الفصل الثاني

المصادر غير المتجددة للطاقة

2-1 مقدمة

المصادرغير متجددة للطاقة التي لا تتشكل أو تعاد مرة اخرى في فترة قصيرة من الزمن. والأنواع الأربع الكبرى من مصادر الطاقة غير المتجددة يمكن تقسيمها كالتالي:

النفط الخام – الغاز الطبيعي – الفحم – اليورانيوم (الطاقة النووية)

ويتم استخراج مصادر الطاقة غير المتجددة من الأرض كسوائل أو غازات أو مواد صلبة. والنفط الخام يتم تكريره لإنتاج المنتجات البترولية السائلة مثل البنزين (الجازولين) ووقود الديزل ووقود التدفئة وغاز البروبان وغيرها من السوائل الهيدروكربونية مثل البيوتان والإيثان التي توجد في الغاز الطبيعي والنفط الخام.

وجميع أنواع الوقود الأحفوري هي مصادر غير متجددة ولكن ليس كل مصادر الطاقة غير المتجددة هي وقود أحفوري. فالفحم والنفط الخام والغاز الطبيعي جميعها يعتبر من الوقود الأحفوري لأنها تشكلت من بقايا النباتات والحيوانات التي عاشت منذ ملايين السنين ثم اندثرت ودفنت في الأرض. والنفط الخام هو خليط من الهيدروكربونات ويوجد في شكل سائل في برك تحت الأرض أو خزانات في مساحات صغيرة داخل الصخور الرسوبية وبالقرب من السطح في رمال القطران. والمنتجات البترولية هي أنواع الوقود المنتج من النفط الخام أو من المواد الهيدروكربونية الأخرى الواردة في الغاز الطبيعي .ويمكن أيضا أن تصنع المنتجات البترولية من الفحم أو الغاز الطبيعي أو مصادر الكتلة الحيوية. واليورانيوم هو أحد مصادر الطاقة غير المتجددة ويتم استخراجه كمواد صلبة من المناجم وتحويلها إلى وقود يستخدم في محطات الطاقة النووية. واليورانيوم لا يعتبر كوقود أحفوري ولكنه يصنف على أنه وقود غير متجدد.

2-2 النفط الخام (البترول)

النفط أو البترول كلمة مشتقة من الأصل اللاتيني «بيترا» والذي يعني صخر، وكلمة «أوليوم» والتي تعني زيت، ويطلق عليه أيضا الزيت الخام، كما أن له اسم

دارج وهو الذهب الأسود. والبترول عبارة عن سائل كثيف، قابل للاشتعال، بني غامق أو بني مخضر، يوجد في الطبقة العليا من القشرة الأرضية. وأحيانا يسمى نافتا، من اللغة الفارسية «نافت» أو «نافاتا» والتي تعني قابليته للسريان. ويتكون النفط من خليط معقد من الهيدروكربونات، وخاصة من سلسلة الألكانات الثمينة كيميائيا، ولكنه يختلف في مظهره وتركيبه ونقاوته بشدة بحسب مكان استخراجه. وهو مصدر من مصادر الطاقة الأولية الهامة طبقا لإحصائيات الطاقة في العالم. ولكن العالم يحرقه في وسائل النقل وتشغيل المحركات ومولدات الطاقة الكهربية التي يمكن أن تُوّلد بطرق أخرى توفر على البشرية حرق هذه المادة القيمة كيميائيا. النفط هو المادة الخام للعديد من المنتجات الكيمياوية، بما فيها الأسمدة، مبيدات الحشرات، اللدائن وكثير من الأدوات البلاستيك والرقائق والأنابيب والأقمشة والنايلون والحرير الصناعي والجلود الصناعية والأدوية.

ويُعتقد أن البترول له منشأ حيوي من بقايا الكائنات الحية كالنباتات والحيوانات التي عاشت منذ ملايين السنين ثم دفنت وتحللت وتحت ظروف ضغط ودرجة حرارة خاصة. لكن توماس جولد كان أكثر العلماء الغربيين تأييدا للنظرية الروسية – الأوكرانية للمنشأ الغير حيوي للبترول ، وهذه النظرية تفترض أن كميات ضخمة من الكربون الموجود طبيعيا على الأرض يوجد بعضه في شكل هيدروكربونات هي أساس منشأ البترول. ونظرا لأن الهيدروكربونات أقل كثافة من الموائع المسامية، فإنه يتجه للأعلى. وعلى هذا فإن نظرية المنشأ الغير حيوي للبترول تفترض أن البترول يتكون عند أعماق كبيرة في باطن الأرض ثم يرتفع لأعلى لأن كثافته قليلة نسبيا .

2-2-1 استخلاص النفط الخام

بصفة عامة فإن المرحلة الأولى في استخلاص زيت البترول الخام هي حفر بئر ليصل لمستودعات البترول تحت الأرض. وتاريخيا، يوجد بعض أبار البترول في العالم وصل البترول فيها للسطح بطريقة طبيعية. وغالبا ما يتم حفر عديد من الآبار لنفس المستودع للحصول على معدل استخراج اقتصادي. وفي بعض الآبار يتم ضخ

الماء والبخار ومخلوط الغازات المختلفة للمستودع لإبقاء معدلات الاستخراج الاقتصادية مستمرة.

وفي حالة أن الضغط تحت الأرض في مستودع الغاز كافٍ عندها سيجبر الزيت على الخروج للسطح تحت تأثير هذا الضغط. والوقود الغازي أو الغاز الطبيعي غالبا ما يكون متواجداً، مما يزيد من الضغط الموجود تحت الأرض. وفي هذه الحالة فإن هذا الضغط الكبير يتطلب وضع عدد كافٍ من الصمامات على رأس البئر لتوصيله بشبكة أنابيب للتخزين وعمليات التشغيل. وتسمى هذه العملية بعملية استخلاص الزيت المبدئى. وتقريبا 20٪ فقط من الزيت في المستودع يمكن استخراجه بهذه الطريقة.

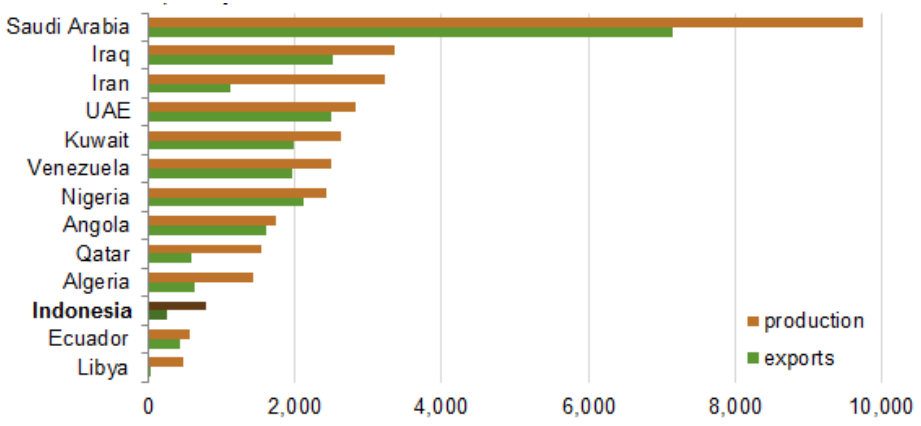
وخلال فترة حياة البئر يقل الضغط وعند حدود معينة لا يكون كافيا لدفع الزيت للسطح. وعندها لو أن المتبقي في البئر كافٍ اقتصاديا، وغالبا ما يكون كذلك، يتم استخراج الزيت المتبقي في البئر بطريقة استخراج الزيت الإضافية. ويتم استخدام تقنيات مختلفة في طريقة استخراج الزيت الإضافية مثل المستودعات التي نفذ ضغطها أو قل يستخدم الضخ بالطلمبات كالطلمبات المستمرة وطلمبة الأعماق الكهربية لرفع الزيت إلى السطح. وتستخدم تقنية مساعدة لزيادة ضغط المستودع عن طريق حقن الماء و إعادة حقن الغاز الطبيعي لرفع الغاز ويمكن القيام بحقن الهواء أو ثاني أكسيد الكربون أو غازات أخرى للمستودع. وتعمل الطريقتان معا المبدئية والإضافية على استخراج ما يقرب من 25 إلى 35٪ من محتوى البترول.

أما المرحلة الثالثة في استخراج الزيت تعتمد على تقليل كثافة الزيت لتعمل على زيادة الإنتاج. وتبدأ هذه المرحلة عندما لا تستطيع كل من الطريقة المبدئية أوالطريقة الإضافية على استخراج الزيت، ولكن بعد التأكد من جدوى استخدام هذه الطريقة اقتصاديا، وما إذا كان الزيت الناتج سيغطي تكاليف الإنتاج والأرباح المتوقعة من البئر. كما يعتمد أيضا على أسعار البترول وقتها، حيث يتم إعادة تشغيل الآبار التي قد تكون توقفت عن العمل في حالة ارتفاع أسعار الزيت.

وطريقة تسخين الزيت هي الطريقة الثالثة في ترتيب استخراج الزيت، والتي تعتمد على تسخين الزيت وجعله أسهل للاستخراج. وحقن البخار هي أكثر التقنيات استخداما في هذه الطريقة، وغالبا ما تتم عن طريق التوليد المزدوج. وفكرة عمل التوليد المزدوج هي استخدم توربين غاز لإنتاج الكهرباء واستخدام الحرارة المفقودة الناتجة عنها لإنتاج البخار، الذي يتم حقنه للمستودع. وهذه الطريقة تستخدم بكثرة لزيادة إنتاج الزيت ذو الكثافة العالية. وهناك تقنية أخرى تستخدم في طريقة تسخين البترول وهي الحرق في الموضع، وفيها يتم إحراق الزيت لتسخين الزيت المحيط به. وأحيانا يتم استخدام المنظفات لتقليل كثافة الزيت. ويتم استخراج ما يقرب من 5 إلى 15٪ من الزيت في هذه المرحلة الأخيرة.

ونظرا للزيادة المستمرة في أسعار البترول أصبح التفكير في طرق الأخرى لإنتاج الزيت محل اهتمام. وأصلح هذه الأفكار هو تحويل الفحم إلى زيت والتي تهدف إلى تحويل الفحم إلى زيت خام. وكان هذا التصور الريادي من الألمان عندما توقف استيراد البترول في الحرب العالمية الثانية ووجدت ألمانيا طريقة لاستخلاص الزيت من الفحم. ويقدر أن نصف الزيت المستخدم في ألمانيا أثناء الحرب العالمية الثانية قد كان منتجا بهذه الطريقة. وقد تم توقف هذه الطريقة بعد ذلك نظرا لأن تكاليف إنتاج البترول الطبيعي أقل منها. ولكن بالنظر إلى ارتفاع أسعار البترول المستمر، فإن تحويل الفحم إلى بترول قد يكون محل تفكير. وتتضمن الطريقة تحويل رماد الفحم إلى زيت في عملية متعددة المراحل. ونظريا فإن طن من الفحم ينتج تقريبا 200 لتر من الزيت الخام، بمنتجات تتراوح من القار إلى الكيمياويات النادرة. ويوضح الشكل (2-1) موقع انتاج نفط بدولة العراق. وشكل (2-2) يعرض انتاج دول الأوبك من النفط.

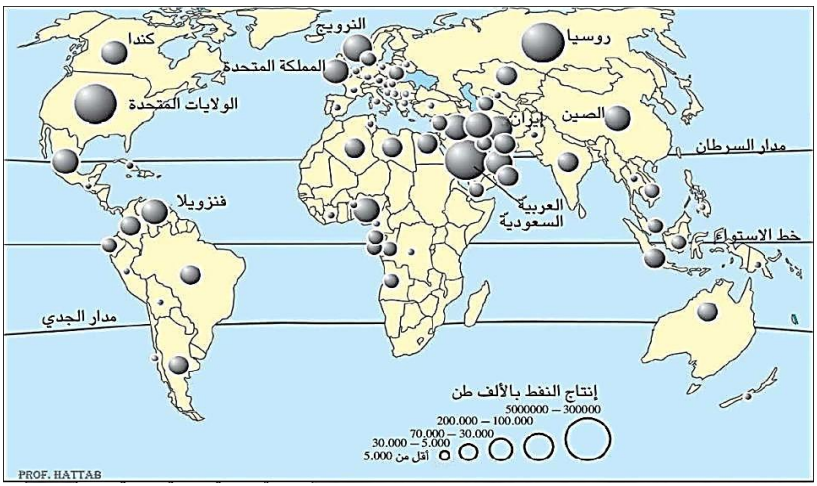
شكل: (2-1) موقع إنتاج نفط – العراق



شكل (2-2): إنتاج دول الأوبك وإندونيسيا من النفط (ألف برميل / يوم) – عام 2014

وحوالي 100 دولة تنتج النفط الخام طبقا لإحصائيات عام 2014، 47٪ من إجمالي إنتاج النفط الخام في العالم يأتي من خمس دول هي روسيا بنسبة 13٪ والمملكة العربية السعودية 13٪ والولايات المتحدة 12٪ والصين 5٪ وكندا 4٪.

وتقريبا 90٪ من احتياجات السيارات للوقود يتم الوفاء بها عن طريق البترول. ويشكل البترول تقريبا 40 ٪ من الاستهلاك الكلي للطاقة في الولايات المتحدة، لكن 2٪ فقط في توليد الكهرباء. وقيمة البترول تكمن في إمكانية نقله وكمية الطاقة الكبيرة الموجودة فيه، وكذلك احتوائه على العديد من المركبات الهامة لذا يستخدم كمادة أساسية في العديد من الصناعات الكيميائية مما يجعله من أهم المواد في العالم. وكان الوصول للبترول وزيادة النفوذ السياسي والجغرافي سببا في كثير من الاشتباكات العسكرية مثل الحرب العالمية الثانية و حرب العراق وإيران والحروب التي خاضتها الولايات المتحدة في أفغانستان والعراق وحروب بعض دول الشرق الأوسط الحالية. وتقريبا 80٪ من مخزون العالم للبترول يتواجد في الشرق الأوسط ، وحوالي 62.5 ٪ منه في خمس دول المملكة العربية السعودية والإمارات و العراق والكويت و إيران بينما تمتلك أمريكا تقريبا 3 ٪ من المخزون العالمي. وشكل (2-3) يعرض خريطة إنتاج دول العالم من النفط.



شكل (2-3): خريطة إنتاج دول العالم من النفط

2-2-2 مكونات البترول الناتجة من التكرير

أثناء عمليات تكرير (تصفية) البترول، يتم فصل الكيمياويات المكونة للبترول عن طريق التقطير التجزيئي، وهو عملية فصل تعتمد على نقط الغليان النسبية (أو قابلية التطاير النسبية). والمنتجات المختلفة (بالترتيب طبقا لنقطة غليانها) بما فيها الغازات الخفيفة (مثل الميثان والإيثان والبروبان) هي البنزين، وقود المحركات النفاثة، الكيروسين، الديزل، الجازولين، شموع البرافين، الأسفلت. والتقنيات الحديثة مثل فصل الألوان الغازي يمكن أن تفصل بعض الأجزاء من البترول إلى مركبات فردية وهذه طريقة من طرق الكيمياء التحليلية تستخدم غالبا في أقسام التحكم في الجودة في مصافي البترول.

ولمزيد من الدقة، فإن البترول يتكون من الهيدروكربونات، وهذه بدورها تتكون من الهيدروجين والكربون وبعض الأجزاء غير الكربونية والتي يمكن أن تحتوي على النيتروجين والكبريت والأكسجين وبعض الكميات الضئيلة من الفلزات مثل الفاناديوم أو النيكل ومثل هذه العناصر لا تتعدى 1٪ من تركيب البترول. كما أن أخف أربعة ألكانات الميثان والإيثان والبروبان والبيوتان وهم جميعا غازات. بعدها ألكانات خفيفة سائلة وتتطاير بسهولة ويتم استخدامها كمذيبات أو كسوائل للتنظيف الجاف وفي منتجات التجفيف السريع الأخرى.

أما المركبات الأثقل تكون مختلطة ببعض وتستخدم في الجازولين وكذلك الكيروسين ثم وقود الديزل أو زيت التسخين و يتم استخدام زيوت الوقود الأثقل من ذلك في محركات السفن. وجميع هذه المركبات البترولية سائلة في درجة حرارة الغرفة. يأتي بعد ذلك زيوت التشحيم والشحم شبه الصلب بما فيه الفازلين وأخيرا الهيدروكربونات الأثقل تكون صلبة بداية من شمع البرافين ثم بعد ذلك القطران والقار والأسفلت. ومدى درجات الغليان لمكونات البترول تحت تأثير الضغط الجوي في التقطير التجزيئي بالدرجة المئوية هي كالتالي:

إثير بترول : يستخدم كمذيب.

بنزين خفيف (40–70 سليزيوس) : يستخدم كوقود للسيارات.

بنزين ثقيل (100 – 120 سليزيوس): يستخدم كوقود للسيارات.

كيروسين خفيف (120 – 150 سليزيوس): يستخدم كمذيب ووقود للمنازل.

كيروسين (150 – 250 سليزيوس): يستخدم كوقود للمحركات النفاثة.

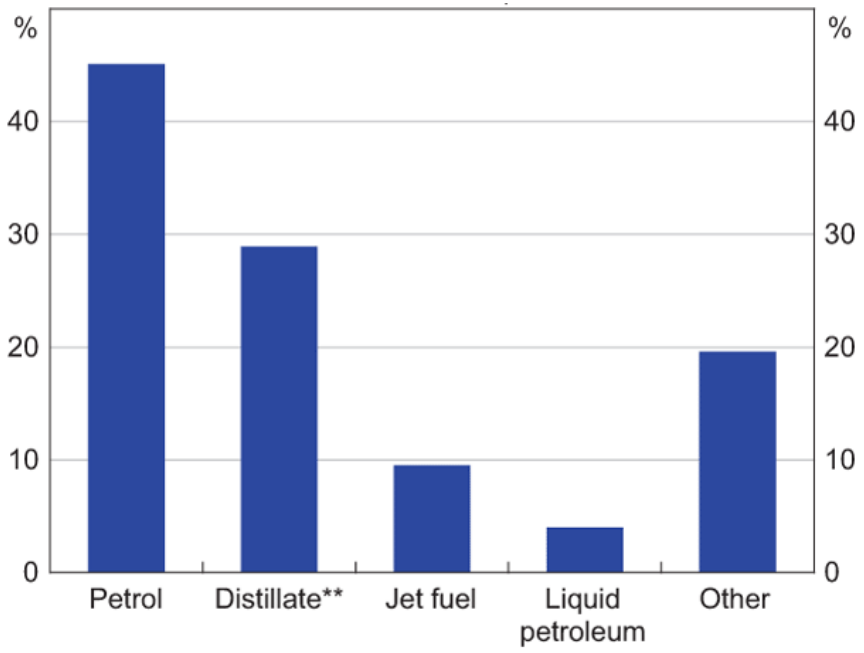
زيت الغاز (250 – 300 سليزيوس): يستخدم كوقود للديزل أو للتسخين.

زيت تشحيم (أكبر من 300 سليزيوس): يستخدم كزيت للمحركات .

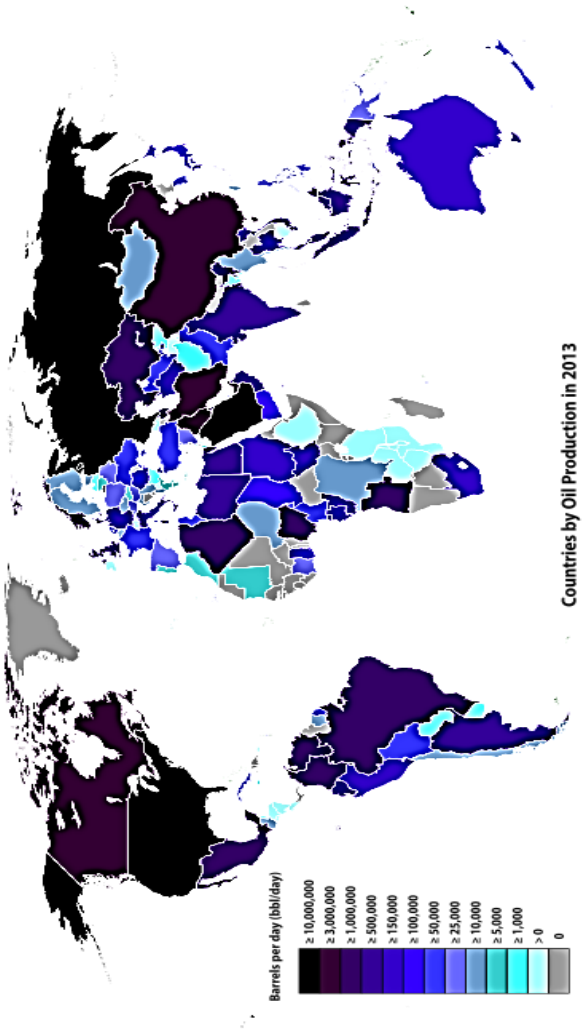
والأجزاء المتبقية عبارة عن قار، أسفلت، وقود متبقي وشكل (2–4) يوضح نسب المواد المستخرجة من برميل من زيت البترول. شكل (2–5) يبين نسب منتجات النفط في الولايات المتحدة بينما يوضح شكل (2–6) خريطة انتاج النفط وشكل (2–7) الانتاج اليومي لبعض الدول من النفط.

Product	Gallons Per Barrel
Gasoline	19.4
Distillate Fuel Oil *	10.5
Kerosene-Type Jet Fuel	4.1
Coke	2.2
Residual Fuel Oil **	1.7
Liquefied Refinery Gases	1.5
Still Gas	1.8
Asphalt and Road Oil	1.4
Raw Material for Petrochemicals	1.1
Lubricants	0.4
Kerosene	0.2
Other	0.4

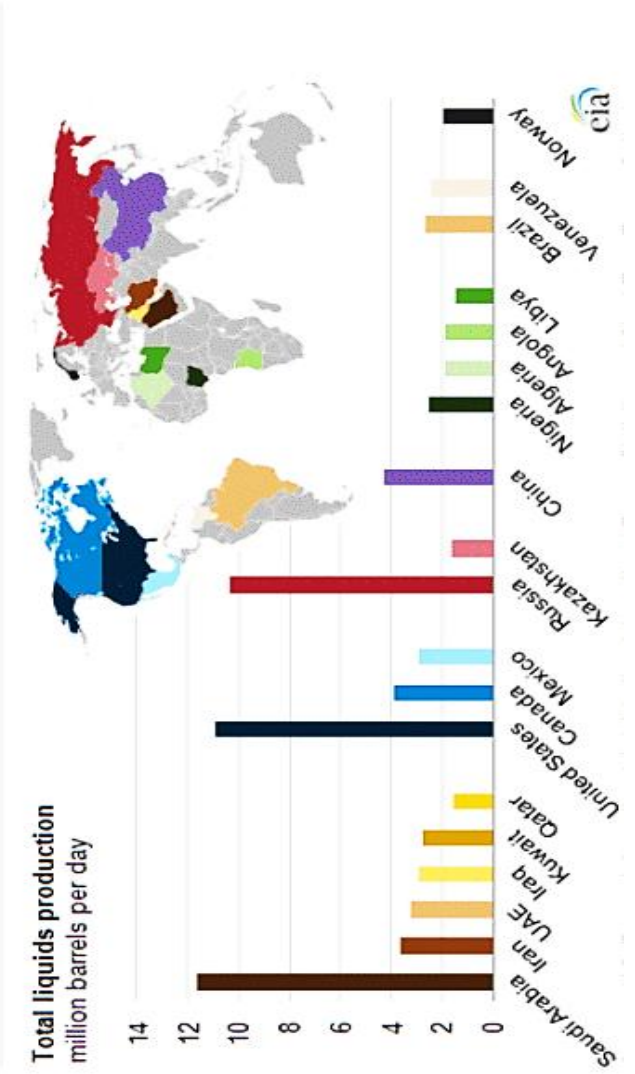
شكل (2–4): المواد المستخرجة من زيت البترول



شكل (2-5): نسب المنتجات من النفط الخام في الولايات المتحدة الأمريكية



شكل (2-6): خريطة انتاج النفط في العالم 2017



شكل (2-7): الإنتاج اليومي من النفط 2017

وتضم منظّمة الأقطار المصدرة للبترول الأوبك **(OPEC)** ثلاث عشرة دولة تعتمد على صادراتها النفطية اعتمادا كبيرا لتحقيق ايراداتها المالية. ويعمل أعضاء الأوبك لزيادة العائدات من بيع النّفط في السّوق العالمية. وتملك الدّول الأعضاء في هذه المنظّمة ما يتراوح بين ثلثي وثلاثة أرباع الاحتياطي العالمي المستخلص من النّفط. وتأسّست في بغداد عام 1960 من طرف السعودية ، إيران ، العراق ، الكويت و فنزويلا ومقرّها في فيينا. والدول الأعضاء الحاليين في منظمة الأوبك هي السعودية، الإمارات، قطر، الجزائر، أنجولا، الإكوادور، إيران، العراق، الكويت، ليبيا، نيجيريا، فنزويلا، غينيا الاستوائية. والدول الأعضاء السابقة التي غادرت مجموعة الأوبك هي إندونيسيا والجابون. أما إنتاج مصر من البترول فحوالي 582.000 برميل/ يوم وتستهلك حوالي 635.000 برميل/ يوم.

2-2-3 تاريخ انتاج البترول

يرجح أنه تم حفر أول بئر للنفط في الصين في القرن الرابع الميلادي أو قبل ذلك. وكان يتم إحراق النفط لتبخير الماء المالح لإنتاج الملح .وبحلول القرن العاشر، تم استخدام أنابيب الخيزران لتوصيل الأنابيب لمنابع المياه المالحة .

وفي القرن الثامن الميلادي كان يتم رصف الطرق الجديدة في بغداد باستخدام القار، الذي كان يتم إحضاره من ترشحات النفط في هذه المنطقة. وفي القرن التاسع الميلادي بدأت حقول النفط في باكو، أذربيجان بإنتاج النفط بطريقة اقتصادية لأول مرة. وكان يتم حفر هذه الحقول للحصول على النفط، وتم وصف ذلك بمعرفة الجغرافي المسعودي في القرن العاشر الميلادي. وأيضا ماركو بولو في القرن الثالث عشر الميلادي الذي وصف النفط الخارج من هذه الآبار بقوله أنها مثل حمولة مئات السفن.

ويبدأ التاريخ الحديث للنفط في عام 1853، باكتشاف عملية تقطير النفط. فقد تم تقطير النفط والحصول منه على الكيروسين بمعرفة إجناسى لوكاسفيز وهو عالم بولندي. وكان أول بئر نفط صخري يتم إنشاؤه في بوربكا، بالقرب من كروسنو في جنوب بولندا، وفي العام التالي تم بناء أول معمل تقطير في يولازوفايز وكان أيضا عن

طريق لوكاسفيز. وانتشرت هذه الاكتشافات سريعا في العالم، وقام العالم ميرزوف ببناء أول معمل تقطير في روسيا في حقل النفط الطبيعي في باكو في عام 1861 .

وبدأت صناعة النفط الأمريكية باكتشاف إيدوين دريك للزيت في عام 1859، بالقرب من تيتوسفيل- بنسلفانيا. وكان نمو هذه الصناعة بطيئا نوعا ما في القرن الثامن عشر الميلادي. وكانت محكومة بالمتطلبات المحدودة للكيروسين ومصابيح الزيت. وأصبحت مسألة اهتمام قومية في بداية القرن العشرين عند اختراع محركات الاحتراق الداخلية مما أدى إلى زيادة طلب الصناعة بصفة عامة على النفط. وقد أستنفذ الاستهلاك المستمر الاكتشافات الأولى في أمريكا في بنسلفانيا وأونتاريو مما أدى إلى «أزمة نفط » في تكساس وأوكلاهوما وكاليفورنيا .

وبالإضافة إلى ما تم ذكره، فإنه بحلول عام 1910 تم اكتشاف حقول نفط كبيرة في كندا، جزر الهند الشرقية، إيران وفينزويلا، المكسيك، وتم تطويرهم لاستغلالها صناعياً .

وبالرغم من ذلك حتى في عام 1955 كان الفحم أشهر أنواع الوقود في العالم، وبدأ النفط يأخذ مكانته بعد ذلك. وبعد أزمة طاقة 1973 وأزمة طاقة 1979 ركزت الحكومات على وسائل تغطية إمدادات الطاقة. فلجأت بلاد مثل ألمانيا وفرنسا إلى إنتاج الطاقة الكهربية بواسطة المفاعلات النووية حتى أن 70٪ من إنتاج الكهرباء في فرنسا أصبح من المفاعلات النووية. كما أدت أزمة الطاقة إلى إلقاء الضوء على أن النفط مادة محدودة ويمكن أن تنفذ، على الأقل كمصدر طاقة اقتصادي. وفي الوقت الحالي فإن أكثر التوقعات الشائعة مفزعة من ناحية محدودية الاحتياطي المخزون من النفط في العالم. ويظل مستقبل البترول كوقود محل جدل. وأفادت الأخبار في الولايات المتحدة عام 2004 أنه يوجد ما يعادل استخدام 40 سنة من النفط في باطن الأرض .وقد يجادل البعض في ذلك لأن كمية النفط الموجودة محدودة. ويوجد جدل آخر بأن التقنيات الحديثة ستستمر في إنتاج الهيدروكربونات الرخيصة وأن الأرض تحتوي على مقدار ضخم من النفط غير التقليدي مخزون على هيئة نفط رملي وحقول بيتومين، زيت طفلي وهذا سيسمح باستمرار استخدام النفط لفترة كبيرة من الزمن .

4-2-2 شركات النفط

سوق النفط العالمية معقد والحكومات والشركات الخاصة تلعب أدوارا مختلفة في نقل النفط من المنتجين إلى المستهلكين. وفي الولايات المتحدة توجد شركات إنتاج النفط الخام في الأراضي الخاصة والعامة والمياه البحرية . وغالبية هذه الشركات هي لمنتجين مستقلين، وعادة تعمل هذه الشركات في أراضي الولايات المتحدة فقط. أما الشركات الأخرى، وغالبا ما يشار إليها بشركات النفط الكبرى، يعمل بها مئات أو آلاف من الموظفين، وتعمل في العديد من البلدان مثل شيفرون وإكسون موبيل.

وشركات النفط العالمية الكبرى والتي تشمل اكسون موبيل وبي بي ورويال داتش شل هي مملوكة بالكامل للمستثمرين المهتمين في المقام الأول بزيادة أسهمهم الاقتصادية. ونتيجة لذلك فإن شركات النفط العالمية المتنامية المتخصصة والاستثمارية تعتمد على العوامل الاقتصادية .هذه الشركات عادة ما تتسارع في تطوير إنتاجها من الموارد النفطية وبيع إنتاجها في السوق العالمية. وعلى الرغم من أن هذه الشركات المنتجة يجب أن تتبع قوانين الدول التي ينتج فيها النفط لكن في نهاية المطاف القرارات المتخذة تكون في مصلحة الشركة ومساهميها.

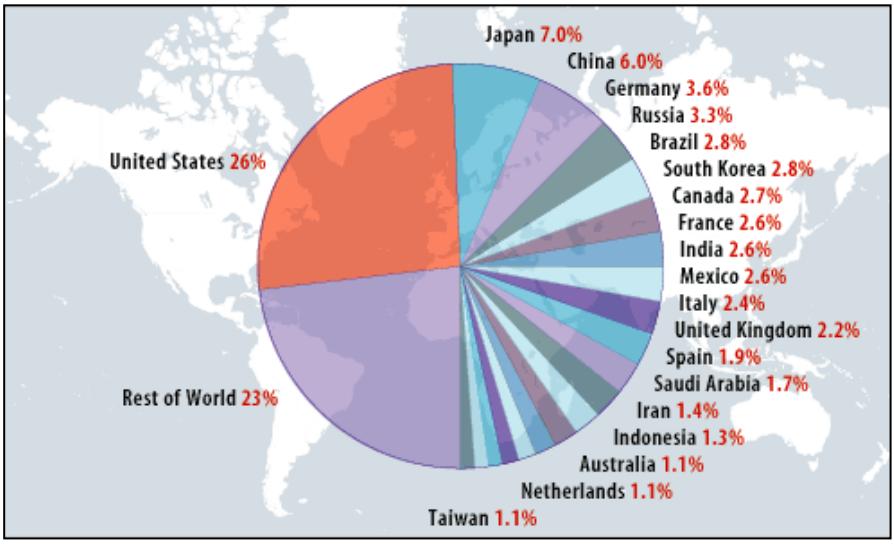
أما شركات النفط الوطنية هي الشركات التي تعمل كامتداد للحكومة أو وكالة حكومية، وتشمل شركات مثل شركة أرامكو السعودية، شركة بيميكس في بالمكسيك، ومؤسسة البترول الوطنية الصينية (CNPC)، وبتروليوس دي فنزويل بفنزويلا (PDVSA).

وهذه الشركات تدعم ماليا البرامج الحكومية وأحيانا توفر الدعم الاستراتيجي لها. وشركات النفط الوطنية في كثير من الأحيان توفر المنتجات البترولية للمستهلكين المحليين بسعر أقل من اسعار المنتجات التي تقدمها إلى السوق الدولية. وليس لدى هذه الشركات دائما الحافز أو الوسيلة أو النية لتطوير انتاجها أو احتياطياتها بنفس الوتيرة مثل شركات النفط العالمية المملوكة للمستثمرين .ونظرا

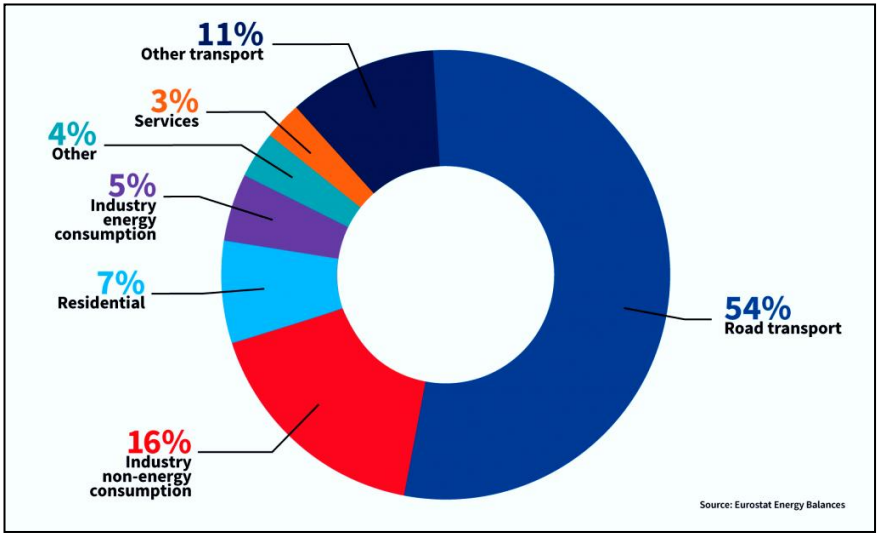
للأهداف المختلفة للحكومات الداعمة لها فإن شركات النفط الوطنية تتبع الأهداف التي ليست بالضرورة موجهة نحو السوق . وأهداف شركات النفط الوطنية في كثير من الأحيان تتضمن توظيف المواطنين وتعزيز السياسات المحلية أو الأجنبية أو الحكومية، وبناء العائدات على المدى الطويل لدفع ثمن البرامج الحكومية وكذلك تعمل على توفير الطاقة المحلية الرخيصة وتقع تحت هذه الفئة جميع شركات النفط الوطنية التي تنتمي إلى أعضاء منظمة البلدان المصدرة للبترول (أوبك).

وشركات النفط الوطنية مع الحكم الذاتي الاستراتيجي والتشغيلي وهي كيانات مساهمة وليست كامتداد لمساهمات الحكومات التي تعمل في بلدانها وتشمل هذه الفئة بتروبراس بالبرازيل وشتات أويل بالنرويج . وهذه الشركات في كثير من الأحيان توازن بين المخاوف التي تستهدف الربح وأهداف الحكومات مع محاولة تطوير استراتيجياتها الانتاجية . وعلى الرغم من أن رأس المال الذي يحرك هذه الشركات يدار من قبل المؤسسات التجارية ولكن قد تأخذ أيضا في الاعتبار أهداف الحكومة عند اتخاذ القرارات الاستثمارية أو الاستراتيجية الأخرى.

وتعتبر أكبر خمس دول مستهلكة للنفط في عام 2014، وحصتها من إجمالي استهلاك النفط العالمية هي الولايات المتحدة الأمريكية 21٪، الصين 12٪، اليابان 5٪، الهند 4٪، روسيا 4٪. يوضح شكل (2-8) أعلى الدول المستهلكة للنفط أما شكل (2-9) يبين استهلاك دول الاتحاد الأووبي من منتجات النفط.



شكل (2-8):الدول الأعلى استهلاكا للنفط في العالم 2017



شكل (2-9): نسب استهلاك منتجات النفط في دول الاتحاد الأوروبي 2014

5-2-2 النفط والبيئة

يستخدم النفط الخام لإنتاج المواد النفطية التي نستخدمها لتشغيل الطائرات والسيارات والشاحنات أو لتدفئة المنازل أو في صناعة بعض المركبات مثل الأدوية والمواد البلاستيكية. وعلى الرغم من أن المنتجات النفطية تجعل الحياة العصرية أسهل وتوفر احتياجات حياتية كثيرة لكن إيجاد وإنتاج ونقل النفط الخام قد يكون له آثار سلبية على البيئة. نتيجة تسرب النفط للمياه أو الانبعاثات الحرارية والكيميائية التي تلوث الغلاف الجوي لذا فإن التقدم التكنولوجي في مجال الاستكشاف والإنتاج ونقل النفط وكذلك إنفاذ القوانين وأنظمة السلامة البيئية هامة للغاية وتساعد على تجنب وتقليل هذه الآثار السلبية.

ويعكر الاستكشاف والتنقيب عن النفط صفو النظم البيئية البرية والبحرية. واستخدام التقنيات الزلزالية للتنقيب عن النفط تحت قاع المحيط يضر بالأسماك والثدييات البحرية وحفر آبار النفط في الأراضي الزراعية أو في الأماكن التي تقطنها الحيوانات في كثير من الأحيان يتطلب إزالة مساحات كبيرة من الغطاء النباتي مما يؤدي إلى تدمير النظام البيئي. ومع ذلك فإن التطور في مجال استخراج البترول والذي يزيد بشكل كبير من كفاءة أنشطة الاستكشاف والحفر يعمل على تقليل التأثيرات الضارة على البيئة. والأقمار الصناعية وأنظمة تحديد المواقع الجغرافية وأجهزة الاستشعار عن بعد والتقنيات الزلزالية ذات الأبعاد الثلاثية تجعل من الممكن اكتشاف احتياطيات نفطية جديدة مع تقليص حفر الآبار الاستكشافية. ومنصات الحفر المحمولة المتنقلة تعمل على استخدام مناطق أصغر والتي تتأثر بأنشطة الحفر. أما استخدام الحفر الأفقي والاتجاهي يجعل من الممكن حفر بئر واحد لإنتاج النفط من منطقة واسعة، كذلك تقنية التشعب في الحفر يقلل من عدد الآبار اللازمة لتطوير الموارد النفطية.

وتقنية إنتاج النفط المعروفة باسم التكسير الهيدروليكي تستخدم لإنتاج النفط من الصخر الزيتي وغيرها من التكوينات الجيولوجية والتكسير الهيدروليكي لديه بعض التأثيرات على البيئة لأن تكسير الصخور يتطلب استخدام كميات كبيرة من

المياه وكذلك تستخدم المواد الكيميائية ذات الخطورة المحتملة لاستخراج النفط من طبقات الصخور. وفي بعض المناطق ذات الفقر المائي فإن استخدام المياه لإنتاج النفط يؤثر على توافر المياه للاستخدامات الهامة الأخرى وقد يؤثر على الموارد المائية. فالخلل في عملية استخراج النفط بشكل جيد أو سوء التعامل معه قد يؤدي إلى تسربه وانسكابه في المياه أو التربة مما يؤدي إلى الإضرار بالكائنات الحية المتواجدة بها والإخلال بالنظام البيئي.

ويخلف عن عملية التكسير الهيدروليكي أيضا كميات كبيرة من المياه المستخدمة والتي تحتوي على مواد كيميائية مذابة وملوثات ضارة بالبيئة والتي تحتاج إلى معالجة قبل التخلص منها أو عند إعادة استخدامها. فالكمية الكبيرة للمياه المستخدمة وتعقيد معالجة بعض مكوناتها والتخلص منها هي من القضايا الهامة والصعبة. وفي كثير من الأحيان يتم التخلص من المياه عن طريق الحقن في آبار عميقة وعادة في طبقات المياه الجوفية المالحة وضخ المياه على أعماق كبيرة يمكن أن يؤدي إلى اختلال توازن طبقات التربة مما يؤدي إلى حدوث بعض الزلازل.

ولذلك فإن للبترول تأثير ملحوظ على الناحية البيئية والاجتماعية وذلك من الحوادث والنشاطات الروتينية التي تصاحب إنتاجه وتشغيله مثل الانفجارات الزلزالية أثناء إنتاجه أو الحفر أو تولد النفايات الملوثة بالرغم أن أكثر من 70٪ من الاحتياطي العالمي يصاحبه ترشحات كبيرة أي أنه لا يستلزم الإضرار بالبيئة لاستخراجه فالعديد من حقول البترول تم العثور عليها نتيجة للتسريب الطبيعي. وكما أن استخراج البترول بالقرب من الشواطئ يزعج الكائنات البحرية ويؤثر على بيئتها. واستخراج البترول قد يتضمن عملية الكسح وفيها يحرك طبقة من قاع البحر مما يقتل النباتات البحرية التي تحتاجها الحيوانات البحرية للحياة. كما أن نفايات الزيت الخام والوقود المقطر التي تتناثر من حوادث ناقلات البترول أثرت على العلاقة التبادلية بين الكائنات الحية بموت أحد هذه الكائنات كما حدث في ألاسكا وجزر جالاباجوس وأسبانيا والعديد من الأماكن الأخرى.

ومعظم التسربات النفطية هي نتيجة لحوادث آبار النفط أو على خطوط الأنابيب

والسفن والقطارات والشاحنات التي تنقل النفط من الآبار الى مصافي التكرير. فتسرب النفط يؤدي إلى تلوث التربة والمياه وربما يتسبب في انفجارات مدمرة وحرائق كبيرة لذلك لابد من تطوير المعايير والأنظمة والإجراءات المتبعة في الصناعات البترولية للحد من احتمالات وقوع الحوادث أو تسربات النفط وكذلك تطوير طرق تنظيف بقع الزيت عند حدوثها.

ومثل أنواع الوقود الحفري الأخرى، يتسبب حرق البترول في انبعاث ثاني أكسيد الكربون للغلاف الجوي، وهو ما يعتقد أنه يساهم في ظاهرة الاحترار العالمي وزيادة درجة الحرارة الكلية للأرض. وبوحدات الطاقة فإن البترول ينتج كميات CO_2 أقل من الفحم، ولكن أكثر من الغاز الطبيعي. ونظرا لدور البترول المتفرد في عمليات النقل، فإن تقليل انبعاثات CO_2 تعتبر من المسائل الشائكة في استخدامه. وتجرى محاولات لتحسين هذه الانبعاثات عن طريق احتجازها في المصانع الكبيرة أو حقنها على أعماق كبيرة في الأرض.

وخام البترول يحتوي على مركبات كيميائية عالية القيمة للإنسان فتوفيره لإنتاج هذه المواد والمركبات له أهمية قصوى بدلا عن اهداره وحرقه مشتقاته في وسائل المواصلات وفي توليد الطاقة. وبديل البترول لإنتاج الطاقة هي مصادر الطاقة المتجددة وهي موجودة بالفعل، وإن كانت نسبة هذا الاستبدال لاتزال صغيرة. فالشمس والرياح والمصادر المتجددة الأخرى تأثيراتها على البيئة أقل كثيرا من البترول. ويمكن لهذه المصادر استبدال البترول في الاستخدامات التي لا تتطلب كميات طاقة ضخمة مثل السيارات أو الألات الميكانيكية ويجب تصميم محركات السيارات والمعدات الأخرى لتعمل بالكهرباء باستخدام البطاريات القابلة لإعادة الشحن أو استخدام طاقة الهيدروجين عن طريق خلايا الوقود أو الاحتراق الداخلي والذي يمكن إنتاجه من مصادر متجددة. كما أن هناك خيارات أخرى تتضمن استخدام الوقود السائل الذي له أصل حيوي كالإيثانول الحيوي و الديزل الحيوي. وهناك توجه عالمي للترحيب بأية أفكار جديدة تساهم في استبدال البترول كوقود لعمليات النقل.

3-2 البنزين (الجازولين) والمنتجات البترولية

البنزين هو الوقود المصنوع من النفط الخام وغيرها من السوائل النفطية. ويستخدم البنزين أساسا كوقود لمحركات السيارات ووسائل النقل. وفي الولايات المتحدة تنتج نحو 19 جالون من البنزين من كل برميل يحتوي 42 جالون من النفط الخام الذي يتم تكريره. والمصافي والشركات التي تنتج البنزين الذي يباع في محطات البنزين قد تضيف إليه بعض السوائل المختلفة بحيث تكون عملية حرقه أقل تلويثا للبيئة والذي يلبي المعايير البيئية المطلوبة. وهناك ثلاث درجات من البنزين الذي يباع في محطات البنزين للتزود بالوقود وهي المعتاد والمتوسط والأولي. بعض الشركات لديها أسماء مختلفة لهذه الدرجات من البنزين مثل الخالي من الرصاص والسوبر والسوبر الأولي ولكنها جميعا تشير إلى رقم الأوكتان والذي يعكس خصائص البنزين فالبنزين ذو الدرجة الأعلى في رقم الأوكتان هو الأعلى سعرا والأقل في رقم الأوكتان هو الأقل سعرا.

ورقم الأوكتان هو مقياس لمقدرة البنزين على مقاومة الاحتراق المبكر وتسمى طرقات المحرك. وهذا الرقم يقاس طبقا بالمقارنة مع خليط من ثلاثي ميثيل بينتان أحد متزامرات الأوكتان وإن-هيبتان .فمثلا بنزين 87 أوكتان تعني أن البنزين له كفاءة تشغيل مثل خليط من 87٪ أيزو اوكتان و13٪ إن-هيبتان.

ووقود الطائرات هو من الوقود الأقل كثافة بين أنواع الوقود المختلفة وهو نوع معدل من أنواع البنزين. ويتم انتاج البنزين في مصافي زيت البترول الخام. وهذه الأيام يتم فصل البنزين بسهولة من الزيت الخام عن طريق التقطير ويسمي البنزين الطبيعي، ولكنه لا يكون له المواصفات المطلوبة بالنسبة للمحركات الجديدة ولكن يمكن أن يكون جزءا من المخلوط الذي يستخدم لها . وأغلبية البنزين القياسي تتكون من هيدروكربونات تتراوح أطوال سلاسلها من 5 إلى 12 ذرة كربون في الجزيء . وتنتج المصافي المختلفة مكونات لها تركيب متفاوت، وعند خلطها فإنها تنتج بنزين بخصائص مختلفة. ومن أهم هذه المكونات هي:

البنزين عالي الأوكتان ويتكون من المركبات التي تنتج عن طريق عملية الحفز

ولها رقم أوكتان عالي ونسبة مكونات أروماتية عالية، ونسبة قليلة من الألكينات.

البنزين المتكسر حفزيا أو النافتا المتكسرة حفزيا، وينتج من التكسير الحفزي، وله رقم أوكتان متوسط، ونسبة عالية من الأولفينات (الألكينات)، ومستوى متوسط من الأروماتيات.

البنزين الطبيعي وله عديد من الأسماء، يتم الحصول عليه من الزيت الخام مباشرة وله رقم أوكتان منخفض، وقليل من المكونات الأروماتية (اعتمادا على نوع الزيت الخام، وبعض النافثانات) ألكانات حلقية ولا يحتوى على أولفينات (ألكينات) .

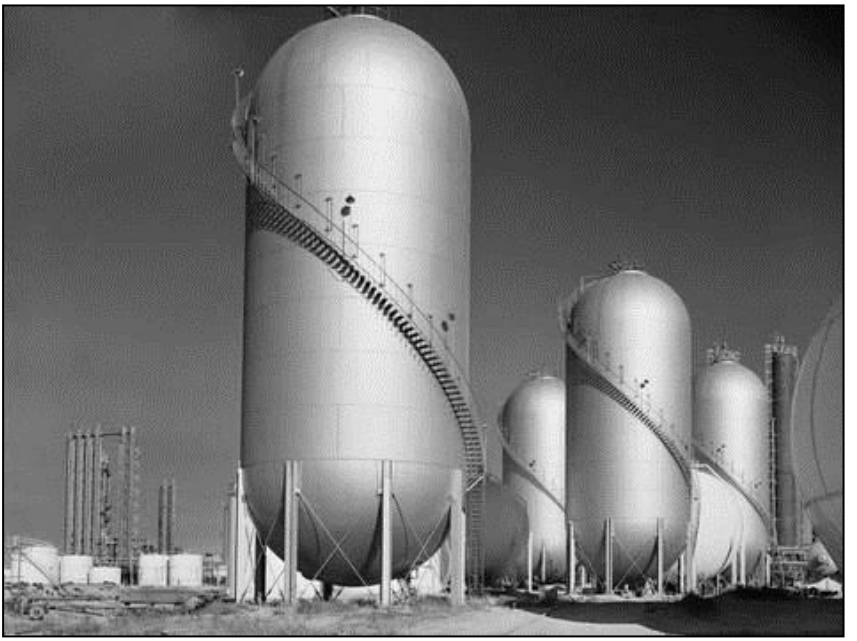
ألكيلات، وتنتنج في وحدة الألكلة، ولها رقم أوكتان عال وهي من البارافينات النقية، وغالبا ما تكون سلاسل الكربون فيها متفرعة.

المتزامرات ولها أسماء عديدة ويتم الحصول عليها من عملية أزمرة البنزين الطبيعي لزيادة رقم الأوكتان له، وتحتوي على نسبة مركبات أروماتية وحلقات بنزين قليلة. والمصطلحات المستخدمة ليست كلها المصطلحات الصحيحة كيميائيا. وهي مصطلحات قديمة، ولكنها تستخدم حتى الآن في مجال صناعة البترول. ومعناها الفني يختلف من شركة بترول لأخرى أيضا من بلد لأخر.

وعموما فإن البنزين العادي يتكون من خليط من البرافينات(ألكانات) والنافتات (ألكان حلقي) والمركبات الأروماتية، الأولفينات أو ألكينات . وتعتمد نسبة كل منها على مصفاة الزيت الخام التي تنتج البنزين حيث أن عدد الوحدات الموجودة بكل مصفاة يختلف من واحدة لأخرى ونوع الزيت الخام المستخدم ودرجة البنزين بالنسبة إلى رقم الأوكتان.

وحاليا فإن الوقود المستخدم في كثير من الدول له حدود معينة لنسبة المكونات الأروماتية بشكل عام، وبخاصة البنزين الحلقي، وكذلك نسبة المكونات الأولفينية (الألكينات). وهذا يزيد الطلب على البرافينات العالية الأوكتان، مثل الألكيلات، ويجبر المصافي لإضافة وحدات تنقية متقدمة . كما أن البنزين يمكن أن يحتوي على

مركبات عضوية أخرى مثل الإيثر العضوي بالإضافة إلى كميات قليلة من الشوائب، وبالتحديد مركبات الكبريت، وكبريتات الهيدروجين والتي يجب أن تزال من البنزين لأنها تسبب تآكل المحركات . ويوضح شكل (2-10) خزانات بنزين في ولاية تكساس بالولايات المتحدة الأمريكية عام 1942.



شكل (2-10): خزانات بنزين – تكساس – الولايات المتحدة 1942

2-3-1 استخدام البنزين

في عام 2015 كان الاستخدام اليومي للأمريكيين نحو 385 مليون جالون من البنزين. ومعظم البنزين المستهلك استخدم في السيارات والشاحنات الخفيفة، والدراجات النارية، أيضا تم استخدامه في الطائرات الصغيرة والقوارب والزوارق، ومعدات الحدائق والبناء.

وعموما يستخدم البنزين في محركات كثيرمن المركبات والآلات كالتالي:

- سيارات النقل وسيارات الدفع الرباعي والشاحنات الخفيفة والدراجات النارية.
- المركبات الترفيهية والقوارب.
- الطائرات الصغيرة.
- المعدات والأدوات المستخدمة في البناء، والزراعة، والغابات، والمناظر الطبيعية.
- مولدات الكهرباء المتنقلة لتوفير الطاقة الكهربية في حالات الطوارئ أو في أماكن التخييم.

2-3-2 البنزين والبيئة

البنزين هو سائل سام وشديد الاشتعال والأبخرة المنبعثة منه والمواد الناتجة عندما يتم حرقه هي أول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين والجسيمات والتي تساهم في تلوث الهواء. أيضا حرق البنزين ينتج عنه كميات كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون.

وتتواجد في البنزين عديد من الهيدروكربونات وخاصة الهيدروكربونات الحلقية مثل البنزين الحلقي، وهذه الهيدروكربونات مثل باقي الإضافات المقاومة لطرقات المحرك لها تأثير سرطاني. ولهذا السبب فإن التسريبات الكبيرة أو المستمرة للبنزين تسبب تهديدا على الصحة العامة للإنسان مثل حالة وصول البنزين لأي مصدر من مصادر المياه العامة. والخطر الرئيسي لتسرب البنزين يأتي من حوادث صهاريج نقل البنزين ومن التسريبات التي يمكن أن تحدث في مستودعات التخزين. ونظرا لوجود مثل هذا الخطر، فإن معظم مستودعات التخزين يتم متابعتها بصفة دورية للتأكد من عدم حدوث أية تسريبات. ونظرا لأن البنزين متطاير بطبيعته، فإن ذلك يستلزم أن تكون مستودعات التخزين وصهاريج النقل محكمة الغلق. ولكن هذا التطاير العالي للبنزين يمكنه أن يشتعل في الجو البارد بعكس الديزل. وعموما، فإنه يجب عمل

قياسات معينة للسماح بالتهوية الكافية للبنزين حتى لا يرتفع الضغط في مستودعات التخزين ويظل مساوٍ للضغط خارج المستودع.

والبنزين أيضا ينتج عند احتراقه في محركات السيارات ووسائل النقل كميات كبيرة من الغازات الملوثة للبيئة. فحتى البنزين الذي لا يحتوى على مركبات الرصاص أو الكبريت، فإنه ينتج غازات ثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون والتي تخرج كعادم من حرق البنزين في هذه المحركات .

وبعض القوانين البيئية في الولايات المتحدة تركز على الحد من التلوث الناتج من هذه المصادر. وقانون الهواء النظيف في الولايات المتحدة تم وضعه للحد من تلوث الهواء في الولايات المتحدة على وجه التحديد، وتم تمريره في عام 1970 ومن ضمن بنوده تقليل نسب تلوث الهواء الجوي الصادر من استهلاك البنزين إلى الحد يلبي توصيات وكالة حماية البيئة الأمريكية **(EPA)**.

وأجهزة التحكم في الانبعاثات ومحركات الاحتراق النظيفة هي الأجهزة التي توضع على محركات سيارات الركاب أو محركات الآلات التي تعمل بالبنزين للحد من الانبعاثات والغازات الملوثة للهواء. وتوصي هيئات حماية البيئة باستخدام البنزين منزوع الرصاص، حيث أثبتت الدراسات أن الرصاص في البنزين يشكل مصدر خطورة على الصحة العامة. والابتعاد عن البنزين المحتوي على الرصاص بدأ في عام 1976 عندما تم تركيب المحولات الحفازة في السيارات الجديدة للحد من انبعاثات ملوثات الهواء السامة. والمركبات المجهزة بمحول حفاز لا تستطيع أن تعمل بالبنزين المحتوي على الرصاص لأن وجود الرصاص في وقود يؤدي إلى ضرر وتعطل المحول الحفاز. وتم التخلص التدريجي من البنزين المحتوي على الرصاص حتى انتهى تماما من نظام الوقود الولايات المتحدة بحلول عام 1996. وابتداء من عام 1995 وطبقا لقانون الهواء النظيف لعام 1990 تطلب استخدام البنزين معاد التشكيل للحد من تلوث الهواء وذلك في المناطق الحضرية التي بها تلوث كبير من ملوث غاز الأوزون في المستوى الأرضي.

ومنذ عام 2006 هناك توجه أن تنتج المصافي البنزين بنسبة من الكبريت أقل 90٪

من البنزين المنتج في عام 2004، أيضا هناك خطط لخفض نسبة الكبريت في البنزين لأن خفض نسبة الكبريت في البنزين يعمل على تقليل مركبات الكبريت المنبعثة سواء من محركات السيارات القديمة أو الجديدة ومن ثم ليس من الضروري لأجهزة التحكم في الانبعاثات المدرجة في بعض السيارات للعمل بشكل مستمر.

تسرب البنزين يحدث في محطات الوقود كل يوم والناس تملأ خزانات السيارات للتزود بالوقود حيث يسقط البنزين على أرضيات المحطات فيتبخر وكذلك يتبخر من الخزانات المفتوحة إلى الهواء . أحيانا يحدث تسرب للبنزين أيضا من خطوط الأنابيب أو من صهاريج التخزين تحت الأرض حيث يصعب رؤية هذه التسربات وللتغلب على ذلك تستبدل صهاريج التخزين القديمة تحت الأرض لتحل محلها صهاريج تخزين مع بطانة مزدوجة كضمانة إضافية لمنع التسريبات.

ويعتبر أثير ثلاثي ميثيل البيوتيل أحد المواد الكيميائية التي تضاف للبنزين أثناء عمليات انتاجه لكي تكون عملية احتراق البنزين نظيفة لكنه مادة سامة ومؤخرا تم استبداله بالإيثانول وهو من المركبات الغير سامة.

2- 4 وقود الديزل

وقود الديزل أو السولار كما يُعرف في مصر وفي العراق (الجاز) وهو خليط من عدة مواد هيدروكربونية، يستخدم في محركات الديزل الشائعة في سيارات نقل البضائع والنقل العام كما تستخدم أيضا في مولدات الكهرباء، وتوجد منه أنواع تستخدم لتشغيل محركات السفن. ويرجع اسم زيت الديزل إلى الألماني رودولف ديزل مخترع محرك الديزل .ويستخدم «الديزل الحيوي» أيضا لتشغيل المحركات بطريقة محرك الديزل ولكنه يختلف عن البترو ديزل في تركيبه الكيميائي .

ويستخرج زيت الديزل من زيت البترول بواسطة التقطير التجزيئي، كما يمكن استخراج وقود حيوي مشابه للديزل من الكتلة الحيوية بأسلوب يسمى تسييل الكتلة الحيوية. وللتفرقة بين النوعين قد يسمى الديزل المستخرج من النفط الخام «الديزل النفطي» أو «البترو ديزل» بخلاف «الديزل الحيوي». ويوجد نوع يحتوي على نسبة أقل من الكبريت يسمى «ديزل منزوع الكبريت». وقد أصبح هذا النوع من الديزل هو

الشائع في أمريكا وأوروبا منذ عام 2007 .

2- 4- 1 استخدامات وقود الديزل

يستخدم وقود الديزل في محركات الديزل الموجودة في معظم الشاحنات والقطارات والحافلات والقوارب والجرارات الزراعية وآلات البناء والأوناش. وبعض السيارات والشاحنات الصغيرة لديها محركات تعمل بزيت الديزل . أيضا يستخدم وقود الديزل في محركات المولدات الكهربية لتوليد الكهرباء. ومعظم القرى النائية في بعض البلدان تستخدم مولدات الديزل للحصول على الكهرباء وكذلك العديد من المنشآت الصناعية والمباني الكبيرة والمرافق المؤسسية والمستشفيات والمرافق الكهربائية لديها مولدات الديزل كمصادر احتياطية للكهرباء والتي تمد المنشأة بالطاقة في حالات الطوارئ.

ومعظم نقل وقود الديزل يتم عبر خط أنابيب من المصافي والموانئ الرئيسية إلى محطات الديزل بالقرب من مناطق الاستهلاك .أيضا تستخدم القطارات والسفن لنقل قود الديزل من المصافي والموانئ إلى هذه المحطات ثم تستخدم شاحنات النقل الكبيرة لنقل وقود الديزل من المحطات إلى محطات الخدمة أو محطات التجزئة مثل محطات التزود بالوقود ومن ثم يصل وقود الديزل إلى المستهلكين.

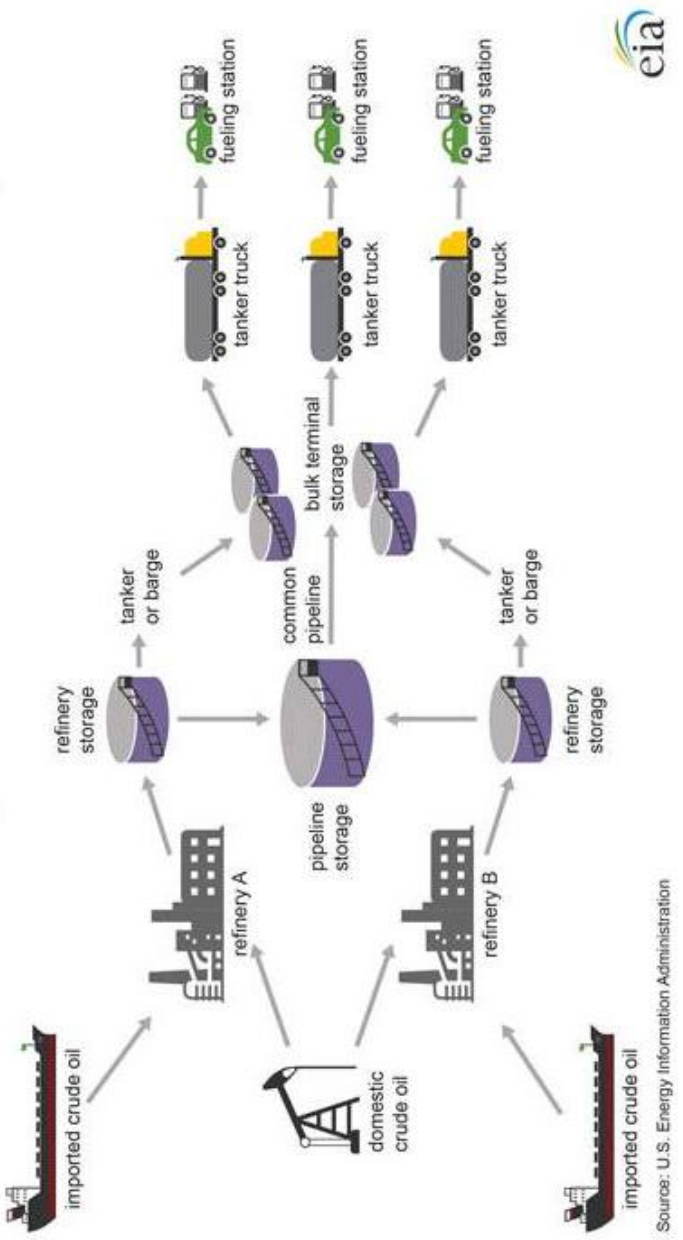
ويتم إرسال وقود الديزل وغيرها من المنتجات عبر خطوط الأنابيب المشتركة في دفعات. وهذه ليست دفعات منفصلة فيزيائيا في خطوط الأنابيب لكن يحدث بعض الخلط أو المزج بين هذه المنتجات لأن امكانية الاختلاط موجودة بين مشتقات النفط. كما يجب أن يتم اختبار جودة وقود الديزل وغيرها من المنتجات للتأكد من أنها مطابقة للمواصفات المطلوبة عند الدخول أو الخروج من خطوط الأنابيب . وعندما تكون المنتجات غير مطابقة للمواصفات الدولية أو المحلية فيتم نقلها بالشاحنات إلى المصافي مرة أخرى لمزيد من المعالجة، أو يمكن أن تباع على أنها منتجات مختلفة.

ومخترع محرك الديزل رودولف ديزل قد صمم في الأصل محرك سيارته لاستخدام غبار الفحم كوقود. ومع ذلك، كان قد جرب محركه مع الزيت النباتي وهو وقود الديزل الحيوي وقد صنع الديزل الحيوي قبل بدء صناعات البترول .

ومحركات الديزل الموجودة في الشاحنات والقطارات والقوارب وبوارج النقل تساعد في نقل معظم البضائع والمنتجات والأفراد. ويستخدم وقود الديزل عادة في الحافلات العامة والحافلات المدرسية. ويستخدم أيضا وقود الديزل في معظم المعدات الزراعية ومعدات البناء حيث تعتمد صناعة البناء والتشييد على توفر وقود الديزل. وكذلك تستخدم محركات الديزل بأمان وكفاءة في أوناش الرفع مثل روافع الدعامات الفولاذية وآلات حفر الأساسات والخنادق والآبار والأنفاق وآلات رصف الطرق ونقل التربة.

في النواحي العسكرية يستخدم وقود الديزل في الدبابات والشاحنات لأن وقود الديزل له قابلية أقل للاشتعال كذلك أقل في حالات الانفجار من أنواع الوقود الأخرى. ومحركات الديزل هي أقل تعطلا من المحركات التي تعمل بوقود البنزين. أيضا يستخدم الديزل في محركات المولدات الكهربية فالعديد من المنشآت الصناعية والمباني الكبيرة والمرافق المؤسسية والمستشفيات لديها مولدات الكهرباء الاحتياطية التي تعمل بالديزل. وشكل (2-11) يعرض صورة لخزان ديزل بالولايات المتحدة. وشكل (2-12) يمثل مخطط مسار النفط من الانتاج حتى الاستهلاك.

شكل (2-11): خزان ديزل – الولايات المتحدة



شكل (2-12): مخطط مسار النفط من الإنتاج حتى الاستهلاك

2-4-2 الديزل والبيئة

تعد محركات الديزل اقتصادية في استهلاك الوقود لكنها مضرة بالبيئة بسبب انبعاثاتها الكثيرة الضارة وهذا هو التحدي الذي يواجهه مهندسو صناعة السيارات في التوفيق بين الاقتصاد في النفقات والمحافظة على البيئة في نفس الوقت. ويفضل الكثير من الناس استعمال سيارات بمحركات ديزل بدلا من التي تعمل بالبنزين، وهناك فائدتان اثنتان مهمتان تساهما في انتشار استعمال وقود الديزل بدلا عن البنزين.

الفائدة الأولى تكمن في أن الديزل يحتوي على طاقة أكبر من البنزين. وهذا يعني أن الديزل مفيد اقتصاديا أكثر من البنزين، وأن محركات الديزل تحتاج إلى وقود أقل من البنزين لقطع نفس المسافة.

أما الفائدة الثانية فهي انخفاض تكلفة الديزل، لأن الديزل يستخرج من زيت البترول عن طريق التقطير التجزيئي ويمكن إنتاجه بكميات كبيرة في مصافي النفط، وهو بذلك أقل كلفة مقارنة بالبنزين أوالكيروسين .

بالإضافة إلى ذلك فإن الديزل صعب الاحتراق مقارنة بالبنزين. وهذا ما يجعله أكثر أمانا ولكنه يتطلب تقنية خاصة ومحركات أكبر لحرق الوقود بضغط أعلى من المحركات التي تعمل بالبنزين.

ويطلق الديزل كمية أقل من أكسيد النيتروجين مقارنة بالبنزين، لكنه يطلق كمية أكبر من العوادم، وهي جسيمات الكربون الناتجة عن الاحتراق غير الكامل للهيدروكربونات وتبقى معلقة في الهواء وتنتج أثناء التحلل الحراري للفحم أو الخشب أو عند احتراق الديزل، وهذه المواد خطيرة جدا على صحة الإنسان وعلى البيئة وتسبب أمراض السرطان. ويمكن مشاهدة سحب سوداء من الدخان تتكون عندما يقوم المرء بالضغط على دواسة الوقود في السيارة التي تعمل بالديزل. وأغلب السيارات الحديثة تحتوي على مصافٍ (فلترات) خاصة لتنقية انبعاثات الاحتراق في المحركات، ويمكن لهذه المصافي تصفية العوادم وتنقيتها. وفي السنوات الأخيرة

بدأت شركات السيارات بوضع مصاف في جميع موديلات سياراتها، لكنها لا تستطيع تصفية انبعاثات الديزل بصورة كاملة رغم التقدم التكنولوجي الكبير، ويمكنها تصفية نحو 95 بالمائة من الانبعاثات فقط، فيما لا يمكنها وقف أكسيد النيتروجين الخطر على صحة الإنسان.

أما المحركات الحديثة التي تعمل بالبنزين، فتقوم بتقنية أخرى ويمكنها ضخ أكسيد النيتروجين إلى محرك السيارة، ولا تفرض اغلب مؤسسات حماية البيئة في العالم شروطا خاصة على السيارات التي تعمل بمحركات بنزين لحماية المستهلك والبيئة من الانبعاثات ومن أكسيد النيتروجين، كون أن هذه التكنولوجيا حديثة جدا ولا يعرف فوائدها أو أضرارها تماما بعد. أما محركات الديزل فتفرض عليها شروطا خاصة لأن أضرارها معروفة. وتكمن مخاطر أكسيد النيتروجين في أنه يسبب أمراضا خطيرة في الجسم، ويتم امتصاصه من خلال الرئتين ويتحد مباشرة مع خضاب الدم ويرفع مستوى الكربوكسيل في الدم ويخفض مستوى الأوكسجين الذي يصل إلى أعضاء الجسم، مما يعطل من عملها وقد يسبب تسمم الجسم أو أمراضا خطيرة، منها مرض السرطان.

2-5 زيوت التسخين

زيوت التسخين هي المنتجات البترولية المكررة من النفط الخام في المصافي حيث تتم معالجة النفط الخام إلى أنواع مختلفة من الوقود بما في ذلك البنزين وزيت التسخين ووقود الديزل ووقود الطائرات والكيروسين، وزيت التشحيم. ويستخدم زيت التسخين لأغراض التسخين وتسخين المياه مثل الأفران والمراجل في المباني. ويعتبر في الولايات المتحدة الأمريكية كمصدر للطاقة البديلة الأكثر أهمية للمنازل التي ليس لها قدرة على التسخين باستعمال الغاز الطبيعي. وأصبح استخدام زيت التسخين هاما عندما اخترع موقد النفط في عام 1920 وحل مكان فحم التسخين في الأماكن المغلقة، لأنه كان أرخص وأسهل في التعامل، وأفضل أيضا للبيئة. وعلى مدى العديد من السنوات الماضية، أصبح زيت التسخين أكثر فاعلية وأمنا ونظافة. توفر زيوت التسخين المنزلية حرارة يمكن لأصحاب هذه المنازل التحكم في

درجتها عن طريق منظم الحرارة أو الترموستات. وعادة ما يتم تسليم زيت التسخين عن طريق شاحنة صهريج للمباني التجارية والسكنية وتخزينها في خزانات.

2-6 الغاز النفطي المسال

الغاز النفطي المسال يسمى أيضا الغاز البترولي المسال أوغاز المكينة وهو خليط من غازات هيدروكربونية و يستخدم كوقود في أجهزة التدفئة والمركبات، وفي الآونة الأخيرة تزايد استخدامه في مقابل الغازات الكلورو- فلورو- كربونية مثل غاز الثلاجات للتقليل من الاضرار المتسببة لتقلص طبقة الأوزون .

وأنواع كثيرة من الغاز المسال تباع في السوق اعتمادا على الموسم منها المخلوط بغاز البروبان أوبغاز البيوتان، أو مخلوط بكل منهما بنسبة 60٪ بروبان و40٪ بيوتان. حيث يكثر الطلب على البروبان في الشتاء عكس الصيف حيث الطلب فيه على البيوتان أكثر. ويضاف إليها مادة إيثانول ذات الرائحة النفاذة لاكتشاف التسربات بسهولة.

وينتج الغاز المسال خلال عملية تكرير النفط الخام أو يستخلص من مجرى الغاز أو النفط عند الخروج من باطن الأرض . ويكون عند درجة الحرارة والضغط الطبيعيين في حالته الغازية. ولذلك يتم نقله فى اسطونات حديدية مضغوطة، ونظرا لان هذا السائل يتمدد بفعل الحرارة فلا تتم التعبئة بشكل كامل ولكن بنسبة ما بين 80٪ إلى 85٪ من سعتها. وتختلف نسبة حجم الغاز إلى السائل اعتمادا على التكوين الكيميائي وظروف الضغط والحرارة ولكنها بالعادة 250 إلى 1. ويسمى الضغط الذي يتحول عنده الغاز إلى سائل ضغط التبخر وهذا يتغير أيضا بتغير درجة الحرارة ونوع الغاز. والغاز المسال أثقل من الهواء فإنه يميل إلى التجمع في الأماكن المنخفضة مثل القبو وبالقرب من أرضية الحجرات مما قد يؤدي إلى الاختناق أثناء النوم عند تسربه، أو الاشتعال والانفجار إذا لم يتم التعامل مع ذلك بحذر .

وفي حالة تسرب الغاز المسال إلى الحجرة فيجب قبل كل شيء عدم تشغيل مفتاح النور أو أي مفتاح كهربائي، فهذا يحدث انفجارا لا تحمد عواقبه. كما يجب

تجنب إشعال أي نار بالقرب من المبنى المسرب به الغاز المسال فهذا يحدث أيضا انفجارا رهيبا. وبعد ذلك يجب فتح جميع النوافذ للتهوية وترك الغاز يتسرب إلى الخارج ثم فحص سبب تسرب الغاز وقفله أو الاستعانة بالمتخصصين .

وقد تم إنتاج الغاز المسال لأول مرة سنة 1910 من قبل د. والتر سنلنج، وأول إنتاج تجاري كان سنة 1912. وحاليا يساهم الغاز المسال في تغطية 3٪ من احتياجات الطاقة في الولايات المتحدة. وحين يستعمل بمحركات الاحتراق الداخلي يسمى بغاز الماكينة. وفي كثير من البلدان بدأ استعماله منذ سنة 1940 كبديل للوقود في محركات الاشتعال ومؤخرا يستعمل لمحركات الديزل أيضا. ووفقا لتعداد عام 2001 بالهند، 17.5 ٪ من الاسر الهندية أي 34 مليون أسرة هندية تستخدم غاز البترول المسال كوقود للطهي و67٪ من هذه الأسر من المناطق الحضرية. وغاز البترول المسال مدعوم من قبل الحكومة وزيادة أسعار الغاز المسال تعتبر مسألة حساسة سياسيا في الهند حيث أنها تؤثر على نمط التصويت من قبل الطبقة الوسطى بالمدن. والغاز المسال كان ذو استخدام كبير للطبخ في هونغ كونغ، ولكن مع استمرار توسع امدادات شركة «غاز المدينة» للمباني أدى إلى خفض استعماله إلى اقل من 24٪ من الوحدات السكنية. وهو وقود الطهي الأكثر شيوعا في المناطق الحضرية في البرازيل، وتستخدمه عمليا جميع الاسر. والأسر الفقيرة تتلقى منحة حكومية تعرف باسم «فالى غاس» تستخدم حصريا لشراء الغاز المسال.

2-6-1 الغاز المسال والبيئة

قد تصل حاويات الغاز المسال عند تعرضها للنار بكثافة ولمدة كافية إلى مرحلة انفجار الغاز الذي يتمدد بسبب ارتفاع درجة الحرارة. وبالنظر إلى الطابع التدميري للغاز المسال عند الانفجارات فتتصف تلك المادة انها خطره للغاية. ولهذا تهتم المصافي ومصانع البتروكيماويات على المحافظة على الحاويات الكبيرة ووقايتها من الحريق. وتتم الوقاية بتزويد تلك الحاويات بصمامات أمان تعمل على تسريب الضغط الزائد في الحاوية عند نشأته. وتوجد أنواع من الحاويات الكبيرة الأسطوانية والأفقية كما توجد حاويات كبيرة كروية الشكل قد يصل سمك جدارها إلى 15 سم

من الحديد الصلب. وهي مجهزة بصمام تخفيف الضغط على قمتها. ومن أهم الأخطار انسكاب بعض المحروقات والتي قد تشتعل بالقرب من حاويات الغاز المسال. فإذا استمرت النار مشتعلة بالقرب من الحاوية يؤدي ذلك لغليان الغاز وتمدده وزيادة الضغط الذي قد يتجاوز قدرة صمام تنفيس الضغط الزائد. وعندما يحدث ذلك فقد تتعرض الحاوية إلى الانفجار بسرعة رهيبة وتحدث أضرارا مأساوية. في حالة الحاوية الاسطوانية قد تتمزق من الوسط فيندفع منها الغاز السائل في اتجاهين متضادين مع الكثير من الوقود حتى ينضب الوقود. ولهذا تشمل تدابير الوقاية من الحريق فصل خزانات غاز البترول المسال عن المصادر المحتملة للحريق. وفي حالة النقل بالسكك الحديدية، على سبيل المثال، يمكن الفصل بين خزانات غاز البترول المسال على مراحل، بحيث توضع عربات البضائع الأخرى بينها. وهذا ليس الحال دائما، لكنه طريقة منخفضة التكلفة لعلاج المشكلة. وهناك طريقة جديدة لوقاية حاويات الغاز المسال وهي دفن الحاوية تحت الأرض وأن تترك صمامات علوية تسهل صيانتها. ويجب توخي الحذر الشديد معها فقد يؤدي الاحتكاك البسيط إلى الاشتعال وكذلك يجب العمل على عدم تآكل جدران الحاويات وذلك بطلاء الحاويات بطبقات تتحمل الحرارة ومقاومة للاشتعال وماص للحرارة أو لصقات مضادة للنيران. وقد تتعرض حاويات الغاز المسال لتحركات كبيرة نتيجة للتمدد والانكماش، والملء والتفريغ حتى لو كانت من الصلب ذو الجدران السميكة. وهذه العملية تجعل تنفيذ دفن الحاوية خيار أقل أماناً في المدى البعيد لأن المرء لا يستطيع التكهن بالضرر الميكانيكي الخارجي الذي قد يحدث للحاوية نتيجة تسرب المياه لها من خلال التربة. ومجرد وجود حصوات وأحجار واحتكاك وتجريف ذهابا وايابا عبر طبقة الدهان الموجودة على جدار الحاوية يمكن أن يسبب صدأها وتآكلها.

وإذا انكسرت الحاوية بأية طريقة يخرج الغاز المسال منها أولا كسائل بارد جدا. مما يعمل على تجميد أي شيء يقابله. ثم بغليانه وهو لا يزال باردا ينشئ جوا مكثفا من أبخرته يزيح الأكسجين من الجو بحيث تختنق جميع الكائنات الحية في الأماكن

المحيطة. وقد يؤدي انكسار حاوية كبيرة واحدة إلى إزاحة الأكسجين عبر أميال مربعة عديدة. وبالانتشار يتخفف الغاز ويختلط بالهواء ويصبح خطرا داهما لأنه يكون مع الهواء مخلوطا غازيا قابل للاشتعال. وعندما يحدث الاشتعال تتولد كرة نارية مهولة عبر كيلومترات تبيد كل شيء فيها. لهذا فلابد من العناية برقابة ووقاية حاويات الغاز السائل. وفي شكل (2-13) صورة لأحدى الناقلات البحرية للغاز النفطي المسال.

شكل(2-13) صورة أحدى الناقلات البحرية للغاز النفطي المسال

2-7 متكثف الغاز الطبيعي

متكثف الغاز الطبيعي هو خليط منخفض الكثافة من عدة سوائل هيدروكربونية توجد على شكل غازات في الغاز الطبيعي الخام المستخلص من العديد من حقول الغاز الطبيعي. و تتكثف هذه المواد من الغاز الخام عندما تنخفض حرارته تحت نقطة الندى الهيدروكربونية لذلك الغاز .

وغالبا ما يشار إلى متكثف الغاز الطبيعي باسم المتكثف أو متكثف الغاز وأحيانا يشار إليه باسم البنزين الطبيعي لاحتوائه على هيدروكربونات ذات درجات غليان توافق درجات غليان المواد المكونة للبنزين. وقد ينتج الغاز الطبيعي الخام من أحد

مصادر ثلاثة وهي:

آبار النفط الخام ويعرف الغاز المستخلص في هذه الحالة باسم الغاز المصاحب . وقد يوجد الغاز منفصلا عن النفط الخام في الآبار التحتية أو ذائبا فيه.

آبار الغاز الجاف وتنتج هذه الآبار عادة غازا جافا لا يحتوي أية سوائل هيدروكربونية. ويعرف هذا الغاز باسم الغاز غير المصاحب.

آبار المتكثف وتنتج هذه الآبار غازا خاما محتويا على الغاز الطبيعي السائل. ويعرف هذا الغاز أيضا بالغاز غير المصاحب.

2-7-1 مكونات متكثف الغاز الطبيعي

هناك المئات من حقول الغاز حول العالم لكل منها مكونات مختلفة لمتكثف الغاز. لكن هناك خصائص عامة لمتكثف الغاز، فكثافته النوعية تتراوح بين 0.5 إلى 0.8 وقد يحتوي على :

كبريتيد الهيدروجين.

ثيولات تعرف قديماً بالمركبتانات ويرمز لها برمزRSH ، حيث يعبر الحرفR عن مجموعة عضوية كالميثيل والإيثيل وغيرها.

ثاني أكسيد الكربون.

ألكانات غير متفرعة تحتوي على 2 إلى 12 ذرة كربون.

هكسان حلقي وأحيانا ألكانات حلقية أخرى.

مركبات عطرية كالبنزين والتولوين والزايلين والإيثيل بنزين.

2-8 الغاز الطبيعي

الغاز الطبيعي هو أحد مصادر الطاقة البديلة عن النفط وهو من المحروقات عالية الكفاءة قليلة الكلفة قليلة الانبعاثات الملوثة للبيئة نسبيا. والغاز الطبيعي مورد طاقة أوليّة مهمة للصناعة الكيمياوية .

ويتكون الغاز الطبيعي من العوالق، وهي كائنات مجهرية تتضمن الطحالب والكائنات الأولية التي ماتت وتراكمت في طبقات المحيطات والأرض وانضغطت هذه البقايا تحت طبقات رسوبية. وعبر آلاف السنين أدى الضغط والحرارة الناتجان عن الطبقات الرسوبية بتحويل هذه المواد العضوية إلى غاز طبيعي. ويعتبر الغاز الطبيعي خليط من الغازات الهيدروكربونية القابلة للاحتراق حيث يتكون أساسا من الميثان، كما يمكن أن يشمل الإيثان والبروبان والبيوتان والبنتان. وتكوين الغاز الطبيعي يمكن أن يتفاوت على نطاق واسع.

ولا يختلف الغاز الطبيعي في تكوينه كثيراً عن أنواع الوقود الحفري الأخرى مثل الفحم أو البترول. وحيث أن البترول والغاز الطبيعي يتكونان في نفس الظروف الطبيعية فإن هذين المركبين الهيدروكربونين عادةً ما يتواجدان معاً في حقول تحت الأرض أو تحت الماء. وعموماً فإن الطبقات الرسوبية العضوية المتواجدة في أعماق تتراوح بين 1000إلى 6000 متر عند درجات حرارة تتراوح بين 60 إلى 150 درجة مئوية تنتج بترولاً. بينما تلك الطبقات الموجودة عند أعماق أكبر وعند درجات حرارة أعلى فإنها تنتج غاز طبيعي. وكلما زاد عمق المصدر كلما كان أكثر جفافاً (أي تقل نسبة المتكثفات في الغاز. وبعد التكون التدريجي في القشرة الأرضية يتسرب الغاز الطبيعي والبترول ببطء إلى حفر صغيرة في الصخور المسامية القريبة التي تعمل كمستودعات لحفظ الخام، ولأن هذه الصخور تكون عادةً مملوءة بالمياه، فإن البترول والغاز الطبيعي – وكلاهما أخف من الماء وأقل كثافة من الصخور المحيطة – ينتقلان لأعلى عبر القشرة الأرضية لمسافات طويلة أحياناً. وفي النهاية تُحبس بعض هذه المواد الهيدروكربونية المنتقلة لأعلى في طبقة لا مسامية (غير منفذة للماء) من الصخور تُعرف بـ صخور الغطاء ولأن الغاز الطبيعي أخف من البترول فيقوم بتكوين طبقة فوق البترول تسمى غطاء الغاز .ولابد أن يصاحب البترول غاز يسمى بالغاز المصاحِب ، كذلك تحتوى مناجم الفحم على كميات من الميثان المُكوِن الرئيسي للغاز الطبيعي وفي طبقات الفحم الرسوبية يتشتت الميثان غالباً خلال مسام وشقوق المنجم، يسمى هذا النوع عادة بميثان مناجم الفحم .

والغاز الطبيعي عديم اللون والشكل ولا رائحة له في صورته النقية وعندما يحترق فإنه يعطي قدرا كبيرا من الطاقة. خلافا لبقية أنواع الوقود الحفري، إلا أن الغاز الطبيعي هو أيضا نظيف وعند حرقه تنبعث منه مستويات أدنى من مركبات يحتمل أن تكون ضارة في الهواء. ونحن بحاجة للطاقة باستمرار، لتدفئة منازلنا، وطهي طعامنا، وتوليد الكهرباء لدينا. هذه هي حاجتنا من الطاقة، ولذلك ارتقى الغاز الطبيعي لمثل هذا المستوى من الأهمية في حياتنا.

ونظراً لارتفاع المستوى المادي للبشر في العالم فقد زاد استهلاكهم من الطاقة بشدة من أجل تسيير السيارات التي تحملهم لأعمالهم، ومن أجل انتاج الكهرباء التي صارت لا غِنى عنها في الحضارة البشرية الحديثة، وأغراض كثيرة بخلاف ذلك. وحيث أن مصادر الطاقة في العالم ناضبة وغير متجددة يُعرَّف الاحتياطي المؤكد من البترول أو الغاز الطبيعي لحقل ما بأنه الكمية القابلة للاستخلاص على مدى عمر الحقل في ظل التكنولوجيا والاعتبارات الاقتصادية السائدة. وطبقاً لتعريف مجلة البترول والغاز الأميركية المتخصصة يتم تعريف الاحتياطي المؤكد من الغاز الطبيعي بأنه الكميات التي يمكن استخراجها في ظل ما هو معروف حالياً من الأسعار والتكنولوجيا. أما هيئة سيديجاز الفرنسية فتُعرِّفه بأنه الكميات المكتشفة التي يتأكد بقدر معقول من اليقين إمكانية إنتاجها في ظل الظروف الاقتصادية والفنية السائدة. ويُعدَّ التعريف الأول الأكثر تحفظاً لذا نجد أن احتياطيات الغاز الطبيعي العالمية في أول يناير عام 1999 طبقاً لتقدير مجلة البترول والغاز تقل بنسبة 7 ٪ عن تقديرات سيديجاز، بل إن احتياطيات الغاز الطبيعي لمنطقة الشرق الأقصى كانت طبقاً للمجلة تقل بنسبة 30% عن تقديرات سيديجاز. وكلا التعريفين يخضع للتقدير الشخصي أكثر منه لمعايير موضوعية ثابتة يمكن قياسها بدقة. لذا نجد بعض الدول تلجأ للمبالغة في تقدير ما لديها من احتياطيات وتسميها بالمؤكدة لأسباب كثيرة سياسية واقتصادية كالرغبة في الاقتراض بضمان ثروتها البترولية والغازية. وكما أن شركات البترول العالمية تميل أحياناً للمبالغة في التقديرات بهدف تقوية مراكزها المالية أو لتبرر قيامها بالإنتاج بوفرة. أو لتبرير إمكانية التصدير لخارج الدول

المنتجة. ومن أمثلة عدم دقة حسابات احتياطيات الثروة البترولية ما قامت به المكسيك من خفض احتياطاتها المؤكدة من الغاز الطبيعي بأكثر من النصف من 64 تريليون قدم مكعب عام 1999 إلى 30 تريليون قدم مكعب في عام 2000. وأيضاً قيام بريطانيا في التسعينات بخفض احتياطاتها المؤكدة من البترول بنفس القدر. ويصل إجمالي احتياطات الغاز الطبيعي في العالم طبقاً لأرقام عام 2005 لحوالي 6112 تريليون قدم مكعب وأكبر احتياطي للغاز الطبيعي في العالم يوجد في روسيا الاتحادية ويبلغ قدره 1680 تريليون قدم مكعب. ويوضح شكل (2-14) صورة لمحطة انتاج غاز طبيعي.

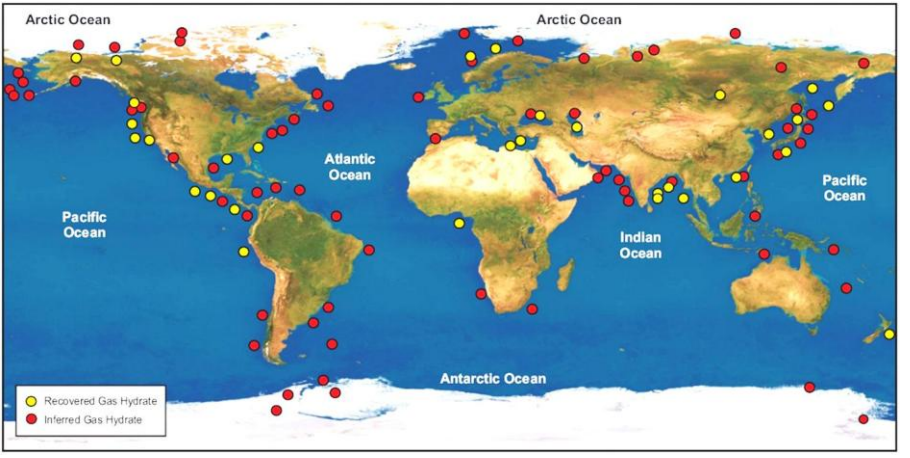
شكل: (2-14) محطة إنتاج غاز طبيعي

ويستخرج الغاز الطبيعي من آبار شبيهة بآبار النفط. ويصنف الغاز الطبيعي إلى غاز مصاحب وغاز غير مصاحب. فإذا تواجد الغاز الطبيعي مع النفط في نفس الحقل سمي بالغاز المصاحب. وإذا كان الحقل يحتوي فقط على الغاز الطبيعي دون النفط سمي بالغاز غير المصاحب. وتقام الكثير من محطات الغاز على مسافة من الشواطئ حيث يتم نقل الغاز بالأنابيب من منصات الإنتاج إلى محطة تجميع على الشاطئ ومنها إلى معمل تكرير الغاز حيث ينقّى من الشوائب والمركبات غير المرغوب فيها.

وتوجد حقول الغاز سواء في البحار أو اليابسة .

وتتم معالجة الغاز الطبيعي عبر عمليات كيميائية وفيزيائية مختلفة وذلك اعتمادا على تركيب الغاز الطبيعي. وبالرغم من تكون الغاز من مركبات هيدروكربونية خفيفة لكن قد يحتوي على مركبات غير مرغوب فيها مثل مركبات الكبريت والزئبق والماء وغيرها. وهذه المركبات يجب التخلص منها أو خفض تركيزاتها إلى المستويات المحددة عالميا . وفي مرحلة التنقية الأولى، يزال الماء أو أي سوائل أخرى من الغاز في وحدة إزالة السوائل. ثم يتم إزالة الغازات الحمضية من الغاز في وحدة إزالة الغازات الحمضية. ويتم تجفيف الغاز مرة أخرى ثم بعد ذلك يرسل غاز الميثان إلى السوق لمحطات التوزيع أو محطات توليد الطاقة أو غيرها. أما مكونات الغاز الأثقل مثل الإيثان والبروبان والبيوتان فيتم تسييلها على شكل غاز مسال. ويسوق الغاز المسيل كمواد أولية لتصنيع البتروكيماويات أو يعبأ كوقود للسخّانات ومواقد الطبخ في المنازل .وما يتبقى من الغاز الطبيعي يمكن ضخه عبر شبكة إمداد أو يمكن تسييله بالتبريد والضغط وتسويقه كغاز طبيعي مسيّل .

وينقل الغاز الطبيعي بأنابيب كبيرة من محطة الانتاج إلى محطات التوزيع. والطلب على الغاز الطبيعي يتقلب يوميا وموسميا، في حين أن واردات الإنتاج وخطوط الأنابيب ثابتة نسبيا على المدى القصير. وتخزين الغاز الطبيعي خلال فترات انخفاض الطلب يساعد على ضمان أن إمداداته تكون كافية ومتاحة خلال فترات ارتفاع الطلب. ويتم تخزين الغاز الطبيعي بكميات كبيرة في منشآت تحت الأرض وبكميات صغيرة في خزانات فوق الأرض وتحتها. وشكل (2-15) يعرض خريطة انتاج واحتياطي الغاز الطبيعي في العالم.



شكل (2-15): خريطة إنتاج واحتياطي الغاز الطبيعي في العالم.

2-8-1 استخدامات الغاز الطبيعي

يستخدم قطاع الطاقة الكهربائية من الغاز الطبيعي لتوليد الكهرباء. ويستخدم القطاع الصناعي الغاز الطبيعي كوقود للتدفئة ولأنظمة الحرارة والطاقة معا وكمادة خام لإنتاج المواد الكيميائية والأسمدة، والهيدروجين . وفي عام 2015، كان الغاز الطبيعي المصدر من حوالي 30٪ من استهلاك الطاقة في القطاع الصناعي الأمريكي.

ويستخدم القطاع السكني الغاز الطبيعي لتدفئة المباني والمياه ولطهي الطعام ولتجفيف الملابس وما يقرب من نصف المنازل في الولايات المتحدة تستخدم الغاز الطبيعي لهذه الأغراض .

كما يستخدم قطاع نقل الغاز الطبيعي كوقود للتشغيل والضواغط التي تتحرك بالغاز الطبيعي عبر خطوط الأنابيب .وهناك كمية صغيرة نسبيا من الغاز الطبيعي تستخدم كوقود في السيارات في شكل غاز مضغوط أوالغاز الطبيعي المسال.

2-8-2 الغاز الطبيعي في مصر

في يناير 2016، بلغ انتاج مصر اليومي من الغاز 4.5 بليون قدم مكعب وهو ما

يقل عن إجمالي احتياج مصر في مارس 2017 البالغ 6.4 بليون قدم مكعب يومياً (بدون استخدام مصادر أخرى مثل المازوت والنفط). وينمو الطلب على الطاقة في مصر بمعدل 13٪ سنوياً.

وتعد مصر من أولى دول الشرق الأوسط التي يكتشف فيها النفط والذي تحقق في أواخر القرن التاسع عشر، أما بالنسبة للغاز الطبيعي فقد اكتشف أول حقل للغاز في منطقة أبو ماضي في دلتا النيل عام 1967 من قبل شركة بلاعيم للبترول وهي شركة مشتركة بين الهيئة المصرية العامة للبترول والشركة الدولية للنفط، وحدث أول اكتشاف غازي بحري في أبو قير في البحر الأبيض المتوسط عام 1969. تلا ذلك تحقيق عدة اكتشافات منها في القرعة، وقنطرة 1، وخلال1، وناف، وبورفؤاد، وقار، وقرش. وتعد منطقة البحر المتوسط المنطقة الواعدة في تحقيق الاكتشافات الغازية وعلى الأخص في المياه العميقة، والتي تم فيها اكتشاف حقول، رشيد، سافرون، سيميان، كنج مريوط، واكتشافات أخرى في منطقة الصحراء الغربية وأهمها القصر، الأبيض ومطروح. وقد تم اكتشاف حقل أبى الغرانيق في الصحراء الغربية في عام 1971، وأدت النتائج المُشجِّعة لتلك المرحلة المبكرة لتوسع عمليات البحث في الدلتا والصحراء الغربية وفي مياه البحر المتوسط التي بدأت الاستكشافات الأولية فيها عام 1975، إلا إنه لم تبدأ حملات الاستكشاف المكثفة هناك قبل عام 1995 لتقود للعديد من اكتشافات الغاز البحرية منذ عام 1998 وحتى الآن.

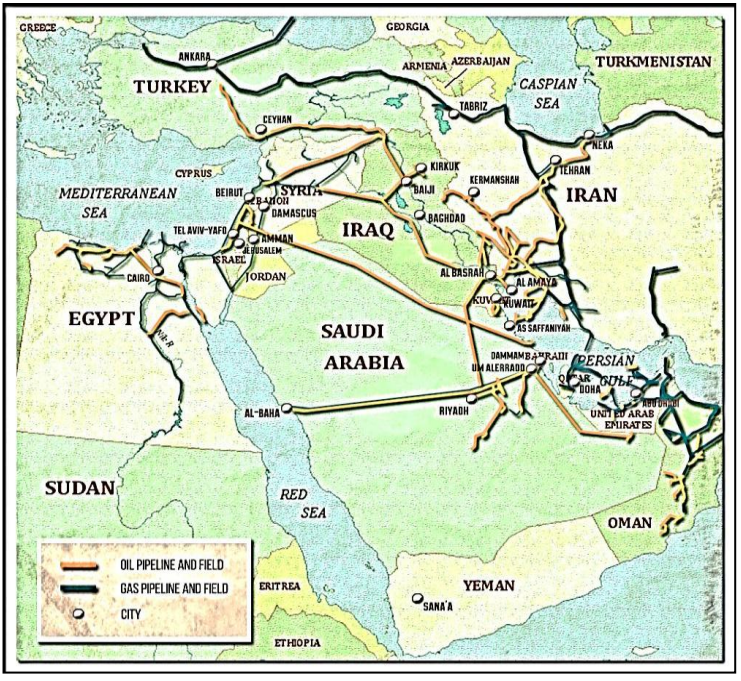
وقد ساهمت هذه الاكتشافات إلى حد كبير في زيادة احتياطي الغاز الطبيعي وزيادة انتاجه اليومي مما ساعد على دخول مصر قائمة الدول المصدرة للغاز المسال وكذلك تصدير الغاز الطبيعي للدول العربية المجاورة من خلال مشروع الخط الغاز العربي وفي الوقت نفسه تعمل مصر على الموازنة بين الطلب المحلي المتزايد والتصدير.

ويذكر بعض المؤرخين أن استخدام البترول الخام بدأ في مصر منذ عهد الفراعنة كوقود للإضاءة في المصابيح كما يتضح على جدران المعابد. ولم يُكتَشف الغاز الطبيعي بكميات تصلح للاستغلال التجاري إلا في عام 1967 حين اكتُشِفَ حقل أبو ماضي في وسط الدلتا الذي كان بداية الاستكشافات الكبرى للغاز الطبيعي في مصر.

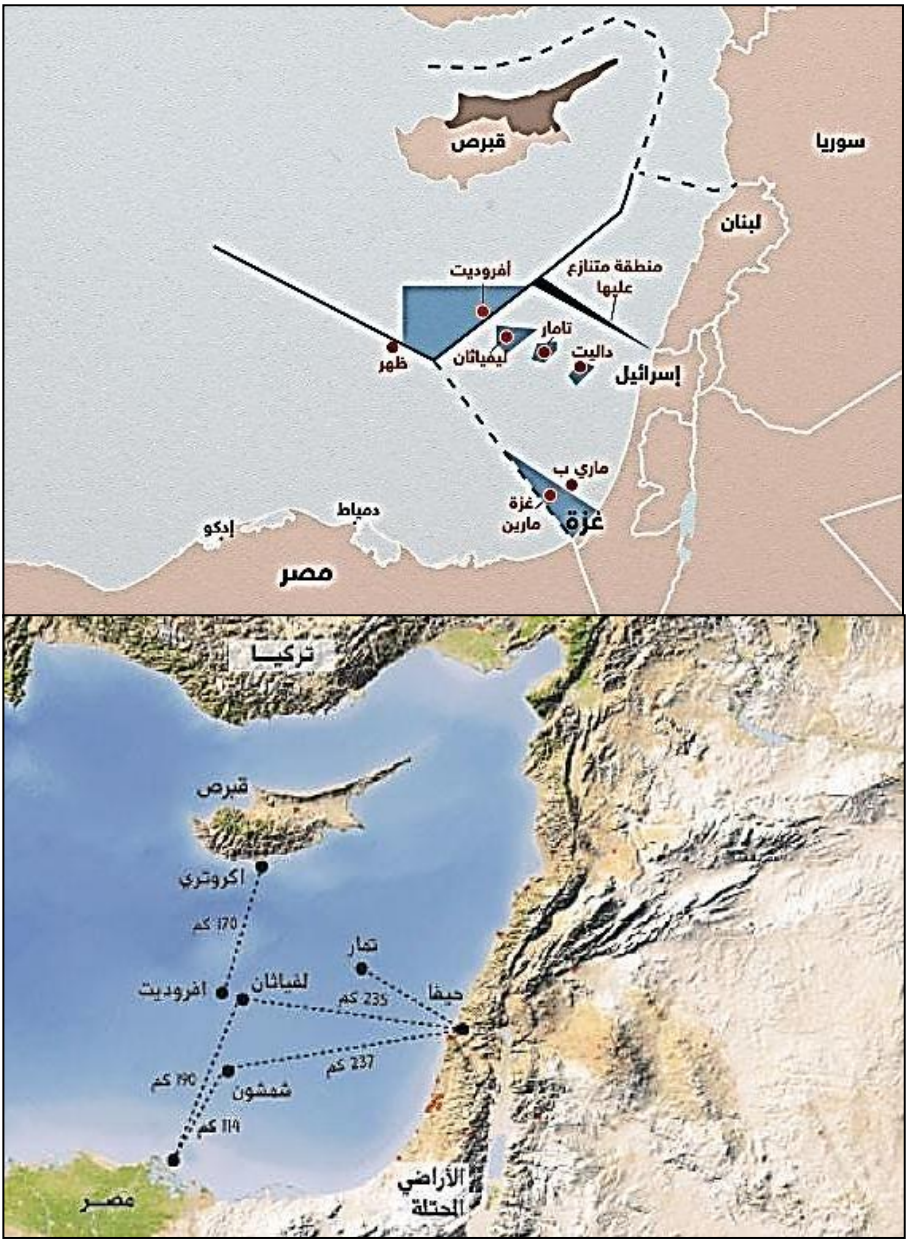
وفي ظل زيادة حجم الغاز المكتشف في مصر في الفترة الاخيرة. وخلال السنوات الماضية، تم اكتشاف حوالي 5 تريليون قدم مكعب سنويا ليصل الاحتياطي المؤكد من الغاز الطبيعي الي 67 تريليون قدم مكعب عام 2006، مقابل 36 تريليون قدم مكعب عام 1999.

وبلغ إجمالي إنتاج الغاز الطبيعي من الحقول في مصر حوالي 2135 مليار قدم مكعب خلال عام 2007، تم توجيه حوالي 1519 مليار قدم مكعب منها للوفاء باحتياجات السوق المحلى بنسبة 71.2٪ يستخدم منها حوالي 168 مليار قدم مكعب لعمليات الرفع والحقن بالغاز في الحقول واستخلاص مشتقات الغاز، وتم توجيه حوالي 615 مليار قدم مكعب للتصدير بنسبة 28.8 ٪.

وفي شكل (2-16) خريطة خطوط النفط والغاز الطبيعي في الشرق الأوسط، أما شكل (2-17) يعرض خريطة حقول الغاز في البحر المتوسط.



شكل (2-16): خريطة خطوط النفط والغاز الطبيعي في الشرق الأوسط.



شكل (2–17): خريطة حقول الغاز في البحر المتوسط

2- 8 -3 الغاز الطبيعي والبيئة

الغاز الطبيعي لديه العديد من الصفات التي تجعله أعلى كفاءة، ونظيف نسبياُ، ومصدر اقتصادي كبير للطاقة. ومع ذلك هناك قضايا البيئة والسلامة المرتبطة بإنتاج واستخدام الغاز الطبيعي.

وحرق الغاز الطبيعي لإنتاج الطاقة يؤدي إلى انبعاث أنواع من الملوثات مثل ثاني أكسيد الكربون لكن بنسبة أقل من الانبعاثات الناتجة عند حرق المصادر الأحفورية الأخرى كالفحم أو المنتجات النفطية . وميزة الحرق النظيف نسبياً للغاز ساهمت في زيادة استخدام الغاز الطبيعي لتوليد الكهرباء وزيادة استخدام الغاز الطبيعي كوقود للنقل.

ويتكون الغاز الطبيعي في معظمه من الميثان والذي هو أحد الغازات الدفيئة لذلك فإن تسرب بعض الغاز الطبيعي إلى الغلاف الجوي والناتج من آبار النفط والغاز الطبيعي وصهاريج التخزين أو خطوط الأنابيب ومحطات المعالجة يؤدي ذلك إلى زيادة في ظاهرة الاحتباس الحراري. وفي عمليات إنتاج النفط والغاز الطبيعي تتم محاولة منع تسرب الغاز الطبيعي .وفي بعض مناطق الانتاج تكون كمية الغاز قليلة وعملية نقل الغاز غير مجدية اقتصاديا فيتم اشعال وحرق الغاز في مواقع الآبار ويعتبر هذا أكثر أمنا من إطلاق غاز الميثان في الغلاف الجوي حيث أن غاز ثاني أكسيد الكربون أقل كثيرا في زيادة الاحتباس الحراري من الميثان.

وعند استكشاف الجيولوجيين لإحتياطي الغاز الطبيعي تحت الأرض، فإنهم قد يضطروا إلى إزالة الغطاء النباتي والتربة لعمل طرق لسيارات النقل والشاحنات. فبئر للغاز الطبيعي المستكشف على الأرض يتطلب تجهيز المنطقة المحيطة وتركيب معدات الحفر وأنشطة الحفر ينتج منها بعض ملوثات الهواء ويضر ذلك بالحياة البرية والموارد المائية . ونظرا للحاجة إلى خطوط أنابيب لنقل الغاز الطبيعي من الآبار فذلك يتطلب عادة حفر الأراضي لدفن هذه الأنابيب. وإنتاج الغاز الطبيعي يمكن أن يؤدي أيضا إلى إنتاج كميات كبيرة من المياه الملوثة .هذه المياه لابد من التعامل معها بشكل صحيح وتخزينها ومعالجتها بحيث لا تلوث الأرض أوالمياه النقية.

وعلى الرغم من أن الغاز الطبيعي الذي يستخدمه الناس كوقود تتم معالجته بحيث يكون أساسا الميثان والغاز الطبيعي غير المعالج قد يحتوي على العديد من المركبات الأخرى، بما في ذلك كبريتيد الهيدروجين، وهو غاز سام جدا فمع التركيزات العالية من كبريتيد الهيدروجين وأثناء حرق الغاز الطبيعي ينتج ثاني وأول أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكبريت، وأكاسيد النيتروجين، والعديد من المركبات الأخرى اعتمادا على التركيب الكيميائي للغاز الطبيعي. وغالبا ما تستخدم المحركات لتشغيل المعدات والضواغط التي تنتج ملوثات للمياه إضافة إلى التلوث الضوضائي. وتقنيات الحفر الحديثة للغاز الطبيعي خفضت من نسب هذا التلوث الناتج في المنطقة المحيطة بحقل الغاز. وكذلك تقنيات الحفر الأفقي والاتجاهي تجعل من الممكن إنتاج الغاز الطبيعي أكثر من بئر واحد بخلاف ما كان عليه في الماضي ولذلك تكون الحاجة لعدد أقل من الآبار لتطوير حقل الغاز الطبيعي. كما أن التكسير الهيدروليكي في الصخر والحجر الرملي والتكوينات الصخرية الكربونية تكشف احتياطيات كبيرة من الغاز الطبيعي التي كانت في السابق مكلفة للغاية للقيام بها.

والتكسير ينطوي على ضخ السوائل تحت ضغط عال في البئر لكسر الصخور، والتي تسمح للغاز الطبيعي للهروب من الصخور، لكن هناك بعض المخاوف البيئية المحتملة المرتبطة بإنتاج الغاز الطبيعي باستخدام هذه التقنية حيث أن شق الآبار يتطلب كميات كبيرة من المياه .وفي بعض الأماكن استخدام كميات كبيرة من المياه لإنتاج الغاز الصخري قد يؤثر على توافر المياه للاستخدامات الأخرى في هذه المنطقة وتؤثر على المصادر المائية بها. وأحيانا سوائل التكسير الهيدروليكية قد تحتوي على بعض المواد الكيميائية الخطرة التي قد تنطلق من انسكاب أو تسرب السائل نتيجة التركيبات الخاطئة أو الحفر مما يؤثر على المنطقة المحيطة.

والتكسير الهيدروليكي ينتج أيضا كميات كبيرة من مياه الصرف والتي تحتوي على مواد كيميائية مذابة وبعض الملوثات الأخرى التي تحتاج إلى عمليات معقدة من

المعالجة قبل التخلص منها أو إعادة استخدامها . ووفقا لهيئة المسح الجيولوجي الامريكية عملية التكسير الهيدروليكية تسبب زلازل صغيرة ولكن هذه الزلازل دائما أصغر من أن تشكل مصدراُ للقلق. وعند استخراج الغاز الطبيعي فإن سوائل التكسير والمياه المياه المستخدمة تعود إلى السطح ويتم التخلص منها في كثير من الأحيان من عن طريق الحقن في الآبار العميقة. وحقن المياه العادمة إلى باطن الأرض يمكن أن يسبب خللاً في توازن الطبقة الصخرية وتحدث زلازلا كبيرة بما فيه الكفاية لتسبب أضرارا بالإنسان والمنطقة الحادث بها الزلزال.

وأحيانا يتسرب الغاز الطبيعي إلى الغلاف الجوي أثناء وبعد حفر الآبار وتسرب الغاز الطبيعي يمكن أن يسبب اشتعاله وانفجاره فى الهواء. وهناك لوائح حكومية صارمة ومعايير صناعة يجب العمل بها لضمان نقل وتخزين وتوزيع واستخدام آمن للغاز الطبيعي. والغاز الطبيعي ليس له رائحة وشركات الغاز الطبيعي تضيف مادة ذات رائحة قوية للغاز الطبيعي بحيث يمكن للناس أن تشعر به عند التسرب .

2-9 الفحم

يُعد الفحم من وسائل إنتاج الطاقة الرئيسيّة في العالم، كما يُعدّ مقياساً لتطوّر الدول وتقدمها، وقد اكتشفه الإنسان منذ قديم الزمان وسخّره لخدمته .ويتكوّن الفحم بشكل أساسي من عنصر الكربون مع وجود بعض العناصر القليلة الأخرى. ويوجد نوعانً أساسيّان من الفحم حسب طريقة التكوّن ونوعيّة المواد الموجودة فيه وهما الفحم الحجري، والفحم النباتي .

2-9-1 الفحم الحجري

الفحم الحجري، صخر أسود أو بني اللون قابل للاشتعال والاحتراق. وعند احتراق الفحم الحجري فإنه يعطي طاقة على شكل حرارة. ويمكن استعمال الحرارة الصادرة عن احتراق الفحم الحجري في تدفئة المنازل، وفي عمل منتجات عديدة مختلفة. ولكن الاستخدام الأساسي لهذه الحرارة هو في إنتاج الكهرباء في محطات توليد الطاقة الكهربية. وتعطي معامل إنتاج الطاقة باحتراق الفحم الحجري ثلثي الكهرباء المستهلكة في العالم. ويستعمل الفحم الحجري كذلك في إنتاج فحم الكوك

وهو مادة خام أساسية في صناعة الحديد والفولاذ. وتنتج مواد أخرى عن عملية إنتاج فحم الكوك، يمكن استعمالها بدورها في صناعة بعض المنتجات كالأدوية والأصباغ والأسمدة.

وكان الفحم الحجري في فترة ماضية المصدر الرئيسي للطاقة في جميع البلدان الصناعية. وقد أنتجت المحركات العاملة بالبخار الناتج عن احتراق الفحم الحجري معظم القدرة اللازمة لهذه البلدان منذ بداية القرن التاسع عشر وحتى القرن العشرين. ومنذ بداية القرن العشرين، أصبح النفط والغاز الطبيعي المصدرين الرائدين للطاقة في معظم أرجاء العالم. وعلى نقيض الفحم الحجري. فإن النفط يحول إلى مواد وقود أخرى لازمة لتشغيل وسائل المواصلات الحديثة. وقد حل استعمال الغاز الطبيعي محل الفحم الحجري لتوليد الطاقة الحرارية. ولكن يجرى حاليًا استهلاك موارد العالم من النفط والغاز الطبيعي بسرعة. وإذا ما استمر الاستهلاك بالمستوى الحالي فإن موارد النفط قد تستهلك وتنضب في منتصف القرن الحادي والعشرين. كما أن موارد الغاز الطبيعي ستنضب بدورها في أواخر القرن الحادي والعشرين. أما مصادر العالم من الفحم الحجري فهي باقية ومستمرة إلى حوالي 220 سنة مقبلة وذلك وفق معدلات الاستهلاك الحالية.

وقد يسدُّ الاستعمال المتنامي للفحم الحجري في إنتاج الكهرباء، بشكل خاص، النقص المتزايد لكل من الغاز والنفط. ومع ذلك فإن استعمال الفحم الحجري يحمل في طياته مشاكل من نوع خاص، إذ أن احتراقه يشكل سببًا رئيسيًا لتلوث الهواء. وقد طُوِّرت وسائل عديدة للتقليل من التلوث ولكنها مكلفة ولم تثبت جدواها حتى الآن. ولابد من تحسين هذه الطرق والأساليب قبل التوسع الكبير في استعمال الفحم الحجري. وبالإضافة لهذا فإن بعض الفحم الحجري يوجد عند أعماق كبيرة تحت سطح الأرض، حيث يصعب استخراجه.

وفي الماضي كانت الوظائف التي تعد أكثر خطورة وصعوبة من وظيفة عامل في منجم فحم حجري تحت سطح الأرض قليلة. ففي القرن التاسع عشر الميلادي كان على العديد من عمال المناجم أن يعملوا عشر ساعات يوميًا تحت الأرض ولمدة ستة

أيام كل أسبوع. وقد كانت المعاول هي الأدوات الوحيدة التي تستعمل في تكسير وتفتيت الفحم الحجري. وكان على عمال مناجم الفحم الحجري أن يجرفوا الفحم الحجري المتفتت ويحملوه في عربات. وفي حالات عديدة كان الأطفال دون سن العاشرة يجرُّون عربات الفحم الحجري من المناجم. كما عملت النساء في عمليات التحميل والنقل بالعربات. ومع مرور الزمن فقد الآلاف من الرجال والنساء والأطفال حياتهم في حوادث المناجم. كما مات آلاف آخرون جرّاء إصابتهم بأمراض الرئتين بسبب استنشاق رماد الفحم الحجري طوال حياتهم العملية في المناجم.

وتُنفِذ الآلات هذه الأيام معظم الأعمال في مناجم الفحم الحجري، كما تحسنت إجراءات الأمان في المناجم، وقلّت ساعات العمل، وتم حظر تشغيل الأطفال في المناجم قبل نهاية القرن التاسع عشر الميلادي. وانخفضت نسبة الوفيات بسبب حوادث المناجم بصورة كبيرة في القرن العشرين. وفي كل هذه الأحوال فإن مهنة تعدين الفحم الحجري من مناجمه مازالت مهنة المخاطر. وشكل (2-18) يعرض صورة للفحم الحجري.

شكل: (2-18) فحم حجري

2-9-2 تاريخ الفحم الحجري وتطور انتاجه

لا أحد يعرف أين ومتى اكتشف الإنسان أن احتراق الفحم الحجري يصدر حرارة. وربما تم هذا الاكتشاف بصورة مستقلة أو بشكل انفرادي في أجزاء عديدة مختلفة من العالم منذ أزمنة بعيدة. ويذكر أن الصينيون أول من طوّر صناعة الفحم الحجري. وبحلول القرن الرابع الميلادي، كان الصينيون قد بدأوا تعدينه من رواسبه السطحية، ومن ثم استعملوه في تدفئة المنازل وصهر المعادن. وفي القرن الحادي عشر الميلادي أصبح الفحم الحجري الوقود الرئيسي في الصين.

وتقدم تعدين الفحم الحجري بهدف التجارة والكسب ببطء أكثر في أوروبا. فخلال القرن الثالث عشر الميلادي بدأ إنشاء عدد من مناجم الفحم الحجري التجارية في إنجلترا وفيما يسمى الآن ببلجيكا. وكان الفحم الحجري يُستخرج من مناجم صغيرة مكشوفة حفرت لهذا الغرض، ومن ثَم يتم استعماله أساسًا في عمليات صهر وطرْق المعادن. وقد اعتبر بعض الأوروبيين الفحم الحجري وقودًا ملوثا ورفضوا استخدامه.

وخلال القرن السادس عشر الميلادي، استهلكت المصانع في إنجلترا كميات كبيرة من الفحم النباتي في مصانع بعض المنتجات كالطوب والزجاج وملح الطعام والصابون. وكان الخشب والفحم النباتي المصنوع منه هما الوقودين المفضلين في أوروبا حتى بداية القرن السابع عشر الميلادي. وأثناء هذه الأعوام حصل نقصان حاد للخشب في غربي أوروبا، لهذا عمدت أقطار أوروبا الغربية وخاصة إنجلترا إلى زيادة إنتاجها من الفحم الحجري بشكل مكثف للتغلب على أزمة نقصان مادة الوقود، حيث أصبح الخشب نادرًا جدًا في إنجلترا، إلى درجة أن معظم المصانع لم تجد بُدًا من التحول إلى الفحم الحجري. وفي نهاية القرن أنتجت إنجلترا حوالي 80٪ من مجموع إنتاج العالم من الفحم الحجري. وبعد ذلك بقيت إنجلترا الرائدة في إنتاج الفحم الحجري لفترة حوالي مائتي عام.

وقد استُعمل الفحم النباتي على نطاق واسع في إنجلترا وقودًا في عمليات تجفيف المَلْتْ وهو الشعير المنقوع في الماء والذي يشكل المادة الأساسية في شراب الجعة

أي الخمر. وحاول منتجوا الجعة استعمال الفحم الحجري في هذه العملية ولكن الملت كان يمتص غازاته، الأمر الذي أفسد مذاق الجعة. وأدرك منتجو الجعة أن غازات الفحم الحجري غير المرغوبة يمكن إلغاؤها وإزالتها إذا تم تسخينه مسبقًا في أفران محكمة الإغلاق. ولم يدركوا أنهم بهذا يطورون عملية إنتاج الكوك من الفحم الحجري. وفي القرن الثامن عشر الميلادي، نجح منتج حديد إنجليزي اسمه أبراهام داربي في استعمال الكوك ليصهر الحديد. وبعد ذلك حل الكوك تدريجيًا محل الفحم النباتي كوقود مُفضّل في عمليات إنتاج الحديد.

وإن انتشار طريقة إنتاج الحديد الجديدة هذه أصبحت جزءًا من تطور كبير حدث في إنجلترا وهو الثورة الصناعية. تمثلت هذه الثورة بشكل رئيسي في زيادة إنتاج المصانع بصورة هائلة. وقد ساهم تطور الآلة البخارية في إنجلترا في القرن الثامن عشر الميلادي في زيادة إنتاج المصانع إلى حد كبير. وكما وفرت المحركات البخارية القدرة اللازمة لتشغيل آلات المصانع. وتتطلب المحركات البخارية إمدادًا كبيرًا من الطاقة التي شكّل الفحم الحجري الوقود الوحيد المتاح لتأمينها في ذلك الوقت.

خلال القرن التاسع عشر الميلادي امتدت الثورة الصناعية من إنجلترا إلى أجزاء أخرى في العالم. ونجحت هذه الثورة بشكل خاص في الأقطار التي تمتلك كميات وفيرة من الفحم الحجري. وهكذا أدى الفحم الحجري الدور الرئيسي في نمو الصناعة خلال تلك الفترة في أوروبا وأمريكا الشمالية.

وأصبح الفحم الحجري ضروريًا ليس فقط من أجل التصنيع والمصانع بل في وسائل المواصلات أيضًا حين أصبحت السفن التجارية والآلات البخارية الأخرى هي وسائل المواصلات الرئيسية. وقد تطلّب ذلك الحصول على كميات ضخمة من الفحم الحجري لوسائل المواصلات البخارية كوقود لغلاياتها. وكما نمت الصناعة ووسائل المواصلات في الولايات المتحدة، فقد نما أيضًا بشكل موازٍ إنتاج الفحم الحجري. وفي بداية القرن التاسع عشر الميلادي كان هناك عدد قليل من مناجم الفحم الحجري واستعمالاته في الولايات المتحدة. وفي أواخره حلّت الولايات المتحدة محل إنجلترا كبلد رائد في إنتاجه في العالم. وبقيت الولايات المتحدة رائدة

في إنتاج الفحم الحجري حتى أواسط القرن العشرين، حين هبط احتياجها منه مع ازدياد استعمال النفط والغاز الطبيعي. وقد تفوق الاتحاد السوفييتي سابقًا على الولايات المتحدة في إنتاج الفحم الحجري منذ أواخر خمسينيات القرن العشرين إلى أواخر السبعينيات. وفي الثمانينيات أصبحت الصين في المركز الأول تليها الولايات المتحدة في المركز الثاني.

وقد أدت النُدرة المتنامية للنفط والغاز الطبيعي إلى ارتفاع حاد في طلب الفحم الحجري. ونتيجة لهذا ازداد إنتاج العالم من الفحم الحجري بشكل كبير منذ عام 1970م حتى عام 1980م. وقد استُهلك الإنتاج الزائد منه لإنتاج الكهرباء بشكل رئيسي.

وفي الوقت الراهن يتم إنتاج الكهرباء باستخدام الفحم الحجري وقودًا بتكلفة أقل من إنتاجها باستعمال الغاز الطبيعي أو زيت الوقود. ومع ذلك فإن تكلفة الفحم الحجري المستخدم في إنتاج الكهرباء ستزداد بالتأكيد لعدة أسباب. ومن أجل المحافظة على البيئة، والوصول إلى شروط بيئية مثالية فإن معامل إنتاج القدرة الكهربائية التي تقوم بحرق فحم حجرى ذو محتوى متوسط أو محتوى عالٍ من الكبريت عليها أن تنفق أموالاً طائلة لإنشاء معامل لغسل ثاني أكسيد الكبريت للحصول على فحم حجري ذي محتوى قليل من الكبريت. ويجب على معامل إنتاج القدرة الكهربائية إنفاق المال اللازم لاستيراده من مواطن إنتاجه الرئيسية. وعند استهلاك ترسبات الفحم الحجري القريبة من سطح الأرض يتعين حفر مناجم أعمق، وبالتأكيد فإن التكلفة العالية اللازمة لتشغيل المناجم بالغة العمق ستضاف إلى أسعاره.

ويضع منتجوا القدرة الكهربائية كغيرهم من رجال الأعمال زيادة التكلفة على المستهلك. وهكذا نرى أنه ومع توفر الفحم الحجري فإن الطاقة التي يعتمد إنتاجها عليه ستكون مكلفة بإطراد.

2-9-3 كيف تكوّن الفحم الحجري؟

يعتقد أن الفحم الحجري تكون من بقايا نباتات ماتت ودفنت قبل ملايين السنين. ولهذا فإن الفحم الحجري يمكن اعتباره وقودًا أحفوريًا. ويعتقد أن النباتات التي شكلت الفحم الحجري قد نمت في مستنقعات. وعند موت النباتات تشكلت بالتدريج طبقة سميكة من مادة النبات فوق قاع المستنقع. ثم أخذت تلك المادة تتصلب مع الزمن وتتحوّل إلى مادة أخرى تسمى الخُث وهو نسيج نباتي متفحم. ومع مرور الزمن أصبحت رواسب الخث مدفونة تحت الرمال والمعادن الأخرى. وبتراكم المادة المعدنية فإن بعضًا منها قد تحوَّل إلى صخر كحجر الرمل والطَّفل. وبتزايد ثقل الطبقات الصخرية وثقل المواد الأخرى الفوقية بدأ تحوُّل الخث إلى فحم حجري. ويطلق على الفحم الحجري والحجر الرملي والصخور الأخرى التي تشكلت من مواد مترسبة اسم الصخور الرسوبية.

تنتج المرحلة الأولى من مراحل تكوين الفحم الحجري فحمًا بنيًا داكن اللون يسمى اللجنيت خشب متمعدن. ويأتي اللجنيت من ترسبات الخث المدفونة الواقعة تحت ضغط شديد آت من ثقل المواد التي تعلو ترسبات الخث، وكذلك من تأثير الحركات الداخلية لقشرة الأرض .وباستمرار زيادة الضغط يتحول اللجنيت إلى فحم أكثر صلابة يسمى الفحم تحت القاري أو تحت الحمري. وتحت ضغوط أعظم يتحول الفحم شبه القاري إلى فحم أشد صلابة وقوة يسمى الفحم القاري أو الحمري. وتحت تأثير ضغوط بالغة الشدة يتغير الفحم القاري إلى فحم الأنتراسيت، وهو أكثر أنواع الفحم الحجري صلابة.

وفي معظم الحالات يكون الأنتراسيت هو أقدم أنواع الفحم عمرا كما يكون اللجنيت أحدثها عمرًا بين أنواع الفحم الأخرى. وقد بدأت بعض أنواع الأنتراسيت بالتشكل قبل ما يزيد على 400 مليون عام. بينما تشكلت بعض أنواع اللجنيت خلال المليون عام الماضية. وأعظم عصر تشكل فيه الفحم الحجري كان أثناء حقبة من تاريخ الأرض تعرف بالعصر الكربوني، وذلك قبل حوالي 290-360 مليون عام. وقد غطت المستنقعات أجزاء كبيرة من سطح الأرض أثناء ذلك العصر. كما نمت

نباتات السراخس الطويلة، والنباتات شبيهة الأشجار في هذه المستنقعات وأنتجت بعد موتها كميات ضخمة من المادة المكوِّنة للخث. وتعرف الآن ترسبات وفيرة من الفحم القاري تطورت عن كميات هائلة من ترسبات الخث التي تشكلت أثناء العصر الكربوني. ويستلزم حوالي 1–2 متر من مادة النبات المضغوط لإنتاج طبقة ذات سمك 0.3 متر فحم البتومين.

ولاتزال المواد النباتية تتراكم في بيئات ملائمة لتشكل الفحم الحجري كبيئات أراضي المستنقعات الواسعة مثل أرض الإفرجليدز في جنوبي فلوريدا في الولايات المتحدة الأمريكية. ويمكن أن يتطور تشكيل الخث في ظروف ملائمة من المواد النباتية المتراكمة، ثم يتحول بعد مئات آلاف السنين إلى أنواع أخرى مختلفة من الفحم الحجري.

وتسمى طبقات الفحم الحجري راقات الفحم الحجري أو عروق الفحم الحجري .ويتراوح سمك هذه الراقات بين أقل من 2.5 سم و120 م أو أكثر. وتتكون راقات الفحم الحجري الأكثر سمكًا من أنواع شبه قارية أو أنواع لجنيتية. ويتألف العديد من رواسب الفحم الحجري من راقين أو أكثر يكونان منفصلين بعضهما عن بعض بطبقات صخرية. ونشأت هذه التكوينات بواسطة مستنقعات ملائمة جديدة مُشكِّلة للفحم الحجري تطورت فوق مستنقعات أخرى مدفونة. وكل مستنقع جديد أصبح مدفونًا تطور إلى راق من الفحم الحجري المستقل.

وتقع بعض طبقات الفحم الحجري موازية لسطح الأرض تقريبًا. وتكون طبقات أخرى مائلة بفعل الحركات الأرضية وتوجد بزاوية مائلة مع سطح الأرض. وعادة ما تتكون طبقات الفحم الحجري العميقة من فحوم الأنتراسيت القار. وفي حالات عديدة نجد أن الحركات الأرضية قد قامت برفع طبقات فحوم الأنتراسيت القار العميقة إلى وضع قريب من سطح الأرض. وتعتبر مثل هذه الحركات الأرضية مسؤولة أيضًا عن وجود راقات فحمية في التلال والجبال.

2-9-4 أنواع الفحم الحجري

تعتمد طريقة استخدام الفحم الحجري على تركيبه الكيميائي ومحتوى الرطوبة فيه. وغالبًا ما يشار إلى الفحم الحجري كمعدن، إلا أنه ليس معدنًا حقيقيًا، إذ ليس له تركيب كيميائي ثابت. وتتركب كل الفحوم الحجرية من أجسام صلبة معينة ومن رطوبة. أما الأجسام الصلبة فتتركب أساسًا من عناصر الكربون والهيدروجين والنيتروجين والأكسجين والكبريت .ولكن الفحوم الحجرية تتباين كثيرًا من حيث محتواها من هذه العناصر، وكذلك من حيث محتواها من الرطوبة. وفي الحقيقة لا يوجد ترسبان من الفحم الحجري متشابهان تمامًا من حيث التركيب.

وتصنف الفحوم الحجرية عادة طبقًا لكمية محتواها من الكربون. وعليه تُجمع الفحوم الحجرية في أربعة أصناف أو رتب رئيسية هي:

- الأنتراسيتات.
- الفحوم الحمرية أو القارية.
- الفحوم تحت الحمرية أو تحت القارية.
- اللجنيتات أو الفحوم البنية اللون.

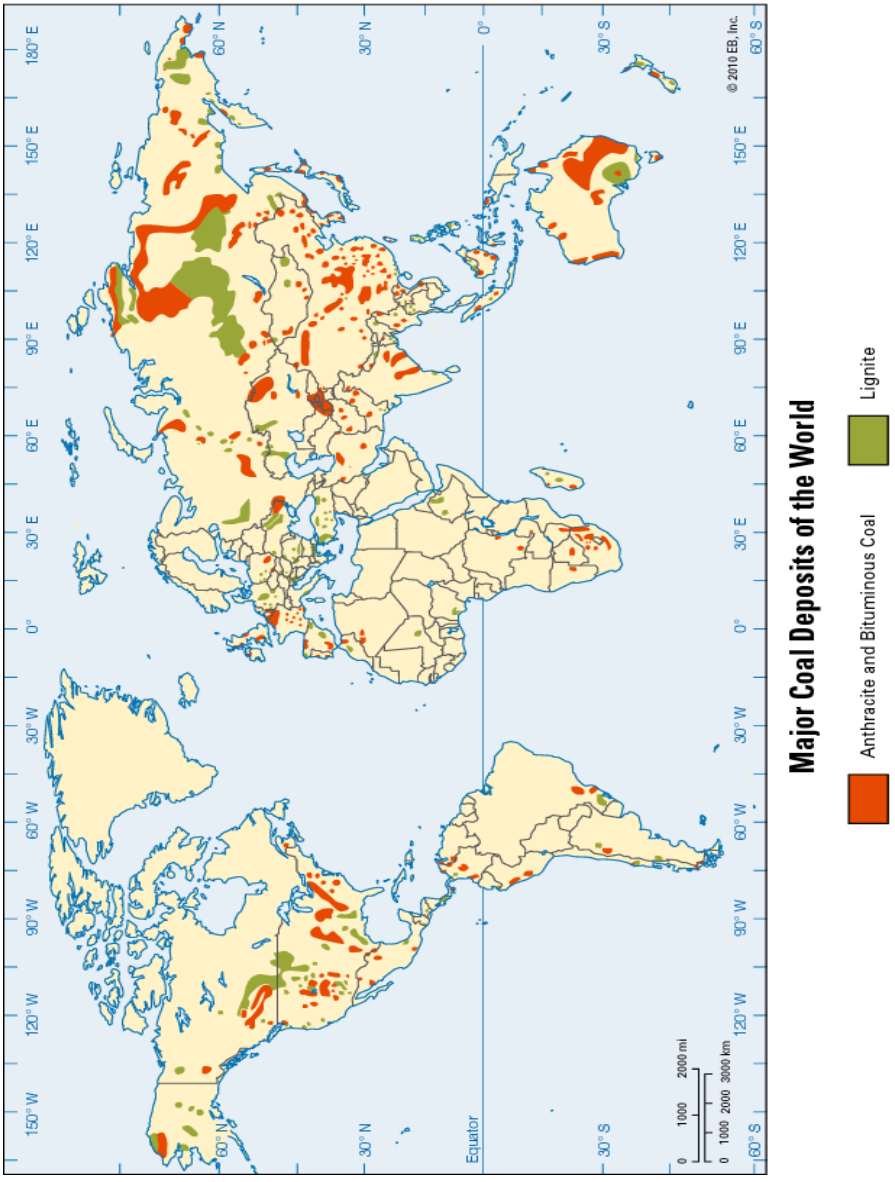
ويتناقص محتوى الكربون في الفحوم الحجرية مع تدني رتبها. فالأنتراسيتات ذات الرتبة الأعلى تحتوي على حوالي 98٪ من عنصر الكربون، بينما يحتوي اللجنيت ذو الرتبة الأدنى على حوالي 30٪ من عنصر الكربون. أما كمية الرطوبة في الفحوم الحجرية فتتزايد عكسيًا مع تدني رتبها في الفحوم تحت القارية واللجنيتات. وتحتوي الفحوم الأخيرة على طاقة حرارية أقل من الطاقة الحرارية في كل من الأنتراسيتات والفحوم القارية.

ويشار إلى الطاقة الحرارية على أنها كمية الحرارة الناتجة عن احتراق مقدار مُعَيَّن من الفحم الحجري .والفحوم الحمرية من الفحوم الأكثر وفرة، كما أنها الأكثر استخداما من بين رتب الفحم الحجري الرئيسية. وهي ذات طاقة حرارية أعلى قليلا مما تنتجه فحوم الأنتراسيتات، وهي الفحوم الوحيدة الملائمة لإنتاج الكوك. أما

الأنتراسيتات فهي صعبة الاشتعال كما أنها بطيئة الاحتراق لا تناسب الطرق الحديثة المعتادة لإنتاج الطاقة الكهربائية من الفحم الحجري. كما أنها الأقل وفرة من بين رتب الفحوم الحجرية الأربع.

2-9-5 استخدامات الفحم الحجري

يستعمل الفحم الحجري بكثرة في مناطق من قارتي آسيا وأوروبا في تدفئة المنازل والمباني الأخرى. وفي الولايات المتحدة حل الغاز الطبيعي والنفط محل الفحم الحجري كوقود للتدفئة. ومع ذلك فإن ارتفاع تكلفة النفط والغاز الطبيعي قد أدت ببعض المصانع والمباني التجارية إلى العودة إلى استخدام الفحم الحجري. والأنتراسيتات من أكثر الفحوم المحترقة نظافة ولذلك فهي المفضلة في عملية تدفئة المنازل مع أنها الأكثر تكلفة. ولهذا السبب تُفضل الفحوم القارية على الأنتراسيتات في استخدامها لتدفئة المصانع والمباني التجارية الأخرى. والفحوم تحت القارية واللجنيتات ذات معدلات حرارية منخفضة، ولذا يتعين إحراقها بكميات كبيرة من أجل توليد الحرارة بفعالية كافية. ونتيجة لذلك يندر استخدامها في أعمال التدفئة والتسخين. وشكل (2-19) يعرض خريطة الفحم في العالم.



شكل (2–19): خريطة الفحم في العالم.

وقد استخدم الفحم الحجري في الماضي من أجل الحصول على الحرارة اللازمة لصناعة منتجات كثيرة تتفاوت من صناعة الزجاج إلى صناعة الأطعمة المعلبة. ومنذ بدايات القرن العشرين عمد أرباب الصناعة إلى تفضيل استعمال الغاز الطبيعي لصناعة معظم منتجاتهم. أما الاستخدامات الرئيسية للفحم الحجري فاقتصرت على صناعات الإسمنت والورق، ومع ذلك تحولت بعض الصناعات الى الفحم الحجري تفاديًا لأسعار الغاز الطبيعي المرتفعة. ويعتبر الفحم الحجري وقودًا نافعًا بسبب وفرته واحتوائه على قيمة حرارية عالية نسبيًا. ومع ذلك يحتوي الفحم الحجري على شوائب معينة تحد من صلاحية استعماله كوقود. تشمل هذه الشوائب عنصر الكبريت ومعادن أخرى متنوعة. ولدى احتراق الفحم الحجري فإن معظم عنصر الكبريت يتحد مع عنصر الأكسجين ويكونان غازًا سامًا هو غاز ثاني أكسيد الكبريت. أما معظم المعادن الأخرى فتتحول إلى رماد. وتشير صناعة الفحم الحجري إلى المواد المنتجة للرماد باسم رماد حتى قبل احتراق الفحم الحجري. في شكل (2-20) نقل الفحم بالقطارات بالولايات المتحدة الأمريكية.

شكل (2-20):نقل الفحم بالقطارات – الولايات المتحدة الأمريكية

وتحتوي بعض الفحوم الحجرية على أقل من 1٪ من عنصر الكبريت. وهذه الفحوم ذات المحتوى القليل من عنصر الكبريت يمكن حرقها بكميات كبيرة وبدون إطلاق كميات ضارة من غاز ثاني أكسيد الكبريت إلى الهواء إلا أن هناك فحومًا حجرية عديدة تحتوي على ما يزيد على 1٪ من عنصر الكبريت. وتسبب هذه الفحوم الحجرية ذات المحتوى المتوسط وذات المحتوى العالي من عنصر الكبريت تلوثا خطيرًا للهواء إذا أُحْرِقَت بكميات كبيرة دون أخذ تدابير الأمان المناسبة. وقد حدت صعوبة وارتفاع تكلفة تطوير تدابير الأمان من استعمال الفحم الحجري كوقود. كما أن بعض الرماد الناتج عن احتراق مسحوق الفحم الحجري قد يتسرب في الهواء ويلوثه شأنه في هذا شأن غاز ثاني أكسيد الكبريت السالف الذكر. وعلى كل حال فقد جرى تطوير أدوات وأجهزة يمكنها حجز الرماد المتطاير من احتراق الفحم الحجري في عوادم الدخان الأمر الذي يحول دون تسربه إلى الهواء، ومن ثم تلويث الهواء. ويتركز استعمال الفحم الحجري كوقود بشكل رئيسي لإنتاج القدرة الكهربائية.

والغالبية العظمى من محطات القدرة الكهربائية محطات توربينية بخارية. وكل محطات توليد القدرة النووية وكل المحطات الأخرى التي تعمل بوقود الفحم الحجري أو الغاز أو الزيت هي أيضًا محطات توربينية بخارية. وتستعمل هذه المحطات بخارًا مضغوطًا بقوة ويدير بدوره عجلات التوربينات والتي بدورها تحرك المولدات التي تنتج القدرة الكهربائية. وتتباين المحطات التوربينية البخارية بشكل رئيسي فيما بينها، وذلك في كيفية توليد الحرارة اللازمة لإنتاج البخار. فالمعامل النووية تولد الحرارة عن انشطار ذرات عنصر اليورانيوم. أما المعامل الأخرى فتقوم على احتراق الفحم الحجري أو الغاز أو النفط وقد بقيت الفحوم الحمرية (القارية) والفحوم الحجرية هي المفضلة لتوليد القدرة الكهربائية لأنها الفحوم الأكثر وفرة، ولأنها ذات القيمة الحرارية الأعلى من بين الفحوم الأخرى كالفحوم تحت القارية واللجنيت التي تحتوي على القيمة الحرارية الأدنى من بين الفحوم.

2-9-6 فحم الكوك

تصلح المواد المنتجة من الفحم الحجري كمواد خام في الصناعة. ويعد الكوك الأكثر انتشارًا من حيث استخدامه من بين هذه المواد، وينتج الكوك من تسخين الفحم القاري إلى درجة حرارة 1100°م تقريبًا في فرن محكم الإغلاق. فيحول عدم توفر الأكسجين داخل الفرن دون احتراق الفحم الحجري، وتقوم الحرارة بتحويل بعض الأجسام الصلبة في الفحم الحجري إلى غازات. أما المواد الصلبة المتبقية فهي فحم الكوك وهو كتلة صلبة على هيئة كتل من الكربون الخالص تقريبًا. ويلزم 1.5 طن متري من الفحم القاري لإنتاج طن متري واحد من فحم الكوك. ولكي يكون الفحم الحجري مناسبًا لإنتاج الكوك يجب أن يحمل الفحم خصائص متنوعة مثل احتوائه على قليل من عنصر الكبريت وكمية محددة من الرماد. وهناك أنواع خاصة من الفحم القاري فقط تحمل هذه الصفات والخصائص الضرورية.

ومعظم معامل الكوك أجزاء ملحقة بمصانع الفولاذ. وتقوم مصانع الفولاذ بحرق الكوك مع خام الحديد وحجر الجير وذلك لتحويل خام الحديد إلى حديد نقي لازم لإنتاج الفولاذ. ويلزم حوالي نصف طن متري من الكوك لإنتاج 0.9 طن متري من الحديد النقي. ولوصف دور الكوك في عملية إنتاج الحديد يطلق على عملية إنتاج الكوك اسم الكَرْبَنة، حيث تتحول بعض الغازات الناتجة خلال عملية الكربنة بعد أن تبرد إلى أمونيا سائلة وقطران الفحم الحجري. وفي عمليات لاحقة تتحول بعض الغازات المتبقية إلى زيت خفيف. ويستخدم الصناع الأمونيا وقطران الفحم الحجري والزيت الخفيف في إنتاج الأدوية والأصباغ والأسمدة. كما يستعمل قطران الفحم الحجري أيضًا في أعمال أسطح المنازل ورصف الطرق. ويصبح بعض الغاز المنتج أثناء عملية الكربنة سائلاً، ويعرف بغاز الفحم الحجري أو غاز فرن الكوك. وهو يحترق مثل الغاز الطبيعي ولكنه ذو قيمة حرارية أقل، ويطلق كميات كبيرة من السناج (دقائق الكربون) عند احتراقه. وفي العادة يتم استهلاك غاز الفحم الحجري هذا، وبشكل رئيسي، داخل المعامل التي تنتجه حيث يستخدم في توليد الحرارة اللازمة لعمليات إنتاج الكوك والفولاذ.

2-9-7 التغويز

يمكن الحصول على الغاز من الفحم الحجري مباشرة بدون عملية الكربنة وذلك بطرق عديدة تسمى التغويز وتتضمن أبسط طرق التغويز حرق الفحم الحجري في وجود الهواء المضغوط أو البخار. ويشبه الغاز الناتج غاز أفران الكوك وذلك باحتوائه على قيمة حرارية منخفضة وإطلاقه للسناج. وهو يستخدم أساسًا في بعض عمليات الصناعة، وكذلك في إنتاج أنواع من الوقود السائل ذات الطاقة العالية، مثل البترول وزيت الوقود. ولكن الطرق المستخدمة حاليًا لإنتاج هذه الأنواع من وقود الفحم الحجري مكلفة ومعقدة. ويعمل الباحثون العلميون على تطوير طرق أكثر سهولة وأقل تكلفة.

2-9-8 التسييل

من أجل تحويل الفحم الحجري إلى وقود سائل يلزم زيادة محتواه من الهيدروجين. حيث تحوي أنواع الفحم القارية النسبة الأعلى من الهيدروجين بين رتب الفحم الحجري الأربع، حيث تحتوي على حوالي 5٪ من الهيدروجين في تركيبها. ويلزم زيادة هذه النسبة إلى حوالي 12٪ من أجل تحويل الفحم الحجري إلى وقود سائل ذي طاقة عالية، أو زيادة النسبة إلى حوالي 25٪ من أجل الحصول على غاز طبيعي صناعيًا من الفحم الحجري.

وتسمى عملية تحويل الفحم الحجري إلى وقود سائل الهَدْرجَة أو الإسالة. وقد جرى تطوير عدة طرق لهدرجة الفحم الحجري. وفي الطريقة المثلى يعالج مزيج من مسحوق الفحم الحجري والزيت مع غاز الهيدروجين في درجات حرارة عالية وتحت ضغط كبير، فيتحد الهيدروجين تدريجيًا مع جزيئات الكربون مكونًا وقودًا سائلاً. ويمكن بهذه العملية إنتاج أنواع وقود عالية الطاقة مثل البترول وزيت الوقود وذلك بإضافة كميات كافية من الهيدروجين.

ويمكن تحويل الفحم الحجري بسهولة إلى غاز منخفض الطاقة بطريقة الكَرْبَنَة والتغويز. كما يمكن إنتاج غاز منخفض الطاقة من الفحم الحجري غير المُعَدّن. وتسمى العملية التغويز التحت أرضي. وتتضمن العملية حفر بئرين متباعدتين

إحداهما عن الأخرى وتخترقان سطح الأرض وصولاً إلى قاعدة راق الفحم أي طبقة الفحم الحجري. يتم إشعال الفحم الحجري عند قاع أحد الآبار بينما يُضغط الهواء خلال المسام في راق الفحم الحجري وتتحرك النار باتجاهه. وعند احتراق كمية كافية من راق الفحم الحجري تسمح بتشكيل ممر بين البئرين في جسمه، عند ذلك يتمكن الهواء المضغوط من دفع الغازات الناتجة من احتراق الفحم الحجري إلى سطح الأرض في البئر الأول. وبالمقارنة مع الغاز الطبيعي، نجد أن الغاز ذا الطاقة المنخفضة الناتج عن احتراق الفحم الحجري تكون له استعمالات محدودة. ويلزم إغناؤه بالهيدروجين كَيْما تعادل قيمته الحرارية القيمة الحرارية للغاز الطبيعي.

وتُعد الطرق الحالية، للحصول على وقود عالي الطاقة من الفحم الحجري مكلفة جدًا للاستعمال التجاري. فإنتاج الهيدروجين مُكلّف جدًا. هذا بالإضافة إلى أن معظم أنواع الوقود المصنوعة من الفحم الحجري تحتوي على كميات غير مقبولة من الكبريت والرماد. وما زال الباحثون العلميون يحاولون تطوير طرق أرخص لتحويل الفحم الحجري.

2-9-9 الفحم النباتي

الفحم النباتي هو مخلفات مكونة من كربون ينتج عن عملية نزع الماء من المواد النباتية . وطريقة تحضيره تسمي بالتقطير الإتلافي وهي الحرق بمعزل عن الهواء وهي الطريقة المسماة عند العرب الأوائل المردومة . ووجود الأنسجة النباتية في الفحم النباتي والحجري يدل على أنهما من أصل نباتي. والفحم النباتي يصنعه الإنسان بتسخين الخشب، ولونه الأسود سببه وجود عنصر الكربون. أما كون الفحم النباتي أخف من الخشب فلأن الخشب يفقد كمية من الماء عند تحويله إلى فحم نباتي وتزداد نسبة المسامات فيه. والماء في الخشب هو المسئول أيضاً عن الدخان الكثيف عند حرقه. أما كون الفحم الحجري أثقل من الفحم النباتي فيرجع إلى المكونات المعدنية التي توجد في الفحم الحجري ولا توجد في الفحم النباتي . ويوضح شكل (2-20) حرق الفحم كوقود.

الفحم الخشبي شكل آخر من أشكال الكربون غير النقي، يُجمع الخشب في

أكوام ويُغطى بالتراب ويُسخن عشرة أيام تقريباً. ويتم التسخين بحرق جزء قليل من الخشب بسبب دخول كمية قليلة من الهواء. ويزود هذا الجزء المحترق بقية الخشب بالحرارة اللازمة لتسخينه وتحويله إلى فحم نباتي بالتخلص من الأوكسجين والهيدروجين الموجودين في مركبات الخشب العضوية (السليلوز). ويتم ذلك بتفاعل كيميائي بحيث ينزع الأوكسجين والهيدروجين من السليلوز فيتحول إلى مركب عضوي جديد يحتوي على كمية أقل من الأوكسجين والهيدروجين، فتزداد نسبة الكربون فيه. وشكل (2-21) يوضح حرق الفحم كوقود.

شكل: (2-21) حرق الفحم كوقود

2-9-10 استعمالات الفحم النباتي

يستعمل الفحم النباتي في الحرق المباشر للحصول على الطاقة. وعادة ما يقتصر على استعماله في بعض الأغراض المنزلية كالتدفئة أو الطهي أو الشواء .أما البلاد

التي يوجد فيها فائض من خشب الغابات فيمكن تحويله إلى فحم نباتي ثم استعماله في بعض المشاريع الكبيرة كتوليد الكهرباء. وكما أنّ زمن احتراق كمية من الفحم النباتي أطول من زمن احتراق كمية مماثلة من الخشب فللفحم النباتي قيمة حرارية أكبر من الخشب .

ويُستخدم شكل من أشكال الفحم الخشبي يدعى الكربون المنشط في المرشّحات وأقنعة الغاز لإزالة الأبخرة السامة. فهو يضم ثقوباً صغيرة لا تحصى على سطحه وهي مثالية لحبس الأبخرة ويُصنع بالسماح للفحم الخشبي بالاحتراق لفترة وجيزة مع الأكسجين في نهاية عملية صنع الفحم الخشبي. وغالباً ما يستخدم الفحم الخشبي كوقود للشواء ويمكن تشكيله في عيدان ليستخدم مادة للرسم. وحيث أن الفحم النباتي المنشّط ذو قدرة امتزازية عالية، أي أنه يجتذب المواد إلى سطحه، فيمكنه بذلك إزالة الغازات السامة والروائح الكريهة من الهواء. لذا يستخدم هذا الفحم في منظومات التهوية في العربات الفضائية وكمامات مواقد المطبخ، كما يستخدم أيضاً في تنقية السوائل، كالماء في أحواض السمك. فيمر ماء الحوض المتسخ فوق الفحم النباتي المنشّط لإزالة أوساخه، ثم يُعاد نقياً إلى الحوض. ويمكن وضعه في الثلاجة إذا كان بها روائح كريهة فتخلصك من الروائح الكريهة التي توجد في الثلاجة.

2-9-11 تعدين الفحم

يتضمن التعدين السطحي في معظم الحالات تجريد وإزالة التربة والصخور القابعة فوق طبقة الفحم الحجري. وتعرف هذه المواد التي تغطي ترسبات الفحم الحجري باسم الغطاء الصخري أو الترابي. وبعد إزالة هذا الغطاء يمكن استخراج الفحم الحجري بسهولة وحمله بعيدًا. ويشمل التعدين حفر القنوات إلى ترسبات الفحم الحجري. وعادة ما يكون التعدين السطحي مختصًا بترسبات الفحم الحجري الموجودة في حدود 30 -60 متر تحت سطح الأرض. وكلما زاد حجم الغطاء الصخري الواجب إزالته، أصبح التعدين السطحي أكثر صعوبة وتكلفة. أما ترسبات الفحم الحجري المتعمقة بما يزيد على 60م فتعدن بطرق التعدين التحت أرضي.

2-9-12 الفحم والبيئة

إن كل من يستنشق كميات كبيرة من غبار الفحم الحجري لمدة من الزمن، يمكن أن يصاب بمرض الرئة الغباري المعروف أيضًا باسم مرض الرئة السوداء. ويؤثر هذا المرض في تنفس المصاب وربما يؤدي إلى الوفاة أحيانًا. وقد ذهب الآلاف من عمال المناجم ضحية لهذا المرض. هذا بالإضافة إلى كون التركيزات العالية من غبار الفحم الحجري قابلة للانفجار، وكذلك فإن خليطًا من غبار الفحم الحجري والميثان يعتبر خطرًا بشكل خاص.

وتزيل التهوية الجيدة كثيرًا من غبار الفحم الحجري من الهواء داخل المنجم. ومع ذلك يجب استعمال مقاييس تحكّم في غباره. وتتلخص هذه العملية بأن يرش العمال مسحوق حجر الجير فوق كل الأسطح المكشوفة داخل المنجم، فيقوم مسحوق حجر الجير بتخفيف غبار الفحم الحجري، الأمر الذي يقلل من فرص حدوث الانفجارات. وكذلك تُرش واجهات الفحم الحجري التي يجري تعدينها بالماء والذي بدوره يثبت الغبار ويمنع تطايره.

ويسدُّ الاستعمال المتنامي للفحم الحجري في إنتاج الكهرباء، بشكل خاص، النقص المتزايد لكل من الغاز والنفط. ومع ذلك، فإن استعمال الفحم الحجري يحمل في طياته مشاكل من نوع خاص إذ إن احتراقه يشكل سببًا رئيسيًا لتلوث الهواء. وقد طُوِّرت وسائل عديدة للتقليل من التلوث ولكنها مكلفة ولم تثبت جدواها حتى الآن. ولابد من تحسين هذه الطرق والأساليب قبل التوسع الكبير في استعمال الفحم الحجري. وبالإضافة لهذا فإن بعض الفحم الحجري يوجد عند أعماق كبيرة تحت سطح الأرض حيث يصعب استخراجه.

وقد بدأت الأمم المتقدمة في سنّ تشريعات بهدف التقليل من انطلاق غاز ثاني أكسيد الكبريت من محطات توليد القدرة الكهربائية التي تستخدم الفحم الحجري كوقود.

وتزيل عمليات تنظيف الفحم الحجري بعض الكبريت منه ولكنها ليست بكميات كافية من أنواع الفحم الحجري ذات المحتوى العالي، أو المحتوى المتوسط من الكبريت. ومن أجل الحصول على هواء بمواصفات والسيطرة على انطلاق غاز ثاني أكسيد الكبريت إلى حد ما تستخدم أجهزة تسمى أجهزة غسل الغاز حيث يمتص جهاز غسل الغاز روائح وأبخرة غاز ثاني أكسيد الكبريت لدى تمرير الغازات خلال مجموعة مداخن خاصة.

وتجرى الأبحاث العلمية على عملية السيطرة على نسبة عنصر الكبريت في الفحم الحجري وتعرف هذه العملية بإحراق الطبقة المُميعة. وتتلخص هذه العملية في حرق مسحوق الفحم الحجري في طبقة من حجر الجير، حيث يحجز الجير عنصر الكبريت الموجود فيه، وبالتالي يحول دون تشكّل غاز ثاني أكسيد الكبريت. وتُستعمل الحرارة الناتجة عن الفحم الحجري لتسخين الماء إلى درجة الغليان. وينساب هذا الماء المسخن عبر أنابيب على شكل ملفات معدنية داخل طبقة الجير. أما بخار الماء الناتج فيمكن استعماله في محطات توليد القدرة الكهربائية. وتملك شركات تعدين الفحم الحجري الكبيرة جهازًا متفرغًا من العمال المحترفين، ويضم هذا الجهاز مهندسين ومحامين وخبراء أعمال كما توظف هذه المنظمات كهربائيين وميكانيكيين وعمال إنشاءات وغيرهم.

ويشكل عمال المناجم المهرة مصدرًا للعمالة تعتمد عليه الصناعة. ويتطلب التعدين التحت أرضي عددًا من عمال المناجم أكثر من التعدين السطحي. وقد ساعد استخدام الآلات عمال المناجم، إذ زادت إنتاجيتهم ففي عام 1950م بلغ إنتاج عمال كل منجم من مناجم الولايات المتحدة ما معدله حوالي6.5طن متري من الفحم الحجري يوميًا. وبشكل عام، فإن عمال المناجم ينتجون من المناجم السطحية التي تعمل بطريقة التجريد والكشط أكثر من ضعف ما ينتجون من المناجم التحت أرضية.

وقد أدى التوسع في استخدام الآلات إلى جعل الوظائف في المناجم أكثر تخصصًا. وتنحصر وظائف معظم عمال المناجم في تشغيل أنماط خاصة من الآلات

مثل الجرافات الآلية الهائلة التي تحتاج إلى خبرة وتدريب خاصين.

وفي القرن التاسع عشر الميلادي، كان العمل في تعدين الفحم الحجري غير آمن وذا مرتبات ضئيلة. وكان عمال المناجم يعيشون ويعملون تحت ظروف بالغة السوء. وقد تضامن كثير منهم في اتحادات مهنية كانت تدعو للاحتجاجات والإضراب عن العمل. ومنذ أوائل القرن العشرين الميلادي تحسنت ظروف معيشة عمال المناجم كثيرًا في الأقطار الصناعية المتقدمة.

وتواجه إجراءات السلامة في المناجم أربعة أنماط من المخاطر الرئيسية وهي حوادث بفعل الآلات وانهيار الجدران والسقوف وتجمع وتراكم الغازات وتركيز غبار الفحم الحجري. ومن أجل السلامة والأمان في المناجم تجرى عملية تثبيت سقف المنجم بالقضبان الحديدية وهي عملية ضرورية من أجل السلامة في المناجم التحت أرضية. ومثبتات السقف هي قضبان طويلة من المعدن يتم إدخالها في سقف المنجم. وبعد أن يتم تثبيت القضبان في السقف فإنها تساعد في منع طبقات الصخور التي تقع فوق السقف مباشرة من الانهيار والسقوط.

في الأيام الأولى من عمليات تعدين الفحم الحجري التحت أرضي، كان العمل في المناجم خطرًا. وقد تسببت الحوادث في المناجم في وفاة أو إعاقة آلاف من عمال المناجم سنويًا. ثم بدأت الحكومات سن تشريعات وضعت معايير للحد الأدنى من الصحة والسلامة لكل من العاملين وأرباب العمل على حد سواء. وبذلك تناقصت معدلات الوفيات بين العاملين بشكل كبير بلغ في بعض الحالات 85%.

10-2 الطاقة النووية

الطاقة النووية هي الطاقة التي تنطلق أثناء إنشطار أو إندماج الأنوية الذرية. وتشكل الطاقة النووية 20٪ من الطاقة المولدة بالعالم فالعلماء ينظرون إلى الطاقة النووية كمصدر حقيقي لا ينضب للطاقة. وما يثير الشكوك حول مستقبل الطاقة النووية هو التكاليف النسبية، والمخاوف العامة المتعلقة بالسلامة، وصعوبة التخلص الآمن من المخلفات عالية الإشعاع. ويعرض شكل (2-22) مفاعل غوندريمنجن بألمانيا.

شكل (2-22): مفاعل غوندريمنجن – ألمانيا

2-10-1 محطات الطاقة النووية

تعتبر محطات التوليد النووية نوعا من محطات التوليد الحرارية البخارية، حيث تقوم بتوليد البخار بالحرارة التي تتولد في فرن المفاعل. الفرق في محطات الطاقة النووية أنه بدل الفرن الذي يحترق فيه الوقود يوجد الفرن الذري الذي يحتاج إلى جدار عازل وواق من الإشعاع الذري وهو يتكون من طبقة من الآجر الناري وطبقة من المياه وطبقة من الحديد الصلب ثم طبقة من الأسمنت تصل إلى سمك مترين وذلك لحماية العاملين في المحطة والبيئة المحيطة من التلوث بالإشعاعات الذرية . وشكل (2-23) يوضح خريطة المفاعلات النووية في العالم.

شكل (2-23): خريطة المفاعلات النووية في العالم

وفي مفاعل من نوع الماء المضغوط حيث يمتص الماء المضغوط الحرارة من قلب المفاعل ويبقى محصوراً في دورة مغلقة دون أن يغلي. وتقوم دورة ثانية بتبادل الحرارة مع الدورة الأولى، فيغلي الماء في الدورة الثانية ويولد البخار الذي يدير توربيات تدير بدورها مولدات كهربائية. ويجري عادة تكثيف البخار في دورة ثالثة تشتمل على برج للتبريد.

وهناك طريقة أخرى لإستخراج الطاقة الحرارية المتولدة في قلب المفاعل حيث يستخدم فيها الصوديوم السائل وسيطاً لهذه الغاية لتمتعه بحرارة نوعية عالية، وذلك في الدورتين الأولى والثانية. ويتحول الماء إلى بخار في الدورة الثالثة بالتبادل الحراري، ويقوم بخار الماء بتدوير التوربينات وتوليد الكهرباء كما سبق.

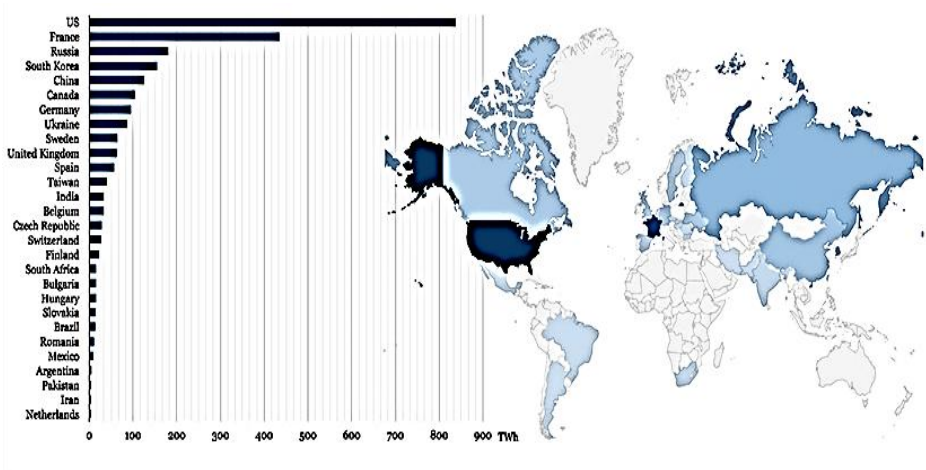
والمفاعل الذري تتولد فيه الحرارة نتيجة انشطار ذرات اليورانيوم بضربات الإلكترونات المتحركة في الطبقة الخارجية للذرة وتستغل هذه الطاقة الحرارية

الهائلة في غليان المياه في المراجل (الغلايات) وتحويلها إلى بخار ذات ضغط عال ودرجة حرارة مرتفعة. ثم يسلط هذا البخار لتشغيل توربينات بخارية صممت ليقوم البخار السريع بتدوير محور التوربينات وبذلك تتحول الطاقة البخارية إلى طاقة ميكانيكية على محور هذه التوربينات.

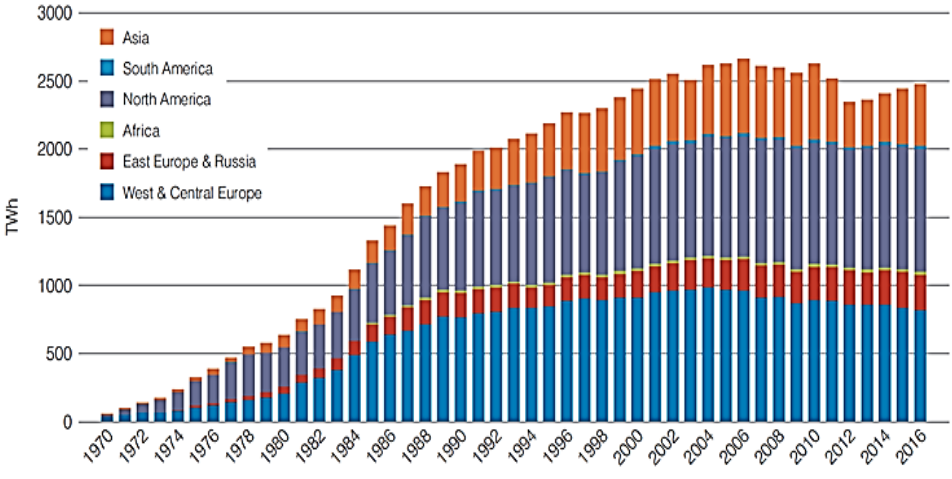
ويربط محور المولد الكهربي مع محور التوربينات البخارية فيدور محور المولد الكهربي بنفس السرعة لتتولد على طرفي الجزء الثابت من المولد الطاقة الكهربائية اللازمة. وكانت أول محطة توليد حرارية نووية في العالم نفذت في عام 1954 وكانت في الاتحاد السوفيتي بطاقة 5 ميجاوات. عندما توصل العلماء إلى تحرير الطاقة النووية من بعض العناصر كاليورانيوم والبلوتونيوم. فوقود المفاعلات النووية اليورانيوم المخصب بكمية تكفي لحدوث تسلسل تفاعلي انشطاري يستمر من تلقاء ذاته. والوقود يوضع في شكل حزم من قضبان طويلة داخل قلب المفاعل الذي هو عبارة عن حجرة مضغوطة شديدة العزل. ويتم الانشطار النووي بها لتوليد حرارة لتسخين المياه وتكوين البخار كما تم ذكره. و يتم تغطيس الحزم النووية في الماء للإبقاء عليها باردة. أو استخدام ثاني أكسيد الكربون أو معدن مصهور لتبريد قلب المفاعل. ويتم إدخال قضبان تحكم في غرفة المفاعل مصنوعة من مادة الكادميوم لتمتص النيوترونات المتولدة من انشطار أنوية الذرات داخل المفاعل. فكلما تم تقليل النيوترونات كلما تم تحجيم التفاعلات المتسلسلة بما يبطئ من عملية انشطار ذرات اليورانيوم. وكان أول مفاعل نووي قد أقيم عام 1944 هو مفاعل هانفورد بأمريكا لإنتاج مواد الأسلحة النووية وكان وقوده اليورانيوم الطبيعي حيث كان ينتج البلوتونيوم ولم تكن الطاقة المتولدة تستغل في ذلك الوقت. ثم بنيت أنواع مختلفة من المفاعلات في كل أنحاء العالم لتوليد الطاقة الكهربية. وتختلف هذه المفاعلات في نوع الوقود والمبردات والوسيط.

وفي أمريكا يستعمل الوقود النووي في شكل أكسيد اليورانيوم المخصب حتى 3% باليورانيوم 235 والوسيط والمبرد من الماء النقي وهذه الأنواع من المفاعلات يطلق عليها مفاعلات الماء الخفيف. وشكل (2-24) يوضح انتاج الدول من الطاقة

الكهربية بالمفاعلات النووية. أما شكل (2-25) يعرض انتاج الطاقة الكهربية بالمفاعلات النووية من عام 1970 حتى عام 2016.



شكل (2-24): إنتاج الدول من الطاقة الكهربية بالمفاعلات النووية



شكل (2-25): إنتاج الطاقة الكهربية بالمفاعلات النووية 1970-2016

2-10-2 تخصيب اليورانيوم

اليورانيوم هو المادة الخام الأساسية للبرامج النووية المدنية والعسكرية. ويستخلص من طبقات قريبة من سطح الأرض أو عن طريق التعدين من باطن الأرض. ورغم أن مادة اليورانيوم توجد بشكل طبيعي في أنحاء العالم، لكن القليل منه فقط يوجد بشكل مركز كخام. وحينما تنشطر ذرات معينة من اليورانيوم في تسلسل تفاعلي يسمي بالانشطار النووي. ويحدث ببطء في المنشآت النووية وبسرعة هائلة في حالة تفجير سلاح نووي. وينجم عن ذلك انطلاق للطاقة وفي الحالتين يتعين التحكم في الانشطار النووي تحكما بالغا. ويكون الانشطار النووي في أفضل حالاته حينما يتم استخدام النظائر من اليورانيوم 235 أو البلوتونيوم 239 والمقصود بالنظائر هي الذرات ذات نفس الرقم الذري ولكن بعدد مختلف من النيوترونات. ويعرف اليورانيوم 235 بالنظير الانشطاري لميله للانشطار محدثا تسلسلا تفاعليا مطلقا الطاقة في صورة طاقة حرارية. وحينما تنشطر ذرة من اليورانيوم 235 فإنها تطلق نيوترونين أو ثلاثة نيوترونات. وحينما تتواجد إلى جانبها ذرات أخرى من اليورانيوم 235 تصطدم بها تلك النيوترونات مما يؤدي لانشطار الذرات الأخرى وبالتالي تنطلق نيوترونات أخرى. ولا يحدث التفاعل النووي إلا إذا توافر ما يكفي من ذرات اليورانيوم 235 بما يسمح بأن تستمر هذه العملية كتسلسل تفاعلي يتواصل من تلقاء نفسه أو ما يعرف بالكتلة الحرجة. غير أن كل ألف ذرة من اليورانيوم الطبيعي تضم سبع ذرات فقط من اليورانيوم 235 بينما تكون باقي الذرات الأخرى من اليورانيوم الأكثر كثافة ورقمه الذري يورانيوم 238. ومفاعلات الماء الخفيف هي نوع من المفاعلات الانشطارية النووية التي تستعمل في الولايات المتحدة الأمريكية لتوليد الطاقة الكهربية وتستخدم الماء العادي كوسيط في التبريد والتحويل لبخار لتشغيل التوربينات لتوليد الكهرباء من المولدات. وهذا يتطلب تخصيب وقود اليورانيوم. واليورانيوم الطبيعي يتكون من 0.7 ٪ يورانيوم 235 وهو نظير ينشطر و99.3٪ يورانيوم 238 لا ينشطر. واليورانيوم الطبيعي يخصب ليصبح به 2.5٪ إلى 3.5 ٪ يورانيوم 235 القابل للانشطار في مفاعلات الماء الخفيف التي تعمل

بالولايات المتحدة الأمريكية بينما مفاعلات الماء الثقيل التي تعمل في كندا يستخدم اليورانيوم الطبيعي. وفي حالة التخصيب يكون مطلوب 3 كجم يورانيوم طبيعي لإمداد مفاعل واحد بالطاقة الانشطارية لمدة عام. وعملية تخصيب اليورانيوم تتم بانتشار مادة هكسافلوريد اليورانيوم في مادة مسامية فتنفصل مادة اليورانيوم 235 الخفيفة بواسطة آلات الطرد المركزي. ووقود اليورانيوم اللازم للمفاعلات الانشطارية غير كافٍ لصنع قنبلة نووية لأنها تتطلب عملية تخصيب بنسبة أكثر من 90٪ للحصول على تفاعل متسلسل سريع.

واليورانيوم والبلوتونيوم المخصبان بنسبة مرتفعة جدا يستخدمان في صنع القنابل النووية. لأن اليورانيوم المرتفع التخصيب به نسبة عالية من اليورانيوم 235 الغير مستقر والمركز صناعيا. والبلوتونيوم يصنع نتيجة معالجة وقود اليورانيوم في المفاعلات الذرية أثناء عملها حيث تقوم بعض ذرات اليورانيوم وهي حوالي 1٪ من كمية اليورانيوم بامتصاص نيوترون لإنتاج عنصر جديد هو البلوتونيوم الذي يستخلص بطرق كيميائية. ولصنع التفجير النووي يدمج اليورانيوم أو البلوتونيوم المخصبان بالمتفجرات التقليدية وهذا الدمج يجعل المادة النووية مكثفة لتقوم بالتفاعل المتسلسل الغير موجه. ويمكن تخصيب اليورانيوم بعدة طرق. ففي برنامج تصنيع الأسلحة النووية بأمريكا يتبع طريقة الانتشار الغازي بتحويل اليورانيوم إلى غاز هكسافلوريد اليورانيوم حيث يضخ خلال غشاء يسمح لذرات اليورانيوم 235 بالمرور خلاله أكثر من بقية ذرات نظائر اليورانيوم. وبتكرار هذه العملية في عدة دورات يرتفع تركيز اليورانيوم 235 لتصنع منه الأسلحة النووية كما في الصين وفرنسا وبريطانيا وروسيا. حيث تكون طريقة تخصيب اليورانيوم هي طريقة الطرد المركزي للغاز بالسرعة العالية بدلا من الانتشار الغازي وهذا ما اتبعته إيران. وهذه الطريقة يحول اليورانيوم لغاز هكسافلوريد اليورانيوم ويدخل في آلة طرد مركزي تدور بسرعة كبيرة. وبتأثير قوة الطرد المركزي تتجه ذرات اليورانيوم الأثقل من ذرات اليورانيوم 235 للخارج ويتركز اليورانيوم 235 بالوسط ليسحب. وهذه الطريقة تستخدم لتخصيب اليورانيوم في الهند وباكستان وإيران وكوريا الشمالية. وهناك طريقة التدفق النفاث المتبعة في جنوب أفريقيا وطريقة الفصل للنظير

بالكهرومغناطيسية التي كان العراق يتبعها قبل حرب الخليج عام1991.

ويمكن استعمال طريقة التخصيب باللليزر لفصل اليورانيوم بتحويله لمعدن يتبخر بتسليط ليزر ليثير ذرات اليورانيوم 235 لتتجمع وتتركز وهذه التجربة تمت في كوريا الجنوبية عام 2000 سراً.

2-10-3 أنواع المفاعلات

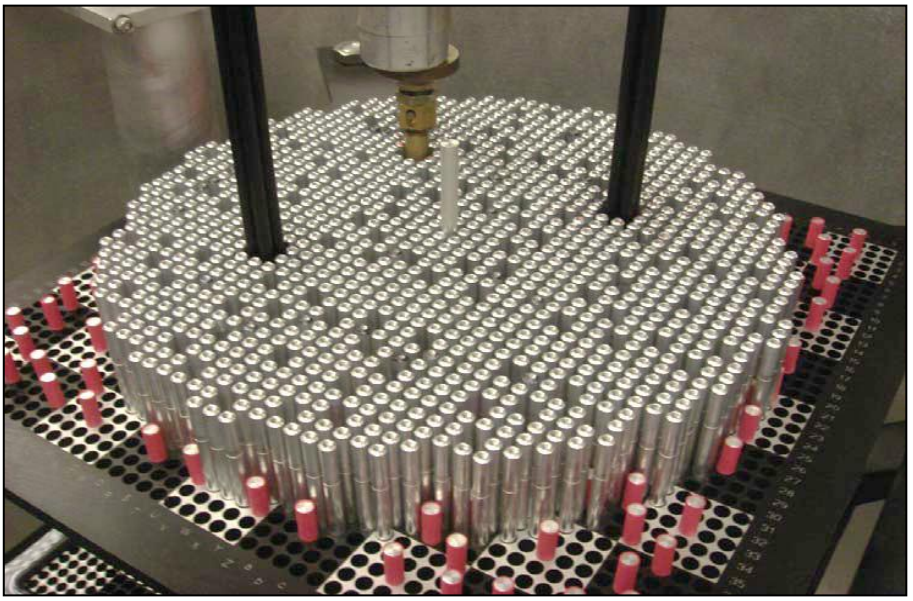
يطلق على مفاعلات الانشطار النووي في الولايات المتحدة الأمريكية مفاعلات الماء الخفيف. والماء الخفيف هو الماء العادي الذي يستخدم في المفاعلات الأمريكية كوسيط وكمبرد وكأحد الوسائل للتخلص من الحرارة وتحويلها لبخار يدير التوربينات التي تدير مولدات القوي الكهربية.

واستعمال الماء العادي يتطلب تخصيب وقود اليورانيوم لدرجة ما. وكلا النوعين من المفاعلات اللذين يعملان بالماء الخفيف هما مفاعل الماء المضغوط حيث الماء الذي يسير خلال قلب المفاعل معزول عن التوربينات. ومفاعل الماء المغلي ويستخدم الماء كمبرد ومصدر للبخار الذي يدير التوربينات. أما مفاعلات الانشطار النووي في كندا فيطلق عليها مفاعلات الماء الثقيل حيث يعمل الماء الثقيل كوسيط بالمفاعل حيث يقوم الماء الثقيل بتقليل سرعة النيترونات في التفاعل الانشطاري المتسلسل. وهذا النوع من المفاعلات لا يتطلب وقود يورانيوم مخصب بل طبيعي.

وقد تمكن كلوديو فيلبون العالم النووي ومدير مركز الطاقة المتطورة في جامعة ميريلاند الأمريكية من ابتكار وتصميم مفاعل سيزر المتطور لإنتاج الكهرباء دون التسبب في أي تلوث نووي، أو انتشار الإشعاعات النووية عكس المفاعلات النووية التقليدية التي تدار بأذرع وقود اليورانيوم 238 المزود بحوالي 4٪ من اليورانيوم 235. وعند اصطدام النيوترون بذرة اليورانيوم 235، تنشطر إلى نويات وتنطلق كمية من الطاقة في شكل حرارة ومزيد من النيوترونات التي تصطدم بالذرات الأخرى. ويتحكم «الوسيط» بإدخاله بين أذرع الوقود ليبطئ بعض النيوترونات لتتحرك ببطء

بدرجة كافية لانشطار الذرات، لكن بعد عامين أو ثلاثة من تشغيل المفاعل، تصبح ذرات اليورانيوم 235 الباقية غير كافية فتظهر الحاجة إلى أذرع وقود جديدة. ومفاعل سيزر يعتمد على انشطار ذرات اليورانيوم 238 داخل أذرع الوقود بواسطة نيوترونات تتحرك بسرعة مناسبة نتيجة وجود البخار كوسيط في المفاعل، بالتحكم في كثافته بدقة، لإبطاء مرور النيوترونات للحصول على الانشطار المطلوب من ذرة اليورانيوم 238، وحدوث انفجار صغير للطاقة وانطلاق مزيد من النيوترونات التي تدور حتى تصطدم بذرة أخرى من اليورانيوم. والمفاعل سيزر يمكن تشغيله لعقود دون الحاجة إلى إعادة تزويده بالوقود.

وهناك مفاعلات البحوث العلمية وهي أبسط من مفاعلات الطاقة وتعمل في درجات حرارة ووقود أقل من اليورانيوم عالي التخصيب 20٪ من اليورانيوم 235 على الرغم من أن بعضاً من المفاعلات البحثية الأقدم تستخدم 93٪ من اليورانيوم 235 وكمفاعلات الطاقة يحتاج قلب مفاعل البحث للتبريد، ومهدئ من الماء الثقيل أو بالجرافيت لتهدئة النيترونات وتعزيز الانشطار. ومعظم مفاعلات البحث تحتاج أيضاً إلى عاكس من الجرافيت أو البيريليوم لتخفيض فقدان النيترونات من قلب المفاعل. و تستخدم للبحث والتدريب واختبار المواد أو إنتاج النظائر المشعة من أجل الاستخدام الطبي والصناعي. وهذه المفاعلات أصغر من مفاعلات الطاقة. ويوجد 283 من هذه المفاعلات تعمل في 56 دولة كمصدر للنيوترونات من أجل البحث العلمي. وشكل (2-26) يعرض قلب مفاعل نووي بحثي بالولايات المتحدة الأمريكية.



شكل (2-26): قلب مفاعل نووي- الولايات المتحدة الأمريكية

والطاقة النووية تزود دول العالم بأكثر من 16٪ من الطاقة الكهربية فهي تمد 35% من احتياجات دول الاتحاد الأوروبي. واليابان تحصل على 30٪ من احتياجاتها من الكهرباء من الطاقة النووية. أما بلجيكا وبلغاريا والمجر واليابان وسلوفاكيا وكوريا الجنوبية والسويد وسويسرا وسلوفينيا وأوكرانيا فتعتمد على الطاقة النووية لتزويد ثلث احتياجاتها من الطاقة الكهربية. ولأن كمية الوقود النووي المطلوبة لتوليد كمية كبيرة من الطاقة الكهربية أقل بكثير من كمية الفحم أو البترول اللازمة لتوليد نفس الكمية فتقريبا طن واحد من اليورانيوم يقوم بتوليد طاقة كهربية أكبر من عدة ملايين من براميل البترول أو ملايين الأطنان من الفحم. وكان اتجاه دول عديدة في العالم للطاقة النووية نظرا لأن الوقود النووي اليورانيوم كان متوفرا وسهل الحصول عليه ونقله بينما مصادر الفحم والبترول محدودة وقد تنضب يوما ما.

واستخدام الطاقة النووية يسبب إنتاج النفايات ذات الإشعاعات النووية العالية التي تخزَّن في بحيرات لتبريدها بامتصاص حرارة الوقود المستهلَك وتخفيض درجة إشعاعيته .وتتم إعادة معالجة الوقود النووي لاسترجاع اليورانيوم والبلوتونيوم غير المنشطرَين واستخدامهما من جديد كوقود للمفاعل أو في إنتاج الأسلحة النووية. وبعض العناصر الموجودة في النفايات كالبلوتونيوم، ذات خاصية إشعاعية كبيرة وتظل لمدة آلاف السنين. ولا يوجد نظام آمن للتخلص من هذه النفايات. والمفاعلات النووية أصبحت سيئة السمعة منذ التسرّب الإشعاعي في محطة الطاقة النووية في تشيرنوبل بأوكرانيا عام 1986 فقد أدي هذا التسرب إلى مقتل 31 شخصاً وتعريض مئات الآلاف للإشعاع الذي يستمر تأثيره على عدة أجيال.

2-10- 4 إعادة معالجة الوقود النووي

تم تطوير تقنية إعادة المعالجة النووية من أجل فصل واستخلاص البلوتونيوم القابل للانشطار كيميائيا من الوقود النووي المشع. وإعادة المعالجة تخدم أغراضا متعددة تغيرت أهميتها النسبية مع مرور الوقت. واستخدمت إعادة المعالجة أصلا فقط لاستخراج البلوتونيوم لإنتاج سلاح نووي. ويمكن أيضا إعادة استخدام اليورانيوم المعاد تصنيعه والذي يشكل الجزء الأكبر من مواد الوقود المستنفذ ولكن ذلك ليس اقتصاديا حيث أسعار اليورانيوم مرتفعة والتخلص منها باهظ التكلفة. وإعادة المعالجة النووية تقلل من حجم النفايات عالية المستوى ولكنها بحد ذاتها لا تقلل من النشاط الإشعاعي أو توليد الحرارة، وبالتالي لا تلغي الحاجة إلى مستودع للنفايات الجيولوجية. وقد كانت إعادة المعالجة مثيرة للجدل سياسيا بسبب إمكانية الإسهام في انتشار الأسلحة النووية وكذلك التحديات السياسية المتعلقة بوضع المستودع وهي مشكلة تنطبق بالتساوي على التخلص المباشر من الوقود المستهلك وبسبب تكلفتها العالية مقارنة بدورة الوقود مرة واحدة.

2-10-5 محطات الطاقة النووية المستقبلية والاندماج النووي

هناك جيل جديد من التصاميم لمحطات الطاقة النووية المعروفة باسم مفاعل الجيل الرابع، وهي موضوع بحث نشط .فالكثير من هذه التصاميم الجديدة تحاول على وجه التحديد جعل المفاعلات الانشطارية أكثر نظافة وأمانا وأقل خطرا على انتشار الأسلحة النووية مثل تلك المبسطة لمفاعل الماء المغلي التي تم تصميمه ليكون شبه واقي ويجري متابعته. وبدأت عدة بلدان برامج الطاقة النووية القائمة على الثوريوم وهو عنصر أكثر وفرة في قشرة الأرض من اليورانيوم حيث تم العثور على أكثر من 60٪ من خام الثوريوم في خمسة بلدان وهي أستراليا والولايات المتحدة والهند والبرازيل والنرويج . وهذه الموارد من الثوريوم كافية لتلبية احتياجات الطاقة الحالية لآلاف السنين.

وهناك مشروع نووي مستقبلي يتم إقامته حاليا وهو مشروع اتر-توكاماك ITER Tokamak أي المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي. وهو عبارة عن مشروع بحثي دولي ضخم يقام على فكرة الطاقة النووية بمساعدة حالة البلازما للمادة حيث يستخدم جهاز دمج مغناطيسي تم تصميمه لإثبات جدوى الإنصهار كمصدر للطاقة على نطاق واسع وخالي من الكربون على أساس نفس المبدأ الذي يمد شمسنا والنجوم. ويجرى بناء هذا المفاعل في بروفانس بجنوب فرنسا. ويعتبر أول جهاز انصهار يعمل لفترات طويلة من الزمن. وسيكون هذا المفاعل أول جهاز اندماج لاختبار التقنيات والمواد والأنظمة الفيزيائية المتكاملة اللازمة للإنتاج التجاري للكهرباء القائمة على الاندماج. ويساهم آلاف المهندسين والعلماء في تصميمه منذ إطلاق فكرة التجربة الدولية المشتركة في الاندماج لأول مرة في عام 1985. يشارك نحو سبعة كيانات في هذا المشروع هم الصين و الاتحاد الأوروبي والهند واليابان وكوريا الجنوبية وروسيا والولايات المتحدة الأمريكية بنحو 35 دولة حيث سيكون التعاون خلال 35 عاما لبناء وتشغيل هذا المفاعل التجريبي. ويساهم الاتحاد الأوروبي، بصفته الطرف المضيف لمجمع للمشروع بنحو 45٪ من التكلفة وتساهم الأطراف الستة الأخرى بنحو 55٪ من التكلفة. في عام 2016 وقعت منظمة مشروع

ITER اتفاقية تعاون تقني مع الوكالة الوطنية للاندماج النووي في أستراليا. وقد بدأ بناء هذا المفاعل في عام 2013 وبلغت تكاليف البناء أكثر من 14 مليار دولار أمريكي في يونيو 2015. ومن المتوقع أن يتم الانتهاء من مرحلة البناء في عام 2025 وسيبدأ تشغيل المفاعل في نفس العام. ومن المقرر البدء بتجارب البلازما الأولية في عام 2025، مع إجراء تجارب الاندماج الكامل للديتريوم والتريتيوم في عام 2035. وقد ساهم آلاف المهندسين والعلماء في تصميم هذا المفاعل منذ إطلاق فكرة التجربة الدولية المشتركة في الاندماج النووي لأول مرة في عام 1985.

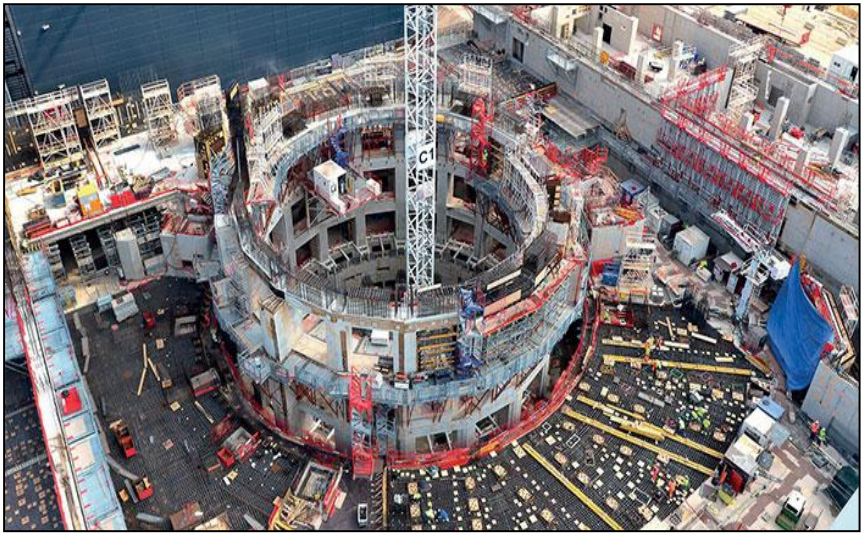
وقد تم اقتراح فكرة هذا المفاعل النووي الإندماجي في عام 1987 وتم تصميمه كمفاعل تجريبي حراري دولي، وفقًا للدراسة التي نشرتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية في عام 2002. وبحلول عام 2005، تخلت منظمة مفاعل ITER عن المعنى الأصلي من الاختصار ITER وهو اسم مختصر من International Thermonuclear Experimental Reactor وبدلاً من ذلك اعتمدت معنى جديدًا وهو الكلمة اللاتينية ITER التي تعني الطريق.

وتم تصميم مفاعل الانصهار الحراري النووي التابع لمجمع ITER لإنتاج بلازما انصهار تعادل 500 ميجاواط من الطاقة الحرارية الناتجة لحوالي عشرين دقيقة، في حين يتم حقن 50 ميجاوات من الطاقة الحرارية في المفاعل، مما يؤدي إلى كسب عشرة أضعاف الكمية الأولية لتسخين البلازما. وبالتالي يهدف المفاعل إلى إثبات مبدأ إنتاج طاقة حرارية أكثر من عملية الانصهار عن استخدامها لتسخين البلازما، وهو أمر لم يتحقق بعد في أي مفاعل اندماج أخر. وستتراوح الطاقة الإجمالية التي يستهلكها المفاعل والمنشآت من 110 ميجاوات إلى 620 ميجاوات في الذروة لمدة 30 ثانية أثناء تشغيل البلازما. ولم يتم تضمين تحويل الطاقة الحرارية الناتجة إلى طاقة ميكانيكية ثم كهربية لكن هدفه هو التجارب النووية الاندماجية والتي منها الحصول على الطاقة الكهربية.

ويعتبر مفاعل التوكاماك آلة تجريبية ضخمة مصممة لتسخير طاقة الانصهار. وداخل التوكاماك يتم امتصاص الطاقة الناتجة عن اندماج الذرات كحرارة في جدران

الوعاء. تمامًا مثل مفاعلات الطاقة التقليدية، وفي المستقبل سيتم بناء المحطات النووية الاندماجية بحيث تستخدم هذه الحرارة لإنتاج البخار ثم الكهرباء عن طريق التوربينات والمولدات. وقلب التوكاماك هو حجرة كبيرة مفرغة في داخلها وتحت تأثير الحرارة والضغط الشديدين يصبح وقود الهيدروجين الغازي بلازما وهي البيئة ذاتها التي يمكن فيها جلب ذرات الهيدروجين إلى الصمامات وتوليد الطاقة. ويمكن تشكيل جسيمات البلازما المشحونة والتحكم فيها بواسطة ملفات مغناطيسية ضخمة. فيزيائيا تستخدم هذه الخاصية المهمة لحصر البلازما الساخنة بعيداً عن جدران الأوعية. ويأتي مصطلح توكاماك إلينا من اختصار روسي يشير إلى حجرة حلقية ذات ملفات مغناطيسية.

وتم تطوير فكرة التوكاماك كمفاعلات نووية اندماجية لأول مرة في العالم في أواخر الستينات من القرن الماضي، وقد تم تبنيها في جميع أنحاء العالم باعتبارها أكثر التكوينات الواعدة لجهاز الانصهار المغناطيسي. ومن هذه الفكرة يأتي مفاعل ITER. ويوضح شكل (2-27) مرحلة بناء مفاعل ITER بجنوب فرنسا.



شكل (2-27): مرحلة بناء مفاعل ITER بجنوب فرنسا

2-10- 6 الطاقة النووية والبيئة

شهدت تصاميم المفاعلات النووية الحديثة العديد من التحسينات في مجال السلامة منذ الجيل الأول من المفاعلات النووية. وتتطلب معظم المفاعلات التحكم المستمر في درجة الحرارة لمنع الانهيار النووي الذي قد يحدث من خلال حادث أو كارثة طبيعية حيث يكون هناك انفجار وتسرب للإشعاع النووي وجعل المنطقة المحيطة غير صالحة لتواجد الناس.

ويرى المؤيدون للطاقة النووية أنها مصدر للطاقة المستدامة حيث تقلل انبعاثات الكربون ولا تنتج تقريبا تلوثا للهواء على النقيض من البديل الرئيسي القابل للتطبيق الوقود الأحفوري وأن الطاقة النووية هي الطريق الوحيد القابل للاستمرار لتحقيق استقلال الطاقة بالنسبة لمعظم البلدان الغربية على فرض أن مخاطر تخزين النفايات صغير ويمكن تخفيضها باستخدام أحدث التقنيات في المفاعلات الحديثة. بينما يرى المعارضون أن الطاقة النووية تفرض العديد من التهديدات على الناس والبيئة وتشمل المخاطر الصحية والأضرار البيئية الناجمة عن استخراج اليورانيوم أو نقله والأخطار الناجمة من الانفجارات وتسرب الإشعاعات النووية وأخطار استخدام الأسلحة النووية ومشكلة التخلص من النفايات النووية.

والاشعاع النووي إن لم يكن قاتلا فهو يتسبب في عاهات وتشوهات وإعاقات تصعب معالجتها. وتنتج من تأثير الإشعاع النووي على مكونات الخلايا الحية نتيجة تفاعلات لا علاقة لها بالتفاعلات الطبيعية في الخلية. وحجم الجرعة المؤثرة يختلف حسب نوعية الكائنات.

وكمية النفايات المشعة نتيجة الانشطار النووي بمحطات إنتاج الكهرباء بالمفاعلات النووية محدودة مقارنة بكمية النفايات بالمحطات الحرارية التي تعمل بالطاقة الأحفورية كالنفط أو الفحم. فالنفايات النووية تصل 3 ملليجرام لكل كيلو وات ساعة مقابل حوالي 700 جرام ثاني أكسيد الكربون لكل كيلو وات ساعة بالمحطات الحرارية العادية. ولكن هذه الكمية الصغيرة جدا من الإشعاع النووي قد تكون قاتلة أو تتسبب في عاهات وتشوهات لا علاج لها. وقد تستمر فاعلية

الإشعاعات لقرون بل لآلاف السنين حتى يخمد هذا الإشعاع أو يصل إلى مستوى يعادل الإشعاع الطبيعي. لهذا يحاول العلماء توليد الطاقة النووية عن طريق الاندماج النووي بدلا من الانشطار النووي الذي فيه ذرات اليورانيوم تنشطر وتعطي بروتونات ونيوترونات وجسيمات دقيقة من الطاقة التي تولد الكهرباء كما هو قائم في بناء مفاعل ITER .

وتتكون النفايات المشعة من وقود المفاعل النووي المشع أو المستهلك الذي لم يعد مفيدا لإنتاج الكهرباء. ووقود المفاعل المستهلك يكون في شكل صلب يتكون من حبيبات وقود صغيرة في أنابيب معدنية طويلة وهي قضبان الوقود النووي. وتجدر الإشارة إلى أن تجمعات وقود المفاعل المستهلكة شديدة الإشعاع يجب أن يتم تخزينها في البرك المائية المصممة خصيصا لهذا الغرض فالماء يبرد الوقود ويعمل بمثابة درع ضد الإشعاع.

ويمكن أيضا تخزين تجمعات وقود المفاعل المستهلك في حاويات تخزين جافة مصممة خصيصا لذلك. ويقوم عدد متزايد من مشغلي المفاعلات الآن بتخزين وقودهم المستهلك في مرافق التخزين الجاف باستخدام حاويات خاصة من الخرسانة أو الصلب مع تبريد الهواء.

والإنهاء النووي هو تفكيك محطة للطاقة النووية وإزالة التلوث من الموقع بحيث تتم حماية الناس من الإشعاع. فعندما يتوقف مفاعل نووي عن العمل، يجب إيقاف تشغيله. ويشمل الإخراج من الخدمة بشكل آمن إزالة جميع المعدات التي أصبحت مشعة من المفاعل وتقليل النشاط الإشعاعي إلى مستوى يسمح بالاستخدامات الأخرى لمبنى المفاعل أو إزالته. والفرق الرئيسي مع تفكيك محطات الطاقة الأخرى هو وجود المواد المشعة التي تتطلب احتياطات خاصة للإزالة والنقل بطريقة آمنة إلى مستودع النفايات. ومع ذلك صممت المحطات النووية أصلا من أجل حياة يبلغ متوسطها نحو 30 سنة ويشمل إيقاف التشغيل إجراءات إدارية وفنية كثيرة. ويشمل تنظيف النشاط الإشعاعي والهدم التدريجي للمحطة. وحالما يتم إيقاف تشغيل المفاعل النووي ينبغي ألا يكون هناك خطر وقوع حادث إشعاعي

واتباع تدابير متقدمة خاصة بالأمن النووي.

ولدى لجنة التنظيم النووي في الولايات المتحدة قواعد صارمة تنظم تشغيل محطة الطاقة النووية التي تنطوي على تنظيف أنظمة وهياكل محطات توليد الطاقة الملوثة إشعاعيا وإزالة الوقود المشع.

وقد يؤدي التفاعل النووي غير المنضبط في مفاعل نووي إلى تلوث واسع النطاق للهواء والماء .وخطر حدوث ذلك في محطات الطاقة النووية في الولايات المتحدة ضئيل إلى حد كبير بسبب الحواجز المتنوعة والمكررة والعديد من نظم السلامة القائمة في محطات الطاقة النووية، وتدريب ومهارة مشغلي المفاعلات، وأنشطة الاختبار والصيانة، والمتطلبات التنظيمية والإشراف على لجنة التنظيم النووي الأمريكية .وتحد فرق الأمن المسلح منطقة كبيرة تحيط بمحطات الطاقة النووية وتحرسها .كما تمتلك المفاعلات الامريكية سفن احتواء مصممة لمواجهة الاحوال الجوية المتطرفة والزلازل. وفي شكل (2-28) صورة الانبعاثات من أبراج المحطات النووية.

شكل (2-28): الانبعاثات من أبراج المحطات النووية

2-10-7 الحوادث النووية

ومنذ منتصف القرن الماضي وقعت بعض الحوادث النووية كالعدوان بالسلاح النووي أو تفجيرات التجارب النووية أو الانفجارات الناتجة من أخطاء تشغيل أو بسبب ظروف الطبيعية مثلما حدث مؤخرا في اليابان .

العدوان الأمريكي النووي على اليابان عام 1945

أُستُعمِلَت القنبلة الذرية مرتين في تاريخ الحروب. وكانتا كلتاهما أثناء الحرب العالمية الثانية عندما قامت الولايات المتحدة الأمريكية بإسقاط قنبلة ذرية على مدينتي هيروشيما وناجازاكي في اليابان في أواخر أيام الحرب. وأوقعت الهجمة النووية على اليابان عددا مهولا من الضحايا أكثر من 120 ألف شخص معظمهم من المدنيين وذلك في نفس اللحظة، كما أدت إلى مقتل ما يزيد عن ضعفي هذا العدد في السنوات اللاحقة نتيجة التسمم الإشعاعي أو ما يعرف بمتلازمة الإشعاع الحادة. واستنكرت الكثير من الدول الهجوم النووي الأمريكي على هيروشيما وناجازاكي إلا أن الولايات المتحدة زعمت أنها أفضل طريقة لتجنب أعداد أكبر من القتلى إن استمرت الحرب العالمية الثانية فترة أطول.

والولد الصغير هو الاسم الذي أطلق على أول قنبلة ذرية ألقيت على مدينة هيروشيما اليابانية في 6 أغسطس سنة 1945من قاذفة القنابل بي 29 إينولا جاى والتي كان يقودها الكولونيل بول تيبيتس من السرب 393 من القوات الجوية الأمريكية. وتعتبر هذه القنبلة هي أول سلاح نووي يتم استخدامه وبعدها بثلاثة أيام تم إلقاء القنبلة الثانية وسميت الرجل البدين على مدينة ناجازاكي .

وقد فُجرت أول قنبلة نووية للاختبار في الولايات المتحدة الأمريكية في16 يوليو 1945 في منطقة تدعى صحراء ألاموجوردو الواقعة في ولاية نيو مكسيكو في الولايات المتحدة، وسميت القنبلة باسم القنبلة (أ) وكان هذا الاختبار بمثابة ثورة في عالم المواد المتفجرة والأسلحة المدمرة. وبهذه العملية فإن شكلاً دائرياً صغيراً بحجم كف اليد يمكن أن يسبب انفجاراً تصل قوته إلى قوة انفجار تحدثه مئات

الآلاف من الأطنان من مادة تي إن تي.

وبعد الهجوم النووي على هيروشيما وناجازاكي وحتى وقتنا الحاضر وقع ما يقارب ألفي انفجاراً نووياً كانت بمجملها انفجارات تجريبية واختبارات قامت بها الدول الثمانية التي أعلنت عن امتلاكها لأسلحة نووية وهي الولايات المتحدة وروسيا وفرنسا والمملكة المتحدة والصين وباكستان والهند و كوريا الشمالية .

حريق «ويندسكيل» عام 1957

في سباق التسلح بعد الحرب العالمية الثانية، حاولت المملكة المتحدة تطوير قنابل نووية خاصة بها، وتحقيقاً لهذه الغاية بنت مفاعلين نوويين باسم «ويندسيكل» 1 و2. واندلع حريق في المفاعل الأول خلال عملية تحضير الصلب، ولم ينجحوا في السيطرة عليه، ليترك وراءه ما يقرب من 200-240 حالة سرطان.

حادثة «ثري مايل آيلاند» بالولايات المتحدة 1979

في عام 1979 ضربت أسوأ كارثة نووية في التاريخ الأميركي جزيرة (ثري مايل) في بنسلفانيا. وقد لعبت حجرة الاحتواء دورا رئيسيا في تحجيم الخسائر، وأن المبنى الاحتياطي للمحطة كان سببا في الانبعاثات الضعيفة التي أثرت على البيئة.وتقول لوحة معدنية على أحد شوارع الجزيرة تصف ما حدث عام 1979 بأن هذا الانفجار أحدث تغييرات في صناعة محطات توليد الطاقة النووية حول العالم.

حادثة «تشرنوبيل» في أوكرانيا 1986

السبب الأول للحادث كان المفاعل نفسه: إذ لم تأخذ السلطات السوفياتية اعتبارات السلامة الكافية خلال تصميم المفاعل الذي يعمل بغليان المياه. أما السبب الثاني فيعود إلى كونها تجربة جديدة لنظام جديد للتبريد في قلب المحطة . وخلال هذه التجربة لم يلتزم المشغلون بالتوصيات الأمنية وعطلوا بعض أنظمة التوقف والتبريد، وفي النهاية لم يعرف الطاقم كيفية استباق الحادث المدمر وتعطيله، حتى إنه فاقم الكارثة من خلال تصرفات غير ملائمة. واجتمعت عوامل عدة قاتلة وانشطرت وحدات الوقود كما انفجرت كريات اليورانيوم التي تحتويها بفعل

الحرارة. وهو انفجار هائل لدرجة أنه تسبب في رفع الغطاء العلوي للمفاعل والذي يزن 2000 طن .وبما أن المحطة لم تكن مزودة بحوض للاحتواء خلافا لمفاعل جزيرة ثري مايل وفوكوشيما، بات قلب مفاعل تشرنوبيل في الهواء الطلق في احتكاك مباشر مع الهواء الخارجي . توفي شخصان على الفور و28 آخرون في الأسابيع التالية. وما بين 1987 و2004 توفي 17 شخصا ونحو 600 ألف عسكري ومدني توالوا إلى الموقع في السنوات التي تلت الانفجار . إلا أن تقييم الأثر على صحتهم كان صعبا بسبب غياب المتابعة الدقيقة، كما الحال بالنسبة للخمسة إلى الستة ملايين شخص الذين يعيشون على الأراضي الأكثر تضررا من الانبعاثات الإشعاعية. وبحسب الأمم المتحدة، أدى الحادث إلى سقوط 4 آلاف قتيل. إلا أن الحصيلة قد تبلغ عشرات آلاف الضحايا بحسب التقديرات غير الرسمية لمنظمات غير حكومية عدة .

حادثة «غويانيا» بالبرازيل

في عام 1985 بمدينة «غويانيا» وسط البرازيل، قُتل 4 أشخاص وجرح 28 فضلاً عن 200 حالة تسمم في حادث تلوث إشعاعي بالمدينة بسبب انفجار أحد المفاعلات .

مفاعل «فوكوشيما» في اليابان 2011

تعد تلك الحادثة أكبر كارثة نووية شهدها العالم في منطقة مساحتها 30 كيلومتر مربع مدمرة تماماً ومازالت غير مأهولة حتى وقتنا الحالي. ويعود سبب الحادث إلى زلزال بقوة 8.9 درجات هو الأقوى في تاريخ الزلازل التي تم تسجيلها في اليابان، وموجة التسونامي التي نجمت عنه. وقدأدى الزلزال إلى قطع التغذية الخارجية بالتيار الكهربائي في المحطة وفي ستة من مفاعلاتها، من بينها ثلاثة مفاعلات متوقفة عن العمل للصيانة، ما أدى إلى تعطيل نظام التبريد الرئيسي. ووصل مستوى النشاط الإشعاعي الذي تم رصده حول الموقع الذي أحيط بمنطقة أمنية، وتم إجلاء القاطنين فيها إلى 20 كيلومتر.

ويعرض شكل (2-29) صورة لانفجار مفاعل «فوكوشيما» في اليابان.

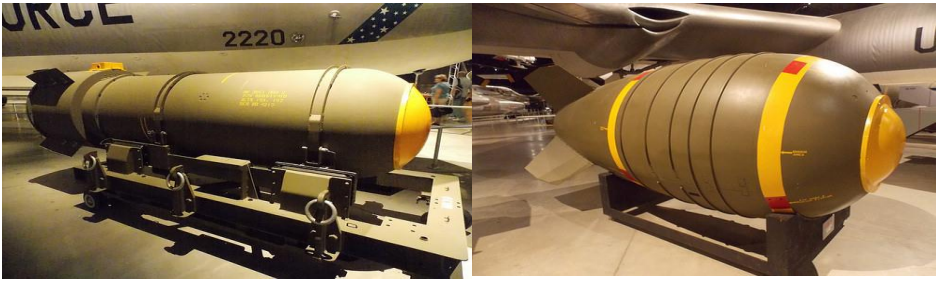
شكل (2-29): صور لانفجار مفاعل «فوكوشيما» في اليابان

2-10-8 السلاح النووي

هو سلاح تدمير فتاك يستخدم عمليات التفاعل النووي، يعتمد في قوته التدميرية على عملية الانشطار النووي أو الاندماج النووي. ونتيجة لهذه العملية تكون قوة انفجار قنبلة نووية صغيرة أكبر بكثير من قوة انفجار أضخم القنابل التقليدية، حيث أن بإمكان قنبلة نووية واحدة تدمير أو إلحاق أضرار فادحة بمدينة بكاملها. لذا تعتبر الأسلحة النووية أسلحة دمار شامل ويخضع تصنيعها واستعمالها إلى ضوابط دولية حرجة ويمثل السعي نحو امتلاكها هدفاً تسعى إليه دول كثيرة.

وفي الوقت الحاضر توجد خمس دول أعلنت أنها دول تمتلك أسلحة نووية، وقامت بتوقيع معاهدة الحد من انتشار الأسلحة النووية وهذه الدول هي الولايات

المتحدة والاتحاد السوفيتي (روسيا حاليا) وفرنسا والمملكة المتحدة والصين .هناك دولتان أعلنتا امتلاكهما لأسلحة نووية دون أن توقعا على معاهدة الحد من انتشار الأسلحة النووية وهما باكستان والهند. وكوريا الشمالية أعلنت رسميا عن امتلاكها لأسلحة نووية لكنها لم تقدم أدلة ملموسة حول إجراء اختبار لقنبلتها النووية، ويحيط الكثير من الغموض بالملف النووي الكوري. وعلى النقيض من كوريا الشمالية كانت جنوب أفريقيا تمتلك في السابق ترسانة نووية لكنها قررت تدميرها . ويعرض شكل (2-30) صورقنابل نووية أمريكية نوع مارك 6 والنوع مارك 39.



قنبلة نووية نوع مارك 6 قنبلة نووية نوع مارك 39

شكل (2-30): قنابل نووية أمريكية نوع مارك 6 (1951 – 1955) ناتج 160 كيلو طن والنوع مارك 39 (1957 – 1966) بناتج 4 ميجا طن

ووجهت مؤخرا اتهامات إلى إيران من قبل الولايات المتحدة وبعض الحكومات الغربية بامتلاكها قنابل المواد المخصبة وهي نوع من الأسلحة النووية الانشطارية، ولكن إيران نفت هذه الاتهامات كما أصدرت فتوى بتحريم السلاح النووي من قبل المرشد الأعلى للثورة الإسلامية في إيران في عام 2003 تعتبر استخدام هذه الأسلحة

وسائر صنوف أسلحة الدمار الشامل كالأسلحة الكيمياوية والبيولوجية خطراً حقيقياً على البشرية وبالتالي حرامًا. وقامت منظمة الوكالة الدولية للطاقة الذرية بإجراء عمليات تفتيش على مختلف المفاعلات النووية الإيرانية عدة مرّات، منها مفاعل أراك في يوليو 2007 ومنشأة فوردو في أكتوبر 2009 .

وهناك شكوك كبيرة في امتلاك إسرائيل لأسلحة نووية، غير أن الحكومات الإسرائيلية لم تعلن أو تنكر رسميا امتلاكها لأسلحة نووية حتى الآن. ولإسرائيل مفاعل نووي هو مفاعل ديمونة .وفي عام 1986 كشف أحد العلماء الإسرائيليين واسمه مردخاي فعنونو معلومات عن مفاعل ديمونة بعد أن قام بتصوير 60 صورة من أقسام سرية للمفاعل تقع تحت الأرض. وبعد فحص الصور والمعلومات من قبل مختصين قاموا بتأكيد أن إسرائيل استطاعت تصنيع 200 قنبلة نووية حتى عام 1986. ونتيجة لذلك تم اختطافه واعتقاله من قبل الموساد الإسرائيلي. وهناك اعتقاد سائد بأن إسرائيل قد قامت في عام 1979 بإجراء تفجير اختباري دون أن تتوفر الأدلة لإثبات هذه المزاعم. ومن الجدير بالذكر أن إسرائيل لم توقع على اتفاقية منع انتشار أسلحة الدمار الشامل والسلاح النووي. ولم تنفي أو تؤكد إذا كانت تمتلك قنابل نووية أم لا. ولكن البعض يعتقد أن أسرائيل تحيط ملفها النووي بكثير من الغموض لأهداف سياسية مع الدول العربية المجاورة مثله مثل الحرب النفسية وأن إسرائيل ليست مؤهلة تكنولوجيا لصناعة القنابل النووية وأنها لو كانت ممتلكة قنابل نووية فإنها أمريكية الصنع.