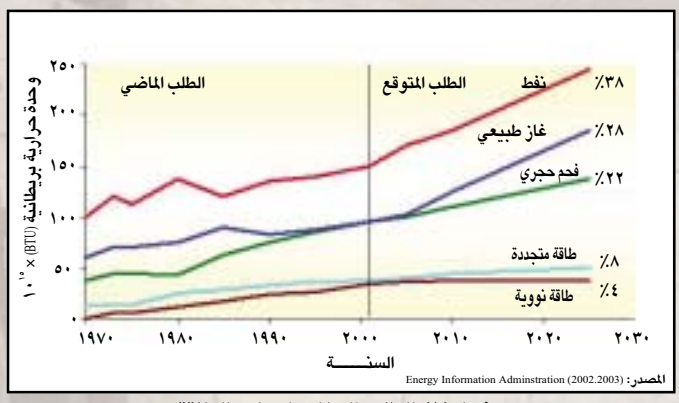
الفحم الحجري

د. ناصر بن عبدالله الرشيد

الفحم الحجري صخر أسود أو بني اللون قابل للاشتعال والاحتراق، يتكون من خليط معقد من المواد الكيميائية، حيث يحتوي على الكربون والأكسجين في ترابط كيميائي مع كميات قليلة من الكبريت والنيتروجين، كما يوجد معه كمية من الرطوبة وبعض الفلزات، ينتج عن احتراق الفحم طاقة حرارية يمكن استخدامها في تدفئة المنازل وإنتاج الكهرباء. ويعد إنتاج الكهرباء هو الاستخدام الأساس للطاقة الحرارية الناتجة عن حرق الفحم الحجري، كما يستخدم في إنتاج فحم الكوك ذي الاستخدامات المتعددة في الصناعة.

يعد الفحم الحجري مصدراً مهماً للطاقة، حيث يستخدم في إنتاج حوالي ٢٣٪ من احتياجات العالم من الطاقة، وهو يستخدم بشكل أساس لإنتاج ٧٠٪ من الفولاذ و٣٨٪ من الكهرباء عالمياً، ونظراً لأنه أكثر مصادر الطاقة الأحفورية وفرة؛ فإن خبراء الطاقة يتوقعون أن يبقى كذلك لفترة طويلة، شكل(١).

وبالرغم من هذه الاستفادة العظمى من الفحم إلا أن له أضراراً كثيرة، منها: أنه عند استخدامه للحصول على الطاقة فإنه ينتج حوالي ٩ بلايين طن سنوياً من غاز ثاني أكسيد الكربون، ٧٠٪ منها من محطات توليد الكهرباء. وتذكر تقديرات أخرى أن ثاني أكسيد الكربون المنطلق من محطات توليد الكهرباء يشكل ثلث ثاني أكسيد الكربون في الجو.



● شكل(١) الطلب العالمي لمصادر الطاقة.

تكـــوّن الفحـــم

تكوَّن الفحم من بقايا نباتات ماتت ودفنت قبل مئات الملايين من السنين، ولهذا يعد وقوداً أحفورياً، حيث يعتقد العلماء أن بعض النباتات نمت في مستنقعات وماتت فيها فشكلت مادة النبات تلك طبقة سميكة فوق قاع المستنقع ثم أخذت ـ مع مرور الزمن ـ تتصلب وتتحول إلى مادة أخرى تسمى الخث (Peat) ـ نسيج نباتي متفحم ـ حيث اندفنت رواسبها تحت الرمال والمعادن الأخرى، فتعرضت بذلك إلى ضغط هائل وحرارة عالية أدت إلى تحولها إلى صخر يشبه حجر الرمل والطفل، ومع توالي تشكل الطبقات الرسوبية عليها تحول الخشب إلى فحم حجري، ولذا يطلق لفظ الصخور الرسوبية على كل من الفحم الحجري والحجر الرملي والصخور الأخرى التي تشكلت من مواد رسوبية، شكل (٢).

مَرّ تكوّن الفحم الحجري بعدة مراحل بدأت باللجنيت وانتهت بالأنثراسيت. حيث يزداد محتواه من الكربون، ويقل محتواه من الأكسجين والهيدروجين خلال السلسلة من اللجنيت إلى الأنثراسيت. ويؤدي اختلاف الحرارة والضغط أثناء مرحلة التفاعل الكيموجيولوجية (Geochemical) إلى تطور الفحم إلى تلك الاختلافات في أنواع الفحم الحجري وليس بسبب نوع النبات الذي تكون منه الفحم.

● شكل(٢) مراحل تكون الفحم الحجري.

● اللجنيت

ينتج عن المرحلة الأولى من تكون الفحم الحجري فحم نباتي داكن اللون يسمى اللجنيت، وهو عبارة عن خشب متمعدن.

● الفحم شبه القاري

يتكون نتيجة لتعرض اللجنيت لضغط شديد من المواد التي تعلو ترسباته، وكذلك نتيجة لتأثيرات الحركات الداخلية للقشرة الأرضية فإنه يتحول إلى فحم أكثر صلابة يسمى الفحم شبه القاري.

● الفحم القاري

نتيجة لتعرض الفحم شبه القاري إلى ضغط شديد وحرارة عالية فإنه يتحول إلى فحم أكثر صلابة وقوة يسمى الفحم القاري.

● فحم الأنثراسيت

يعد فحم الأنثراسيت أكثر أنواع الفحم الحجري صلابة، ويتشكل نتيجة لتعرض الفحم القاري لضغوط بالغة الشدة. ومن الجدير بالذكر أن فحم الأنثراسيت هو أقدم أنواع الفحم بينما يكون فحم اللجنيت أحدثها.

طرق استخراج الفحم

يستخدم عمال مناجم الفحم معدات ضخمة لإزالة الفحم من الأرض، وتصنف الطرق المستخدمة لاستخراج الفحم إلى طريقتين هما: المناجم السطحية والمناجم تحت السطحية.

● منجم سطحي.

وذلك بحسب بعد أماكن وجود الفحم عن سطح الأرض.

● المناجم السطحية

المناجم السطحية هي المناجم التي يوجد فيها الفحم الحجري على عمق قريب من سطح الأرض يتراوح ما بين ٣٥ إلى ٧٠متر. وتعد مناجم الولايات المتحدة للفحم الحجري من أشهر المناجم السطحية في العالم حيث يأتي معظم ـ التلثين ـ الفحم المنتج من هذه المناجم.

يستخرج الفحم من المناجم السطحية عن طريق إزالة الطبقات الرسوبية والصخرية (Overburden) التي تعلو طبقة الفحم، بواسطة الجرافات والغرافات وغيرها من المعدات الثقيلة، ثم تفتت عروق الفحم بواسطة المتفجرات.

تستخدم في هذا النوع من المناجم كابلات السحب (Dragline) والجرافات، والبلدوزرات، والعجلات المسننة التي تعمل الشقوق، وشاحنات النقل الضخمة، وفي حالة المناجم الكبيرة فإن كيابل السحب تزيل المواد التي تعلو الفحم، بينما تقوم الجرافات بتحميل الفحم على الشاحنات. أما في المناجم الصغيرة فتستخدم الجرافات فقط لإزالة الطبقات التي تعلو الفحم، ثم ينقل الفحم إلى خارج المنجم.

يوجد عدة أنواع من المناجم السطحية، هي:

* **المناجم السطحية المساحية (Area Surgace Mines)**: وتوجد عادة في الأراضي المستوية. تتكون هذه المناجم ـ عادة ـ من سلسلة قطوع يتراوح عرض كل منها ما بين ٣٠ إلى ٦٠ متراً، وفيها تستخدم المواد الصخرية المستخرجة من الحفرة الثانية في دفن الحفرة الأولى.
* **المناجم المتعرجة (Contour mines)**: وتوجد في المناطق الجبلية حيث يتم متابعة عروق الفحم على طول جوانب التل (المرتفع). وحينما يكون إستخراج الفحم من المنجم مكلف للغاية فإنه يمكن استخراج كمية إضافية منه عن طريق العمال بواسطة عمل الثقوب والجدر العالية.

● شاحنة ضخمة لنقل الفحم من المنجم إلى أماكن الإستخدام.

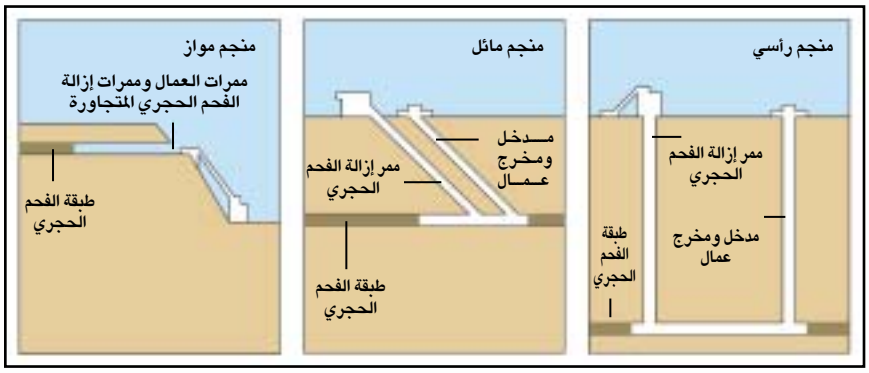
* **مناجم الحفرة المفتوحة (Open Pit Mining)**: وتستخدم عادة عندما تكون عروق الفحم سميكة، حيث يمكن الوصول إلى عمق يصل إلى عدة مئات من الأمتار.

● المناجم تحت السطحية

المناجم تحت السطحية هي المناجم التي يتواجد فيها الفحم على بعد أكثر من ٧٠متراً من سطح الأرض. يعد التعدين في هذه المناجم أكثر خطورة من المناجم السطحية، فقد يتعرض العمال للإصابة أو الموت بسبب انهيارات الكهوف والصخور الساقطة وحوادث التفجير والغازات السامة، ولذلك ففي هذا النوع من المناجم يكون الاهتمام كبيراً بوسائل السلامة. كما يجب أن تصمم المناجم تحت السطحية بشكل يوفر الحماية والسلامة للعاملين.

تتطلب المناجم تحت السطحية أيد عاملة أكثر من المناجم السطحية، كما أن الميكنة فيها متقدمة وتقوم بدور كبير في استخلاص واستخراج الفحم الحجري.

تتميز المناجم تحت السطحية بوجود نفقين يصلان إلى طبقة الفحم الحجري، أحدهما يستخدم لنقل المعدات والعمال والآخر لنقل الفحم، وكلاهما يؤدي وظيفة التهوية.



● شكل(٣) أنواع المناجم تحت السطحية.

* **أقسام المناجم تحت السطحية:** ويمكن تقسيمها إلى ثلاثة أقسام، شكل (٣) هي:

ـ المناجم الرأسية: وتتميز بوجود مداخل عمودية تصل بين سطح الأرض وبين عروق الفحم، وتزود عادة بمصاعد لحمل العاملين ومعداتهم إضافة إلى تهوية المنجم.

ـ المناجم المائلة: وفيها تشق الممرات بشكل مائل، بحيث تتبع جانب التل حتى تصل إلى الفحم.

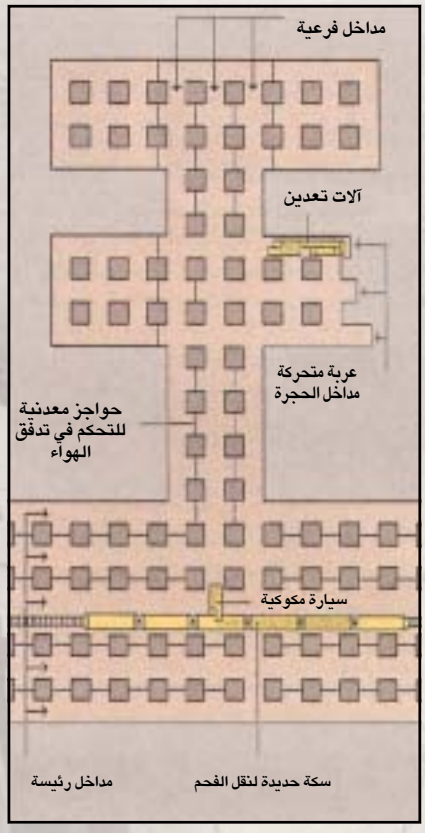
ـ المناجم الموازية: وتستخدم لاستخراج الفحم المطمور داخل التل أو الجبل.

* **أنظمة الحفر:** تتم عملية الحفر في المناجم تحت السطحية على نظامين هما:

ـ نظام الحجرة والعمود: ويتم فيها إبقاء أعمدة من الفحم لكي تسند سقف المنجم حتى لايقع، ويتم ذلك بحفر عدة أنفاق طويلة ومتوازية في عرق الفحم يطلق عليها الممرات الرئيسة، حيث يفصل بين كل ممر وآخر حائط من الفحم يتراوح عرضه ما بين ١٢ إلى ٢٤ متراً. بعد ذلك يجري قطع الجدار المحصور بين ممرين إلى مربعات أو مستطيلات يبلغ طول كل منها ١٢-٢٤ متراً.

يقوم عمال المناجم ـ أيضاً ـ بحفر ممرات فرعية متعامدة مع المداخل الرئيسة ومخترقة لعروق الفحم الحجري. تتكون هذه الممرات الفرعية من ثلاثة ممرات متوازية أو أكثر. بعد ذلك يتم عمل قطوع في جدران تلك الممرات تصل بين ممرين فرعيين متجاورين، مما يؤدي إلى تشكيل أعمدة من الفحم تدعم سقف المنجم، شكل(٤). يستمر العمال بعمل ممرات وحجرات وأعمدة إلى أن يصلوا إلى نهاية المنجم، بعد ذلك يقومون بإزالة الأعمدة بطريقة تراجعية، أي يبدأون من الداخل إلى الخارج، مما يؤدي إلى سقوط سقف المنجم تدريجياً لوقاية العمال من أن يحتجزوا داخله أو يصابوا بأذى من سقوط السقف عليهم.

تتمثل مهمة الأعمدة المكونة من الفحم في دعم الغطاء الصخري فوق المداخل، كما يجب تثبيت أسقف هذه المداخل بالقضبان الحديدية المزودة بصواميل، حيث يقوم العمال بحفر ثقوب في السقف بعمق يتراوح ما بين ٠,٩ إلى ١,٨م، ثم يضعون فيها مسامير أو قضبان طويلة، ثم يثبتون النهاية الحرة لها مع السقف بصامولة تخترق القضبان طبقات صخور الغطاء



● شكل(٤) استخراج الفحم بطريقة الحجرة والأعمدة.

الصخري فوق المداخل، فتربطها بعضها مع بعض، فتؤدي إلى تماسكها وعدم انهيارها. وهكذا يستمر العمال بتنفيذ نفس العملية مع جميع المداخل الرئيسة للمنجم.

ولتسهيل عملية نقل الفحم المنتج فإنه يتم تركيب سكة حديدية أو حزام متحرك. حيث يمكن أيضاً استخدام سكة الحديد لانتقال العمال بين أرجاء المنجم المختلفة.

يجب إنشاء ـ في هذا النوع من المناجم ـ بعض التسهيلات والخدمات مثل دورات المياه، وقنوات تصريف المياه، وأنابيب سحب الغاز، وأنابيب للهواء المضغوط، وكابلات الكهرباء.

تستخدم طريقة الحجرة والعمود في التعدين طريقتين هما:

١- الطريقة التقليدية: وقد كانت تمارس بشكل واسع خلال الثلاثينات من القرن العشرين، حيث حلت محل الطرق البدائية الأولى التي كانت تقلع الفحم يدوياً. تتكون هذه الطريقة من خمس مراحل ينفذ كل منها بواسطة فرق متخصصة ومنفصلة عن الفرق الأخرى، وهي:-

(أ) تقوم آلة مكونة من مجموعة من الأقراص المسننة كالمنشار بعمل شق عميق على طول قاعدة واجهة عرق الفحم.

(ب) تقوم آلة أخرى بحفر عدة ثقوب في ذلك الشق.

(ج) يحشى كل ثقب بالمتفجرات، وعند تفجيرها يتبعثر الفحم الحجري.

(د) تقوم آلة بتجميع الفحم المتناثر وتحميله على عربة أو سيور متحركة.

● الطريقة التقليدية للتعدين.

(هـ) يقوم عمال المناجم بعد ذلك بوضع المسامير لحماية السقف من السقوط.

٢- طريقة التعدين المتواصل: وهي الطريقة الشائعة الآن في بعض الدول، حيث يستخدم فيها آلات خاصة يطلق عليها الآت التعدين المستمر (Continuos mining)، فتقوم بنحت الفحم الحجري من واجهات عروق الفحم بكفاءة وسرعة عاليتين، حيث تقوم آلة يديرها عامل واحد فقط باقتلاع حوالي ١١ طناً متريا في الدقيقة الواحدة، إضافة إلى قيامها بتحميل الفحم المستخلص على عربات أو سيور متحركة تنقلها إلى عربات أخرى من المداخل الرئيسة.

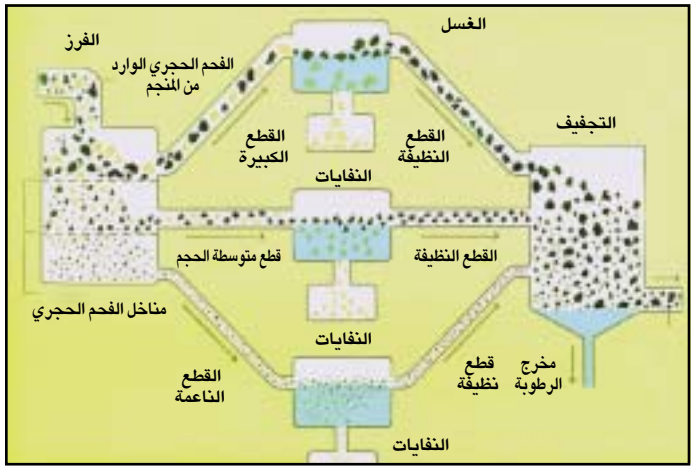
ـ نظام الحائط الطويل: ويتمثل هذا بشق أنفاق شبيهة بتلك الممرات المعمول بها في نظام الحجرة والعمود، يتراوح طولها ما بين ٩٠ إلى ٢١٠ متراً، فيتم تعدين الفحم من واجهة واحدة من عرق الفحم، حيث يحرك عمال المنجم آلة القطع ذهاباً وإياباً على تلك الواجهة، وبعد أن يتم استهلاك واجهة عرق الفحم الحجري التي يتراوح طولها ما بين ١٢٠٠ إلى ١٨٠٠م فإن الآلة تنتقل إلى واجهة أخرى إلى أن يتم استخراج أكبر كمية من الفحم تصل إلى ٩٠٪ من محتواه.

ظهر هذا النوع من التعدين في أوروبا، حيث تكثر المناجم تحت السطحية العميقة وبالتالي يزداد ضغط الغطاء الصخري، ولذا فان نظام الحائط الطويل يخفف من تأثير الضغط، فيبقى السقف فوق المدخل الرئيس، وفوق واجهة الحائط الطويلة.

تنظيف الفحم

يحتوي الفحم المستخرج من المنجم على شوائب غير مقبولة لكثير من جهات استهلاكه مثل مصانع فحم الكوك،

● نظام الدعم في الحائط الطويل.



● شكل(٥) طريقة تنقية الفحم الحجري.

ومحطات توليد الكهرباء، ولهذا يجب تنقيته قبل عرضه للبيع.

يتم تنظيف الفحم الحجري في معامل تجهز خصيصاً لهذا الغرض في مواقع الإنتاج، وتتضمن ثلاث خطوات رئيسية، شكل (٥) هي:-

● الفرز

يتم فرز الفحم بواسطة المناخل إلى ثلاث مجموعات حسب حجوم قطع الفحم الحجري.

● الغسل

يتم سحب كل مجموعة على حدة عبر أنابيب إلى جهاز غسيل مستقل حيث يتم مزجها بالماء، فيستقر الفحم المخلوط بالشوائب في القاع؛ لأنه أثقل من الفحم النقي، ومن ثم يتم استبعادها.

● التجفيف

تتم عملية تجفيف الفحم الحجري النقي بواسطة الهزازات أو نافثات الهواء الساخن، وبذلك يصبح الفحم الحجري جاهزاً للشحن إلى المشتري.

السلامة في المناجم

كان العمل في مناجم الفحم خطراً جداً، حيث تتسبب الحوادث في وفاة آلاف العمال سنوياً، أو إصابتهم بإعاقات مختلفة، مما حدى بالحكومات إلى سَنّ التشريعات والمعايير التي توفر الحد الأدنى من إجراءات الصحة والسلامة للعاملين وأرباب العمل على حد سواء، ولهذا تناقصت الحوادث بشكل كبير وصل في بعض الأحيان إلى ٨٥٪.

من أهم الأخطار والحوادث التي يتعرض لها العاملون في مناجم الفحم مايلي:-

● حوادث الآلات

وجد أن حوادث الآلات تقتل عدداً من العمال سنوياً يفوق ما تسببه الأخطار الأخرى، حيث يحدث معظمها في المناجم السطحية بعكس العمل في المناجم تحت السطحية؛ وذلك نتيجة لوجود الممرات الضيقة والإضاءة الخافتة مما يجعل العمال أكثر حذراً.

● انهيارات الأسقف

يمكن تلافي انهيارات الأسقف بدرجة كبيرة باستخدام الدعامات، بحيث يضع لها المهندسون خطة تدعيم مناسبة بعد دراسة وافية لوضع المنجم وتكوينات الصخور المحيطة بطبقة الفحم الحجري، بحيث تشتمل تلك الخطة على عدد من الأعمدة والقضبان ومسامير التثبيت.

● تجميع الغازات

يؤدي تجمع الغازات إلى أضرار جسيمة على صحة العاملين، ويعد غاز الميثان وأول أكسيد الكربون أشد الغازات ضرراً على صحة العاملين، لأن غاز الميثان قابل للانفجار، فقد يؤدي وجود كمية تتراوح ما بين ٥ إلى ١٥٪ من غاز الميثان مع الهواء إلى حدوث انفجار شديد، أما غاز أول أكسيد الكربون فهو غاز سام جداً يؤدي إلى الوفاة إذا وجد بتراكيز عالية.

ويمكن التقليل من خطر تراكم الغازات بتركيب مراوح تهوية على سطح المنجم تعمل على سحب الغازات إلى خارجه، إضافة إلى

تركيب كاشفات آلية لغاز الميثان، ويجب إغلاق المنجم مؤقتاً إذا زادت نسبة غاز الميثان عن ٢٪.

● غبار الفحم الحجري

يؤدي استنشاق غبار الفحم الحجري بكميات كبيرة ولمدة طويلة إلى الإصابة بمرض الرئة السوداء، وهذا يؤثر على تنفس المصاب، وقد يؤدي إلى الوفاة، وقد ذهب ضحيته آلاف العمال. كما أن تركيزه قد يؤدي إلى الانفجار.

يمكن تلافي الأخطار الناجمة عن غبار الفحم الحجري وتقليلها بالتهوية الجيدة للمنجم، ورش مسحوق حجر الجير فوق الأسطح المكشوفة، ورش واجهات المنجم الحجري بالماء لتثبيت الغبار.

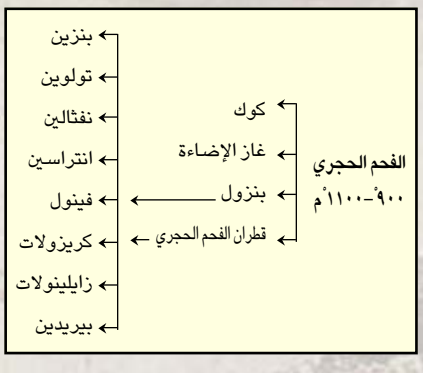
استخدامات الفحم الحجري

تتباين أنواع الفحم الحجري كثيراً من حيث محتواها من الرطوبة وتركيبها الكيميائي، إذ إن تركيبها الكيميائي ليس ثابتاً، بل تعتمد على محتواها من العناصر وعلى هذا تختلف طريقة استخدامها.

تعد الفحوم القارية أكثر أنواع الفحم وفرة واستخداماً، وهي ذات طاقة حرارية أعلى من الطاقة الحرارية التي تنتجها الأنواع الأخرى. ومن أهم استخدامات الفحم الحجري بشتى أنواعه مايلي:

● منتجات كيميائية وغاز وقود

يتم تصنيع بعض المنتجات الكيميائية وغاز الوقود بواسطة عملية التفحيم، وهي عبارة عن تفكيك الفحم الحجري عند درجات حرارة أعلى من ٣٠٠ْم في غياب الهواء حيث يزداد تحلله بارتفاع درجة الحرارة التي قد تصل إلى ١١٠٠ْم لينتج الكربون على شكل فحم كوك وغازات متعددة ومنتجات تحلل سائلة، كما هو مبين في المخطط المبسط التالي:-



● مخطط منتجات تفحيم الفحم الحجري.

الجدير بالذكر ان غاز الإضاءة (المدينة) يتكون من حوالي ٢٣٪ ميثان و ٤١٪ هيدروجين وغازات أخرى مثل النتروجين وثاني أكسيد الكربون وأول أكسيد الكربون مركبات هيدروكربونية.

من جانب آخر أدى توفرالغاز الطبيعي وتطور أنتاجه من اجزاء النفط إلى جعل الطبيعي جعل انتاج غاز المدينة بتفحيم الفحم الحجري غير مرغوب فيه اقتصادياً في أقطار متعددة.

● وقود

يستخدم الفحم كوقود بشكل واسع لوفرته وإنتاجه لطاقة حرارية عالية، ولكن هناك بعض العيوب التي تحد من استخدامه كوقود، وهي احتوائه على بعض الشوائب مثل عنصر الكبريت ومعادن أخرى تتحد مع أكسجين الهواء عند الاحتراق مكونة غاز ثاني أكسيد الكبريت السام وبعض أكاسيد الفلزات.

تحتوي بعض الفحوم علي نسبة أقل من ١٪ من عنصر الكبريت، وهذه يمكن حرقها دون أن تطلق كميات كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكبريت. أما إذا كانت تحتوي على نسبة أعلى من ١٪ من الكبريت فإنها تسبب تلوثاً خطيراً للهواء إذا أحرقت بكميات كبيرة دون الأخذ بتدابير الأمان المناسبة؛ ولذلك لا يوصى باستخدام الفحم الحجري كوقود بشكل واسع لصعوبة أخذ تلك التدابير والاحتياطات لمنع التسمم بالغازات المتصاعدة عند احتراقه.

● إنتاج الكهرباء

يتركز استخدام الفحم الحجري كوقود في إنتاج الطاقة الكهربائية. حيث تستخدم القوة البخارية الناتجة عن تسخين المياه في إدارة العنفات التي تدير بدورها المولدات الكهربائية.

● معمل إنتاج فحم الكوك.

● التدفئة

يستخدم الفحم الحجري بكثرة في بعض مناطق قارتي آسيا وأوروبا في تدفئة المنازل والمباني الأخرى، وقد حل الغاز والنفط محل الفحم الحجري في التدفئة، ولكن ارتفاع تكلفة الغاز والنفط أدت ببعض المصانع والمباني التجارية إلى العودة لاستخدام الفحم الحجري. ونظراً لأن الفحم القاري أقل تكلفة فقد إستخدمته المصانع والمحلات التجارية في التدفئة مع أن إنتاجه من الطاقة الحرارية أقل من فحم الأنثراسبت.

ومع أن فحم الأنثراسيت أكثر تكلفة من الفحم القاري إلا أنه يستخدم في تدفئة المنازل لأنه أكثر نظافة.

● الصناعة

استخدم الفحم الحجري في الأزمنة الماضية للحصول على الطاقة اللازمة لصناعات كثيرة تتراوح ما بين الزجاج إلى الأطعمة وصناعة الورق التي لازالت معظم المصانع تستخدمه كمصدر للطاقة.

● إنتاج فحم الكوك

يستخدم الفحم الحجري كمادة خام في صناعة بعض المواد مثل فحم الكوك، حيث يسخن الفحم الحجري القاري بمعزل عن الهواء في فرن محكم الإغلاق إلى درجة حرارة تصل إلى ١١٠٠ْم، فيحول ذلك دون احتراق الفحم إلا أن بعض الأجسام الصلبة في الفحم الحجري تتحول إلى غازات، والباقي هو فحم الكوك، وهو عبارة عن كتلة صلبة على هيئة زبد مطلقاً من الكربون الخالص تقريباً.

يجب أن يحمل الفحم المخصص لإنتاج فحم الكوك خصائص معينة، مثل احتوائه على قليل من الرماد والكبريت، وهذه تتوفر عادة في أنواع خاصة من الفحم القاري فقط.

تلحق عادة مصانع فحم الكوك بمصانع الفولاذ، حيث يحرق خام الحديد مع فحم الكوك وحجر الجير، وذلك لتحويل خام الحديد إلى حديد نقي، ويطلق على هذه العملية اسم الكربنة. ينتج عن عملية الكربنة هذه غاز النشادر السائل وقطران الفحم الحجري، كما أن بعض الغازات المتبقية تتحول إلى زيت خفيف.

تُسْتَخْدم النشادر وقطران الفحم والزيت الخفيف في إنتاج الأدوية والأصباغ والأسمدة. أما قطران الفحم فيستخدم في أعمال أسطح المنازل ورصف الشوارع، بينما يستخدم غاز فرن الكوك كوقود في أفران إنتاج فحم الكوك.