

ارزیابی توان هیدروکربن‌زایی سنگ مادر سرگلو در گستره جنوب غرب ایران و شمال غرب خلیج فارس

احسان حسینی^{۱*}، صادق براتی بلداجی^۲

۱- استادیار، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

(دریافت: فروردین ۱۳۹۹، پذیرش: تیر ۱۳۹۹)

چکیده

سازند سرگلو با سن ژوراسیک میانی در جنوب غرب ایران، شامل شیل‌های خاکستری و آهک‌های رسی نازک لایه است. خصوصیات سنگ‌شناسی، پتروفیزیکی و ژئوشیمیایی، این سازند را به عنوان یک سنگ مادر محتمل در جنوب غرب ایران مطرح می‌کند. پژوهش حاضر به بررسی توان هیدروکربن‌زایی سازند سرگلو و چگونگی توزیع کمیت، کیفیت و بلوغ مواد آلی آن در نواحی لرستان، دشت آبادان، فروافتادگی دزفول و شمال غرب خلیج فارس می‌پردازد. بدین منظور، اطلاعات پیرولیز راکا اول ۳۶۵ نمونه به همراه انعکاس ویتروینایت ۳۱ نمونه از ۱۶ میدان و رخنمون مختلف مورد ارزیابی ژئوشیمیایی قرار گرفت. پارامترهای ژئوشیمیایی، توان هیدروکربن‌زایی بسیار خوبی را برای سازند سرگلو در گذشته و اکنون در نواحی مختلف منطقه مورد مطالعه بیان می‌کنند. بالاترین کربن آلی کل و شاخص هیدروژن مربوط به شرق حوضه لرستان است و به سمت غرب حوضه لرستان و جنوب منطقه مورد مطالعه از این مقادیر کاسته می‌شود. این روند دقیقاً عکس روند بلوغ این سازند در منطقه مورد مطالعه است. سازند سرگلو در قسمت شرقی حوضه لرستان نابالغ یا در اوایل بلوغ است و به سمت غرب و جنوب غرب بلوغ افزایش یافته است. این سازند در غرب حوضه لرستان در اواخر پنجره نفتی یا اوایل پنجره گازی، و در فروافتادگی دزفول و دشت آبادان، در اوج یا اواخر پنجره نفتی قرار دارد.

کلمات کلیدی

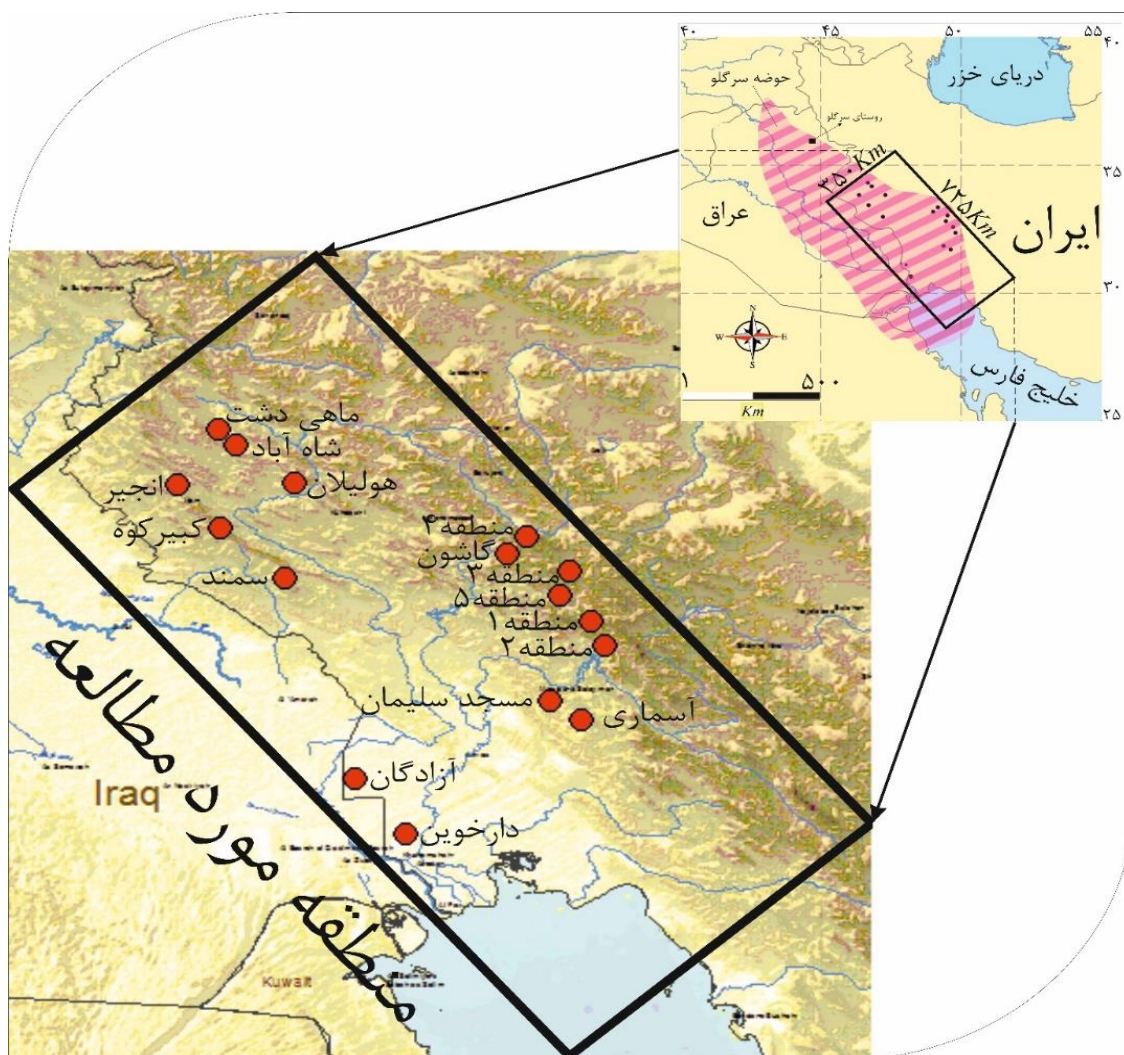
انعکاس ویتروینایت، پتانسیل هیدروکربن‌زایی، پیرولیز راکا اول، سازند سرگلو، سنگ مادر

*عهده‌دار مکاتبات: Ehosseiny@yazd.ac.ir

۱- مقدمه

ایران و شمال غرب خلیج فارس قرار گرفته است. اگرچه تاکنون چندین پژوهش به ارزیابی توان هیدروکربن‌زایی سازند سرگلو در جنوب غرب ایران پرداخته است [۸-۲]. اما همه آنها سازند سرگلو را در یک چاه و یا یک میدان، مورد مطالعه قرار داده‌اند. هدف این مطالعه، بررسی توان هیدروکربن‌زایی سازند سرگلو و تعیین روند تغییرات کمیت، کیفیت و بلوغ این سازند در گستره جنوب غرب ایران (ناحیه لرستان، فروافتادگی دزفول و دشت آبادان) و شمال غرب خلیج فارس در منطقه‌ای به طول ۷۲۵ و عرض ۳۵۰ کیلومتر است (شکل ۱). نتایج این پژوهش می‌تواند کمک شایانی به تحلیل سیستم‌های نفتی و مدلسازی آنها در مناطقی مانند شمال غرب خلیج فارس که به علت عمق زیاد این سازند، نمونه‌های بسیار محدودی در دسترس است، نماید.

مناطق جنوب غرب ایران و شمال غرب خلیج فارس از غنی‌ترین مناطق جهان از نظر وجود ذخائر نفت و گاز محسوب می‌شود. ذخیره قابل استحصال نفت و گاز تا سال ۲۰۱۰ در این مناطق به ترتیب شامل ۱۳۷/۶ میلیارد بشکه و ۱۰۴۵ تریلیون فوت مکعب است [۱]. سیستم‌های نفتی متعددی در جنوب غرب ایران فعال است و سازندهای گوناگونی می‌توانند به عنوان سنگ مادر اصلی یا فرعی این سیستم‌های نفتی مطرح باشند. سازند ژوراسیک میانی سرگلو یکی از مهم‌ترین سنگ‌های مادر سیستم نفتی ژوراسیک حوضه زاگرس در جنوب غرب ایران و مناطق همجوار عربی است. این سازند به علت ژرفای زیاد و دسترسی محدود نسبت به دیگر سنگ مادرهای حوضه زاگرس کمتر مورد ارزیابی ژئوشیمیایی در جنوب غرب



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه سازند سرگلو (هاشورهای قرمز در نقشه محدوده حوضه رسوبی سرگلو را در ایران و عراق نشان می‌دهد).

۲- زمین‌شناسی

و نحوه احاطه شده است (شکل ۲). این سازند در چاه‌های خلیج فارس و دزفول با بخش موند هم سن است. در فارس ساحلی و دزفول جنوبی، سازند سرگلو به سازند سورمه تبدیل می‌شود. بخش بالایی آن سازند با نبود رسوبی و ناپوستگی مشخص می‌شود [۱۰].

وجود شرایط احیایی در زمان نهشته شدن سازند سرگلو باعث شده این سازند به عنوان یک سنگ مادر بالقوه یا بالفعل حوضه رسوبی زاگرس در جنوب غرب ایران، شمال غرب خلیج فارس و مناطق همجوار عربی مطرح باشد. در قالی‌کوه، اُشتران‌کوه و زردکوه، سرگلو دارای ویژگی شیل‌های نفتی است و از هر تن آن حدود ۲۰ تا ۲۵ گالن نفت با حرارت دادن سنگ می‌توان به دست آورد [۱۱]. در سال‌های اخیر نیز شیل‌های غنی از مواد آلی این سازند در برخی از مناطق زاگرس مانند لرستان به علت وجود کمیت، کیفیت و بلوغ مناسب مواد آلی به عنوان شیل‌های گازی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

رسوبگذاری در ژوراسیک با نهشته شدن کربنات‌ها و تبخیری‌های لیاث آغاز شده و با رسوب شیل‌ها و کربنات‌های سرگلو در ژوراسیک میانی ادامه می‌یابد [۹]. حوضه وسیع و عمیق سرگلو در ژوراسیک میانی قسمتی از جنوب غرب ایران، شمال غرب خلیج فارس و قسمت وسیعی از عراق را در بر می‌گیرد و مرز آن با کربنات‌های مناطق کم عمق تا سبخایی سازند سورمه و سازند دهرما مشخص می‌شود [۱۰].

نام سازند سرگلو از روستایی در ۴۰ کیلومتری شمال غربی سلیمانیه عراق گرفته شده است. این سازند در جنوب غرب آسیا گسترش زیادی داشته و در همه مناطق به این نام شناخته می‌شود [۹]. ضخامت این سازند از ۱۶۰ تا ۲۲۰ متر متغیر است و در برش الگو ۱۱۵ متر است [۹]. لیتولوژی آن شامل شیل‌های خاکستری و تیره دریای عمیق و آهک‌های رسی نازک لایه و بودار است [۱۱]. سازند سرگلو در بالا و پایین به ترتیب توسط سازندهای آلن

PERIOD	EPOCH	IRAQ	SOUTHWEST IRAN		KUWAIT
			LURESTAN	KHUZESTAN (Dezful Embayment)	
JURASSIC	UPPER	Barsarin	Gotnia	Gotnia	Gotnia
		Naokelekan	Najmah	Najmah	Najmah
	MIDDLE	Sargelu	Sargelu	Sargelu	Sargelu
					Dhruma
	LOWER	Sehkanian	Alan	Alan	Alan
			Mus	Mus	Mus
			Adaivah	Adaivah	Ma
		Sarki	Butmah	Neyriz	U. M

شکل ۲: ستون چین‌شناسی رسوبات ژوراسیک حوضه رسوبی زاگرس در نواحی ایران، عراق و کویت، اقتباس با تغییر از [۱۲]

۳- روش کار

موجود در سنگ مادر فعال و توان هیدروکربن‌زایی آن در سیستم‌های نفتی حوضه‌های رسوبی پرداخت [۱۳]. این روش مبتنی بر گرم کردن برنامه‌ریزی شده نمونه‌های سنگ مادر در یک محیط خنثی بدون اکسیژن (هلیوم یا نیتروژن) است. پارامترهای اندازه‌گیری شده در پیرولیز

روش پیرولیز راکا اول در فعالیت‌های اکتشافی در حوضه‌های رسوبی بسیار پرکاربرد است. با استفاده از این روش می‌توان به تعیین کمیت، کیفیت و بلوغ مواد آلی

آزادگان و دارخوین و رخنمون گاشون مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۲).

تمام اطلاعات جمع‌آوری شده از سازند سرگلو در نرم‌افزار ژئوشیمیایی p:IGI.3.5.1 بارگذاری شد. تمام نمونه‌ها از نظر آلودگی مورد بررسی قرار گرفت و نمونه‌های آلوده و غیرقابل اعتماد از تفسیر حذف گردید، همچنین تمام تحلیل‌ها و نمودارها با استفاده از این نرم افزار انجام گرفت.

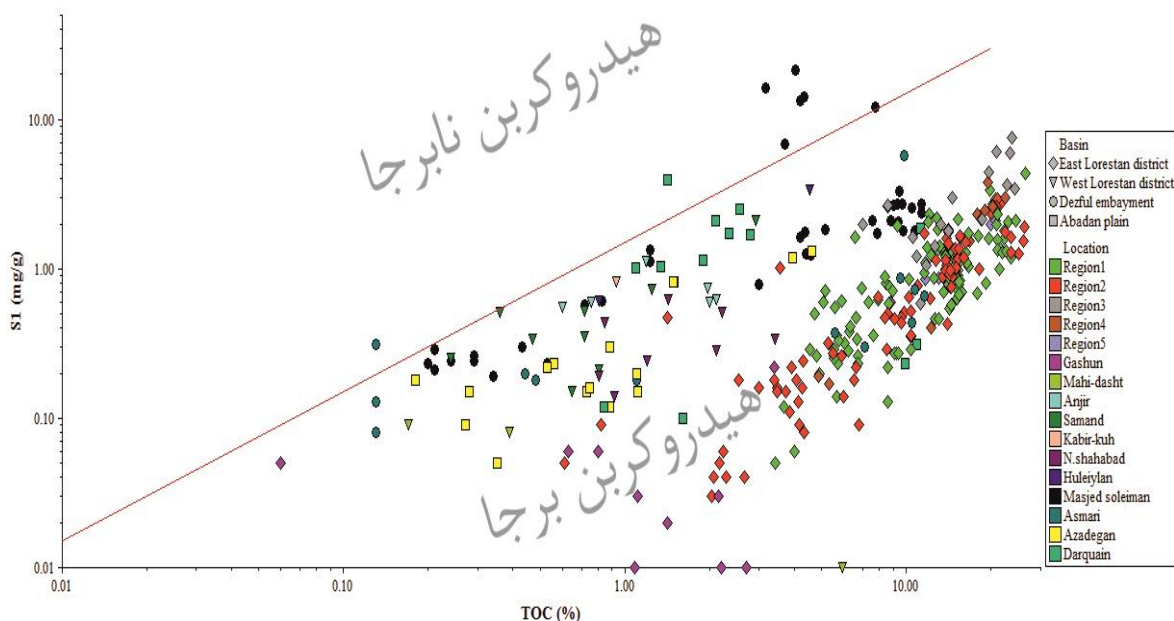
۴- بحث

در انجام مطالعات ژئوشیمیایی اطمینان از اینکه نمونه‌های مورد بررسی دچار آلودگی نباشند، بسیار حائز اهمیت است. عدم توجه به این موضوع سبب ایجاد اشتباه در تحلیل و نتایج حاصله خواهد شد. بدین منظور در این مطالعه از منحنی تغییرات S1 به TOC و مقدار PI استفاده شد [۱۴] (شکل ۳). نسبت بالای S1 به TOC و PI در نمونه‌ها نشان‌دهنده آلودگی و هیدروکربن نابرجا است. از مجموع ۳۶۵ نمونه مورد مطالعه، تعداد ۳۰ نمونه از میادین مسجد سلیمان، آسماری، دارخوین، گاشون، سمند، ماهی دشت، انجیر و شاه‌آباد دارای آلودگی هستند، بنابراین در تفسیرها از این نمونه‌ها استفاده نخواهد شد.

راکاول شامل S1، S2، S3 (میلی گرم هیدروکربن به گرم سنگ)، Tmax (درجه سانتی‌گراد) و TOC (درصد وزنی) است. با استفاده از این پارامترها، اندیس هیدروژن $(HI=100*S2/TOC)$ ، اندیس اکسیژن $(OI=100*S3/TOC)$ ، اندیس تولید $(PI=S1/(S1+S2))$ و پتانسیل هیدروکربن‌زایی $(PP=S1+S2)$ محاسبه می‌گردد.

در این مطالعه، نتایج حاصل از پیرولیز راکاول ۳۶۵ نمونه از سازند سرگلو در ۱۶ میدان و رخنمون از پژوهش‌های گذشته جمع‌آوری شد [۸-۲]. این میادین و رخنمون‌ها شامل مسجد سلیمان و آسماری در فروافتادگی دزفول، آزادگان و دارخوین در دشت آبادان، گاشون و مناطق ۱ تا ۵ در شرق ناحیه لرستان و ماهی‌دشت، انجیر، سمند، کبیرکوه، شاه‌آباد و هولیلان در غرب ناحیه لرستان است. میانگین نتایج پیرولیز راکاول نمونه‌ها در جدول ۱ نمایش داده شده است.

یکی از قابل اعتمادترین راه‌های تعیین بلوغ سنگ مادر اندازه‌گیری مقدار انعکاس ویتروینایت موجود در کروژن است. بدین منظور انعکاس ویتروینایت ۳۱ نمونه از میادین ماهی‌دشت، انجیر، سمند، شاه‌آباد، هولیلان، آسماری،



شکل ۳: نمودار S1 در مقابل TOC برای اطمینان از عدم آلودگی نفتی نمونه‌های سرگلو در منطقه مورد مطالعه

جدول ۱: میانگین نتایج پیرولیز راکا اول نمونه‌ها در منطقه مورد مطالعه

منابع	PP	PI	Tmax(°C)	S2/S3	OI	HI	S3	S2	S1	TOC(%)	عمق(متر)	مقدار	نوع نمونه	تعداد نمونه	میدان/موقعیت	حوضه
[۲]	۱۳۸/۶۹	-۰/۳۳	۴۴۶	۲۶۸/۸۸	۸۲/۰۰	۱۱۶۸/۸۷	۵/۱۹	۱۳۴/۳۰	۴/۳۹	۲۶/۴۲		بیشینه				شرق ناحیه لرستان
	۶۲/۱۶	-۰/۱۵	۴۴۱/۲	۶۷/۳۵	۱۴/۲۲	۴۸۷/۱۳	۱/۴۵	۶۱/۱۶	-۰/۹۹	۱۲/۶۰		میانگین	۱۱۴	منطقه ۱		
	۲/۵۵	-۰/۰۵	۴۳۱	-۰/۷۵	۲/۰۰	۶۲/۰۹	-۰/۲۸	۲/۴۹	-۰/۰۵	۳/۴۳		کمینه				
	۱۲۷/۰۳	-۰/۹۲	۴۴۶	۱۵۸/۵۲	۱۶۹/۰۰	۶۲۱/۲۶	۴/۲۲	۱۲۵/۱۲	۲/۹۱	۲۶/۳۶		بیشینه				
	۵۰/۰۰	-۰/۲۰	۴۴۱/۲	۵۵/۳۹	۲۶/۱۳	۴۱۶/۲۳	۱/۳۸	۴۹/۲۰	-۰/۸۰	۱۰/۶۸		میانگین	۸۱	منطقه ۲		
	-۰/۵۴	-۰/۰۴	۴۲۹	-۰/۱۳	۳/۰۰	۲۲/۶۸	-۰/۴۱	۰/۴۹	-۰/۰۳	-۰/۶۱		کمینه				
	۱۵۲/۷۳	-۰/۴۰	۴۳۹	۳۰۴/۵۰	۲۶/۰۰	۶۹۲/۷۳	۳/۱۵	۱۴۵/۲۵	۷/۴۸	۲۴/۳۰		بیشینه				
	۹۴/۸۷	-۰/۳۰	۴۳۴/۲	۸۷/۶۸	۹/۴۹	۵۸۱/۰۶	۱/۴۱	۹۱/۹۱	۲/۹۶	۱۵/۹۷		میانگین	۲۴	منطقه ۳		
	۵۰/۶۱	-۰/۱۰	۴۳۰	۱۹۰/۰۶	۳/۰۰	۴۹۵/۷۱	-۰/۴۲	۴۸/۶۳	-۰/۵۸	۷/۰۲		کمینه				
	۱۳۱/۳۰	-۰/۳۱	۴۳۶	۸۱/۸۳	۲۴/۰۰	۶۰۹/۳۲	۳/۳۲	۱۲۸/۳۱	۳/۸۱	۲۲/۴۰		بیشینه				
	۸۵/۳۰	-۰/۱۹	۴۳۱/۹	۴۴/۷۰	۱۴/۱۶	۵۲۷/۷۶	۱/۸۶	۸۳/۵۵	۱/۸۴	۱۵/۷۵		میانگین	۱۱	منطقه ۴		
	۲۶/۹۴	-۰/۰۶	۴۲۸	۲۱/۰۰	۷/۰۰	۴۷۵/۱۳	۱/۱۷	۲۶/۷۷	-۰/۱۷	۴/۸۸		کمینه				
	۱۳۱/۳۰	-۰/۲۲	۴۳۶	۱۲۶/۳۴	۲۴/۳۸	۵۷۲/۸۱	۲/۶۵	۱۲۸/۳۱	۲/۹۹	۲۲/۴۰		بیشینه				
	۹۱/۳۰	-۰/۱۵	۴۳۲/۴	۷۰/۸۵	۱۰/۱۰	۵۴۴/۰۵	۱/۴۲	۸۹/۷۵	۱/۵۵	۱۶/۵۰		میانگین	۱۰	منطقه ۵		
	۲۷/۲۶	-۰/۰۶	۴۲۷	۲۲/۷۴	۴/۱۵	۵۲۴/۱۸	-۰/۶۷	۲۷/۰۷	-۰/۱۹	۴/۸۸		کمینه				
۷۷/۲۲	-۰/۴۰	۴۶۵	۸۲/۶۹	۲۴/۰۰	۵۳۶/۹۰	۱/۳۷	۷۵/۲۵	۱/۰۷	۱۵/۳۰		بیشینه					
۳۰/۶۴	-۰/۱۵۵	۴۳۸/۷	۳۲/۵۹	۱۰/۵۳	۲۹۰/۸۹	-۰/۵۹	۳۰/۲۲	-۰/۴۲	۶/۷۲		میانگین	۱۳	گاشون			
-۰/۰۳	-۰/۱۰	۴۲۵	-۰/۰۸	۴/۰۰	-۰/۹۰	-۰/۰۸	۰/۰۲	-۰/۰۱	۱/۴۲		کمینه					
[۴]	-۰/۰۷	-۰/۱۴۳	۴۴۸	-۰/۲۵	۴/۰۰	۱/۰۲	-۰/۲۴	-۰/۰۶	-۰/۰۱	۵/۹۱		بیشینه				غرب ناحیه لرستان
	۱/۶۰	-۰/۴۶۰	۴۵۰	۳/۱۲	۳۸/۰۰	۵۰/۰۰	-۰/۷۴	۱/۰۰	-۰/۷۴	۲/۱۲		میانگین	۳	ماهی دشت		
	۱/۵۸	-۰/۴۱۳	۴۴۶	۲/۱۲	۲۵/۰۰	۴۵/۸۴	-۰/۵۰	-۰/۹۳	-۰/۶۵	۲/۰۳		کمینه				
	۱/۵۵	-۰/۳۷۰	۴۴۲	۱/۱۴	۱۶/۰۰	۴۲/۶۵	-۰/۳۲	-۰/۸۶	۴/۶۰	۱/۹۷		بیشینه				
	۱/۸۳	-۰/۳۹۳	۴۴۸	۱/۹۷	۴۵/۰۰	۸۸/۸۰	-۰/۵۶	۱/۱۱	-۰/۷۲	۱/۲۵		میانگین	۹	سمند		
												کمینه				
	۱/۲۶	-۰/۶۴۳	۴۴۱	۱/۲۱	۴۰/۰۰	۴۸/۳۹	-۰/۳۷	-۰/۴۵	-۰/۸۱	-۰/۹۳		بیشینه				
	۱/۱۹	-۰/۴۶۰	۳۴۱	۱/۱۳	۴۲/۰۰	۳۰/۷۶	-۰/۹۱	-۰/۶۸	-۰/۵۱	۲/۲۱		میانگین	۱	کبیرکوه		
	-۰/۷۷	-۰/۴۴۹	۳۳۶	-۰/۷۶	۳۳/۶۷	۲۲/۳۴	-۰/۶۳	-۰/۴۳	-۰/۳۴	۱/۸۴		بیشینه				
	-۰/۵۳	-۰/۴۲۰	۳۲۷	-۰/۳۵	۲۷/۰۰	۱۵/۰۹	-۰/۳۷	-۰/۲۹	-۰/۲۴	۱/۳۰		میانگین	۸	شام‌آباد		
	۶/۶۹	-۰/۵۰۸	۴۴۶	۷/۲۶	۱۰/۰۰	۷۲/۶۳	-۰/۴۵	۳/۲۹	۳/۴۰	۴/۵۳		بیشینه				
												کمینه				
	۸/۸۲	-۰/۴۷۰	۵۰۵	۴/۲۶	۱۹۱/۰۶	۱۴۲/۰۹	۳/۴۷	۶/۰۲	۳/۲۹	۱۱/۳۳		بیشینه				
	۵/۶۶	-۰/۳۶۰	۴۷۱/۴	۲/۰۶	۴۱/۱۰	۵۶/۶۸	۱/۹۷	۳/۶۸	۱/۹۸	۷/۲۷		میانگین	۳۸	مسجد سلیمان		
	۲/۲۸	-۰/۲۶۹	۴۱۹	-۰/۵۸	۱۱/۰۰	۳۹/۳۲	-۰/۷۶	۱/۲۵	-۰/۷۹	۱/۲۳		کمینه				
۱۲/۳۲	-۰/۴۶۰	۴۶۰	۱۱/۷۳	۱۰۴/۰۰	۹۳/۸۷	۱/۱۵	۶/۵۹	۵/۷۳	۱۱/۵۵		بیشینه					
۵/۶۱	-۰/۱۷۱	۴۴۵/۴	۷/۹۹	۲۰/۰۲	۵۳/۲۴	-۰/۶۴	۴/۵۰	۱/۱۱	۸/۵۱		میانگین	۱۶	آسماری			
-۰/۵۸	-۰/۰۶۰	۴۳۹	-۰/۳۴	۴/۵۶	۳۶/۳۶	-۰/۴۴	-۰/۴۰	-۰/۱۸	۱/۱۰		کمینه					
۴/۷۱	-۰/۴۱۰	۴۵۰	۱/۹۲	۱۳۵/۳۳	۲۲۷/۲۷	۲/۰۳	۳/۵۱	۱/۳۰	۴/۶۱		بیشینه					
۲/۸۲	-۰/۳۶۶	۴۴۵/۵	۱/۲۲	۹۴/۲۸	۱۰۲/۲۸	۱/۷۰	۲/۰۸	-۰/۷۵	۲/۲۹		میانگین	۱۶	آزادگان			
-۰/۸۵	-۰/۰۷۰	۴۳۷	-۰/۵۸	۴۳/۰۰	۶۳/۰۶	-۰/۹۸	-۰/۷۰	-۰/۱۵	۱/۱۱		کمینه					
۸/۲۸	-۰/۴۱۰	۴۵۷	۳/۱۵۰	۶۴/۱۷	۴۵۲/۹۸	۱/۱۰	۶/۳۰	۲/۱۰	۱۱/۱۸		بیشینه					
۵/۷۷	-۰/۳۰۴	۴۴۴/۹	۱۰/۳۹	۲۵/۸۲	۱۸۳/۵۶	-۰/۶۱	۴/۶۴	۱/۱۳	۴/۵۲		میانگین	۱۳	دارخوین			
۲/۸۴	-۰/۳۰	۴۳۶	۲/۸۱	۱/۷۸	۵۴/۵۹	-۰/۲۶	۱/۶۹	-۰/۱۰	۱/۰۹		کمینه					

جدول ۲: انعکاس ویتربینایت تعدادی از نمونه‌های سرگلو در منطقه مورد مطالعه

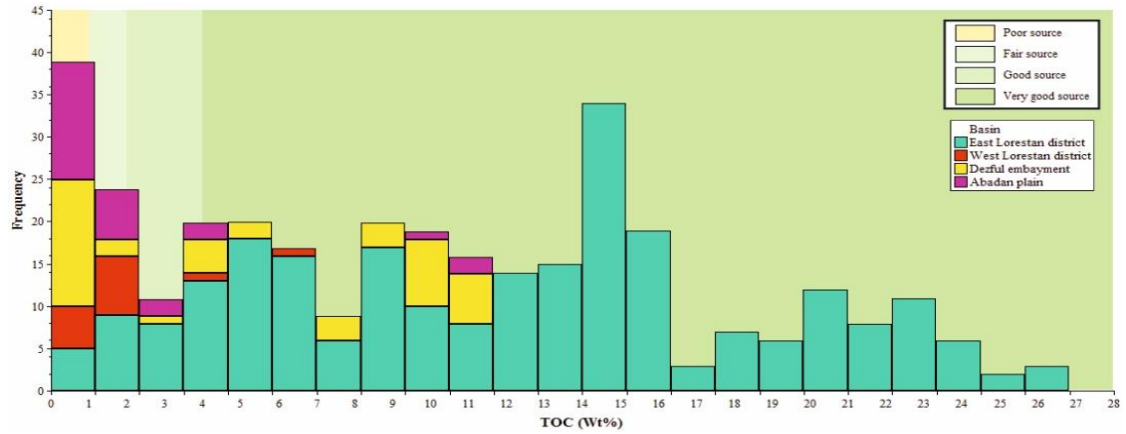
منابع	Ro%	عمق (متر)	مقدار	نوع نمونه	تعداد نمونه	میدان/موقعیت	حوضه
[۸، ۳]	۰/۹۲	۱۲۷-GH	بیشینه	رخنمون	۸	گاشون	شرق ناحیه لرستان
	۰/۷۰	۱۳۰-GH	میانگین				
	۰/۵۹	۱۳۶-GH	کمینه				
[۴]	۲/۸۷		بیشینه	خرده حفاری	۱	ماهی دشت	غرب ناحیه لرستان
	۲/۱۲	۲۶۶۴	میانگین				
	۲/۱۱		کمینه				
	۱/۲۵	۱۸۵۶	بیشینه				
	۰/۹۸	۱۸۱۲/۷	میانگین				
	۰/۸۲	۱۷۴۷	کمینه				
	۱/۲۱		بیشینه				
	۱/۰۲	۲۳۴۰	میانگین				
	۰/۹۲		کمینه				
	۱/۴۲	۳۷۷۷	بیشینه				
	۱/۰۳	۳۷۲۹	میانگین				
	۰/۵۷	۳۶۸۰	کمینه				
[۴]	۲/۵۹		بیشینه	خرده حفاری	۱	شاه آباد	غرب ناحیه لرستان
	۱/۹۸	۱۲۷۴	میانگین				
	۱/۸۷		کمینه				
	۱/۳۰	۳۹۳۶	بیشینه				
	۰/۸۲	۳۶۵۲/۲	میانگین				
	۰/۶۷	۳۴۲۵	کمینه				
	۱/۰۰	۵۲۲۸	بیشینه				
	۰/۸۴	۵۰۳۳/۳	میانگین				
	۰/۷۱	۴۹۷۰	کمینه				
	۱/۳۰	۵۳۳۵	بیشینه				
	۱/۲۰	۵۲۴۳/۶	میانگین				
	۱/۱۰	۵۱۷۵	کمینه				
[۸، ۷]	۱/۳۰		بیشینه	خرده حفاری	۶	آزادگان	دشت آبادان
	۰/۸۴	۵۰۳۳/۳	میانگین				
	۰/۷۱	۴۹۷۰	کمینه				
	۱/۳۰	۵۳۳۵	بیشینه				
	۱/۲۰	۵۲۴۳/۶	میانگین				
	۱/۱۰	۵۱۷۵	کمینه				
	۱/۳۰		بیشینه				
	۰/۸۲	۳۶۵۲/۲	میانگین				
	۰/۶۷	۳۴۲۵	کمینه				
	۱/۳۰	۳۹۳۶	بیشینه				
	۰/۸۲	۳۶۵۲/۲	میانگین				
	۰/۶۷	۳۴۲۵	کمینه				
[۸، ۳]	۱/۳۰		بیشینه	خرده حفاری	۸	آسماری	فروافتادگی دزفول
	۰/۸۲	۳۶۵۲/۲	میانگین				
	۰/۶۷	۳۴۲۵	کمینه				
	۱/۳۰	۳۹۳۶	بیشینه				
	۰/۸۲	۳۶۵۲/۲	میانگین				
	۰/۶۷	۳۴۲۵	کمینه				
	۱/۳۰	۳۹۳۶	بیشینه				
	۰/۸۲	۳۶۵۲/۲	میانگین				
	۰/۶۷	۳۴۲۵	کمینه				
	۱/۳۰	۳۹۳۶	بیشینه				
	۰/۸۲	۳۶۵۲/۲	میانگین				
	۰/۶۷	۳۴۲۵	کمینه				

۴-۱- کمیت مواد آلی

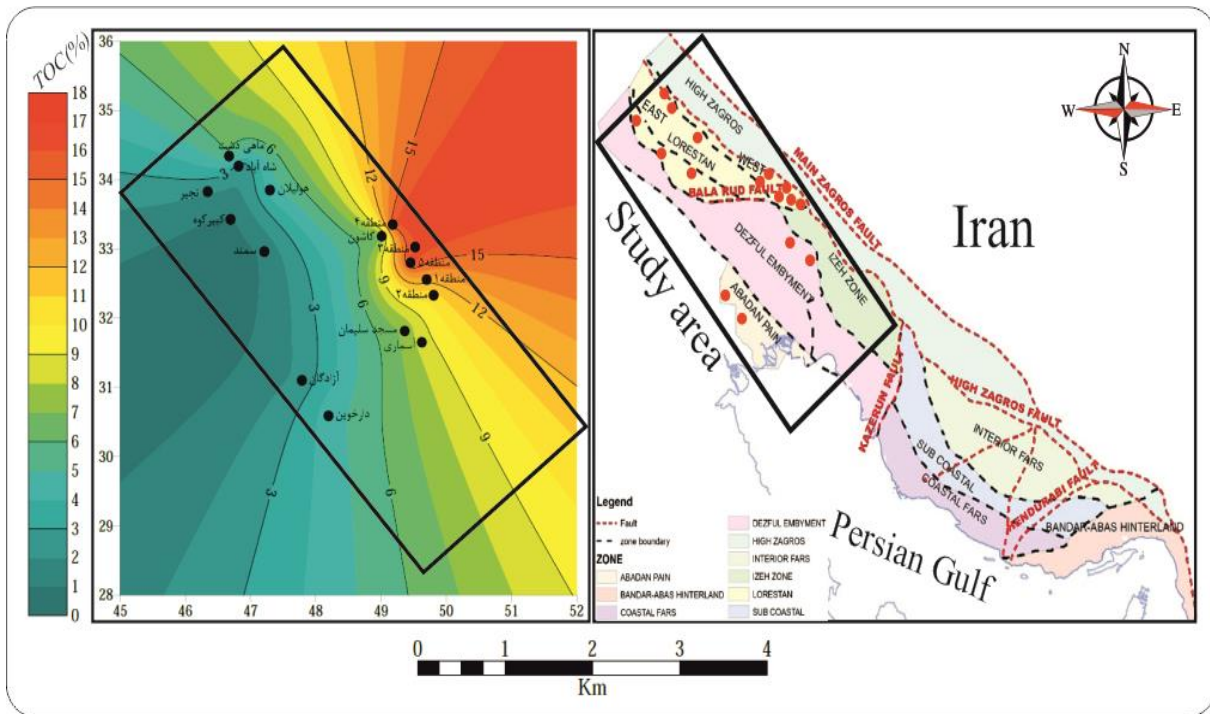
یکی از راه‌های ارزیابی مقدار ماده آلی در سنگ، اندازه‌گیری میزان کربن آلی کل (TOC) آن است. میزان این پارامتر در نمونه‌ها از ۰/۱۳ تا ۲۶/۴۲ درصد وزنی متغیر است. تقریباً ۹۰ درصد نمونه‌ها دارای TOC بالاتر از یک درصد هستند که نشان دهنده پتانسیل خوب تا عالی سنگ مادر سرگلو در منطقه مورد مطالعه است [۱۵] (شکل ۴). بالاترین TOC ها مربوط به شمال شرق منطقه مورد مطالعه در استان لرستان (شرق حوضه لرستان) است و به سمت جنوب و غرب تا استان کرمانشاه (غرب حوضه لرستان) و شمال غرب خلیج فارس از مقدار TOC کاسته می‌شود (شکل ۵). نقشه توزیع TOC در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد سازند سرگلو در جنوب غرب ایران و

شمال غرب خلیج فارس کمیت خوبی برای تولید هیدروکربن دارد.

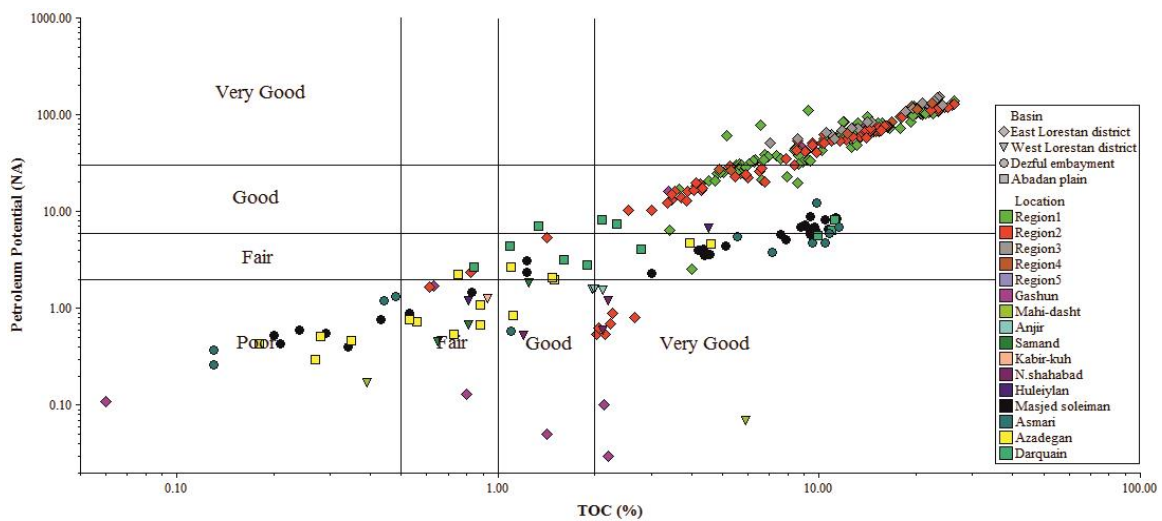
در کنار پارامتر TOC از پارامترهای S2 یا اندیس پتانسیل هیدروکربن‌زایی (S1+S2) نیز برای ارزیابی کمیت مواد آلی استفاده می‌شود. اندیس پتانسیل هیدروکربن‌زایی کمتر از ۶، نشان دهنده توان ضعیف و متوسط سنگ مادر است، در حالی که مقادیر بالاتر از ۶، سنگ مادر خوب و عالی را نشان می‌دهد [۱۶]. مقدار پتانسیل هیدروکربن‌زایی نمونه‌های مورد مطالعه بین ۰/۲۶ و ۱۵۲/۷ است. همان طور که در شکل ۶ مشخص است نمونه‌های شرق حوضه لرستان (گاشون و مناطق ۱ تا ۵) پتانسیل خوب و خیلی خوب و نمونه‌های مربوط به فروافتادگی دزفول و دشت آبادان و غرب حوضه لرستان پتانسیل متوسط تا خوب را نشان می‌دهد (شکل ۶). روند تغییرات این اندیس با روند تغییرات TOC در منطقه مورد مطالعه رابطه مستقیم دارد.



شکل ۴: نمودار فراوانی مقادیر TOC نمونه‌های سازند سرگلو در منطقه مورد مطالعه



شکل ۵: نقشه توزیع کربن آلی کل در منطقه مورد مطالعه

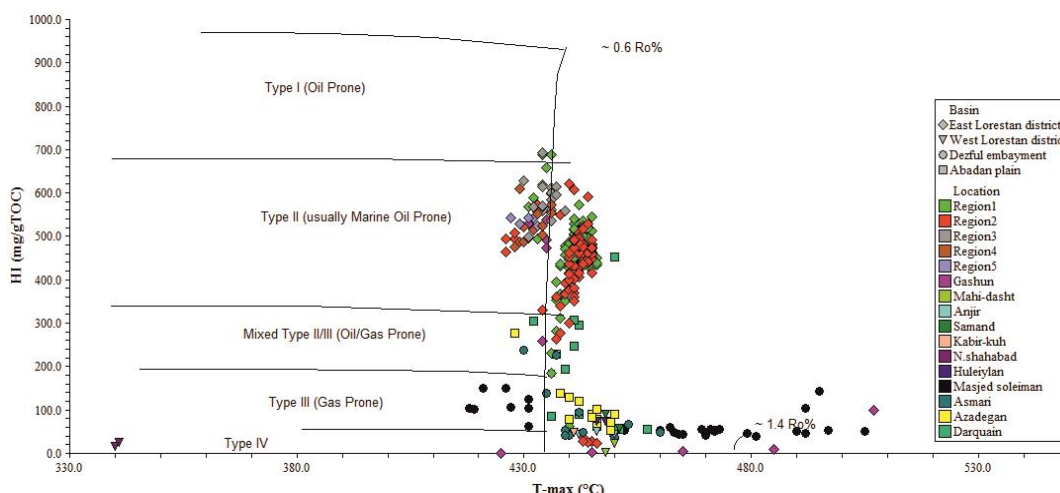


شکل ۶: نمودار تغییرات اندیس پتانسیل هیدروکربن‌زایی در مقابل TOC در منطقه مورد مطالعه

۴-۲- کیفیت مواد آلی

مطابقت دارد. بدین ترتیب که بیشترین میزان، مربوط به شرق حوضه لرستان است و به سمت جنوب و غرب منطقه مورد مطالعه، کاهش می‌یابد (شکل ۸). نمودار S2 در برابر TOC ابزاری مناسب برای تعیین تیپ کروژن مواد آلی موجود در سنگ مادر است [۱۸] (شکل ۹). نمونه‌های مناطق ۱ تا ۵ و گاشون در شرق حوضه لرستان دارای کروژنی با تیپ II هستند در حالی که نمونه‌های مربوط به میادین فروافتادگی دزفول و دشت آبادان کروژن تیپ III و II/III دارند. نمونه‌های مربوط به غرب حوضه لرستان در میادین شاه‌آباد، ماهی‌دشت، هولیلان، انجیر، کبیرکوه و سمند دارای کروژن از نوع III/IV است که نشان می‌دهد کربن آلی موجود در نمونه‌ها کربن مرده است و در حال حاضر توان تولید هیدروکربن بالایی ندارد. نمودار HI در مقابل OI هم نتایج به دست آمده را تایید می‌کند (شکل ۱۰).

مقدار و کیفیت هیدروکربنی که سنگ مادر تولید می‌کند به نوع مواد آلی موجود در آن بستگی دارد [۱۶]. بنابراین تعیین نوع کروژن مواد آلی از ضروریات ارزیابی سنگ مادر به حساب می‌آید. اندیس هیدروژن سنگ مادر به حساب می‌آید. یکی از شاخص‌های مهم برای تعیین نوع کروژن ماده آلی در سنگ مادر است [۱۶، ۱۷]. اندیس هیدروژن بزرگتر از ۶۰۰ mg HC/g TOC معرف کروژن تیپ I و مقدار بین ۳۵۰ تا ۶۰۰ معرف تیپ II است. برای کروژن تیپ III اندیس هیدروژن بین ۵۰ تا ۲۰۰ قرار می‌گیرد [۱۵]. همچنین اندیس هیدروژن کمتر از ۵۰ مربوط به کروژن تیپ IV است که هیچ پتانسیلی برای تولید هیدروکربن ندارد [۱۶]. اندیس هیدروژن نمونه‌های مورد مطالعه در بازه ۰/۹۰ تا ۱۱۶۸/۸۷ قرار می‌گیرد (شکل ۷). توزیع این اندیس با توزیع TOC



شکل ۷: نمودار اندیس هیدروژن در مقابل T_{max} که نوع کروژن و بلوغ را برای نمونه‌های سرگلو در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد

۴-۳- بلوغ مواد آلی

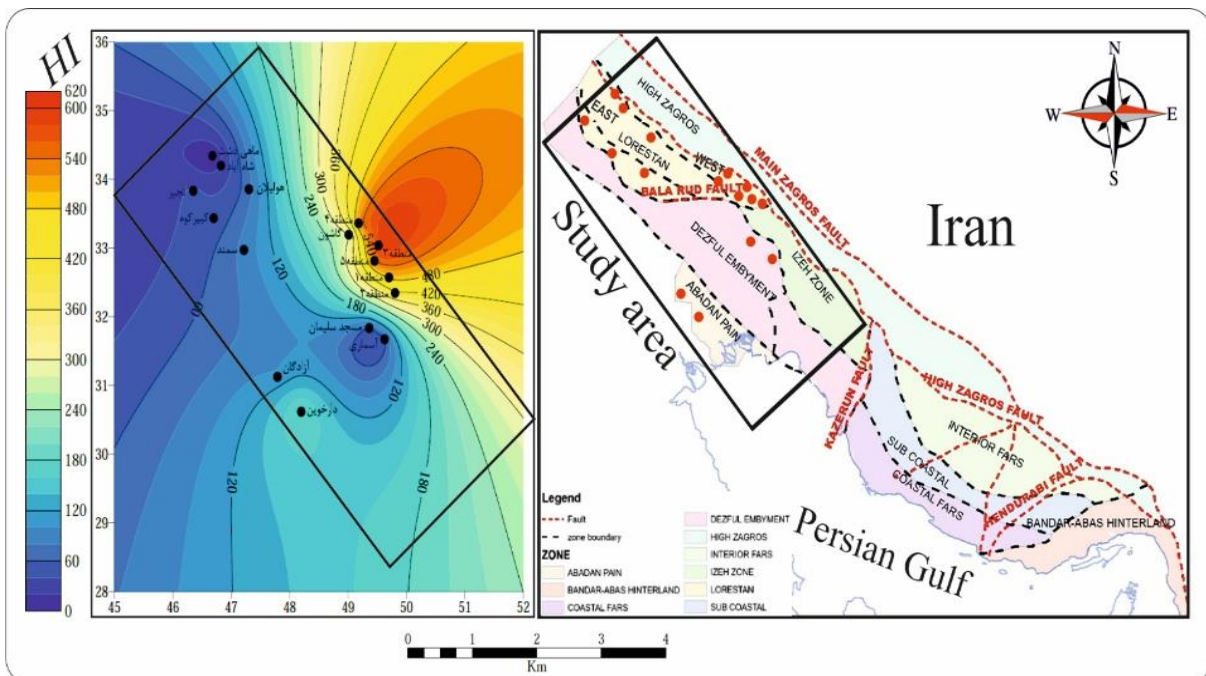
نمونه‌های مربوط به فروافتادگی دزفول و دشت آبادان، انعکاس ویترونیات حدود ۱ را نشان می‌دهند که اواخر پنجره نفتی را برای سازند سرگلو در این نواحی بیان می‌کند.

میزان بلوغ ماده آلی همچنین می‌تواند از طریق پارامترهای T_{max} و PI نیز تعیین گردد. مقدار T_{max} و PI پایین‌تر از ۴۳۵ درجه سانتی‌گراد و ۰/۱ بیانگر بلوغ پایین کروژن است، در حالی که مقادیر بالاتر از ۴۶۰ درجه سانتی‌گراد و ۰/۴ مربوط به پایان پنجره نفتی و شروع گاز تر است [۱۵، ۱۷]. در استفاده از این دو پارامتر باید احتیاط نمود زیرا این پارامترها می‌توانند تحت تاثیر نوع ماده آلی،

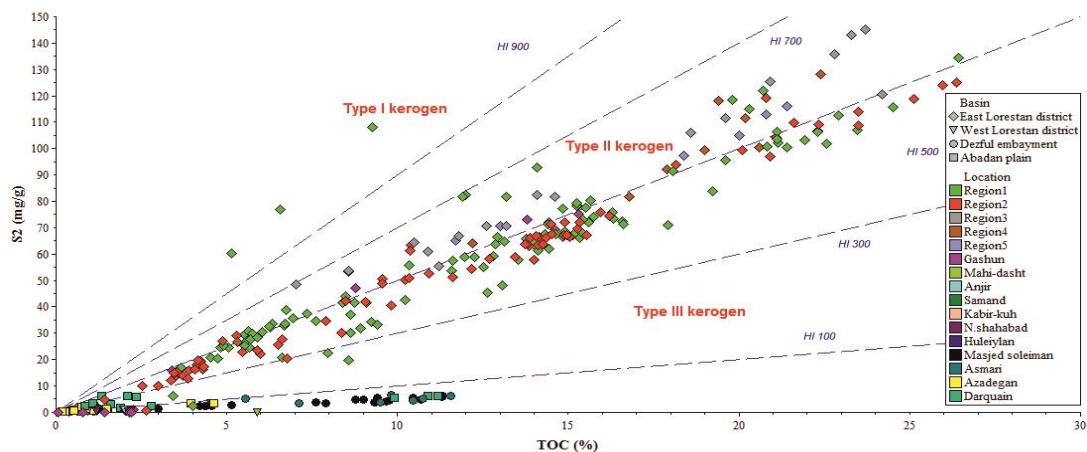
آخرین گام در ارزیابی سنگ مادر، تعیین بلوغ حرارتی مواد آلی موجود در آن است که روی مقدار و نوع هیدروکربن تولیدی تاثیرگذار است. انعکاس ویترونیات یکی از پارامترهای تعیین بلوغ حرارتی است که به طور گسترده در تحلیل‌های ژئوشیمیایی استفاده می‌شود [۱۹، ۲۰]. مقادیر انعکاس ویترونیات در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۰/۵۹ و ۲/۱۲ متغیر است (جدول ۲). کمترین و بیشترین مقادیر به ترتیب مربوط به نمونه‌های گاشون (شرق حوضه لرستان) و ماهی‌دشت (غرب حوضه لرستان) است.

افزایش می‌یابد. روند افزایش بلوغ با روند کاهش کمیت (TOC) و کیفیت (HI) مواد آلی تطابق مناسبی نشان می‌دهد که بیانگر این حقیقت است که کمیت و کیفیت اولیه سازند سرگلو در غرب حوضه لرستان، فروافتادگی دزفول و دشت آبادان شبیه به اکنون این سازند در شرق حوضه لرستان است و در طی فرآیند بلوغ و تولید نفت و گاز از میزان کمیت و کیفیت آن کاسته شده است (شکل ۷). بنابراین سیستم نفتی ژوراسیک میانی در غرب حوضه لرستان، فروافتادگی دزفول، دشت آبادان و شمال غرب خلیج فارس قطعاً در گذشته فعال بوده و حجم زیادی نفت و گاز تولید کرده است و اکنون در حال تولید گاز است.

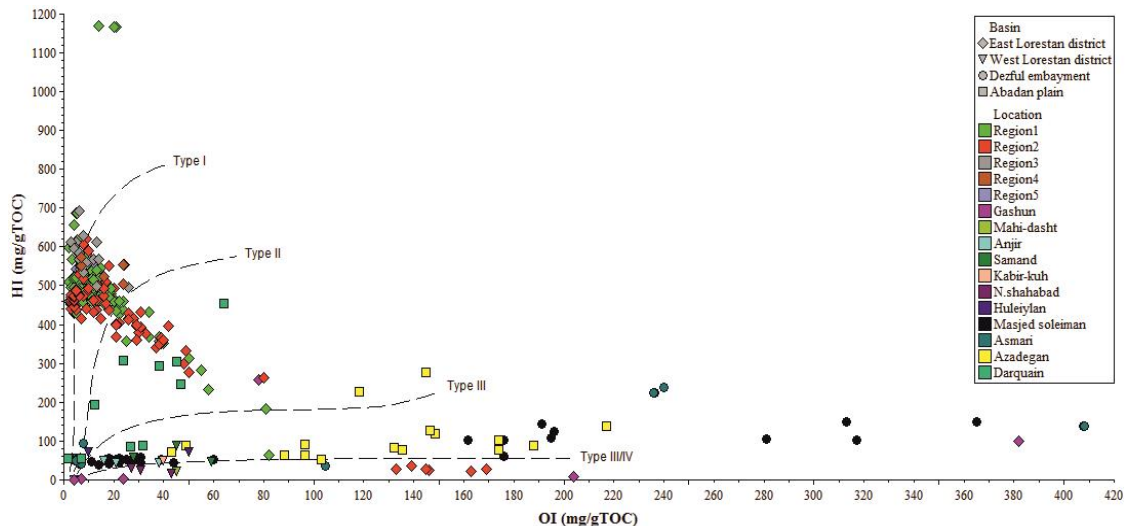
نوع کانی و آلودگی نمونه‌ها قرار گیرند. شکل ۱۱ بلوغ نمونه‌ها برحسب این دو پارامتر را نشان می‌دهد. با توجه به پارامترهای بیان شده در بالا، سازند سرگلو در قسمت شرقی حوضه لرستان نابالغ یا در اوایل پنجره نفتی قرار دارد و به سمت غرب حوضه لرستان بلوغ افزایش یافته، وارد اواخر پنجره نفتی یا اوایل پنجره گازی می‌گردد. همچنین در جنوب منطقه مورد مطالعه در فروافتادگی دزفول و دشت آبادان، سازند سرگلو در اوج یا اواخر پنجره نفتی قرار دارد. عمق سازند سرگلو در منطقه مورد مطالعه این نتیجه‌گیری را تایید می‌کند. لازم به ذکر است نمونه‌های مورد بررسی در تاق‌دیس میادین گرفته شده است. بنابراین در ناودیس‌ها با افزایش عمق، بلوغ نیز



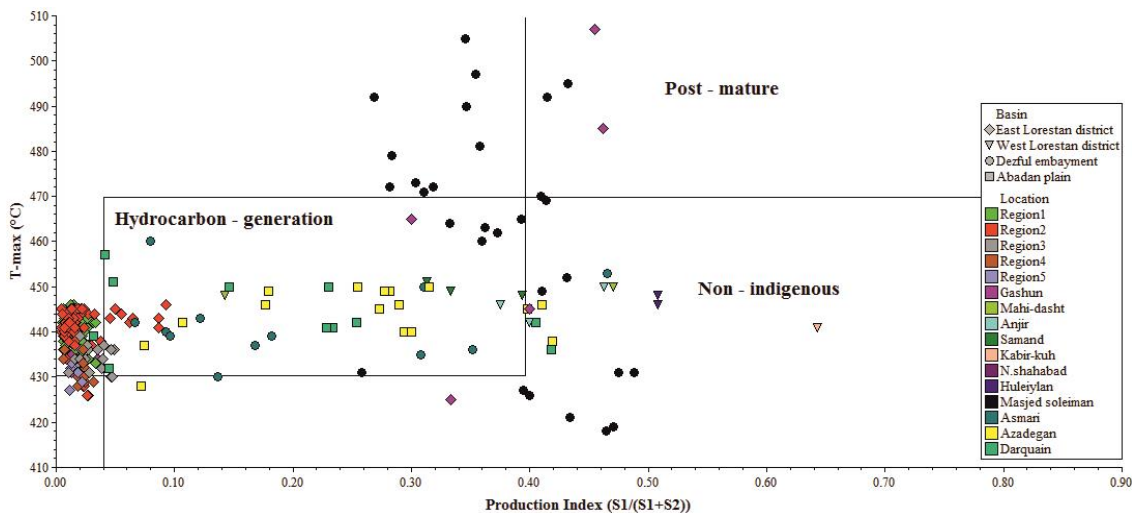
شکل ۸: نقشه توزیع اندیس هیدروژن در منطقه مورد مطالعه



شکل ۹: نمودار S2 در مقابل TOC که تیپ کروژن نمونه‌های سرگلو را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد



شکل ۱۰: نمودار HI در مقابل OI برای نمونه‌های سرگلو در منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۱: نمودار PI در برابر Tmax برای نمونه‌های سرگلو در منطقه مورد مطالعه

روند تغییرات بلوغ سازند سرگلو در منطقه مورد مطالعه دقیقاً عکس روند توزیع TOC و HI است که بیانگر این است که پتانسیل هیدروکربن‌زایی این سازند در غرب حوضه لرستان، فروافتادگی دزفول و دشت آبادان شبیه به وضعیت کنونی این سازند در شرق حوضه لرستان است و در طی فرآیند بلوغ و تولید نفت و گاز از میزان آن کاسته شده است.

مراجع

- [1] U.S Energy Information Administration, www.eia.doe.gov/emeu/cabs/iran.html, 2010.
- [2] Rasouli, A., Shekarifard, A., Jalali Farahani, F., Kök, M. V., Daryabandeh, M., Rashidi,

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش اطلاعات پیرولیز راکا اول و انعکاس ویترونیات ۳۶۵ نمونه از ۱۶ میدان و رخنمون از جنوب غرب ایران مورد تحلیل ژئوشیمیایی قرار گرفت. مقدار TOC و HI نمونه‌ها به ترتیب در بازه ۰/۱۳ تا ۲۶/۴۲ و ۰/۹۰ تا ۱۱۶۸/۸۷ قرار دارد. تقریباً ۹۰ درصد آنها دارای TOC بالاتر از یک درصد هستند. نمونه‌های شرق ناحیه لرستان (گاشون و مناطق ۱ تا ۵) پتانسیل خوب و خیلی خوب با کروژن تیپ II و نمونه‌های مربوط به فروافتادگی دزفول و دشت آبادان پتانسیل متوسط تا خوب با کروژن تیپ III و III/III را نشان می‌دهند. نمونه‌های مربوط به غرب حوضه لرستان دارای کروژن تیپ III/IV هستند.

- [14] Hunt, J.M., (1996). Petroleum Geochemistry and Geology. 2^o Edition. W.H.Freeman and Company, New York. 743-774 p.
- [15] Peters, K.E., Cassa, M.R., (1994). "Applied source rock geochemistry. In: Magoon L.B., Dow, W.G. (Eds.). The petroleum system- from source to trap". American Association of Petroleum Geologists, Memoir 60, pp. 93-117.
- [16] Tissot, B. and Welte, D. H., (1984). "Petroleum Formation and Occurrence. (Second Ed)". Springer Verlag, Berlin, p. 699, 1984.
- [17] Espitalié, J., J. L. Laporte, M. Madec, F. Marquis, P. Leplat, J. Paulet, J., and A. Boutefeu (1977). "Méthode rapide de caractérisation des roches mères, de leur potentiel pétrolier et de leur degré d'évolution", Revue de l'Institut Français du Pétrole, vol. 32, p. 23-42.
- [18] Langford, F.F., Blanc-Valleron, M.M. (1990). "Interpreting Rock-Eval Pyrolysis Data Using Graphs of Pyrolyzable Hydrocarbons vs. Total Organic Carbon" The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, V.47, No.6, p.799-840.
- [19] Dow, W.G., 1977. Kerogen studies and geological interpretations. Journal of Geochemical Exploration 7, 77-99.
- [20] Waples, D.W., Kamata, H., Suizu, M., 1992. The art of maturity modeling: Part 1. Finding a satisfactory geological model. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 76, 31-46.
- M. (2015). "Occurrence of highly organic matter-rich deposits (Middle Jurassic to Lower Cretaceous) from Qalikh locality, Zagros Basin, South-West of Iran: A possible oil shale resource." International Journal of Coal Geology 143, no. 100, 34-42.
- [3] Sadouni, J. and Rabbani A. (2018). "Characteristics of the First Occurrence of Jurassic Petroleum in the Zagros Basin, Iran" ACTA GEOLOGICA SINICA (English Edition), Vol. 92, No. 6, p.2280-2296.
- [4] Ghavami, S. R., Rastegar, A., Tavangar, M. (2015). "Evaluation of Hydrocarbonation Capacity of Gro-Sargloo Formations in Lorestan Region as a Gas Shell", 2nd International Congress of Applied Geology, May 29-31, Mashhad.
- [5] Rezaee, Z., Karampour, A., Alizadeh, B. (2009). "Genetic Potential Evaluation of Source Rocks in Masjed Soleiman Oil Field" Journal of Applied Geology, Vol 5, No.2, P 121-125.
- [6] Alizadeh, B., Hosseini, S. H. (2010). "Hydrocarbon Potential Evaluation and Depositional Environment of Sargelu Formation in Masjid-i-Soleiman Oilfield" Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES, Vol 19, No 75, P 173 to 178.
- [7] Kobraei, M. and Rabbani, A. (2018). "Gas-condensate potential of the middle-Jurassic petroleum system in Abadan plain, Southwest Iran: Results of 2-D basin modeling" ENERGY SOURCES, PART A: RECOVERY, UTILIZATION, AND ENVIRONMENTAL, Taylor & Francis Group, LLC.
- [8] Kobraei, M., Sadouni, J. and Rabbani, A. (2018). "Organic geochemical characteristics of Jurassic petroleum system in Abadan Plain and north Dezful zones of the Zagros basin, southwest Iran" Indian Academy of Sciences, J. Earth Syst. Sci. 128:50.
- [9] Ghazban, F. (2007). Petroleum Geology Of The Persian Gulf. Tehran University and National Iranian Oil Company.
- [10] Kavousi, M. A., Daryabandeh, M. (2011). "Preliminary research of unconventional hydrocarbon resources of shale gas in Iran". Report of the National Iranian Oil Company ,No. 1914, p.7.
- [11] Motiei, H. (1995). "Geology of Zagros Oil", Publications of the Geological Survey of Iran.
- [12] Motiei, H. (1993). "Geology of Iran, Zagros Stratigraphy", under the supervision of Ebadollah Hooshmandzadeh, Tehran, Geological Survey of Iran.
- [13] Taylor, G.H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R., Robert, P., (1998). Organic Petrology. Stuttgart (Schweizerbart), 704 pp.

¹ در این مناطق به دلیل انحصاری بودن نتایج فوق، از نام بردن مقاطع و ناحیه پرهیز شده است.