

## ارزیابی و بررسی توان تولید هیدروکربن از سنگ منشاء احتمالی سازند کژدمی در یکی از میادین نفتی در فروافتادگی دزفول با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی

فرهاد ملاتی\*، محمدنامجونسب، مصطفی ملاتی، دانشگاه آزاد اسلامی لامرد

### چکیده

در این تحقیق سنگ منشاء سازند کژدمی در یکی از میادین نفتی مورد بررسی قرار گرفته است. با بررسی‌های صورت گرفته و استفاده از نمودارهای مختلف و مقادیر  $S_1$  و  $S_2$  مشخص شد که سازند کژدمی از نظر مقدار ماده آلی در محدوده متوسط قرار گرفته و از لحاظ توان نفت‌زایی در بازه سنگ منشاء تقریباً متوسط قرار می‌گیرد. در ادامه مشخص شد که کروژن این سازند از نوع I و II است. نمودار TOC بیانگر هیدروکربن با کیفیت متوسط می‌باشد. با بررسی مقادیر HI در برابر عمق و نمودار HI برابر  $T_{max}$  مشخص شد که هیدروکربن تولیدی از نوع نفت می‌باشد. البته با توجه به محدوده  $T_{max}$  می‌توان گفت هیدروکربن در اوایل مرحله بلوغ یعنی در مرحله دیانز قرار دارد. لازم به ذکر است که جهت تشخیص آغشته نبودن نمونه‌ها، از نمودار  $S_1$  در برابر TOC استفاده شده است.

### اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۴/۱۲/۰۶

تاریخ ارسال به داور: ۹۴/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش داور: ۹۵/۰۶/۳۱

### واژگان کلیدی:

ارزیابی ژئوشیمیایی، پیرولیز راک‌ایول، سازند کژدمی، سنگ منشاء

### مقدمه

برای شناخت و اکتشاف یک منطقه نفتخیز لازم است نخست عناصر و فرآیندهای شکل‌گیری هیدروکربور مطالعه شود. یکی از عناصر اصلی شکل‌گیری ذخیره هیدروکربوری، سنگی است که نفت و گاز را به وجود آورده و به نام سنگ منشاء شناخته می‌شود. همان‌گونه که می‌دانیم ژئوشیمی هیدروکربن به‌عنوان علمی پایه و اساسی جهت افزایش بازده اکتشاف و تولید به کار گرفته می‌شود. در سال‌های اخیر با استفاده از تئوری‌ها و روش‌های مختلف ژئوشیمیایی، بسیاری از مسائل مربوط به سنگ منشاء، مهاجرت و تجمع نفت مورد مطالعه قرار گرفته است [۱]. شرایط لازم برای تجمع هیدروکربن از یک سنگ منشاء، وجود سنگ منشاء با وسعت و ضخامت کافی و پختگی لازم است [۲]. با استفاده از مطالعات ژئوشیمیایی، احتمال اکتشاف سنگ منشاء مناسب تا ۶۳ درصد افزایش می‌یابد [۳]. جهت مطالعه نمونه‌های ژئوشیمیایی و برای تعیین خصوصیات سنگ منشاء از دستگاهی به نام راک‌ایوال ۶ استفاده می‌شود. این دستگاه پارامترهای سنگ منشاء شامل هیدروکربن‌های آزاد در نمونه (پیک  $S_1$ )، هیدروکربن‌های ناشی از شکستگی حرارتی کروژن (پیک  $S_2$ )، شاخص حرارتی ماده آلی ( $T_{max}$ )، مقدار کل ماده آلی (TOC)، شاخص هیدروژن (HI)، شاخص اکسیژن (OI)، شاخص تولید (PI) و درصد کربن کانی (MinC) را ارائه می‌دهد [۳]. با استفاده از این پارامترها سه مرحله ارزیابی سنگ منشاء مورد ارزیابی قرار می‌گیرد؛ تعیین مقدار ماده آلی، نوع ماده آلی و بلوغ حرارتی ماده آلی [۴، ۵]. در این مقاله سنگ منشاء بودن سازند کژدمی در یکی از میدان‌های نفتی در فروافتادگی دزفول بررسی گردیده است. سازند کژدمی از مارل و آهک رسی و شیلی است. این سازند دارای قابلیت تولید نفت به مقدار قابل توجهی در خوزستان بوده و تحقیقات نشان

می‌دهد نفت بیشتر مخازن این مناطق از این سنگ منشاء تأمین شده و مهمترین سنگ منشاء ایران محسوب می‌شود. سن این سازند، کرتاسه میانی است [۶].

### ۱- روش تحقیق

در این تحقیق ابتدا ویژگی‌های پارامترهای حاصل شده از راک‌ایول بیان می‌شود [۲]:

$S_1$ : نمایانگر مقدار هیدروکربن آزاد است که در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تبخیر شده و با واحد میلی‌گرم هیدروکربن در هر گرم سنگ (mgHC/gRock) بیان می‌شود.

$S_2$ : نمایانگر مقدار هیدروکربن و ترکیبات اکسیژن‌داری است که بین دمای ۳۰۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد در اثر شکست حرارتی کروژن و ترکیبات سنگین‌تر مانند رزین‌ها و آسفالتن‌ها آزاد می‌شود. پیک  $S_2$  در واقع همان‌توان موجود در نمونه سنگ است که با واحد میلی‌گرم هیدروکربن در هر گرم سنگ (mgHC/gRock) تعریف می‌شود.

$S_3$ : بیانگر ترکیبات اکسیژن‌داری است که در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد تجزیه شده و گاز  $CO_2$  آزاد می‌کند. پیک  $S_3$  با واحد میلی‌گرم  $CO_2$  در هر گرم سنگ (mgCO<sub>2</sub>/gRock) بیان می‌شود [۳].  $T_{max}$ : دمایی است که در آن، پیک  $S_2$  به بیشینه خود می‌رسد. این دما پارامتری مهم برای ارزیابی بلوغ حرارتی نمونه‌های سنگ منشاء است.

HI (شاخص هیدروژن): عبارت است از نسبت  $S_2/TOC$ .  
PI (شاخص تولید): حاصل نسبت  $S_1/S_1+S_2$  می‌باشد و بیانگر میزان زایش هیدروکربن است.

\* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (mollaefarhad@yahoo.com)

تقریباً تمامی نمونه‌ها در سازند کژدمی از نظر محتوای کربن آلی و پتانسیل هیدروکربن‌زایی تقریباً ضعیف بوده و از کیفیت چندان مطلوبی برخوردار نیستند زیرا دارای مقادیر پایین  $S_1$ ،  $S_2$  و TOC می‌باشند. پس با توجه به این نمودار می‌توان چنین گفت که به احتمال زیاد سازند کژدمی در این میدان نفتی با توجه به نمونه‌های نشان داده شده در شکل-۲، از نظر پتانسیل هیدروکربن‌زایی چندان مطلوب نیست.

همچنین با استفاده از نمودارهای  $S_1$  و  $S_2$  و TOC در برابر عمق، و با استفاده از جدول-۱، می‌توان توان هیدروکربن‌زایی سنگ منشاء را بررسی کرد. در ادامه، هریک از نمودارهای مذکور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

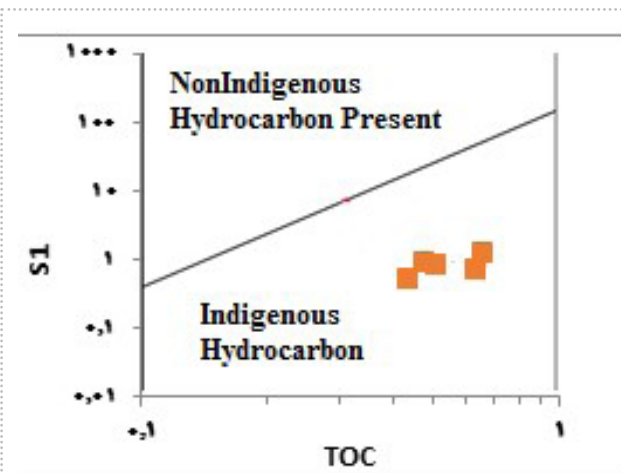
در ابتدا و در شکل-۳، تغییرات  $S_1$  در برابر عمق نشان داده شده است. براین اساس، کمینه مقدار  $S_1$  یا هیدروکربن آزاد موجود در نمونه برابر ۰/۴۹ و بیشینه برابر ۱/۱۵ و به طور میانگین ۰/۸ می‌باشد. با استفاده از این مقدار و جدول-۱، سازند کژدمی دارای کیفیتی تقریباً متوسط است.

در ادامه، نمودار  $S_2$  یا پتانسیل باقیمانده در سنگ منشاء در برابر عمق بررسی شد که در شکل-۴، نشان داده شده است. با استفاده از این نمودار می‌توان مشخص کرد که کمینه  $S_2$  برابر ۱/۹۹ و مقدار بیشینه آن برابر ۴/۲ می‌باشد. مقدار میانگین آن برابر ۳/۱۲ تعیین شده است. با استفاده از این مقادیر و جدول-۱، سنگ منشاء دارای کیفیتی تقریباً ضعیف تا متوسط می‌باشد.

در مرحله بعد با استفاده از نمودار TOC یا کل کربن آلی در برابر عمق، توان تولید هیدروکربن بررسی شد. این نمودار در شکل-۵، نشان داده شده است. با استفاده از این نمودار مشخص شد که کمینه آن ۰/۴۴ و مقدار بیشینه آن ۰/۶۶ می‌باشد. با محاسبه مقدار میانگین نمونه‌ها مقدار آن ۰/۵۵

جهت حصول اطمینان از آلوده نبودن نمونه‌ها یا به عبارتی آغشته نبودن نمونه‌ها به مواد هیدروکربنی از نمودار  $S_1/TOC$  استفاده شده است، چون آلوده بودن نمونه‌ها باعث نتایج نامطلوب با استفاده از دستگاه پیرولیز راک ایوال ۶ می‌شود و در نتیجه آن، تفسیر سنگ منشاء مورد نظر نادرست می‌گردد. در این نمودار مقادیر بالای  $S_1$  در برابر مقادیر پایین TOC گویای آلوده بودن نمونه‌ها به مواد هیدروکربنی است [۶،۷]. پس نمونه‌های پایین خط با شیب ۱/۵ در نمودار شکل-۲، عاری از آلودگی هیدروکربنی و نمونه‌های بالای این خط دچار آلودگی هیدروکربنی شده‌اند. بر اساس شکل-۱، نمونه‌های مربوط به سازند کژدمی را می‌توان عاری از آلودگی هیدروکربنی در نظر گرفت و مورد تفسیر و تجزیه و تحلیل قرار داد.

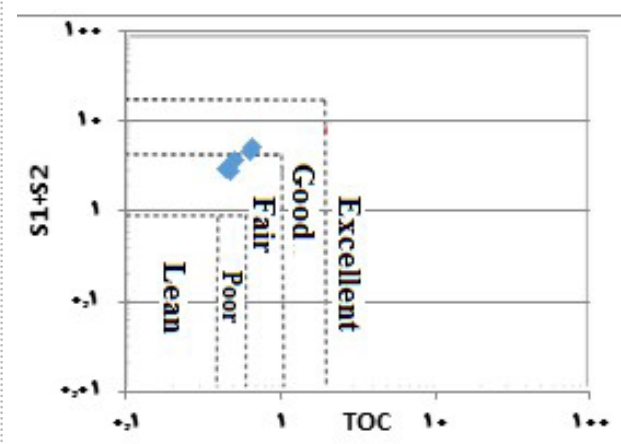
جهت مشخص کردن پتانسیل هیدروکربن‌زایی سازند مورد مطالعه در این مقاله، از نمودار  $S_1+S_2$  در برابر TOC استفاده شده است [۱۰،۹،۸]. با توجه به شکل-۲، می‌توان پی‌برد که



شکل ۱ | تغییرات  $S_1$  در برابر TOC.

۱۱ پارامترهای ژئوشیمیایی تعیین‌کننده توان هیدروکربن‌زایی سنگ منشاء [۱۱].

کیفیت	مقدار $S_1+S_2$ بر حسب mgHC/(gRock)	مقدار $S_2$ بر حسب mgHC/(gRock)	مقدار $S_1$ بر حسب mgHC/(gRock)	کل کربن آلی (TOC)
ضعیف	۰-۳	۰-۲/۵	۰-۰/۵	<۰/۵
متوسط	۳-۶	۲/۵-۵	۰/۵-۱	۰/۵-۱
خوب	۶-۱۲	۵-۱۰	۱-۲	۱-۲
خیلی خوب	>۱۲	>۱۰	>۲	>۲

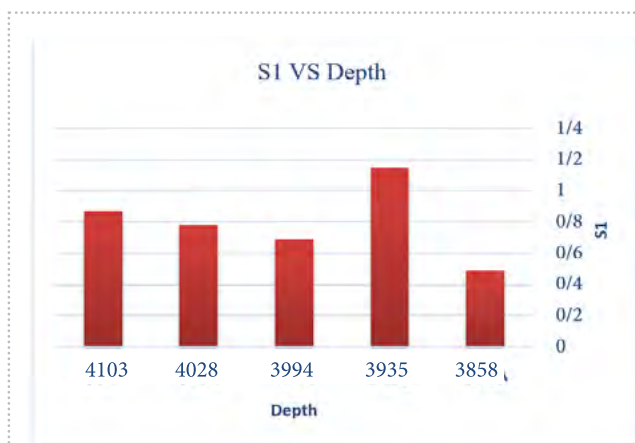


شکل ۲ | تغییرات  $S_1+S_2$  در برابر TOC.

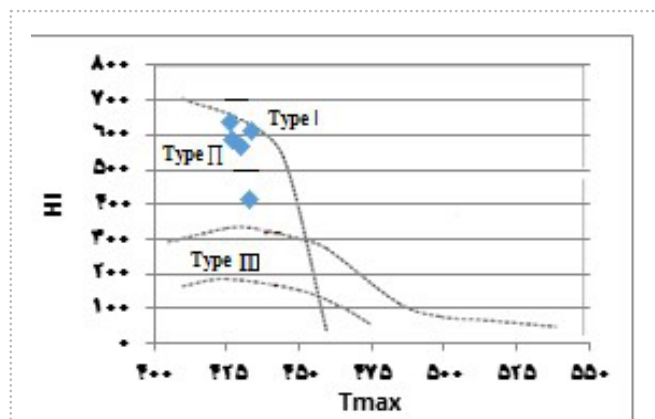
شده در شکل‌های ۶ و ۷، کروژن عمدتاً از نوع I و II می‌باشد گرچه این شکل‌ها عمدتاً بیان‌کننده نوع کروژن یکسانی نیستند. پس می‌توان گفت که سازند کژدمی با توجه به مقادیر  $T_{max}$  که در شکل ۶- نشان داده شده، در محدوده ۴۲۶ تا ۴۳۴ درجه بلوغی در حد مرحله دیاژنز را نشان می‌دهد. البته با توجه به شکل ۷- می‌توان از نتایج شکل ۶- اطمینان حاصل نمود؛ به عبارتی شکل ۷- که نمودار تغییرات  $S_2$  در برابر TOC را نشان می‌دهد، مویید نتایج به دست آمده از شکل ۶- می‌باشد. در شکل ۸- نمودار ضریب هیدروژن بر حسب عمق نشان داده شده است. در این نمودار مقدار کمینه HI برابر ۴۱۴/۶ و مقدار بیشینه آن برابر ۶۳۶/۴ می‌باشد. مقدار میانگین محاسبه شده برابر ۵۶۲/۹ بوده که با توجه به جدول ۲-، نوع هیدروکربن تولیدی، نفت می‌باشد.

جهت تشخیص و تعیین میزان بلوغ نمونه‌ها و وارد شدن به پنجره نفتی، از نمودارهای  $T_{max}$  یا دمای بیشینه در برابر عمق و نمودار شاخص تولید (PI) در مقابل  $T_{max}$  استفاده شده است [۱۴، ۱۵]. نمودار  $T_{max}$  در مقابل عمق در شکل ۹- نشان داده

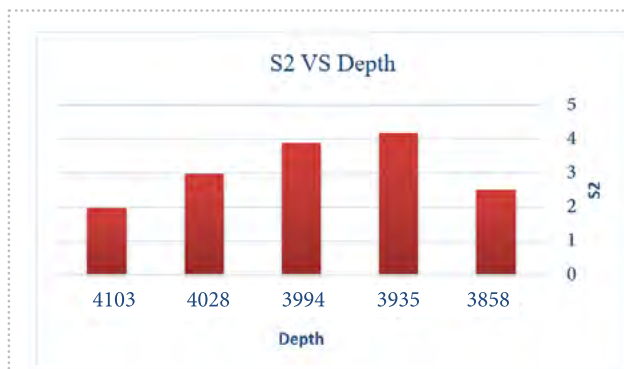
به دست آمد که بیانگر کیفیت ضعیف تا متوسط است. همانطور که می‌دانیم مقدار ضریب هیدروژن (HI)، بیانگر میزان ترکیبات هیدروژن‌دار در کروژن و همچنین کیفیت سنگ منشاء می‌باشد. در ادامه، برای پی‌بردن به نوع کروژن موجود در سازندها، نمودار تغییرات HI در برابر  $T_{max}$  به کار برده شد [۱۲، ۱۳، ۱۴]. با توجه به نمودارهای نشان داده



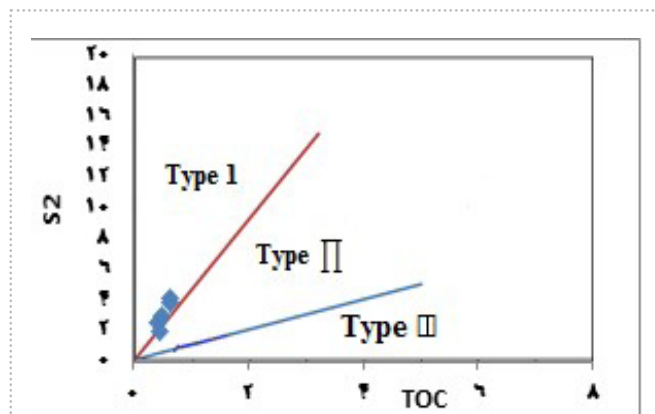
شکل ۳ | نمودار  $S_1$  در برابر عمق



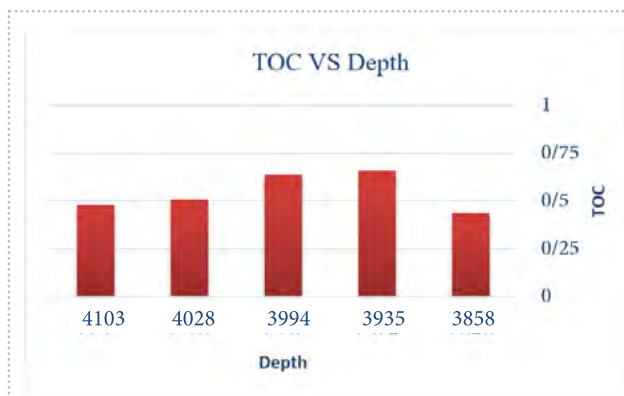
شکل ۶ | تغییرات شاخص هیدروژن (HI) در برابر  $T_{max}$ .



شکل ۴ | نمودار  $S_2$  در برابر عمق

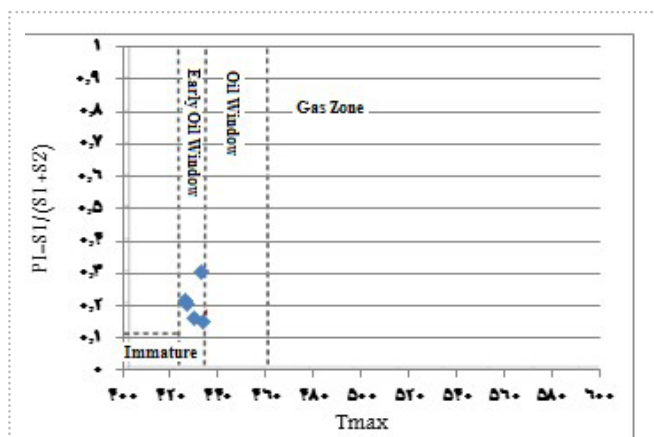


شکل ۷ | تغییرات  $S_2$  در برابر TOC



شکل ۵ | نمودار TOC در برابر عمق

گفت که نمونه‌های این سازند در ابتدای بلوغ تا حدودی در اوایل مرحله پنجره نفتی می‌باشند. در شکل-۱۱، نمودار PI یا شاخص تولید در برابر عمق نشان داده است. با توجه به این شکل نمونه‌ها در این سازند دارای کمینه ۰/۱۵، مقدار بیشینه ۰/۳۰ و مقدار میانگین ۰/۲۰ می‌باشند.

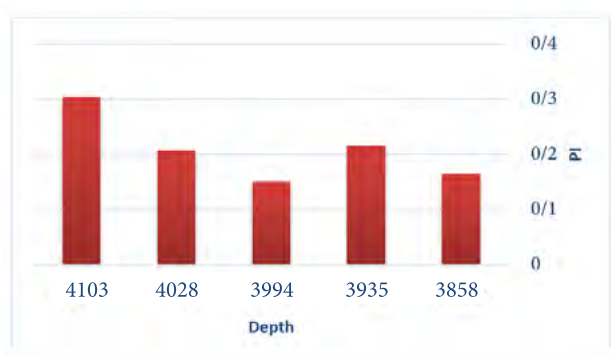


شکل ۱۰ | تغییرات شاخص تولید (PI) در برابر Tmax.

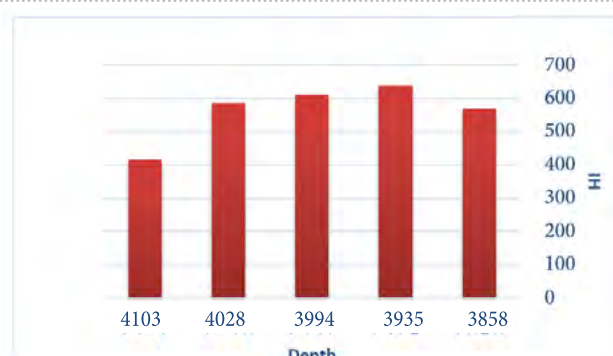
شده است. با استفاده از این نمودار که شاخص بلوغ گرمایی مواد آلی است، مقدار کمینه برابر ۴۲۶ درجه سانتی‌گراد و مقدار بیشینه برابر ۴۳۴ درجه سانتی‌گراد است. میانگین دما برابر ۴۳۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمده که می‌توان گفت این سازند در اوایل مرحله بلوغ (مرحله دیاژنز) بوده و به پختگی لازم و کافی جهت تولید هیدروکربن نفت نرسیده است؛ به عبارتی وارد پنجره نفتی نشده است. با بررسی نمونه‌های سازند کژدمی در شکل-۱۰، می‌توان

پارامترهای ژئوشیمیایی تعیین‌کننده نوع هیدروکربن تولید شده [۱۱]

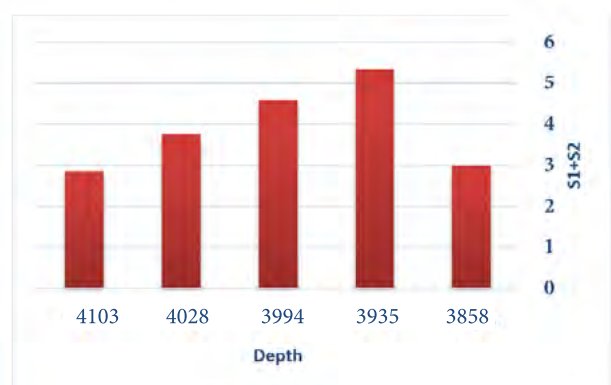
شاخص هیدروژن بر حسب (mgHC/gTOC)	هیدروکربن
۰-۱۵۰	گاز
۱۵۰-۳۰۰	گاز و نفت
>۳۰۰	نفت



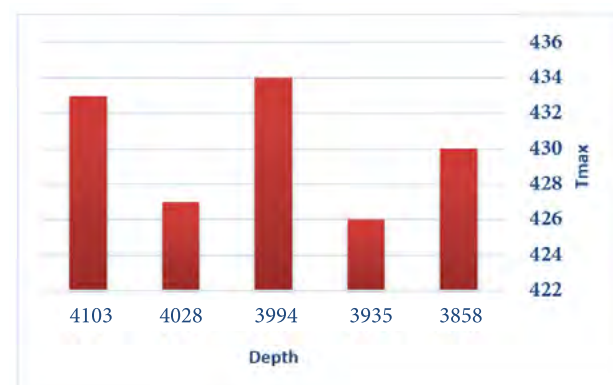
شکل ۱۱ | تغییرات PI در برابر عمق



شکل ۸ | تغییرات HI در برابر عمق



شکل ۱۲ | تغییرات S1+S2 در برابر عمق



شکل ۹ | تغییرات Tmax در برابر عمق

نمودارهای  $S_1$ ،  $S_2$  و TOC در برابر عمق مشخص نمود که از نظر پتانسیل تولید هیدروکربن در حد متوسط است. پس از این با استفاده از نمودار تغییرات  $S_2$  در برابر TOC و همچنین نمودار تغییرات HI در برابر  $T_{max}$  مشخص شد که کروژن سازند کژدمی دارای کروژنی غالباً از نوع I می باشد. به کمک نمودار  $T_{max}$  در برابر عمق معلوم شد که تمامی نمونه‌ها دارای  $T_{max}$  میانگین ۴۳۰ درجه سانتی گراد هستند که نشان‌دهنده آن است که نمونه‌های سازند کژدمی نزدیک به درجه پختگی لازم برای ورود به پنجره نفت می باشند. همچنین تغییرات PI در مقابل  $T_{max}$  نشان داد که نمونه‌ها دارای بلوغ در اواخر مرحله دیاژنز می باشند. در ادامه، نمودار پتانسیل زایشی در برابر عمق رسم شد که بیانگر پتانسیل متوسط این سازند می باشد. پس به طور کلی می توان گفت که در این میدان احتمال سنگ منشاء بودن سازند کژدمی تقریباً ضعیف است و به دلیل این که پتانسیل تولید بالایی ندارد، ممکن است نسبت به دیگر زون‌های سنگ منشاء در این میدان نفتی از درجه اهمیت کمتری برخوردار باشد. ■

پارامتر مهم دیگر پتانسیل زایشی یا پتانسیل تولید است که از حاصل جمع پارامترهای  $S_1$  و  $S_2$  ( $S_1+S_2$ ) به دست می آید. نمودار  $S_1+S_2$  در مقابل عمق در شکل ۱۲، نشان داده شده است. در این سازند مقدار کمینه برابر ۲/۸۶، مقدار بیشینه ۵/۳۵ و مقدار میانگین برابر ۳/۹۱ به دست آمده است که با توجه به جدول ۱، پتانسیل زایشی در این سازند متوسط ارزیابی می شود.

### نتیجه گیری

در این مقاله در ابتدا نمونه‌های مربوط به سنگ منشاء احتمالی سازند کژدمی در میدان نفتی با استفاده از دستگاه راکت‌ایول ۶، پیرولیز شدند. در ادامه، جهت اطمینان از عدم آلودگی نمونه‌ها به مواد هیدروکربنی از نمودار  $S_1$  در مقابل TOC استفاده و معلوم شد که نمونه‌ها تمیز و دچار آلودگی نشده‌اند. به عبارت دیگر، تمامی نمونه‌ها هیدروکربن برجا داشته و دچار آلودگی هیدروکربنی نشده‌اند. پس از حصول اطمینان از عدم آلودگی نمونه‌ها، نتایج پیرولیز با استفاده از

### منابع

- [1] Tissot, B, & Espitalie, J., 1975, "Thermal evolution of organic materials in sediments", application of a mathematical simulation: petroleum potential of a sedimentary basins and reconstructing the thermal history of sediments, revue de institute francais du petrole ET annals des combustibles liquids, v. 30/5, P.743-77.
- [2] Barker, C., 1974, "Pyrolysis technique for source rock evaluation", AAPG Bullrtin, vol.58P.2349-2361.
- [3] کمالی، م، ۱۳۸۵، "ژئوشیمی آلی از فیتوپلانکتون‌ها تا تولید نفت" انتشارات آراین زمین.
- [4] Akinlua A, Ajayi T.R., Jarvie D.M., Adeleke B.B. 2005 " A re-appraisal of the application of rock-Eval pyrolysis to source rock studies in the Niger Delta. Jour of Petr. Gool.28:39-47.
- [5] آقاباتی، ع، ۱۳۸۳، "زمین شناسی ایران" انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی.
- [6] Bordenave, M.L. (1993). Applied Petroleum Geochemistry. Par-is: Editions technip, 524p.
- [7] Behar, f., Beaumont, V., Pentea do, B., 2001, "Rock-eval6 technology: Performarnces and Developments", oil & gas science and technology -Rev. IFB, v. 56, 111-134.
- [8] Hunt, J.M., 1995, "Petroleum geochemistry and geology", 2ed New York, W. H. Freeman and company, P, 733.
- [9] Hao, F, Zou, H., Gong, Z., Deng, Y. (2007). Petroleum migration and accumulation in the Bozhong sub-basin, Bohai Bay basin, China: Significance of preferential petroleum migration path-ways (PPMP) for the formation of large Oil-Fields in lacustrine fault basins. Marine and Petroleum Geology. Vol. 24, p.1-13.
- [10] Peters, K.E., Fowler, M.G. (2002). "Application of petroleum geochemistry to exploration and reservoir management". Organic Geochemistry, v. 33, pp. 5-36.
- [11] Espitaile, J., Medec, M., Tissot, B., Menning, J. J. & Leplate, P., 1977, "Source rock characterization method for ore technology conference, Vol. 3, P, 439-448.
- [12] English, J.M.; Fowler, M.; Johnston, S.T.; Mihalynuk M.G.; and Wight, K.L., (2004), "Thermal Maturity in the Central White-horse Trough, Northwest British Columbia," Resource Development and Geoscience Branch, Summary of Activities 2004.
- [13] Hunt, J.M. (1996). Petroleum Geochemistry and Geology. 2nd Edition. W.H. Freeman and Company, New York. 743 p
- [14] Ibrahimbas, A.; and Riediger, C., (2004), "Hydrocarbon Source Rock Potential as Determined By Rock-Eval 6/TOC Pyrolysis, Northeast British Columbia and Northwest Alberta", Resource De-velopment and Geoscience Branch, Summary of Activities 2004.
- [15] Larter, S.R. and Douglas, A.G. 1982, "Pyrolsis methods in organic geochemistry: An overview", J. Anal. Appl. Pyrol., 4, P.1-19