

## فصل اول

### I - ۱ - منشأ نفت و روند تشکیل آن

#### I - ۱ - ۱ - منشأ نفت

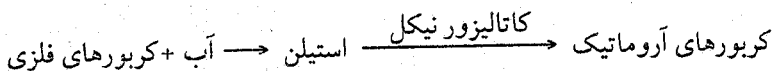
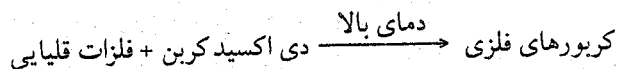
نفت خام مایعی است غلیظ به رنگ سیاه یا قهوه‌ای تیره که اساساً از هیدروکربن‌ها تشکیل شده است.

در مورد منشأ نفت و طرز تشکیل آن هر صاحب نظری به مقتضای تخصص و تجارب شخصی خود، عقیده‌ای بیان نموده است که در نهایت به یکی از دو نظریه منشأ معدنی و یا منشأ آلی نفت منجر می‌شود.

#### الف - نظریه منشأ معدنی

نظریه منشأ معدنی نفت که در ابتدای قرن بیستم به وسیله اکثر شیمیدانها و زمین شناسان مورد قبول واقع شده بود، در حال حاضر رد شده است و صرفاً از نظر تاریخی، علل مطرح شدن آن ذکر می‌گردد:

- در ۱۸۸۶ "برتلو"<sup>(۱)</sup> سنتز کربورهای آروماتیک را مطابق واکنشهای زیر انجام داد:



- در ۱۸۸۹ "مندلیف"<sup>(۲)</sup> براساس یک رشته آزمایشها و با فرض حضور کربورهای فلزی در لایه‌های عمیق پوسته زمین، نظریه "برتلو" را تأیید کرد.

- در ۱۹۰۱ "ساباتیه"<sup>(۱)</sup> و ساندرنس<sup>(۲)</sup>، استیلن را در دمای  $300^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$  در حضور کاتالیزورهای نیکل و آهن احیا شده، هیدروژن دار کردند و گستره نسبتاً کاملی از هیدروکربن های موجود در نفت خام را بدست آوردند.

با آنکه نظریه معدنی بودن منشأ نفت در ابتدا به سهولت پذیرفته شده بود، طولی نکشید که با ایرادهای زیادی مواجه گشت که منجر به کنار گذاشتن آن شد. نقاط ضعف این نظریه به قرار زیر می باشند:

- فلزات قلیایی و کربورهای فلزی که در سنتز "برتلو" به کار رفته بودند، عملاً در میان عناصر سازنده پوسته زمین شناسایی نشده اند.

- تجمع های هیدروکربنی اغلب در زمینهای رسوبی و در اعماق نسبتاً اندک یافت می شوند و در این نقاط دما پائین تر از حد لازم برای سنتزهای مورد نظر است.

- در نفت خام ترکیبات نیتروژن دار و اجسام فعال نوری وجود دارند که نشان دهنده منشأ آلی آن می باشند.

### ب - نظریه منشأ آلی نفت

امروزه می توان گفت که نظریه منشأ آلی برای نفت خام نسبت به هر نظریه دیگری قابل قبول تر است. این نظریه به دلایل زیر متکی است:

- نفت خام همیشه در لایه های رسوبی یافت می شود که همواره مقدار زیادی از مواد آلی نیز در این لایه ها وجود دارند. بقایای این مواد اعم از گیاهی و یا حیوانی محتوی مقدار زیادی کربن و هیدروژن (سازنده های اصلی نفت خام) می باشند.

- نفت های خام محتوی ماده ای به نام پورفیرین<sup>(۳)</sup> می باشند. این ماده فقط در عامل سرخی خون (همین)<sup>(۴)</sup> حیوانات و نیز در سبزینه گیاهان وجود دارد.

- اکثر نفت های خام خاصیت چرخش سطح پلاریزاسیون<sup>(۵)</sup> نور را دارند. این خاصیت مربوط به وجود کلسترول<sup>(۶)</sup> است که ماده ای است با منشأ حیوانی یا گیاهی.

با قبول نظریه آلی بودن منشأ نفت، سؤالات زیر مطرح می شوند:

- مواد آلی مولد نفت، خود از کجا آمده اند؟

- تحت چه شرایطی این مواد آلی با رسوبها مخلوط و حفظ شده اند؟

1 - Sabatier.

2 - Sanderens.

3 - Porphyrin ( $\text{C}_{32} \text{H}_{38} \text{N}_4$ ).

4 - Hemine.

5 - Polarization.

6 - Cholesterol ( $\text{C}_{26} \text{H}_{45} \text{OH}$ ).

- روند تبدیل این مواد به هیدروکربن های نفتی چگونه بوده و چه مدت طول کشیده است؟  
در پاسخ به این سؤالات، مطالب زیر ارائه شده اند:

#### الف - مواد آلی اولیه

به نظر می رسد که موجودات بسیار کوچک و بیشماری که در دریاها، دریاچه ها و مردابها زندگی می کنند و پلانکتون<sup>(۱)</sup> (فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون) نامیده می شوند، منشأ مواد آلی مولد نفت باشند. توزیع پلانکتون ها در سطح دریاها یکنواخت نیست. این موجودات در قسمت بالای آب دریاها (عمق ۵۰ تا ۱۰۰ متری) که اشعه خورشید نفوذ می کند و نیز در مجاورت سواحل متمرکزند. تولید مثل این موجودات بسیار زیاد است و پس از نابودی در کف دریاها رسوب کرده، قسمت اعظم مواد آلی ای را تشکیل می دهند که بعداً با رسوبهای مختلف مخلوط می شوند. البته پلانکتون ها تنها منبع مواد آلی نیستند. آب رودخانه هایی که به دریا می ریزند حاوی مقداری مواد هیومیک<sup>(۲)</sup> است که ترکیبشان نزدیک به هیدروکربن ها است.

#### ب - شرایط رسوب کردن

تنها قسمت کوچکی از مواد آلی پلانکتونی می تواند به اعماق دریا رسیده با رسوبها مخلوط شود. بقیه اجساد پلانکتونی به هنگام سقوط به اعماق دریا به وسیله باکتری های هوازی ازبین می روند و هرچه میزان اکسیژن محلول در آب بیشتر باشد، حمله این باکتری ها شدیدتر است. مقدار مواد آلی که به اعماق آبهای فلات قاره می رسند ۵ - ۲٪ و در مورد اعماق اقیانوس ها ۰/۰۵ - ۰/۰۲٪ مقدار اولیه است. یکی از عوامل مؤثر در حفظ و نگهداری مواد آلی ته نشین شده در اعماق آبها، دانه بندی رسوبهای معدنی در این اعماق است. اگر این رسوبها درشت دانه بوده (شن و ماسه) و آبها نیز مقداری اکسیژن داشته باشند، مواد آلی از تأثیر مخرب باکتری های هوازی در امان نبوده، ازبین می روند ولی اگر رسوبها ریزدانه باشند (رس یا آهک)، مواد آلی بسرعت مدفون شده، از اثر باکتریهای هوازی مصون می مانند.

#### ج - تبدیل مواد آلی به هیدروکربن ها

مواد آلی موجود در رسوبها حاوی ۳۵ - ۱۵٪ اکسیژن و ۱۰ - ۷٪ هیدروژن می باشند در حالی که مواد نفتی حداکثر ۴٪ اکسیژن و ۱۵ - ۱۱٪ هیدروژن دارند. بنابراین تبدیل مواد آلی

به هیدروکربن‌ها یک پدیده احیاست که به کمک باکتری‌های غیرهوازی موجود در اعماق آب‌ها صورت می‌گیرد. بدین ترتیب مواد آلی طی یک رشته واکنشهای فساد و تجزیه میکربی<sup>(۱)</sup>، تراکم<sup>(۲)</sup> و پلیمری شدن<sup>(۳)</sup>، به ماده هیدروکربنی بسیار غلیظی به نام کروژن<sup>(۴)</sup> تبدیل می‌شوند. مجموعه این تغییر و تبدیله‌ها را دگرگونی دیاژنتیک<sup>(۵)</sup> می‌نامند. این دگرگونی از لایه‌های یک متری آغاز شده، تا اعماق هزار متری ادامه می‌یابد و مدت آن نیز ۵ تا ۱۰ هزار سال است. با ادامه رسوب‌گذاری، عمق لایه‌ها نیز زیاد می‌شود و در نتیجه فشار و دما افزایش می‌یابند. تحت چنین شرایطی ( $P > 1000 \text{ atm}$  و  $t > 100^\circ \text{C}$ ) کروژن در اثر تجزیه حرارتی به هیدروکربن‌های مایع سبکتر تبدیل می‌گردد و با ادامه رسوب‌گذاری، مقداری از این هیدروکربن‌ها در اثر شکست تبدیل به هیدروکربن‌های سبک و گاز متان می‌شود. شکل I-۱-۱ روند دگرگونی مواد آلی را تا تشکیل نفت نشان می‌دهد.

### I - ۱ - ۲ - تشکیل معادن نفتی

پس از آنکه نفت در سنگ مادر<sup>(۶)</sup> تشکیل شد، در معرض نیروهای مختلفی نظیر وزن رسوبهای فوقانی، نیروهای مربوط به زمین‌شناسی.... قرار می‌گیرد. فشرده شدن رسوبها باعث می‌شود که آب و نفت از سنگ مادر خارج شده به طرف سنگهای نفوذپذیرتر (سنگ مخزن) جریان یابند. این جریان نفت معمولاً به طرف لایه‌های فوقانی که فشردگی کمتری دارند صورت می‌گیرد. حرکت نفت از سنگ مادر به سمت سنگ مخزن<sup>(۷)</sup> را هجرت اولیه<sup>(۸)</sup> می‌گویند. اگر در مسیر جریان نفت مانعی نباشد که آن را نگه دارد، سرانجام نفت به سطح زمین می‌رسد و از بین می‌رود. موانعی که نفت را از حرکت باز می‌دارند و باعث تجمع آن در یک محل می‌شوند، تله یا نفتگیر<sup>(۹)</sup> نامیده می‌شوند.

### I - ۱ - ۲ - نفتگیرها

همانگونه که ذکر شد نفتگیرها موانعی می‌باشند که حرکت نفت را متوقف می‌کنند. نفتگیرها از قسمتهای زیر تشکیل شده‌اند:

- یک لایه متخلخل نفوذپذیر به نام سنگ مخزن که در آن نفت جمع می‌شود

1 - Biodegradation.

2 - Polycondensation.

3 - Polymerization.

4 - Kerogen.

5 - Diagenesis.

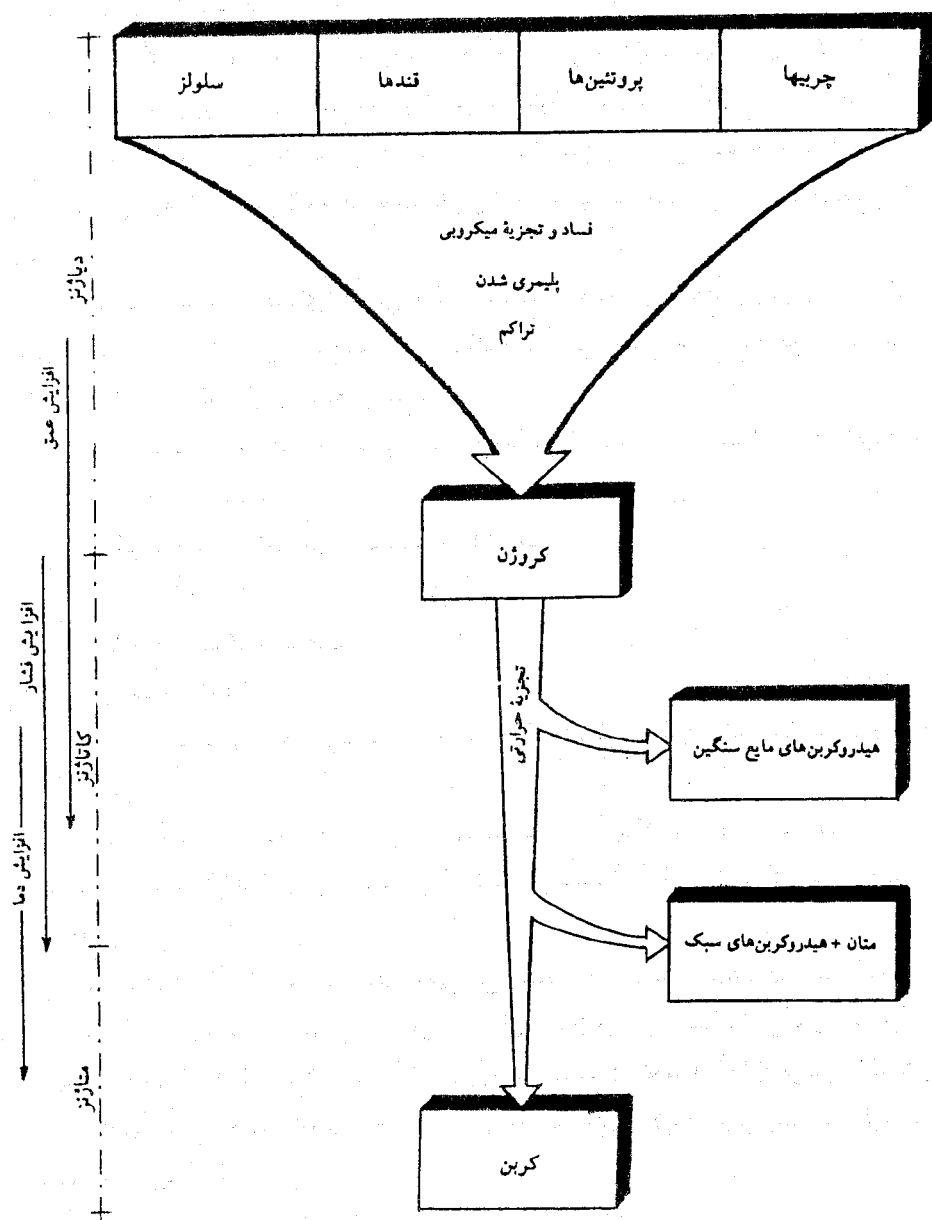
6 - Source rock.

7 - Reservoir rock.

8 - Primary migration.

9 - Oil trap.





شکل I-۱-۱. روند دگرگونی مواد آلی تا تشکیل هیدروکربنهای نفتی

- یک لایه نفوذ ناپذیر بر بالای سنگ مخزن که مانع جریان نفت به طرف سطح زمین می شود و سنگ کلاهک<sup>(۱)</sup> نام دارد.

در نفتگیرها، گاز و نفت و آب برحسب چگالی نسبی خود به ترتیب بر روی یکدیگر قرار می گیرند. از نظر زمین شناسی نفت گیرها بر سه نوعند: ساختمانی<sup>(۲)</sup>، چینه ای<sup>(۳)</sup> و مختلط<sup>(۴)</sup>.  
الف - نفتگیرهای ساختمانی: در اثر عوامل تکتونیکی از قبیل چین خوردگی و گسل خوردگی در لایه ها، تشکیل شده اند. معمول ترین نوع نفتگیر ساختمانی، نوع طاق دیسی<sup>(۵)</sup> است.

ب - نفتگیرهای چینه ای: در این حالت تغییرات رخساره ای لایه های رسوبی است که منجر به تغییر میزان تخلخل و نفوذ پذیری در سنگ مخزن می شود و بخش متخلخل و نفوذ پذیر را در بین لایه های نفوذ ناپذیر محصور می کند.

ج - نفتگیرهای مختلط: در تشکیل این نوع نفتگیرها هم عوامل ساختمانی و هم تغییرات رخساره ای دخالت داشته اند.

شکل I - ۱ - ۲ نمونه ای از نفتگیرها را ارائه می دهد.

## I - ۱ - ۲ - سنگهای مخزن

### الف - نوع سنگ مخزن

تمامی سنگهای مخزن رسوبی بوده، به دو گروه اصلی تعلق دارند: ماسه سنگها و سنگهای کربناته.

- ماسه سنگها: از تجمع دانه های کوارتز، فلدسپات یا سیلیکات آهن و منیزیم تشکیل شده اند. ماده سیمانی آنها می تواند سیلیس، کربنات یا اکسید آهن باشد. معمولاً تخلخل ماسه سنگها بین ۱۰ تا ۳۰٪ است.

- سنگهای کربناته: اساساً سنگهای آهکی می باشند. این سنگها از ذرات کلسیت تشکیل شده اند و ماده سیمانی آنها نیز کلسیت می باشد. آبی که از میان این سنگها می گذرد، می تواند تغییراتی در آنها ایجاد کند مثلاً در نتیجه انحلال یا رسوب گذاری تخلخل آنها را افزایش یا کاهش دهد. چنانچه آب موجب جابجایی جزیی کلسیم به وسیله منیزیم گردد، دولومیت یعنی کربنات کلسیم و منیزیم تشکیل می شود.

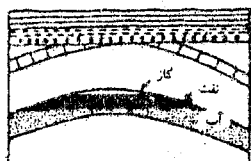
1 - Cap rock .

2 - Structural Trap .

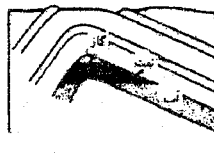
3 - Stratigraphic trap .

4 - Mixte trap

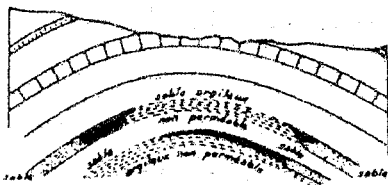
5 - Anticlinal.



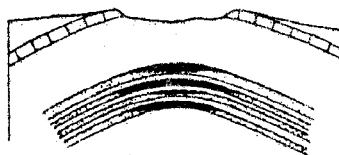
گنبد



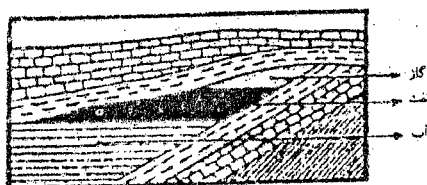
طاقدیس غیر متجانس



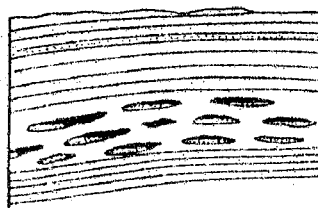
طاقدیس ساده با مخازن شنی با نفوذ پذیری متغیر



طاقدیس ساده با مخازن چندگانه



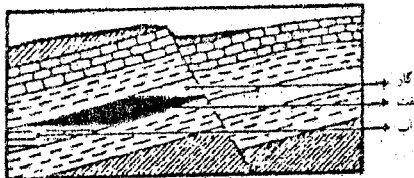
چینه‌ای



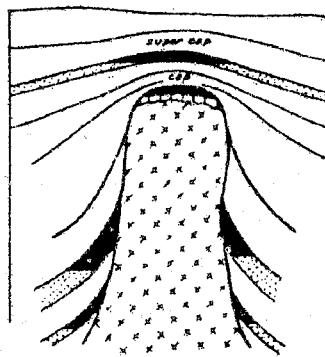
عده‌سی شنی



مخزن با تغییر نفوذ پذیری



گسلی



گنبد نمکی

به این دو گروه اصلی، می توان گروه کم اهمیت تر سنگهای غیر متخلخل و نفوذ ناپذیری را افزود که در اثر شکستگی یا انحلال متخلخل و تراوا شده اند، نظیر شیست ها<sup>(۱)</sup>.  
توزیع مخازن نفتی در دنیا به قرار زیر است:

| درصد مخازن | نوع سنگ مخزن                   |
|------------|--------------------------------|
| ۵۹         | ماسه سنگها                     |
| ۴۰/۲       | سنگهای کربناته                 |
| ۰/۸        | سنگهای شکافته شده (شیست ها...) |

#### ب - مشخصات سنگ مخزن

دو مشخصه اصلی سنگ مخزن عبارتند از: تخلخل<sup>(۲)</sup> و تراوایی<sup>(۳)</sup>.  
- تخلخل: عبارت است از نسبت فضاهای خالی موجود در سنگ به حجم کل سنگ:

$$\phi = \frac{V_p}{V_b} \times 100 = \frac{V_b - V_g}{V_b} \times 100$$

$V_p$ : حجم قسمت متخلخل سنگ (فضاهای خالی)

$V_b$ : حجم کل سنگ

$V_g$ : حجم ذرات جامد سنگ

تخلخل بر دو نوع است: اولیه و ثانوی.

تخلخل اولیه هنگام ته نشینی مواد به وجود می آید، در حالی که تخلخل ثانوی در اثر بعضی پدیده های زمین شناسی نظیر گسستگی، انحلال و غیره پس از رسوب لایه ایجاد می شود.  
- تراوایی: تراوایی یک سنگ قابلیت هدایت سیال توسط آن سنگ است یا به عبارت دیگر امکان عبور دادن سیال از خلل و فرج مرتبط سنگ. اگر خلل و فرج سنگ به یکدیگر مربوط نباشند تراوایی وجود نخواهد داشت، بنابراین بین تراوایی و تخلخل رابطه ای وجود دارد. واحد اندازه گیری تراوایی یک سنگ در سیستم CGS، داریسی<sup>(۴)</sup> است که عبارت است از تراوایی

1 - Schistes .

2 - Porosity .

3 - Permeability .

4 - Darcy .

سنگی که در آن سیالی با گرانروی یک سانتی پواز با دبی يك سانتیمتر مکعب در ثانیه از سطح مقطع یک سانتیمتر مربع، تحت گرادیان فشار یک اتمسفر جابجا شود:

$$q = \frac{K \cdot A}{\mu} \times \frac{dP}{dx}$$

q: دبی حجمی برحسب  $\text{cm}^3 / \text{s}$

A: سطح مقطع برحسب  $\text{cm}^2$

$\mu$ : گرانروی برحسب c.p

K: ثابت تراوایی برحسب darcy

$\frac{dP}{dx}$ : گرادیان هیدرولیکی برحسب atm / cm

- تعیین رابطه بین تخلخل و تراوایی

با توجه به اینکه معادله پوازوی<sup>(۱)</sup> برای دبی سیال در مجرای استوانه‌ای:  $q = \frac{\pi r^2 \Delta P}{8 \mu l}$  می‌باشد و با فرض آنکه خلل و فرج سنگ مجموعه n لوله موئین به طول l و شعاع r باشند، دبی کل سیال در این سنگ چنین خواهد بود:

$$q = \frac{n \pi r^2 \Delta p}{8 \mu l}$$

$$n = \frac{\phi A L}{\pi r^2 l}$$

$$q = \frac{\phi A L}{\pi r^2 l} \times \frac{\pi r^2 \Delta P}{8 \mu l} = \frac{KA}{\mu} \times \frac{\Delta P}{L}$$

$$K = \frac{\phi L^2 r^2}{8 l^2} = \frac{\phi r^2}{8 t^2}$$

چون در فرمول پوازوی، افت فشار برحسب  $\text{dyne} / \text{cm}^2$  داده شده است، بنابراین پس از تبدیل واحدها، رابطه نهایی بین تراوایی و تخلخل چنین خواهد شد:

$$K = \frac{10^{-8} \phi r^2}{8 t^2}$$

$t = \frac{1}{L}$  پیچش<sup>(۲)</sup>، A و L به ترتیب سطح مقطع و طول سنگ و  $\phi$  و K تخلخل و تراوایی سنگ می‌باشند.



## فصل دوم

### I - ۲ - اکتشاف و استخراج نفت

#### I - ۲ - ۱ - روشهای اکتشاف نفت

در ابتدای اکتشافهای نفتی، نشانه‌های سطحی نفت یا گاز در یافتن معادن زیرزمینی مفید واقع می‌شدند ولی امروزه این روش مستقیم اکتشاف کمتر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد زیرا بیشتر مناطقی که دارای این‌گونه نشانه‌ها بوده‌اند، مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. در حال حاضر برای اکتشاف نفت از روشهای زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی استفاده می‌شود.

#### I - ۲ - ۱ - ۱ - روش زمین‌شناسی<sup>(۱)</sup>

در روش زمین‌شناسی از منطقه مورد نظر عکسهای هوایی تهیه می‌شود. سپس عکسها به وسیله استرئوسکوپ<sup>(۲)</sup> مورد بررسی قرار می‌گیرند. این دستگاه می‌تواند دو عکس را به‌طور همزمان، به صورت تصویری برجسته نشان دهد. تصویر برجسته موقعیت زمین‌شناسی و پستی و بلندیهای یک منطقه را مشخص می‌کند. همچنین زمین‌شناسان می‌توانند به کمک این تصاویر، سنگهای سطحی و رنگ زمینهای منطقه را مورد بررسی قرار دهند. به کمک این عکسها، نقشه‌ای نیز از منطقه در مقیاس بزرگ رسم می‌شود.

بخش دیگر بررسیها مربوط به تعیین نوع سنگها و سن آنهاست که از طریق آزمایش و مطالعه سنگواره‌ها بر روی نمونه‌های جمع‌آوری شده، انجام می‌شود. همچنین تغییرات رخساره و ضخامت لایه‌ها در نقاط مختلف منطقه تعیین شده، انواع نقشه‌های سنگ‌شناسی، خطوط هم ضخامت و غیره رسم می‌شوند تا مورد استفاده اهل فن قرار گیرند.

معمولاً وضعیت ساختمانی لایه‌ها در زیرزمین با آنچه که در سطح زمین ظاهر شده‌است، تطبیق نمی‌کند و به همین دلیل نمی‌توان شکل ساختمانی و شیب و جهت لایه‌های زیرزمینی را

تعیین کرد. در چنین مواردی باید از زمین‌شناسی زیرزمینی<sup>(۱)</sup> استفاده کرد. زمین‌شناسی زیرزمینی بررسی و مطالعه لایه‌ها در زیرزمین است. بهترین راه تهیه اطلاعات در مورد لایه‌های زیرزمینی یک منطقه، انجام حفاری اکتشافی<sup>(۲)</sup> در آن منطقه است. پس از خاتمه حفاری، باید نمودارهای حفاری<sup>(۳)</sup> و یا الکتریکی<sup>(۴)</sup> تهیه شوند. در این نمودارها مشخصات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و خواص فیزیکی لایه‌هایی که در آنها چاه حفر شده است (نظیر سختی، تخلخل، مقاومت الکتریکی، نوع کانیها، نوع مایعات موجود...) در برابر عمق مربوطه بر روی طوماری ثبت می‌گردند. متخصصین با مطالعه این نمودارها، نتیجه‌گیریهای لازم را می‌نمایند.

#### I - ۲ - ۱ - ۲ - روشهای ژئوفیزیکی<sup>(۵)</sup>

همان‌گونه که از کلمه ژئوفیزیک استنباط می‌شود، این علم تلفیقی از دو دانش زمین‌شناسی و فیزیک است، بدین معنا که از اندازه‌گیریهای فیزیکی برای شناسایی زمین و پدیده‌های مربوط به آن استفاده می‌شود. روشهای اکتشاف ژئوفیزیکی به دو گروه تقسیم می‌شوند:

- آنهایی که پدیده‌های فیزیکی طبیعی (شتاب ثقل، حوزه مغناطیسی، جریانهای تلوری) را اندازه‌گیری می‌کنند.
- آنهایی که پدیده‌های ایجاد شده (امواج لرزه‌نگاری) را ثبت و اندازه‌گیری می‌کنند.

#### الف - روش ثقل سنجی یا گراویمتری<sup>(۶)</sup>

ثقل سنجی عبارت است از اندازه‌گیری تغییرات شتاب ثقل در نقاط مختلف یک ناحیه اکتشافی برای پی بردن به وضع ساختمانی و احتمالاً جنس لایه‌های زیرزمینی. مشخص شده است که بین دو جسم به جرمهای  $m$  و  $M$  به فاصله  $r$  از یکدیگر، نیروی جاذبه‌ای به صورت زیر وجود دارد:

$$F = G \frac{m \cdot M}{r^2}$$

که  $G$  ثابت عمومی ثقل است.

1 - Subsurface.

2 - Exploration drilling.

3 - Well logging.

4 - Electrical log.

5 - Geophysical methods.

6 - Gravimetry.



از طرف دیگر بنابر قانون دوم نیوتن، نیروی وارده بر هر جسم عبارت است از حاصل ضرب جرم آن جسم در شتاب ثقل:

$$F = m \cdot g$$

بنابراین اگر  $m$  جرم یک جسم در سطح زمین و  $M$  و  $r$  به ترتیب جرم و شعاع کره زمین باشند، شتاب ثقل از رابطه زیر بدست می آید:

$$g = \frac{G \cdot M}{r^2} = \frac{G \cdot V \cdot \rho}{r^2}$$

که  $V$  حجم و  $\rho$  چگالی لایه زمین است.

بنابراین مشاهده می شود که شتاب ثقل در هر محل تابع چگالی لایه های سازنده آن محل است. تغییرات چگالی سنگهای نسبتاً سطحی زمین در محل اندازه گیری و یا وجود پدیده های زمین شناسی نظیر گنبد های نمکی، طاق دیسها، گسلها باعث ایجاد تغییراتی در شتاب ثقل آن محل می شود.

برای اندازه گیری شتاب ثقل از دستگاه ثقل سنج<sup>(۱)</sup> استفاده می شود که اساس ساختمان آن در شکل I - ۲ - ۱ ارائه شده است.

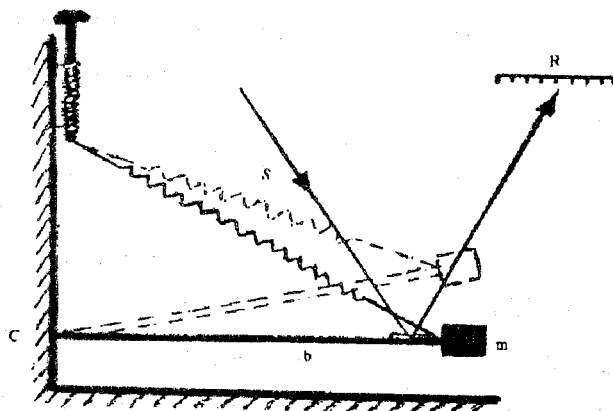
در عملیات ژئوفیزیکی هریک  $\frac{\text{سانتیمتر}}{\text{مجدور ثانیه}}$  یک گال<sup>(۲)</sup> نامیده می شود و چون تغییرات شتاب ثقل اندک است، برای اندازه گیریها از واحد میلی گال استفاده می شود.

در عمل، شتاب ثقل را در نقاط مختلف ناحیه اکتشافی به وسیله ثقل سنج اندازه گیری می کنند. از آنجایی که عواملی چون موقعیت جغرافیایی، اختلاف ارتفاع، جزر و مد و عوامل توپوگرافی باعث تغییراتی در شتاب ثقل می شوند، باید ابتدا تصحیح های مربوط به این عوامل بر روی مقدار شتاب ثقل اندازه گیری شده، اعمال شوند.

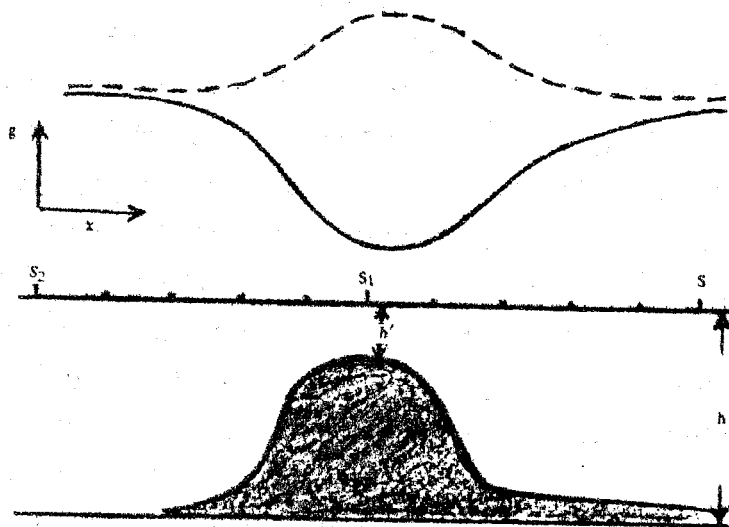
به عنوان مثال در شکل I - ۲ - ۱، نمودار ثقل سنجی یک گنبد نمکی به چگالی  $2/2$  محصور بین لایه های رسی به چگالی  $2/4$  نشان داده شده است. هنگامی که ثقل سنج در ایستگاه  $S_1$  قرار دارد، تحت تأثیر طبقات رسی به ارتفاع  $h$  و به چگالی  $2/4$  می باشد. در ایستگاه  $S_2$  تحت تأثیر طبقه  $h_1$  به چگالی  $2/2$  و طبقه  $h_1 - h$  به چگالی  $2/4$  است. بنابراین مقدار شتاب ثقل در  $S_2$  کمتر از  $S_1$  خواهد بود.

با رسم مقادیر مختلف  $g$  بر حسب فاصله  $S_1$  تا  $S_2$ ، پروفیل شتاب ثقل بدست می آید که

در آن وجود گنبد نمکی باعث انحراف منفی شده است. چنانچه سنگهایی با چگالی بیشتر وجود داشت، انحراف مثبت می شد.



شکل I-۲-۱ گراویمتر یا ثقل سنج



شکل I-۲-۲ نمودار ثقل سنجی

### ب - روش مغناطیس‌سنجی<sup>(۱)</sup>

در روش مغناطیس‌سنجی تغییرات حوزه مغناطیسی زمین در ناحیه اکتشافی اندازه‌گیری می‌شود. این تغییرات بستگی به تحولات فصلی، شبانه‌روزی، طوفانهای مغناطیسی و غیره دارد ولی هدف مغناطیس‌سنجی تعیین تغییراتی است که مربوط به خاصیت مغناطیسی سنگهاست. اصولاً سنگهای آذرین به علت وجود مانیتیت دارای خاصیت مغناطیسی می‌باشند، بنابراین تغییرات وضعیت آنها با سنجش‌های مغناطیسی قابل تشخیص است در حالی که سنگهای رسوبی خاصیت مغناطیسی چندانی ندارند و تشخیص وضعیت و یا جنس آنها با این روش امکان‌پذیر نیست.

در اکتشاف نفت، مغناطیس‌سنجی تنها می‌تواند اطلاعاتی درباره شکل تماس بین لایه‌های رسوبی و سکوی بلورین آنها بدهد و یا ضخامت کلی طبقات رسوبی را تخمین بزند. اساس مغناطیس‌سنجها، یک عقربه آهن‌ربایی است که حول محوری افقی حرکت می‌کند. امروزه از دستگاههای مغناطیس‌سنج هوایی استفاده می‌شود که مجهز به ثبات هستند و می‌توانند در لحین پرواز هواپیما، پروفیل حوزه مغناطیسی ناحیه را رسم کنند.

### ج - روش لرزه‌نگاری<sup>(۲)</sup>

در روش لرزه‌نگاری با ایجاد نوعی زمین لرزه بسیار خفیف، امواج لرزه‌ای ایجاد می‌کنند. این امواج به شکل نیمکره‌های در حال انبساطی در لایه‌ها و سنگهای مختلف زمین منتشر می‌شوند. مطالعه آثار این امواج که پس از شکست و بازتابهای فراوان دوباره به سطح زمین بازگشته و به وسیله گیرنده‌های مخصوص دریافت می‌گردند، برای پی بردن به وضعیت لایه‌های مختلف زمین انجام می‌شود. این امواج انواع مختلف دارند: طولی، عرضی، رالی... ولی در لرزه‌نگاری فقط امواج طولی مورد نظرند و این انتخاب بیشتر به خاطر افزونی سرعت انتشار آنها نسبت به سایر امواج است. در امواج طولی، ارتعاش ذرات در جهت موازی انتشار موج صورت می‌گیرد. دستگاههای لرزه‌نگاری به نحوی ساخته می‌شوند که فقط نسبت به امواج طولی حساس باشند. بازتاب و شکست امواج لرزه‌ای از قوانینی مشابه قوانین نوری پیروی می‌کنند و سرعت انتشار امواج تابعی از خواص الاستیکی سنگها و چگالی آنهاست.

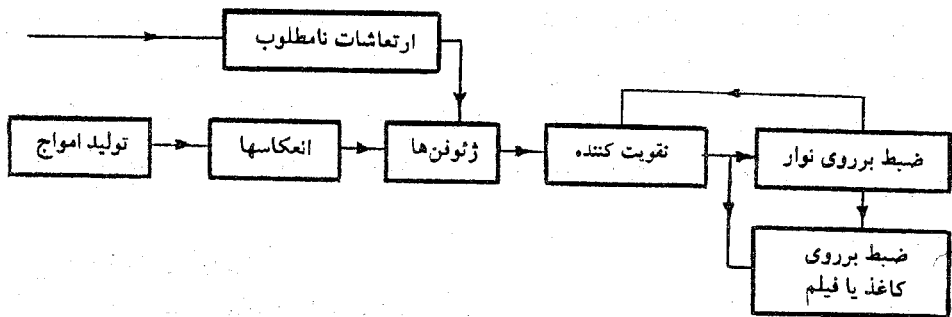
امواجی که به لرزه‌نگار می‌رسند، سه نوعند:

- امواج مستقیم یا سطحی که سطح زمین را دنبال می‌کنند

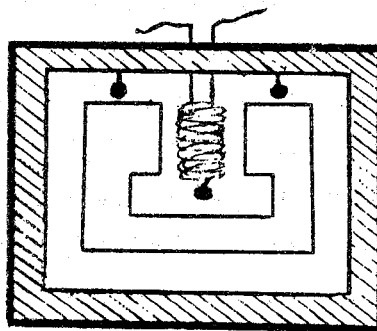
- امواج بازتابی که پس از برخورد با سطح دولایه مختلف، منعکس شده به سطح زمین باز می‌گردند

- امواج شکسته که پس از رسیدن به لایه‌ای که سرعت سیر در آن بیشتر است ( $V_2 > V_1$ )، شکست کامل پیدا کرده، مسافتی از حد فاصل دو لایه را می‌پیمایند و سپس به سطح زمین باز می‌گردند.

امواج مستقیم از نظر اکتشاف نفتی اهمیتی ندارند و به علت مزاحمت باید حذف شوند. در لرزه‌نگاری برحسب روش بکار رفته، یا امواج بازتابی و یا امواج شکسته مورد بررسی قرار می‌گیرند. مراحل مختلف لرزه‌نگاری در شکل I-۲-۳ ارائه شده‌اند.



شکل I-۲-۳ مراحل مختلف لرزه‌نگاری



ژئوفن

# ۱ - لرزه‌نگاری بازتابی<sup>(۱)</sup> (انعکاسی)

در این روش امواج پس از رسیدن به سطح فاصل دو لایه مختلف منعکس شده به سطح زمین باز می‌گردند. در سطح زمین گیرنده‌های مخصوصی بنام ژئوفن<sup>(۲)</sup> که در طول یک خط و به فواصل معینی قرار گرفته‌اند، ارتعاشات مکانیکی را تبدیل به جریان الکتریسیته ضعیفی می‌نمایند. جریان الکتریسیته تقویت می‌شود و علائمی بر روی نوارهای لرزه‌نگاری ثبت می‌گردد. به این ترتیب از روی یک نوار لرزه‌نگاری می‌توان زمان رفت و برگشت امواج را بدست آورد. در لرزه‌نگاری بازتابی معمولاً بیست و چهار ژئوفن در طول یک خط مستقیم به فاصله ۲۰ تا ۱۰۰ متر از یکدیگر قرار می‌گیرند و یک مجموعه<sup>(۳)</sup> را تشکیل می‌دهند.

## محاسبه عمق یک لایه:

دو لایه A و B را در نظر می‌گیریم که سطح فاصلشان R باشد، مطابق شکل I - ۲ - ۴. در نقطه S انفجار صورت می‌گیرد و امواج حاصل به وسیله ژئوفن‌ها دریافت می‌شوند. در نقطه انفجار، ژئوفن G<sub>۱</sub> و در فاصله d از آن، ژئوفن G<sub>۲</sub> قرار دارد. از میان شعاعهایی که می‌توان رسم نمود، دو شعاع SR<sub>۱</sub> و SR<sub>۲</sub> را در نظر می‌گیریم. SR<sub>۱</sub> با زاویه ۹۰° به سطح فاصل R می‌تابد و بر روی خود منعکس شده، پس از زمان t<sub>۱</sub> توسط ژئوفن G<sub>۱</sub> دریافت می‌شود. شعاع SR<sub>۲</sub> با زاویه i به سطح فاصل R می‌تابد و با زاویه i' برابر با i منعکس می‌گردد و پس از زمان (t<sub>۲</sub> + Δt) توسط ژئوفن G<sub>۲</sub> دریافت می‌گردد. سرعت سیر امواج در لایه A با V نشان داده شده است. در مثلث قائم‌الزاویه SS'G<sub>۱</sub> روابط زیر برقرار است:

$$SG_1^2 + SS'^2 = G_1S'^2$$

$$SS' = SR_1 + R_1S' = rSR_1 = V \cdot t_1$$

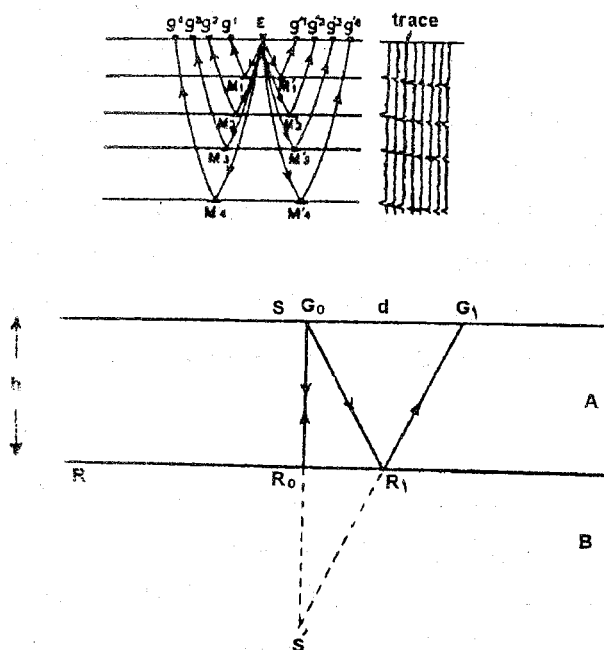
$$G_1S' = G_1R_1 + R_1S' = G_1R_1 + R_1S = V(t_1 + \Delta t)$$

$$d^2 + V^2 \cdot t_1^2 = V^2 \cdot (t_1 + \Delta t)^2$$

$$V = \frac{d}{\sqrt{2t_1 \cdot \Delta t + \Delta t^2}}$$

و ضخامت لایه نیز چنین خواهد بود:

$$h = V \cdot \frac{t_1}{2}$$



شکل I-۲-۴ لرزه نگاری بازتابی

## ۲ - لرزه نگاری شکستی (انکساری)

مطابق شکل I-۲-۵، دو لایه A و B در نظر می گیریم که سرعت سیر امواج در آنها  $V_1$  و  $V_2$  باشد، بطوریکه  $V_2 > V_1$ . رابطه بین زاویه تابش و زاویه شکست به صورت زیر می باشد:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V_1}{V_2}$$

هنگامی که  $i = 90^\circ$  باشد، شکست کامل حاصل می شود. بنابر اصل «هویگنس»<sup>(۱)</sup>، هر نقطه ای بر روی مسیر شعاعهای شکسته، در سطح فاصل دو لایه، همانند یک منبع جدید انرژی عمل می کند و شعاعی به طرف بالا می فرستد که زاویه بازتاب آن برابر زاویه تابش است. وقتی این شعاع به سطح زمین برسد، به وسیله ژئوفون دریافت می شود. شعاعهای مختلف طی زمانهای متفاوت به ژئوفون ها می رسند. به این ترتیب اگر زمان رسیدن جبهه موج به ژئوفون های مختلف

۲)

را برحسب فاصله رسم نماییم، خط شکسته‌ای بدست می‌آید که شیب هر پاره خط آن معادل عکس سرعت مربوطه است ( $\frac{1}{V}$ ).

برای محاسبه ضخامت لایه، شعاعی در نظر گرفته می‌شود که از S به نقطه A' و سپس به B' و از آنجا به G در سطح زمین برسد. اگر t زمان سیر موج در طول این مسیر و h ضخامت لایه باشد، می‌توان نوشت:

$$t = t_{SA'} + t_{A'B'} + t_{B'G}$$

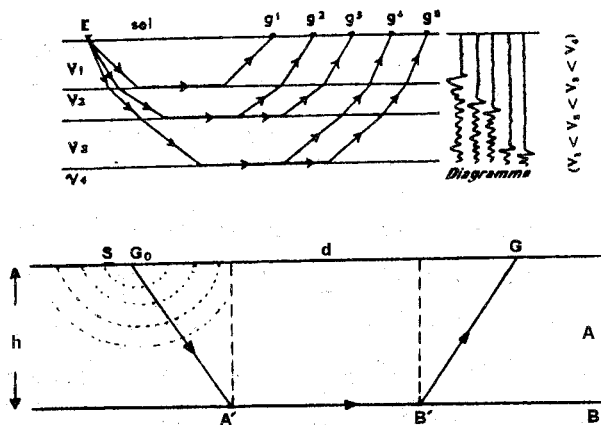
$$t = \frac{h}{V_1 \cdot \cos i} + \frac{d - 2h \tan i}{V_2} + \frac{h}{V_1 \cdot \cos i}$$

$$t = \frac{2h}{V_1 \cdot \cos i} + \frac{d - 2h \tan i}{V_2}$$

که d فاصله ژئوفن G تا محل انفجار است و زاویه تابش i از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$i = \sin^{-1} \left( \frac{V_1}{V_2} \right)$$

در این محاسبات حالت‌های ساده در نظر گرفته شده‌اند در حالی که در طبیعت شرایط بسیار پیچیده‌تر می‌باشد.



شکل I-۲-۵ لرزه‌نگاری شکستی

I - ۲ - ۲ - حفاری<sup>(۱)</sup>

نتیجه کار زمین شناسان و ژئوفیزیكدان ها فقط می تواند نشان دهنده احتمال وجود نفتگیر در یک ناحیه باشد و تأیید این مطلب فقط پس از حفاری امکان پذیر است. حفاری دو نوع است. حفاری آزمایشی برای شناسایی نفتگیرها و مخازن نفتی و حفاری تولیدی برای بهره برداری از مخازن نفتی. برحسب نوع ابزار بکار رفته نیز روشهای حفاری به دو گروه تقسیم می شوند: حفاری ضربه ای و حفاری دورانی.

I - ۲ - ۲ - ۱ - حفاری ضربه ای<sup>(۲)</sup>

در این روش یک مته فولادی متصل به کابل فولادی به طور متناوب بالا و پائین رفته و با ضربه زدن به ته چاه، سنگها را خرد می کند. پس از مدت معینی خرده سنگها را از چاه خارج نموده، عمل حفاری را ادامه می دهند. امروزه در حفاریهای نفتی از این روش استفاده نمی شود.

I - ۲ - ۲ - ۲ - حفاری دورانی<sup>(۳)</sup>

استفاده از روش دورانی از سال ۱۹۲۲ آغاز شد و از ۱۹۳۰ جانشین روش ضربه ای گردید و در حال حاضر متداولترین روشی است که امکان حفاری تا اعماق بسیار زیاد را می دهد. در این روش حرکت دورانی در سطح زمین به یک رشته لوله فولادی منتهی به یک مته منتقل می شود. حرکت دورانی این مته باعث خرد شدن سنگها و پیشروی حفاری می شود.

## الف - لوازم حفاری دورانی

قبل از شرح عملیات حفاری، لوازم آن معرفی می شوند. این لوازم به دو دسته تقسیم می شوند: لوازم بیرون چاه و لوازم داخل چاه.

## ۱ - لوازم بیرون چاه عبارتند از دکل حفاری، بالابر، موتورها و پمپها.

- دکل حفاری<sup>(۴)</sup>: این وسیله فضا و سطح اتکای لازم را برای بیرون آوردن لوله های حفاری از چاه و یا وارد نمودن آنها به داخل چاه تأمین می کند. دکل باید دارای ارتفاع و استحکام لازم برای انجام حفاری باشد. ارتفاع دکلها معمولاً بین ۲۴ تا ۵۸ متر است. ظرفیت تحمل وزن دکلها برحسب عمق حفاری متفاوت است. ظرفیت یک دکل سنگین می تواند ۲۸۰ تن یا بیشتر

1 - Drilling.

2 - Cable tool.

3 - Rotary - drilling.

4 - Derrick.



باشد. دکل‌ها دو نوعند :

دکل استاندارد<sup>(۱)</sup> و دکل قابل حمل<sup>(۲)</sup>. در شکل I-۲-۶ دکل و لوازم حفاری مشخص شده‌اند. - بالابر<sup>(۳)</sup> و موتور آن: بالابر قسمت اصلی ابزار بیرون چاه را تشکیل می‌دهد. نقش آن بیرون کشیدن رشته لوله‌ها از چاه و یا وارد کردن آنها در چاه می‌باشد. این عمل به وسیله چرخش قرقره یا استوانه بزرگی که مقداری کابل حفاری<sup>(۴)</sup> بر روی آن پیچیده شده است، انجام می‌شود.

- پمپ‌ها: در حفاری دو دسته پمپ بکار می‌روند: پمپ‌های گل و پمپ‌های سیمانکاری. پمپ‌های گل برای به گردش درآوردن گل حفاری می‌باشند. معمولاً دو پمپ در محل وجود دارند تا اگر به‌عللی یک پمپ متوقف شد، دیگری جانشین آن شود. از پمپ‌های سیمانکاری هنگام جداربندی<sup>(۵)</sup> چاه استفاده می‌شود.

## ۲ - لوازم داخل چاه عبارتند از رشته لوله حفاری و جداره

- رشته لوله حفاری<sup>(۶)</sup>: رشته حفاری از بالا به پائین شامل لوله چهارگوش، لوله‌های حفاری، طوقه حفاری<sup>(۷)</sup> و مته<sup>(۸)</sup> می‌باشد.

لوله چهارگوش<sup>(۹)</sup>: این لوله معمولاً مقطع مربعی دارد ولی گاهی نیز از مقطع شش ضلعی استفاده می‌شود. طول آن معمولاً ۱۲/۵ متر و توخالی است. این لوله واسطه‌ای بین صفحه دوار<sup>(۱۰)</sup> و لوله‌های حفاری است که به آن پیچ می‌شوند.

لوله‌های حفاری<sup>(۱۱)</sup>: این لوله‌ها فولادی توخالی به طول حدود ۹ متر و قطر  $\frac{3}{8}$  تا  $6\frac{5}{8}$  می‌باشند. این لوله‌ها به یکدیگر پیچ می‌شوند.

طوقه حفاری<sup>(۱۲)</sup>: این وسیله نوعی لوله توخالی از جنس فولاد مخصوص نیکل-کرم یا کرم-مولیبدن می‌باشد. قطر و وزن و سختی آن بیشتر از لوله‌های حفاری است. این خصوصیات طوقه حفاری برای جلوگیری از پیچش و انحراف رشته لوله حفاری می‌باشد.

1 - Derrick.

2 - Mast.

3 - Hoist or draw work.

4 - Drilling line.

5 - Casing.

6 - Drill pipe string.

7 - Drill collar

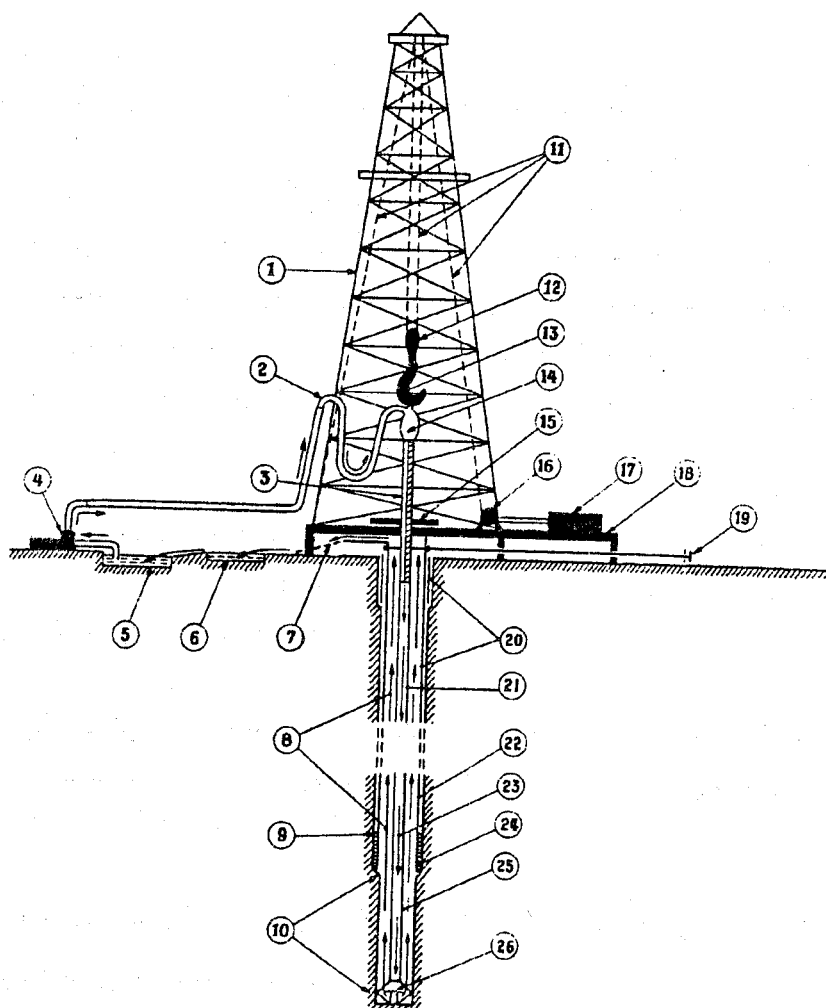
8 - Bit

9 - Kelly.

10 - Rotary table.

11 - Drill pipe.

12 - Drill collar.



- |                           |                              |                         |
|---------------------------|------------------------------|-------------------------|
| ۱۹ - شیر باز دارنده فوران | ۱۰ - قسمتی از چاه بدون جداره | ۱ - دکل حفاری           |
| ۲۰ - جداره                | ۱۱ - کابلها - طنابها         | ۲ - لوله تزریق          |
| ۲۱ - رشته لوله‌ها         | ۱۲ - قرقه                    | ۳ - لوله چهارگوش        |
| ۲۲ - جداره                | ۱۳ - قلاب                    | ۴ - پمپ گل              |
| ۲۳ - جریان پایین رونده گل | ۱۴ - سر تزریق                | ۵ - مخزن گل             |
| ۲۴ - سیمان                | ۱۵ - صفحه دوار               | ۶ - مخزن جداسازی        |
| ۲۵ - رشته لوله‌ها         | ۱۶ - بالابر                  | ۷ - الک ارتعاشی         |
| ۲۶ - مته                  | ۱۷ - موتورها                 | ۸ - جریان بالا رونده گل |
|                           | ۱۸ - کف دکل                  | ۹ - جداره               |

شکل III-۲-۶ دکل حفاری

مته<sup>(۱)</sup>: مته برای خرد کردن سنگهای موجود در چاه به کار می‌رود. مته‌ها دو نوعند: تیغه‌دار برای حفر زمینهای نرم و غلتکی برای حفر زمینهای سخت. در سالهای اخیر از مته‌های پاششی<sup>(۲)</sup> استفاده می‌شود که در آنها گل از منافذ ریز مته با شدت به ته چاه پرتاب می‌شود. این گل تحت فشار، کار مته را آسان نموده، امکان می‌دهد که سریعتر عمل نماید.

معمول‌ترین مته‌های غلتکی نوع سه مخروطی<sup>(۳)</sup> است که در آن سه غلتک مخروطی حول محورهایی که با یکدیگر زوایای  $120^\circ$  تشکیل می‌دهند، می‌چرخند و خود مته نیز همراه لوله حفاری دوران می‌کند. غلتکها دنداندار می‌باشند (دندانه‌های بلند و فاصله‌دار برای زمینهای نرم و دندانه‌های کوتاه و فشرده برای زمینهای سخت). در زمینهای سخت، مته‌ها بسرعت فرسوده می‌شوند. در هر تعویض مته، تمام رشته حفاری باید از چاه خارج شود. سرعت حفاری در زمینهای نرم می‌تواند به هزار متر در روز برسد، در حالی که در زمینهای بسیار سخت، از چند متر در روز تجاوز نمی‌کند.

- جداره<sup>(۴)</sup>: این وسیله شامل لوله‌های فولادی است که باید به دیواره چاه چسبانده شوند.

عمل حفاری تا عمقی می‌تواند ادامه یابد که دیواره چاه پایدار باشد و ریزش نکند. معمولاً گل حفاری از ریزش دیواره چاه جلوگیری می‌کند ولی زمانی فرا می‌رسد که دیگر فشار گل برای جلوگیری از ریزش چاه کفایت نمی‌کند و لایه‌های آبدی نیز با فرستادن آب به داخل چاه، خواص گل را تغییر می‌دهند و به این ترتیب حفاری مشکل می‌شود. در این صورت باید جداره را وارد چاه نمود و آن را به وسیله سیمان به دیواره چاه چسباند. پس از نصب اولین جداره باید مته را عوض کرده، از مته کوچکتري استفاده نمود. پس از مدتی حفاری، چنانچه دوباره نیاز به نصب جداره باشد، باید آن را از سر چاه تا عمق مورد نظر نصب و سیمانی کرد. بنابراین جداره دوم در داخل جداره اول قرار می‌گیرد و به همین ترتیب می‌توان سایر جداره‌ها را در صورت لزوم نصب کرد.

پس از قرار دادن اولین جداره، لوازم سرچاه<sup>(۵)</sup> نیز نصب می‌گردند. این لوازم شامل تعدادی شیر برای جلوگیری از فوران<sup>(۶)</sup> و لوله‌های لازم می‌باشند.

1 - Bit

2 - Jet bit.

3 - Tricones

4 - Casing.

5 - Well head.

6 - Blow - out Preventer.

۳- گل حفاری<sup>(۱)</sup>

نقش گل در حفاری به قرار زیر می باشد:

- خارج نمودن خرده سنگها از چاه
- خنک و روان نمودن مته
- جلوگیری از ریزش دیواره چاه
- موازنه با فشار سیالهایی که در بعضی لایه ها وجود دارند و جلوگیری از ورود آنها به داخل چاه

- معلق نگه داشتن خرده سنگها هنگامی که گردش گل به عللی متوقف می شود

- تسهیل در متلاشی نمودن سنگها

با توجه به وظایف مختلف گل حفاری، ترکیب آن باید دائماً بررسی و تنظیم شود. خواصی که باید مرتباً کنترل شوند عبارتند از: چگالی، ویسکوزیته، اسیدیته یا pH (بین ۸ تا ۱۲) و درصد ماسه.

ماده اصلی گل حفاری بنتونیت<sup>(۲)</sup> است که نوعی خاک رُس با قدرت بادکنندگی زیاد می باشد. در زمینهای نمکی از آتاپولژیت<sup>(۳)</sup> یا زئولیت<sup>(۴)</sup> استفاده می شود. برحسب چگالی مورد نظر، درصد رس مخلوط شده با آب بین ۵ تا ۱۰٪ است. سایر موادی که در ساخت گل به کار می روند عبارتند از: نشاسته، مواد بازی نظیر آهک یا سود، صمغ، مواد سنگین کننده مانند باریتین و مواد منعقدکننده ... چگالی گل معمولاً بین ۱/۱ تا ۱/۲ است ولی می توان آن را تا ۲ نیز افزایش داد.

## ب - عملیات حفاری

در حفاری دورانی عملیات حفر و تخلیه خرده سنگها به طور همزمان صورت می گیرند. عمل حفر به وسیله مته انجام می شود. در مرکز کف دکل، صفحه گردان قرار گرفته است و وسط آن سوراخی است که بر روی مرکز چاه واقع است و لوله های حفاری از میان آن به داخل چاه فرستاده می شوند. صفحه گردان به وسیله یک موتور به گردش در می آید و بدین ترتیب رشته حفاری و مته متصل به آن شروع به دوران می نمایند و حفاری انجام می شود.

یکی از مشکلات حفاری، عمود نگه داشتن مته و حفر عمودی چاه است. جهت رفع این

1 - Drilling mud.

2 - Bentonite.

3 - Atapulgite.

4 - Zeolite.

اشکال، در بالای مته از طوقه حفاری استفاده می‌شود. این طوقه مانند لوله‌های حفاری بوده ولی بزرگتر و سنگین‌تر است و دو عمل انجام می‌دهد:

- همواره نیروی لازم را بر روی مته وارد می‌آورد تا مته در جهت قائم پیش رود.  
- در لوله‌های حفاری ایجاد کشش نموده و بدین ترتیب از پیچش آنها جلوگیری می‌کند.  
گردش گل در تمام مدت حفاری به وسیله پمپ‌های گل تأمین می‌شود. این پمپ‌ها گل را از مخزن آن خارج نموده، پس از عبور دادن از لوله گل<sup>(۱)</sup> و سر تزریق<sup>(۲)</sup> به داخل لوله حفاری می‌فرستند. هنگامی که گل به انتهای لوله حفاری رسید، از منافذ مته خارج شده، به همراه خرده سنگها و خاکهایی که در خود گرفته است، از فضای مابین لوله‌ها و جدار چاه به طرف بالا می‌رود. گل پس از رسیدن به سطح زمین از روی الکهای ارتعاشی می‌گذرد و خرده سنگها از آن جدا می‌شوند و سپس وارد مخزن ته‌نشینی شده، ذرات کوچکتر نیز از آن جدا می‌شوند و گل دوباره به مخزن اولیه خود برگشته، مجدداً دور آغاز می‌گردد.

چون طول لوله‌های حفاری معمولاً از ده متر تجاوز نمی‌کند، بنابراین با پیشرفت حفاری، باید مرتباً لوله‌هایی به رشته حفاری افزود. بدین منظور رشته حفاری را به وسیله قرقره و کابل‌های مربوط بالا کشیده، لوله چهارگوش را بیرون می‌آورند و لوله دیگری به رشته حفاری می‌افزایند. پس از اتصال لوله جدید، دوباره رشته حفاری به اعماق زمین فرستاده می‌شود و پس از حفر مقدار معینی، باید مجدداً لوله دیگری اضافه شود.

معمولاً مته پس از حفر ۵۰ الی ۶۰ متر ( ۱ تا ۲ متر برای زمینهای بسیار سخت) کند می‌شود و باید آن را تعویض کرد. برای این کار باید رشته حفاری را بکلی از چاه خارج نمود. این کار ساعتها طول می‌کشد. مسلم است که نمی‌توان رشته حفاری را یکباره بیرون کشید زیرا ارتفاع دکل چنین امکانی را نمی‌دهد. معمولاً لوله‌های حفاری را سه به سه بیرون آورده باز می‌کنند و پس از تعویض مته، لوله‌های باز شده را به یکدیگر وصل نموده، به داخل چاه می‌فرستند.  
هرچه عمق چاه بیشتر شود، قطرش کوچکتر می‌شود و به همین جهت باید در اعماق زیاد از مته‌های کوچکتر استفاده نمود.

اگر در حین حفاری، لوله حفاری و یا مته در چاه گیر کند و یا قسمتی از لوله جدا شود و یا هر گونه اشکال مکانیکی در داخل چاه پیش بیاید، عملیات صید و خارج سازی<sup>(۳)</sup> انجام می‌شود.

### مغزه‌گیری<sup>(۱)</sup>

برای بدست آوردن اطلاعاتی در مورد لایه‌های مورد حفاری، از سنگها نمونه‌برداری یا مغزه‌گیری می‌شود. در این عمل از متۀ توخالی استفاده می‌شود. بر اثر حفاری، استوانه‌ای از سنگها از داخل متۀ به‌طرف رشته حفاری رانده می‌شود و در قسمت مخصوصی قرار می‌گیرد. پس از بالا بردن لوله‌ها، مغزه<sup>(۲)</sup> را خارج نموده و آزمایشهای لازم را بر روی آن انجام می‌دهند تا اطلاعاتی در زمینه وضعیت سنگ شناسی لایه‌ها، تخلخل و تراوایی آنها، حضور هیدروکربن‌های مایع یا گازی و درجه اشباع آنها بدست آورند.

### حفاری در دریا

حفر چاه در دریاها از طریق سکو انجام می‌شود. سکو بالاتر از سطح آب قرار می‌گیرد و دکل حفاری بر روی آن ساخته می‌شود. در مناطقی که حوزه نفتی در نزدیکی ساحل قرار داشته باشد، نیازی به ایجاد سکو نیست زیرا در این موارد ابتدا گودالی در خشکی حفر مینمایند و سپس به وسیله دستگاههای مخصوص به‌نقب زنی به‌طرف دریا می‌پردازند تا به‌بستر آن برسند. چنانچه حوزه نفتی در آبهای کم‌عمق ساحلی قرار داشته باشد، ابتدا اسکله‌ای ساخته می‌شود که یک طرف آن به‌خشکی و طرف دیگر آن به‌سکوی حفاری منتهی شود. سکوی حفاری بر روی پایه‌های بسیار مقاوم ساخته می‌شود و معمولاً ۱۵ تا ۲۰ متر بالاتر از سطح آب قرار می‌گیرد. اغلب حوزه‌های نفتی دریایی با خشکی فاصله زیادی دارند و برای استخراج نفت این مناطق باید سکوها و دکل‌های عظیمی ساخته شوند. دکل‌ها به‌صورت ثابت، نیمه غوطه‌ور و یا موج به‌کار می‌روند.

### I - ۲ - ۳ - بهره‌برداری از نفت

پس از آنکه حفاری پایان یافت و لایۀ مورد نظر به‌داخل چاه راه پیدا کرد، باید وزن گل حفاری را کاهش داد تا سیال بتواند وارد چاه شده، مورد بهره‌برداری قرار گیرد. برای بهره‌برداری از چاه، ابتدا تمامی وسایل حفاری را جمع‌آوری می‌کنند و سپس دستگاههای دیگری به‌همراه لوله‌ها و شیرهای مربوط بر روی چاه نصب می‌کنند. مجموعه این لوله‌ها را درخت کریسمس<sup>(۳)</sup> می‌نامند.

هنگام بهره‌برداری از چاه، دو حالت پیش می‌آید:

- فشار مخزن کافی بوده و نفت انرژی لازم برای رسیدن به سطح زمین و جریان در لوله‌ها را دارا می‌باشد. به این حالت فوران تنظیم شده می‌گویند زیرا می‌توان در هر لحظه دبی جریان را به وسیله شیرهای استاندارد تنظیم کرد.

- فشار مخزن پائین بوده و نمی‌تواند نفت را با دبی مناسب به سطح زمین برساند. حتی در مخازن گروه اول نیز پس از مدتی بهره‌برداری، دیگر فشار مخزن برای رساندن نفت به سطح زمین کفایت نمی‌کند. در این صورت از روش پمپ کردن و یا روش گاز بالابر<sup>(۱)</sup> استفاده می‌شود. در روش پمپ کردن، یک پمپ در انتهای لوله‌های جداره، هم سطح لایه مورد نظر قرار داده می‌شود. این پمپ بوسیله لوله‌هایی به موتوری در سطح زمین متصل می‌شود و به وسیله همین موتور به حرکت در می‌آید.

در روش گاز بالابر، گاز تحت فشار در فضای مابین لوله تولید و جداره فرستاده می‌شود. این گاز با نفت موجود در چاه مخلوط می‌شود. چگالی این مخلوط کمتر از چگالی نفت اولیه بوده، در نتیجه فشار موجود در چاه قادر خواهد بود که آن را به حرکت در آورد و به سطح زمین برساند.

با ادامه بهره‌برداری از چاه نفت، فشار مخزن کاهش می‌یابد. بنابراین باید این افت انرژی به طریقی جبران شود. در چنین مواردی از تزریق آب یا گاز استفاده می‌شود.

هرگز نتوانسته‌اند تمامی نفت موجود در یک مخزن را بازیابی کنند. نسبت مقدار نفت بازیابی شده به مقدار کل نفت مخزن را ضریب بازیابی می‌نامند که بین ۱۰٪ در حالت بسیار نامساعد و ۸۰٪ در حالت کاملاً مساعد تغییر می‌کند. در اغلب موارد مقدار این ضریب بین ۱۵ تا ۵۰٪ می‌باشد.

## I - ۲ - ۴ - جداسازی گازها از نفت خام

نفتی که به سطح زمین می‌رسد، دارای مقداری گاز و آب است که باید قبل از ارسال به پالایشگاه مورد جداسازی قرار گیرد. عمل جداسازی می‌تواند یک مرحله‌ای<sup>(۲)</sup> و یا چند مرحله‌ای<sup>(۳)</sup> باشد.

هرگاه مقدار گاز موجود در نفت اندک بوده، فشار آن پائین باشد، از روش یک مرحله‌ای

1 - Gas lift.

2 - Single - Stage gas separation.

3 - Multi - stage gas separation.

استفاده می شود ولی اگر فشار بالا باشد، روش چند مرحله ای به کار برده می شود. جداکننده گاز مخزنی است استوانه ای شکل و فولادی که در آن عمل جداسازی گاز از نفت براساس کاهش فشار صورت می گیرد و بدین ترتیب گاز از بالا و نفت از پائین مخزن خارج می شود.

در روش چند مرحله ای، فشار هر جداکننده کمتر از فشار جداکننده قبلی است. بدین ترتیب در اولین جداکننده، سبکترین گازها و در جداکننده های بعدی گازهای سنگین تر جدا می شوند.

### I - ۲ - ۵ - حمل مواد نفتی

حمل مواد نفتی تا پالایشگاهها توسط خطوط لوله<sup>(۱)</sup> یا تانکرهای نفتی صورت می گیرد. در دریاها حمل این مواد به وسیله کشتیهای عظیم نفتکش عملی می شود. خطوط لوله، لوله هایی به قطر "۴ الی ۴۰" می باشند که معمولاً از فولاد ساخته شده اند و در آنها نفت خام، گاز و یا فرآورده های مایع نفتی می توانند جریان داشته باشند. رانش این سیالات در لوله ها به وسیله پمپ هایی که در ایستگاههای مختلف قرار دارند، عملی می شود.

#### لوله کشی

برای لوله کشی ابتدا باید ترتیب احداث جاده ای بین حوزه نفتی و مقصد و نیز جاده دیگری برای تردد ماشینهای حفاری، داده شود. به موازات این اقدامات، زمین شناسان نیز براساس بررسیهایی که انجام می دهند، کوتاهترین و ارزانهترین مسیر را برای لوله کشی تعیین می کنند. گاهی ممکن است خطوط لوله از چند کشور عبور کنند که در این صورت جلب موافقت کشورهای مربوط ضروری است.

بهترین راه لوله گذاری در خشکیها، قرار دادن آنها در زیرزمین است، اما گاهی به علت وجود اشکالاتی در مناطق کویری، لوله ها را بر روی ستونهای فلزی قرار می دهند. لوله گذاری در مسیر دریاها بصورت هوایی و یا به صورت زیرآبی انجام می شود.

هنگام لوله کشی، با توجه به امکانات باید یکی از دو حالت زیر انتخاب شود:

- قطر زیاد لوله، افت فشار کم و در نتیجه ایستگاههای پمپ کردن به تعداد کمتر

- قطر کمتر لوله، افت فشار بیشتر و در نتیجه تعداد بیشتری ایستگاه پمپ کردن



در حالت اول هزینه سرمایه گذاری بیشتر و هزینه بهره برداری کمتر است و در حالت دوم بالعکس.

عملیات لوله کشی شامل مراحل زیر است :

- حفر کانال (به عمق ۲ متر یا بیشتر) به وسیله ماشینهای نهرکن و یا مواد منفجره
- حمل لوله ها و قرار دادن آنها در حاشیه کانال
- خم کردن بعضی از لوله ها باتوجه به شیب و جهت کانال
- جوشکاری: طول لوله ها معمولاً حدود ۱۰ متر و قطرشان باتوجه به کاربردشان از ۱۵ cm تا یک متر است. جهت اتصال لوله ها از جوشکاری برقی استفاده می شود و پس از خاتمه عمل، نقاط جوشکاری به وسیله دستگاههای نوری مورد آزمایش قرار می گیرند تا هیچ گونه درز و منفذی نداشته باشند.

- حفاظت در مقابل خوردگی: ابتدا سطح خارجی لوله ها را قیراندود می کنند تا در مقابل رطوبت غیر قابل نفوذ شوند و آنگاه یک لایه پشم شیشه به وسیله ماشین مخصوص به دور لوله ها پیچیده می شود و بر روی آن نیز نوار آمیانت قرار می دهند. پوششها به تنهایی نمی توانند مانع خوردگی شوند، بنابراین باید از حفاظت کاتدی نیز استفاده شود.
- قرار دادن لوله ها: جرقه های بزرگی که در یک طرف کانال و به فاصله چند متر از هم مستقر شده اند به طور همزمان یک رشته طویل از لوله های به هم چسبیده را بلند می کنند و با احتیاط در داخل کانال قرار می دهند.

- پر کردن کانال با خاک که به وسیله بیل مکانیکی صورت می گیرد.

در سرتاسر مسیر خطوط لوله ایستگاههای پمپ کردن قرار گرفته اند. فاصله ایستگاهها معمولاً ۴۰ کیلومتر است. در ایستگاههای امروزی، کار کنترل پمپها و شیرهای مربوط، به صورت خودکار انجام می شود. سرعت حرکت مواد نفتی در داخل لوله ها بین ۳ تا ۸ کیلومتر در ساعت است و در صورت کم و زیاد شدن سرعت، با باز و بسته کردن شیرهای مربوطه آن را تنظیم می کنند.

کار حفاظت و بررسی کانال و لوله ها به عهده افراد گشت است که به طور شبانه روزی در بخشهای مختلف مسیر خطوط لوله مشغول فعالیت می باشند و با مشاهده هرگونه علائم نشت مواد نفتی، متصدیان مربوط را آگاه می نمایند.

بعضی از خطوط لوله به بنادر منتهی شده، در آنجا مواد نفتی در نفتکش ها بارگیری می شوند. نفتکش های غول پیکر قادرند هزارها تن نفت را در دریاها جابجا کنند.