



## Energy resources

### الجزء الثاني مصادر الطاقة

#### مقدمة Introduction

الهدف من هذا الجزء هو تقديم تعريف عن مصادر الطاقة والوقود وإعطاء عرض مختصر على اهم المصادر الأساسية للوقود والطاقة.

بمجرد ان تقرأ هذا الجزء والملاحظات المنشورة على الانترنت فانك ستكون جاهزا لحل مجموعة من التمارين حول الموضوع.

#### 1.2 ما هي مصادر الطاقة What are energy resources

مصادر الطاقة اما ان تكون في صورة مخازن للطاقة يمكن الوصول لها عند الحاجة لاستخدامها، أو هي مصادر متدفقة من الطاقة الطبيعية والتي يمكن تحويلها لأشكال أخرى من الطاقة ذات فائدة اكثر.

الطاقة التي تختزن هي الوقود، مثل الخشب والفحم والنفط والغاز وكذلك الوقود النووي. الطاقة المتدفقة يمكن ان توجد في ضوء الشمس والانهار والرياح او في البحار، مثل الأمواج وحركة المد والجزر. كل هذه ما عدا المد والجزر تعتبر طاقة متدفقة وهي ناتجة عن الشمس، تقود الشمس الدورة الهيدرولوجية من خلال تبخير الماء لينتقل من مستوى البحر إلى مستويات عالية فوق الجبال، وتقود الشمس دورة الغلاف الجوي من خلال الرياح التي بدورها تولد أمواج البحر. طاقة متدفقة أخرى هي الانسياب الحراري من باطن الأرض إلى



سطحها. هذه الطاقة الجيوحرارية (geothermal energy) هي ما تبقى من الطاقة المخزنة اثناء تشكل الكرة الأرضية.

إذا نظرت إلى هذه المصادر بدقة فانك سوف ترى بعض الغموض في التفرقة بين الطاقة المخزنة والطاقة المتدفقة: الخشب (والفضلات البيولوجية الأخرى) هي مخزون يمكن حصاده وتخزينه، لكنه يتشكل بطريقة متصلة على مدار السنة. الطاقة الجيوحرارية هي في الحقيقة طاقة مخزنة في أعماق الأرض وترسبت خلال تشكل الكواكب (من سقوط المواد السماوية بتأثير الجاذبية في الكوكب)، لكننا يمكننا الوصول لها من خلال التدفق الحراري من باطن الأرض الساخنة إلى سطح الأرض من خلال عملية تبريد تدريجية. وكما نرى ان التفريق كان من خلال طريقة الوصول لشكل معين من اشكال الطاقة.

حيث ان الطاقة المخزنة تكون موجودة في الجوار وتنتظر ان تستخدم، الا انها تحدد بدلالة محتوى الطاقة، أي بوحدة الجول او من خلال مكافئ المليون طن من النفط او أي وحدات طاقة أخرى.

حيث ان الطاقة المتدفقة هي عبارة عن فيض من الطاقة يحدث بشكل طبيعي الا انها تحدد بدلالة فيض الطاقة او القدرة أي بوحدة الوات او ما شبهها.

## 2.2 مصادر الطاقة المتوفرة لنا في نهاية المطاف Our ultimate energy sources

الطاقة المتوفرة للاستخدام تأتي في نهاية الامر من أربعة مصادر،

1. الطاقة المخزنة في قشرة الأرض خلال تكون الكرة الأرضية
2. الطاقة المتحررة بالتبريد التدريجي لباطن الأرض
3. الطاقة المتحررة من طاقة الوضع التجاذبية بين الأرض والقمر.
4. الطاقة المنبعثة من الشمس والممتصة بواسطة غلاف الكرة الأرضية وسطحها.

إذا نظرنا بعناية إلى هذه القائمة سوف نرى ان معظم مصادر الطاقة الشائعة الاستخدام في استهلاكنا اليومي هي النفط والغاز والفحم لا تتضمن في هذه القائمة. كل هذه المصادر الثلاثة هي متبقيات الغطاء النباتي من عصور ما قبل التاريخ والتي نمت بشكل رئيسي باستخدام فئة الطاقة الرابعة وهي اشعة الشمس. خلال



العملية الجيولوجية التي اشتملت على درجة اكبر او اقل من كل مصادر الطاقة، والطاقة الشمسية المخزنة في النباتات تركزت فيما بعد في صورة فحم وبنفط وغاز.

تصف اكثر تعاريف مصادر الطاقة دقة بان كل مصادر الطاقة محدودة ولكن بمقياس زمني مرتبط بالاستهلاك ولبعض مصادر الطاقة تكون اكبر من عمر الانسان على الأرض، ولهذا يمكن اعتبارها على انها لا نهائية. في الجزء التالي سوف نوضح الفرق العملي بين مصادر الطاقة المحدودة ومصادر الطاقة اللانهائية.

### 3.2 مصادر الطاقة المحدودة والمتجددة Finite and Renewable energy sources

في هذا الجزء سوف نقوم بتطوير تعريفات عملية لنوعين من أنواع مصادر الطاقة والتي تمت الإشارة لها من قبل بالمصادر المحدودة والمصادر المتجددة، على التوالي. قبل التعريف سوف نقوم بمناقشة اصل مصادر الطاقة وبعد التعريفات سوف نقدر كمية الطاقة المتجددة المتوفرة للاستخدام. سنقوم بتقسيم الطاقة المتدفقة المتوفرة للاستخدام إلى اشكال حسب حدوثها.

المصادر التي تم اعتبارها على انها محدودة هي الوقود الاحفوري والوقود النووي. احتياطات الوقود النووي تعود الى تشكل الأرض وهي تخص المصدر الأول، في حين ان الوقود الاحفوري والتي تكون في صورة فحم وبنفط وغاز اشتقت من الفئة الأخيرة، والتي هي بواقي النباتات والتي نمت بواسطة الاشعاع الشمسي. من الواضح ان هذه الطاقة المخزونة هي ذات حجم محدود حتى اذا كان مصدرها من مصدر لانهائي مثل اشعاع الشمس. على أي حال المقياس الزمني اللازم لإنتاجهم هو مرة أخرى كبير جداً، بحيث انه من المستحيل تجديدها على مقياس حياة الانسان.

على الجانب الاخر فان مصادر الطاقة المتجددة تكون في الاغلب مرتبطة مع شيء يحدث في البيئة. بمجرد الوصول للطاقة الطبيعية يتم استخلاص جزء صغير منها ليتحول إلى طاقة مفيدة. امثلة على ذلك وضع تروبين هوائي في مناطق تشتد فيه الرياح او تغطية اسطح المنازل بخلايا فوتوفولتية.



### 3.2 a تعريف مصادر الطاقة المحدودة Definition of Finite Energy Resources

من الفقرات السابقة يتضح لنا ان الشيء المميز لمصادر الطاقة المحدودة هو انها خُزنت لفترة من الزمن في الماضي ولكن الان يمكن الوصول لها بواسطة اشكال مختلفة من عمليات الاستخلاص. من هذه المعلومات نستطيع وضع صيغة لتعريف الطاقة المحدودة:

الطاقة المحدودة هي الطاقة التي تم الحصول عليها من مخازن الطاقة التي بقيت متماسكة ما لم يتم تحريرها نتيجة للنشاط البشري.

بالمقارنة بتعريف كلا من Twidell و Weir قمت بتغيير المصطلح مخزون الطاقة الاستاتيكية (ساكنة) إلى مخزون الطاقة ويقع هذا الاختلاف في الفرق بين المخزون الهيدروكربوني والاشعاعي. بينما المستودعات الهيدروكربونية هي في الواقع عبارة عن مخزون ستاتيكي في حين ان العناصر المشعة تضمحل بشكل طبيعي وتبقى مخزنة. العوامل المشتركة بينهما هي ان كلا منهما يكون في مستودعات في القشرة الأرضية، ويتم البحث عنها بالحفر ونقلها إلى مناطق مناسبة قبل تحويل الطاقة الكيميائية أو الطاقة النووية إلى حرارة أو شغل أو كهرباء.

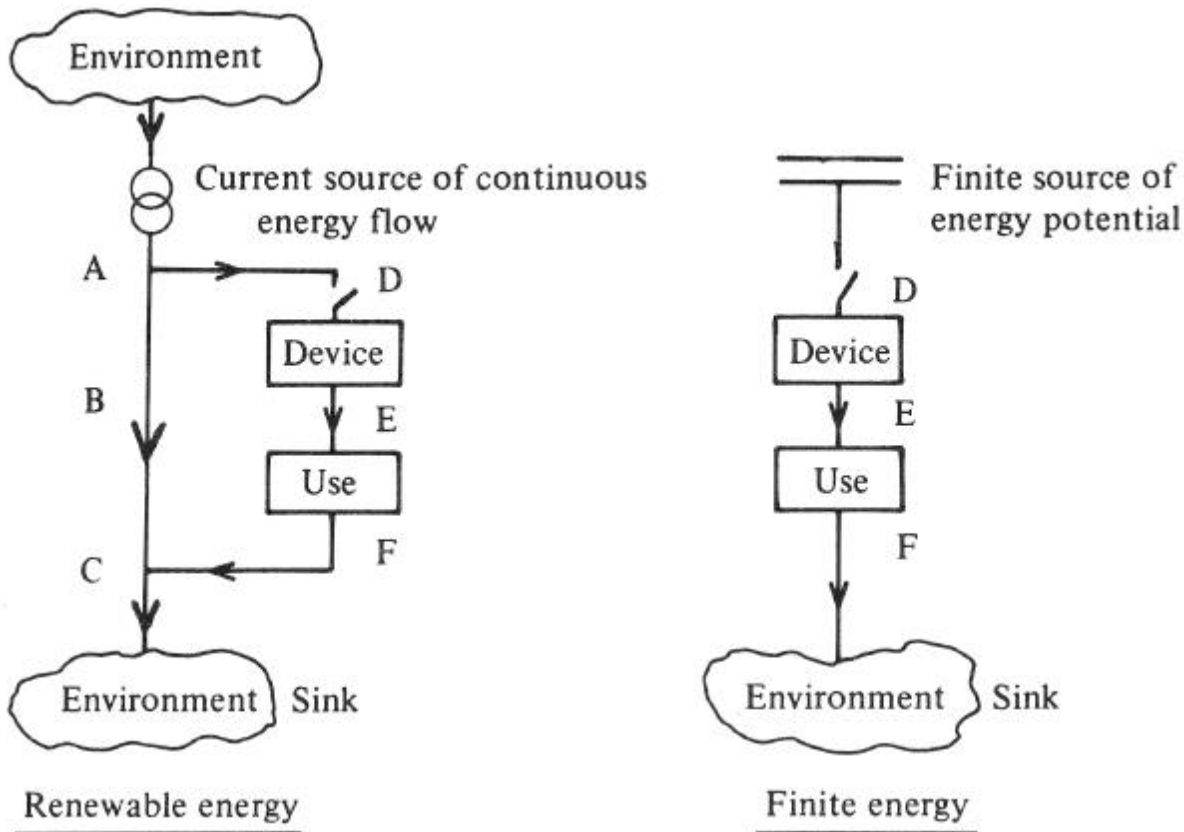
الميزة الهامة لمثل مخازن الطاقة هذه هي ان مصادر الطاقة يمكن ان تسوق وتنقل إلى أماكن اختيارية مثل محطات الطاقة أو خزانات الوقود في السيارات قبل ان تتحرر طاقتها ويستفاد منها.

### 3.2 b تعريف مصادر الطاقة المتجددة Definition of Renewable Energy Resources

بديهيا نعرف ان الطاقة المتجددة تأتي من مصادر مثل ضوء الشمس (التسخين الشمسي والخلايا الفوتوفولتية) والرياح (تربينات الرياح) او الأنهار والبحيرات (الهيدرومائية). هذا يؤدي في الحال إلى تصور الطاقة المتجددة على انها طاقة متدفقة، وهي لا يمكن نقلها إلى أماكن مناسبة. بدلا من احضار الوقود إلى محطة توليد الطاقة او السيارة علينا اخذ محطة توليد الطاقة (او السيارة) إلى مصدر الطاقة. هذا في الواقع الصورة التي وفرها لنا كلا من Twidell و Weir كمثال على الفرق بينها وبين الطاقة المحدودة في الشكل 4. مسار الطاقة المتجددة المتدفقة من A إلى C عبر B في يسار المخطط تمثل تدفق الطاقة في الحالة الطبيعية. استخلاص الطاقة بواسطة الاختراعات يتم من خلال وضع جهاز في مسار التدفق، والذي يقوم باستخلاص



جزء صغير من الطاقة المتدفقة إلى المسار عبر D-E-F حيث ان الطاقة تتحول وتوصل إلى المستخدم، الذي يقوم بدوره بالتخلص من أي طاقة مفقودة إلى النظام (من المحتمل ان يكون ذلك في شكل مختلف عن الطاقة الابتدائية). بالمقارنة مع هذا فان تدفق الطاقة المحدودة يحدث عن طريق الوصول إلى مصدر الطاقة المحدود او المستودع كما هو موضح بالمفتاح D يتبعها تحويلها واستخدامها قبل التخلص من الطاقة المفقودة في النظام (على الأقل ليس على المقياس الزمني للبشر).



الشكل 4. مقارنة بين مصدر الطاقة المتجددة المستخدمة مع مصدر طاقة محدود (اخذت من Twidell وWeir)

هناك مصدر طاقة محير لا يتناسب بسهولة في أي من فئتي الطاقة وهي ما يعرف بالكتلة الحيوية biomass. الكتلة الحيوية هي وقود يمكن ان يخزن ويسوق وينقل إلى أماكن مناسبة وهي أيضا لا تحدث بشكل طبيعي كما في الطاقة المتدفقة. على الجانب الاخر فان تخزين الكتلة الحيوية وانتاجها يتم على مقياس زمني قصير،



وبالتالي فهو غير محدود. كما ان نواتج هذه الطاقة توازن الطاقة المتجددة لمخزون الكتلة الحيوية على المقياس الزمني، والطاقة الرئيسية من الشمس والفضلات الناتجة على سبيل المثال  $CO_2$  تتحرر في الجو خلال الاستخدام لكنها تمتص في الفصل القادم من انتاج الكتلة الحيوية. لان الكتلة الحيوية من النوع المتجدد على المقياس الزمني للبشر، ولان تأثيرها على البيئة يمكن ان يتوازن مع المصدر، وبالتالي يمكن تصنيف الكتلة الحيوية على انها من النوع المتجدد. يمكن الوصول إلى هذا التصنيف بطريقة أخرى عن طريق استخدام اشعة الشمس كالمصدر وانتاج الكتلة الحيوية يمكن اعتباره على انه الجهاز ويكون استخدامه كما هو موضح في الشكل 4.

#### التعريف المقترح هنا للطاقة المتجددة هو على النحو التالي:

الطاقة المتجددة هي الطاقة التي يتم الحصول عليها من تدفق الطاقة الطبيعية او من الطاقة التي يمكن إعادة توليدها في الطبيعة على المقياس الزمني للبشر.

وبصرف النظر عن حالة الكتلة الحيوية فان كل مصادر الطاقة المتجددة هي من تدفقات الطاقة التي تحدث بشكل طبيعي. هذا بوضوح يؤدي إلى انه لا احد يمكن استخدامها، على سبيل المثال الطريقة المتبعة لإنتاج الكهرباء والتي تتولد في محطات طاقة قليلة ذات حجم كبير ويتم توزيع الكهرباء عبر شبكة التوزيع. اما الكهرباء الناتجة من مصادر طاقة متجددة تأتي من عدد اكبر ومحطات اصغر مثبتة في أماكن توفر الطاقة. إضافة على ذلك كما هو واضح من طبيعة الرياح فان تدفق الطاقة نفسه في الغالب ليس مستقرا او غير متوقع. تواجهنا هذه الأيام مشكلتين أساسيتين في توليد الكهرباء بالطاقة المتجددة هو دمج اكثر من مولد في شبكة مستقرة، وإدارة عملية التزويد والطلب عندما لا يمكن التأثير على المزود (على الأقل لا يتفاعل في حالة ازدياد الطلب على الكهرباء). مشكلة الدمج هي مشكلة كبيرة والحل على المدى البعيد لم يتوفر بعد. يتطلب لإدارة التزويد والطلب أجهزة إضافية سواء لتخزين الفائض من الطاقة، او للتحكم في التزويد على أساس لا يعتمد على الطلب، لكن السيطرة على الطلب تكون عبر الشبكات الرئيسية المسؤولة عن ضمان تزويد مستقر في حين ان الشبكات الأخرى تزود فقط في حالة وجود زيادة على الطلب من الشبكة الرئيسية.



## 4.2 نموذج بسيط لمستودعات الطاقة المحدودة simple model of finite energy reserves

من الشكل 1 في الجزء 1 استمر استخدامنا للكثير والكثير من الوقود الاحفوري لتلبية الطلب المتزايد على الطاقة. في نفس الوقت نحن نعرف ان هناك كمية محدودة من هذا الوقود والذي تكون خلال الأزمنة الجيولوجية. العديد من الأسئلة يمكن ان تكون مفيدة هنا:

- ما مقدار ما انتج؟ وهذا يعطينا حد مطلق للطاقة المتوفرة من هذه المصادر "المصدر النهائي".
- ما المقدار الكلي من الطاقة التي يمكن استرجاعها؟ المصدر الممكن استرجاعه  $Q_{\infty}$
- ما مقدار ما تم استخدامه حتى الان؟ الإنتاج الكلي  $Q_p$
- ما مقدار ما تبقى في الأرض ويمكن استرجاعه؟ المصدر المتبقي والمسترجع  $Q_{\infty}-Q_p$
- ما مقدار ما نعرفه عن الكمية المتبقية في الأرض؟ المستودع  $Q_r$
- ما مقدار ما نعرفه عن الكمية المتبقية في الأرض ويمكن الوصول لها (من الناحية التقنية والاقتصادية)؟

بينما نحن لدينا فكرة جيدة عن المستودعات ونعرف عن تكلفة استخلاص الطاقة منها الا اننا لا نعرف عن المصدر الكلي او حتى المصدر المتبقي والممكن استرجاعه. على أي حال لدينا المعرفة بانه علينا ان نستمر في البحث عن مستودعات جديدة. لتقدير توازن الطاقة بالاعتماد على المستودع فقط وهذا يؤدي إلى نتائج غير دقيقة ومتشائمة. الان يستخدم نموذج لتقدير المصدر النهائي والممكن استرجاعه لأي مصدر طاقة محدود.

هذا النموذج والذي اقترحه في الأساس Hubbert بالاعتماد على منحنى احصائي بسيط، او المنحنى العادي او منحنى جاوسيان للإنتاج الكلي. المنحنى العادي هو منحنى سلس بأقصى معدل انتاج في وسط المنحنى ويبدأ من معدل انتاج يساوي صفر عند البداية قبل استخدام المصدر بشكل فعلي. عندما يصبح المصدر مؤسس ومصدر يعتمد عليه للطاقة فان الإنتاج يزداد بسرعة في حين يكون هناك وفرة في المستودع. مع نقصان المصدر يصبح استخلاص الطاقة منه اصعب واكثر تكلفة وبالتالي معدل الإنتاج والاستهلاك يقل مرة أخرى حتى لا يتبقى فيه شيء. الإنتاج الكلي هو منحنى له شكل حرف S ويبدأ أيضا عند الصفر قبل



الاستخدام ويزداد بحدّة اذا كان معدل الإنتاج كبير وينخفض بحدّة مع انخفاض معدل الإنتاج وينتهي عند مستوى مصدر الطاقة الممكن استرجاعها  $Q_p$ ، عندما ينخفض معدل الإنتاج مرة أخرى إلى الصفر.

### النص 1: نموذج Hubbert للمستودع Hubbert's model of reserves:

معدل الإنتاج  $P = \frac{dQ_p}{dt}$  هو مقدار الطاقة المستخلصة خلال فترة زمنية محددة.

الافتراضات بان المنحنى الذي يصف هذه الحالة هو المنحنى العادي او معادلة لوجستية هي:

اذا كان الانتاج السابق ناجحا فإننا نتوقع ان الطلب عالي وكذلك معدل الإنتاج، في النموذج البسيط يتناسب معدل الإنتاج مع الإنتاج الكلي  $Q_p$ .

اذا اصبح المصدر شحيحا فانه يصبح من الصعب استخلاص الطاقة، ويكون معدل الإنتاج متناسبا مع الجزء المتبقي من مصدر الطاقة الممكن استرجاعها  $(Q_\infty - Q_p)/Q_\infty$  أو  $(1 - Q_p/Q_\infty)$ .

هذا يعطي

$$P = \frac{dQ_p}{dt} = rQ_p \left(1 - \frac{Q_p}{Q_\infty}\right)$$

المعامل  $r$  يقيس مقدار الزيادة.

بتقسيم المعادلة على المصدر النهائي  $q = Q_p/Q_\infty$  يمكننا ان نعيد كتابة هذه المعادلة على انها معادلة تفاضلية عادية بسيطة

$$\frac{dq}{dt} = rq(1 - q)$$

وبعد فصل المتغيرات نحصل على

$$\frac{dq}{q(1 - q)} = r dt$$





والتي يمكن ان نجري عليها التكامل للحصول على مقدار الجزء المستخلص من المصدر  $q$  عند زمن  $t$  والذي يعتمد على المعامل  $r$  والجزء  $q_0$  عند الزمن  $t_0$

$$\ln\left(\frac{q-1}{q} \frac{q_0}{q_0-1}\right) = r(t-t_0).$$

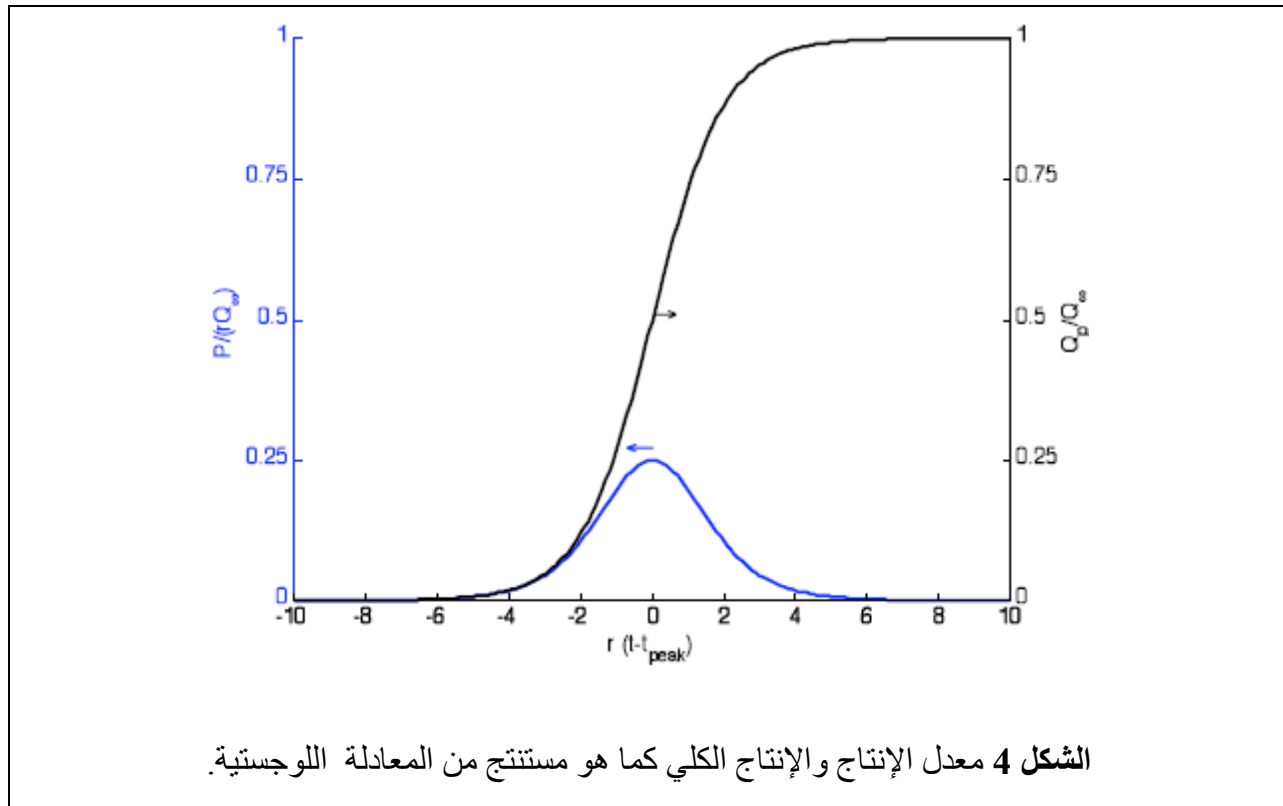
اذا اخذنا الزمن  $t_0$  كمرجع ليكون هو زمن قمة الإنتاج نجد ان الإنتاج متمائل حول هذا الزمن مع الاستنتاج اننا قمنا باسترجاع نصف الطاقة النهائية الممكن استرجاعها أي  $q_0=1/2$ . وبإعادة ترتيب الحل نحصل على

$$Q_p = \frac{e^{-rt}}{1+e^{-rt}} Q_\infty$$

كخطوة نهائية نرغب في التعبير عن منحنى الإنتاج كدالة في الزمن بدلا من الإنتاج الكلي. لذلك نحتاج اخذ حلنا وادخاله في المعادلة اللوجستية للحصول على

$$P = \frac{e^{-rt}}{(1+e^{-rt})^2} rQ_\infty$$

هذين المنحنيين موضحين في الشكل 4.



## 5.2 بعض تدفقات الطاقة ومقادير الطاقة المجمعة

### Some energy currents and accumulated energy amounts

هذا الجزء يشرح تدفقات الطاقة وكيف تتجمع في صورة طاقة باستخدام تدفقين طاقة شائعين: اشعة الشمس والرياح.

مبدأ التجميع للتدفقات في صورة طاقة يناظر استهلاك الكهرباء: استهلاك اجهزتك الكهربائية يقدر بالوات ولكن فاتورة الكهرباء تحسب استهلاكك للكهرباء على فترة من الزمن بوحدة الكيلووات في الساعة kWh.



مثال:

لنفترض انك تشعل مصباح ضوء 100W وبالتالي يكون استهلاكك للكهرباء بمعدل 100W. اذا تركت المصباح مضيء لمدة 100s، وبالتالي تكون قد استخدمت ما مقداره  $100W \times 100s$  ويساوي 10,000Ws ويساوي 10,000J أي 10kJ. اذا تركت المصباح مضيء لمدة 10 ساعات فانك في هذه الحالة تكون قد استخدمت  $100W \times 3600s$  ويساوي 3,600,000J أي 3.6MJ. وحيث ان هذه ارقام كبيرة فان الكهرباء في العادة تحسب بوحدة kWh:  $100W \times 36000S$  ويساوي  $100W \times 10h$  ويساوي 1,000Wh أي 1kWh.

باختصار اذا استهلكت او استلمت طاقة بمعدل ثابت فان الطاقة المجمعة (الكلية) تساوي حاصل ضرب المعدل في الزمن. اذا معدل التكلفة هو تكامل القدرة اللحظية على الفترة الزمنية للاستهلاك أي

$$E = \int P dt$$

## 5.2 a ضوء الشمس Sun light

يعتبر المصدر الأكثر أهمية لتزويد الطاقة إلى الأرض في صورة اشعاع من الشمس، وهو اشعاع في الجزء المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي. على مساحة  $1m^2$  فوق الغلاف الجوي وتواجه الشمس تستقبل ما يقارب 1367W. هذا العدد  $G_s = 1367Wm^{-2}$ ، يعرف بالثابت الشمسي. اعتبر ان ما يقارب 30% ينعكس إلى الفضاء، وبالتالي نتوقع ان  $1m^2$  على الأرض في يوم صافي مع سقوط اشعة الشمس عموديا تستقبل ما يقارب 1kW. عندما تكون الشمس بزواوية على الأرض فان هذا العدد يقل بجيب تمام تلك الزاوية.

مثال:

متر مربع على خط الاستواء خلال equinox، تكون الشمس عمودية عند 12 بعد الظهر، وطول اليوم هو 12 ساعة. عند أوقات أخرى يصنع السطح زاوية مقدارها  $90^\circ$  مع الشمس عند الساعة 6am و  $45^\circ$  عند الساعة 9am وهكذا، وهذا يعطي مسقط مساحة (مضروبة في جيب التمام) بمقدار  $:\cos[2\pi \times (\text{time} - 12\text{noon}) / 24h]$



$$E = \int P dt = \int_{6am}^{6pm} 1kW \cos\left(2\pi \frac{t-12h}{24h}\right) dt = 1kW \times \frac{24h}{2\pi} \times \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos\theta d\theta$$
$$= 1kW \times \frac{24h}{2\pi} \times [\sin\theta]_{-\pi/2}^{\pi/2} = 1kW \times \frac{24h}{2\pi} \times 2$$
$$\approx 7.6kWh$$

هذا التقدير يتوافق بشكل جيد مع المتوسط السنوي المقاس للطاقة الشمسية بمقدار  $6.2kWh m^{-2} day^{-2}$  لمدينة الخرطوم بالقرب من خط الاستواء. عند موقع أكثر ارتفاعاً فإن هذه القيمة تقل عند زوايا أعلى بين السطح والشمس. يمكننا تقدير متوسط الطاقة في يوم صافي التي تستقبل في اليوم عند ارتفاع  $56^\circ$  بضرب قيمة خط الاستواء في جيب تمام الارتفاع. هذا يعطي ما يقارب  $4.3kWh$  لكل متر مربع في اليوم. كما تتخيل لا تكون الشمس مشرقة دائماً في إسكتلندا والقيمة الفعلية هي  $2.3 kWh m^{-2} day^{-1}$

## 5.2 b الرياح Wind

الرياح هي مصدر طاقة مخادع حيث انها لا يمكن ان تكون ثابتة. على أي حال يمكن قياس المتوسط السنوي لسرعة الرياح. بأخذ متوسط سرعة الرياح هذا، يمكن ان نقدر فيض الطاقة خلال مساحة A تواجه الرياح من خلال المعادلة التالية:

$$P = \frac{1}{2} \rho A U^3$$

حيث  $\rho = 1.225 kgm^{-3}$  هي كثافة الهواء

يمكن تقدير الطاقة المارة عبر مساحة في السنة بالضرب. على أي حال مع تذبذب الرياح فان هذا التقدير يجب ان يقل بمقدار يعرف باسم معامل السعة، والذي يقدر بـ 30% (=0.3) لقدرة الرياح. علاوة على انه لا يمكن لأي توربين رياح ان يستخلص بنسبة 100% من القدرة المناسبة عبر المروحة والقدرة المارة عبر المراوح يجب ان تضرب في الكفاءة او معامل الإنجاز للتوربين. تصل بعض التوربينات الحديثة لمعامل أداء 50% تقريباً.



مثال:

لبريمن في شمال المانيا متوسط سرعة الرياح هو  $5.3 \text{ ms}^{-1}$ . باستخدام معامل سعة بمقدار  $C_c=0.3$ ، ومعامل أداء  $C_p=0.5$  والسنة عبارة عن 365.25 يوم لـ 24 ساعة تساوي 8766 ساعة في السنة، يمكننا تقدير فيض الطاقة بـ

$$P = \frac{1}{2} \rho A U^3 = 96 \text{ W m}^{-2}$$

والطاقة المنتجة في العام تكون

$$E = \frac{1}{2} \rho A U^3 C_c C_p \times 8766 \text{ h} = 127000 \text{ Wh m}^{-2} = 127 \text{ kWh}^2$$

لمكان في اسكتلندا تكون متوسط سرعة الرياح  $7 \text{ ms}^{-1}$  نحصل على  $210 \text{ W m}^{-2}$  و  $276 \text{ kWh m}^{-2}$  على التوالي.

## 6.2 الوقود Fuels

هذه الجزء يلخص نوع هام من مصادر الطاقة والتي تعرف بالوقود. ولهدف هذا الموضوع، استخدم هذا المصطلح بالمعنى التالي:

الوقود هو مادة تحرر حرارة بالاحتراق في تفاعل كيميائي.

الشكل الأساسي الوحيد للطاقة المستخلصة من مثل هذا المصدر هي الحرارة والتي يمكن ان تستخدم بشكل مباشر أو ان تتحول لأشكال أخرى مثل الشغل في المحرك أو الكهرباء في المولد. هذا الجزء يتضمن كلا من الوقود المحدود والمتجدد، بدء من الكتلة الحيوية وحتى الفحم قبل الوصول إلى النفط والغاز.

الوقود هو كل الطاقة المخزنة. هذا يعني ان الطاقة تخزن كطاقة كيميائية (ما عدا الوقود النووي). هذه الطاقة تتحرر في صورة حرارة بعملية الاحتراق والوقود يتميز بمقدار الحرارة المنبعثة بوحدة الكلوري أو



المحتوى الحراري. ان وحدتها الأساسية هي  $Jkg^{-1}$  ولكن في العادة نستخدم وحدة MJ/kg او GJ/tonne  
( $1000 J kg^{-1} = 1 MJ/kg = 1GJ/tonne$ ).

**الحرارة الناتجة يمكن ان تستخدم في بطرق عديدة:**

- للتسخين: سواء لتسخين المكان مثل المباني او توفير حرارة لعمليات التصنيع مثل صناعة الحديد او الورق.
- للنقل، على سبيل المثال في ماكنة الاحتراق الداخلي او محركات الطائرات.
- لتوليد الكهرباء

لكل أنواع الوقود الشائعة مثل الخشب والفحم والنفط والغاز فان الاحتراق يشتمل على تحويل جزيء يحتوي على ذرة او اكثر من ذرات الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون (وعادة الماء) وطاقة. ابسط أنواع الوقود الفحم.

## 6.2 a الكتلة الحيوية Biomass

كما يقترح الاسم فان هذا الوقود ينتج من الكائنات الحية ويشتمل على أنواع كثيرة من الوقود من روث الابقار (يستخدم في افريقيا والهند للتسخين والطبخ) وفضلات المطبخ (تستخدم في اسكتلندا في محطة الطاقة) والخشب وتبن (يستخدم في بريطانيا في محطة الطاقة) وحتى الغاز الحيوي (بالأخص الميثان) والذي ينتج في المزارع ومواقع التخلص من الفضلات. هذا التنوع الكبير يجلب معه تنوع واسع في محتوى الطاقة والتقنيات المستخدمة لحرقها. بينما استخدمت الكتلة الحيوية كوقود فان المزيد من الاطنان لألاف السنين ولازال الكثير من الناس يعتبرونها المصدر الرئيسي للوقود (يقدر الاستهلاك الحالي للكتلة الحيوية بين 10 و20% من استهلاك الوقود العالمي)، كما ازداد الاستخدام لها بديل عن الوقود الاحفوري في التطبيقات التجارية. في بريطانيا لوحدها هناك محطات طاقة تستخدم الوقود البيولوجي مثل الروث مخلفات الدجاج. ومنتجات طاقة حيوية أخرى من الانسان هي الغاز الناتج من الفضلات تحت تأثير النشاط الميكروبي في مواقع التخلص من الفضلات. الديزل الحيوي هو بديل متجدد لوقود السيارة للوقود النفطي ويزداد الاستخدام له. منذ اكتشاف مثل هذه التطبيقات الواسعة للوقود البيولوجي فانه من الممكن أيضا ان نقوم بعمل أي شيء اخر اكثر من الحديث عنه كمصدر من مصادر الطاقة.



معظم الوقود البيولوجي يكون في صورة صلبة ويأتي من نواتج فضلات النشاط البشري وحتى محاصيل الطاقة التي تزرع بشكل خاص بهدف إنتاج الطاقة. Willow على سبيل المثال هي نبتة تنمو بسرعة كبيرة لإنتاج الوقود الكافي بمعدل مقبول. كل الوقود البيولوجي يمكن ان يكون مصدر متجدد للطاقة. حيث ان إنتاج مثل هذا الوقود يعتمد على النشاط البشري او الاختراع فان التجدد في الحقيقة يعتمد على التخطيط السليم لإنتاج واستخدام هذا النوع من الوقود.

الوقود البيولوجي الصلب يعتمد على مادة النبات وبالتالي فهو يحتوي على تنوع كبير من المركبات الكيميائية. المركب الأساسي المفيد للنباتات هو السكر والنشا والسليولوز وغيرها، وهي مركبات معقدة أكثر من الهيدروكربون. التمثيل الجيد لجزيئات الوقود هو الهيدروكربون والتي تحتوي على سلسلة طويلة تحتوي على ذرات الكربون والهيدروجين والاكسجين بتركيب  $C_x(H_2O)_y$ . ومن الكافي ان ننظر فقط على وحدة واحدة فقط لمثل هذه السلسلة لتقدر ماذا يحدث:



لان التركيب الحقيقي لمختلف أنواع الوقود البيولوجي تختلف بشكل كبير فان الطاقة المتحررة بحرق 1kg من الوقود البيولوجي تتغير أيضا بشكل كبير كما هو موضح من خلال بعض الأمثلة المعطاة في الجدول 2.

**الجدول 2** مجموعة مختارة من الوقود البيولوجي ومحتواها من الطاقة.

Fuel	MJ/kg	Fuel – Wood	MJ/kg
Straw	15	freshly cut	11
Corn (cob & stalk)	15	air dried	16
Dung	16	oven dried	20
Domestic refuse	9	charcoal	29

يمكننا تقدير مقدار ثاني أكسيد الكربون المتحرر في الغلاف الجوي من حرق 1kg من مركب كربوهيدريت له الصيغة  $[C(H_2O)]_x$  لكن اعتبر التفاعل الموضح أعلاه والاوزان الجزيئية للمحتويات هي C:12, H:1, O:16. وحدة الكربوهيدرات على الجانب الايسر للتفاعل تمتلك وزن جزيئي كلي يساوي 30 بينما جزيء



ثاني أكسيد الكربون يمتلك وزن جزيئي 44. لهذا باستخدام 30kg من الكربوهيدرات سوف يحرر 44kg من ثاني أكسيد الكربون او 1.47kg من ثاني أكسيد الكربون لكل kg من وقود الكربوهيدرات. الطريقة المناسبة لجعل الوقود الحيوي وقودا متجددا ويصبح مصدر الطاقة المنتج للكربون صديقا للبيئة فمن المفيد ان نرى كيف تقوم النباتات بإنتاج الكربوهيدرات عند نموها في عملية البناء الضوئي



وهي العملية العكسية للاحتراق. الطاقة المزودة للبناء الضوئي هي اشعة الشمس.

لهذا فان كل جزيء ثاني أكسيد الكربون يتحرر بعملية الحرق يستخدم لعمل الوقود مرة أخرى. هذا بالطبع لم يأخذ في الحسبان الطاقة المستخدمة عملية النمو ونقلها الى نقطة الاستهلاك او حتى المعالجة المسبقة المطلوبة.

## 6.2 b الفحم Coal

الفحم هو الأكثر وفرة في معظم الوقود الاحفوري ويتوقع ان الكمية منه تكفينا لألف عام من الزمان، وكل النهضة الصناعية في العالم اعتمدت على الفحم كمصدر أساسي للطاقة، لازالت تشكل مصدر رخيص نسبيا. والان أصبحت مصدر غير مشهور لعدة أسباب. انها تأتي في صورة قطع صلبة – حرقها اسهل من حرق الوقود الغازي او السائل، كما انها غير نظيفة حيث تنتج عن حرق الفحم رماد كمية الرماد الناتجة في العام كافية لتغطي مساحة فدان من الأرض لارتفاع مبنى من ستة طوابق (Ramage, p.71)، كما ان نواتج الاحتراق تحرق الكثير من المواد الغير مرغوب بها والسامة كنواتج ثانوية. باختصار هي مصدر طاقة قذر جدا.

الفحم مصدر قذر للطاقة لأنه يتكون من مركبات كيميائية معقدة – بعد كل هذا- فهو ناتج عن موت النباتات. لا توجد صيغة كيميائية سهلة تعطى للفحم، لكنه الكربون داخل الفحم هي التي توفر الطاقة. واحدة من العناصر الأساسية للفحم هي حلقات الكربون السداسية الذرات والتي تشارك الهيدروجين والاكسجين والنيتروجين بعدد متساوي من ذرات الكربون والهيدروجين. حتى 10% من الفحم يحتوي على مواد لا تحترق ولكنها تبقى كرماد. الطاقة المتحررة تحدث بعملية اكسدة الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون. لهذا فانه





مهما عمل أي شخص باستخدام الفحم فإنه يتولد غاز ثاني أكسيد الكربون والذي يشكل خطر على البيئة. الاحتراق الفعلي ليست عملية اخذ ذرات الكربون وحرقتهم للحصول على ثاني أكسيد الكربون وطاقة بطريقة سهلة ولكن بسبب التركيب المعقد للفحم فإن الاحتراق يشتمل على عدة خطوات:

- في البداية يجب التخلص من كل الرطوبة في الفحم حتى 10%. هذا بالطبع يتطلب طاقة في صورة حرارة.
- عندما تسخن تتحرر عدة غازات من القطع الصلبة للفحم، وهذا ما يعرف بالمواد الطيارة. هذا يتسبب في التخلص من معظم الهيدروجين والاكسجين مع بعض مع اول أكسيد الكربون CO وبعض الهيدروكربونات. الهيدروكربون هو وقود ويتحرر في عملية احتراقه مشكلا نصف محتوى طاقة الفحم.
- المتبقي يعرف بالكربون الثابت والذي يتعرض لعملية تحول كيميائية مباشرة هي



- أي شيء لا يحترق يتبقى كرماد

يتوفر الفحم بجودة متنوعة بالاعتماد على عمره وعلى الظروف البيئية. المرحلة الأولى في تشكل الفحم هي تقم النسيج النباتي. النوع الشائع المنخفض الجودة من الفحم هو lignite، والذي يعرف أيضا بالفحم البني، ويحتوي على نسب متساوية من الكربون والمادة المتطايرة والرطوبة. الفحم الحمري وبعض اشكال الفحم تستخدم بشكل واسع لإنتاج الطاقة. بعض أنواع الفحم تعتبر وقود فقير بسبب محتوى الكربون العالي وإنتاج كمية كبيرة من الرماد. الجرافيت الطبيعي (بمحتوى كربون 90%) لا يستخدم كمخزن للطاقة. أنواع الفحم ومحتوى الطاقة لها مدرج في الجدول 3.



**الجدول 3:** مقارنة لمحتوى الطاقة وتركيب أنواع مختلفة من الفحم. ادخال بيانات عينة من الخشب للمقارنة.

Type	Energy content (MJ/kg)	fixed carbon (%)	volatile matter (%)	Moisture (%)	Ash (%)
Wood	~20	~10	~40	~45	~5
Peat	~20	~10	~20	~65	~5
Lignite	<20	~30	~30	~35	~5
Sub-bituminous	19–27	~40	~25	~25	~5
Bituminous	25–33	50–80	10–30	5–10	~5
Anthracite	~30	>75	~5	~5	~15
Graphite	~35	~90	<5	<5	~5

الفحم الذي يمتلك اعلى محتوى كالوري حوالي 90% له قيمة كلوري بمقدار 34MJ/kg (أو 34GJ/tonne)، بأخذ هذا في الحسبان، لدينا ما يقارب  $34/0.9=38\text{MJ}/(\text{kg of C})$ ، هذه يمكن تمثيلها ككتلة واتزان حراري:

$$12\text{kg} + 32\text{kg} \rightarrow 44\text{kg} + 38\text{MJ}/\text{kg} \times 12\text{kg}$$

$$1 + 2.67 \rightarrow 3.67 + 38\text{MJ}/\text{KG}$$

يمكن ان نرى ان النتيجة الطبيعية لحرق الفحم هو تحرير ثاني أكسيد الكربون إلى مقدار حوالي 0.1kg من CO<sub>2</sub> لكل MJ تحولت.

اعتبر ان الكفاءة لمحطات الطاقة التي تعمل من خلال حرق الفحم هو 33% تنتج ما يقارب 0.3kg من CO<sub>2</sub> لكل MJ من الطاقة الكهربائية المتولدة. بتحويل هذا إلى وحدة kWh (أي بالضرب في 3.6)، يعطينا ما يقارب 1kg من CO<sub>2</sub> لكل kWh تتولد – أي ترك 100W مصباح ضوء كهربائي لمدة 10 ساعات يضيف 1kg من ثاني أكسيد الكربون في الهواء.



محطات توليد تعمل بالفحم ذات سعة توليد كبيرة تصل إلى 600MW لذلك تنبعث 14400 tonnes من ثاني أكسيد الكربون كل يوم.

$$(600,000 \times 24 \text{ kWh per day} = 600,000 \times 24 \text{ kg CO}_2 = 600 \times 24 \text{ tonnes of CO}_2)$$

## 6.2 الهيدروكربونات (النفط والغاز) Hydrocarbons (Oil and Gas)

النفط والغاز اسهل بكثير وانظف لان يحترق ويستخدم من الفحم. بينما هاتين المادتين تبدوان مختلفتين وتستخدمان في تطبيقات يومية متعددة، انها جزء من الهيدروكربون وتوجد عادة معا في المستودعات. الهيدروكربونات هي عائلة جزيئات عضوية والتي تحتوي على سلسلة من ذرات الكربون التي تتصل بها ذرات الهيدروجين.

الهيدروكربون الابسط هو الميثان،  $\text{CH}_4$ . امثلة ذات سلسلة أطول يمكن ان تكتب على النحو  $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-$  او تختصر إلى  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ .

الاحتراق والكتلة والاتزان الحراري للميثان مع قيم كلوري 55MJ/kg يمكن ان تكتب على النحو



$$12+1 \times 4 + 2 \times 16 \times 2 \rightarrow 12+16 \times 2 + 2 \times (1 \times 2+16) + \text{heat}$$

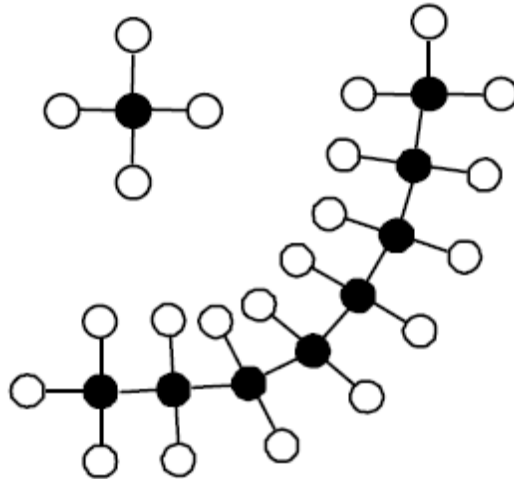
$$16 + 64 \rightarrow 44 + 36 + 55\text{MJ/kg} \times 16$$

لان الميثان يمتلك محتوى حراري اكبر او قيمة كالوري اعلى من الفحم، نحصل على حرارة بمقدار 55MJ/kg فقط و0.05k، لكل MJ تحولت.

اعتبر محطات طاقة تعمل بالغاز تمتلك كفاءة 50% ويمكن اختزال انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من 1kg/kWh إلى 0.3kg/kWh، وهذا تناقص بمقدار 60-70%! ليس هذا مدهشا، الكثير من الدول استثمرت بقوة في محطات الطاقة التي تعمل بالغاز كبديل عن المحطات التي تعمل بالفحم – ولهذا فقط ميزة



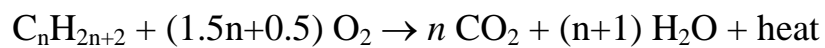
واحدة. مزايا أخرى عن الفحم هو عدم وجود رماد، وتوربينات الغاز يمكن ان تتفاعل مع تغير الطلب بشكل سريع.



**الشكل 4** جزيء ميثان وجزيء اوكتان. تمثل الحلقات المعتمة ذرات الكربون والحلقات الفاتحة ذرات الهيدروجين

مشتقات النفط مثل البترول والديزل لا تزال هي الوقود المسيطر في مجال الانتقال. يمكن وصف البترول باوكتان  $C_8H_{18}$  والديزل بسيتان  $C_{16}H_{34}$  وكلاهما يمتلك قيمة كالوري  $48MJ/kg$  أو ما يقارب  $35MJ$  لكل ليتر (بكتافة  $0.7kg$  لكل لتر للاوكتان و  $0.75kg$  لكل لتر من السيتان). التركيب الكيميائي للميثان والاوكتان موضحة في الشكل 4.

يمكن زيادة معادلة الاحتراق للميثان للسلسلة الشاملة التالية:



$$14n+2 + (1.5n+0.5) \times 32 \rightarrow 44n + (n+1) \times 36 + 48MJ/kg \times (14n+2)$$



هذا يعطينا ما يقارب  $22n/(7n+1)$  kg من ثاني أكسيد الكربون لكل kg من الوقود و  $22n/([7n+1] \times 48)$  من ثاني أكسيد الكربون لكل MJ من الطاقة المتحولة. اذا كانت كبيرة فان  $+2$  في الوقود يمكن ان تهمل، وتقرب هذه الاعداد إلى ما يلي:

3.01kg من  $CO_2$  لكل kg من البترول و 3.12kg من  $CO_2$  لكل 1kg من الديزل.

2.5kg من  $CO_2$  لكل لتر من البترول و 2.7 kg من  $CO_2$  لكل لتر من الديزل.

ما يقارب 0.064 kg من  $CO_2$  لكل MJ من الحرارة المتولدة.

الطاقة الفعلية المتحررة بأنواع مختلفة من الهيدروكربونات مدرجة في الجدول 4

الجدول 4 محتوى الطاقة وانبعاث ثاني أكسيد الكربون لهيدروكربونات مختلفة.

Name	Composition	Molecular weight	Energy content (MJ / kg)	Mass of $CO_2$ released per kg fuel (kg)	Mass of $CO_2$ released per energy (kg/MJ)
Methane	$CH_4$	16	55		
Ethane	$C_2H_6$	30	51		
Propane	$C_3H_8$	44	50		
Butane	$C_4H_{10}$	58	46		
Pentane	$C_5H_{12}$	72	48		
Hexane	$C_6H_{14}$	86	48		
Heptane	$C_7H_{16}$	100	48		
Octane	$C_8H_{18}$	114	48		
Cetane	$C_{16}H_{34}$	226	48		

مرة أخرى، ابحت عن انبعاث  $CO_2$  لهذه العملية، ويمكننا ان نرى ان كل ذرة كربون تنتهي في جزيء  $CO_2$  مع وزن جزيئي بمقدار 44. وبأخذ الميثان كمثال فان الاحتراق الكامل لـ 16kg من الميثان يحرر 44kg من ثاني أكسيد الكربون او كل kg من الميثان تحرر  $44/16=2.75$ kg من ثاني أكسيد الكربون.



تمرين: اكمل الجدول 4 ووضح في المنحنى كيف يتغير انبعاث ثاني أكسيد الكربون مقابل الهيدروكربونات المختلفة بدلالة مقدار الوقود ( $\text{kg CO}_2/\text{kg fuel}$ ) وبدلالة الطاقة المتحررة بواسطة هذا الوقود ( $\text{kg CO}_2 / \text{MJ}$ ).

قارن النتائج مع الاشكال المقابلة لحرق الفحم.

## 6.2 d الوقود النووي Nuclear fuel

الوقود النووي لا يحرر طاقة كيميائية بواسطة تغير في الروابط الكيميائية بين الذرات ولكن يتغير الذرات نفسها. هناك نوعين من التفاعلات الممكنة الانشطار النووي nuclear fission حيث تتكسر الذرة إلى أجزاء عديدة والاندماج النووي nuclear fusion حيث ذرتين او اكثر تندمج مع بعضها لتشكل ذرة جديدة.

بشكل واضح المكونات التي يبدأ بها الانشطار النووي كبيرة مكونة من ذرات ثقيلة مثل اليورانيوم ذو الوزن الذري 235، في حين ان البداية للاندماج النووي هي ذرات صغيرة مثل الأنواع الثلاثة لذرة الهيدروجين (نظائر الهيدروجين) وهم الهيدروجين العادي hydrogen الذي يمتلك بروتون واحد وذرة الديتيريوم deuterium والتي تمتلك بروتون ونيوترون والتريتيوم tritium والذي يمتلك بروتون والكترونين.

الانشطار النووي هي تقنية تطورت بشكل جيد اما نواتج الفضلات النووية لم تطور بعد. الاهتمام بالانشطار النووي هو التفاعل نفسه الذي لا يحرر ثاني أكسيد الكربون وهذا الوقود يمتلك محتوى حراري عالي جدا: الطاقة المتحررة من U235 هي  $82\text{TJ/kg}$  (أي ما يعادل 82 مليون MJ/kg). هذا بوضوح يجب ان ينظر له في سياق اليورانيوم الطبيعي والذي يحتوي فقط على ما يقارب من 0.72% من U235 واليورانيوم المخصب بين 2% و5%. بأخذ هذه الاعداد نحصل على محتوى الطاقة لهذه المواد فاليورانيوم الطبيعي له  $600,000\text{ MJ/kg}$  - وهو اعلى بمقدار 10,000 من الوقود المعتمد على الكربون- وبين 1.6 و4 مليون MJ/kg من الوقود المخصب. الناتج الفعلي للمفاعل النووي يمكن ان يكون اكبر بمرتين من هذا المقدار وذلك لان نواتج الانشطار النووي لليورانيوم هي في حد ذاتها مشعة وتحرر المزيد من الطاقة عند تعرضها لعملية الانشطار. هذه الحقيقة أيضا تنتج في الفضلات النووية التي لها نشاط اشعاعي كبير..



الاندماج النووي على الجانب الاخر يعرف بانه المزود الهائل للطاقة والذي يكون وقوده الديتيريوم والتريتيوم (نظائر الهيدروجين) ويمكن عزلهما في الماء العادي، ونواتج التفاعل هي الهيدروجين والهيليوم وهي غازات غير ضارة ولكن أيضا مفيدة. في الواقع الامر ليس بهذه السهولة حيث انه المواد المشعة تنتج في التفاعلات الاندماجية بسبب تفاعل الطاقة المتحررة في صورة نيوترونات والمادة التي صنع منها المفاعل ولا احد قد توصل الى تفاعل اندماجي مستقر وفعال للاستخدامات العلمية.

## الخلاصة Summary

هذا الجزء يقدم مصادر طاقة عديدة اما كمخازن طاقة او تدفقات طاقة. وقد تم مناقشة دورة حياة المصادر المحدودة ومن ثم تقديم مصادر مختلفة من الطاقة وكيفية تقدير محتوى الطاقة لها.

## تمارين Exercises

### 1. مقارنة لمقادير الطاقة:

- احسب مقدار الوقود (بوحدة kg) اللازمة لتحرير 40GJ من الحرارة لكلا من anthracite, lignite والخشب الجاف والـ dung والاوكتان والغاز الطبيعي (50% بالكتلة من الميثان و25% ايثان و25% CO<sub>2</sub>) واليورانيوم المخصب (4% بالكتلة).
- للووقود المعتمد على الكربون قدر مقدار الهواء اللازم لاكمال الاحتراق ومقدار ثاني أكسيد الكربون والماء الناتج.
- احسب المساحة التي من خلالها تمر طاقة اشعة الشمس عند زاوية سقوط 45° على فترة زمنية قدرها 6 ساعات.
- احسب المساحة التي من خلالها تمر طاقة الرياح على مدار 24 ساعة عند سرعة رياح بمقدار 6m/s.
- علق على الإجابات وناقشها.



## 2. مقارنة لتدفقات القدرة:

- a. احسب معدل استهلاك الوقود لنفس الوقود كما في التمرين الأول ليحرر قدرة بمقدار 5MW.
- b. احسب معدل تدفق كتلة الهواء اللازمة لإكمال الاحتراق.
- c. احسب المساحة المطلوبة لضوء الشمس اذا كانت هذه المساحة تواجه الشمس مباشرة والمساحة لمحطة رياح عند سرعة بمقدار 6m/s.

تمت الترجمة في المركز العلمي للترجمة

[www.trgma.com](http://www.trgma.com)

3-8-2013