

مطالعه ایزوتوپی نفت مخازن گروه بنگستان در برخی از میادین دشت آبادان، جنوب غرب ایران

بهرام علیزاده

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
مرکز پژوهشی زمین شناسی و زمین شیمی نفت، دانشگاه شهید چمران اهواز

حجت تمیشه

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

علیرضا زراسوندی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
مرکز پژوهشی زمین شناسی و زمین شیمی نفت، دانشگاه شهید چمران اهواز

مهراب رشیدی

شرکت ملی نفت ایران، مدیریت اکتشاف و بهره برداری نفت

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۲۶

alizadeh@scu.ac.ir

چکیده

دشت آبادان حوضه رسوبی واقع در انتهای جنوب غربی زاگرس است. به منظور مطالعه ویژگی‌های نفت این منطقه، نفت مخازن گروه بنگستان در برخی از میادین این زون بوسیله دستگاه کروماتوگرافی گازی - نسبت ایزوتوپی طیف سنجی جرمی (GC-IRMS) مورد بررسی ایزوتوپی قرار گرفت. نتایج GC-IRMS نشان داد که تمامی نفت‌های مورد مطالعه دارای منشأ دریایی همراه با ورود مقدار کمی مواد آلی قاره‌ای هستند. با استفاده از آنالیز ایزوتوپی ترکیبات خاص (CSIA) مشخص شد که نفت همه مخازن هم خانواده بوده و دارای روند با شیب منفی و یا مسطح می‌باشند که نشانگر محیط دریایی و حدواسط است. بر اساس مقادیر ایزوتوپی ایزوپرنوئیدهای پریستان و فیتان، نوع مواد آلی مولد نفت‌های مورد مطالعه تقریباً یکسان، همراه با ورود مقدار کمی مواد ناهمگن بوده است. دلیل فاصله گرفتن نمونه‌های Ba-Sv و Aa-Bu از بقیه نمونه‌ها، درجه بلوغ و یا ماده آلی متفاوت آنها می‌باشد. بنابراین استفاده از روشهای ایزوتوپی، خصوصاً روش CSIA در مطالعات نفتی از جمله انطباق و تعیین مواد آلی بسیار کارآمد بوده و از دقت بالایی برخوردار است.

کلمات کلیدی: دشت آبادان، گروه بنگستان، بلوغ، GC-IRMS، CSIA

مقدمه

جدیدترین روشهایی است که بوسیله آن می‌توان مقادیر ایزوتوپی آلکان‌های منفرد را برای مطالعات ایزوتوپی محاسبه کرد. این روش که آنالیز ایزوتوپی ترکیبات خاص (CSIA) نامیده می‌شود در این مطالعه استفاده شده است.

تفاوت‌های مشاهده شده در نمودارهای این روش عمدتاً حاصل ویژگی‌های سنگ منشا و بلوغ نمونه‌هاست. اگر تفاوت‌های مشاهده شده در پروفایل‌های ایزوتوپی کمتر از ۲% باشد، عمدتاً بلوغ عامل ایجاد آن بوده ولی اگر بیشتر باشد معمولاً عوامل دیگری همچون نوع سنگ و تجزیه زیستی نیز در ایجاد آن نقش دارد (Clayton., 1991, Summons et al., 1994, Peters et al 2005). عامل دیگر تجزیه تخییری است ولی بژورو دریافت که این عامل حداقل در C4-Bjoroφ et al (1994) و کاندینسیت‌ها تغییر قابل توجهی ایجاد نمی‌کند (Bjoroφ et al 1994).

زمین‌شناسی منطقه

دشت آبادان در انتهای جنوب غربی زاگرس واقع شده و از شمال و

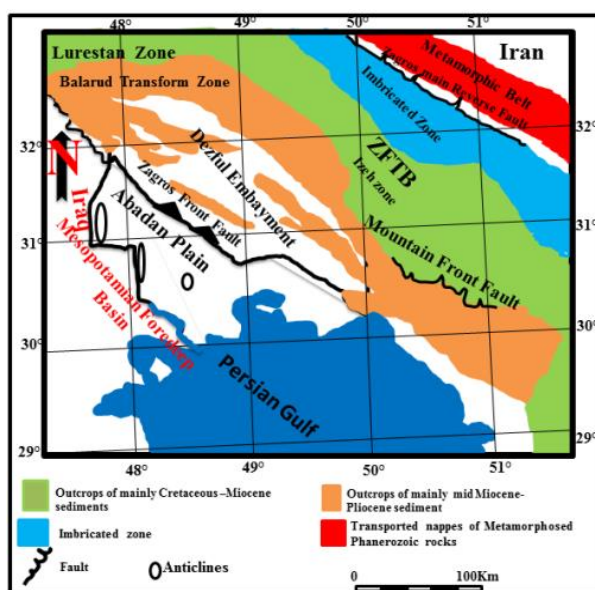
کشف منابع جدید هیدروکربوری در حوضه رسوبی دشت آبادان مانند میادین آزادگان، یادآوران و دارخوین در چند سال گذشته بیانگر ضرورت انجام مطالعات جامع‌تر زمین‌شناسی در این حوضه رسوبی به منظور شناخت بهتر نحوه رسوب‌گذاری و شکل‌گیری ساختارهای ساختمانی و چینه‌ای آن است. عمده تجربه و مطالعات انجام شده شرکت ملی نفت ایران تاکنون بر میادین شرق کارون متمرکز بوده و تجربه توسعه میادین غرب کارون که از ساختار زمین‌شناسی متفاوتی با میادین شرق کارون برخوردارند، کمتر در دسترس بوده است. لذا به‌منظور اعمال مدیریت مؤثر مخزن در میادین تحت توسعه این ناحیه، بررسی جامع این منطقه ضروری است. تاکنون به دلیل فراوانی میادین حوزه زاگرس به خصوص در فروافتادگی دزفول، دشت آبادان مورد بررسی جامع قرار نگرفته است. از جمله اهداف این مطالعه بررسی ایزوتوپی نفت مخازن گروه بنگستان در قالب تعیین محیط رسوبگذاری، نوع ماده آلی و همچنین انطباق نفت - نفت این مخازن می‌باشد. کروماتوگرافی گازی - نسبت ایزوتوپی طیف سنجی جرمی از جمله

توالی‌های آلبین تا کامپانین (سازندهای کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام) در زاگرس با عنوان گروه بنگستان معرفی شده است (شکل ۲). سازند کژدمی به سن آلبین در این حوضه به دلیل دارا بودن پتانسیل هیدروکربورزایی در اکثر میداین نفتی ایران از اهمیت خاصی برخوردار است. این سازند از شیل و شیل‌های آهکی تشکیل شده و در دشت آبادان علاوه بر سنگ منشأ به عنوان سنگ مخزن نیز شناخته می‌شود. قسمتی که دارای خواص مخزنی است، ماسه سنگ آزادگان نامیده می‌شود. این بخش در اصل تداومی از سازند بورگان کویت و یا نهر عمر عراق است. برش نمونه این سازند در چاه آزادگان ۱ مشاهده می‌شود. این سازند تناوبی از ماسه ریز، با دانه‌بندی ظریف، جورشدگی بسیارخوب و دانه‌های مدور تا نیمه‌مدور به همراه لایه‌های شیل خاکستری رنگ می‌باشد (مطیعی، ۱۳۸۲ و Ghazban, 2007). برش نمونه سازند سروک (آلبین پسین - تورونین میانی) در تنگ سروک واقع در یال جنوبی کوه بنگستان در شمال باختری شهرستان بهبهان و شمال خاوری میدان‌های نفتی پارسی و کرج اندازه‌گیری شده است. در قاعده آهک‌های خاکستری تیره با لایه‌بندی گره‌ای، ریزدانه، رسی و حاوی آمونیت‌های فراوان همراه با لایه‌های نازک از مارن‌های خاکستری تیره به صورت بین لایه‌ای است. بخش میانی شامل آهک‌های توده‌ای خشن، قهوه‌ای روشن، چاکی همراه با قطعاتی از رودیست‌هاست. بخش بالایی آهک‌های خیلی ضخیم تا ضخیم لایه با هوازگی نامنظم آغشته به اکسیدهای آهن و برشی شده است (مطیعی، ۱۳۸۲). کربنات‌های این سازند به دلیل متحمل شدن شرایط و محیط‌های دیاژنزی مختلف، دارای خواص مخزنی متفاوت و پیچیده‌ای می‌باشند. سازند آهکی ایلام برای اولین بار توسط جیمز و وایند (۱۹۶۵) در تنگ گراب در شمال غربی تاقدیس کبیرکوه در ۴۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر ایلام در ناحیه لرستان معرفی گردید. این سازند در محل مقطع نمونه شامل ۱۹۰ متر سنگ آهک خاکستری با لایه‌بندی متوسط تا نازک‌لایه همراه با میان لایه‌های شیلی است. این سازند بصورت تحت‌الارضی در منطقه خوزستان نقش سنگ مخزن نفت را ایفا می‌نماید و در رأس مخزن بنگستان قرار دارد.

شمال شرقی به محدوده چین‌های زاگرس، از جنوب به عربستان و خلیج فارس و از غرب به کشور عراق محدود می‌گردد. از ویژگی‌های این ناحیه می‌توان به حضور بلندهای شمال - جنوبی و شمال شرقی - جنوب غربی (روند عربی) اشاره کرد. ناحیه مورد نظر یک پهنه حد واسط وسیع میان پلاتفرم عربستان در جنوب غرب و فروافتادگی دزفول در شمال شرق به‌شمار می‌رود (شکل ۱). بر اساس اطلاعات حفاری و لرزه‌ای جمع آوری شده، گسلش در پی سنگ و حرکت نمک هرمز به عنوان عوامل اصلی ایجاد ساختمان‌های با روند شمالی - جنوبی و شمال شرقی - جنوب غربی معرفی شده‌اند (Satarzadeh et al., 2000). اوج این فعالیت‌ها در زمان کرتاسه اتفاق افتاده و با گسترش حرکات زاگرسی در اواخر پالئوژن ساختمان‌هایی با روند عربی مجدداً فعال شده‌اند. وجود تفاوت‌های اساسی در رسوبگذاری دشت آبادان از لحاظ زمین‌شناسی ساختمانی با ناحیه رسوبی زاگرس و فروافتادگی دزفول، ضرورت انجام مطالعه یکپارچه و منظم به منظور شناخت بهتر منطقه و ناحیه مورد نظر که دارای ابهامات بسیار زیادی نیز هستند را نشان می‌دهد.

مهم‌ترین تفاوت‌های دشت آبادان با ناحیه رسوبی زاگرس و فروافتادگی دزفول عبارتند از:

- شیب تاقدیس‌ها در این ناحیه بر خلاف ناحیه رسوبی زاگرس و فروافتادگی دزفول، ملایم است.
- تاقدیس‌های حوضه رسوبی دشت آبادان بر خلاف ناحیه رسوبی زاگرس و فروافتادگی دزفول دارای روند شمالی - جنوبی هستند.
- هیچ‌گونه بیرون‌زدگی تاقدیسی در این حوضه مشاهده نمی‌شود.
- وجود تاقدیس‌ها در این ناحیه حاصل گسل‌های پی‌سنگی است.
- بر خلاف ناحیه رسوبی زاگرس و فروافتادگی دزفول که در آن مخازن کم‌عمق‌تر (سازند آسماری) دارای اهمیت می‌باشند، در این ناحیه مخازن عمیق‌تر (گروه بنگستان و خامی) مورد توجه هستند.



شکل ۱. موقعیت دشت آبادان در جنوب غرب ایران اقتباس از (Alizadeh et al., 2015)

روش مطالعه

روش ایزوتوپی کلی (Bulk Isotope)

بر خلاف کربن ۱۴، کربن ۱۳ (^{13}C) در تمامی رسوبات با سن‌های زمین شناسی متفاوت یافت می‌گردد. اگرچه این ایزوتوپ نمی‌تواند برای تعیین سن بکار رود اما می‌تواند بسیاری از ابهامات ژئوشیمیایی را پاسخگو باشد. برای محاسبه نسبت $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ در نفتها از اسپکترومتر جرمی نسبت ایزوتوپی (Isotope Ratio Mass Spectrometer, IRMS) استفاده می‌گردد که از طریق فرمول

زیر، دستگاه قادر به تعیین نسبت زیر می‌باشد:

$$\delta \text{C} \% = \left(\frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ sample} - ^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ standard}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ standard}} \right) \times 1000$$

همانطور که مشاهده می‌شود این نسبت با علامت δ و بر حسب $\%$ (parts per mil) بیان می‌گردد. استاندارد دی که بیشتر برای نمایش آن استفاده می‌گردد، بر اساس بلمنیت بدست آمده از سازند پی دی (Pee Dee) در کارولینای جنوبی استوار است که آنرا به طور مختصر (Pee Dee Belemnite, PDB) می‌نامند (Craig, 1953).

نمودار سافر

در این مطالعه از نمودار سافر برای تفکیک نفت‌های دریایی و غیر دریایی استفاده شد. سافر (Sofer) در سال ۱۹۸۴ توانست با بدست آوردن یک شاخص استاندارد، نفتهای دریایی (غیر پارافینی) را از نفتهای قاره‌ای (پارافینی) متمایز نماید، که این روش نیز امروزه به عنوان یک پارامتر خوب در مطالعات ایزوتوپی نفتها بکار می‌رود. او با مطالعه ۳۳۹ نمونه نفتی نشان داد که ایزوتوپ پایدار کربن آروماتیک ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Aro}}$) در نفتهای قاره‌ای (پارافینی) و دریایی (غیر پارافینی) تقریباً معادل یکدیگر بوده در صورتیکه مقدار نسبت ایزوتوپ پایدار کربن اشباع شده ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Sat}}$) در دو نفت با منشأهای فوق با یکدیگر تفاوت عمده‌ای را نشان می‌دادند. لذا مقدار نسبتهای ایزوتوپی هیدروکربنهای اشباع شده در برابر هیدروکربنهای آروماتیکی می‌تواند جهت تمیز دو نوع نفت پارافینی و غیر پارافینی مورد استفاده قرار گیرد (Sofer, 1984).

با ترسیم مقادیر ایزوتوپ‌های کربن آروماتیکها ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Aro}}$) در برابر اشباع شده‌ها ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Sat}}$)، معادله بهترین خط جدایش دو محیط دریایی و قاره‌ای به صورت زیر بیان گردید (Sofer, 1984):

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{Aro}} = 1.14 \delta^{13}\text{C}_{\text{Sat}} + 5.46$$

همچنین معادله خطوطی که در آن بیشترین تجمع نفتهای دریایی و قاره‌ای می‌باشد را به صورت زیر نمایش می‌دهند (Sofer, 1984):

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{Aro}} (\%) = 1.12 \delta^{13}\text{C}_{\text{Sat}} + 5.45 \quad (\text{پارافینی})$$

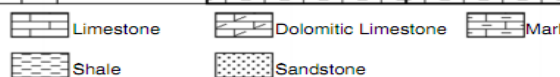
$$\delta^{13}\text{C}_{\text{Aro}} (\%) = 1.10 \delta^{13}\text{C}_{\text{Sat}} + 3.75 \quad (\text{غیر پارافینی})$$

نفت پارافینی از کروژنی مشتق شده است که در یک محیط غیردریایی مانند دریاچه‌ای تا دلتایی نهشته شده است در حالیکه نفت غیر پارافینی، عموماً از کروژنی نشأت گرفته است که در محیطهای دریایی باز رسوب کرده است (Fuex, 1977).

متغیر استاندارد (CV)

بر اساس پردازش آماری، می‌توان پارامتر متغیر استاندارد (Canonical Variable, CV) را محاسبه نمود. CV در واقع فاصله عمودی یک نمونه نفتی

Period/EPOCH	Age	Abadan Plain	South Persian Gulf	
Cretaceous	Late	Maastrichtian	Simsima	
		Campanian	Fiqa	
		Santonian	Halul	
	Middle	Coniacian	Lafan	Laffan
		Turonian		Mishrif
		Cenomanian	Sarvak	Shlif (Khatiyah)
		Albian		Mauddud
	Early		Kazhdumi	Nahr Umr
		Aptian	Dariyan	Bab Mbr Shu'aba
		Barremian	Gadvan	Kharab
Hauterivian			Lekhwar Zakum Mbr	
Valanginian		Fahlan	Habsan	
Berriasian				



شکل ۲. جارت چینه‌شناسی سازندهای کرتاسه در منطقه مورد مطالعه اقتباس از (Masoudi et al., 2012)

مواد و روش‌ها

تکنیک استفاده شده برای این آنالیز دستگاه (Thermofisher Delta V Isotope Ratio Mass Spectrometer) می‌باشد. در این تکنیک، ایزوتوپ کربن به ترتیب بر روی بخش‌های اشباع و آروماتیک نفت‌ها و اجزاء نفتی و همچنین ترکیبات منتخب هیدروکربن‌های اشباع (آلکان‌های نرمال، پرستان و فیتان) اندازه‌گیری شد و نتایج نسبت به استاندارد The Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB) برای $\delta^{13}\text{C}$ محاسبه شدند. دقت این روش بهتر از ۰/۲٪ بود. مقداری از بخش‌های هیدروکربنی (0/4 mg) درون کپسولی از جنس قلع قرار داده شده و بوسیله آنالیز عنصری (Flash EA 1112) در مجاورت اکسیژن اضافی در دمای ۱۰۲۰ درجه سانتیگراد سوزانده شدند (Alizadeh et al., 2015). دی اکسید کربن حاصل بلافاصله توسط دستگاه (Thermofisher Delta V Isotope Ratio Mass Spectrometer) آنالیز شد. نسبت ایزوتوپی $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ دی اکسید کربن نمونه‌ها با نسبت متناظر مرجع دستگاه مقایسه شده و در مقابل مقدار استاندارد VPDB کالیبره شد. دقت تمام فرآیند تجزیه در حدود ۰/۱ تا ۰/۲٪ بود. آنالیز ایزوتوپ کربن برای ترکیبات جزء به جزء در هیدروکربن‌های اشباع با استفاده از دستگاه Trace Ultra GC که از طریق سطوح حرارتی و یک خود ترقیق به دستگاه (Thermofisher Delta V Isotope Ratio Mass Spectrometer) متصل است، انجام شد. برای کالیبره کردن، دی اکسید کربن استاندارد در ابتدا و انتهای هر آنالیز تزیق می‌شد. کروماتوگرافی گازی متصل به (GC-MS) با ستون موئینه‌ای به طول ۳۰ متر و با قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر با لایه‌ای به عنوان فاز ثابت که به صورت پوششی به ضخامت ۰/۲۵ میکرومتر در آن تعبیه شده است، مجهز شد. برنامه دمایی استفاده شده در این دستگاه از 70°C تا 300°C با نرخ افزایشی 4°C در دقیقه بود. نتایج آنالیز ترکیبات ایزوتوپی با نماد دلتا (δ) و نسبت به مرجع VPDB گزارش شدند.

گیاهان دریاچه‌ای (۲۵- تا ۳۰-) به طور میانگین $\delta^{13}C$ کمتر از گیاهان دریایی (۲۰- تا ۲۵-) دارند. دلیل آن را میتوان در این مطلب جست و جو کرد که منشأ CO_2 در آب‌های شیرین سبک تر است. همچنین در دریاها، پلانکتون‌ها از نظر مقدار ^{13}C فقیرتر از گیاهان دیگر بخصوص جلبک‌ها می‌باشند که میتوان این عامل را به اتکا پلانکتون‌ها به حرارت برای رشد نسبت داد (Schidlowski et al., 1983, Sackett, 1989).

تأثیر مواد آلی بر پروفایل ایزوتوپی

مواد آلی قاره ای

از آنجایی که گیاهان C3 (درختان و درختچه ها) دارای مقدار ایزوتوپی سبکتری نسبت به گیاهان C4 (بوته‌ها و علف‌ها) هستند، روند ایزوتوپی منفی در پروفایل آلکان‌های با کربن بیشتر از C22 نمایانگر ورود گیاهان C3 و روند ایزوتوپی مثبت نشان دهنده ورود گیاهان C4 و CAM میباشد البته باید توجه نمود هنگامی که شیب پروفایل در محدوده ۲۵- تا ۳۰- افزایش می‌یابد، احتمالاً به دلیل کاهش اثر گیاهان C3 و افزایش فعالیت‌های باکتریایی است (Drenzek, 2007).

مواد آلی دریایی

جلبک های دریایی و باکتری ها مثبت تر شدن روند پروفایل آلکان‌های با کربن کمتر از C20 و پلانکتون‌ها و جلبک‌های دریاچه‌ای منفی شدن روند پروفایل را موجب می شوند (Drenzek, 2007).

ترکیب ایزوتوپی پرستان و فیتان

پرستان و فیتان از جمله ایزوپرنوئیدهایی هستند که در مقابل فرآیندهای ثانویه نظیر فروسایی بیولوژیکی مقاوم بوده ولی نسبت به تغییر مواد آلی حساس هستند؛ به همین دلیل به نظر می‌رسد شاخصی مناسب برای تعیین بلوغ و همگنی مواد آلی باشند. تفاوت ایزوتوپی بین پرستان و فیتان در سنگ منشأهایی با مواد آلی یکسان ناچیز است. بنابراین تفاوت زیاد بین آنها نمایانگر مواد آلی متفاوت خواهد بود. (Simoneit and Schoell, 1995, Hughes et al., 1995).

بحث و بررسی

ترکیب ایزوتوپی، نسبت پرستان به فیتان و متغیر استاندارد برای نمونه‌های نفت در حالت آنالیز کلی (Bulk Isotopy) در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. مقدار ایزوتوپی جزء اشباع نفت‌های مورد مطالعه حدوداً بین ۲۶/۲- تا ۲۷/۵- و برای جزء آروماتیک بین ۲۵/۵- تا ۲۶/۲- می‌باشد. همانگونه که مشخص است اختلافی در حدود ۱% در این دو برش مشاهده می‌شود، و از آنجایی که اختلاف کمتر از ۲-۳% ناشی از بلوغ می‌باشد، به احتمال بسیار زیاد نفت‌های مورد مطالعه جزء یک خانواده بوده و منشأ یکسانی دارند. برای تشخیص منشأ نفت از نمودار سافر و مقدار متغیر استاندارد استفاده می‌شود. طبق نمودار سافر منشأ تمامی نفت‌ها دریایی بوده که در این محیط مقداری مواد آلی قاره‌ای نیز وارد شده است (شکل ۳). نتایج حاصل از محاسبه متغیر استاندارد، نشان‌دهنده مقدار CV کمتر از ۰/۴۷ برای تمامی نفت‌های مورد مطالعه بوده که بیانگر منشأ دریایی آنهاست (جدول ۱).

از بهترین خط جدایش دو محیط بر روی نمودار تغییرات $\delta^{13}C_{Aro}$ در برابر $\delta^{13}C_{Sat}$ می‌باشد که از طریق معادله زیر قابل محاسبه می‌باشد (Sofer, 1984):

$$CV = -2.53 \delta^{13}C_{Sat} + 2.22 \delta^{13}C_{Aro} - 11.65$$

نمونه‌هایی که دارای CV کمتر از ۰/۴۷ می‌باشند مربوط به محیط دریایی و نمونه‌هایی که دارای CV بالاتر از ۰/۴۷ هستند را به مواد آلی با منشأ قاره‌ای نسبت می‌دهند (Sofer, 1984).

تغییرات Ph Pr/ در برابر شاخص متغیر استاندارد (CV)

مطالعات نشان می‌دهد در صورتیکه نسبت بالایی Pr/Ph با مقادیر بالای CV همراه باشد، شاخص نفت‌های قاره‌ای می‌باشد، در مقابل، مقادیر کم Pr/Ph و CV نیز شاخص محیط‌های دریایی است. در مواقعی که نمونه‌ها از خود پراکندگی نشان دهند، نشانه تأثیر بلوغ بوده که باید به کمک پارامترهای دیگر آن را تصحیح نمود (Sofer, 1984).

روش آنالیز ایزوتوپی ترکیبات خاص (CSIA)

پیشرفت روش کروماتوگرافی گازی - نسبت ایزوتوپ طیف سنجی جرمی این امکان را بوجود آورد که بین مقادیر منفرد هیدروکربن‌ها در نفت، کروژن، کاندینسیت و آسفالت‌ها انطباق برقرار کرد. بر اساس این روش مقدار ایزوتوپی هر کدام از کربن‌ها در اجزا مختلف نفت از جمله آلکان‌های نرمال، سیکلوآلکان‌ها و ایزوآلکان‌ها اندازه‌گیری می‌شود. مثالی از این روش برای تشخیص نفت و کاندینسیت‌ها در دریای شمال بوسیله (Bjorøf et al, 1994) انجام شد. این مؤلفان نسبت های ایزوتوپی آلکان‌های نرمال، ایزوآلکان‌ها و سیکلو آلکان‌های انتخابی را مورد مقایسه قرار دادند. تفاوت‌های مشاهده شده در نمودارهای این روش عمدتاً حاصل ویژگی‌های سنگ منشأ و بلوغ نمونه‌ها هستند. اگر اختلاف پروفایل‌های ایزوتوپی کمتر از ۲ پرمیل باشد، عمدتاً بلوغ عامل ایجاد آن بوده ولی اگر بیشتر باشد معمولاً عوامل دیگری همچون تفاوت در سنگ منشأ و تجزیه زیستی نیز در ایجاد آن نقش دارد (Peters et al., 2005, Clayton., 1991, Summons et al., 1994).

تعیین محیط رسوبگذاری با توجه به پروفایل ایزوتوپی

محیط رسوبی سنگ منشأ اولین فاکتوری است که شکل پروفایل ایزوتوپی آلکان‌های نرمال را کنترل میکند (Collister et al., 1992, Murray et al., 1994, Boreham et al., 1994).

از روندهای بدست آمده در این روش می‌توان تا حدودی نوع محیط رسوب‌گذاری را تشخیص داد (Murray et al. 1994):

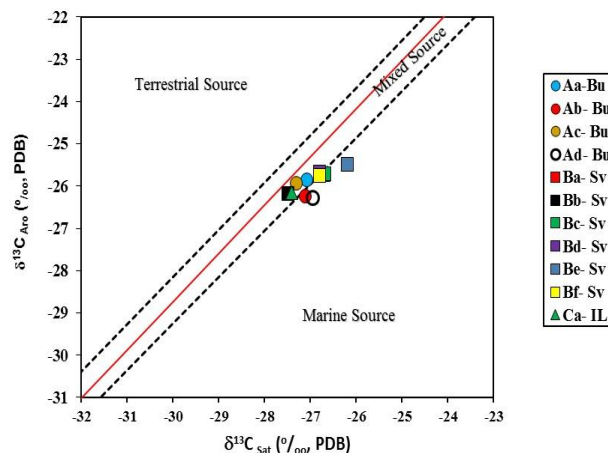
پروفایل های ایزوتوپی با شیب منفی خاص محیط های رودخانه‌ای - دلتایی یا تحولی آب شیرین

پروفایل های ایزوتوپی با شیب مثبت و یا مسطح خاص محیط دریایی و دریاچه‌ای آب شور

تعیین نوع ماده آلی

چرخه کالوین یا چرخه تولید گیاهان C3 (اولین فرآورده این چرخه یک قند سه کربنه است) شامل فرآیندهای تولید بیشتر گیاهان خشکی و همچنین تمامی تولیدکنندگان دریایی می‌باشد. بنابراین در زمین‌شناسی نفت مواد آلی حاصل از این گروه بیشتر مد نظر است (Sirevåg et al., 1977, Quandt et al., 1977).

بر اساس ترسیم نمودار تغییرات Pr/Ph در برابر شاخص متغیر استاندارد (CV) نیز میتوان محیط رسوبی سنگهای منشأ مولد نفت‌های مورد مطالعه را مشخص نمود. طبق شکل ۴- الف تمامی نمونه‌های نفت از سنگ‌های منشأیی زایش یافته‌اند که در محیط دریایی ته‌نشست شده است. نمونه‌های Be-Sv و Ad-Bu از بقیه دریایی تر بوده که در نمودار سافر نیز به خوبی مشخص است. پراکندگی نمونه‌ها در شکل احتمالاً در رابطه با بلوغ متفاوت آنهاست. با استفاده از همین نمودار به طور تقریبی نوع محیط ته‌نشست مواد آلی نیز قابل تشخیص است. بدین صورت که با کاهش مقدار متغیره استاندارد و نسبت پریستان به فیتان، محیط رفته رفته دریایی تر می‌شود. طبق شکل ۴- ب مواد آلی مولد نمونه‌های Be-Sv و Ad-Bu در محیط رسوبی بین کربناته - شیلی و مارنی - تبخیری و بقیه در محیط مارنی - تبخیری رسوب کرده‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که دو نمونه یاد شده از سنگ‌های منشأیی زایش یافته‌اند که نسبت به بقیه نمونه‌ها در محیطی دریایی تر یا عمیق تر ته‌نشست شده‌اند.

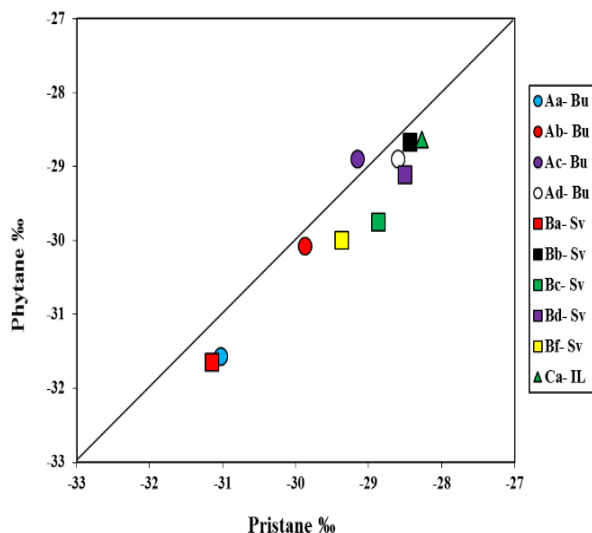


شکل ۳. نمودار سافر برای تشخیص منشأ نفت‌های مورد مطالعه اقتباس از (Sofer., 1984)

جدول ۱. ترکیب ایزوتوپی، نسبت پریستان به فیتان و متغیر استاندارد نمونه‌های نفت مورد مطالعه در حالت آنالیز ایزوتوپی کلی (Bulk Isotopy)

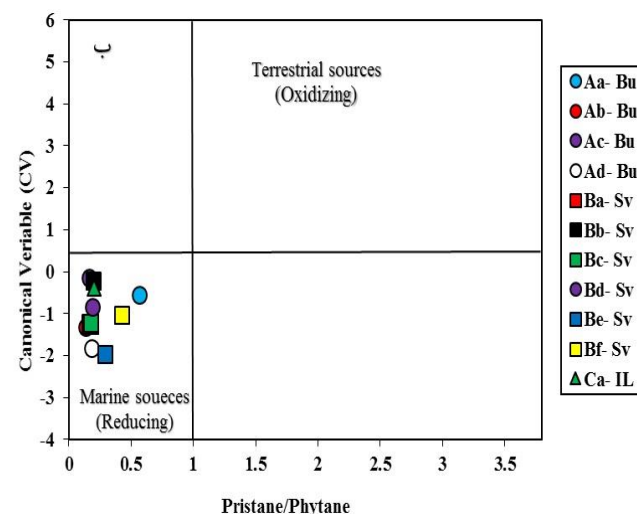
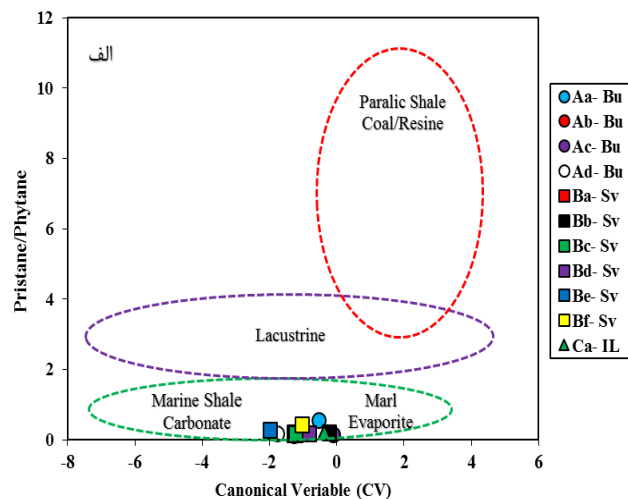
نمونه نفت	Saturate	Aromatic	Pri/Phy	CV
Aa- Bu	-۲۷/۰۷	-۲۵/۸۶	۰/۵۷۱۵	-۰/۵۷۲۱
Ab- Bu	-۲۷/۱	-۲۶/۲۳	۰/۱۳۵۸	-۱/۳۱۷۶
Ac- Bu	-۲۷/۳	-۲۵/۹۳	۰/۱۶۱۷	-۰/۱۴۵۶
Ad- Bu	-۲۶/۹۴	-۲۶/۲۷	۰/۱۸۲۷	-۱/۸۱۱۲
Ba- Sv	-۲۶/۷	-۲۵/۷۴	۰/۱۶۹۵	-۱/۲۴۱۸
Bb- Sv	-۲۷/۴۸	-۲۶/۱۷	۰/۱۹۹۶	-۰/۲۲۳
Bc- Sv	-۲۶/۶۸	-۲۵/۷۱	۰/۱۷۵۱	-۱/۲۲۵۸
Bd- Sv	-۲۶/۸	-۲۵/۶۷	۰/۱۸۷۷	-۰/۸۳۳۴
Be- Sv	-۲۶/۱۹	-۲۹/۴۹	۰/۲۸۸۷	-۱/۹۷۷۱
Bf - Sv	-۲۶/۸	-۲۵/۷۶	۰/۴۲۸۰	-۱/۰۳۳۲
Ca- IL	-۲۷/۴۱	-۲۶/۱۶	۰/۲۰۱۷	-۰/۳۷۷۹

با شیب ۱ که نمایانگر مواد آلی همگن می‌باشد، قرار گرفته‌اند. نمونه Bc- Sv کمی از خط فاصله گرفته که بدلیل رسوب مقدار کمی مواد آلی متفاوت در محیط رسوبگذاری می‌باشد. نمونه‌های Aa-bu و Ba-Sv علی‌رغم اینکه از سنگ منشأ با مواد آلی تقریباً یکسانی زایش یافته‌اند، به دلیل فاصله گرفتن از بقیه نمونه‌های نفت، احتمالاً منشأ و یا درجه بلوغ متفاوتی دارند.



شکل ۵. نمودار مقادیر ایزوتوپی پرستان در مقابل فیتان برای نقطه‌های مورد مطالعه در دشت آبادان

پروفایل‌های ایزوتوپی حاصل از روش آنالیز ایزوتوپی ترکیبات خاص می‌توانند بیانگر: (۱) بلوغ (۲) منشأ مواد آلی (دریایی، قاره‌ای، دریاچه‌ای، نوع گیاهان همچون C3 و C4) فروسایی بیولوژیکی و... باشند. محیط رسوبی سنگ منشأ مهمترین عاملی است که شکل پروفایل ایزوتوپی را کنترل می‌کند. پروفایل‌های با روند مثبت و یا مسطح بیانگر محیط رسوبی دریایی، پروفایل‌های کم شیب منفی (تا حدود ۵٪) بیانگر محیط حدواسط و پروفایل‌های پر شیب منفی (بیشتر از ۶٪) بیانگر محیط‌های رودخانه‌ای - دلتایی هستند. پروفایل ایزوتوپی نفت‌های مورد مطالعه در شکل ۶ نشان داده شده است. بر اساس این شکل تمامی نمونه‌های مورد مطالعه دارای پروفایل تقریباً مسطح و یا با شیب منفی کمتر از ۴٪ بوده که نشانگر محیط دریایی و حدواسط می‌باشد. نمونه‌های Ca- IL و Bd- Sv دارای پروفایل‌های با بیشترین غنی‌شدگی و نمونه‌های Aa- Bu و Ba- Sv دارای پروفایل‌های با بیشترین تهی‌شدگی هستند. تقریباً تمامی پروفایل‌ها بین مقادیر ایزوتوپی ۲۷- تا ۳۱- قرار گرفته‌اند که این مقادیر بیانگر مواد آلی اولیه‌ای متشکل از جلبک‌های یوکاریوت، جلبک‌های سبز آبی، گیاهان عالی و پلانکتون- های فتوسنتز کننده می‌باشد (Moore, 1984). انطباق نمونه‌های نفت در این روش نمایانگر این است که تمامی نمونه‌ها جزء یک خانواده هستند ولی دو نمونه Aa- Bu و Ba-Sv به دلیل تفاوت در نوع ماده آلی و یا درجه بلوغ از بقیه نمونه‌ها قدری جداسازی را نشان می‌دهند. نتایج حاصل از ترسیم داده‌های ایزوتوپی میانگین نیز تأیید کننده نتایج حاصل از پروفایل‌های ایزوتوپی می‌باشد. بدین صورت نمونه‌های Ca- IL و Bd- Sv دارای بیشترین غنی‌شدگی و نمونه‌های Aa- Bu و Ba- Sv دارای بیشترین تهی‌شدگی هستند (شکل ۷).

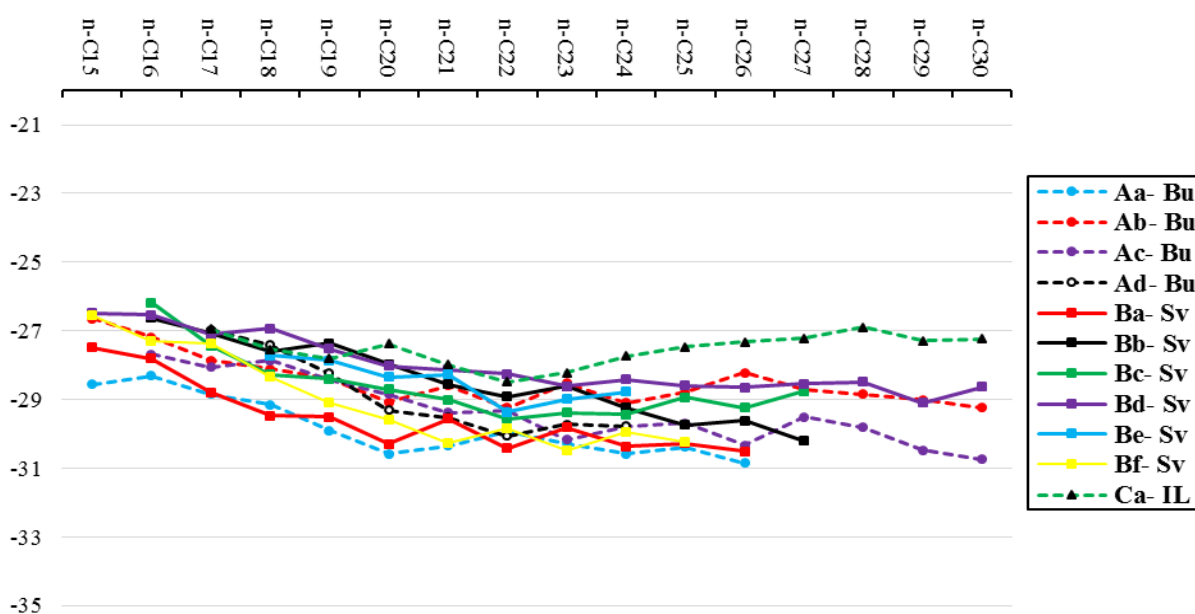


شکل ۴. استفاده از CV و نسبت پرستان به فیتان برای تعیین محیط رسوبی الف: نوع محیط ته‌نشست مواد آلی مولد نفت‌های مورد مطالعه ب: محیط ته‌نشست مواد آلی مولد نفت‌های مورد مطالعه، اقتباس از (Sofer., 1984)

ترکیب ایزوتوپی آلکان‌های نرمال شماره ۱۵ تا ۳۰، داده‌های ایزوتوپی میانگین و همچنین پرستان و فیتان در جدول ۲ نشان داده شده است. برای تعیین تنوع مواد آلی سنگ‌های منشأی که نفت‌های مورد مطالعه از آنها زایش یافته‌اند از ترسیم مقادیر ایزوتوپی پرستان در مقابل فیتان استفاده گردید. همانگونه که قبلاً گفته شد این دو ایزوپرنوئید نسبت به تغییر مواد آلی در محیط، که خود به تغییر نسبت ایزوتوپی منجر می‌شود، حساس هستند. به طور مثال در یک محیط رسوبی که مواد آلی همگنی در آن رسوب کرده است، غنی‌شدگی در یکی از آنها منجر به جبران این مقدار در دیگری خواهد شد ولی در محیط غیر همگن از نظر مواد آلی تفاوتی فاحش در نسبت ایزوتوپی آنها دیده می‌شود. در حالت کلی چنانچه تفاوت ایزوتوپی آنها کمتر از ۱٪ باشد مواد آلی تقریباً همگنی در محیط حضور داشته‌اند. شکل ۵ نشان‌دهنده نمودار حاصل از مقادیر ایزوتوپی پرستان در مقابل فیتان می‌باشد. طبق این شکل تقریباً همه نمونه‌های نفتی مورد مطالعه در نزدیکی خط

جدول ۲. ترکیب ایزوتوپی آلکان‌های نرمال، پرستان، فیتان و داده‌های ایزوتوپی میانگین (N.A): مقادیر در دسترس نیست

نمونه نفت	Aa- Bu	Ab- Bu	Ac- Bu	Ad- Bu	Ba- Sv	Bb- Sv	Bc- Sv	Bd- Sv	Be- Sv	Bf- Sv	Bh- S
n-C ₁₅	-۲۸/۶	-۲۶/۶	N. A	N. A	-۲۷/۵	N. A	N. A	-۲۶/۵	N. A	-۲۶/۵	N. A
n-C ₁₆	-۲۸/۳	-۲۷/۲	-۲۷/۷	N. A	-۲۷/۸	-۲۶/۶	-۲۶/۲	-۲۶/۵	N. A	-۲۷/۳	N. A
n-C ₁₇	-۲۸/۸	-۲۷/۹	-۲۸/۱	-۲۷	-۲۸/۸	-۲۷/۱	-۲۷/۴	-۲۷/۱	N. A	-۲۷/۴	-۲۶/۹
n-C ₁₈	-۲۹/۱	-۲۸/۱	-۲۷/۹	-۲۷/۴	-۲۹/۵	-۲۷/۶	-۲۸/۳	-۲۶/۹	-۲۷/۷	-۲۸/۳	-۲۷/۵
n-C ₁₉	-۲۹/۹	-۲۸/۴	-۲۸/۴	-۲۸/۲	-۲۹/۵	-۲۷/۴	-۲۸/۴	-۲۷/۵	-۲۷/۹	-۲۹/۱	-۲۷/۸
n-C ₂₀	-۳۰/۶	-۲۹/۱	-۲۸/۹	-۲۹/۳	-۳۰/۳	-۲۸	-۲۸/۷	-۲۸	-۲۸/۴	-۲۹/۶	-۲۷/۴
n-C ₂₁	-۳۰/۴	-۲۸/۶۰	-۲۹/۴	-۲۹/۵	-۲۹/۶	-۲۸/۶	-۲۹	-۲۸/۱	-۲۸/۳	-۳۰/۳	-۲۸
n-C ₂₂	-۲۹/۹	-۲۹/۲	-۲۹/۳۳	-۳۰/۱	-۳۰/۴	-۲۸/۹	-۲۹/۶	-۲۸/۳	-۲۹/۴	-۲۹/۸	-۲۸/۵
n-C ₂₃	-۳۰/۳	-۲۸/۵	-۳۰/۲	-۲۹/۷	-۲۹/۸	-۲۸/۶	-۲۹/۴	-۲۸/۶	-۲۹	-۳۰/۸	-۲۸/۲
n-C ₂₄	-۳۰/۶	-۲۹/۱	-۲۹/۸	-۲۹/۸	-۳۰/۴	-۲۹/۲	-۲۹/۴	-۲۸/۴	-۲۸/۸	-۳۰	-۲۷/۷
n-C ₂₅	-۳۰/۴	-۲۸/۸	-۲۹/۷	N. A	-۳۰/۳	-۲۹/۷	-۲۸/۹	-۲۸/۶	N. A	-۳۰/۲	-۲۷/۵
n-C ₂₆	-۳۰/۸	-۲۸/۲	-۳۰/۳	N. A	-۳۰/۵	-۲۹/۶	-۲۹/۲	-۲۸/۶	N. A	N. A	-۲۷/۳
n-C ₂₇	N. A	-۲۸/۷	-۲۹/۵	N. A	N. A	-۳۰/۲	-۲۸/۸	-۲۸/۵	N. A	N. A	-۲۷/۲
n-C ₂₈	N. A	-۲۸/۸	-۲۹/۸	N. A	N. A	N. A	N. A	-۲۸/۵	N. A	N. A	-۲۶/۹
n-C ₂₉	N. A	-۲۹	-۳۰/۵	N. A	N. A	N. A	N. A	-۲۹/۱	N. A	N. A	-۲۷/۳
n-C ₃₀	N. A	-۲۹/۲	-۳۰/۷	N. A	N. A	N. A	N. A	-۲۸/۶	N. A	N. A	-۲۷/۲
Pristan	-۳۱	-۲۹/۹	-۲۹/۲	-۲۸/۶	-۳۱/۲	-۲۸/۴	-۲۸/۹	-۲۸/۵	N. A	-۲۹/۴	-۲۸/۳
Phytane	-۳۱/۶	-۳۰/۱	-۲۸/۹	-۲۸/۹	-۳۱/۶	-۲۸/۷	-۲۹/۷	-۲۹/۱	-۲۸/۷	-۳۰	-۲۸/۶
n-C ₁₅₋₁₉	-۲۸/۹	-۲۷/۶	-۲۸	-۲۷/۵	-۲۸/۶	-۲۷/۲	-۲۷/۶	-۲۶/۹	-۲۷/۸	-۲۷/۷	-۲۷/۴
n-C ₂₁₋₂₅	-۳۰/۳	-۲۸/۸	-۲۹/۷	-۲۹/۸	-۳۰/۱	-۲۹	-۲۹/۳	-۲۸/۴	-۲۸/۸	-۳۰/۲	-۲۸



شکل ۶. پروفایل‌های ایزوتوپی حاصل از روش CSIA برای نمونه‌های مورد مطالعه در دشت آبادان

- نوع محیط رسوبی نمونه‌های Ad- Bu و Be- Sv محیطی بین کربناته - شیلی و مارنی - تبخیری و بقیه در محیط مارنی - تبخیری راسب شده‌اند.

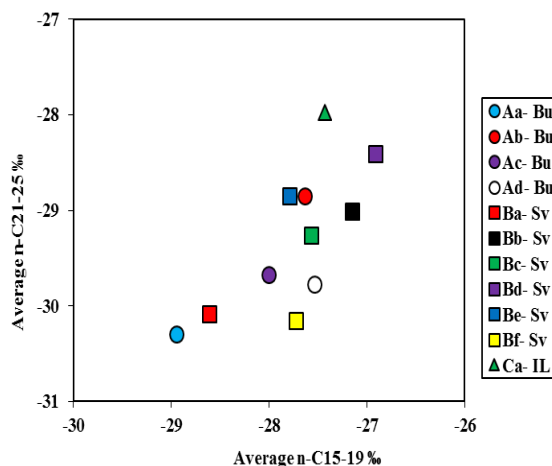
- بر اساس مقادیر ایزوتوپی پرستان و فیتان همه نمونه‌های نفت از مواد آلی تقریباً یکسان، همراه با مقدار کمی مواد ورودی غیر همگن در محیط رسوبی تشکیل شده‌اند.

- بر اساس روش CSIA مشخص شد که محیط ته‌نشست مواد آلی مولد نفت‌های مورد مطالعه دریایی تا حدواسط و نوع مواد آلی آنها جلبک‌های یوکاریوت، جلبک‌های سبز آبی، گیاهان عالی و پلانکتون‌های فتوسنتز کننده می‌باشد. انطباق نمونه‌های نفت در این روش نمایانگر هم خانواده بودن نمونه‌ها بوده ولی دو نمونه Aa- Bu و Ba-Sv به دلیل تفاوت در نوع ماده آلی و یا درجه بلوغ از بقیه مقداری جداسازی را نشان می‌دهند.

- بر اساس داده‌های ایزوتوپی میانگین نمونه‌های Ca- IL و Bd- Sv دارای بیشترین غنی‌شدگی و نمونه‌های Aa- Bu و Ba- Sv دارای بیشترین تهی‌شدگی هستند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران به منظور تأمین بوجه لازم برای این تحقیق، دانشگاه شهید چمران اهواز و مرکز پژوهشی زمین‌شناسی و زمین‌شیمی نفت دانشگاه شهید چمران جهت تأمین امکانات آزمایشگاهی و دانشگاه مونتان شهر لئوین در کشور اتریش برای انجام آزمایش‌های ایزوتوپی تشکر و قدردانی نمایند.



شکل ۷. نمودار حاصل از داده‌های ایزوتوپی میانگین برای نمونه‌های نفت مورد مطالعه در دشت آبادان

نتیجه‌گیری

- اختلاف بین دو برش اشباع و آروماتیک در نفت‌های مورد مطالعه حدود ۱% بوده و از آنجایی که اختلاف کمتر از ۲-۳% ناشی از بلوغ می‌باشد، به احتمال بسیار زیاد نفت‌های مورد مطالعه جزء یک خانواده بوده و منشأ یکسانی دارند.

- تمامی نمونه‌های نفت از سنگ‌های منشأیی زایش یافته‌اند که در محیط دریایی ته‌نشست شده‌اند، اما در این بین، نمونه‌های Be- Sv و Ad- Bu از بقیه دریایی‌تر بوده که در نمودار سافر نیز به خوبی مشخص است.

منابع

- طیعی، ه. (۱۳۸۲). زمین‌شناسی ایران (چینه‌شناسی زاگرس). سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۳ص.
- Alizadeh, B., Saadati, H., Rashidi, M., Taati, F., 2015. Geochemical investigation of oils from Cretaceous to Eocene Sedimentary sequences of the Abadan Plain, Southwest Iran. *Marine and Petroleum Geology*.
- Bjorøy, M., Hall, P.B., Moe, R.P., 1994. Stable carbon isotope variation of n-alkanes in Central Graben oils. In: Telnis, N., van Graas, G., éygar, K. (Eds.),
- Clayton, C.J., Bjorøy, M., 1994. Effect of maturity on $^{13}C/^{12}C$ ratios of individual compounds in North Sea oils, *Org. Geochem.* 21, pp. 737-750.
- Craig, H., 1953. The geochemistry of the stable carbon isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 3, pp. 53-92.
- Drenzek, N. J., 2007. The temporal dynamics of terrestrial organic matter transfer to the oceans: Initial assessment and application (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology and Woods Hole Oceanographic Institution).
- Ghazban, F., & Motiei, H., 2007. Petroleum geology of the Persian Gulf. Tehran University.
- Hughes, W.B., Holba, A.G., and Dzou, L.I.P., 1995. The ratios of dibenzothiophene to phenanthrene and pristane to phytane as indicators of depositional environment and lithology of petroleum source rocks, *Geochim. Cosmochim. Acta* 59, pp. 3581-3598.
- Mook G.W., 1984. Principles of Isotopic hydrology. Course note, unpublished, department of hydrology and geographical hydrology, university of Groningen. Netherland.
- Murray, A. P., Summons, R. E., Boreham, C. J., & Dowling, L. M., 1994. Biomarker and n-alkane isotope profiles for Tertiary oils: relationship to source rock depositional setting. *Organic Geochemistry*, 22(3), 521-IN6.

- Peters, K.E., Walters, C.C., Moldowan, J.M., 2005. The Biomarker Guide: Biomarkers in the Environment and Human History. Vol.1. Second Edition. Cambridge University Press. United Kingdom.
- Quandt, L., Gottschalk, G., Ziegler, H., Stichler, W., 1977. Isotope discrimination by photosynthetic bacteria. FEMS Microbiology Letters 1, 125-128.
- Sackett, W.M., 1989. Stable carbon isotope studies on organic matter in the marine environment. Handbook of environmental isotope geochemistry, Ed. By Firtz, P. and Fontes, J.C., v. 3, Elsevier, pp. 139-170.
- Satarzadeh, Y., Cosgrove, J.W., Vita Finzi, C., 2000. The interplay of faulting and folding during the evolution of the Zagros deformation belt. In: Cosgrove, J.W. & Ameen, M.S. (eds) Forced folds and fractures. Geological Society, London, Special Publications, 169, 187-196.
- Schidlowski, M., Hayes, J.M., Kaplan, I.R., 1983. Isotopic interfaces of ancient biochemistries: carbon, sulfur, hydrogen and nitrogen. Earth's earliest biosphere: its origin and evolution, Ed. By Shopf, J.W. Princeton University Press, pp. 149-186.
- Simoneit, B.R.T., And Schoell, M., 1995. Carbon isotope systematics of individual hydrocarbons in hydrothermal petroleum from the Guaymas Basin, Gulf of California, Organ. Geochem. 23, pp. 857-863.
- Sirevåg, R., Buchanan, B.B., Berry, J.A., Troughton, J.H., 1977. Mechanisms of CO₂ fixation in bacterial photosynthesis studied by the carbon isotope fractionation technique. Archives of Microbiol. 112, 35-38.
- Sofer, Z., 1984. Stable carbon isotope compositions of crude oils: application to source depositional environments and petroleum alteration. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 68, pp. 31-49.
- Summons, R. E., Hope, J. M., Swart, R., Walter, M. R., 2008. Origin of Nama Basin bitumen seeps: Petroleum derived from a Permian lacustrine source rock traversing southwestern Gondwana. Organic Geochemistry, 39(5), 589-607.
- Masoudi, P., Tokhmechi, B., Bashari, A., & Jafari, M. A., 2012. Identifying productive zones of the Sarvak formation by integrating outputs of different classification methods. Journal of Geophysics and Engineering, 9(3), 282.