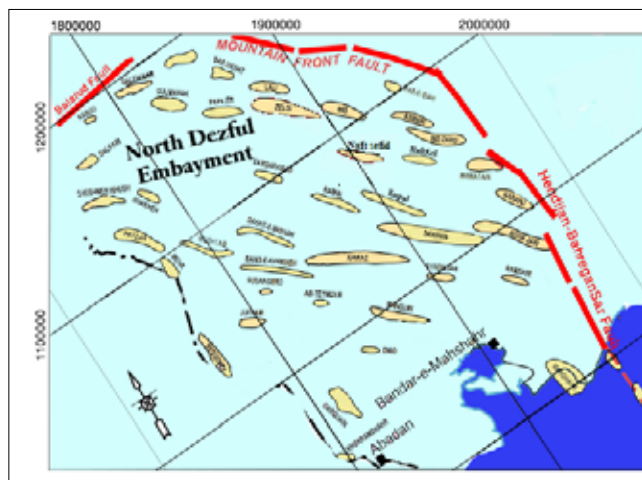
کمر بند چین خورده-راندنه زاگرس، بخشی از کمر بند آلپ-همیالیاست که نتیجه باز و سپس بسته شدن اقیانوس نئوتتیس میان دو صفحه عربی و ایران است. [۵-۶] بسته شدن اقیانوس نئوتتیس در کرتاسه پسین اتفاق افتاده است. [۷] این کمر بند به طول حدود ۲ هزار کیلومتر و روند شمال باختر-جنوب خاور از کوه های تاروس در ترکیه شروع شده و تمامی نواحی شمال-شمال خاور عراق و جنوب باختر ایران را در بر می گیرد و در نهایت تا شمال تنگه هرمز ادامه دارد. تاریخچه زمین شناسی آن شامل دوره های طولانی مدت فرونشست و رسوب گذاری است که همراه با دوره های کوتاه مدت بالآمدگی و عدم رسوب گذاری می باشد. [۸]

منطقه مورد مطالعه از نظر زمین ساختی در بخش میانی کمر بند کوهزایی آلپ-همیالیا، کمر بند چین خورده-راندنه زاگرس، زیر ناحیه ساختاری فروافتادگی دزفول و در زیر حوضه دزفول شمالی واقع است. (شکل ۱)

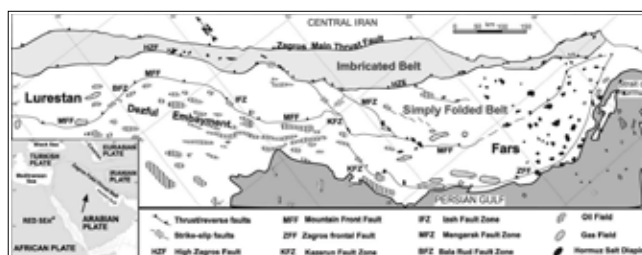
کمر بند چین خورده-راندنه زاگرس توسط ساختارهای مایل نسبت به امتداد محور چین خوردگی ها از جمله گسل های کازرون و بالارود به پهنه های فارس، لرستان و ایذه تقسیم می شود. فروافتادگی دزفول در ایران و فروبار کرکوک در عراق دو فروافتادگی ناحیه ای یا تورفتگی [۹] هستند که در جنوب باختر کمر بند چین خورده زاگرس قرار گرفته اند. فروافتادگی دزفول بیشتر معرف یک سیمای توپوگرافی است ولی به صورت کلی تر به ناحیه ای از زاگرس اطلاق می شود که سازندهای قدیمی تر از میوسن دارای رخنمون اندکی هستند. فروبار دزفول توسط پهنه های گسلی بالارود در شمال باختر و گسل پیشانی کوهستان در شمال از نواحی لرستان و ایذه و همچنین به واسطه گسل کازرون در خاور و جنوب خاوری از ناحیه ساختاری فارس جدا می شود. (شکل ۲) مرز دشت آبادان و دزفول توسط تاقدیس های ملایمی با روند شمالی-باختری-جنوب خاوری از هم تفکیک می شوند. ناحیه ساختاری فروافتادگی دزفول توسط ادامه روند گسل ایذه و روند بلندای هندیشان به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم می شود. سن فروبار دزفول جوان تر از رسوب گذاری کربنات های اواخر الیگوسن و اوایل میوسن (سازند آسماری) بوده و در واقع یک حوضه در حال فرونشینی با سن اواسط میوسن تا عهد حاضر برای رسوب گذاری

تاریخچه فرونشست و بالآمدگی حوضه در زمان رسوب گذاری افق ها و بعد از آن، تاریخچه رسوبی و فرسایش یافتگی سازندها و وقوع ناپیوستگی ها می باشد. بازسازی تاریخچه تدفین، روشی موثر برای تعیین زمان زایش هیدروکربن و چگونگی توزیع آن درون یک حوضه رسوبی یا سیستم نفتی است. هدف اصلی از به کارگیری این روش شبیه سازی پدیده های منجر به تشکیل نفت خام و گیر افتادن آن (مانند: رسوب گذاری، انتقال حرارت، زایش هیدروکربور، بیرون راندگی و مهاجرت)، یافتن نفت و گاز، ارزیابی اهداف اکتشافی و کاهش خطرپذیری عملیات است. [۴]

منطقه مورد مطالعه در کمر بند چین خورده-راندنه زاگرس و زیر ناحیه ای ساختاری دزفول شمالی واقع شده است. دزفول شمالی به وسعت حدود ۶۰ هزار کیلومتر مربع بسیاری از میدان های بزرگ نفتی را در خود جای داده است. هدف از این مطالعه بررسی فرآیند هیدروکربن ها، وضعیت دمایی، پختگی و مسیرهای مهاجرت سازندهای پایده، کژدمی، گرو و سرگلو با استفاده از مدل سازی یک و دو بعدی است. جهت انجام این شبیه سازی ابتدا با استفاده از داده های دو حلقه چاه مدل سازی یک بعدی انجام شد، سپس به منظور تعیین مسیر مهاجرت و روند تغییرات پارامترهای مختلف، در یک مقطع انتخابی



شکل ۱ | موقعیت فروافتادگی دزفول شمالی در کمر بند زاگرس [۱۴]

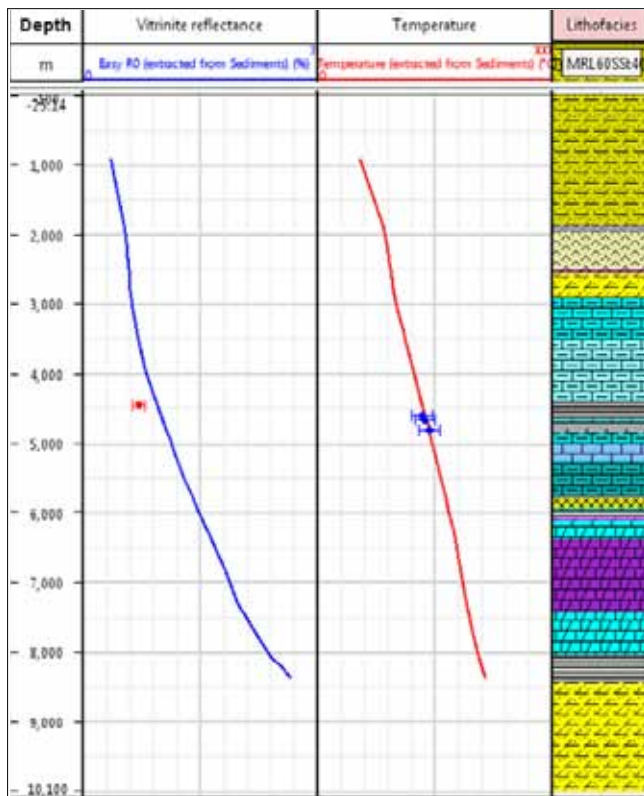


شکل ۲ | پهنه های گسلی زاگرس و جدایش قسمت های مختلف آن [۱۵]

در این مطالعه دو میدان نفتی A و B مورد مطالعه قرار گرفته است. میدان نفتی A در جنوب غربی ایران واقع شده است. این میدان تاقدیسی به طول ۶۷ و عرض ۶ کیلومتر مربع می باشد و در حال حاضر ظرفیت تولید نفت خام این میدان به طور میانگین معادل ۸۰۰ هزار بشکه در روز و میزان تولید گاز آن (گاز همراه نفت) بیش از ۱۳ میلیون مترمکعب در روز است. میدان نفتی B یکی از میداین نفتی ایران است که در قسمت جنوب غربی کمربند چین خورده زاگرس در محدوده فروافتادگی دزفول قرار دارد. ظرفیت تولید نفت خام این میدان به طور متوسط معادل ۱۰۰ هزار بشکه در روز است. سازندهای سرگلو (ژوراسیک میانی)، گرو (کرتاسه پایینی)، کژدمی (آلبین) و سازند پابده در ائوسن-الیگوسن در حوضه فروافتادگی دزفول مهم ترین کاندیداهای سنگ منشا هستند. شکل ۳ ستون چینه شناسی جنوب غرب ایران را نشان می دهد.

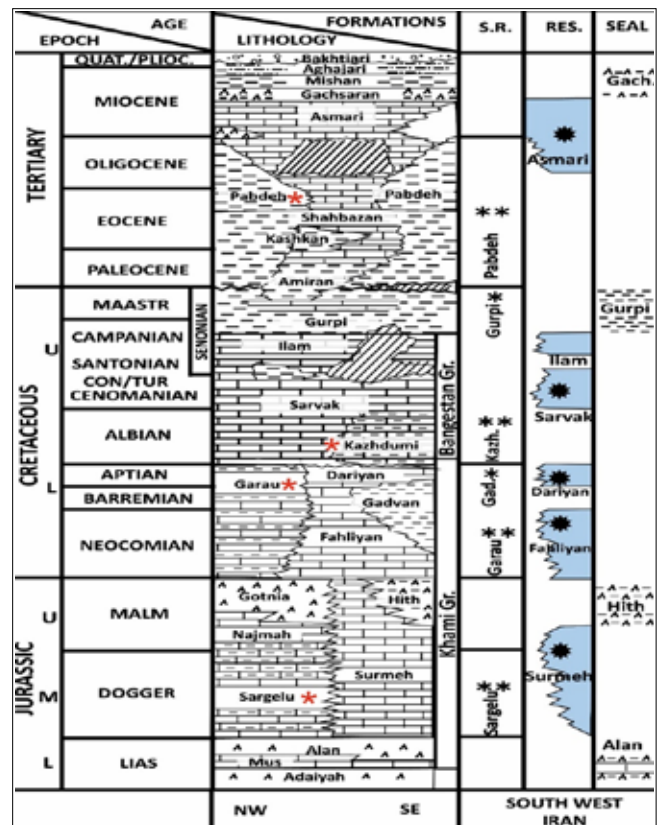
### ۳- ارزیابی تاریخیچه تدفین و حرارتی با استفاده از نرم افزار شبیه ساز Open Flow

به منظور ترسیم تاریخیچه تدفین و حرارتی در چاه های مورد مطالعه



شکل ۳ نمودار عمق در مقابل انعکاس ویتترینایت (راست) و دما (چپ) جهت انجام انطباق بین داده های اندازه گیری شده و محاسبه شده در مدل (انعکاس ویتترینایت) در چاه A

نهشته های نوع مولاسی به شمار می آید. [۱۰] ضخیم شدگی رسوبات در فروافتادگی دزفول، یک بخش مقاوم را تشکیل داده که باعث کاهش ناگهانی نرخ کوتاه شدگی فروافتادگی دزفول نسبت به پهنه ایزه می شود. [۱۱] در این ناحیه تبخیری های میوسن، پوش سنگ مناسبی را تشکیل داده و به عنوان سطح جدایش نیز عمل می کند. تغییرات ضخامت ناگهانی در سازند گچساران در این ناحیه در ارتباط با چین خوردگی، گسل خوردگی و دیاپیریسیم، همزمان با رسوب گذاری و بعد از آن است. فرسایش مناطق مرتفع اطراف، به ویژه محدوده ایزه در شمال خاور، رسوب بیشتری را فراهم کرده است که این امر منجر به تشکیل ضخیم ترین توالی رسوبی در فروافتادگی دزفول شده است. کربنات های سازند آسماری، گروه بنگستان و خامی بالایی در این فروافتادگی، مهم ترین مخازن هیدروکربنی را تشکیل می دهند. دزفول شمالی از مهم ترین نواحی اکتشاف و تولید هیدروکربن در ایران و جهان است، به طوری که در ناحیه فروافتادگی دزفول حدود ۶۰ میدان نفتی وجود دارد. برخی از این میدان ها مانند اهواز، گچساران و بی بی حکیمه، میدان های فوق عظیم هستند. از جمله میدان های نفتی عظیم ناحیه عبارتند از: تنگو و رگ سفید. [۱۲-۱۳]



شکل ۴ چینه شناسی فروافتادگی دزفول [۱۶]

بیشترین عمق حفاری را داشته باشند تا بتوان بهترین محاسبات را در مورد سنگ‌های منشا عمیق تر داشته باشیم.

### ۱-۱-۳- مدل سازی یک بعدی چاه A

حفاری چاه A با رسیدن به عمق ۵۰۵۸ متری در سازند فهلیان به سن کرتاسه زیرین خاتمه یافته است. برای دستیابی به نتایج دقیق تر در مدل سازی، با قرار دادن لایه‌های فرضی، چاه تا راس پی سنگ امتداد داده شده است. داده‌های ژئوشیمیایی چاه، شامل داده‌های راکا اول و TOC سازندهای پایده، کژدمی، گرو و سرگلو است. (جدول ۱) کالیبراسیون، یک انطباق بهینه بین پارامترهای اندازه‌گیری شده و مدل برقرار می‌سازد و برای مدل‌سازی موثر، نقش کلیدی دارد. در چاه A تطابق خیلی خوبی بین داده‌های (دما و RO) محاسبه شده و اندازه‌گیری شده به دست آمده است که نشان‌دهنده صحت محاسبات انجام شده در مدل سازی است. بر اساس این داده‌ها و با توجه به مدل‌های مختلف تست شده، جریان حرارتی حوضه ۲ که با دمای فعلی چاه ۳ بیشترین تطابق را دارد به‌طور ثابت  $246 \text{ mW/m}$  در نظر گرفته شده است. (شکل ۴)

نمودار تاریخچه تدفین در شکل ۵ نشان داده شده است. قدیمی ترین رسوبات مشاهده شده در چاه A مربوط به بخش زیرین سازند فهلیان با ضخامت حدود ۲۴۰ متر است که طی ۱۳۴ تا ۱۴۰ میلیون سال قبل رسوب گذاری کرده و پس از یک وقفه رسوبی بخش بالایی سازند فهلیان به ضخامت حدود ۱۵۰ متر تا ۱۳۲/۵ میلیون سال قبل نهشته شده است. بعد از آن تا حدود ۹۴ میلیون سال پیش ضخامتی در حدود ۱۳۸۲ متر شامل سازندهای گدوان، داریان کژدمی و سروک رسوب گذاری کرده‌اند. در زمان تورونین با فعال شدن حوضه زاگرس و بالا آمدن محدوده مورد مطالعه، نهشته‌های سازند سروک با سن تورونین تحت تاثیر فرسایش قرار گرفته که مقدار این فرسایش با انجام تطابق‌های ناحیه‌ای و روش‌های غیرمستقیم (تغییرات مقادیر انعکاس و پترینایت و تخلخل) حدود ۸۰ متر تخمین زده شد. از زمان کنیاسین تا ماستریشین، نهشته‌های سازند لافان، ایلام و گورپی با ضخامت ۳۴۰ متر بدون وقفه و در یک روند عمیق شونده نهشته شده‌اند. سازندهای آسماری، پایده، گچساران، میشان و آجاجاری در دوران سوم با ضخامت ۳۱۴۸ متر نهشته شده‌اند که نرخ رسوب گذاری در زمان آجاجاری شدید شده است، به طوری که در مدت تقریباً ۱۱ میلیون سال، حدود ۲ هزار متر رسوب گذاری صورت گرفته است. از حدود ۳ میلیون سال پیش با تشدید فعالیت‌های تکتونیکی مربوط به کوهزایی زاگرس، محدوده مورد مطالعه

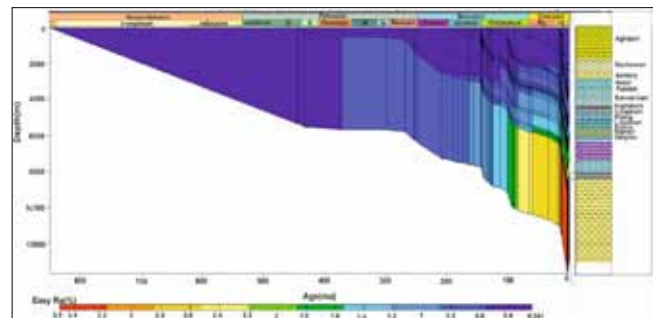
اطلاعات ورودی به نرم‌افزار شامل داده‌های زمین‌شناسی (نوع لیتولوژی، مرز و ضخامت لایه‌های مختلف و...)، داده‌های ژئوشیمیایی، شرایط مرزی، عمق آب، نام و مختصات چاه، عمق حفاری و... است. سن رسوب گذاری هر یک از سازندها از پالئولاگ‌ها و اطلاعات میکروپالئونتولوژی استخراج شده است. محور افقی نمودارهای تاریخچه تدفین، سن بر حسب میلیون سال و محور عمودی آن عمق بر حسب متر است. همچنین داده‌های مربوط به دمای چاه و تخلخل نیز از گزارش‌های پتروفیزیکی و لایه آزمایشی چاه برداشت شده است. (گزارشات مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران)

### ۱-۳- مدل سازی یک بعدی

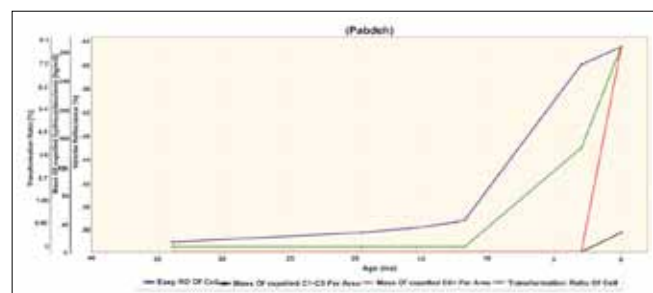
در این مطالعه، در ۲ چاه اکتشافی حفاری شده در میدان‌های ناحیه دزفول شمالی، مدل سازی حوضه‌ای یک بعدی انجام شد. چاه‌ها به گونه‌ای انتخاب شده‌اند تا روند بلوغ و تولید هیدروکربن و همچنین

۱ | داده‌های ژئوشیمیایی چاه A

سازند منشا	نوع کروژن	TOC
پایده	II	۱/۳
کژدمی	II	۳
گرو	II	۵
سرگلو	II-S	۵/۵



شکل ۵ | نمودار تاریخچه تدفین به همراه مدل حرارتی (انعکاس و پترینایت) در چاه A



شکل ۶ | نمودار زمانی پارامترهای مختلف سنگ منشا برای سازند پایده در چاه A

پیش به انعکاس ویترونیات ۵۸/۰ درصد رسیده و در حال حاضر دارای انعکاس ویترونیات ۶۴/۰ درصد است که در اوایل پنجره تولید نفت قرار دارد. انتقال مواد آلی به هیدروکربن (نرخ تبدیل) در این سازند در حال حاضر کمتر از ۸/۱ درصد بوده و لذا تولید هیدروکربن توسط این سنگ منشا بسیار ناچیز بوده است.

#### سازند کژدمی

این سازند براساس نمودار شکل ۷، در اواخر ائوسن و حدود ۳۴ میلیون سال پیش به انعکاس ویترونیات ۵۷/۰ درصد رسیده و در حال حاضر دارای انعکاس ویترونیات ۹۷/۰ درصد است که در اواسط پنجره نفتی قرار دارد. نرخ تبدیل مواد آلی به هیدروکربن در این بخش از سازند از حدود ۶۰ میلیون سال قبل شروع و در حدود ۸ میلیون سال پیش از مرز ۲۵ درصد گذشته است. در حال حاضر نرخ تبدیل بخش بالایی سازند کژدمی ۶۵ درصد است. میزان هیدروکربن‌های مایع ( $C_{6+}$ ) و گازی ( $C_1-C_5$ ) خارج شده از این سازند در زمان کنونی به ترتیب به حدود  $15000 \text{ kg/m}^2$  و  $1700 \text{ kg/m}^2$  رسیده است.

#### سازند گرو

سازند گرو از نظر خصوصیات ژئوشیمیایی به دو بخش زیرین و بالایی تقسیم شده است. بخش زیرین به ضخامت تقریبی ۴۰ متر به لحاظ خصوصیات سنگ منشا از کیفیت بالاتری نسبت به بخش بالایی برخوردار است و به عنوان سنگ منشا اصلی در نظر گرفته می‌شود. بر اساس نمودار شکل ۸، بخش زیرین سازند گرو در کرتاسه بالایی و حدود ۹۴ میلیون سال پیش به انعکاس ویترونیات ۵۵/۰ درصد رسیده و شروع به تولید هیدروکربن کرده است. در حال حاضر بخش زیرین سازند گرو دارای انعکاس ۱/۴ درصد بوده و در پنجره تولید گاز تر قرار دارد. نرخ تبدیل مواد آلی به هیدروکربن در این بخش از سازند گرو از حدود ۱۰۰ میلیون سال قبل شروع و در حدود ۴۵ میلیون سال پیش از مرز ۲۵ درصد گذشته است. در حال حاضر نرخ تبدیل بخش پایینی سازند گرو بیش از ۹۰ درصد است. میزان هیدروکربن‌های مایع ( $C_{6+}$ ) و گازی ( $C_1-C_5$ ) خارج شده از بخش زیرین سازند گرو در زمان کنونی به ترتیب به حدود  $25600 \text{ kg/m}^2$  و  $2650 \text{ kg/m}^2$  رسیده که با توجه به ضخامت کم این بخش، مقدار قابل توجهی است.

#### سازند سرگلو

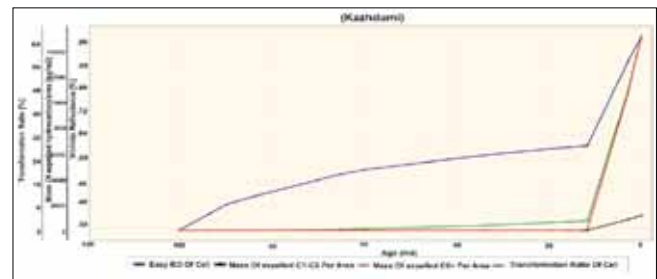
سازند سرگلو به دو بخش بالایی و پایینی تقسیم می‌شود که با توجه به اینکه بخش بالایی به عنوان سنگ منشا مطرح است، مورد

تحت تاثیر فرسایش قرار گرفته که مقدار این فرسایش در محل چاه A با استفاده از بازتابنده‌های لرزه‌ای در راس سازند آغاچاری و همچنین با به کارگیری تغییرات انعکاس ویترونیات، حدود ۷۰۰ متر تخمین زده شد.

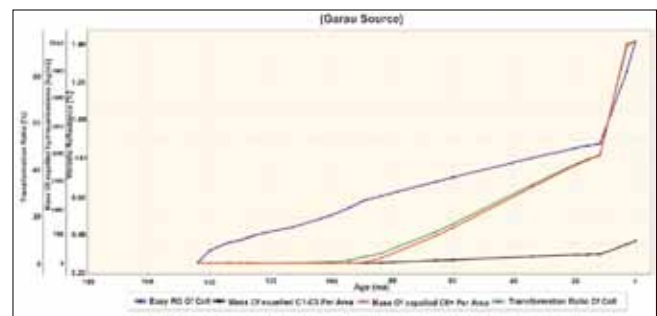
در شکل‌های ۶ تا ۹ نمودار زمانی پارامترهای مختلف سنگ منشا شامل انعکاس ویترونیات، میزان خروج هیدروکربن‌های سبک ( $C_1-C_5$ )، میزان خروج هیدروکربن‌های مایع ( $C_{6+}$ ) و نرخ تبدیل برای سنگ‌های منشا احتمالی در ناحیه مورد مطالعه (سازندهای پابده، کژدمی، گرو و سرگلو) آورده شده است.

#### سازند پابده

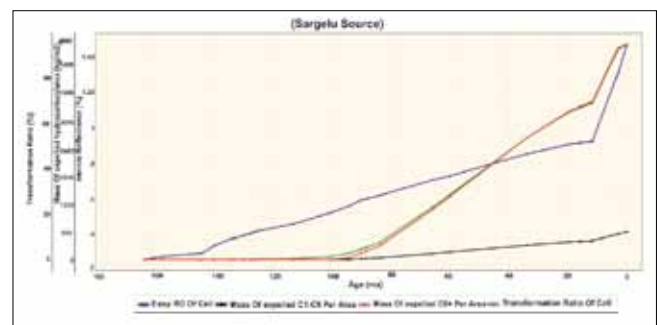
این سازند بر اساس نمودار شکل ۶، در پلیوسن و حدود ۴ میلیون سال



شکل ۷ | نمودار زمانی پارامترهای مختلف سنگ منشا برای سازند کژدمی در چاه A



شکل ۸ | نمودار زمانی پارامترهای مختلف سنگ منشا برای سازند گرو در چاه A



شکل ۹ | نمودار زمانی پارامترهای مختلف سنگ منشا برای سازند سرگلو در چاه A

دزفول شمالی مورد بررسی قرار گرفت. در این چاه نیز همچون چاه A برای رسیدن به نتایج دقیق تر در مدل سازی، لایه ها تا پی سنگ امتداد داده شده اند. داده های ژئوشیمیایی چاه نیز شامل داده های راک اول و TOC سازندهای پابده، کژدمی، گرو و سرگلو است. (جدول ۳)

در چاه B تطابق خیلی خوبی بین داده های (دما و RO) محاسبه شده و اندازه گیری شده به دست آمده است که حاکی از صحت محاسبات انجام شده در مدل سازی است. جریان حرارتی حوضه در این چاه  $47 \text{ mw/m}^2$  در نظر گرفته شده است. (شکل ۱۰)

نمودار تاریخچه تدفین چاه B در شکل ۱۱ نشان داده شده است. بر اساس نمودار تاریخچه تدفین، عمیق ترین رسوبات حفاری شده مربوط به سازند فهلیان پایینی است که در کرتاسه پایینی و تقریباً از ۱۴۵ میلیون سال پیش شروع به رسوب گذاری کرده است. بعد از آن سازندهای فهلیان بالایی، گدوان پایینی، بخش خلیج و گدوان بالایی، داریان، کژدمی و سروک نهشته شده اند. سازند سروک در زمان ۹۰ تا ۸۹ میلیون سال پیش حدود ۷۰ متر فرسایش داشته است بعد از آن سازندهای لافان، ایلام، گورپی و تارپور رسوب گذاری کردند. در پایان کرتاسه وقفه ای ۵ میلیون ساله در رسوب گذاری وجود داشت و بعد از آن سازندهای پابده، آسماری، گچساران، میشان و آغاچاری در سنوزوئیک نهشته شدند. سازند آغاچاری نرخ رسوب گذاری شدید داشته که ضخامت رسوب گذاری آن ۱۳۰۴ متر بوده و ۳۷۰ متر آن فرسایش یافته است.

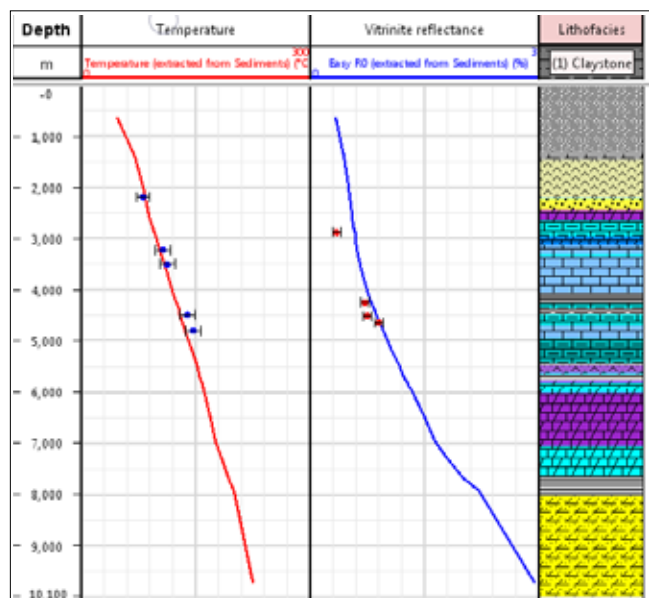
در چاه B نیز در شکل های ۱۲ تا ۱۵ نمودار زمانی پارامترهای مختلف

مطالعه قرار گرفته است. بر اساس نمودار شکل ۹ سازند سرگلو در چاه A (به ضخامت تقریبی ۳۰ متر) در کرتاسه میانی و حدود ۱۰۰ میلیون سال پیش به انعکاس ویتترینایت ۰/۵۵ درصد رسیده و شروع به تولید هیدروکربن کرده است. در حال حاضر بخش بالایی سازند سرگلو دارای انعکاس ویتترینایت بیش از ۱/۴۷ درصد بوده و در پنجره گاز تر قرار دارد. انتقال مواد آلی به هیدروکربن در این بخش از سازند در حدود ۹۵ میلیون سال قبل شروع شد و در حدود ۶۲ میلیون سال پیش (پالئوسن) مقدار آن از مرز ۲۵ درصد گذشته است. در حال حاضر نرخ تبدیل بخش بالایی سازند سرگلو بیش از ۹۰ درصد است. میزان هیدروکربن های مایع ( $C_{6+}$ ) و گازی ( $C_1-C_5$ ) خارج شده از بخش بالایی سازند سرگلو در محل چاه A در زمان کنونی به ترتیب به حدود  $24700 \text{ kg/m}^2$  و  $2700 \text{ kg/m}^2$  رسیده است.

با توجه به آنچه که در بالا ذکر شد، سازندهای سرگلو (بخش زیرین)، گرو و کژدمی توانسته اند در محدوده چاه A تولید و خروج هیدروکربن های مایع و گازی داشته باشند. خلاصه ای از وضعیت این سازندها در جدول ۲ آورده شده است.

### ۲-۱-۳- مدل سازی یک بعدی چاه B

حفاری چاه B با رسیدن به عمق ۵ هزار متری در سازند فهلیان پایینی به سن کرتاسه زیرین (بریسین) خاتمه یافته است. این چاه جهت بررسی توان هیدروکربنی سنگ های منشا در فروافتادگی



شکل ۱۰ | نمودار عمق در مقابل انعکاس ویتترینایت (راست) و دما (چپ) جهت انجام انطباق بین داده های اندازه گیری شده و محاسبه شده در مدل (انعکاس ویتترینایت) در چاه B

۲ | وضعیت سازندهای منشا احتمالی با توجه به نتایج مدل سازی چاه A

نام سازند	وضعیت بلوغ	زمان ورود به پنجره نفتی (Ma)	درصد انتقال کنونی	میزان هیدروکربن مایع خارج شده ( $\text{kg/m}^2$ )	میزان هیدروکربن گازی خارج شده ( $\text{kg/m}^2$ )
پابده	اوایل پنجره نفتی	۴	۸/۱%	-	-
کژدمی	اواسط پنجره نفتی	۳۴	۶۵%	۱۵۰۰۰	۱۷۰۰
گرو زیرین	پنجره تولید گاز تر	۹۴	>۹۰%	۵۶۰۰	۶۵۰۰
سرگلو	پنجره تولید گاز تر	۱۰۰	>۹۰%	۴۷۰۰	۷۰۰

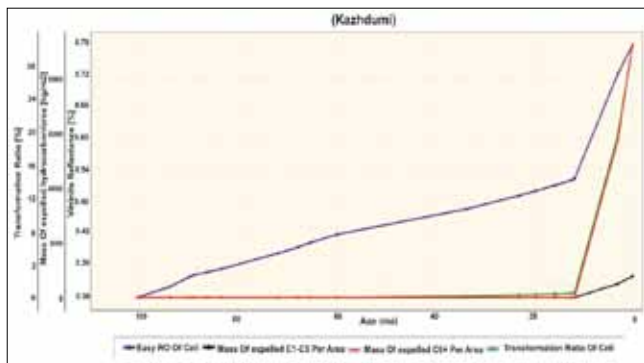
۳ | داده های ژئوشیمیایی چاه B

سازند منشا	نوع کروژن	TOC
پابده	II	۱/۶
کژدمی	II	۵
گرو	II	۵/۵
سرگلو	II-S	۴/۵

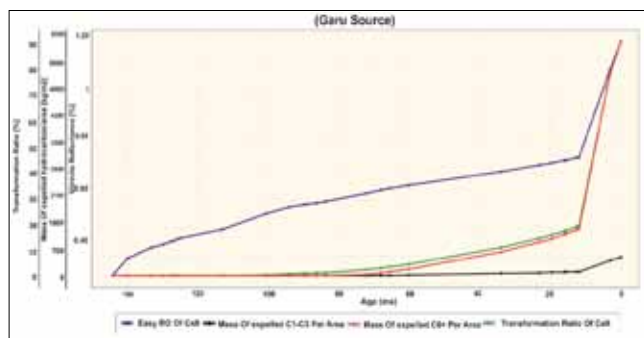
این سازند در حال حاضر با انعکاس ویتیرینایت ۰/۷۷ درصد در پیک تولید نفت قرار گرفته است. نرخ تبدیل مواد آلی به هیدروکربن در این سازند در اواخر میوسن به ۲۰ درصد رسیده است که در حال حاضر این مقدار به بیش از ۳۰ درصد رسیده است. میزان هیدروکربن‌های مایع (C<sub>6+</sub>) و گازی (C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub>)، خارج شده از سازند کژدمی در محل چاه B در زمان کنونی به ترتیب به حدود ۲۸۸۰۰ kg/m<sup>2</sup> و ۲۸۰۰ kg/m<sup>2</sup> رسیده است.

### سازند گرو

سازند گرو در چاه B در عهد حاضر در عمق بین ۵۵۲۳ تا ۵۵۶۳ متر قرار گرفته است. نمودار سازند گرو (شکل ۱۴) نشان می‌دهد این سازند در کرتاسه بالایی وارد پنجره نفت‌زایی شده است. در حال حاضر این سازند دارای میزان انعکاس ویتیرینایت ۱/۱۵ درصد و در پنجره نفتی قرار دارد. درصد انتقال مواد آلی به هیدروکربن در این سازند در میوسن به ۲۰ درصد رسیده است که در حال حاضر نرخ تبدیل مواد آلی به هیدروکربن در این سازند به بیش از ۹۰ درصد رسیده است. میزان هیدروکربن مایع و گازی خارج شده از سازند گرو در حال حاضر به ترتیب به حدود ۲۶۰۰۰ kg/m<sup>2</sup> و ۲۵۰۰ kg/m<sup>2</sup> رسیده است.



شکل ۱۳ | نمودار زمانی پارامترهای مختلف سنگ منشا برای سازند کژدمی در چاه B



شکل ۱۴ | نمودار زمانی پارامترهای مختلف سنگ منشا برای سازند گرو در چاه B

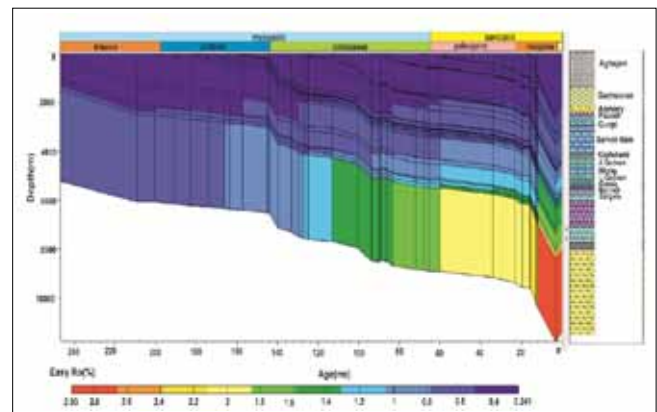
سنگ منشا، شامل انعکاس ویتیرینایت، میزان خروج هیدروکربن‌های سبک (C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub>)، میزان خروج هیدروکربن‌های مایع (C<sub>6+</sub>) و نرخ تبدیل برای سنگ‌های منشا احتمالی در ناحیه مورد مطالعه (سازندهای پابده، کژدمی، گرو و سرگلو) آورده شده است که خصوصیات هر کدام به تفکیک بیان شده است.

### سازند پابده

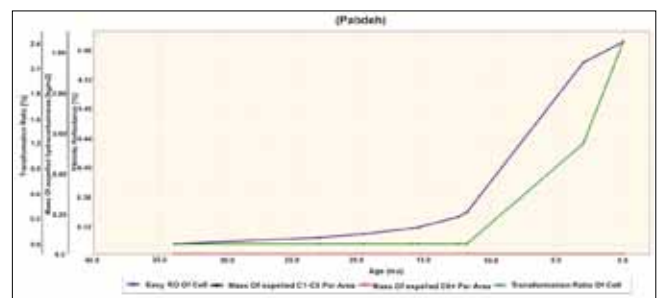
این سازند بر اساس نمودار شکل ۱، حدود ۴ میلیون سال پیش به انعکاس ویتیرینایت ۰/۵۵ درصد رسیده و در حال حاضر دارای انعکاس ویتیرینایت ۰/۵۸ درصد است که در اوایل پنجره تولید نفت قرار دارد. انتقال مواد آلی به هیدروکربن (نرخ تبدیل) در این سازند در حال حاضر کمتر از ۲/۴ درصد بوده و لذا این سنگ منشا هیدروکربن نکرده است.

### سازند کژدمی

سازند کژدمی در چاه B با سن کرتاسه میانی در حال حاضر در عمق ۴۱۴۶ تا ۴۳۵۲ متر قرار دارد. بر اساس نمودار شکل ۱۳ این سازند در میوسن میانی با انعکاس ویتیرینایت ۰/۵۵ وارد پنجره نفتی شده است.



شکل ۱۱ | نمودار تاریخچه تدفین به همراه مدل حرارتی (انعکاس ویتیرینایت) در چاه B



شکل ۱۲ | نمودار زمانی پارامترهای مختلف سنگ منشا برای سازند پابده در چاه B

## سازند سرگلو

این سازند با سن ژوراسیک میانی در چاه B در حال حاضر در عمق بین ۵۷۷۳ تا ۵۷۴۳ متری قرار دارد. بر اساس نمودار شکل ۱۵ سازند سرگلو در کراتاسه میانی به میزان انعکاس ویتیرینایت ۰/۵۵ درصد رسیده و شروع به تولید هیدروکربن کرده است. هم‌اکنون این سازند دارای انعکاس ویتیرینایت ۱/۲۵ درصد بوده و در اواخر پنجره تولید نفت قرار گرفته است. میزان نرخ تبدیل مواد آلی به هیدروکربن در سازند سرگلو در ائوسن از مرز ۲۰ درصد گذشته و هیدروکربن تولیدی شروع به خارج شدن از سنگ منشا کرده است. در حال حاضر نرخ تبدیل در این سازند ۸۰ درصد است. میزان هیدروکربن مایع و گازی خارج شده از سازند سرگلو در حال حاضر به ترتیب به حدود  $2380 \text{ kg/m}^2$  و  $2450 \text{ kg/m}^2$  رسیده است.

سازندهای سرگلو (بخش زیرین)، گرو و کژدمی توانسته‌اند در محدوده چاه B تولید و خروج هیدروکربنی مایع و گازی داشته باشند. خلاصه‌ای از وضعیت این سازندها در جدول ۴ آورده شده است.



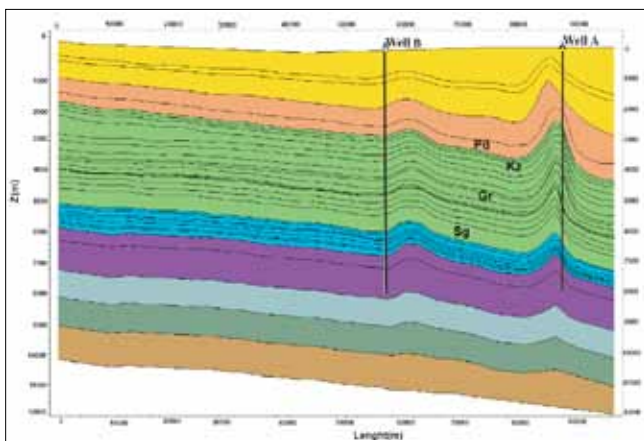
شکل ۱۵ | نمودار زمانی پارامترهای مختلف سنگ منشا برای سازند سرگلو در چاه B

## ۲-۳- مدل سازی دو بعدی حوضه رسوبی

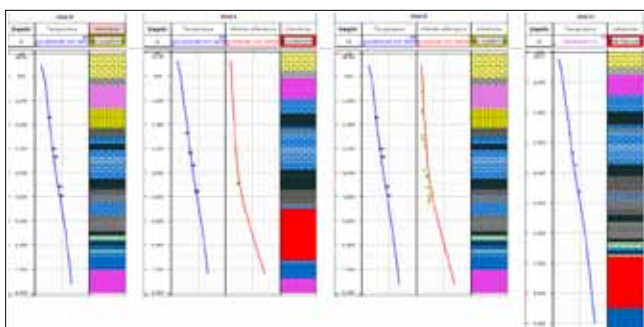
در این مطالعه جهت انجام مدل سازی دو بعدی در منطقه مورد مطالعه، یک مقطع عرضی (شمال شرقی-جنوب غربی) مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفت. شکل ۱۶ موقعیت مقطع انتخابی را نشان می‌دهد. این مقطع از چاه‌های A و B گذشته است که از داده‌های در دسترس این چاه‌ها جهت تطبیق و تایید صحت مدل سازی استفاده شده است. در این مطالعه جهت ساختن مدل زمین‌شناسی (Geomodel) از تلفیق داده‌های چاه به همراه داده‌های ژئوفیزیکی تفسیر شده، استفاده شد. در شکل ۱۷ مقطع تفسیر شده شمال شرقی-جنوب غربی که از آنها به عنوان ورودی اصلی ساختن مدل زمین‌شناسی استفاده شده است، مشخص است. برای بررسی تله‌های چینه‌ای لازم است نقشه‌های تغییر رخساره به صورت دقیق برای منطقه مورد مطالعه تهیه شود.

## ۱-۲-۳ مقطع شمال شرقی-جنوب غربی

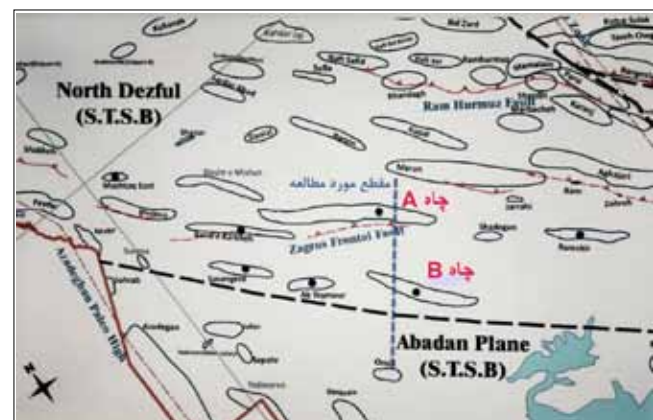
جهت مدل سازی دو بعدی در منطقه مورد مطالعه از اطلاعات زمین‌شناسی مقطع، از قبیل لایه‌های مختلف سنگی، سن و اطلاعات داده‌های مربوط به چینه‌شناسی (شامل نام، عمق راس و سن)، سنگ‌شناسی، فرسایش، نبود رسوب‌گذاری و نقش سازندها در



شکل ۱۶ | مقطع عرضی (شمال شرقی-جنوب غربی)



شکل ۱۷ | نمودار انطباق مناسب نتایج مدل سازی و داده واقعی Ro% و دما در دو چاه A و B



شکل ۱۶ | موقعیت مقطع انتخابی



تاثیر زیادی خواهد داشت.

داده‌های شار حرارتی کنونی و دیرینه از مدل‌های یک بعدی استخراج شد. مقایسه‌ی بین داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده توسط مدل در موقعیت چاه‌هایی که این داده‌ها در آنها موجود بود، تطابق خوبی را نشان می‌دهد که نتایج مدل‌های یک بعدی را تایید می‌کند. (شکل ۱۸)

لیتولوژی هر لایه با استفاده از اطلاعات چاه و همچنین نقشه لیتولوژی منطقه و همچنین ستون چینه‌شناسی (شکل ۱۹) از رسوبات عهد حاضر تا پی سنگ و اعمال سن مربوط به هر لایه در مقطع مورد نظر مشخص شد.

در مقطع شمال شرقی-جنوب غربی سیستم‌های نفتی ترشیاری (سنگ منشا پابده)، کرتاسه (سنگ منشا کژدمی و گرو) و ژوراسیک (سنگ منشا سرگلو) در نظر گرفته شده‌اند. این سازندها مطلوب‌ترین سنگ‌های منشا فروافتادگی دزفول هستند.

سازند کژدمی (با سن آلبین تا سنومانین) دارای ۳-۵ درصد وزنی TOC می‌باشد. این مقدار برای سازند سرگلو با سن کالوین تا آکسفوردین ۴,۵-۵,۵ می‌باشد که بیشترین مقدار TOC در میان سازندهای مذکور است.

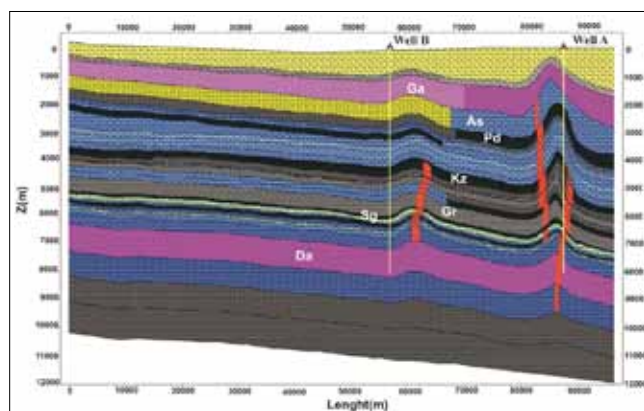
شکل ۲۰ میزان دمای به دست آمده در مقطع شمال شرقی-جنوب غربی را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، حداکثر دمای ثبت شده در سازند پابده، حدود ۹۰ درجه سانتی‌گراد است که به دلیل عمق تدفین اندک به پختگی لازم برای تولید هیدروکربن نرسیده است. نمودار دما (شکل ۲۰) در مقطع شمال شرقی-جنوب غربی نشان‌دهنده تغییرات زیاد دما در کل منطقه می‌باشد. سازندهای کژدمی و گرو به ترتیب در بازه‌های دمایی ۹۰ تا ۱۰۵ و ۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته‌اند. سازند سرگلو نیز حداکثر دمای ۱۷۳ درجه سانتی‌گراد را تجربه کرده است.

شکل‌های ۲۱ و ۲۲ روند پختگی سنگ‌های منشا منطقه را در راستای مقطع مورد نظر نشان می‌دهد. همان‌گونه که در مقطع انتخابی مشاهده می‌شود، ضخامت رسوبات میوسن تا عهد حاضر در شرق مدل بیشتر از غرب است. با بازسازی ساختمانی مدل در طول زمان و برداشتن این ضخامت، پی سنگ تغییر شیب داده و کاهش عمق چشمگیری در سمت شرق مدل را نشان می‌دهد. با کاهش عمق پی سنگ، جریان حرارتی افزایش پیدا می‌کند. این تغییر را روند پختگی سنگ‌های منشا از شرق به غرب تایید می‌کند، به گونه‌ای که سازند سرگلو و سایر سنگ‌های منشا که در عمق کمتر قرار دارند، از سمت شرق ناحیه مورد بررسی شروع به تولید هیدروکربن می‌کنند.

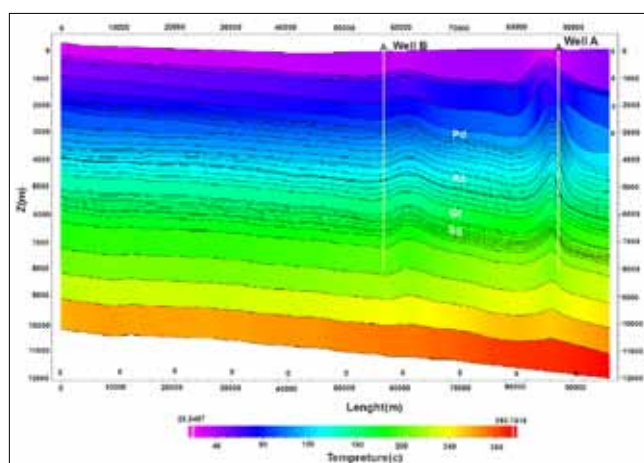
سیستم نفتی در هر لایه و همچنین اطلاعات ژئوشیمیایی مربوط به سازندهای منشا از قبیل HI و TOC اولیه و نوع کینتیک، شرایط مرزی، ژئومتری دیرینه، پارامترهای مربوط به میزان شار گرمایی (Heat Flow) و عمق دیرینه آب در نرم‌افزار اوپن فلو استفاده شد. ورودی داده‌های ژئوشیمیایی باید به صورت اولیه باشند زیرا در محاسبات مربوط به میزان هیدروکربن تولید شده و خارج شده از سنگ منشا

۴ وضعیت سازندهای منشا احتمالی با توجه به نتایج مدل‌سازی چاه B

نام سازند	وضعیت بلوغ	زمان ورود به پنجره نفتی (Ma)	درصد انتقال کنونی	میزان هیدروکربن مایع خارج شده (kg/m <sup>2</sup> )	میزان هیدروکربن گازی خارج شده (kg/m <sup>2</sup> )
پابده	اوایل پنجره نفتی	۴	< ۲/۴%	-	-
کژدمی	اواسط پنجره نفتی	۱۳	> ۳۰%	۸۸۰۰	۸۰۰
گرو زیرین	پنجره تولید گاز تر	۸۴	> ۹۰%	۶۰۰۰	۵۰۰
سرگلو	پنجره تولید گاز تر	۱۰۰	۸۰%	۳۸۰۰	۴۵۰



۱۹ لیتولوژی اعمالی به مقطع مورد نظر در دو چاه A و B

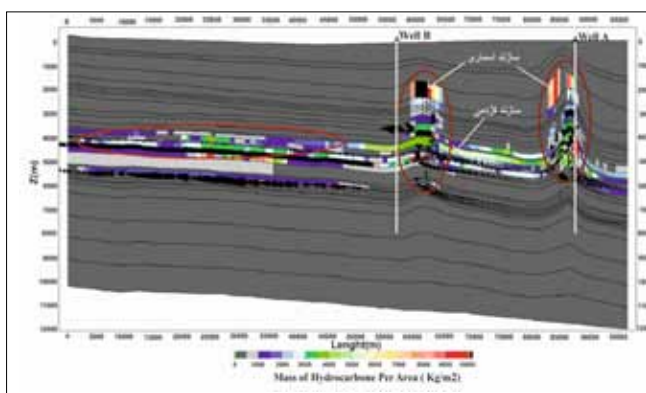


۲۰ دمای به دست آمده از مدل‌سازی در مقطع شمال شرقی-جنوب غربی

محدوده تاقدیس‌ها شده است. نتایج مدل‌سازی دو بعدی حاکی از این است که اتصال سیستم‌های نفتی کرتاسه پیشین (مخزن خامی) و میانی (مخزن بنگستان) فقط در محل میادین به دلیل ژئومتری و بعضاً حضور گسل‌ها رخ می‌دهد و جداشدگی این دو سیستم توسط سازند کژدمی اتفاق می‌افتد. این مقطع مهاجرت هیدروکربن را در مخازن زیر کژدمی با شدت نسبتاً زیاد به سمت دشت آبادان نشان می‌دهد. این جریان در لایه‌های مخزنی سروک با شدت کمتری در همان جهت مشاهده می‌شود و در سازند ایلام از بین می‌رود. با توجه به شدت مهاجرت جانبی در مخازن زیر لایه کژدمی و بعضاً بخش‌های مخزنی لایه سروک، اگر فواصل بین میادین لایه‌ها با تغییر تخلخل و تراوایی مواجه شوند احتمال تشکیل تله چینه‌ای بالاست که نیاز است با مطالعات تکمیلی این مسئله بررسی شود. مقطع مذکور که از چاه‌های A و B می‌گذرد از تجمع هیدروکربن در لایه فهلیان در فاصله بین دو چاه حکایت دارد. لازم به ذکر است که ساختمانی بزرگ با شیب ملایم در حد فاصل این دو چاه وجود دارد که در صورت صحت این ساختمان احتمال تجمع هیدروکربن در مخازن زیر کژدمی و بعضاً در لایه‌های زیرمخزنی سروک وجود دارد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

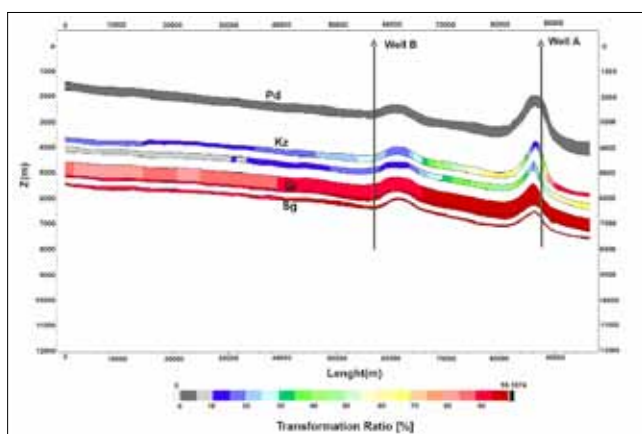
- ۱- مقادیر جریان حرارتی  $46 \text{ mW/m}^2$  تا  $47 \text{ mW/m}^2$  بهترین انطباق را با داده‌های واقعی دما و  $R_o$  نشان داد.
- ۲- مدل‌سازی یک بعدی سازند سرگلو در چاه‌های مورد مطالعه نشان داد که این سازند در کرتاسه میانی وارد پنجره نفتی شده است و در چاه‌های A و B در کرتاسه پسین خروج هیدروکربن از آنها آغاز شده و در حال حاضر با انعکاس ویتترینایت ۱/۵ در پنجره تولید گاز قرار دارند و میزان TR مواد آلی در این سازند بیشتر از ۹۰ درصد است.



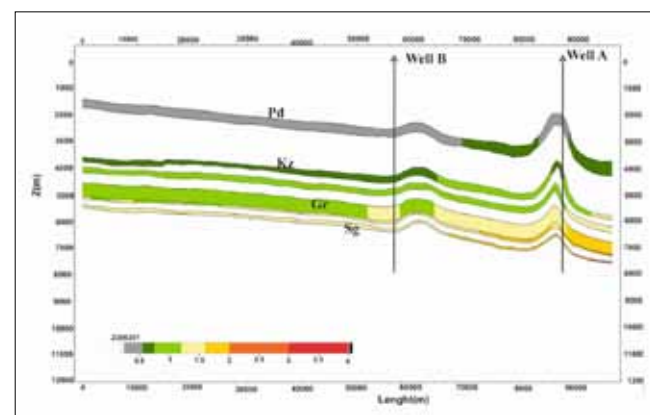
شکل ۲۳ | مدل مهاجرت هیدروکربن در راستای مقطع مورد نظر

در واقع دو عامل افزایش جریان حرارتی در طول زمان و عمق تدفین در زمان حال، بیشتر بودن میزان پختگی سنگ‌های منشا را در سمت شرق کنترل می‌کنند.

یکی از مهم‌ترین خروجی‌های مدل‌سازی دو بعدی در یک منطقه، تعیین مسیر مهاجرت و پر شدن تله‌ها در یک سیستم نفتی است. در شکل ۲۳ خروجی نهایی مدل مهاجرت و پر شدن تله‌های نفتی ساخته شده در مقطع شمال شرقی-جنوب غربی در منطقه فروافتادگی دزفول را نشان می‌دهد. نتایج مدل مهاجرت تجمع زیادی از هیدروکربن‌ها را در زیر لایه کژدمی نشان می‌دهد. این تجمع در فواصل بین میادین نیز دیده می‌شود. این در حالی است که در مخازن بالای سازند کژدمی تجمع هیدروکربن در محل میادین مشاهده می‌شود. مدل مهاجرت نشان می‌دهد که نشئت از سازند کژدمی فقط از محل تاقدیس‌ها اتفاق می‌افتد و فشار پوش سنگی کژدمی مانع از عبور هیدروکربن‌ها در خارج از



شکل ۲۱ | نرخ تبدیل ماده آلی به هیدروکربن (Transformation Ratio) در راستای مقطع مورد نظر



شکل ۲۲ | نتایج ضریب انعکاس ویتترینایت (Vitrinite Reflectance) در راستای مقطع مورد نظر

۷- در مقطع شمال شرقی-جنوب غربی نشان می‌دهد که سنگ منشا کژدمی در فروافتادگی‌های سمت شرق میدان A و در فواصل بین دو میدان مذکور به اوج تولید نفت رسیده است.

۸- مدل مهاجرت نشان می‌دهد که نشت از سازند کژدمی فقط از محل تاقدیس‌ها اتفاق می‌افتد و فشار پوش‌سنگی کژدمی مانع از عبور هیدروکربن‌ها در خارج از محدوده تاقدیس‌ها شده است. اتصال سیستم‌های نفتی کرتاسه پیشین و میانی فقط در محل میادین به دلیل ژئومتری و بعضاً حضور گسل‌ها رخ می‌دهد و جداسدگی این دو سیستم توسط سازند کژدمی اتفاق می‌افتد. این مقطع مهاجرت هیدروکربن را در مخازن زیر کژدمی با شدت نسبتاً زیاد به سمت دشت آبادان نشان می‌دهد.

۹- به‌طور کلی سنگ‌های منشا سرگلو و گرو در پنجره گازی و سنگ منشا کژدمی در پنجره نفتی قرار دارد و با توجه به زمان کوهزایی زاگرس در شارژ کردن میادین موجود در منطقه بسیار موثر است. سنگ منشا پایده نیز در ابتدای پنجره نفتی قرار دارد. روند پختگی سنگ‌های منشا در زمان حال از شرق به غرب کاهش می‌یابد. ■

۳- سازند گرو در چاه‌های مورد مطالعه در کرتاسه میانی وارد پنجره نفتی شده است و در پالئوسن خروج هیدروکربن از آن آغاز شده و در حال حاضر با انعکاس ویتروینایت ۱/۴ درصد در پنجره تولید گاز قرار دارد و میزان انتقال مواد آلی در این سازند بیشتر از ۹۰ درصد است.

۴- سازند کژدمی در کرتاسه میانی وارد پنجره نفتی شده است و خروج هیدروکربن از آن در میوسن آغاز شده است و در حال حاضر با انعکاس ویتروینایت ۰/۸ تا ۰/۹ درصد در پنجره تولید نفت قرار دارد.

۵- سازند پایده در ابتدای پنجره نفتی قرار گرفت و به پختگی لازم برای تولید هیدروکربن نرسیده است.

۶- نمودار دما در مقطع شمال شرقی-جنوب غربی نشان می‌دهد حداکثر دمای ثبت شده در سازند پایده، حدود ۹۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که به دلیل عمق تدفین اندک، نابالغ بوده و به پختگی لازم برای تولید هیدروکربن نرسیده و سازند کژدمی در محدوده‌ی دمایی ۹۰ تا ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در ابتدای پنجره نفتی قرار گرفته است. سازند گرو در محدوده ۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سازند سرگلو نیز حداکثر دمای ۱۷۳ درجه سانتی‌گراد را تجربه کرده و در اواخر پنجره نفتی قرار دارند.

## پانویس‌ها

1. Open Flow  
2. Heat Flow

3. BHT

## منابع

- [1]. Hakimi, Mohammed Hail, Ahmed Askar Najaf, Rzger A. Abdula, and Ibrahim MJ Mohialdeen. "Generation and expulsion history of oil-source rock (Middle Jurassic Sargelu Formation) in the Kurdistan of north Iraq, Zagros folded belt: Implications from 1D basin modeling study." *Journal of Petroleum Science and Engineering* 162 (2018): 852-872.
- [2]. Welte D. H. and Yalcin M. N. (1988) "Basin modelling—A new comprehensive method in petroleum geology", *Organic geochemistry in petroleum exploration*, pp 141-151.
- [3]. Bordenave, M. L. "The origin of the Permo-Triassic gas accumulations in the Iranian Zagros Foldbelt and contiguous offshore areas: A Review of the Palaeozoic Petroleum System." *Journal of Petroleum Geology* 31, no. 1 (2008): 3-42.
- [4]. Hadad YT, Hakimi MH, Abdullah WH, Makeen YM. Basin modeling of the Late Miocene Zeit source rock in the Sudanese portion of Red Sea Basin: Implication for hydrocarbon generation and expulsion history. *Marine and Petroleum Geology*. 2017 Jun 1; 84:311-22.
- [5]. Alavi, Mehdi. "Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations." *Tectonophysics* 229.3-4, 1994 211-238.
- [6]. Takin, Manoochehr. "Iranian geology and continental drift in the Middle East." *Nature* 235, no. 5334 (1972): 147.
- [7]. Berberian, Manuel, and G. C. P. King. "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran." *Canadian journal of earth sciences* 18, no. 2 (1981): 210-265.
- [8]. Alavi, Mehdi. "Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution." *American journal of Science* 304.1, 2004, 1-20.
- [9]. Talbot, C. J., and M. Alavi. "The past of a future syntaxis across the Zagros." *Geological Society, London, Special Publications* 100, no. 1 (1996): 89-109.
- [10]. Berberian, Manuel. "Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics." *Tectonophysics* 241, no. 3-4 (1995): 193-224.
- [11]. Sherhati, Shahram, and Jean Letouzey. "Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Iran." *Marine and petroleum geology* 21, no. 5 (2004): 535-554.
- [12]. اورک زینب، کردی معصومه، کریمی احمد رضا. "ارزیابی ژئوشیمیایی و گسترش رخساره‌های آلی سازند پایده در سواحل شمال غربی خلیج فارس و جنوب فروافتادگی دزفول با استفاده از تجزیه و تحلیل راک-اول. پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب شناسی، ۱۳۹۷، ۳۴(۳): ۹۵-۱۰۸.
- [13]. Bordenave, M. L. "The Middle Cretaceous to Early Miocene petroleum system in the Zagros domain of Iran, and its prospect evaluation." AAPG annual meeting. Vol. 6. American Association of Petroleum Geologists Houston, 2002. 1-9.
- [14]. Karimi, Ahmad Reza, Ahmad Reza Rabbani, Mohammad Reza Kamali, and Mohamad Hosein Heidarifard. "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, no. 5 (2016): 423.
- [15]. Sepehr, M., and J. W. Cosgrove. "Structural framework of the Zagros fold-thrust belt, Iran." *Marine and Petroleum geology* 21, no. 7 (2004): 829-843.
- [16]. Kobraei, M., Sadouni, J., & Rabbani, A. R. (2019). Organic geochemical characteristics of Jurassic petroleum system in Abadan Plain and north Dezful zones of the Zagros basin, southwest Iran. *Journal of Earth System Science*, 128(3). doi:10.1007/s12040-019-1082-0