فهرست مطالب

فصل اول: زمین‌شناسی و اکتشاف ۱۳

۱-۱- مقدمه نفت و گاز ۱۳

۱-۲- تشکیل و حفظ مواد آلی ۱۹

۱-۳- تبدیل مواد آلی به نفت و گاز ۲۰

۱-۳-۱- دیاژنز ۲۱

۱-۳-۲- کاتاژنز ۲۲

۱-۳-۳- متاژنز ۲۲

۱-۴- کروژن ۲۳

۱-۵- سنگ منشأ ۲۵

۱-۶- مهاجرت ۲۸

۱-۶-۱- مهاجرت اولیه ۲۸

۱-۶-۲- مهاجرت ثانویه ۳۰

۱-۶-۳- مهاجرت ثالثیه ۳۲

۱-۷- سنگ مخزن ۳۲

۱-۸- پوش‌سنگ ۳۵

۱-۹- نفت‌گیر ۳۷

۱-۱۰- اکتشاف نفت و گاز ۳۹

فصل دوم: مدیریت پروژه و قراردادها ۴۳

۲-۱- وضعیت ذخایر و صادرات جهانی ۴۳

۲-۲- مدیریت پروژه‌های نفت و گاز ۵۱

۲-۳- قراردادهای نفت و گاز ۶۱

۲-۳-۱- نظام‌های امتیازی ۶۱

۲-۳-۲- نظام‌های قراردادی ۶۲
۲-۳-۲-۱- قراردادهای مشارکتی ۶۲
۲-۳-۲-۲- قراردادهای خدماتی ۶۳
۲-۳-۳- مدل جدید قراردادهای نفتی ۶۶
۲-۳-۴- قراردادهای داخلی در صنعت نفت ۶۷
۲-۳-۵- قراردادهای برمبنای قیمت ۶۹
فصل سوم: خصوصیات نفت ۷۱
۳-۱- گروه‌های تشکیل‌دهنده ۷۱
۳-۱-۱- ترکیبات هیدروکربنی ۷۲
۳-۱-۱-۱- پارافین‌ها ۷۲
۳-۱-۱-۲- نفتن‌ها ۷۴
۳-۱-۱-۳- آروماتیک‌ها ۷۵
۳-۱-۱-۴- الفین‌ها ۷۷
۳-۱-۱-۵- سایر ترکیبات هیدروکربنی ۷۸
۳-۱-۲- ترکیبات غیر هیدروکربنی ۷۸
۳-۱-۲-۱- ترکیبات گوگرددار ۷۹
۳-۱-۲-۲- ترکیبات اکسیژن‌دار ۸۱
۳-۱-۲-۳- ترکیبات نیتروژن‌دار ۸۲
۳-۱-۲-۴- ترکیبات آلی فلزی ۸۳
۳-۱-۳- ترکیبات دارای توضیحات شیمیایی ناکامل ۸۳
۳-۱-۳-۱- آسفالتین‌ها ۸۴
۳-۱-۳-۲- رزین‌ها ۸۵
۳-۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مرتبط با انتقال، ذخیره‌سازی و قیمت‌گذاری ۸۶
۳-۲-۱- وزن مخصوص ۸۷
۳-۲-۲- نقطه ریزش ۸۹
۳-۲-۳- گرانروی ۹۰
۳-۲-۴- فشار بخار و نقطه اشتعال ۹۱
۳-۲-۵- محتوای گوگرد ۹۱
۳-۲-۶- محتوای نیتروژن ۹۲

۳-۲-۷- محتوای آب، رسوب و نمک ۹۲
۳-۳- فرآورده‌های نفت ۹۳
فصل چهارم: خصوصیات گاز ۹۷
۴-۱- عناصر تشکیل‌دهنده ۹۷
۴-۲- خواص فیزیکی و شیمیایی ۹۸
۴-۲- منشأ و فرآیند تشکیل ۱۰۰
۴-۳- استحصال و فراورش ۱۰۰
۴-۴- انواع گاز ۱۰۲
۴-۴-۱- گاز ساختگی ۱۰۲
۴-۴-۲- گاز سنتز ۱۰۲
۴-۴-۳- گاز شهری ۱۰۳
۴-۴-۴- گاز شیرین ۱۰۳
۴-۴-۵- گاز طبیعی ۱۰۳
۴-۴-۶- گاز طبیعی فشرده ۱۰۴
۴-۴-۷- مایعات گاز طبیعی ۱۰۴
۴-۴-۸- گاز طبیعی مایع ۱۰۴
۴-۴-۹- گاز کلاهک گازی ۱۰۵
۴-۴-۱۰- گاز مایع ۱۰۵
۴-۴-۱۱- گاز مشعل ۱۰۷
فصل پنجم: برداشت سیالات مخزن ۱۰۹
۵-۱- سیالات مخزن و خصوصیات آن‌ها ۱۰۹
۵-۱-۱- نفت سنگین (سیاه) ۱۰۹
۵-۱-۲- نفت فرار ۱۱۰
۵-۱-۳- گاز معکوس (میعانی) ۱۱۱
۵-۱-۴- گاز تر (مرطوب) ۱۱۱
۵-۱-۵- گاز خشک ۱۱۲
۵-۲- روش‌های برداشت سیالات ۱۱۳
۵-۲-۱- برداشت اولیه ۱۱۷
۵-۲-۱-۱- رانش با انبساط سنگ و سیال مایع ۱۱۸

۵-۲-۱-۲- رانش کلاهک گازی ۱۱۸
۵-۲-۱-۳- رانش آب ۱۱۹
۵-۲-۱-۴- رانش تخلیه ۱۲۰
۵-۲-۱-۵- رانش ریزش ثقلی ۱۲۰
۵-۲-۱-۶- رانش مرکب ۱۲۱
۵-۲-۲- برداشت ثانویه ۱۲۲
۵-۲-۳- برداشت ثالثیه ۱۲۲
۵-۲-۳-۱- روش‌های شیمیایی ۱۲۲
۵-۲-۳-۲- روش‌های حرارتی ۱۲۲
۵-۲-۳-۳- روش‌های نوین ۱۲۳
۵-۲-۳-۴- روش تزریق گاز ۱۲۳
۵-۲-۴- برداشت از مخازن گاز میعانی (پارس جنوبی) ۱۲۸
۵-۲-۴-۱- بازگردانی گاز تولیدی به مخزن ۱۲۸
۵-۲-۴-۲- تزریق گازهای نیتروژن و کربن‌دی‌اکسید ۱۳۰
۵-۲-۴-۳- تغییر خاصیت ترشوندگی سنگ مخزن ۱۳۱

فصل ششم: بهره‌برداری ۱۳۵

۶-۱- تسهیلات سرچاهی ۱۳۵

۶-۲- واحد بهره‌برداری ۱۳۶

۶-۲-۱- مجموعه انشعاب یا چندراهه ۱۳۸
۶-۲-۲- لوله‌های مقسم ۱۳۹
۶-۲-۳- مجموعه تفکیک‌کننده ۱۴۰
۶-۲-۴- مخزن بهره‌برداری ۱۴۷
۶-۲-۵- توربین و پمپ‌ها ۱۴۸
۶-۲-۶- اتاق کنترل ۱۴۸

فصل هفتم: حمل‌ونقل و انتقال ۱۵۱

۷-۱- انتقال نفت ۱۵۱

۷-۱-۱- خطوط لوله ۱۵۱
۷-۱-۲- حمل‌ونقل دریایی ۱۵۴
۷-۱-۳- کامیون‌های مخزن‌دار ۱۵۸

۷-۱-۴- حمل‌ونقل ریلی ۱۵۹
۷-۲- انتقال گاز ۱۵۹
۷-۲-۱- خطوط لوله ۱۶۰
۷-۲-۲- گاز طبیعی مایع ۱۶۱
۷-۲-۳- تبدیل گاز به مایعات با ارزش ۱۶۲
۸-۲-۴- تبدیل گاز به الکتریسیته و انتقال آن ۱۶۴
۷-۲-۵- گاز طبیعی فشرده ۱۶۴
۷-۲-۶- گاز طبیعی جذب شده ۱۶۵
۷-۲-۷- تبدیل گاز به جامد ۱۶۵
فصل هشتم: پالایش نفت ۱۶۷
۸-۱- تاریخچه ۱۶۷
۸-۲- پالایشگاه نفت ۱۶۸
۸-۲-۱- واحدهای پالایشگاه ۱۷۰
۸-۲-۲- شرح واحدهای فرآیندی و یوتیلیتی ۱۷۱
۸-۲-۲-۱- واحد نمک‌زدایی ۱۷۱
۸-۲-۲-۲- واحد تقطیر ۱۷۳
۸-۲-۲-۳- واحد رفرمینگ ۱۷۶
۸-۲-۲-۴- واحد کراکینگ ۱۸۲
۸-۲-۲-۵- واحد ککینگ ۱۹۱
۸-۲-۲-۶- واحد آلکیلاسیون ۱۹۳
۸-۲-۲-۷- واحد پلیمریزاسیون ۱۹۵
۸-۲-۲-۸- واحد ایزومریزاسیون ۱۹۶
۸-۲-۲-۹- واحد بازیابی گوگرد ۱۹۸
۸-۲-۲-۱۰- واحد مراکس ۱۹۹
۸-۲-۲-۱۱- واحد یوتیلیتی ۲۰۰
۸-۳- فرآیندهای تصفیه و تخلیص فرآورده‌های نفتی ۲۰۲
۸-۳-۱- عملیات تصفیه شیمیایی ۲۰۳
۸-۳-۲- عملیات تصفیه با هیدروژن ۲۰۴

۸-۴- اختلاط نفت ۲۰۵
۸-۴-۱- اختلاط پیوسته ۲۰۶
۸-۴-۲- روش اختلاط مخزنی ۲۰۷
۸-۵- ذخیره فرآورده‌های نفتی ۲۱۰
۸-۵-۱- نقش اقتصادی مخازن ۲۱۳
۸-۵-۲- اجزای تشکیل‌دهنده مخازن ۲۱۳
۸-۵-۳- آرایش مخازن در واحدها ۲۱۵
۸-۵-۴- دسته‌بندی مخازن ذخیره‌سازی ۲۱۶
۸-۵-۴-۱- مخازن روباز ۲۱۶
۸-۵-۴-۲- مخازن سقف ثابت ۲۱۶
۸-۵-۴-۳- مخازن سقف شناور ۲۱۷
۸-۵-۴-۴- مخازن کروی ۲۲۰
۸-۵-۴-۵- مخازن سرد ۲۲۱
۸-۶- پتروپالایشگاه ۲۲۲
فصل نهم: پالایش گاز ۲۲۹
۹-۱- تاریخچه ۲۲۹
۹-۲- پالایشگاه گاز ۲۳۰
۹-۳- شرح واحدهای پالایشگاه ۲۳۲
۹-۳-۱- واحدهای فرآیندی ۲۳۲
۹-۳-۱-۱- واحد ۱۰۰/ تأسیسات دریافت ۲۳۲
۹-۳-۱-۲- واحد ۱۰۱/ شیرین سازی گاز ۲۳۷
۹-۳-۱-۳- واحد ۱۰۲/ احیاء گلایکول ۲۴۰
۹-۳-۱-۴- واحد ۱۰۳/ تثبیت مایعات گازی ۲۴۳
۹-۳-۱-۵- واحد ۱۰۴/ آبگیری و نم‌زدایی ۲۴۶
۱۰-۳-۱-۶- واحد ۱۰۵/ بازیافت اتان ۲۴۸
۹-۳-۱-۷- واحد ۱۰۶/ صادرات گاز ۲۴۹
۹-۳-۱-۸- واحد ۱۰۷/ برج جداکننده پروپان ۲۵۳
۹-۳-۱-۹- واحد ۱۰۸/ بازیافت گوگرد ۲۵۵
۹-۳-۱-۱۰- واحد ۱۰۹/ تصفیه آب اسیدی ۲۵۹

۹-۳-۱-۱۱- واحد ۱۱۰/ پشتیبان کننده میعانات گازی ۲۶۱
۹-۳-۱-۱۲- واحد ۱۱۱/ سیکل چرخشی سرماسازی پروپان ۲۶۲
۹-۳-۱-۱۳- واحد ۱۱۳/ احیاء کاستیک ۲۶۴
۹-۳-۱-۱۴- واحد ۱۱۴/ شیرین سازی و آبگیری پروپان ۲۶۵
۹-۳-۱-۱۵- واحد ۱۱۵/ شیرین سازی و آبگیری بوتان ۲۶۸
۹-۳-۱-۱۶- واحد ۱۱۶/ شیرین سازی آبگیری اتان ۲۷۰
۹-۳-۲- واحدهای یوتیلیتی ۲۷۱
۹-۳-۲-۱- واحد ۱۲۰/ تولید برق ۲۷۱
۹-۳-۲-۲- واحد ۱۲۱/ تولید بخار ۲۷۳
۹-۳-۲-۳- واحد ۱۲۲/ تأمین سوخت گازی ۲۷۵
۹-۳-۲-۴- واحد ۱۲۳/ هوای ابزار دقیق ۲۷۷
۹-۳-۲-۵- واحد ۱۲۴/ تهیه نیتروژن ۲۷۸
۹-۳-۲-۶- واحد ۱۲۵/ آب دریا ۲۷۹
۹-۳-۲-۷- واحد ۱۲۶/ نمک‌گیری آب دریا ۲۸۰
۹-۳-۲-۸- واحد ۱۲۷/ تصفیه آب ۲۸۲
۹-۳-۲-۹- واحد ۱۲۸/ تولید آب آشامیدنی ۲۸۳
۹-۳-۲-۱۰- واحد ۱۲۹/ تصفیه آب‌های صنعتی و فاضلاب ۲۸۴
۹-۳-۲-۱۱- واحد ۱۳۰/ آب آتش‌نشانی ۲۸۸
۹-۳-۲-۱۲- واحد ۱۳۱/ مخزن دیزل و ژنراتورهای اضطراری ۲۸۹
۹-۳-۲-۱۳- واحد ۱۳۲/ آب خنک‌کننده ۲۸۹
۹-۳-۳- واحدهای خارج از پالایشگاه ۲۹۰
۹-۳-۳-۱- واحد ۱۴۰/ مشعل ۲۹۰
۹-۳-۳-۲- واحد ۱۴۱/ فاضلاب ۲۹۲
۹-۳-۳-۳- واحد ۱۴۲/ حوضچه سوزان ۲۹۲
۹-۳-۳-۴- واحد ۱۴۳/ تانک‌های ذخیره میعانات گازی ۲۹۲
۹-۳-۳-۵- واحد ۱۴۵/ مخزن ذخیره موقت پروپان ۲۹۳
۹-۳-۴- واحدهای ذخیره‌سازی ۲۹۴
۹-۳-۴-۱- واحد ۱۴۶/ ذخیره مواد شیمیایی ۲۹۴
۹-۳-۴-۲- واحد ۱۴۷/ سردسازی و ذخیره پروپان ۲۹۵
۹-۳-۴-۳- واحد ۱۴۸/ سردسازی و ذخیره بوتان ۲۹۶

۹-۳-۴-۴- واحد ۱۴۹/ تأسیسات بارگیری پروپان ۲۹۶
۹-۳-۴-۵- واحد ۱۵۰/ تأسیسات بارگیری بوتان ۲۹۷
۹-۳-۴-۶- واحد ۲۰۰/ تأسیسات انتقال ۲۹۷
۹-۴- مصرف گاز ۲۹۷
لغات و اصطلاحات ۳۰۱
منابع و مآخذ ۳۱۳

فصل اول

زمین‌شناسی و اکتشاف

۱-۱- مقدمه نفت و گاز

همه مواد هیدروکربنی که در مخازن تحت‌الارضی وجود دارند، *پترولیوم یا نفت*[1] نامیده می‌شوند که در مقادیر مختلف به اشکال گاز، مایع و جامد تجمع یافته‌اند. منشا نفت از مواد آلی گیاهی و جانوری است. گیاهان و جانورانی که در محیط‌های خشکی یا دریایی می‌زیسته و بقای آن‌ها، در رسوبات دفن شده و محفوظ مانده است. این مواد بعد از تغییرات فیزیکی و شیمیایی، طی گذر زمان به کروژن[2] و از آن به نفت تحول می‌یابند. بنابراین زایش نفت، *نتیجه و محصول طبیعی قرارگرفتن کروژن در شرایط محیطی جدید، در ارتباط با افزایش روباره رسوبی و بالارفتن فشار و حرارت است.*

تجمع و گسترش نفت[3] در تمام طبقات زمین از پرکامبرین تا عهد کنونی، ممکن و محتمل است اما توزیع فراوانی[4] آن یکسان نیست؛ به طوری که در بعضی طبقات، کل مقدار آن فقط حجم کمی از فضاهای خالی سنگ[5] را اشغال می‌کند؛ در حالی که در طبقات و مناطق دیگر ممکن است غالب فضاهای خالی موجود از نفت پرشده و مخزن به درجه فوق اشباع[6] رسیده باشد.

بهره‌برداری از مخازن هنگامی توجیه‌پذیر و قابل اجرا خواهد بود که ارزش اقتصادی نفت تولید شده، هزینه‌های پیش رو برای اکتشاف و استخراج را جبران و منافع لازم را تأمین نماید. بعضی از ذخایر نفتی در سطح زمین گسترش یافته‌اند ولی آنچه از نظر اکتشاف و استخراج حائز اهمیت بوده،

---

[1] Petroleum

به مجموع نفت خام و گاز طبیعی، "نفت یا پترولیوم" اطلاق می‌شود اما در این کتاب به دلیل سهولت به اختصار نفت خام، "نفت" و گاز طبیعی، "گاز" نام‌گذاری شده‌است.

[2] Kerogen

به محتوای مواد آلی نامحلول در سنگ های رسوبی اطلاق می‌شود که در هیچ یک از حلال‌های قلیایی و حلال‌های آلی معمولی مثل اتر، کلروفرم و بنزن حل نمی شوند.

[3] Petroleum Occurence

[4] Frequency Distribution

[5] Pore Spaces

[6] Super Saturate

شناخت و دست یافتن به ذخایری است که در مقادیر اقتصادی در طبقات مخزنی، محبوس و محفوظ شده باشند[۱].

زایش گاز:

منشأ آلی:

- ناشی از فعالیت‌های میکروبی غیر هوازی در رسوبات جدید که ماحصل آن تولید گازهای بیوژنتیک[۲] می‌باشد.
- ناشی از عملیات اکسیژن‌زدایی از کروژن و متان دیاژنتیک به ویژه آن‌هایی که منابع آلی برگرفته از محیط‌های خشکی هستند که ماحصل آن تولید گازهای دیاژنتیک[۳] می‌باشد.
- ناشی از اثر شکست مولکولی[۴] منابع آلی عمدتاً کروژن و گوگرد مایع که در مرحله کاتاژنز تشکیل می‌شوند.

منشأ غیر آلی:

- ناشی از فعالیت گازهای آتش‌فشانی و زمین‌گرمایی.
- ناشی از فعالیت‌های تشعشعی.
- ناشی از هوای اتمسفریک محلول در سفره‌های زیرزمینی که تحت فعالیت‌های میکروبی، اکسیژن آن مصرف می‌شود.

طبقه‌بندی گاز:

گازهای هیدروکربنی:

- بر اساس ترکیب شیمیایی:
  - گاز خشک[۵] (C۱): غالباً فقط از متان تشکیل‌شده است.
  - گاز تر[۶] (C۱-C۵): علاوه بر متان از ترکیبات گازی سنگین‌تر نیز تشکیل‌شده است.
- بر اساس نحوه قرارگیری در مخزن:
  - گاز آزاد[۱]: به‌صورت تفکیک‌شده هم در مخزن و هم بعد از استخراج وجود دارد.

---

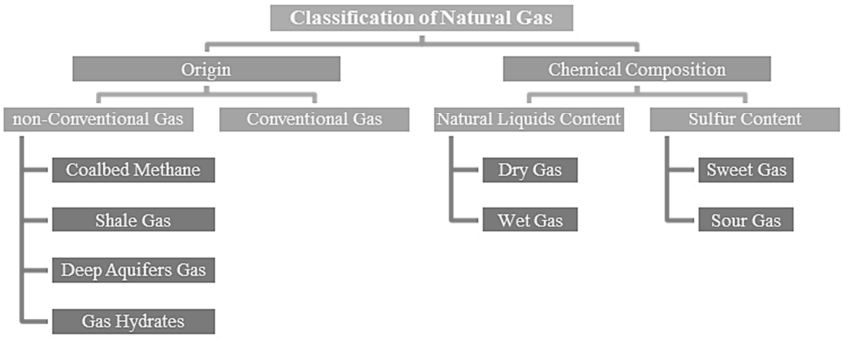
[۱] زمین‌شناسی نفت از شاخه‌های زمین‌شناسی بوده که هدف آن ارائه خدمات اکتشافی به بخش بالادستی صنعت نفت است. زمین‌شناسی نفت دانشی است که با تاریخچه و ساختار زمین و مراحل حیات آن سروکار دارد و از آن برای پیش‌بینی محل قرارگیری تله‌های نفت‌گیر استفاده می‌شود. کارشناسان این رشته با استفاده از دانش و تکنیک‌های زمین‌شناسی (۱) تاریخ زمین‌شناسی یک منطقه، (۲) سازندهای دارای پتانسیل تشکیل مخازن نفتی و (۳) تولیدی که می‌تواند صرفه اقتصادی داشته باشد را تعیین می‌نمایند.

[2] Biogenetic Gas
[3] Diagenetic Gas
[4] Cracking
[5] Dry Gas
[6] Wet Gas

- گاز همراه[۲]: به‌صورت گنبدی در بالای فاز مایع مخزن قرار دارد.
- گاز غیرهمراه[۳]: تنها در مخازن صرفاً گازی وجود دارد.
- گاز محلول[۴]: در نفت مخزن، محلول است.

گازهای غیر هیدروکربنی:

- این گازها شامل کربن دی اکسید (CO_2)، هیدروژن سولفید (H_2S)، رادون (Ra)، نیتروژن (N)، آرگون (Ar)، هلیوم (He) و کریپتون (Kr) هستند.



شکل ۱-۱: طبقه بندی انواع گاز

زایش نفت:

منشأ غیر آلی:

طرفداران *تئوری منشأ غیر آلی نفت*، معتقدند که هیدروکربن‌ها در دما و فشار بالای قسمت‌های عمیق پوسته زمین و یا حتی گوشته تشکیل‌شده و سپس به‌سمت قسمت‌های کم‌عمق مهاجرت کرده‌اند. وجود متان در اتمسفر بعضی از سیارات و همچنین وجود هیدروکربن در شهاب‌سنگ‌ها پایه اصل این نظریه است. طبق نظر یکی از طرفداران نظریه غیر آلی؛ آب، کربن، سولفور و آهن در اعماق پوسته و گوشته وجود دارند. در دمای بالا، آب می‌تواند به H و O شکسته شود. H تولیدشده می‌تواند در دمای بالا با C واکنش انجام داده و درنتیجه هیدروکربن‌ها را به وجود آورد. سپس هیدروکربن‌های تولید شده می‌توانند از طریق شکستگی‌های عمیق به سمت بالا مهاجرت نمایند. خروج متان از مجاری آتش‌فشان‌های فعال و همچنین همراهی میادین نفتی عظیم با کمربندهای آتشفشانی (مثل کشورهای اندونزی، مکزیک و زاگرس ایران) ممکن است از منشأ غیر آلی نفت حمایت نمایند. بر طبق نظریه توماس تولد[۵] بعد از تشکیل زمین از گازها، متان به مقدار فراوان در

---

[1] Free Gas
[2] Associated Gas
[3] Non-Associated Gas
[4] Dissolved Gas
[5] Thomas Told

داخل زمین به دام افتاده و به‌مرور از آن خارج می‌شود. مقدار این خروج حدود ۱۰۶ تا ۱۰۷ تن در هر سال است بنابراین همراهی متان با فعالیت‌های آتش‌فشانی می‌تواند ناشی از این پدیده‌ها باشد و ارتباطی با منشأ غیر آلی نفت در زیرزمین نداشته باشد. درعین‌حال وقتی‌که مواد آتش‌فشانی در حال بالا آمدن هستند می‌توانند با رسوبات غنی از مواد آلی پوسته مخلوط شده و متان را جذب و در سطح رها نمایند. همراهی میدان‌های نفتی با کمربندهای آتش‌فشانی می‌تواند چنین پاسخ داده شود که در واقع کمربندهای آتش‌فشانی، معمولاً در نواحی با فازهای فشارشی بالا در مناطق فرورانش[1] شکل‌گرفته‌اند. بدین معنی که در این نواحی عموماً چین‌خوردگی حاصل می‌شود، در واقع چین‌ها مهم‌ترین تله‌های نفتی هستند. وجود نفت در افق‌های سنگ‌های آذرین عامل دیگر حمایت از منشأ غیر آلی نفت است. این پدیده می‌تواند صرفاً ناشی از آلوده شدن ماگما با رسوبات حاوی مواد آلی و طی حرکت رو به بالای ماگما باشد و ربطی به منشأ غیر آلی نفت نداشته است.

منشأ آلی:

طرفداران *تئوری منشأ آلی نفت* معتقدند که هیدروکربن از مواد آلی به وجود می‌آید. تا دهه ۱۹۳۰ نظریه آن‌ها فقط براساس شباهت‌هایی بوده است که بین هیدروکربن‌ها و مواد آلی وجود داشت که عبارت‌اند از: شباهت ترکیب هیدروکربن با ترکیب پروتئین‌ها، چربی‌ها و اسیدهای چرب؛ قرار داشتن مهم‌ترین بخش چرخه کربن در گیاهان و جانوران؛ و همراهی هیدروکربن‌ها با سنگ‌های رسوبی و تجمعات فسیلی آن‌ها. از دهه ۱۹۳۰ به بعد با توسعه علم، مدارک مستندی در حمایت از منشأ آلی نفت به دست آمد. به‌کارگیری *ایزوتوپ‌های پایدار، تأییدکننده اصلی این تئوری* است. ایزوتوپ پایدار کربن نفت ($\delta^{13}C$) حدود ۳۶ تا ٪۲۲- (PDM[2]) است که بسیار نزدیک به مقدار آن در گیاهان و جانوران است، این مقدار در سنگ‌های کربناته حدود ۴+ تا ٪۴- (PDM) و برای کربن‌های حاصل از سنگ‌های ماگمایی حدود ۲- تا ٪۲۰- (PDM) است. این موضع ثابت می‌کند که منشأ هیدروکربن‌ها باید از موجودات زنده باشد. وجود هیدروکربن در فواصل زغال‌سنگی، وجود Porphyrin در نفت (که ترکیبش شبیه به هموگلوبین است) و وجود هیدروکربن در بدن و بافت بعضی موجودات تأییدی بر منشأ آلی نفت است. به مثال‌های زیر توجه کنید:

- Euphorbia (نوعی درخت) شیره‌ای از خود ترشح می‌کند که ترکیب آن بسیار شبیه هیدروکربن‌ها است.
- Botryococcus Braunii (نوعی جلبک آب شیرین) دارای روغن، چربی و هیدروکربن‌های مایع است.
- در داخل سلول Diatomite و بعضی از انواع Foraminifera قطرات ریز نفت وجود دارد.

---

[1] Subduction

[2] طبق قرارداد، ایزوتوپ کربن پایدار طبق Pee Dee Belemnite (PDB) محاسبه می‌شود که منشأ تعیین آن یک فسیل کربونات کلسیم سرپایان (همان Belemnite) از سازند Pee Dee کرتاسه درکارولینای جنوبی آمریکا است.

طبقه‌بندی نفت:

طبقه بندی نفت توسط دو گروه «متخصصان شیمی و پالایش» و «متخصصان زمین‌شناسی و ژئوشیمی» برمبنای دو پارامتر «*مقدار هیدروکربن‌های مختلف و خواص فیزیکی آن‌ها*» و «*ساختار مولکولی نفت*» انجام می‌شود. یکی از اولین طرح‌ها توسط اداره معادن ایالات متحده منتشر شد که در آن نفت‌ها با توجه به دما و فشار تقطیر به پارافینیک، نفتنیک، آروماتیک میانی، آروماتیک آسفالتیک و آروماتیک نفتنیک طبقه شده بود. تیسوت و ولته[1] طبقه بندی دیگری ارایه نمودند که به علت نشان دادن مسیر دگرسانی نفت به‌وسیله بلوغ حرارتی و یا تجزیه، بر دیگر طبقه‌بندی‌ها ترجیح داده می‌شود. کیفیت و کمیت محصولات تولیدشده از نفت به نوع مواد تشکیل دهنده آن بستگی دارد. بعنوان مثال؛ نوع پارافینیک برای تولید بنزین و سوخت موتورهای دیزلی مناست است.

جدول ۱-۱: طبقه بندی انواع نفت

Concentration in crude oil (> 210°C)					
S = saturates AA = aromatics + resins + asphaltenes	P = paraffins N = naphthenes		Crude oil type	Sulfur content in crude oil (approximate)	Number of samples per class (total = 541)
	P > N and P > 40%		Paraffinic		100
S > 50% AA < 50%	P ≤ 40% and N ≤ 40%		Paraffinic-naphthenic	< 1%	217
	N > P and N > 40%		Naphthenic		21
	P > 10%		Aromatic intermediate	> 1%	126
S ≤ 50% AA ≥ 50%	P ≥ 10%	N ≤ 25%	Aromatic asphaltic		41
		N ≥ 25%	Aromatic naphthenic	Generally S < 1%	36

ذخایر نفتی برمبنای آن‌که در سطح یا درون زمین ظاهر شوند، به دو گروه طبقه‌بندی می‌شوند:

گسترش‌های زیرسطحی:

مخزن نفتی: ساده‌ترین شکل تجمع ذخیره نفتی در زیرزمین و کوچک‌ترین واحد اقتصادی است.

میدان نفتی: چند مخزن که در وضعیت مشترک زمین‌شناسی باشند.

حوضه نفتی: منطقه‌ای که در آن میادین و مخازن متعدد نفتی وجود دارد.

[1] Tissot and Welte

گسترش‌های سطحی:

گسترش‌های سطحی مایع و گاز:

- چشمه‌های نفتی[1]: بر اثر خروج تدریجی نفت از یک مخزن نسبتاً نزدیک به سطح زمین یا از توده‌های نفتی که براثر گسل یا شکستگی از مخزن اصلی جداشده‌اند، منشأ می‌گیرند.
- گل‌فشان‌ها[2] و جریان‌های گلی[3]: بر اثر خروج گازهای پرفشار در حال فوران که همراه آب، گل، خرده‌سنگ‌ها و گاهی نفت مایع که به سطح زمین راه پیدا کرده اند، منشأ می‌گیرند.

گسترش‌های سطحی جامد:

- ذخایر افشان[4]: نفت آغشته به مواد رسوبی تحت تأثیر اتمسفر، اکسیده شده و سخت‌تر می‌گردد. این مواد یا در حوضه‌های رسوبی با سایر مواد ته نشستی راسب شده‌اند یا به‌صورت نفت مایع وارد رسوبات شده و تحت هوازدگی جامد و سخت شده‌اند.
- ذخایر رگه‌ای[5]: گروهی هیدروکربن‌های جامد به شکل رگه‌ای، حفره‌ها و فضاهای خالی داخل طبقات را اشغال می‌کنند.
- شیل‌های نفتی[6]: نوعی سنگ منشا نفت که تکامل آن‌ها به دلیل کافی نبودن ضخامت روباره و یا رخنمون شدن در سطح زمین، در نیمه راه متوقف شده اند. این سنگ‌ها در اثر پیرولیز (حرارت) سیالی به نام قطران تولید می‌کنند که ارتباط یا شباهتی با نفت ندارد.
  ویژگی‌های این سنگ‌ها عبارت‌اند از:
  - هیچ‌گاه به درجه حرارت لازم جهت تولید نفت و گاز نرسیده‌اند.
  - داشتن حداقل ۵%wt ماده آلی جهت تولید اقتصادی نفت کفایت می‌کند.
  - ماتریکس آن‌ها شامل؛ کانی‌های رسی، کربنات‌ها و کوارتز است.
  - تمامی آن‌ها عمدتاً کروژن نوع ۱ و ۲ را دارند.
  - تفاوت سنگ منشأ با شیل نفتی در دفن عمیق و حرارت کاتاژنزی و غنی از ماده آلی بودن آن است.
  - درصد عناصر سازنده آن‌ها عبارت است از: کربن ۶۹ تا ٪۸۰ - هیدروژن ۷ تا ٪۱۱ - نیتروژن ۱٫۲ تا ٪۲٫۵ - گوگرد ٪۱٫۸ و اکسیژن ۹ تا ٪۱۷.

---

[1] Oil Seepage
[2] Mud Volcanoes
[3] Mud Flows
[4] Disseminated Deposits
[5] Vein-like Deposite
[6] Oli Shale

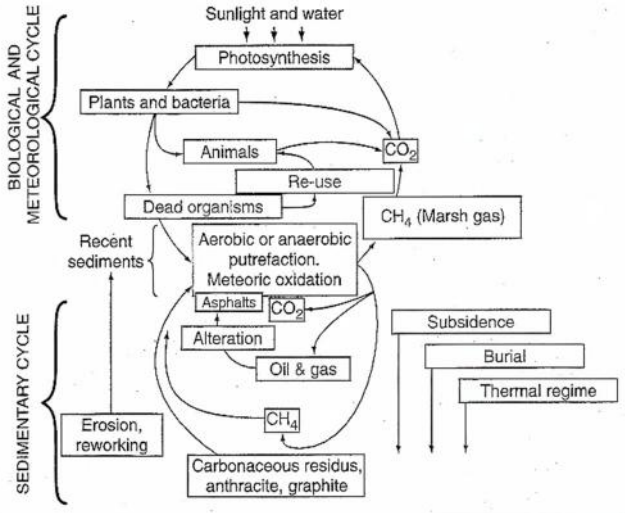
۱-۲- تشکیل و حفظ مواد آلی

هیدروکربن‌ها از تبدیل مواد کربنی ذخیره‌شده در لابه‌لای رسوبات در شرایط احیایی تحت اثر سه عامل *زمان*، *حرارت* و *عمق تدفین* تشکیل می‌شوند.

دو نوع چرخه کربن وجود دارد: *چرخه معدنی* و *چرخه آلی*. در چرخه آلی، کل کربن سنگ‌های رسوبی از CO_2 (که به‌طور اولیه از چرخه معدنی به دست می‌آید) و هیدروژن از آب تأمین می‌شود. این دو عنصر در مواد آلی گیاهی و جانوری باهم ترکیب‌شده‌اند و انرژی لازم از تشعشع خورشید تأمین می‌شود. ارگانیسم‌های گیاهی و جانوری فتوسنتزکننده توسط کلروفیل، CO_2 اتمسفر را جذب می‌کنند. بنابراین فتوسنتز شروع چرخه کربن آلی در طبیعت است. حجم زیادی از CO_2 توسط ارگانیسم‌های ریزودرشت تنفس‌کننده به اتمسفر برگردانده می‌شود اما بخشی از کربن به شکل کربن دی‌اکسید به اتمسفر برگردانده نمی‌شود. این کربن در لابه‌لای رسوبات به تله میافتد و در صورت فراهم شدن شرایط احیایی و حرارت لازم طی زمان زمین‌شناسی به محصولات کربنی و هیدروکربنی تبدیل می‌شود.

چرخه آلی کربن مطابق شکل زیر از *چرخه بیولوژیکی و متئورولوژیکی (چرخه اول)* و *چرخه رسوبی (چرخه دوم)* تشکیل‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود چرخه اول با فتوسنتز شروع می‌شود. گاز CO_2 توسط جانوران تنفس کننده تولید می‌شود. گیاهان CO_2 را طی فتوسنتز طبق رابطه زیر جذب کرده و آن را به اکسیژن، آب و گلوکز تبدیل می‌کنند:

$$6CO_2 + 12H_2O \rightarrow C_6H_{12}O + 6H_2O + 6O_2$$



شکل ۱-۲: چرخه کربن آلی

گلوکز که طی این فرآیند تولید می‌شود ماده اولیه جهت ساخت ترکیبات پیچیده هیدروکربنی است. بعد از مرگ گیاهان بقایای آن‌ها ممکن است دوباره توسط جانوران مصرف‌شده یا اینکه در لابه‌لای رسوبات دفن شوند. بعد از تدفین گیاهان تحت تأثیر باکتری‌های هوازی یا غیرهوازی و یا اکسیداسیون قرار می‌گیرند و گازی که در این مرحله می‌تواند تولید شود متان (گاز مرداب) است. تنها ۰٫۱ تا ۰٫۰۱ درصد کربن از چرخه اول وارد چرخه دوم شود. در چرخه دوم مواد آلی دفن شده تحت تأثیر فرآیندهایی تبدیل به نفت، گاز، زغال‌سنگ و آنتراسیت می‌شوند. ممکن است بقایای کربن، آنتراسیت و گرافیت تحت تأثیر فرسایش[1] و حمل مجدد[2] قرارگرفته و از چرخه دوم به چرخه اول برگردند. در کل از مجموع چرخه اول و دوم حدود ۰٫۰۰۱ درصد مواد آلی فرار کرده و دفن می‌شوند. این مقدار ناچیز کربن است که منابع عظیم هیدروکربنی را به‌مرورزمان تشکیل می‌دهد.

تجمع و حفظ مواد آلی در رسوبات تحت تأثیر شرایط زمین‌شناسی است. در محیط خشکی مواد آلی به‌سرعت اکسیده شده، متلاشی و نابود می‌گردند. رسوبات محیط‌های آبی مانند دریایی، دلتایی، دریاچه‌ای و مردابی بایستی مقدار معینی مواد آلی را دریافت کند تا بخشی از آن حفظ شود. مواد آلی ممکن است برجا[3]، یعنی در ستون آب بالای رسوب‌ها تولید و یا نابرجا[4]، یعنی از خارج به محیط رسوبی حمل شده باشند. غالباً در محیط‌های پرانرژی و متلاطم، ماده آلی از داخل رسوب شسته می‌شود، در صورتی که در آب‌های آرام، ماده آلی می‌تواند ته‌نشین شود؛ بنابراین ماده آلی می‌تواند در انواع سنگ‌های دانه‌ریز نظیر شیل‌ها و گل‌های آهکی یافت شود. حفظ ماده آلی تابع دو عامل است، یکی میزان بالای تولید مواد آلی و دیگری میزان کم تخریب آن‌ها است.

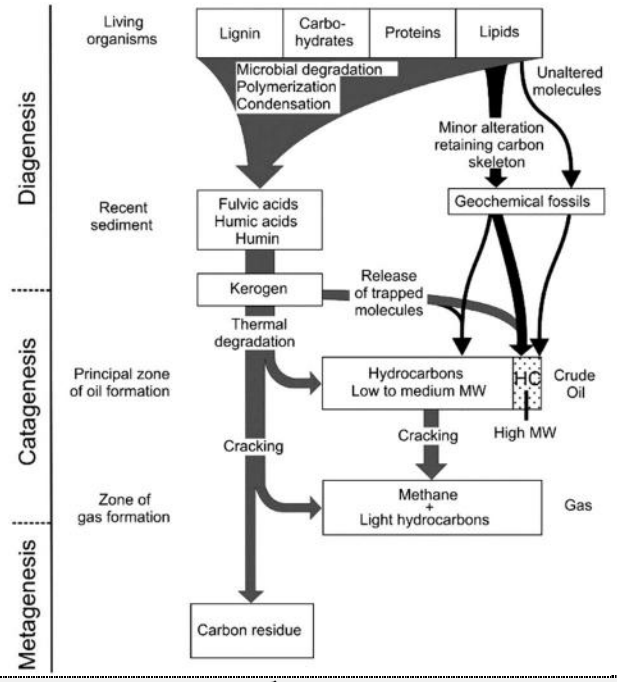
۱-۳- تبدیل مواد آلی به نفت و گاز

تغییرات شیمیایی و فیزیکی مواد آلی موجود در رسوبات، در طول زمان زمین‌شناسی حوضه رسوبی، از عواملی تأثیر می‌پذیرد که فازهای معدنی جامد و آب موجود در خلل و فرج سنگ را نیز متأثر می‌سازند. علاوه بر فعالیت بیولوژیکی اولیه، حرارت و فشار همان‌گونه که مواد معدنی سنگ را متأثر می‌سازد، تحول ماده آلی را نیز موجب می‌شود.

برای بررسی تغییراتی که مواد آلی در تاریخ حوضه رسوبی تحمل می‌نمایند، می‌توان تحولات ماده آلی را به سه مرحله *دیاژنز*[5]، *کاتاژنز*[6] و *متاژنز*[7] تقسیم‌بندی نمود.

---

[1] Erosion
[2] Rework
[3] Autochthonous
[4] Allochthonous
[5] Diagenesis
[6] Catagenesis
[7] Metagenesis



شکل ۱-۳: مراحل تکامل مواد آلی و تشکیل نفت و گاز
فسیل‌های ژئوشیمیایی منشا اول هیدروکربن‌ها و تجزیه کروژن در عمق زیاد که در واقع تجزیه حرارتی است، منشا دوم هیدروکربن‌ها است. مسیر تحول و تکامل ماده آلی تا زایش نفت و گاز، با خطوط نقطه چین و فاکستری نمایش داده شده است.

۱-۳-۱- دیاژنز

پس از دفن مواد آلی در رسوبات، در اثر فشرده شدن و کاهش خلل و فرج آن‌ها، تغییرات پیچیده مواد آلی آغاز می‌شود. طی تغییر و تحول ماده آلی در مرحله دیاژنز که در بخش کم‌عمق و تحت دما و فشار کم انجام می‌شود، باکتری‌های هوازی و بی‌هوازی نقش عمده دارند. در این فرآیند متان، کربن‌دی‌اکسید و آب از ماده آلی جدا می‌شود و باقی‌مانده به شکل پلیمرهای سنگین درشت مولکول موسوم به کروژن باقی می‌ماند. در این مرحله از مقدار اکسیژن ماده آلی کاسته می‌شود ولی نسبت هیدروژن به اکسیژن ثابت می‌ماند. زمانی که نهشتگی مواد آلی گیاهی، نسبت به کانی‌ها و مواد غیر آلی در حوضه رسوبی افزایش یابد، تورب و یا لیگنیت (زغال قهوه‌ای) و زغال قیری تشکیل خواهد شد. تنها هیدروکربن تولیدشده در دیاژنز، متان (گاز بیوژنیک یا گاز مرداب) است که در مراحل اولیه دیاژنز تحت اثر فعالیت زیستی همراه با گازکربنیک و آب تشکیل می‌گردد.

فسیل‌های ژئوشیمیایی[1]، ترکیبات هیدروکربنی با وزن مولکولی بالایی هستند که در بسیاری از نفت‌های دنیا وجود دارند. این هیدروکربن‌ها، از موجودات زنده در حین رسوب‌گذاری سنگ منشأ به وجود آمده و حفظ شده است. این ترکیبات می‌توانند به‌عنوان نشان‌های زیستی[2] در شناسایی نوع ماده آلی به وجود آورنده نفت استفاده کرد. از انواع فسیل‌های ژئوشیمیایی می‌توان پارافین‌های زنجیره طویل و استروئیدها یا الکل‌های حلقوی پیچیده را نام برد.

۱-۳-۲- کاتاژنز

در طی تدفین، تحت اثر افزایش حرارت، فشار، از دست دادن آب و کاهش تخلخل و تراوایی ساختمان کروژن در عمق ۱ تا ۲km ناپایدار می‌شود و در اثر افزایش درجه بلوغ حرارتی و کاهش نسبت اتمی H/C و O/C کروژن به مولکول‌های کوچک‌تر ولی ناپایدار و غنی از کربن تبدیل می‌شود. در این سیر تکاملی، مواد آلی طی تغییر وضع مداوم مولکولی کروژن ابتدا نفتی سنگین و سپس نفتی سبک و در مراحل پایانی گاز مرطوب و نفت میعانی تولید می‌کنند. تبدیل مواد آلی به نفت در دمای ۶۰ تا ۱۰۰°C و در اعماق ۱ تا ۲km به آهستگی آغاز می‌شود. دمای ۶۵ تا ۱۶۰°Cکه دمای مناسب برای این تغییر و تحول است به دمای بلوغ سنگ منشأ موسوم است. در دمای ۱۷۵°C تولید گاز شروع می‌شود. تولید هیدروکربن در دمای ۲۲۵°C متوقف می‌شود، اما متان تا دمای بالاتر از ۳۱۵°C تولید می‌گردد.

در پایان این مرحله تقریباً همه شاخه‌های زنجیری هیدروکربن‌ها از مولکول کروژن جدا می‌شود و مواد آلی از نظر بلوغ در مقایسه با زغال‌سنگ، شرایطی شبیه به اوایل آنتراسیت دارد. اهمیت این مرحله از آن نظر است که تشکیل نفت در پایان آن متوقف‌شده و تنها مقدار محدودی متان تولید می‌گردد.

۱-۳-۳- متاژنز

در این مرحله که تحت اثر دما و فشار بیشتر نسبت به مراحل قبلی و در اعماق حدود ۳ تا ۳,۵km صورت می‌گیرد، تولید مستقیم هیدروکربن از کروژن متوقف می‌شود. ولی از نفت تولیدشده قبلی در اثر دگرسانی، هیدروکربن‌های بزرگ‌تر از متان به‌سرعت تخریب و تولید متان قابل‌توجهی امکان می‌گردد. انتهای مرحله متاژنز معادل مرحله تشکیل آنتراسیت است.

---

[1] Geochemical Fossils
[2] Biomarkers

۱-۴- کروژن

با افزایش فشار و متراکم شدن رسوبات، مواد آلی مدفون نیز فشرده و سخت شده، به‌صورت غیرمحلول درمی‌آیند. این‌گونه مواد غیرمحلول در رسوبات جدید، هوموس[1] نامیده می‌شود. درحالی‌که مواد آلی غیرمحلول در رسوبات قدیم کروژن نامیده می‌شود؛ بنابراین می‌توان *کروژن* را *نوع تکامل‌یافته‌تری از هوموس و سایر مواد آلی غیر محلول نظیر دانه‌های پولن، اسپر و...* در نظر گرفت[2]. تشکیل آن طی سه مرحله *تجزیه بیوشیمیایی*[3]، *تراکم و فشردگی*[4] و *تبدیل به مواد غیرمحلول*[5] انجام می‌گیرد. دو مرحله اول، بلافاصله به دنبال یکدیگر انجام می‌گیرد، به‌طوری‌که می‌توان نتیجه‌گیری کرد که هر دو فرآیند در یک محیط، هم‌زمان فعال بوده‌اند. این محیط شامل آب و لایه‌های فوقانی رسوبی است. بااین‌وجود مقدار بسیار کمی از اسیدهای آمینه، مواد قندی و لیپیدها هم چنان در برخی از سنگ‌های قدیمی هم یافت می‌شوند. غیرمحلول شدن (مرحله سوم) برخی از مواد آلی هم ممکن است خیلی زود آغاز گردد، ولی اسیدهومیک که در سود رقیق، محلول هستند در عمق چند صد متری در رسوبات تخریبی قاره‌ای نیز یافت می‌شوند.

اجزای سازنده کروژن‌ها:

ماسرال‌ها[6]: خرده‌های با ساختمان مشخص که تشخیص آن‌ها به‌عنوان خرده‌های بافت گیاهی، اسپورها، جلبک‌ها و... به‌آسانی انجام می‌گیرد. انواع ماسرال‌ها عبارت‌اند از: *ماسرال ویترینایت*[7]؛ ماسرال اصلی در بسیاری از کروژن‌ها است و مهم‌ترین سازنده زغال‌سنگ است. کاملاً از بافت‌های چوبی گیاهان مشتق شده است. به جهت این‌که سخت تجزیه می‌شود در تمامی محیط‌های رسوبی دریایی یا غیر دریایی وجود دارد. *ماسرال اگزینایت*[8]؛ از جلبک‌ها، پولن ها، اسپورها و موم‌های کوتیکول برگ به وجود می‌آید. غالباً در مقادیر بالا وجود ندارد، اما در دریاچه‌های پلایا و محیط‌های باتلاقی کم‌عمق وجود دارد. *ماسرال اینرتینایت*[9]؛ معمولاً از اجزای فرعی کروژن است و فقط درصورتی‌که مواد آلی نهشته شده چرخه رسوبی دیگری را طی کنند فراوان است.

---

[1] Hemin

[2] کروژن‌ها دارای فرمول مولکولی یکسانی نیستند و بیشتر آمورف هستند. تجزیه عنصری نشان می‌دهد که کروژن بیشتر از اتم‌های کربن و هیدروژن تشکیل‌شده است. در برابر هر ۱۰۰۰ اتم کربن در انواع مختلف کروژن بین ۵۰۰ تا ۱۸۰۰ اتم هیدروژن وجود دارد. سومین اتم فراوان در مولکول کروژن اکسیژن است که بین ۲۵ تا ۳۰۰ اتم در مقابل هر ۱۰۰۰ اتم کربن است. اتم‌های نیتروژن و گوگرد به ترتیب ۱ تا ۳۵ و ۵ تا ۳۰ اتم در مقابل هر ۱۰۰۰ اتم کربن هستند.

[3] Biochemical Degration

[4] Polycondensation

[5] Insolubilization

[6] Macerals

[7] Vitrinite

[8] Exinite

[9] Enertinite

کروژنایت[1] یا ساپروپلیک[2]: خرده‌های آمورف که آن‌چنان به‌صورت مکانیکی خردشده و توسط باکتری‌ها و قارچ‌ها تجزیه‌شده‌اند که نوع ماسرال اولیه آن‌ها و همچنین ساختمان سلولی‌شان از بین رفته و قابل‌تشخیص نیستند.

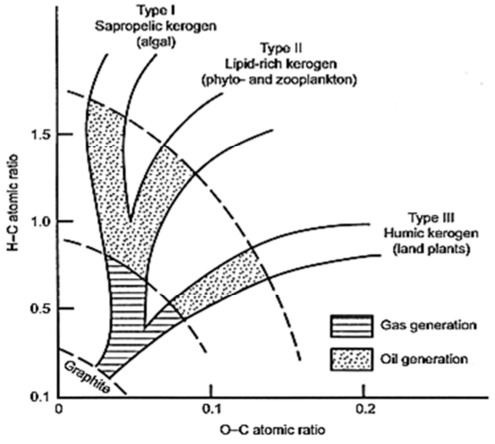
طبقه‌بندی کروژن‌ها:

کروژن نوع I: که لیپیدها از اجزای اصلی این نوع کروژن‌ها می‌باشند و به تولید نفت‌های غنی از هیدروکربن‌های اشباع‌شده متمایل هستند.

کروژن نوع II: که به آن کروژن لیپتنیک نیز می‌گویند. منشأ دریایی داشته، ذرات تشکیل‌دهنده آن غالباً آمورف هستند و از تجزیه فیتوپلانکتون‌ها، زئوپلانکتون‌ها و برخی جانوران آلی‌تر حاصل‌شده‌اند. کروژن نوع II تمایل به تولید نفت غنی از آروماتیک و نفتنیک دارد و گاز بیش‌تری نسبت به کروژن نوع I تولید می‌کنند.

کروژن نوع III: یا کروژن‌های زغالی که از ماسرال ویترینایت غنی است. ظرفیت تولید نفت بسیار کمی دارد و به‌طور عمده گاز تر و میعانی و گاز خشک تولید می‌کند.

کروژن نوع IV: غنی از ماسرال اینرتینایت است که به‌شدت کمیاب هستند. این نوع کروژن خنثی است و توانایی تولید نفت و گاز را ندارد.



شکل ۱-۴: دیاگرام **Van Krevelen** (انواع اصلی و مسیرهای تکاملی کروژن ها)

[1] Kerogenite
[2] Sapropelic

۱-۵- سنگ منشأ

سنگ منشأ[1] *نوعی نهشته‌های ریزدانه غنی از ماده آلی است که قادر است در اثر بلوغ حرارتی، پدیدآورنده هیدروکربن باشد.* از همین رو، در اکتشاف میدان‌های هیدروکربنی شناخت ویژگی‌های سنگ منشأ از اهمیت بالایی برخوردار است. در ارزیابی کمی و کیفی سنگ منشأ پارامترهایی چون *مقدار ماده آلی*[2]*، شرایط مناسب محیطی و رسوب‌گذاری، میزان دما و فشار، عمق ترفین و نیز چگونگی خروج نفت و گاز از سنگ منشأ* مورد بررسی قرار می‌گیرند.

❶ از نظر دما؛ درجه حرارت نقش مهمی در بلوغ حرارتی سنگ منشأ دارد. نفت‌زایی در دمایی حدوداً بیش از ۶۰°C آغاز می‌شود که با پیدایش نفت سنگین و نابالغ همراه است. با افزایش درجه حرارت نفت سبک‌تر تولید می‌شود. حداکثر تولید نفت در دمای حدود ۱۰۰°C رخ می‌دهد. از دمای حدود ۱۷۵°C نفت‌زایی متوقف و تولید گاز آغاز می‌گردد.

❷ از نظر عمق؛ در ابتدا باید به این نکته اشاره نمود که تا سنگ منشأ در عمق ۱۴۰۰m قرار نگیرد، نفت زایی آغاز نخواهد شد. در صورت وجود مواد آلی در اعماق خیلی کم تنها متان بیوژنیک تولید می‌گردد. عمق حدود ۱ تا ۲km که زون تولید نفت است. در عمق حدود ۳ تا ۳,۵km که زون اصلی تولید گاز است، نخست گاز مرطوب و متان تولید می‌شود، اما در عمق بیش از ۴km، متان حاصل شکست حرارتی دیگر هیدروکربن‌ها است.

❸ از نظر محیط رسوبی؛ نهشته‌های ریزدانه آواری و کربناتی سنگ‌های اصلی منشأ نفت هستند. از نظر شیمیایی، مواد آلی غنی از هیدروژن پتانسیل بیشتری برای نفت زایی دارند، درحالی‌که مواد آلی تخریبی کم هیدروژن، بیشتر گاززا هستند.

❹ از نظر زمین‌شناختی؛ حوضه‌های کششی حاشیه غیرفعال و حوضه‌های پشت قوس واجد شرایطی بهتر جهت انباشت سنگ منشأ هستند.

❺ از نظر خصوصیات سنگ منشأ؛ برای این‌که یک سنگ تشکیل شود باید ابتدا رسوباتی ته‌نشین شوند و به‌تدریج با ضخیم شدن این رسوبات و ته‌نشین شدن رسوبات دیگر بر روی آن‌ها، رسوبات قدیمی تحت‌فشار قرار می‌گیرند و به سنگ تبدیل می‌شوند. حال اگر رسوباتی که این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند، رسوبات دانه‌ریز باشند سنگ حاصل از آن‌ها نیز ریزدانه است و اگر این رسوبات دانه درشت‌تر باشند سنگ حاصل از آن‌ها دانه‌درشت‌تر خواهد بود. مواد آلی درواقع همان بقایای موجودات زنده و گیاهانی بوده‌اند که به کف دریاها سقوط کرده و توسط رسوباتی که بعدها خود تبدیل به سنگ منشأ شده‌اند، پوشانده شده‌اند.

---

[1] Source Rock
[2] Total Organic Carbon