

# بررسی هیدروکربن های آلیفاتیک در ترکیب نفت خام سکوهای نفتی خلیج فارس

پژوهش نفت

سال بیست و سوم  
شماره ۷۴

صفحه، ۱۵۰-۱۴۴ ۱۳۹۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۹/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۲/۱۳

علی ماشینچیان مرادی<sup>۱</sup>، مجید م مهد هروی<sup>۲</sup>، سیدحسین عبدی اسکویی<sup>۳</sup>، اکرم سادات محمودی<sup>۱\*</sup> و مهندس محسن اسکندری<sup>۳</sup>

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده علوم و فنون دریایی، گروه شیمی دریا

۲- دانشگاه الزهراء، دانشگاه علوم پایه، گروه شیمی

۳- پالایشگاه نفت شهیدتندگویان

\*a.meshkat55@yahoo.com

## مقدمه

اهمیت و ارزش اصلی خلیج فارس به خاطر وجود منابع سرشار نفت در این منطقه است که روز به روز بر اهمیت این منطقه می افزاید. کاربرد نفت به عنوان منبع انرژی در گسترش تکنولوژی باعث شده تا استفاده از آن سرعت گیرد. با کلیه منافع که در پیشبرد تمدن دارد، اگر در کاربرد آن روش درستی اعمال نشود، زیان هایی به محیط زیست وارد خواهد شد که در برخی موارد جبران آن مستلزم هزینه های هنگفت و گاهی نیاز به سپری شدن زمانی طولانی دارد و در مواردی نیز صدمات وارده جبران ناپذیر است. متأسفانه دریاهای جهان در دهه های اخیر به عنوان مدفن آلاینده ها، مخصوصاً آلاینده های نفتی از سوی انسان است. خلیج فارس آبراه مهم و استراتژیک انرژی در جهان، از این قاعده مستثنی نیست.

تحقیقات گسترده ای برای اندازه گیری ترکیب درصد هیدروکربن های نفت خام بر روی چاه های نفت در دنیا صورت گرفته است. در سال ۲۰۰۳ تحقیقات ژئوشیمیایی بر روی نفت خام تعدادی از چاه های نفت خلیج سوئز و بیابان های غربی مصر با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی

## چکیده

خلیج فارس آبراهی است که در امتداد دریای عمان و در میان ایران و شبه جزیره عربستان قرار دارد. اعتبار این منطقه از شکل گیری اولین تمدن های بشری تا به امروز که عصر صنعت و زمان طرح شدن نفت به عنوان عنصر اصلی اقتصاد معاصر است، ادامه دارد. میزان آلودگی نفتی در این منطقه به دلیل نشست از سکوهای نفتی، یکی از مهم ترین منابع این آلودگی ها به شمار می رود. به همین دلیل تعیین و بررسی ترکیب درصد هیدروکربن ها در ترکیب نفت خام سکوهای نفتی خلیج فارس بسیار اهمیت دارد. در این مقاله با استفاده از روش سارا، آلیفاتیک ها جداسازی شده و با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی ترکیب درصد هیدروکربن های آلیفاتیک موجود در نمونه های نفت خام مورد شناسایی و بررسی قرار گرفته است. ترکیب درصد های متفاوت به دست آمده از نفت خام هر سکوی نفتی نشان می دهد که این روش می تواند یک الگوی مناسب، جهت پیدایش منشأ آلودگی های نفتی در خلیج فارس باشد.

واژه های کلیدی: خلیج فارس، هیدروکربن های آلیفاتیک، نفت خام، کروماتوگرافی گازی، روش SARA

که از اهداف اصلی این مقاله به شمار می‌رود، می‌تواند کمک شایانی به شناسایی منبع آلودگی نفتی در خلیج فارس نماید. در این زمینه و با این اهداف، هیچ پژوهشی در داخل کشور صورت نگرفته است. این پروژه با فرض این که در هر سکوی نفتی ترکیب درصد هیدروکربن‌های آلیفاتیک مخصوص به همان سکو است و ترکیب درصد نسبی هیدروکربن‌ها در بین سکوه‌های مختلف خلیج فارس با یکدیگر متفاوت است، آغاز شد.

### حوضه‌های نفتی و توزیع جغرافیایی آنها

حوضه نفتی محدوده جغرافیایی است که در آن میدان‌ها و مخازن نفتی متعددی وجود دارد و در یک مجموعه زمین‌شناسی با شرایط محیطی و رسوبی مشخصی گرد آمده‌اند. دو محدوده بسیار مهم از نظر ذخایر نفتی، خاورمیانه و منطقه خلیج مکزیک و دریای کارائیب است. این دو منطقه در دوسوی متقابل کره زمین واقع هستند و سالهاست که مراکز اصلی تولیدات نفتی دنیا را تشکیل می‌دهند. مناطق نفت خیز دیگر در قاره آفریقا، کشورهای متعددی نظیر الجزایر، لیبی، مصر، نیجریه و آنگولا و در اروپا میدان‌ها و حوضه‌های نفتی در دریای شمال و مخازن عظیم گاز طبیعی در شمال روسیه در توازن تولید نفت دنیا، بسیار حائز اهمیت هستند.

### موقعیت جغرافیایی میدان‌های نفتی مورد بررسی در این پروژه

در این پژوهش، نمونه‌های نفت خام از چهار سکوی نفتی واقع در خلیج فارس شامل: بلال (ایستگاه شماره ۱) در ۱۰۰ کیلومتری جنوب غربی لاوان، سلمان (ایستگاه شماره ۲) در ۱۳۵ کیلومتری جزیره لاوان، هنگام (ایستگاه شماره ۳) در ۴۵ کیلومتری جزیره قشم و دنا (ایستگاه شماره ۴) در غرب جزیره سیری، تهیه گردید.

### دستگاه‌ها و مواد شیمیایی

دستگاه‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل: دستگاه تبخیر

1. Polyaromatic Sulfur Heterocycles
2. Bohai
3. Fingerprint
4. GC: Gas Chromatography

گازی با دکتور نشر اتمی انجام گرفت. در این مطالعه، الگوی توزیع نفت خلیج سوئز در مقایسه با بیابان‌های غرب ارائه شده و ترکیب درصد ترکیبات پلی آروماتیک‌های چند حلقوی گوگردار<sup>۱</sup> هر منبع مشخص گردید [۱].

همچنین در سال ۲۰۰۸ با تعیین ترکیب درصد هیدروکربن‌های چند منبع نفتی توسط طیف سنجی جرمی، مطالعه‌ای در دریای بوه‌ای<sup>۲</sup> چین انجام گرفت و این روش وسیله مناسبی جهت شناسایی منبع آلودگی محیط دریای بوه‌ای معرفی گردید [۲].

در سال ۲۰۰۷ نیز مطالعاتی بر روی ترکیب درصد گازهای ترش همراه نفت خام یک چاه در حوزه رسوبی کانادای غربی به روش کروماتوگرافی گازی<sup>۳</sup> دو بعدی انجام گرفت و به این نتیجه رسیدند که تعیین و بررسی ترکیب درصد گازهای همراه نفت خام ابزاری مفید برای اثر انگشت<sup>۴</sup> جریان‌های نفتی است [۳].

در سال ۲۰۰۹ در فرانسه مطالعاتی بر روی ترکیب درصد هیدروکربن‌های موجود در مخازن نفت خام انجام گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که ویژگی مخازن می‌تواند با استفاده از تکنیک‌های مختلف به دست آید که بررسی ترکیب درصد هیدروکربن‌های موجود در مخازن نفت با دستگاه کروماتوگرافی گازی نفت خام، یکی از ساده‌ترین آنها است [۴].

در سال ۲۰۰۹ نیز در آمریکا مطالعاتی بر روی چند چاه نفت مکزیک انجام شد. در این مطالعه با استفاده از کروماتوگرافی مایع و روش SARA، گروهی از ترکیبات شامل رزین‌ها، آسفالتین، آلیفاتیک‌ها و آروماتیک‌ها جداسازی شده و برخی از ویژگی‌های نفت خام مانند وزن مخصوص، نقطه جوش و میزان نمک و عناصری مانند نیکل و وانادیوم گزارش شده است [۵]. آمارها نشان می‌دهد خلیج فارس یکی از آلوده‌ترین خلیج‌های دنیا است. بزرگترین آلودگی ایجاد شده در خلیج فارس به زمان جنگ ایران و عراق باز می‌گردد و بعد از آن آتش سوزی چاه‌های نفتی که باعث ورود حجم زیادی از نفت خام به دریا شد. از این رو بررسی و اندازه‌گیری میزان ترکیب درصد هیدروکربن‌های آلیفاتیک نفت خام سکوه‌های نفتی در خلیج فارس و مقایسه این ترکیب درصدها در نفت خام سکوه‌های نفتی با یکدیگر

تبخیر کننده دوار تحت شرایط خلاء ۱۰۰ mbar و دمای °C ۴۱ قرار گرفته تا حلال آن تبخیر شود. ۳ الی ۴ cc هگزان به آن افزوده و به وسیله دستگاه اولتراسونیک آن را هموژن می نمایند، سپس محلول آماده شده توسط پیست پاستور، داخل ستون تزریق می شود. در نهایت دیواره های ستون با حلال هگزان شستشده و مقداری از حلال نیز به طور اضافی جهت عدم تماس هوا با ستون حاوی سیلیکاژل و آلومینا اضافه می شود. (برای استخراج هیدروکربن های آلیفاتیک حدود ۵۰ cc هگزان در ستون ریخته می شود). برش آلیفاتیک موجود در نمونه و حلال در یک ارلن مایر ۱۰۰ cc جمع آوری می شود. پس از عبور هگزان از بورت، برای اطمینان از خارج شدن کلیه برش آلیفاتیک از ستون، مقداری مخلوط هگزان و دی کلرومتان به نسبت پنجاه، پنجاه (حجمی/حجمی) داخل ستون ریخته و ۵ cm قبل از اتمام حلال، شیر بورت بسته می شود. از آنجا که هیدروکربن های آلیفاتیک غیرقطبی هستند، هیچ جذبی بر روی ستون نداشته و بدون واکنش خارج می شوند. مایع خارج شده از ستون شفاف و بی رنگ است. جهت خالص سازی آلیفاتیک و به دست آوردن وزن آن در نمونه های نفت خام، از دستگاه تبخیر کننده دوار تحت شرایط خلاء ۳۰۰ mbar و دمای °C ۴۰ استفاده می شود. این مرحله برای کلیه نمونه های نفت خام به طور جداگانه صورت می گیرد. پس از گذشت یک روز حلال آن کاملاً جدا شده و مقدار نمونه باقی مانده وزن می شود. اکنون نمونه برای تزریق به دستگاه به منظور آنالیز آماده است. پس از جداسازی آلیفاتیک از نمونه های نفت خام، این نمونه ها وزن می شوند. نتایج حاصل از اندازه گیری آلیفاتیک نمونه های نفت خام در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- نتایج حاصل از اندازه گیری میزان آلیفاتیک نفت خام نمونه های مورد مطالعه

نفت سلمان	نفت هنگام	نفت بلال	نفت دنا	نام نمونه
۵۵	۶۴/۹۷	۵۷/۱	۴۳	مواد آلیفاتیک (%mass)

نتایج حاصل از آنالیز نمونه های نفت خام (میزان ترکیب درصد هیدروکربن های نفت خام هر سکوی) در جدول ۲ ارائه شده است.

1. Rotary Evaporator
2. Ultrasonic
3. Chrompack
4. Lost
5. Maltene

کننده دوار<sup>۱</sup> (مدل Heidolph)، ستون کروماتوگرافی، دستگاه اولتراسونیک<sup>۲</sup> (مدل Kerry) و دستگاه کروماتوگرافی گازی (کروم پک<sup>۳</sup> ۴۳۸ A ستون ۵/ CB ۲۵ mm cpcil ۵۰) می باشد. مواد شیمیایی به کار رفته در این پژوهش شامل: هگزان، هپتان، سولفات سدیم، سیلیکاژل، دی کلرومتان و آلومینا با درجه خلوص حداقل ۹۹٪، از کارخانه مرک آلمان می باشد.

### روش آماده سازی نمونه ها

جهت آماده سازی نمونه ها، روش مورد استفاده در این پروژه، SARA نام دارد. این روش مخفف آروماتیک، رزین، آسفالتن و ترکیبات اشباع شده است که ترکیبات هیدروکربنی شامل آلیفاتیک ها، آسفالتن، رزین ها و آروماتیک ها را جداسازی می کند. در این پژوهش، ابتدا مقداری از نمونه نفت خام در بالن وزن شده و سپس به دستگاه تبخیر کننده دوار متصل می شود. پس از گذشت ۲ ساعت، بالن را برداشته و مجدداً وزن کرده تا کاهش وزن<sup>۱</sup> به دست آید و سپس به آن مقداری حلال هپتان افزوده، همزده و روی هیتر گذاشته تا گرم شود. (در دمای بالا، رسوب بهتر تشکیل می شود و در ستون کروماتوگرافی مزاحم جداسازی نمی شود). سپس به وسیله کاغذ صافی محلول صاف می شود. محلول جمع آوری شده مالتن<sup>۵</sup> نام دارد که جهت تفکیک هیدروکربن های آلیفاتیک به ستون کروماتوگرافی منتقل می شود. قابل ذکر است که این مرحله آماده سازی برای هر نمونه نفت خام سکوی خلیج فارس به طور جداگانه انجام می گیرد.

### آماده سازی ستون کروماتوگرافی

جهت آماده نمودن ستون کروماتوگرافی، درون یک بورت را از هگزان پر کرده و سپس به آن مقدار ۲۰۰ gr سیلیکاژل با مش ۱۰۰ تا ۲۰۰ (که قبل از استفاده به دمای °C ۱۳۰ می رسد)، ۹۰ gr آلومینا و ۳۵ gr سولفات سدیم اضافه می شود. در بالای ستون به ضخامت ۲۵ mm پشم شیشه گذاشته می شود. شیر را باز کرده تا هگزان از ستون عبور کرده و در داخل یک ارلن مایر ۵۰۰ cc ریخته شود.

### جداسازی آلیفاتیک ها در نمونه های نفت خام

در این جا مالتن به دست آمده از مرحله آماده سازی در

جدول ۲- ترکیبات موجود در نمونه‌های نفت خام مورد مطالعه

ترکیبات موجود در نمونه	دنا (/mass)	هنگام (/mass)	بلال (/mass)	سلمان (/mass)
C <sub>11</sub> -نرمال	۰/۲	۰/۲	۰/۴	۰/۵
n-C <sub>11</sub> +iso	۰/۴	۰/۲	۰/۵	۰/۹
n-C <sub>12</sub>	۱/۰	۱/۱	۱/۷	۱/۶
n-C <sub>12</sub> +iso	۱/۸	۱/۷	۳/۱	۳/۱
n-C <sub>13</sub>	۲/۲	۲/۵	۳/۲	۲/۸
n-C <sub>13</sub> +iso	۵/۲	۶/۲	۷/۰	۶/۸
n-C <sub>14</sub>	۳/۳	۳/۷	۴/۵	۳/۹
n-C <sub>14</sub> +iso	۹/۳	۱۱/۴	۱۱/۱	۱۰/۱
n-C <sub>15</sub>	۵/۲	۶/۲	۶/۲	۵/۵
n-C <sub>15</sub> +iso	۱۱/۱	۱۳/۸	۱۳/۱	۱۱/۵
n-C <sub>16</sub>	۵/۸	۶/۲	۶/۳	۵/۷
n-C <sub>16</sub> +iso	۱۰/۴	۱۲/۰	۱۱/۵	۱۰/۳
n-C <sub>17</sub>	۵/۰	۶/۴	۶/۱	۵/۱
n-C <sub>17</sub> +iso	۹/۵	۱۱/۷	۱۰/۰	۸/۹
n-C <sub>18</sub>	۵/۸	۵/۷	۴/۶	۴/۸
n-C <sub>18</sub> +iso	۱۰/۷	۱۱/۸	۹/۲	۹/۲
n-C <sub>19</sub>	۳/۵	۳/۴	۳/۵	۳/۳
n-C <sub>19</sub> +iso	۷/۲	۷/۶	۷/۶	۷/۳
n-C <sub>20</sub>	۳/۱	۲/۷	۳/۱	۲/۹
n-C <sub>20</sub> +iso	۶/۶	۶/۶	۶/۴	۶/۴
n-C <sub>21</sub>	۲/۹	۲/۳	۲/۶	۲/۹
n-C <sub>21</sub> +iso	۶/۰	۵/۴	۵/۳	۵/۶
n-C <sub>22</sub>	۲/۰	۱/۳	۲/۳	۲/۴
n-C <sub>22</sub> +iso	۴/۸	۳/۶	۴/۴	۴/۹
n-C <sub>23</sub>	۱/۹	۱/۱	۱/۵	۱/۷
n-C <sub>23</sub> +iso	۴/۸	۳/۳	۲/۹	۳/۷
n-C <sub>24</sub>	۱/۸	۰/۹	۱/۰	۱/۶
n-C <sub>24</sub> +iso	۳/۷	۲/۱	۱/۸	۳/۴
n-C <sub>25</sub>	۱/۵	۰/۶	۰/۸	۱/۲
n-C <sub>25</sub> +iso	۲/۸	۱/۲	۱/۲	۲/۲
n-C <sub>26</sub>	۰/۸	۰/۳	۰/۷	۰/۷
n-C <sub>26</sub> +iso	۱/۹	۰/۴	۱/۱	۱/۶
n-C <sub>27</sub>	۰/۴	۰/۳	۰/۵	۰/۶
n-C <sub>27</sub> +iso	۱/۲	۰/۴	۱/۱	۰/۹
n-C <sub>28</sub>	۰/۴	۰/۲	۰/۴	۰/۵
n-C <sub>28</sub> +iso	۰/۷	۰/۲	۰/۹	۰/۹
n-C <sub>29</sub>	۰/۲	۰/۱	۰/۳	۰/۴

ادامه دارد...

ادامه جدول ۲

ترکیبات موجود در نمونه	دنا (/mass)	هنگام (/mass)	بلال (/mass)	سلمان (/mass)
n- C <sub>29</sub> +iso	۰/۵	۰/۲	۰/۶	۰/۸
n C <sub>30</sub>	۰/۲	۰/۱	۰/۳	۰/۳
n- C <sub>30</sub> +iso	۰/۶	۰/۲	۰/۵	۰/۷
n C <sub>31</sub>	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۳
n- C <sub>31</sub> +iso	۰/۵	۰/۲	۰/۴	۰/۷
n C <sub>32</sub>	۰/۲	۰/۱	۰/۲	۰/۲
n- C <sub>32</sub> +iso	۰/۳	۰/۱	۰/۳	۰/۴

اصلی موجود در نمونه‌های نفت خام سکوه‌های مورد مطالعه از کربن ۲۱ تا ۳۲ مربوط به نفت خام سکوی هنگام و بیشترین میزان برش هیدروکربنی از کربن ۲۱ تا ۳۲ مربوط به نفت خام سکوی دنا است. از سوی دیگر، هر سکو ترکیب درصد مشخصی از هیدروکربن‌ها را دارا می‌باشد. به عبارت دیگر میزان ترکیب درصد هیدروکربن‌های نفت خام یک سکو با ترکیب درصد هیدروکربن‌های نفت خام سکوی دیگر متفاوت است و این نتیجه در روش SARA نیز مشاهده شده است.

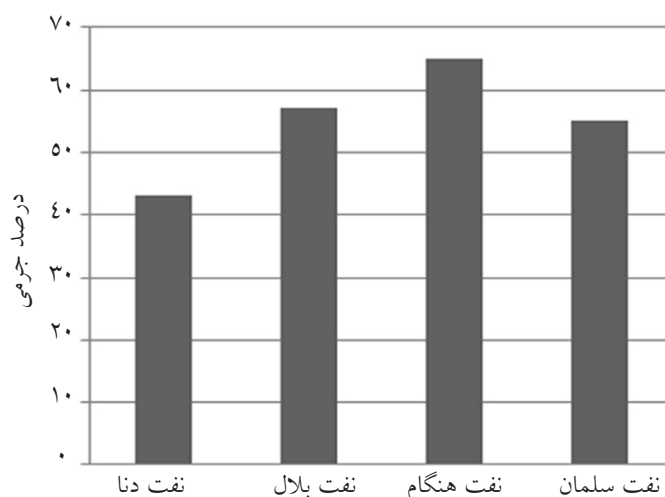
در شکل ۴ مجموع ترکیبات ایزومری موجود در برش جدا شده از نمونه‌های نفت خام از کربن C<sub>11</sub> تا C<sub>20</sub> رسم شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مجموع ترکیبات ایزومری C<sub>11</sub> تا C<sub>20</sub> موجود در نفت خام سکوی هنگام نسبت به مجموع ترکیبات ایزومری مذکور موجود در نفت خام سکوه‌های دیگر بیشتر است. در شکل ۵ مجموع ایزومرهای برش سنگین C<sub>21</sub> تا C<sub>32</sub> نفت خام سکوه‌های مورد مطالعه به نمایش درآمده است.

میزان برش آلیفاتیک نمونه‌های نفت خام مورد مطالعه در شکل ۱ رسم شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، میزان مواد آلیفاتیک در نفت خام سکوی هنگام از سایر سکوها بیشتر است. با تعیین این مقادیر در صورت خطر احتمالی نشت نفت از سکوه‌های نام برده، منشأ آلودگی سریع‌تر شناسایی شده و اقدامات پیشگیرانه به موقع انجام می‌شود.

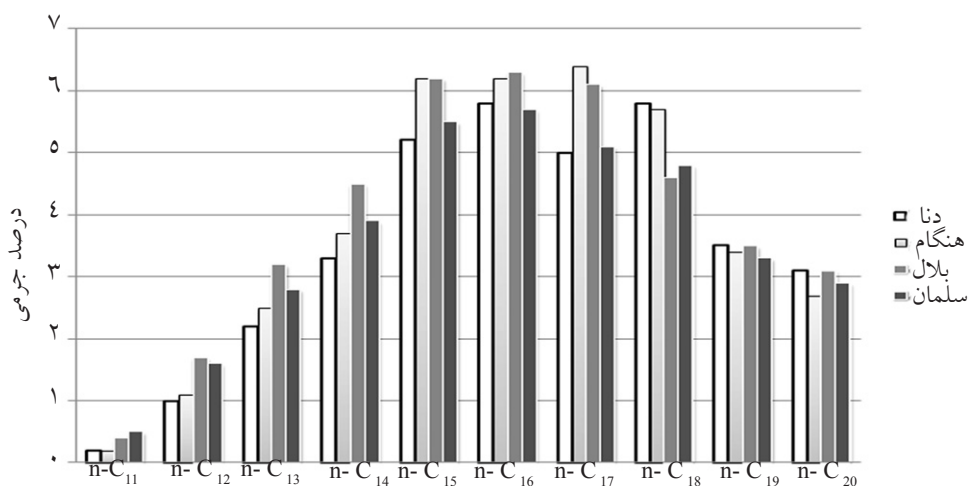
این شیوه در تعیین ترکیب درصد هیدروکربن‌های چاه‌های نفت خلیج سوئز، الگوی مناسبی عنوان شد. مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۲، ترکیب درصد جرمی هیدروکربن‌ها در بین سکوه‌های مختلف خلیج فارس با یکدیگر متفاوت است.

میزان ترکیبات اصلی موجود در نمونه‌های نفت خام از C<sub>11</sub>-C<sub>20</sub> در شکل ۲ رسم شده است. مطابق این شکل بیشترین ترکیبات اصلی موجود در نمونه‌های نفت خام سکوه‌های مورد مطالعه از کربن ۱۱ تا ۲۰ مربوط به نفت خام سکوی هنگام و کمترین میزان مربوط به نفت خام سکوی نفتی دنا می‌باشد.

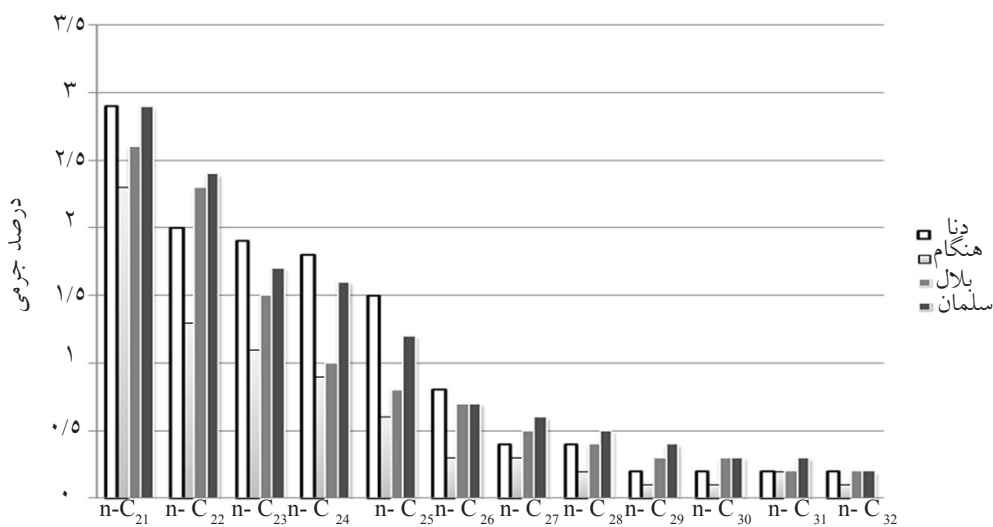
همچنین در شکل ۳ مشاهده می‌شود که کمترین ترکیبات



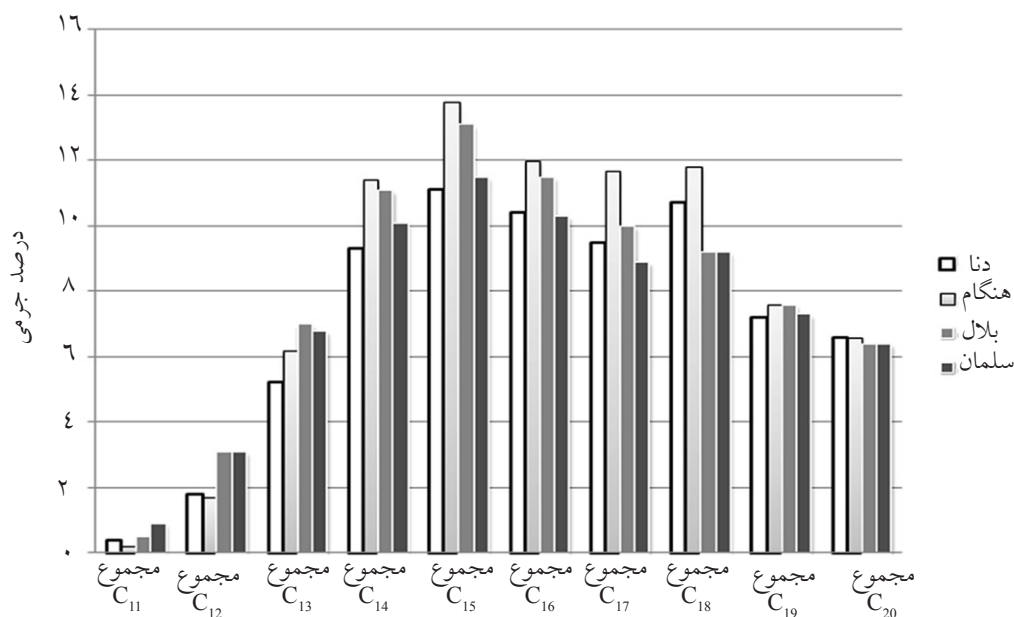
شکل ۱- برش آلیفاتیک جدا شده در ستون کروماتوگرافی برای نمونه‌های نفت خام مورد مطالعه



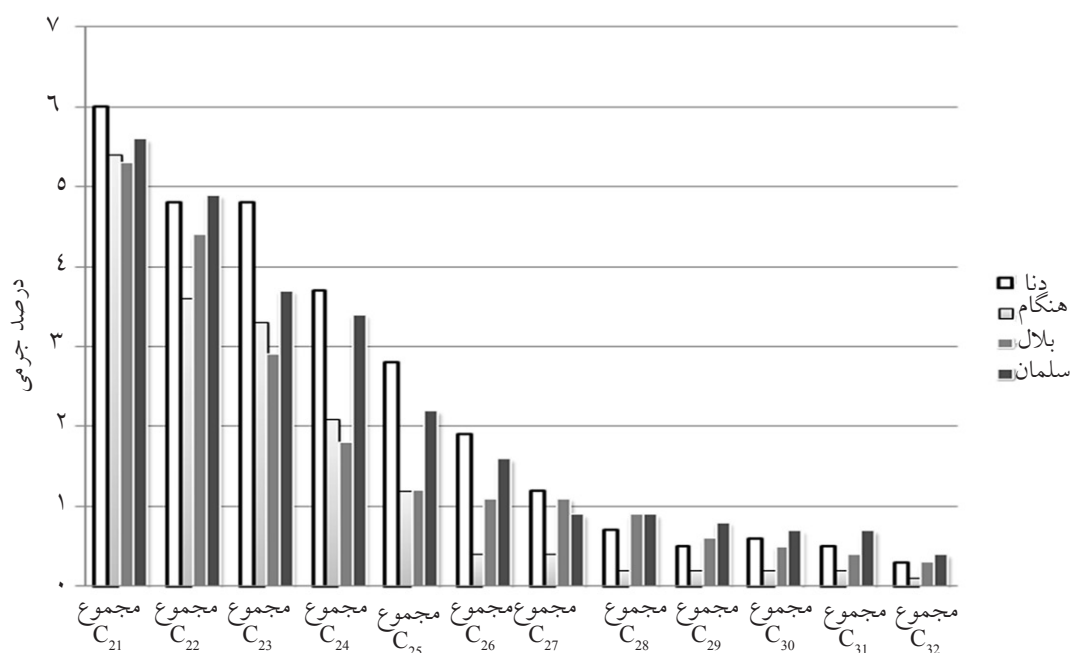
شکل ۲- ترکیبات اصلی موجود در برش جدا شده از نمونه‌های نفت خام از C<sub>11</sub> تا C<sub>20</sub>



شکل ۳- ترکیبات اصلی موجود در برش جدا شده از نمونه‌های نفت خام از C<sub>21</sub> تا C<sub>32</sub>



شکل ۴- مجموع ایزومرهای موجود در برش جدا شده از نمونه‌های نفت خام از C<sub>11</sub> تا C<sub>20</sub>



شکل ۵- مجموع ایزومرهای سنگین موجود در برش جدا شده از نمونه‌های نفت خام از C<sub>21</sub> تا C<sub>32</sub>

بیشتر از سایر سکوها است، اما میزان هیدروکربن‌های ۲۰ تا ۳۲ به شدت در این سکو پایین است. در حالی که هیدروکربن‌های سنگین در نفت خام سکوی دنا، سلمان و بلال بیشتر می‌باشد.

هر سکوی نفتی مورد بررسی دارای ترکیب درصد هیدروکربن‌های آلیفاتیک مخصوص به خود است. اکنون با داشتن ترکیب درصد هیدروکربن‌های آلیفاتیک و ویژگی‌های نفت خام هر سکو، به هنگام آلودگی نفتی در خلیج فارس و تعیین مشخصات نفت نشت شده در محیط، می‌توان منبع نشت را به سرعت تعیین نمود و محیط زیست دریایی را از آلودگی ایجاد شده نجات داد.

مطابق این شکل کمترین میزان مجموع ترکیبات ایزومری سنگین موجود در نفت خام مربوط به نفت خام سکوی هنگام و بیشترین مجموع ترکیبات ایزومرهای سنگین موجود در نمونه‌های نفت خام، مربوط به نفت خام سکوی دنا می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

بیشترین درصد فراوانی هیدروکربن‌های آلیفاتیک در نفت خام سکوی هنگام به دست آمد. ترکیبات موجود در نمونه‌های نفت خام از کربن ۱۱ تا کربن ۲۰ که جزء هیدروکربن‌های میان تقطیر در محدوده ترکیبات نفت چراغ تا گازوییل می‌باشد، در نفت خام سکوی هنگام

### مراجع

- [1]. Hegazi A. H., et al. "Application of gas chromatography with atomic emission detection to the geochemical investigation of polycyclic aromatic sulfur heterocycles Egyptian in crude oils", Fuel Processing Technology 85, pp. 1-19, 2003.
- [2]. Peiyan Sun. et al., "Fingerprinting and source identification of an oil spill in China Bohai Sea by gas chromatography-flame ionization detection and gas chromatography-mass spectrometry coupled with multi-statistical analyses", Journal of Chromatography A, 1216, pp. 830-836, 2009.
- [3]. Maowen Li., Et al., "Two - dimensional gas chromatograms as fingerprints of sour gas - associated oils", Organic Geochemistry 39, pp. 1144-1149, 2008.
- [4]. Xavier, Nouvelle and Delphine Coutrot, *The Malcom distribution analysis method: A consistent guideline for assessing reservoir compartmentalization from GC fingerprinting*, Organic Geochemistry xxx 2010.
- [5]. Laura V. Castro et al., "Fractionation and Characterization of Mexican Crude Oils", Journal of Chromatography.