



## مطالعه نفت مخزن آزادگان در میدان نفتی آزادگان با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی

احمدرضا گندمی نانی<sup>1</sup>، مدیون اکشاف شرکت ملی نفت ایران

پرواز علیزاده<sup>2</sup>، حسین سعادت<sup>3</sup>، سید حسین حسینی<sup>4</sup>، دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده

میدان نفتی آزادگان با حجم نفت در جای بالغ بر ۳۳ میلیارد بشکه و وسعتی در حدود ۹۰۰ کیلومتر مربع از جمله ابر میادین نفتی در حال توسعه جهان محسوب می شود. به منظور مطالعه ژئوشیمیایی و بررسی ویژگی های نفت این میدان نمونه های نفت مخزن آزادگان مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آنالیز کروماتوگرافی ستونی نشان می دهد که نفت های این مخزن از نوع پارافینی است. بر اساس نتایج حاصل از داده های کروماتوگرافی گازی (GC) این نفت ها از سنگ های منشأ دریایی احیایی با کروژن<sup>۵</sup> نوع II و مخلوط II-III نشأت گرفته اند و دارای بلوغ حرارتی بالایی هستند. در این مطالعه برای اولین بار روند تغییرات بلوغ نفتی در میدان نفتی آزادگان بررسی شد و مشاهده گردید که میزان بلوغ میدان از سمت جنوب به شمال افزایش می یابد. شدت احیایی بودن محیط رسوب گذاری سنگ های منشأ نفت نیز در این مخزن به سمت شمال میدان افزایش می یابد. به طور کلی در میدان نفتی آزادگان نفت مخزن آزادگان سبک بوده و احتمالاً از سنگ هایی با منشأ کربناته و فراوانی مواد آلی دریایی در شرایط احیایی به وجود آمده است.

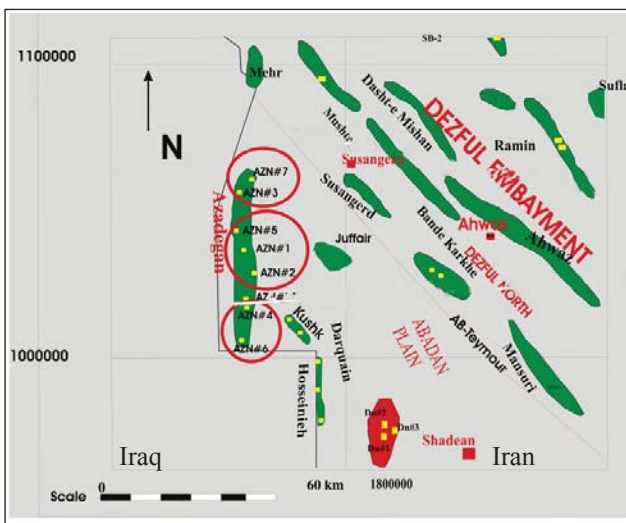
واژگان کلیدی | میدان نفتی آزادگان، بلوغ نفت، مخزن آزادگان، کروماتوگرافی گازی

### مقدمه

حاصل تفکیک شدند. برای جداسازی این برش ها، آلومینا (اکسید آلومینیم فعال) و سیلیکاژل به نسبت ۵۰-۵۰ تهیه شد. جهت جداسازی آلکان های نرمال ابتدا از نرمال هگزان استفاده گردید و برای اطمینان از تفکیک کامل پارافین ها از اشعه ماوراء بنفش (U.V) استفاده شد. هم چنین به منظور تفکیک اجزاء آروماتیکی و رزینی به ترتیب از حلال بنزن و متانول استفاده گردید. سپس آنالیز کروماتوگرافی گازی اجزاء اشباع توسط دستگاه کروماتوگرافی

میدان نفتی آزادگان در ناحیه دزفول شمالی، در مجاورت و به موازات خط مرزی ایران و عراق، در فاصله ۳۰ کیلومتری جنوب غرب میدان جفیر و ۸۰ کیلومتری غرب اهواز واقع شده است. این میدان با وسعتی حدود ۷۴۰ کیلومتر مربع و حجم نفت در جای بالغ بر ۳۳ میلیارد بشکه، یکی از بزرگ ترین میادین نفتی توسعه نیافته جهان محسوب می شود. در این میدان چهار لایه سروک، بخش زیرین کژدمی، گدوان و فهلیان به عنوان مخازن قابل بهره برداری شناخته شده و با حفر چاه ۷- این میدان، سازند نفتی ایلام و لایه ماسه سنگی آزادگان (بورگان) نیز حاوی نفت قابل تولید ارزیابی شده اند. تاقدیس آزادگان با امتداد شمالی-جنوبی فاقد هر گونه رخنمون بوده و روندی مشابه تاقدیس دارخوین دارد. با توجه به نقشه های عمقی لزره ای، این تاقدیس در افق های بنگستان و خامی دارای بستگی می باشد [۱].

کروماتوگرافی گازی از روش هایی است که در ژئوشیمی آلی برای تعیین ویژگی نفت استفاده می شود. به طور کلی این روش به منظور شناسایی پراکندگی هیدروکربن ها و نحوه حضور ترکیبات مختلف از جمله آلکان های نرمال، ایزوپرنوئیدهایی مانند پرستان و فیتان و برخی دیگر از بیومارکرها به کار می رود. از داده های حاصل از این روش می توان نوع رخساره آلی، نوع کروژن، نوع محیط رسوب گذاری، بلوغ حرارتی و تأثیر پدیده های زیستی و آب شویی نمونه ها را مورد مطالعه قرار داد. برای این منظور ابتدا با روش استاندارد آسفالتن گیری و از طریق افزودن نرمال هگزان، آسفالتن از نمونه های نفت خام جدا گردید. در مرحله بعد توسط کروماتوگرافی ستونی، برش های نفتی از مالتن



موقعیت میدان نفتی آزادگان نسبت به میادین هم جوار

\* نویسنده عهده دار مکاتبات (alizadeh@scu.ac.ir)

حاصل از آنالیز کروماتوگرافی گازی نفت‌های مورد مطالعه خواهد آمد.

### ۲- بلوغ حرارتی نمونه‌های مورد مطالعه

برای بررسی بلوغ حرارتی نمونه‌های مورد مطالعه، می‌توان از نسبت‌های مختلفی مانند شاخص ارجحیت کربنی، نسبت‌های Pr/Ph و نسبت‌های ایزوپرنوئید به آلکان‌های نرمال استفاده کرد. در ادامه نتایج حاصل از به کارگیری هر یک از این کمیت‌ها در نمونه‌های مورد مطالعه بررسی قرار شده است.

#### ۱-۲- نسبت Pr/Ph

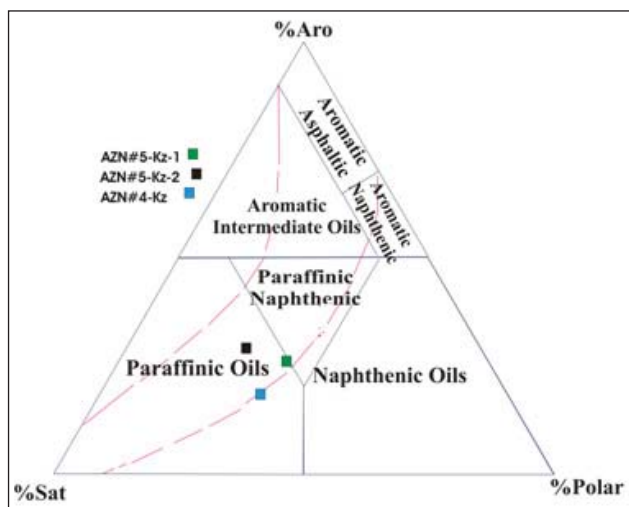
با توجه به اینکه در اثر افزایش بلوغ حرارتی ماده‌آلی و تولید سریع ترفیتان در مقایسه با پرستان، این نسبت مرتب در حال کاهش خواهد بود می‌توان آنرا به عنوان شاخصی از بلوغ حرارتی استفاده کرد [۴]. با توجه به تأثیر شرایط محیطی بر این مقادیر، نسبت حاصل باید با سایر شاخص‌ها مقایسه گردد. برای نمونه‌های مورد مطالعه، افزایش بلوغ بر اساس این نسبت به ترتیب زیر است:

$$AZN\#Kz-4 < AZN\#5-Kz-1 < AZN\#5-Kz-2$$

افزایش بلوغ

#### ۲-۲- شاخص ارجحیت کربنی (CPI)

بلوغ حرارتی باعث کاهش تدریجی طول زنجیره آلکان‌های



شکل ۳ رسم نمودار مثلثی جهت تعیین ترکیب شیمیایی نفت‌های مورد مطالعه

گازی مدل Vinci2010 با ستون موئین ۲۵ متری و با قطر داخلی ۰/۲۲ میلی‌متر و گاز حامل نیتروژن با شرایط دستگاهی استاندارد (ارائه شده توسط عزیزاده و همکاران [۲]) انجام شد. کلیه مراحل آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها در مرکز پژوهشی زمین‌شناسی و زمین‌شیمی نفت دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گرفت. نتایج حاصل از آنالیز کروماتوگرافی ستونی، پارافینی بودن نفت را تأیید می‌کند (شکل-۲).

### ۱- بحث

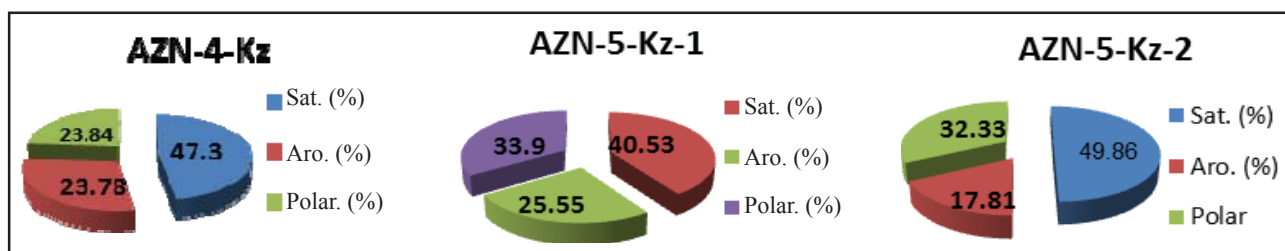
برای انجام این مطالعه چهار نمونه نفت حاصل از چاه‌های ۴-۵ مربوط به بخش زیرین کزدمی (ماسه‌سنگ آزادگان یا بورگان) آنالیز شد. در نمونه‌های نفتی مذکور اجزای اشباع بیشترین برش هیدروکربوری را به خود اختصاص داده‌اند و مقدار آنها حدود ۵۰-۴۱ درصد بوده است. پس از آنها هیدروکربورهای قطبی با مقادیر ۳۴-۲۳ درصد و آروماتیک‌ها با مقادیر ۲۶-۱۷ درصد قرار گرفته‌اند. با توجه به این مسئله، با رسم نمودار مثلثی تیسوت و ولته [۳]، نفت‌های مخزن آزادگان از میدان نفتی آزادگان در محدوده پارافینی قرار می‌گیرند (شکل-۳). ترتیب نمونه‌ها بر اساس افزایش بلوغ در نمودار شکل-۳ به ترتیب زیر است:

$$AZN\#5 Kz-1 < AZN\#5-Kz-2 < AZN\#4-Kz$$

افزایش بلوغ

با استفاده از کروماتوگرافی گازی نسبت‌های مختلفی مانند نسبت پرستان به فیتان (Pr/Ph)، نسبت پرستان به نرمال آلکان هم‌جوار (Pr/n-C<sub>17</sub>)، نسبت فیتان به نرمال آلکان هم‌جوار (Ph/n-C<sub>18</sub>)، شاخص ارجحیت کربنی (CPI)، نسبت زنجیره‌های فرد کربنی به زنجیره‌های زوج کربنی (OER)، نسبت قاره‌ای به دریایی (TARS)<sup>۸</sup> و در نهایت نسبت زنجیره‌های بلند به کوتاه آلکان‌های نرمال (L/S) محاسبه شدند (جدول-۱). در ادامه تفسیر داده‌های

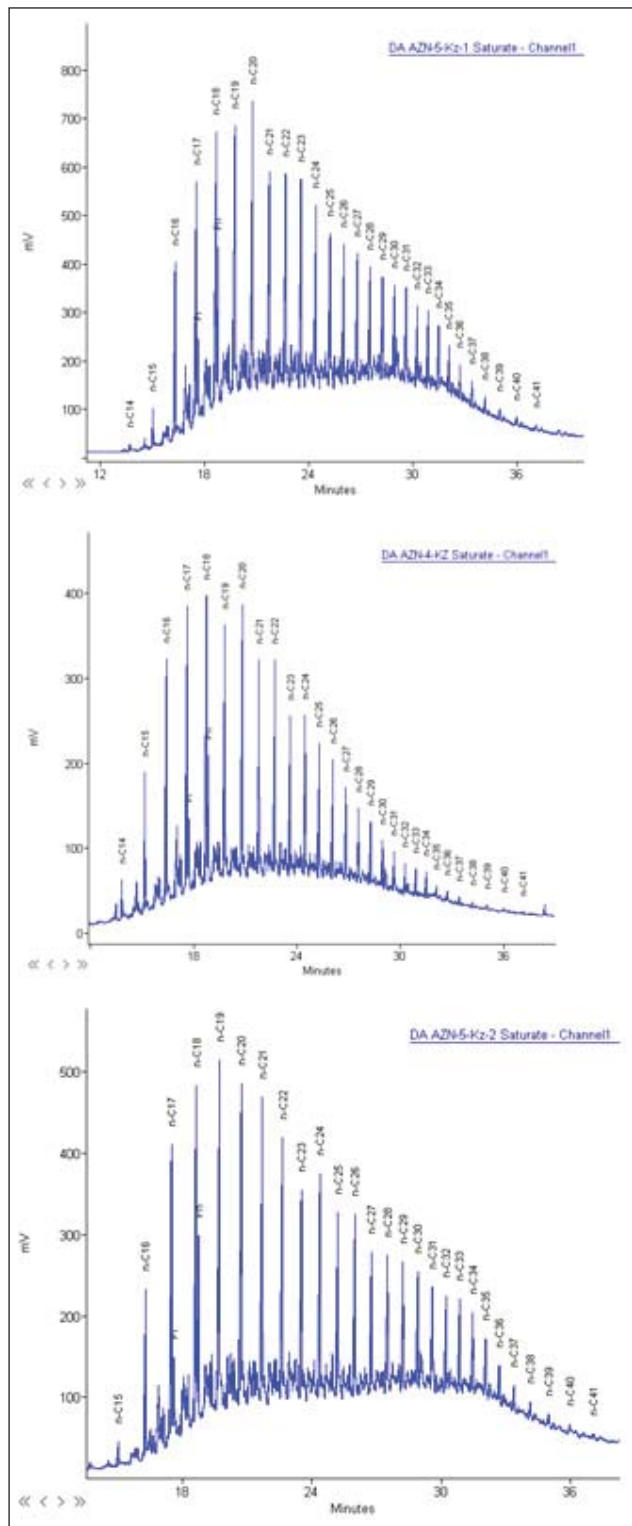
نمونه نسبت	Pr/Ph	Pr/n-C <sub>17</sub>	Ph/n-C <sub>18</sub>	CPI	OER	L/S
AZN#4-Kz	۰/۸۳	۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۹۶	۰/۸۶	۰/۳۹
AZN#5-Kz-1	۰/۶۹	۰/۴۹	۰/۵۲	۱/۱۰۴	۰/۹۶	۱/۰۰۳
AZN#5-Kz-2	۰/۳۸	۰/۲۶	۰/۴۸	۱/۰۲۲	۰/۰۰۵	۰/۵۲



شکل ۲ نتایج حاصل از کروماتوگرافی ستونی نمونه‌های مورد مطالعه

### ۳- شرایط حاکم بر محیط رسوبی دیرینه

مقادیر زیاد نسبت Pr/Ph (بیشتر از ۳) معمولاً نشان‌دهنده رسوبات



نرمال می‌شود و از آنجا که شاخص ارجحیت کربنی آلکان‌های نرمال تازه تشکیل شده بسیار پائین است، با افزایش بلوغ مقادیر حاصل برای این شاخص به عدد یک نزدیک‌تر می‌شوند [۴]. به‌طور کلی نفت‌هایی با شاخص ارجحیت کربنی ۱-۰/۹ از لحاظ حرارتی بالغ هستند [۵]. با توجه به جدول ۱-، همه نمونه‌ها با شاخص ارجحیت کربنی مقادیر حاصل برای این شاخص ۰/۹۶-۱/۱۰۴ در محدوده بالغ قرار می‌گیرند.

### ۳-۲- نسبت‌های $Ph/n-C_{18}$ و $Pr/n-C_{17}$

افزایش سریع‌تر مقدار آلکان‌های نرمال در مقایسه با ایزوپرنوئیدها طی بلوغ حرارتی، باعث به‌وجود آمدن شاخص بلوغ دیگری می‌شود. بدین ترتیب کاهش مقدار این نسبت‌ها می‌تواند نشانه‌ای از افزایش بلوغ حرارتی ماده آلی باشد [۴ و ۵]. با توجه به جدول ۱-، نمونه‌های موجود در قسمت شمالی میدان (AZN#5-Kz-2) در مقایسه با جنوب آن (AZN#4-Kz-2) بلوغ بیشتری دارند.

### ۴-۲- نوع ماده آلی

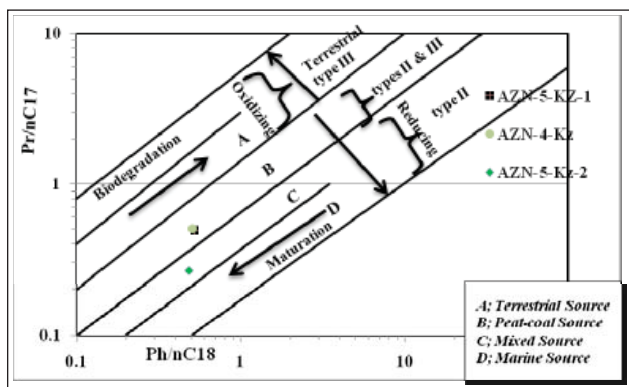
موجودات دریایی در مقایسه با گیاهان خشکی (زنجیره‌هایی با تعداد اتم محدود  $C_{11}$ )، عمدتاً زنجیره‌های کوتاه‌تری (حداکثر تا  $C_{11}$ ) تولید می‌کنند. از سوی دیگر زنجیره‌های کربنی تولید شده به وسیله گیاهان خشکی عمدتاً دارای تعداد اتم کربن فرد (در محدوده  $C_{15}$ - $C_{25}$ ) هستند. گیاهان دریایی در مقایسه با گیاهان خشکی، زنجیره‌های کوتاه‌تری با تعداد اتم‌های فرد ( $C_{11}$ - $C_{15}$ ) تولید می‌کنند [۵]. به همین منظور نسبت‌های کربن فرد به زوج زنجیره‌های هیدروکربنی تولید شده و هم‌چنین نسبت مقدار آلکان‌های طویل زنجیره ( $C_{11}$ ) به آلکان‌های نرمال با زنجیره کوتاه ( $C_{15}$ ) می‌توانند برای تشخیص مواد آلی دریایی از مواد آلی خشکی مورد استفاده قرار گیرند [۶]. با توجه به چگونگی پراکندگی آلکان‌های نرمال در نمونه‌های مورد نظر مشاهده می‌شود که بیشترین فراوانی آلکان نرمال در نمونه AZN#5-Kz-2 مربوط به  $n-C_{19}$  و در نمونه AZN#Kz-4 مربوط به  $n-C_{18}$  و در نمونه AZN#5-Kz-1 مربوط به  $n-C_{20}$  است که این امر حاکی از منشأ دریایی نفت‌های مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۴-).

### ۵-۲- نسبت L/S

حضور بیشتر آلکان‌های نرمال کوتاه زنجیره در مقایسه با زنجیره بلند، نشان‌دهنده ورود قابل ملاحظه مواد آلی دریایی به محیط ته‌نشست می‌باشد [۴]. در نمونه‌های مورد مطالعه مقادیر نسبت L/S کم است (جدول ۱-۱) که این امر می‌تواند نشان‌دهنده حضور بیشتر ماده آلی دریایی در نمونه‌ها باشد.

### ۶-۲- نسبت زنجیره‌های فرد کربنی به زنجیره‌های زوج کربنی (OER)

مقادیر بیشتر از یک برای این نسبت نشان‌دهنده وجود مقادیر زیادی از مواد آلی قاره‌ای است [۷]. بررسی این نسبت در نمونه‌های مورد مطالعه کمتر از یک می‌باشد که این مطلب نشان‌دهنده ته‌نشست اغلب مواد آلی سنگ‌ها، در یک محیط دریایی است.



شکل ۵ | نمودار نسبت‌های پرستان و فیتان به آلکان‌های نرمال

- از سمت جنوب به سمت شمال میدان است.
- شاخص ارجحیت کربنی (CPI) با مقداری نزدیک به یک میزان بلوغ حرارتی زیادی را برای نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.
- پراکندگی آلکان‌های نرمال و نسبت قاره‌ای به دریایی (TARs) حاصل، نشانگر مواد آلی از نوع دریایی است و نسبت زنجیره‌های فرد کربنی به زنجیره‌های زوج کربنی (OER) نیز تا حد زیادی تأیید کننده این مطلب است.
- استفاده از نمودارهای نسبت  $Pr/n-C_{17}$  در برابر نسبت  $Ph/n-C_{18}$  نشان‌دهنده ماده آلی با منشأ دریایی است که در یک محیط احیایی ته‌نشست یافته‌اند. بدین ترتیب می‌توان گفت نمونه‌های مورد مطالعه بلوغ حرارتی بالایی دارند و در یک محیط رسوبی دریایی احیایی ته‌نشست یافته‌اند.
- بر اساس نمونه‌های مورد مطالعه با داشتن نسبت  $Pr/Ph$  در بازه  $0.81 - 0.31$  از سنگ‌های منشأ کربناته در شرایط احیایی به وجود آمده‌اند و برای سنگ‌های منشأ نفت‌های مخزن کژدمی به سمت شمال شرایط احیایی با شدت بیشتری حکم فرما بوده است. ■

رودخانه‌ای و دلتایی با ورود میزان قابل توجهی از مواد آلی قاره‌ای و ته‌نشینی در شرایط اکسیدان است. در مقایسه، مقادیر کم این نسبت (کمتر از ۰/۸) نشانگر محیط‌های کربناتی با شرایط غیراکسیدان است [۸ و ۹]. برخی محققان از جمله ویلز معتقدند اگر نسبت  $Pr/Ph$  کمتر از یک باشد، شاخص رسوبات دریایی احیایی حاوی سولفور بالاست، ولی اگر این نسبت بین ۱ تا ۳ باشد، نشان‌دهنده رسوبات دریایی اکسیدی است و مقادیر بیشتر از ۳ برای این نسبت به زغال‌ها منتسب می‌شود [۹]. بر همین اساس می‌توان گفت که نمونه‌های مورد مطالعه با نسبت  $Pr/Ph$  در بازه  $0.81 - 0.31$  به احتمال فراوان از سنگ‌های منشأ کربناته و در شرایط احیایی به وجود آمده‌اند.

نمودار رسم شده با استفاده از نسبت‌های پرستان و فیتان به آلکان‌های نرمال  $C_{17}$  و  $C_{18}$  نیز می‌تواند برای تعیین نوع محیط رسوبی و شرایط حاکم بر آن مورد استفاده قرار گیرند. در این نمودارها نفت‌های قاره‌ای در قسمت بالای نمودار قرار می‌گیرند؛ در حالی که نمونه‌های دریایی که در محیطی با شرایط اکسیدان کمتر ته‌نشین شده‌اند، در بخش پایین آن قرار می‌گیرند [۵].

استفاده از این نمودارها برای نمونه‌های مورد مطالعه، نشان‌دهنده وجود ماده آلی با منشأ دریایی و دریایی- قاره‌ای (کروژن نوع III و II) است که در یک محیط احیایی ته‌نشست یافته‌اند. هم‌چنین این نمودار نشان می‌دهد که در محدوده مورد مطالعه شرایط احیایی به سمت شمال میدان با شدت بیشتری حکم فرما بوده است (شکل-۵).

#### نتیجه‌گیری

- در این مقاله با استفاده از نمودار مثلثی تیسوت و ولته نوع نفت‌های مخازن مورد مطالعه، پارافینی تشخیص داده شد.
- داده‌های مورد استفاده برای تعیین بلوغ حرارتی (نسبت CPI، نسبت  $Pr/Ph$ ، نسبت‌های پرستان و فیتان به آلکان‌های نرمال و فراوانی آلکان‌های نرمال) نشان‌دهنده افزایش بلوغ در مخزن آزادگان در میدان نفتی آزادگان

#### پانویس‌ها

1. hsaadate@yahoo.com  
2. hosseini@scu.ac.ir  
3. gandomisani@gmail.com

4. Gas Chromatography  
5. kerogen  
6. polar

7. Carbon Preference Index  
8. Terrigenous Aquatic Ratio

#### منابع

[1] نیک طبع، محمد رضا (۱۳۸۱). گزارش تکمیلی زمین شناسی چاه شماره ۵- میدان آزادگان، اداره کل زمین شناسی مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران

[2] Alizadeh, B., Alipour, M., Hosseini S, H., Jahangard A, A., 2011. Paleoenvironmental reconstruction using biological markers for the Upper Triassic–Middle Jurassic sedimentary succession in Tabas Basin, central Iran. *Organic Geochemistry*, v. 42, (2011) 431–437.

[3] Tissot, B.P., and Welte, D.H., 1984. *Petroleum Formation and Occurrence*, 2nd edition, Springer-Verlag, Trondheim, June 2002.

[4] Peters, K. E., Clifford, C. E. and Moldowan, J. M., 2005. *The Biomarker Guide*. 2nd ed. Prentice Hall, New Jersey.

[5] Hunt J. M., Philp R. P. and Kvenvolden K. A., 2002. *Early Developments in Organic Geochemistry*, *Organic Geochemistry*, v. 33, pp. 1025-1052.

[6] Wakeham, S.G., 1990. Algal and bacterial hydrocarbons in particulate matter and interfacial sediment of the Cariaco Trench. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 54, 1325–1336

[7] Akinlua A. and Ajayi T. I., 2009. Geochemical Characterization of Central Niger Delta oils, *Journal of petroleum geology*, v. 32(4), pp. 373-382

[8] Alizadeh, B., Adabi, M.H. and Tezheh, F., 2007. Oil-Oil Correlation of Asmari and Bangestan Reservoirs using Gas Chromatography and Stable Isotopes In Marun Oilfield, SW Iran. *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction A*, v.31, No.A3, pp.241-252.

[9] Waples, D.W., 1985. *Geochemistry in Petroleum Exploration*. International Human Resources Development Corporation, Boston.