

مدل سازی تاریخچه تدفین، بلوغ گرمایی، مواد آلی و توان هیدروکربنی سنگ های منشأ احتمالی در میدان نفتی پارسی

میر مسعود فایق ایرانق^۱، میر حسن موسوی^{۲*}، محمد رضا کمالی^۳

۱- کارشناس ارشد زمین شناسی نفت، گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲- استادیار زمین شناسی نفت، گروه مهندسی نفت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مسجد سلیمان، مسجد سلیمان، ایران

۳- دانشیار زمین شناسی نفت، پژوهشکده علوم زمین، پردیس پژوهش و توسعه صنایع بالادستی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

* عهده دار مکاتبات: moosavi_m_h@yahoo.com

دریافت مقاله: ۹۱/۸/۱۵، پذیرش مقاله: ۹۱/۱۰/۲۵

چکیده

در این مطالعه ویژگی های زمین شیمی آلی سازندهای کژدمی، گورپی و پابده که به عنوان سنگ های منشأ احتمالی در میدان نفتی پارسی به شمار می روند، توسط پیرولیز راک-اوال و نیز مدل سازی تاریخچه تدفین ارزیابی شد. بر اساس مقادیر TOC و S₂، توان هیدروکربنی سازند کژدمی، گورپی و پابده به ترتیب خیلی خوب، فقیر، و خوب تا خیلی خوب پیشنهاد شده است. کروژن سازندهای کژدمی، گورپی، و پابده به ترتیب از نوع III، II/III، و II است که به ترتیب از گیاهان خشکی، حدواسط و دریایی مشتق شده اند، بنابراین به ترتیب توانایی زایش گاز، نفت/گاز، و نفت را دارند. بر اساس مقادیر Tmax سازندهای گورپی و پابده در مراحل ابتدایی بلوغ گرمایی قرار دارند، اما سازند کژدمی در اوج زایش هیدروکربن قرار گرفته است. مدل سازی تاریخچه تدفین نشان دهنده آن است که سازندهای کژدمی، گورپی و پابده وارد مرحله زایش هیدروکربن شده اند.

واژه های کلیدی: توان هیدروکربنی، کروژن، محیط رسوبی، بلوغ گرمایی، تاریخچه تدفین

۱- مقدمه

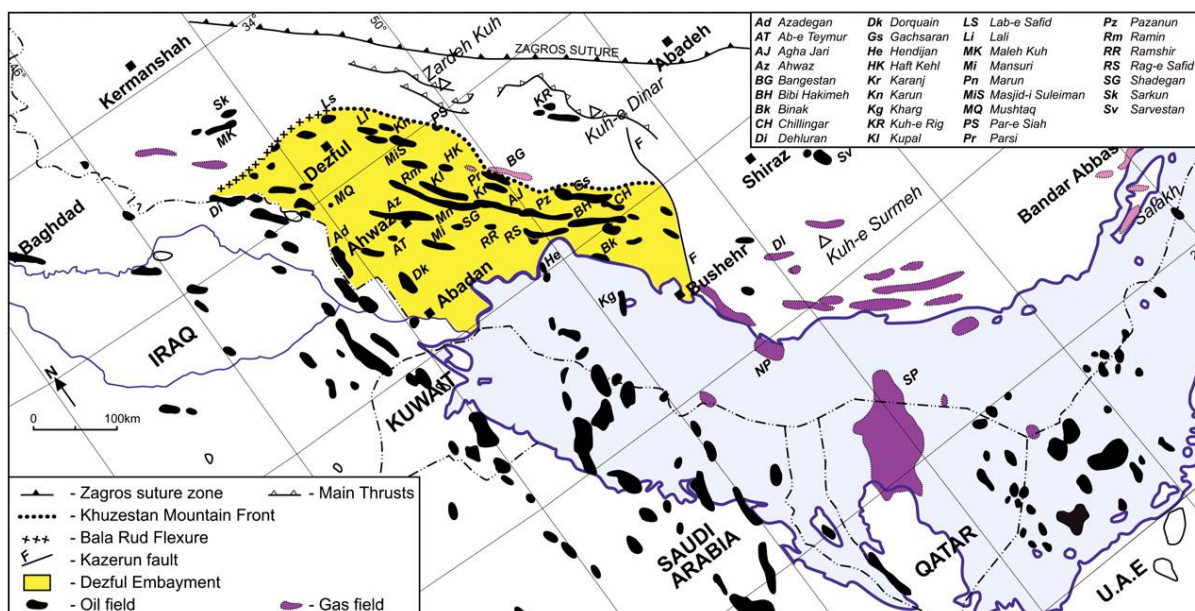
میلیارد بشکه نفت درجا، معادل ۷ درصد از ذخایر نفت جهان است. این

نفت ها از سازندهای آهکی آسماری (اویل میوسن) و سروک (سنومانین) از

گروه بنگستان تولید می شوند (شکل ۱).

در فروافتادگی دزفول که ۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد،

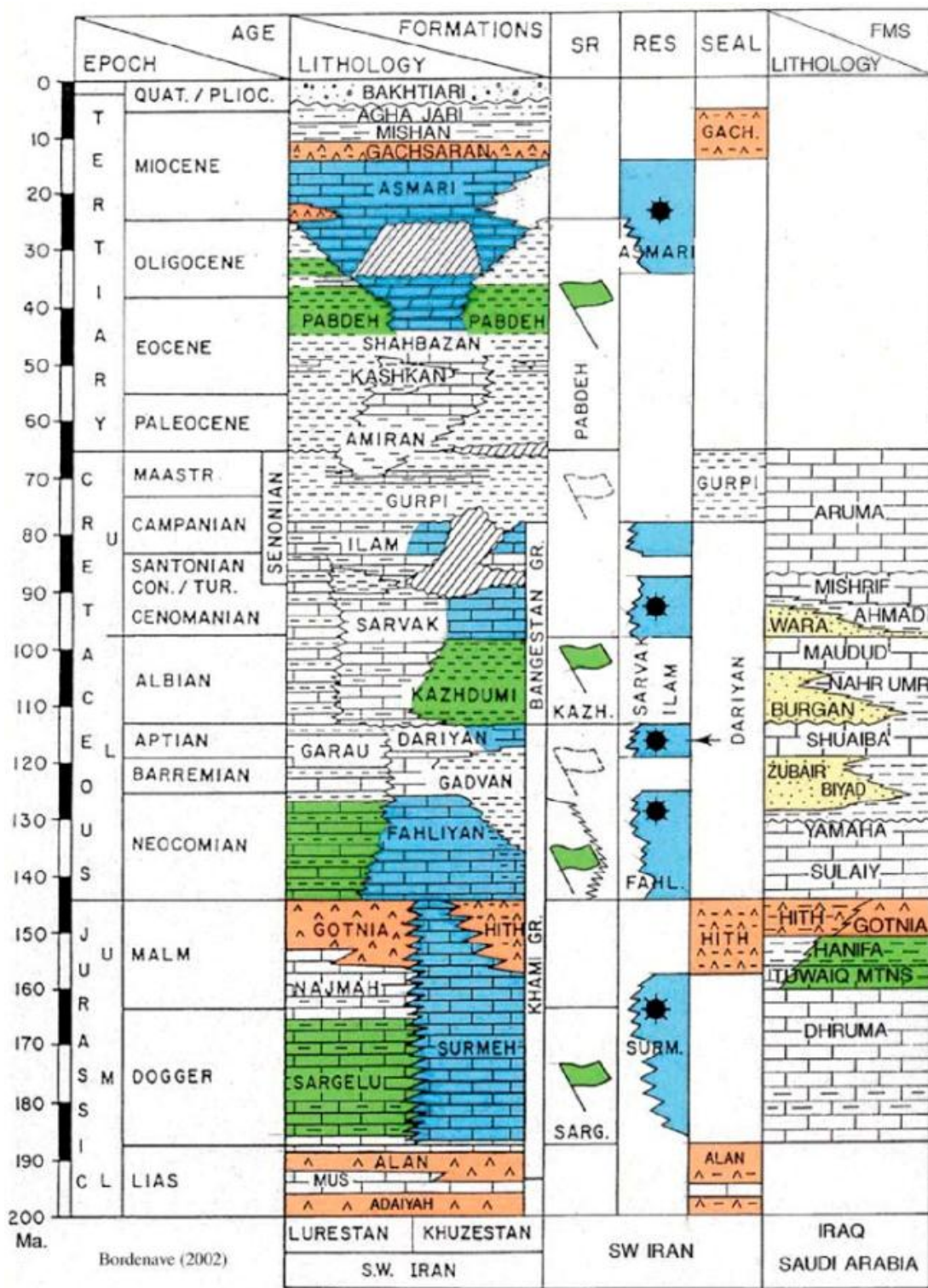
میدان های گول پیکر قابل توجهی تشکیل شده، که حدوداً دارای ۴۰۰



شکل ۱- موقعیت میدان نفتی پارسی در فروافتادگی دزفول در مقایسه با دیگر میدان های موجود در آن (Bordenave and Hegre, 2010)

اٹوسن) و نیز عضو احمدی مربوط به سازند سروک (سنومنین زیرین) هستند، که هر کدام در بخش‌های مختلف زاگرس از لرستان تا فارس گسترش دارند (شکل ۲). این سازندها با هم، ۹۹ درصد از ذخایر خشکی ایران را تشکیل می‌دهند (مطیعی، ۱۳۷۴).

مخازن نفتی امروزی در سامانه نفتی کرتاسه و ترشیری جنوب غرب ایران، از شش سنگ منشأ شناخته‌شده، نفت تولید می‌کنند که شامل سازندهای سرگلو (باژوسین- باتونین)، گرو (نئوکومین)، گدوان (بارمین)، کژدمی (آلبین- سنومنین)، گورپی (ساتونین- پالتوسن) و پابده (پالتوسن-



شکل ۲- ستون چینه‌شناسی جنوب غرب ایران (فروافتادگی دزفول)، همراه با موقعیت سنگ‌های منشأ، مخزن و پوش (Bordenave, 2002)

آلی و نیز شناسایی توان نفتی رسوبات استفاده می شود. تجزیه پیرولیز راک-اوال، روشی سریع، آسان و کم هزینه و هدف آن ارزیابی مقدماتی از سازندهایی است که در مطالعات زمین شیمیایی به عنوان سنگ منشأ احتمالی در نظر گرفته می شوند. در حقیقت، این روش، وسیله ای مناسب برای تشخیص سریع سنگ های مولد هیدروکربن از غیر مولد است (Page and Kuhnel, 1980). پیرولیز، حرارت دادن ماده آلی در نبود اکسیژن به منظور تولید و آزاد کردن هیدروکربن از آن و تعیین پتانسیل هیدروکربن زایی مواد آلی باقیمانده موجود در سنگ است، که در آزمایشگاه در دمای بالا و مدت زمان کوتاه انجام می شود و در واقع تقلید تولید طبیعی هیدروکربن ها در طبیعت در طی مرحله کاتالیز است (Barker, 1974).

در این مطالعه، از ۱۱ نمونه خرده حفاری مربوط به سازندهای کژدومی، گورپی و پابده در چاه پارسی-۳۵، برای تجزیه پیرولیز راک-اوال استفاده شده است. به گونه ای که پس از زدودن مواد افزودنی به گل حفاری و تاثیر گذار بر نتایج، ۷۰ میلی گرم از هر نمونه تیمار و همگن شده و سپس توسط دستگاه پیرولیز راک-اوال، تجزیه و مقادیر کربن آلی کل (TOC) به همراه دیگر پارامترهای زمین شیمیایی، تعیین شد (جدول ۱).

میدان پارسی در ۱۳۰ کیلومتری جنوب خاوری اهواز و حدود ۴۰ کیلومتری جنوب خاوری شهرستان رامهرمز و در بلافضل شمال خاوری میدان کرج و بر روی محور بیشینه فرونشست فروافتادگی دزفول قرار دارد. به همین علت ضخامت سازند گچساران (پوش سنگ) حداکثر و حدود ۱۶۰۰ متر، تصحیح شده است. این میدان در سال ۱۳۴۳ کشف شد و آسماری آن، حاوی نفت ۳۴/۲ درجه API با ۱/۳ درصد گوگرد و کلاهدک گازی وسیعی است. بنگستان در این میدان خشک به شمار می آید. میدان پارسی به عنوان یکی از میدان های بزرگ در نظر گرفته می شود و ذخیره نهایی قابل استحصال آن، حدود سه میلیارد بشکه نفت و نه تریلیون فوت مکعب گاز احتمالی است (مطیعی، ۱۳۷۴).

هدف از انجام این پژوهش، بررسی پتانسیل هیدروکربن زایی، نوع مواد آلی، بلوغ گرمایی و تاریخچه تدفین سازندهای کژدومی، گورپی و پابده است که به عنوان سنگ های منشأ در میدان نفتی پارسی مطرح هستند که با استفاده از داده های حاصل از پیرولیز راک-اوال و نرم افزار WinBury انجام شده است.

۲- روش کار

پیرولیز راک-اوال به طور وسیعی برای شناسایی نوع و بلوغ مواد

جدول ۱- نتایج حاصل از پیرولیز راک-اوال بر روی نمونه های سازندهای کژدومی، گورپی و پابده در چاه پارسی-۳۵

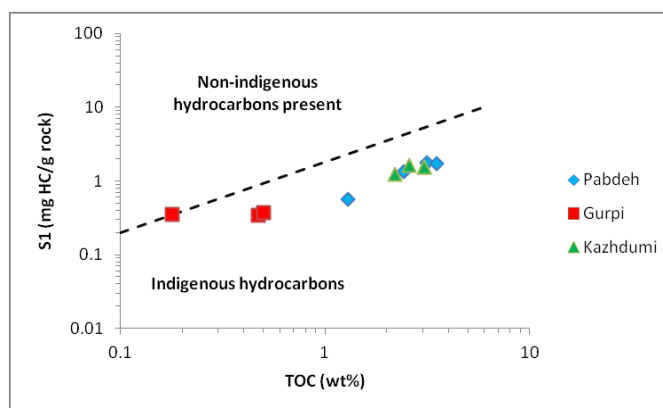
Formation	Depth	TOC	S ₁	S ₂	S ₁ +S ₂	PI	T _{max}	HI
Pabdeh	2070	3.15	1.78	18.25	20.03	0.09	428	759
	2090	3.53	1.71	18.59	20.3	0.08	430	527
	2120	2.44	1.35	11.93	13.28	0.1	430	489
	2150	1.3	0.57	5.98	6.55	0.09	431	460
Gurpi	2300	0.47	0.34	1.22	1.56	0.22	435	260
	2330	0.5	0.37	1.08	1.45	0.26	434	216
	2370	0.18	0.35	1.12	1.47	0.24	434	622
Kazhdumi	4200	3.07	1.54	3.37	4.91	0.31	445	110
	4260	2.59	1.62	3.02	4.64	0.35	449	117
	4290	3.07	1.52	3.57	5.09	0.3	449	116
	4320	2.19	1.22	2.29	3.51	0.35	451	105

TOC = Total Organic Carbon, wt%; S₁ = free hydrocarbons, mgHC/g rock; S₂ = kerogen generation capability, mgHC/g rock; HI = Hydrogen Index (S₂ × 100/TOC), mgHC/gTOC; PI = Production Index S₁/(S₁ + S₂); T_{max} = Temperature at maximum generation of S₂, °C.

۳- بحث

تفکیک کننده هیدروکربن های مهاجرت یافته و آلوده از هیدروکربن های برجاست. نسبت S_1 به TOC برابر ۱/۵ است. مقادیر بالای این خط، هیدروکربن های نابرجا را نشان می دهد، و مقادیر زیر آن برجاستند. همان گونه که در شکل ۳ مشخص است، هیدروکربن های موجود در سازندهای کژدومی، گورپی و پایده از نوع برجاستند که این خود نشان دهنده درستی ارزیابی های حاصل بر روی سازندهای مورد مطالعه است.

هیدروکربن های مهاجرت یافته در یک نمونه زمانی مشخص می شود که مقادیر S_1 بالا و TOC پایین باشد (Hunt, 1995). برای تشخیص هیدروکربن های مهاجرت یافته و آلوده از هیدروکربن های برجاست، از نمودار S_1 در مقابل TOC، استفاده می شود (شکل ۳). در این نمودار بر روی خطی که



شکل ۳- نمودار S_1 در برابر TOC، برای شناسایی هیدروکربن های آلوده یا مهاجرت یافته

جدول ۲ معیارهای پذیرفته شده ای را برای توصیف این پارامترها، در سنگ یک سنگ منشأ موثر، باید سه شرط کمیت (پتانسیل هیدروکربنی)، کیفیت (کروژن) و بلوغ را داشته باشد تا بتواند تولید هیدروکربن نماید. منشأ نشان می دهد (Peters and Cassa, 1994).

جدول ۲- پارامترهای حاصل از پیرولیز راک-اوال برای تعیین توان تولید (کمیت)، نوع کروژن (کیفیت) و بلوغ گرمایی سنگ های منشأ

Potential (quantity)	TOC (wt. %)	S_1 (mg HC/g rock)	S_2 (mg HC/g rock)	
Poor	<0.5	<0.5	<2.5	
Fair	0.5-1	0.5-1	2.5-5	
Good	1-2	1-2	5-10	
Very good	2-4	2-4	10-20	
Excellent	>4	>4	>20	
Kerogen (quality)	Hydrogen index (mg hydrocarbon/g TOC)	S_2/S_3	Main product at peak maturity	
I	>600	>15	Oil	
II	300-600	10-15	Oil	
II/III	200-300	5-10	Oil/gas	
III	50-200	1-5	Gas	
IV	<50	<1	None	
Maturity	R_0 (%)	T_{max} (°C)	Production index ($S_1/(S_1+S_2)$)	
Immature	0.20-0.60	<435	<0.10	
Mature	Early	0.60-0.65	435-445	0.10-0.15
	Peak	0.65-0.90	445-450	0.25-0.40
	Late	0.90-1.35	450-470	>0.40
Postmature	>1.35	>470	-	

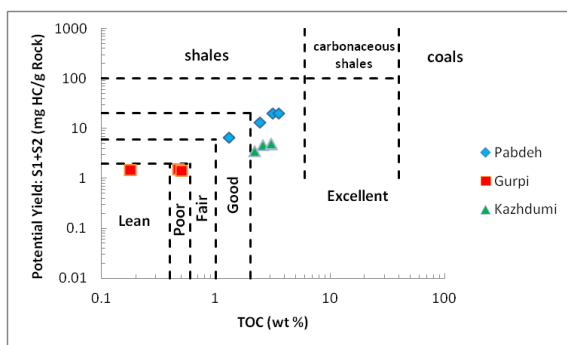
۱-۳- توان هیدروکربنی

۱۳/۶۹ میلی گرم هیدروکربن بر گرم سنگ است، که بر این اساس سازند پابده دارای بیشترین توان هیدروکربن زایی نسبت به سازندهای کژدومی و گورپی است.

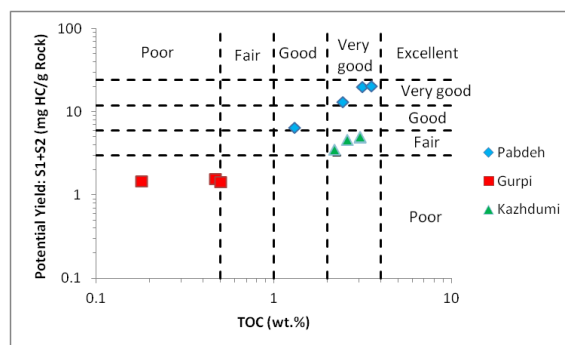
بر این اساس، موقعیت قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه در نمودارهای S_1+S_2 (توان زایش) در برابر TOC (شکل‌های ۴ و ۵) و نیز نمودار S_2 در برابر TOC (شکل ۶)، نشان‌دهنده آن است که توان هیدروکربنی سازند کژدومی خیلی خوب، سازند گورپی فقیر، و سازند خوب تا خیلی خوب است. همچنین مشخص شد که سنگ‌شناسی سازند گورپی از نوع شیل و سنگ‌شناسی سازندهای کژدومی و پابده شیل مایل به شیل آهکی (مارن) است (شکل ۵)، که این بیانگر آن است که سازندهای کژدومی و پابده در یک وضعیت پیشرونده رسوب نموده (رسوب شیل آهکی)، که این خود باعث افزایش مقادیر TOC در این سازندها شده، اما سازند گورپی در یک وضعیت پسرونده رسوب کرده (رسوب شیلی) که موجب کاهش مقادیر TOC در این سازند شده است (شکل ۷).

به طور کلی توان تولید (کمیت) سنگ‌های منشأ را بر اساس مقادیر S_1 و S_2 ارزیابی می‌کند. بر اساس نتایج حاصل از پیرولیز راک-اوال، بیشترین و کمترین مقدار کربن آلی کل (TOC) در نمونه‌های مورد مطالعه، به ترتیب مربوط به سازندهای پابده و گورپی با ۳/۵۳ و ۰/۱۸ درصد وزنی است. همچنین میانگین TOC در سازندهای کژدومی، گورپی و پابده به ترتیب ۲/۷۳، ۰/۳۸ و ۲/۶ درصد وزنی است که بر این اساس، سازند کژدومی دارای بیشترین توان هیدروکربن زایی نسبت به سازندهای گورپی و پابده است.

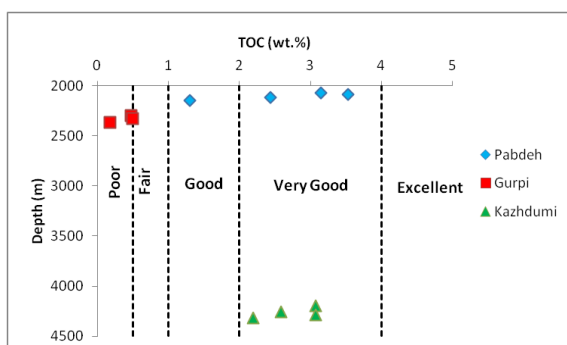
همچنین بیشترین و کمترین مقدار هیدروکربن تولید شده (S_2) در نمونه‌های مورد مطالعه به ترتیب مربوط به سازندهای پابده و گورپی با ۱۸/۵۹ و ۱/۰۸ میلی گرم هیدروکربن بر گرم سنگ است. میانگین S_2 در سازندهای کژدومی، گورپی و پابده به ترتیب برابر ۳/۰۶، ۱/۱۴ و



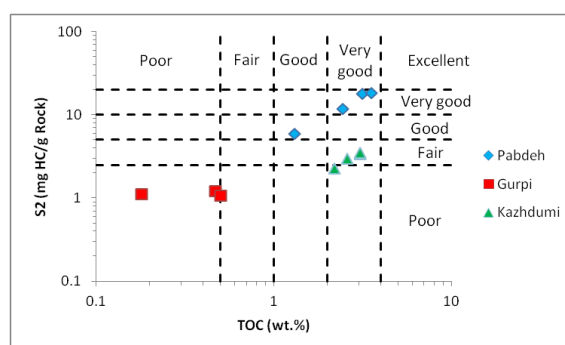
شکل ۵- نمودار تغییرات مقادیر TOC در برابر مقادیر S_1+S_2 برای تعیین توان تولید (برگرفته از Huang et al., 2003)



شکل ۴- نمودار تغییرات مقادیر TOC در برابر مقادیر S_1+S_2 برای تعیین توان تولید (برگرفته از Barker, 1974)



شکل ۷- نمودار تغییرات مقادیر TOC در برابر عمق برای تعیین تغییرات توان هیدروکربنی (برگرفته از Hakimi et al., 2012)

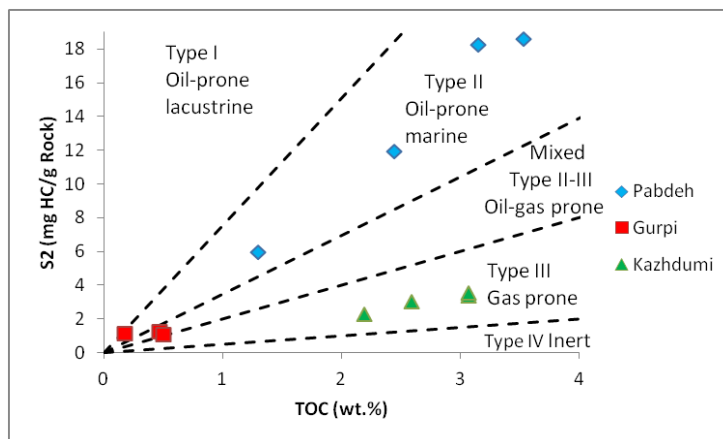


شکل ۶- نمودار تغییرات مقادیر TOC در برابر مقادیر S_2 برای تعیین توان تولید (برگرفته از Hakimi et al., 2010)

Blanc-Valleron, 1990). همان گونه که در شکل ۸ مشخص شده است کروژن سازندهای پابده و کژدومی به ترتیب از نوع II (دریایی)، و III (تخریبی) است که به ترتیب توانایی زایش نفت و گاز را دارند، اما کروژن سازند گورپی از نوع II و II/III (حدواسط) است که توان تولید نفت و گاز دارد. همچنین بر اساس مقادیر HI (جدول ۲)، کروژن سازندهای کژدومی، گورپی و پابده به ترتیب از نوع III، II/III، و II است، که دقیقاً مطابق نتایج فوق است.

۲-۳- ماده آلی

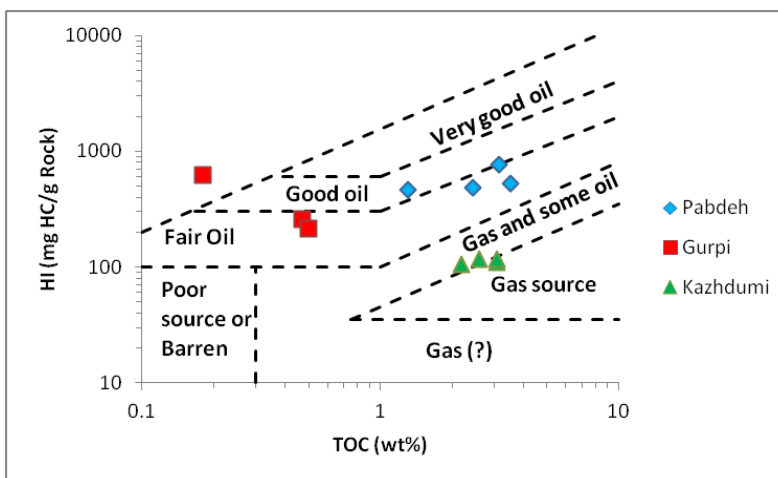
کروژن، ماده آلی انحلال‌ناپذیر در حلال‌های آلی است که از انواع ماسرال‌ها تشکیل شده است. منشأ کروژن از اجزای گیاهان، جانوران و باکتری‌ها است که در سنگ‌های رسوبی تشکیل می‌شوند (Batten, 1996). کیفیت یا نوع ماده آلی (کروژن) را می‌توان با استفاده از نمودار TOC در برابر S_2 (شکل ۸) مشخص کرد (Langford and



شکل ۸- نمودار مقادیر TOC در برابر S₂ برای تعیین کروژن

در ادامه با استفاده از نمودار تغییرات مقادیر TOC در برابر HI (شکل ۹) می‌توان غنای منشأ نمونه‌های بالغ را مشخص کرد (Jackson et al., 1985). همان‌گونه که در شکل ۹ مشخص است، سازند کژدمی توانایی زایش گاز را دارد، اما سازندهای گورپی و پابده توانایی تولید نفت را دارند با این تفاوت که غنای سازند پابده به مراتب بیشتر از سازند گورپی است، به گونه‌ای که سازند گورپی در محدوده نفت مناسب قرار گرفته اما سازند پابده

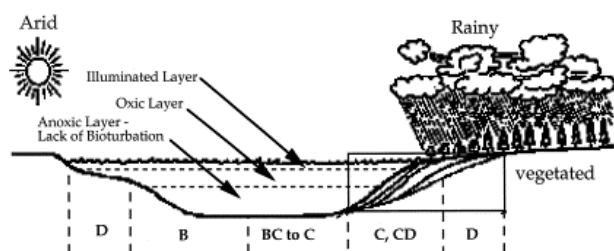
در محدوده نفت مناسب تا نفت خوب واقع شده است. در مجموع بر اساس مقادیر نسبت S₁/TOC در سازندهای مورد مطالعه، که این مقادیر بیشتر از ۰/۱ است، نشان می‌دهد که این سازندها فقط زایش نفت داشته‌اند، در صورتی که اگر این مقدار کمتر از ۰/۱ باشد، بیانگر زایش گاز است (Hunt, 1995).



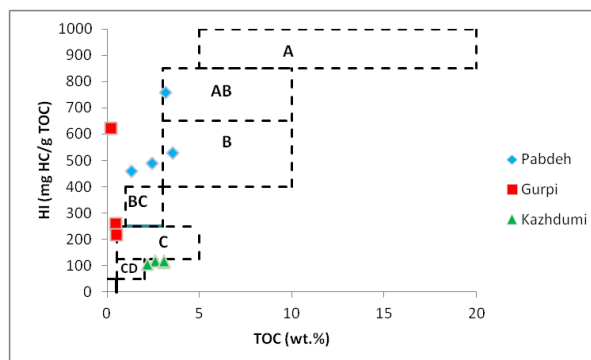
شکل ۹- نمودار TOC در برابر HI برای تعیین غنای سنگ منشأ

متوسط که رسوبات حالت متورق داشته تا محیط اکسیدی با رسوبگذاری نسبتاً سریع، نهشته شده و توان زایش نفت، میعانات و گاز را دارد. سازند پابده دارای محدوده B تا AB است، که بیانگر آن است که غالب مواد آلی موجود در آن از نوع نامتبلور است، که به‌طور معمول مواد تخریبی نیز موارد آن شده است و گاهی مواد گیاهی زیادی در آن یافت می‌شود، که در محیط پیشرونده نسبتاً احیایی دریایی با عمق کم تا متوسط که رسوبات حالت متورق داشته، رسوبگذاری کرده و توانایی زایش نفت را دارد. بنابراین مطالب ذکرشده تأییدکننده نوع کروژن تعیین‌شده برای سازندهای کژدمی، گورپی و پابده در میدان نفتی پارس است. در شکل ۱۱ و جدول ۳، ویژگی‌ها و موقعیت هر رخساره نشان داده شده است.

با استفاده از نمودار تغییرات مقادیر TOC در برابر HI (شکل ۱۰)، نوع رخساره آلی (Jones, 1987) سازندهای کژدمی، گورپی و پابده در میدان نفتی پارس تعیین شد. همان‌گونه که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، سازند کژدمی دارای محدوده CD است، که نشان‌دهنده آن است که غالب مواد آلی موجود در آن از نوع مواد آلی انتقال‌یافته و اکسیدشده است و در محیط دریایی پیش‌گودال (foredeep) در جلوی رشته‌کوه‌های در حال بالاآمدن، رسوب کرده و توان زایش گاز خشک به‌طور متوسط را دارد. سازند گورپی دارای محدوده B تا C است، که نشان می‌دهد بیشتر مواد آلی موجود در آن عموماً از نوع نامتبلور تا مواد تخریبی مقداری اکسیدشده، است و در محیط دریایی پیشرونده نسبتاً کاهیده (احیایی) با عمق کم تا



شکل ۱۱- گسترش و موقعیت رخساره‌های آلی در حوضه رسوبی



شکل ۱۰- نمودار TOC در برابر HI برای تعیین رخساره آلی

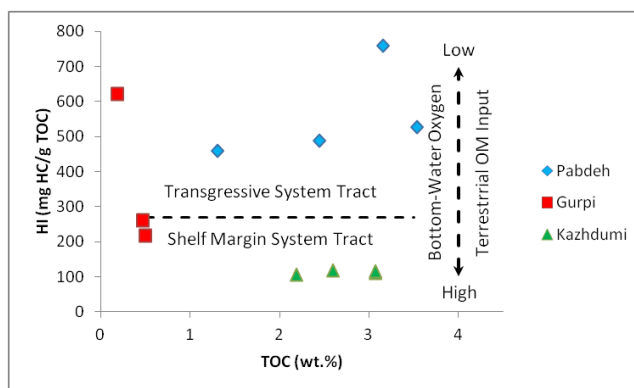
جدول ۳- رخساره آلی: این مواد اولیه، محیط رسوبی و ویژگی‌های آنها

ORGANIC FACIES	Dominant Organic Matter	Primary Organisms	Depositional Environments	Primary Products
A	Algal, amorphous	Botryococcus, Tasmanites	Lacustrine, persistent anoxia, stratified H ₂ O. Warm humid climate	OIL
AB	Amorphous, highly fluor. Minor terrestrial input	Conspicuous Tasmanites	Persistent anoxia, transgressive, warm-equable climate. Well laminated	OIL
B	Amorphous, common. terrestrial input	Conspicuous Tasmanites during K. Marine/non-marine algae & associated bacteria	Less persistent anoxia marine or lacustrine. Transgressive seas shallow-medium depths. Laminated	OIL
BC	Mixed; some oxidation. Partially oxidized during K. Algal	Variable algal input. Diverse	Terrestrial & marine OM. Pro-delta muds-outer shelf, upper continental slopes. rapid deposition in Oxidic H ₂ O. Rapid vertical variations	LIQUIDS and GAS
C	Terrestrial; some oxidation	Telinite & Colinite. Low amounts of spores, cuticles & resinite	Oxidic H ₂ O-Moderate rapid deposition in anoxic conditions	GAS Prone
CD	Oxidized; reworked Organic Matter	Varying amounts terrestrial & reworked OM. Some fine grain amorphous OM of unknown origin.	Marine fore-deeps in front of rising mountain ranges	Moderate DRY GAS capacity
D	Highly oxidized	Dominant inertinite. Highly oxidized or re-deposited residual OM.	Deep ocean to terrestrial	DRY GAS only at high maturity

در این شکل دیده می‌شود، سازند کژدمی تماماً در شرایط پسروری (Shelf Margin System Tract) نهشته شده (رخساره CD) و مقدار اکسیژن در آن بالا بوده (شرایط اکسیدی)، و مواد آلی آن از مناطق تخریبی وارد حوضه شده است (کروژن III)، در صورتی که سازند پاینده در یک محیط کاملاً پیش‌رونده رسوب کرده (رخساره B و AB) و مواد آلی آن مختص مناطق دریایی است (کروژن II)، و زمان رسوبگذاری شرایط کاهیده (احیایی) بر محیط حاکم بوده است (مقدار اکسیژن پایین). اما سازند گورپی در یک محیط کاملاً متغیر نسبتاً پسرورنده تا پیش‌رونده، رسوب کرده و موجب متغیربودن مواد آلی موجود در آن شده است (کروژن II/III تا II).

از نکات قابل توجه در نمودار رخساره آلی (شکل ۱۰) این است که سازندهای گورپی و پاینده دارای محدوده‌های مختلفی از رخساره آلی هستند، که علت آن می‌تواند به دلیل متغیر بودن شرایط محیطی در زمان نهشته‌شدن این سازندها باشد. لازم به ذکر است که این حالت در سازند گورپی به خوبی مشاهده شده و نشان‌دهنده پسروری زیادی در سطح دریا در زمان رسوب‌گذاری این سازند است، این در حالی است که سازندهای کژدمی و پاینده دارای شرایط پایدارتری نسبت به سازند گورپی است. این نتیجه در نمودار TOC در برابر HI (شکل ۱۲) نیز مشاهده می‌شود (Dean et al., 1986; Pasley et al., 1991). همان‌گونه که

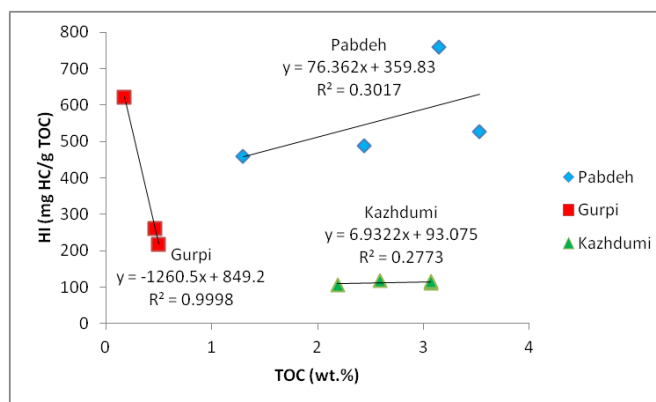
بنابراین این امر سبب شده است که در زمان رسوب گذاری سازند گورپی، شرایط نسبتاً اکسیدی تا کاهش بر محیط رسوبی حکم فرما باشد.



شکل ۱۲- نمودار TOC در برابر HI در شناسایی شرایط رسوب گذاری (Pasley et al., 1991)

بالاست، که این موضوع بیانگر شرایط کاهش و حفظ شدن ماده آلی در آن نمونه‌ها، در زمان نهشته شدن است. بنابراین با توجه به شکل ۱۲، سازند پابده به دلیل داشتن مقادیر بالاتر HI و TOC نسبت به سازند کژدمی، در شرایط کاهنده تری نهشته شده است. اما در مورد سازند گورپی، این شرایط صدق نمی‌کند و نشان دهنده شرایط اکسیدی و از بین ماده آلی در زمان رسوب گذاری آن است.

به طور کلی، نمونه‌هایی با مواد آلی (کروژن) یکسان، باید دارای HI ثابت باشند (Langford and Blanc-Valleron, 1990). با این حال، مشاهده شده است که افزایش مقادیر HI با افزایش مقادیر TOC همراه است (Katz, 1983). این مطلب در مورد نمونه‌های سازندهای کژدمی و پابده کاملاً مشخص است (شکل ۱۳). به گونه‌ای که نمونه‌هایی که دارای مقادیر بالایی TOC هستند، مقادیر HI نیز در آن نمونه‌ها



شکل ۱۳- نمودار مقادیر TOC در برابر HI به منظور شناسایی شرایط محیط رسوب گذاری

مقادیر T_{max} و سازند پابده نیز با داشتن کمترین عمق تدفین دارای پایین ترین مقادیر T_{max} هستند. بنابراین با توجه به مقادیر T_{max} بخش‌هایی از سازند گورپی به همراه سازند کژدمی وارد پنجره نفت‌زایی و بلوغ گرمایی شده‌اند ($T_{max} > 435^{\circ}C$).

همچنین بیشترین و کمترین مقدار PI به ترتیب ۰/۳۵ و ۰/۰۸ است، که این نیز مانند مقادیر T_{max} مربوط به سازندهای کژدمی و پابده است. بنابراین با توجه به مقادیر PI بخش‌هایی از سازندهای پابده و گورپی به همراه سازند کژدمی وارد پنجره نفت‌زایی و بلوغ گرمایی شده‌اند ($PI > 0.1$).

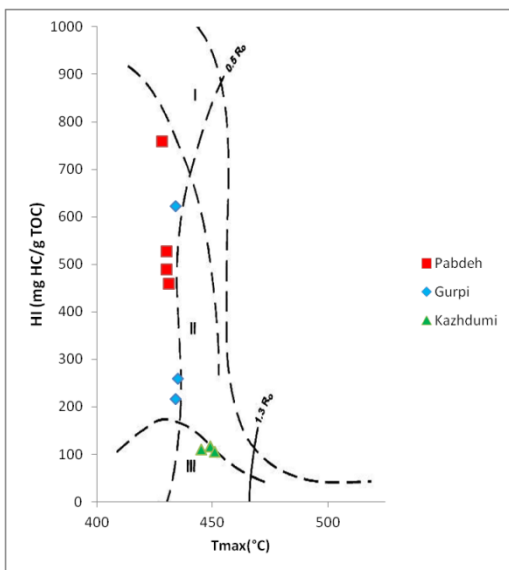
محدوده بلوغ T_{max} ، برای انواع مختلف مواد آلی متفاوت است (Tissot and Welte, 1984; Peter, 1986; Bordenave, 1993). محدوده تغییرات T_{max} برای کروژن نوع I، محدود است، اما برای کروژن نوع دوم، گسترده و برای کروژن نوع III، خیلی گسترده است که علت آن

۳-۳- بلوغ گرمایی

مقادیر T_{max} و شاخص تولید (PI) حاصل از پیرولیز راک-اول (جدول ۱) می‌تواند مانند بازتابش ویتربیت (R_o) برای برآورد بلوغ گرمایی استفاده شود. تغییر در پارامترهای گرمایی مواد آلی در درجه اول به شرایط زمان/دما و تا حدودی به نوع ماده آلی، بستگی دارد و تقریباً می‌تواند بیانگر مرحله زایش نفت باشد. بنابراین برای بررسی و ارزیابی میزان بلوغ گرمایی سازندهای کژدمی، گورپی و پابده از انواع شاخص‌های بلوغ استفاده شد.

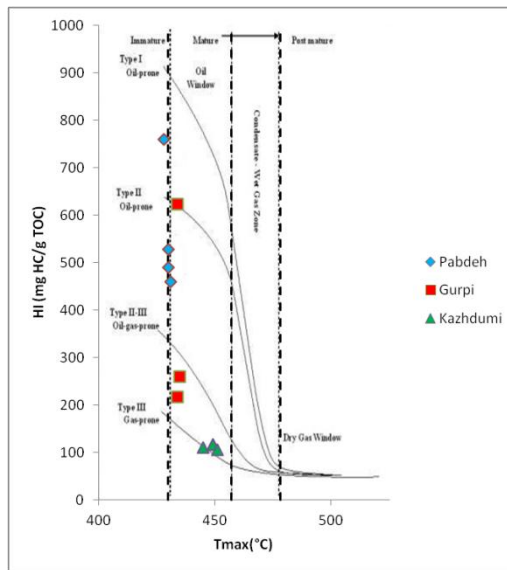
همان گونه که در جدول ۱ نشان داده شده است، بیشترین و کمترین مقدار T_{max} ، به ترتیب ۴۵۱ و ۴۲۸ درجه سانتی‌گراد و به ترتیب مربوط به سازندهای کژدمی و پابده است، که دلیل آن عمق قرارگیری سازندهاست، به گونه‌ای که سازند کژدمی با داشتن بیشترین عمق تدفین دارای بالاترین

et al., 1985a, b). همان گونه که در شکل ۱۶ مشخص است فقط سازند کژدومی وارد مرحله کاتائز و پنجره نفت زایی شده و در محدوده اوج بلوغ گرمایی واقع شده اند، اما سازندهای گورپی و پابده در حال خروج از مرحله دیائز و ورود به مرحله کاتائز هستند. همچنین این نمودار تأیید کننده کروژن های تعیین شده برای سازندهای مورد مطالعه است، به گونه ای که کروژن موجود در سازند کژدومی از نوع III، سازند گورپی از نوع II/III و سازند پابده از نوع II است.



شکل ۱۵- نمودار Tmax در برابر HI برای تعیین میزان بلوغ و نوع کروژن (برگرفته از Espitalié et al., 1985b)

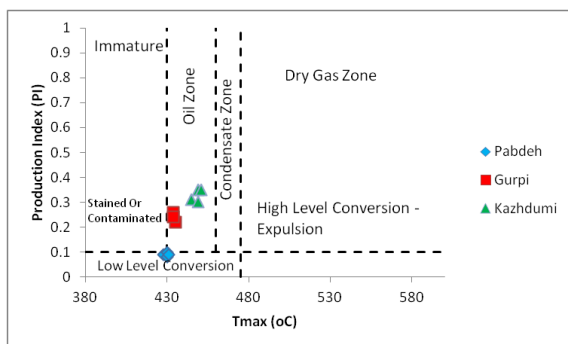
افزایش پیچیدگی ساختاری مواد آلی است (Tissot et al., 1987). محدوده پنجره بلوغ زایش نفت/امیانات از کروژن نوع اول و دوم، ۴۳۰-۴۷۰ درجه سانتی گراد و برای تولید گاز خشک از کروژن نوع سوم بیشتر از ۴۷۰ درجه سانتی گراد است (Tissot et al., 1987; Peters, 1986). بنابراین با استفاده از نمودار Tmax در برابر HI (شکل های ۱۴ و ۱۵)، افزون بر ارزیابی مقدار بلوغ گرمایی نمونه های مورد مطالعه، نوع ماده آلی (کروژن) موجود در آنها نیز تعیین شد (Tissot and Welte, 1984; Espitalié



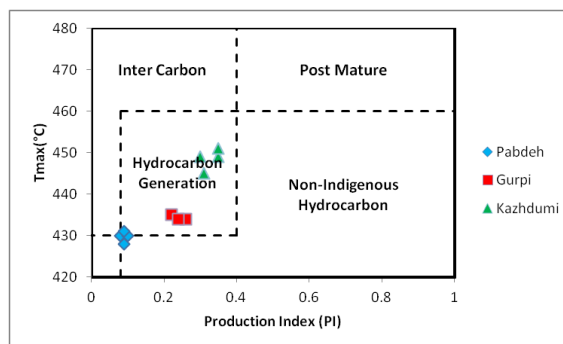
شکل ۱۴- نمودار Tmax در برابر HI برای تعیین میزان بلوغ و نوع کروژن (برگرفته از Peters, 1986)

سازند کژدومی وارد مرحله کاتائز و پنجره نفت زایی شده و در محدوده اوج بلوغ گرمایی واقع شده اند، ولی سازندهای گورپی و پابده در حال خروج از مرحله دیائز و ورود به مرحله کاتائز هستند.

همچنین با استفاده از نمودار PI در برابر Tmax (شکل های ۱۶ و ۱۷) می توان بلوغ و ماهیت هیدروکربن تولید شده توسط نمونه ها را تعیین کرد (Al-Ameri et al., 2009; Yalçın Erik et al., 2004). با توجه به موقعیت قرارگیری نمونه های مورد مطالعه در این نمودارها، مشخص شد که



شکل ۱۷- نمودار PI در برابر Tmax برای تعیین میزان بلوغ (برگرفته از Al-Ameri et al., 2009)



شکل ۱۶- نمودار PI در برابر Tmax برای تعیین میزان بلوغ و ماهیت هیدروکربن تولیدی (برگرفته از Yalçın Erik et al., 2004)

فرمول تبدیل مقادیر Tmax حاصل از پیرولیز راک-اول به بازتابش ویترنیت (Ro) استفاده شد (Jarvie et al., 2001):

$$R_o (\text{calculated}) = (0.0180) \times (T_{\text{max}}) - 7.16$$

یکی از پارامترهای دیگری که می توان بلوغ گرمایی سنگ های منشأ را تعیین کرد، استفاده از پارامتر بازتابش ویترنیت (Ro) است، اما به دلیل اینکه در این تحقیق مطالعات سنگ نگاری آلی صورت نگرفته، بنابراین از

از این فرمول می توان با احتیاط برای تبدیل T_{max} حاصل از پیرولیز راک-اوال به بازتابش ویتربیت استفاده کرد. این فرمول از یک مجموعه شیلی حاوی کروژن نوع II با گوگرد پایین مشتق شده است. این فرمول به خوبی برای بسیاری از کروژن های نوع II و نوع III قابل استفاده است، اما برای کروژن نوع I پاسخگو نیست (Jarvie et al., 2001). لازم به ذکر است که استفاده از این فرمول، برای نمونه هایی با بلوغ بسیار پایین و یا بالا، که در آن، مقادیر T_{max} کمتر از ۴۲۰ و بیشتر از ۵۰۰ درجه سانتی گراد است (به علت وجود کروژن غنی از گوگرد) و یا مواقعی که مقادیر S_2 کمتر از 0.5 mg

از این فرمول می توان با احتیاط برای تبدیل T_{max} حاصل از پیرولیز راک-اوال به بازتابش ویتربیت استفاده کرد. این فرمول از یک مجموعه شیلی حاوی کروژن نوع II با گوگرد پایین مشتق شده است. این فرمول به خوبی برای بسیاری از کروژن های نوع II و نوع III قابل استفاده است، اما برای کروژن نوع I پاسخگو نیست (Jarvie et al., 2001). لازم به ذکر است که استفاده از این فرمول، برای نمونه هایی با بلوغ بسیار پایین و یا بالا، که در آن، مقادیر T_{max} کمتر از ۴۲۰ و بیشتر از ۵۰۰ درجه سانتی گراد است (به علت وجود کروژن غنی از گوگرد) و یا مواقعی که مقادیر S_2 کمتر از 0.5 mg

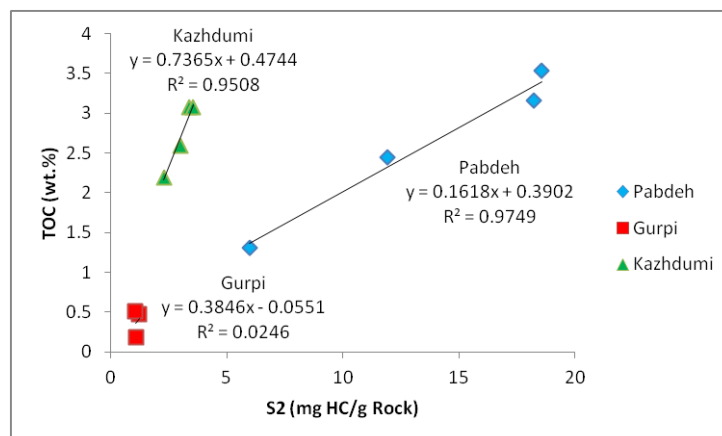
جدول ۴- مقادیر T_{max} و S_2 برای تعیین مقدار بازتابش ویتربیت ($R_o\%$) در نمونه های مطالعه شده

Formation	Depth (m)	TOC (wt. %)	S_2 (mg HC/g Rock)	T_{max} ($^{\circ}C$)	$R_o\%$ (calculated)
Pabdeh	2070	3.15	18.25	428	0.54
	2090	3.53	18.59	430	0.58
	2120	2.44	11.93	430	0.58
	2150	1.3	5.98	431	0.6
Gurpi	2300	0.47	1.22	435	0.67
	2330	0.5	1.08	434	0.65
	2370	0.18	1.12	434	0.65
Kazhdumi	4200	3.07	3.37	445	0.85
	4260	2.59	3.02	449	0.92
	4290	3.07	3.57	449	0.92
	4320	2.19	2.29	451	0.96

همان گونه که در شکل ۱۸ مشاهده می شود، خط رگرسیون، سازندهای کژدمی، گورپی و پابده، محور TOC را به ترتیب در نقاط ۰/۷۴، ۰/۰۶ و ۰/۳۹ قطع می کند، که بیانگر حضور کربن مرده در نمونه های مورد مطالعه است، به گونه ای که سازند کژدمی با بیشترین مقدار کربن مرده دارای بیشترین میزان بلوغ گرمایی است. بنابراین بر اساس شکل ۱۸ و با استفاده از رابطه یادشده، مقدار کربن زنده در سازندهای کژدمی، گورپی و پابده در چاه پارسی- ۳۵ تعیین شد (جدول ۵). همان گونه که در جدول ۵ مشاهده می شود، کربن آلی خنثی (مرده) در سازندهای کژدمی، گورپی و پابده به ترتیب ۰/۴۴ و ۱/۹۹ درصد است. میانگین کربن آلی زنده در سازندهای کژدمی، گورپی و پابده در چاه پارسی- ۳۵ به ترتیب ۰/۷۴، ۰/۰۶ و ۰/۳۹ درصد است، که با توجه به مقادیر کربن زنده، کربن مرده و نیز درجه بلوغ گرمایی، سازند کژدمی اصلی ترین و موثرترین سنگ منشأ در میدان نفتی پارسی است.

یکی دیگر از روش های تعیین درجه بلوغ مواد آلی، استفاده از نمودار S_2 در برابر TOC (شکل ۱۸) است. کاربرد این نمودار در حالت کلی برای تعیین میزان کربن مرده یا بی اثر (Inert Carbon) است که در پی افزایش بلوغ مواد آلی، میزان کربن مرده افزایش می یابد (Dahl et al., 2004). کربن مرده جزئی از کربن کروژن موجود در نمونه سنگی است که در پیرولیز راک-اوال به همراه کربن آلی، با عنوان TOC محاسبه می شود. کربن خنثی در واقع هیچ نقشی در توان هیدروکربن زایی ندارد. برای تعیین مقدار کربن آلی خنثی (TOC_{inert}) میزان TOC جذب شده توسط ماتریکس ($TOC_{observed}$)، از مقدار برخورد خط رگرسیون با محور TOC، کم می شود (Dahl et al., 2004). مقدار کربن آلی فعال (TOC_{live}) از رابطه زیر به دست می آید (Dahl et al., 2004):

$$TOC_{(live)} = TOC_{(observed)} - TOC_{(inert)}$$



شکل ۱۸- نمودار S₂ در برابر TOC برای محاسبه مقادیر کربن مرده و زنده

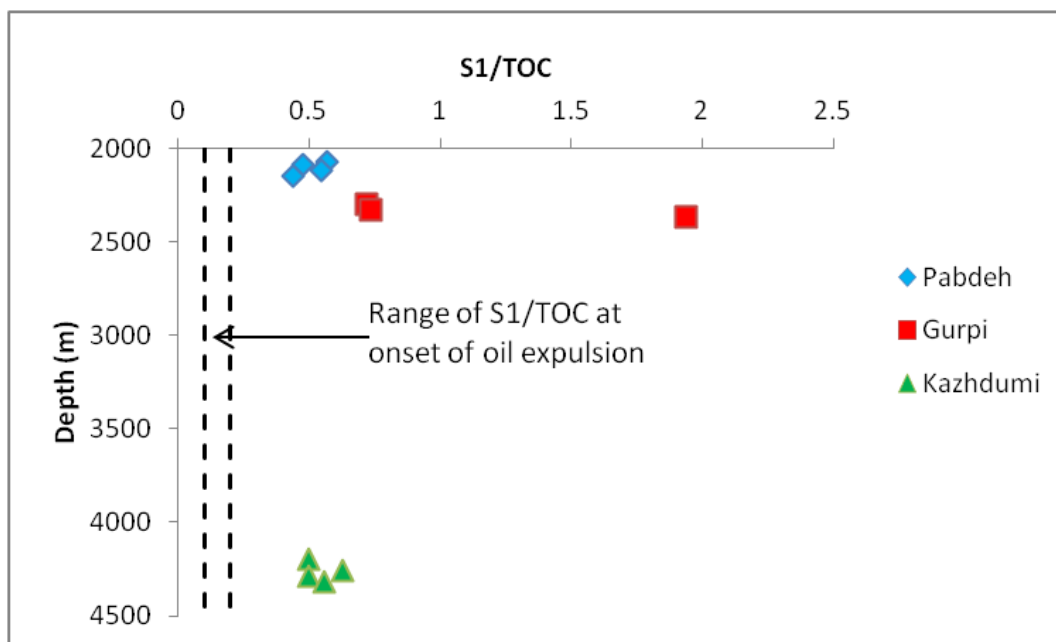
جدول ۵- محاسبه مقادیر کربن مرده و زنده برای سازندهای مورد مطالعه در چاه پارسی- ۳۵

Formation	TOC (observed)	S ₂ -TOC equation	TOC (inert)	TOC (live)
Pabdeh	2.61	$y = 0.1618x + 0.3902$	2.22	0.39
Gurpi	0.38	$y = 0.3846x - 0.0551$	0.44	-0.06
Kazhdumi	2.73	$y = 0.7365x + 0.4744$	1.99	0.74

است. مطالعات بیانگر آن است که کانی‌های رسی مهم‌ترین عامل جذب هیدروکربن هستند (Yalçın Erik et al., 2006). بنابراین براساس درصد سنگ‌شناسی سازندهای مورد مطالعه در این چاه، سازند پابده به دلیل مارنی، دارای رس بیشتری نسبت به دیگر سازندهاست، بنابراین این امر موجب قطع کردن محور منفی S₂ با مقادیر بیشتری، توسط خط رگرسیون است (شکل ۱۸) و این عامل منجر به جذب میزان بیشتری هیدروکربن در زمان پیرولیز می‌شود.

در ادامه با استفاده از نمودار S₁/TOC در برابر عمق (شکل ۱۹)، عمقی که در آن تراوش نفت از سنگ منشأ آغاز می‌شود، تعیین شد. مقدار S₁ با افزایش عمق افزایش می‌یابد و این روند تا هنگام زایش نفت ادامه دارد، در این حالت نسبت S₁/TOC باید ۰/۱-۰/۲ باشد (Smith, 1994). اگر این نسبت کمتر از ۰/۱ باشد، آن سنگ در هر مرحله از بلوغ که باشد، نمی‌تواند زایش نفت داشته باشد، هر چند که می‌تواند گاز تولید کند (Hunt, 1995). با استفاده از این نمودار (شکل ۱۹) مشخص شد که نسبت S₁/TOC در نمونه‌های سازندهای کژدمی، گورپی و پابده بیشتر از ۰/۲ است و در عمقی قرار دارند که به دلیل بلوغ گرمایی مناسب، شرایط لازم برای زایش نفت را دارند.

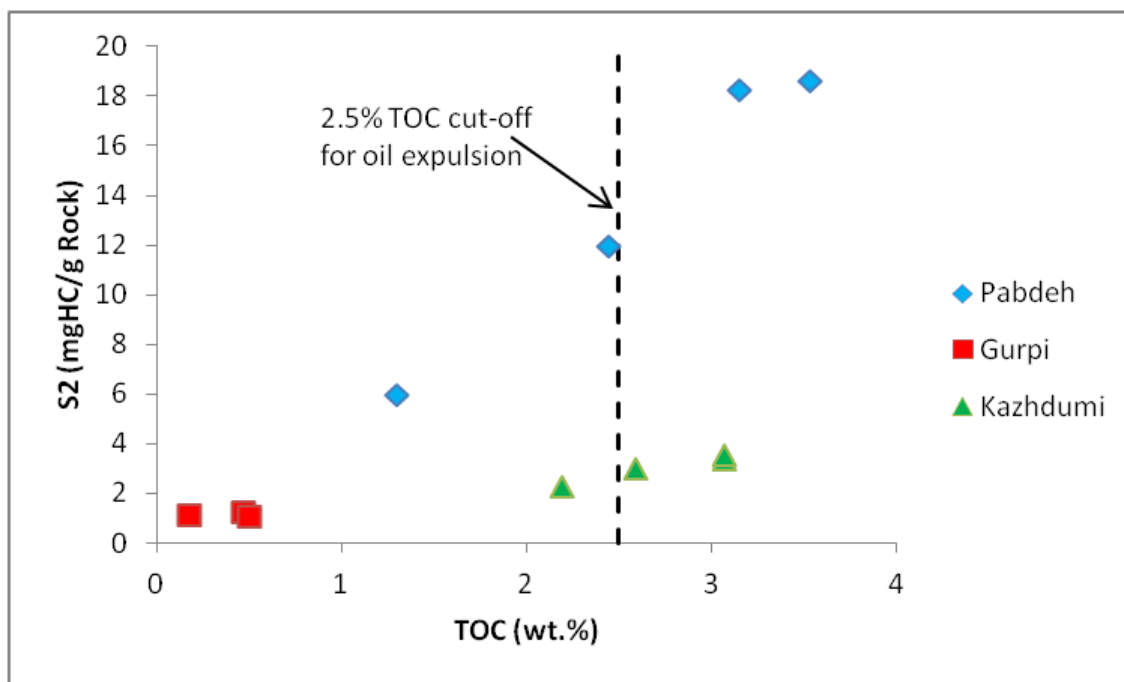
تاثیر ماتریکس می‌تواند S₂ حاصل از پیرولیز را کاهش دهد و در نتیجه باعث کاهش شاخص هیدروژن (HI) و کیفیت سنگ منشأ شود که علت آن، باقی ماندن هیدروکربن‌هایی با وزن مولکولی بالا در سنگ، در زمان رخداد فرایند شکست است (Espitalié et al., 1980). با استفاده از نمودار S₂ در برابر TOC (شکل ۱۸) می‌توان مقدار کمی ماتریکس را محاسبه کرد. در حالت ایده‌آل خط رگرسیون نمونه‌های مورد مطالعه باید از مبدأ عبور کند، اما این حالت تنها در مواردی استثنایی رخ داده و معمولاً خط رگرسیون محور TOC را قطع می‌کند. این جابه‌جایی، حاصل تاثیر کربن آلی خنثی (Cornford, 1994) و تاثیر ماتریکس (Langford and Blanc-Valleron, 1990) در طی پیرولیز است. همان‌گونه که در شکل ۱۸ مشاهده می‌شود، قطع شدن محور منفی S₂، توسط خط رگرسیون در سازندهای کژدمی و پابده در چاه پارسی- ۳۵، که مقدار آن به ترتیب ۰/۶۴ و ۲/۴۱ است، نشان‌دهنده تاثیر قابل توجه ماتریکس در این سازندها، به خصوص پابده است. براساس بررسی‌های انجام‌شده، سنگ‌شناسی سازند کژدمی شامل ۹۶/۳ درصد شیل و ۳/۷ درصد آهک، سازند گورپی ۲۸/۲ درصد شیل و ۷۱/۸ درصد آهک، و سازند پابده ۶۳/۹ درصد مارن و ۳۶/۱ درصد آهک



شکل ۱۹- نمودار S_1/TOC در برابر عمق، برای تعیین عمق زایش نفت (اقتباس از Smith, 1994)

زایش نفت را مشخص کرد (Reid, 2002). همان‌گونه که در شکل ۲۰ مشخص است، سازندهای مورد، هنوز در حال تراوش و زایش هیدروکربن هستند.

Lewan (1987) با استفاده از مشاهدات سنگ‌نگاری، تعیین کرد که سنگ‌هایی که کمتر از ۲/۵ درصد، TOC دارند، توانایی تشکیل شبکه پیوسته بی‌تومن برای تراوش ابتدایی و اصلی نفت را ندارند. بنابراین با استفاده از نمودار TOC در برابر S_2 (شکل ۲۰) می‌توان محدوده اتمام



شکل ۲۰- نمودار TOC در برابر S_2 ، برای تعیین محدوده اتمام زایش نفت (اقتباس از Reid, 2002)

نیز مقادیر S_1 و S_2 حاصل از پیرولیز راک-اوال در نمونه‌های انتخابی آنها به ترتیب برابر $۶/۰۴$ ، $۰/۷۸$ و $۱۳/۹۵$ تن هیدروکربن در هر متر مربع است که بر این اساس سازندهای کژدمی، گورپی و پابده در میدان نفتی پارس، به ترتیب سنگ‌هایی با توان متوسط، کم و زیاد هستند.

۴- تاریخچه تدفین و زمان زایش هیدروکربن

دو عامل زمان و دما، نقش مهمی در بلوغ ماده آلی دارند که خود به آهنگ فرونشست و رسوب‌گذاری بستگی دارد. در شرایطی که سرعت رسوب‌گذاری و نشست در حوضه رسوبی زیاد باشد، رسوبات حاوی مواد آلی سریع‌تر به شرایط بلوغ در تولید هیدروکربن می‌رسند. مدل‌سازی سنگ منشأ، روشی است که برای ارزیابی میزان پختگی سنگ منشأ به کار می‌رود. در این روش تغییرات سنگ منشأ در طول زمان زمین‌شناسی، مقدار و نوع هیدروکربن زایش‌شده و زمان هیدروکربن‌زایی، ارزیابی و محاسبه می‌شود. مهم‌ترین هدف مدل‌سازی تولید نفت و گاز، تعمیم داده‌های بلوغ موجود حاصل از چاه‌ها، به همه حوضه با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی و نیز بازسازی پیشرفت بلوغ در طی زمان براساس فرمول‌های ریاضی است (Bordenave, 1993).

در این مطالعه همان چاه پارس-۳۵ برای مدل‌سازی تاریخچه تدفین انتخاب شد. بر این اساس یک مدل تاریخچه تدفین برای این چاه با ورود لاگ‌های موجود، داده‌های سنگ‌شناسی و دمایی و با استفاده از نرم‌افزار WinBury، ایجاد شد. دمای ته چاه (BHT) از طریق سر لاگ و دمای سطح چاه (SHT)، ۸۰ درجه فارنهایت در نظر گرفته شد.

بر این اساس همان گونه که در شکل ۲۱ مشاهده می‌شود، سازند کژدمی از ۸۴ میلیون سال پیش (کرتاسه پسین) و در عمق ۲۱۸۰ متری از سطح زمین وارد پنجره بلوغ اولیه ($0.5-0.7 R_o$) شده است. با افزایش عمق تدفین و دما، این سازند از ۶۴ میلیون سال پیش و در عمق ۲۶۰۰ متری وارد پنجره بلوغ میانی ($0.7-1 R_o$) شده است. همچنین این سازند از ۱۲ میلیون سال پیش و در عمق ۴۴۵۰ متری وارد پنجره بلوغ نهایی ($1-1.3 R_o$) شده است. همچنین با توجه به شکل ۲۲، در چاه پارس-۳۵، سازندهای گورپی و پابده وارد پنجره بلوغ اولیه ($0.5-0.7 R_o$) شده‌اند. همچنین بخش‌های بالایی و میانی سازند کژدمی وارد پنجره بلوغ انتهایی ($1 R_o$) و بخش‌های زیرین آن وارد پنجره گاز تر ($1.3-2 R_o$) شده است. خط قرمز، نشان‌دهنده بلوغ به دست آمده از مدل‌سازی گرمایی است و به منظور تعیین میزان بلوغ سازندها با داده‌های واقعی R_o (علامت‌های مشخص شده در شکل ۲۲) که از نمونه‌های چاه به دست آمده است، تطبیق داده شده است.

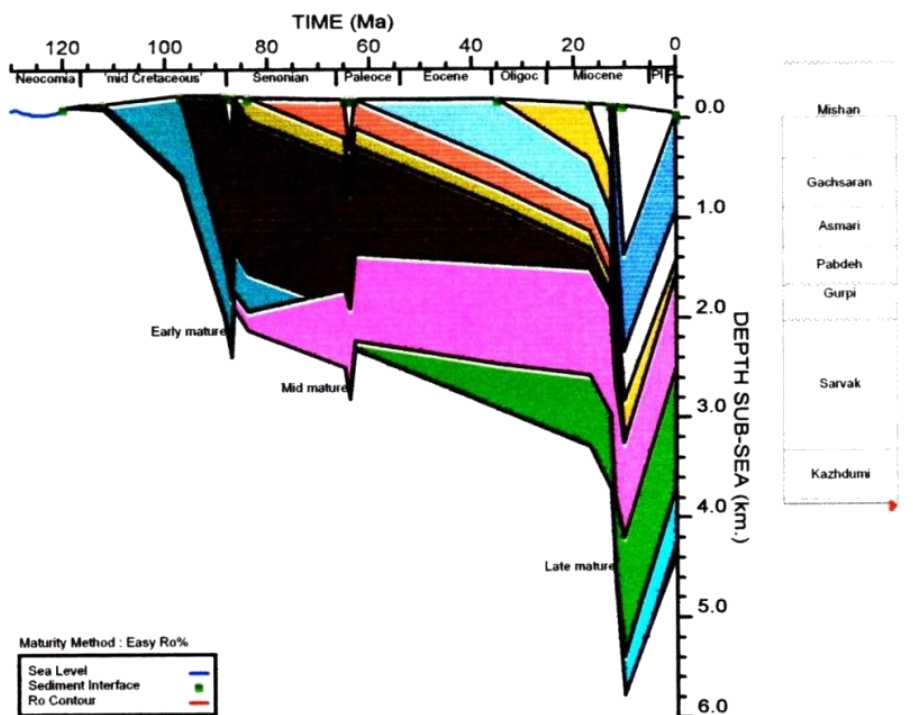
مطالعات نشان می‌دهد که همبستگی مثبتی بین اندازه شاخص پتانسیل منشأ (Source Potential Index; SPI) و گسترش مخازن وجود دارد (Demaison and Huizinga, 1991). شاخص پتانسیل منشأ (SPI) یا پتانسیل هیدروکربن جمعی، اندازه‌گیری شبیه به توان تولید میلیون بشکه در هر مایل مربع از سنگ منشأ صرف‌شده در یک سامانه نفتی است. با این حال، بازیابی نهایی نفت (غنای سنگ منشأ) به ازای هر واحد) و بزرگی نسبی راندمان بازیابی سامانه نفتی، لزوماً به طور مستقیم مربوط به مقدار نفت موجود از جدار سنگ منشأ صرف‌شده نیست. شاخص پتانسیل منشأ (SPI)، که ترکیبی از غنای سنگ منشأ و ضخامت خالص سنگ منشأ برای یک پارامتر واحد است، یک میانبر مناسب برای مقایسه پتانسیل نفت از سنگ‌های منشأ متنوع حاوی انواع کروژن غیر مشابه و برای برآورد تقریبی سریع ظرفیت شارژ منطقه‌ای است. پس از SPI، پیکربندی حوضه، مسیر مهاجرت، و مناطق تخلیه از عوامل مهم بعدی برای بازیافت نفت هستند (Demaison and Huizinga, 1991). ویژگی‌ها و کیفیت سنگ منشأ، از جمله ترکیب غلظت آلی، مدت زمان تولید نفت، ضخامت پنجره نفتی، عوامل سن سنگ منشأ، دینامیک، و نسبت خروج سیال است، و عوامل دیگری مانند نوع تله نفتی، سنگ‌های مخزن، سنگ‌های پوشش، و مواد آلی موجود در سنگ منشأ نشان می‌دهد که تأثیر زیادی بر راندمان بازیافت دارند (Magara, 1992).

شاخص پتانسیل منشأ، به عنوان بیشینه مقدار هیدروکربنی (در تن) که می‌تواند در یک ستون از سنگ منشأ با سطح یک متر مربع تولید کند، تعریف شده است. از آنجا که SPI اندازه‌گیری توان نفتی جمعی است، باید در نظر گرفت که این پارامتر تشخیص بین ظرفیت تولید نفت در مقابل تولید گاز نیست، و نیز به طور کامل مقدار کل نفت نخواهد شد، مگر اینکه سنگ منشأ به طور کامل هنگام تدفین، بالغ شده باشد. شاخص پتانسیل منشأ با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$SPI = \frac{h(S_1+S_2)\rho}{1000}$$

که در آن، SPI شاخص توان منشأ (تن هیدروکربن در هر متر مربع)، h ضخامت سنگ منشأ خالص (متر)، S_1+S_2 میانگین توان ژنتیکی (کیلوگرم هیدروکربن در هر تن سنگ)، و ρ چگالی سنگ منشأ (تن در هر متر مکعب) است. مقدار چگالی سنگ‌های منشأ $۲/۵$ تن در متر مکعب است. از آنجا که وسعت ناحیه‌ای برای تعیین حجم سنگ منشأ حیاتی است، دسته‌بندی SPI در سامانه‌های تخلیه جانبی شامل کم ($SPI < 1$)، متوسط ($2 \leq SPI < 7$) و زیاد ($SPI \geq 7$) است.

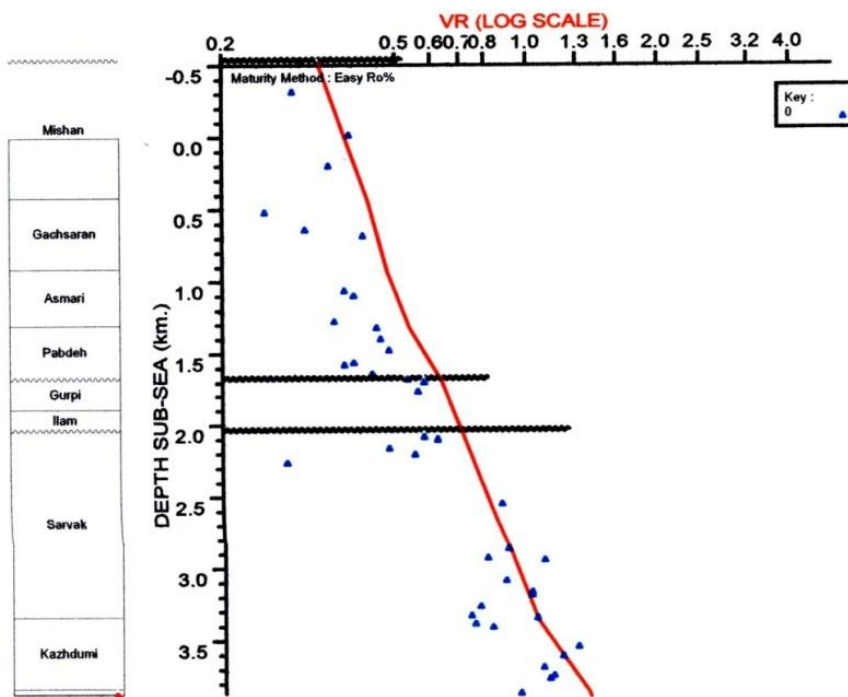
مقادیر SPI سازندهای کژدمی، گورپی و پابده در میدان نفتی پارس با توجه به ضخامت این سازندها که به ترتیب ۵۲۲ ، ۲۱۰ و ۳۷۱ متر است و



GEOHISTORY PLOT : Parsi - 35



شکل ۲۱- مدل سازی تاریخچه تدفین بازسازی شده برای چاه پارسی- ۳۵



OBSERVED vs COMPUTED MATURITY PLOT : Parsi - 35



شکل ۲۲- نمودار عمق در برابر بلوغ در چاه پارسی- ۳۵

نتیجه گیری

تقدیر و تشکر

بر اساس نتایج به دست آمده از پیرولیز راک-اوال سازندهای کژدمی، گورپی و پابده به ترتیب دارای پتانسیل هیدروکربنی خیلی خوب، فقیر، و خوب تا خیلی خوب هستند. ماده آلی (کروژن) موجود در کژدمی از نوع III (تخریبی)، گورپی از نوع II (دریایی) تا II/III (مخلوط)، و پابده از نوع II (دریایی) است، که بر این اساس سازندهای کژدمی، گورپی، و پابده به ترتیب توانایی زایش گاز، نفت تا نفت/گاز، و نفت را دارند. بر اساس غنای منشأ، سازند کژدمی دارای غنای گازی است، اما سازندهای گورپی و پابده دارای غنای نفت ضعیف تا نفت خوب هستند. سازند کژدمی دارای رخساره آلی CD است، که معرف مواد آلی انتقال یافته اکسید شده که در محیط دریایی پیش‌گودال در جلوی رشته کوه‌های در حال بالا آمدن، رسوب کرده است. سازند گورپی دارای رخساره آلی B تا C است، که بیانگر مواد آلی نامتبلور تا مواد تخریبی مقداری اکسید شده است که در محیط دریایی پیش‌رونده نسبتاً کاهیده با عمق کم تا متوسط تا محیط اکسیدی با رسوب گذاری نسبتاً سریع، نهشته شده است. سازند پابده با رخساره آلی B تا AB، نشان دهنده مواد آلی نامتبلور است، که به طور معمول مواد تخریبی و گاه مواد گیاهی در آن مشاهده شده و در محیط پیش‌رونده نسبتاً کاهیده دریایی با عمق کم تا متوسط رسوب کرده است. بر اساس مطالعات انجام شده، سازند کژدمی، در اوج بلوغ گرمایی و پنجره نفت‌زایی واقع شده است، اما سازندهای گورپی و پابده در حال ورود به مرحله کاتائز هستند. بر اساس محاسبات انجام شده، میانگین کربن آلی خنثی در سازندهای کژدمی، گورپی و پابده به ترتیب ۲/۲۲، ۰/۴۴ و ۱/۹۹ درصد است. همچنین سازند پابده به دلیل سنگ‌شناسی مارنی، خود بیشترین تأثیر ماتریکس را به خود اختصاص داده است. مقادیر شاخص پتانسیل منشأ برای سازندهای کژدمی، گورپی و پابده در میدان نفتی پارسی، به ترتیب برابر ۰/۷۸، ۶/۰۴ و ۱۳/۹۵ تن هیدروکربن در هر متر مربع است که بر این اساس این سازند به ترتیب سنگ‌هایی با پتانسیل متوسط، کم و زیاد هستند. مطالعات انجام شده حاکی از آن است که سازندهای کژدمی، گورپی و پابده در عمقی قرار گرفته‌اند که شرایط لازم برای زایش نفت را دارند و هنوز در حال تراوش و زایش هیدروکربن هستند. بازسازی تاریخچه تدفین چاه پارسی - ۳۵ نشان داد که سازند کژدمی در ۸۴ میلیون سال پیش و در عمق ۲۶۰۰ متری، وارد پنجره بلوغ اولیه و از ۶۴ میلیون سال پیش و در عمق ۴۴۵۰ متری، وارد پنجره بلوغ نهایی شده است، به گونه‌ای که بخش‌های بالایی و میانی سازند کژدمی در پنجره بلوغ انتهایی و بخش‌های زیرین آن در پنجره گاز تر قرار گرفته است. همچنین سازندهای گورپی و پابده وارد پنجره بلوغ اولیه شده‌اند. در آخر با توجه به بررسی‌های انجام شده، از میان سازندهای کژدمی، گورپی و پابده در میدان نفتی پارسی، سازند کژدمی به عنوان اصلی‌ترین و موثرترین سنگ منشأ این میدان نفتی معرفی می‌شود.

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول است. نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از پژوهشگاه صنعت نفت برای در اختیار قرار دادن اطلاعات مورد نیاز این تحقیق، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

مراجع

- مطیعی، ه.، ۱۳۷۴، "زمین‌شناسی ایران، زمین‌شناسی نفت زاگرس" سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۴۳ صفحه
- Al-Ameri, T. K., Al-Khafaji, A. J., and J. Zumberge, 2009,** "Petroleum System Analysis of The Mishrif Reservoir in the Ratawi, Zubair", *North and South Rumaila Oil Fields, Southern Iraq: GeoArabia*, v. 14, P. 91-108.
- Barker, C., 1974,** "Pyrolysis techniques for source-rock evaluation", *AAPG Bulletin*, v., 58, P. 2349-2361.
- Batten, D.J., 1996,** "Palynofacies and Palaeo Environmental Interpretation. In: J., Jansonius, and D.C., Mcgregor, (Eds.), *Palynology: Principals and Applications*, American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas, Texas", v. 3, P. 1011-1064.
- Bordenave, M. L., 1993,** "Applied Petroleum Geochemistry", *Editions Technip, Paris*, P.524.
- Bordenave, M.L., 2002,** "The Middle Cretaceous to Early Miocene Petroleum System in the Zagros Domain of Iran, and its Prospect Evaluation", *AAPG Annual Meeting, March 10-13, 2002, Houston, Texas*.
- Bordenave, M.L., and 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", *Geological Society, London, Special Publications*, 330: P.291-353.
- Cornford, C., 1994,** "The Mandal-Ekofisk (!) Petroleum System in the Central Graben of the North Sea" In: *L. B., Magoon, and W. G., Dow, (Eds.), The Petroleum System-From Source to Trap*, American Association of Petroleum Geologists Memoir, v. 60, P. 537-571.
- Dahl, B., J., Bojesen-Koefoed, A., Holm, H., Justwan, E., Rasmussen, E., Thomsen, 2004,** "A New Approach to Inte-

- interpreting Rock-Eval S2 and TOC Data for Kerogen Quality Assessment: Organic Geochemistry", v. 35, P. 1461-1477.
- Dean, W. E., M. A., Arthur, and G. E., Claypool, 1986**, "Depletion of 13C in Cretaceous Marine Organic Matter: Source, Diagenetic, or Environmental Signal: Marine Geology", v. 70, P. 119-157.
- Demaison, G.J., Huizinga, B.J., 1991**, "Genetic Classification of Petroleum Systems. American Association of Petroleum Geologists Bulletin", V., 75, P. 1626-164.
- Espitalié, J., G., Deroo, and F., Marquis, 1985a**, "Rock-Eval Pyrolysis and its Applications (Part One): Oil & Gas Science and Technology-Revue de l'Institut Français du Pétrole", v. 40, P. 563-579.
- Espitalié, J., G., Deroo, and F., Marquis, 1985b**, "Rock-Eval Pyrolysis and its Applications (Part Two): Oil & Gas Science and Technology-Revue de l'Institut Français du Pétrole", v. 40, P. 755-784.
- Espitalié, J., M. Madec, B. Tissot, 1980**, "Role of Mineral Matrix in Kerogen Pyrolysis: Influence on Petroleum Generation and Migration: American Association of Petroleum Geologists Bulletin", v. 4, P. 59-66.
- Hakimi, M.H., W.H., Abdullah, and M.R., Shalaby, 2010**, "Source Rock Characterization and Oil Generating Potential of The Jurassic Madbi Formation, Onshore East Shabowah Oilfields, Republic of Yemen: Organic Geochemistry", v. 41, P. 513-521.
- Hakimi, M.H., W.H., Abdullah, and M.R., Shalaby, 2012**, "Madbi-Biyadh/Qishn (!) petroleum system in the onshore Masila Basin of the Eastern Yemen. Marine and Petroleum Geology", 35, P.116-127.
- Huang, B., X. Xiao, M. Zhang, 2003**, "Geochemistry, grouping and origins of crude oils in the Western Pearl River Mouth Basin, offshore South China Sea: Organic Geochemistry", v. 34, P. 993-1008.
- Hunt, J.M., 1995**, "Petroleum Geochemistry and Geology (Second Edition): W.H. Freeman and Company", New York, P.743.
- Jackson, K.S., P.J., Hawkins, and A.J.R., Bennett, 1985**, "Regional Facies and Geochemical Evolution of The Southern Denison Trough", *APEA Journal*, v. 20, P.143-158.
- Jarvie, D. M., B. L., Claxton, F., Henk, and J. T., Breyer, 2001**, "Oil and Shale Gas from the Barnett Shale, Fort Worth Basin, Texas: American Association of Petroleum Geologists Bulletin", v. 85, A100.
- Jones, R.W., 1987**, "Organic facies. In: J., Brooks, and D., Welte (Eds), Advances In Petroleum Geochemistry", *Academic Press, London*, v. 2, P. 1-90.
- Katz, B. J., 1983**, "Limitations of Rock-Eval Pyrolysis for Typing Organic Matter: Organic Geochemistry", v. 4, P. 195-199.
- Langford, F.F., M.M., Blanc-Valleron, 1990**, "Interpreting Rock-Eval pyrolysis data using graphs of pyrolyzable hydrocarbons vs. total organic carbon: American Association of Petroleum Geologists Bulletin", v. 74, P. 799-804.
- Lewan, M. D., 1987**, "Petrographic Study of Primary Petroleum Migration in the Woodford Shale and Related Rock Units", In: B. Doligez, (Ed.), *Migration of Hydrocarbons in Sedimentary Basins, Editions Technip, Paris*, P. 113-130.
- Magara, 1992**, "Efficiency of petroleum concentration in major petroliferous basins", *Journal of Petroleum Geology*, v. 15, P. 71-86.
- Page, M.M., and C., Kuhnel, 1980**, "Rock Eval Pyrolysis as source rock using programmed pyrolysis", *AAPG Bulletin*, v., 64, P. 762.
- Pasley, M., W. Gregory, and G. F. Hart, 1991**, "Organic Matter Variations in Transgressive and Regressive shales: Organic Geochemistry", v. 17, P. 483-509.
- Peters, K. E., 1986**, "Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis: American Association of Petroleum Geologists Bulletin", v. 70, P. 318-29.
- Peters, K.E. and M.R. Cassa, 1994**, "Applied source rock geochemistry", In: L. B. Magoon and W.G. Dow (Eds), *The Petroleum System-From Source to Trap, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa*, P. 93-117.
- Smith, J. T., 1994**, "Petroleum System Logic as an Exploration Tool in a Frontier Setting", In: L. B., Magoon, and W. G., Dow, (Eds.), *The Petroleum System-From Source to Trap, American Association of Petroleum Geologists Memoir*, v. 60,

P. 25-49.

Snowdon, L. R., 1995, "Rock-Eval Tmax Suppression: Documentation and Amelioration: American Association of Petroleum Geologists Bulletin", v. 79, P. 1337-1348.

Tissot, B. P. and D. H., Welte, 1984, "Petroleum Formation and Occurrence (Second Edition): Springer-Verlag, Berlin", P.699.

Tissot, B. P., R., Pelet, and P. H., Ungerer, 1987, "Thermal

History of Sedimentary Basins, Maturation Indices, and Kinetics of Oil and Gas Generation: American Association of Petroleum Geologists Bulletin", v. 71, P. 1445-1466.

Yalçın Erik, N., Özçelik, O., Altunsoy, M., İlleez, H., 2004, "Source Rock Hydrocarbon Potential Middle Triassic-Lower Jurassic Cudi Group Units in the Eastern Part of the SE Turkey", *International Geology Review*, v. 10, P. 163-171.

