

الباب الأول

مصادر الطاقة التي لا تزيد من تركيز الغازات

الكربونية في الجو

المتغيرات المناخية التي تحدث على كوكب الأرض مثل العواصف المدمرة وارتفاع درجة حرارة الجو في الصيف وارتفاع درجة حرارة سطح الأرض وذوبان الجليد عند القطبين؛ مؤشرات تخذرننا مما يمكن أن يحدث لهذا الكوكب من أضرار غير قابلة للإصلاح إذا لم نعد النظر في استخدامنا المفرط للوقود الكربوني مثل البترول والغاز الطبيعي والفحم .

فالطاقة اللازمة للنمو الحضارى السريع تستهلك مقادير متزايدة باستمرار من الوقود الكربوني، وشركات البترول والغاز الطبيعي تضخ سنوياً ما يقرب من سبعة بلايين طن من الكربون على صورة بترول وغاز طبيعي يتم حرقه وتحويله إلى غاز ثانى أكسيد الكربون للاستفادة بما يحتوى عليه الوقود من طاقة .

إن نقطة اللاعودة في التغيرات المناخية ستحدث عندما تصل الزيادة في غاز ثانى أكسيد الكربون المتصاعد في الجو إلى ضعف ما كانت عليه في نهاية القرن الثامن عشر عندما بدأت الثورة الصناعية. وكل زيادة في تركيز ثانى أكسيد الكربون تمثل خطراً يقربنا من تلك النقطة .

في الرسم البياني (١) وضع احتمالين في أحدهما تتزايد كمية الكربون المتصاعد إلى الجو على هيئة ثانى أكسيد الكربون بنفس المعدل الحالى لتصل إلى ١٤ بليون طن بعد ٥٠ سنة. في هذه الحالة ستصبح كمية الكربون المتصاعدة إلى الجو ثلاث أمثال ما كانت عليه قبل الثورة الصناعية في القرن الثامن عشر. في الاحتمال الثانى يظل معدل انبعاث الكربون على ما هو عليه في الوقت الحالى، أى في عام ٢٠٠٦ وهو الناتج عن حرق ٧ بلايين طن من الكربون. في هذه الحالة لن يحدث تضاعف لكمية غاز ثانى أكسيد الكربون في الجو حتى عام ٢٠٥٦ ويظل كما هو في الوقت الحالى، والخط العمودى الواصل بين المنحنيين يصنع مثلثاً كما في الرسم البياني يسمى مثلث الاستقرار Stabilization Triangle. لكن نمو الاقتصاد العالمى مع ثبات استهلاك الطاقة أمر غير ممكن. في الثلاثين سنة الأخيرة كان معدل الزيادة السنوية في الاقتصاد العالمى حوالى ٣ ٪ ويلاحظ من الرسم البياني: (١) أن معدل تزايد انبعاث ثانى أكسيد الكربون كان نصف هذه النسبة، أى ١,٥ ٪ في السنة. ولكى يظل الانبعاث على مستوى العالم عام ٢٠٥٦ كما هو

الوقود الكربونى وأثره على كوكب الأرض :

عليه في الوقت الحالي فإن معدل تناقص ثاني أكسيد الكربون يجب أن يعادل معدل زيادة الدخل القومي، أي ٣٪ في السنة .

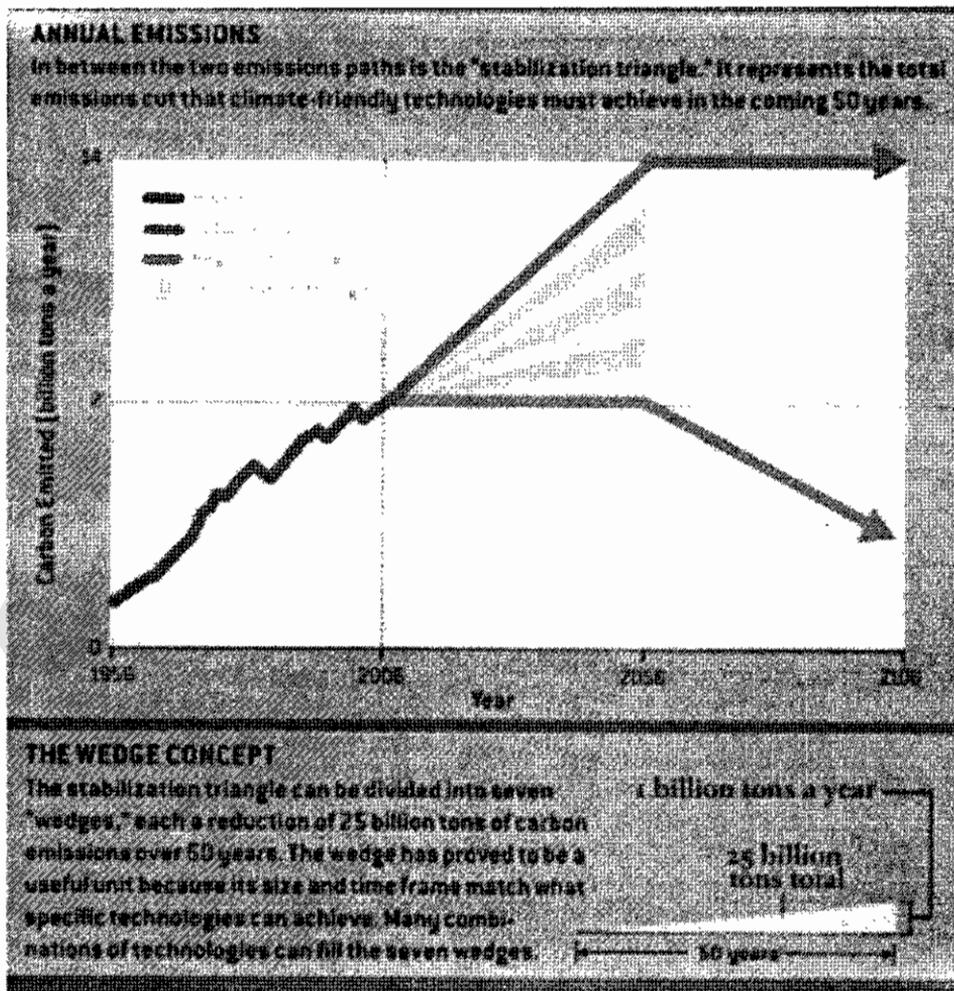
من المتوقع في عام ٢٠٥٦ أن يصل ما يتصاعد إلى الجو من الكربون إلى ١٤ بليون طن، منها ٦ بلايين تأتي من محطات توليد الطاقة التي تعمل بالفحم ومن المتوقع أن تستهلك المنازل والمراكز التجارية والأنشطة الاقتصادية الأخرى حوالي ٦٠٪ من الطاقة المتولدة. فلو أمكن إنقاص هذا القدر من الطاقة إلى النصف عن طريق رفع كفاءة الأجهزة الكهربائية المستخدمة في تلك المجالات مثل أجهزة التكييف والتسخين والصناعات المستهلكة للطاقة مثل صناعة الصلب والاهتمام بعزل جدران المنازل للحرارة، كل ذلك سيقبل من استهلاك الطاقة وبالتالي سيقبل من تصاعد ثاني أكسيد الكربون. والمصانع أيضاً يجب أن توجد سبل وتكنولوجيات موفرة للطاقة. لو نجحت تلك البرامج سوف نقرب من الحفاظ على كمية الكربون المتصاعدة في الجو على ما هي عليه في الوقت الحالي مع استمرار الزيادة في الاقتصاد القومي العالمي، حيث إنه مع التوفير في استهلاك الطاقة لن نحتاج إلى بناء محطات كبيرة لتوليد الكهرباء لمواجهة الزيادة في الاستهلاك .

وعلى الرغم من الاقتصاد في استهلاك الطاقة إلا أن هناك ضرورة لزيادة عدد محطات توليد الكهرباء التي تعمل بالفحم، ومن الضروري التخلص من غاز ثاني أكسيد الكربون المتصاعد منها، وذلك بتجميعه في أسطوانات كبيرة تحت ضغط مرتفع وبيعه لشركات البترول، لكي تستخدمه في رفع الضغط في آبار البترول لكي يمكن استخلاص كل ما بها من نפט، وكلما زاد سعر النفط كلما زاد سعر ثاني أكسيد الكربون المضغوط في أسطوانات .

ويمكن أيضاً التخلص من هذا الغاز بضخه في أنابيب تصل إلى أعماق كبيرة في مياه البحار فيذوب في الماء ويتفاعل مع الأملاح الموجودة في تلك المياه كما يمكن ضخه في أعماق آبار البترول التي جفت ليتخلل الصخور ويبقى فيما بينها من فراغات .

لا تزال هناك وسائل أخرى للتخلص من الكربون المتصاعد إلى الجو عن طريق استخدام مصادر الطاقة المتجددة كالطاقة الشمسية، باستخدام الخلايا الشمسية، والمرآيا العاكسة التي تركز أشعة الشمس لتسخين المياه وإدارة اثريينات في محطات توليد الكهرباء، وكذلك باستخدام الطاقة من المساقط المائية وطاقة الريح والطاقة الجيوحرارية التي تستغل فيها الطاقة الحرارية المخزونة في باطن الأرض وغير ذلك .

كيف يمكن الحفاظ على معدل تصاعد الكربون إلى الجو على ما هو عليه الآن مع الاستمرار في زيادة الدخل القومي؟



شكل (١) رسم بياني يبين أنه لو استمر تزايد غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو بمعدله الحالي فسوف يتضاعف مع حلول عام ٢٠٥٦، فإذا ما حاولنا حين إذن تخفيض الكميات المتصاعدة فإن تركيزه في الجو سيكون ٥٦٠ جزءاً في المليون وهو ضعف الكمية التي كانت موجودة في الجو قبل بداية عصر التصنيع .

مفهوم مثلث الاستقرار :

يمكن تقسيم مثلث الاستقرار إلى سبع مثلثات كل منها يمثل خفضاً في كمية ثاني أكسيد الكربون قدره ٢٥ بليون طن على مدى ٥٠ عاماً ويمكن اتخاذه كوحدة من حيث المقدار والفترة الزمنية لما يمكن لكل نوع من أنواع الأنشطة المستخدمة للطاقة أن تخفضه .

يبقى مصدر في غاية الأهمية هو الطاقة النووية ويمكن استغلالها بدرجة كبيرة لو أمكن إيجاد وسائل جيدة للتخلص من النفايات النووية الناتجة عن تلك المفاعلات، وكذلك وسائل تحكم جيدة تمنع إمكان حدوث انفجارات في المحطات النووية كما حدث في مفاعلي تشيرنوبل وثرى مايل أيلند، كما أن هناك مخاطر من انتشار استخدام الطاقة النووية وبناء المفاعلات تتمثل في استغلالها لإنتاج الأسلحة النووية التي قد تقضى على الحضارة الإنسانية .

احتراق زيت البترول ينتج عنه ٤٣ ٪ من ثاني أكسيد الكربون على مستوى

العالم، واحتراق الفحم ينتج عنه ٣٧ ٪، والباقي ينتج عن الغاز الطبيعي، ونصف زيت البترول يستخدم في وسائل النقل .

وسائل النقل هي من أكثر العوامل التي تلوث الجو بغاز ثاني أكسيد الكربون فالسيارة التي تقطع ١٠٠٠٠ ميل في السنة وكفاءتها ٣٠ ٪ وتستهلك جالون من المحروقات لكل ٣٠ ميل يتصاعد منها طن من الكربون كل عام، ويتوقع خبراء النقل أن يكون عدد السيارات بعد ٥٠ عاماً من الآن، أى فى عام ٢٠٥٦ حوالى ٢ بليون سيارة فى مختلف دول العالم. هذا العدد من السيارات سوف يتصاعد منها ٢ بليون طن من الكربون فى ذلك العام، أى عام ٢٠٥٦ .

وثانى أكسيد الكربون المتصاعد من شكامانات ملايين السيارات داخل المدن وعلى الطرق السريعة فلا سبيل لتجميعه فى أسطوانات. إذن لا مناص من استخدام وقود خالٍ من الكربون إذا كنا نريد إنقاص نسبة ثانى أكسيد الكربون فى الهواء لمنع حدوث الكوارث البيئية التى سبق الحديث عنها .

وجد العلماء والباحثون فى شركات صناعة السيارات الكبرى مثل جنرال موتورز وتويوتا وهوندا وغيرها ضالتهم فى غاز الهيدروجين الذى يمكن استخدامه كوقود للسيارات خالى من الكربون ولا ينتج عن احتراقه سوى الماء الذى يخرج من ماسورة العادم .

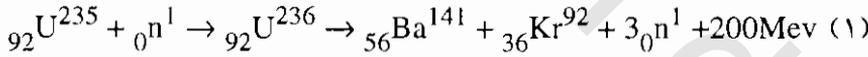
كيف يمكن التخلص من ثانى أكسيد الكربون المتصاعد من شكامانات السيارات؟

تعتبر الطاقة النووية من المصادر الرئيسية التي تمد العالم في الوقت الحالي بسدس احتياجاته من الطاقة، وهي أكبر مصدر للطاقة الخالية من الكربون إلا أن استخدام الطاقة النووية كمصدر للطاقة لا يزال يعاني من الذكريات المؤلمة لحادثتي تشرنوبل في أوكرانيا وثرى مايل أيلندز في الولايات المتحدة، وذلك على الرغم من التقدم الكبير الذي حدث في تصميم المفاعلات النووية لكي لا تحدث مثل تلك الكوارث .

إلا أن الخوف من استمرار تصاعد غازات الكربون إلى الجو، وأثر ذلك على ارتفاع درجة حرارة الأرض، جعل حكومات العديد من الدول وكذلك الشركات المسؤولة عن توليد الطاقة الكهربائية تعيد النظر في استخدام الطاقة النووية وبناء محطات جديدة لمواجهة الزيادة المضطردة في استهلاك الطاقة دون إحداث تزايد في الغازات الكربونية المتصاعدة إلى الجو .

وقبل أن نتناول الجهود الدولية في هذا الصدد سوف نعطي فكرة مختصرة عن التفاعل النووي والمفاعلات النووية المستخدمة في إنتاج الطاقة الكهربائية .

يوجد اليورانيوم في الطبيعة على شكل نظيرين، أحدهما اليورانيوم - ٢٣٥ الذي يشكل ٠,٧ ٪ من اليورانيوم الطبيعي، والنظير الآخر هو اليورانيوم ٢٣٨ الذي يشكل ٩٩,٣ ٪ منه. اليورانيوم - ٢٣٥ يمتص النيوترونات البطيئة ليكون يورانيوم - ٢٣٦ الذي ينشط بعد ذلك ليعطي عنصرين جديدين طبقاً للتفاعل النووي التالي :



وبدراسة المعادلة النووية (١) نلاحظ :

أولاً : انطلاق طاقة قدرها ٢٠٠ مليون إلكترون فولط نتيجة لانشطار ذرة واحدة من ذرات اليورانيوم ٢٣٥، وهذه الطاقة نتجت عن الفرق بين كتل النويات الناتجة من التفاعل النووي وكتل النويات الداخلة في التفاعل .

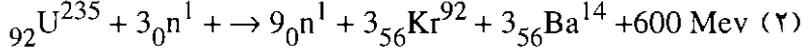
وطبقاً لقانون تساوي الطاقة والكتلة لأينشتاين وهو $E=\Delta mC^2$ حيث E مقدار الطاقة الناتج من تغير قدره Δm في الكتلة و C هي سرعة الضوء .

ثانياً : تكون ثلاث نيوترونات في نواتج انشطار ذرة اليورانيوم، فلو فرضنا أن أحد هذه النيوترونات قد اصطدم بذرة يورانيوم أخرى فإن تفاعلاً مشابهاً سوف يحدث مرة أخرى وهكذا يستمر التفاعل الانشطاري في الحدوث دون توقف؛ لأن أحد نواتج التفاعل يستخدم في بدء التفاعل التالي إلى أن تنفذ كمية اليورانيوم - ٢٣٥ الموجودة في التفاعل. أما إذا كان تركيز اليورانيوم - ٢٣٥ كبيراً بحيث تصادمت معها جميع النيوترونات الثلاثة الناتجة من التفاعل (١) فسوف نحصل على التفاعل

١ - مستقبل استخدام الطاقة النووية في القرن الواحد والعشرين :

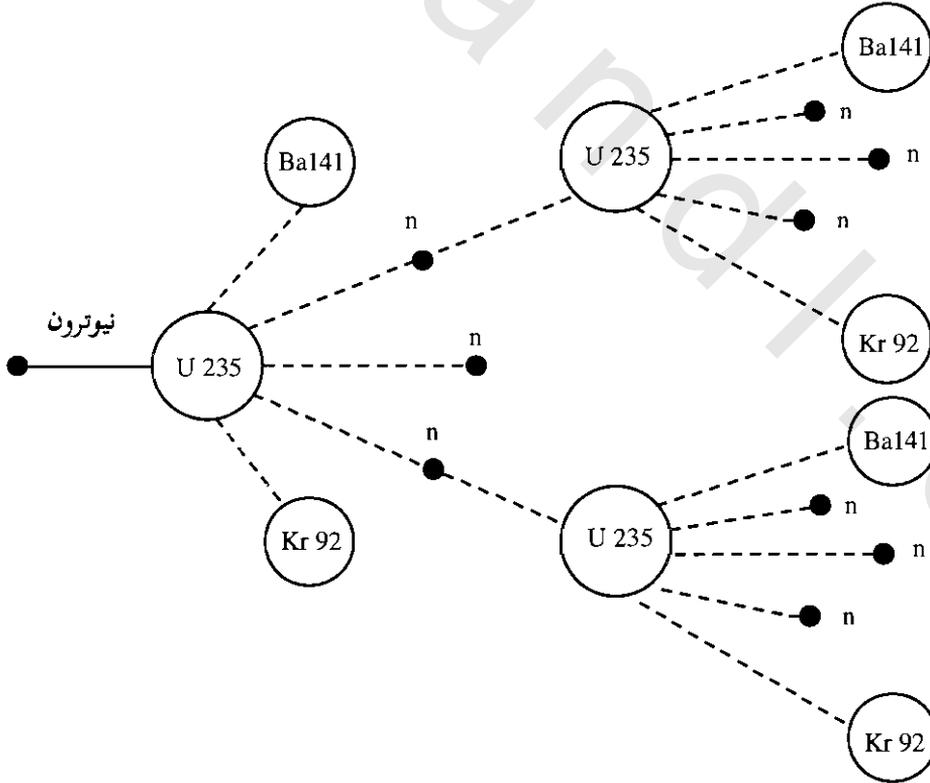
الانشطار النووي في عنصر اليورانيوم :

النوى التالى وهو الذى يودى إلى التفاعل التسلسلى .



وفى هذا التفاعل قد نتجت تسعة نيوترونات جديدة وانطلقت طاقة تساوى ثلاثة أضعاف الطاقة فى التفاعل (1). ولو تكرر هذا التفاعل سنحصل فى الخطوة التالية على 27 نيوترونًا و 1800 مليون إلكترون فولت، وهكذا يتوالى التضاعف بسرعة ويحدث ما يسمى بالتفاعل التسلسلى Chain Reaction وفيه يكون معامل التضاعف أكبر من واحد .

والتفاعل التسلسلى يحدث بسرعة، وتزيد كمية الطاقة الناتجة فى كل خطوة عن الخطوة السابقة لها فيتم ما يسمى بالانفجار النووى، وهو ما يحدث فى القنابل الذرية. ويشترط لحدوث التفاعل التسلسلى أن تكون كمية يورانيوم - 235 فى الخام المستخدم عالية جداً. أما اليورانيوم الموجود فى الطبيعة فهو يحتوى على نسبة عالية من يورانيوم -238 وبه نسبة لا تتعدى 0,7% من يورانيوم - 235 القابل للانشطار. ونظراً لضعف تركيزه فإن التفاعل التسلسلى لا يمكن أن يتم فى الطبيعة شكل (2) .

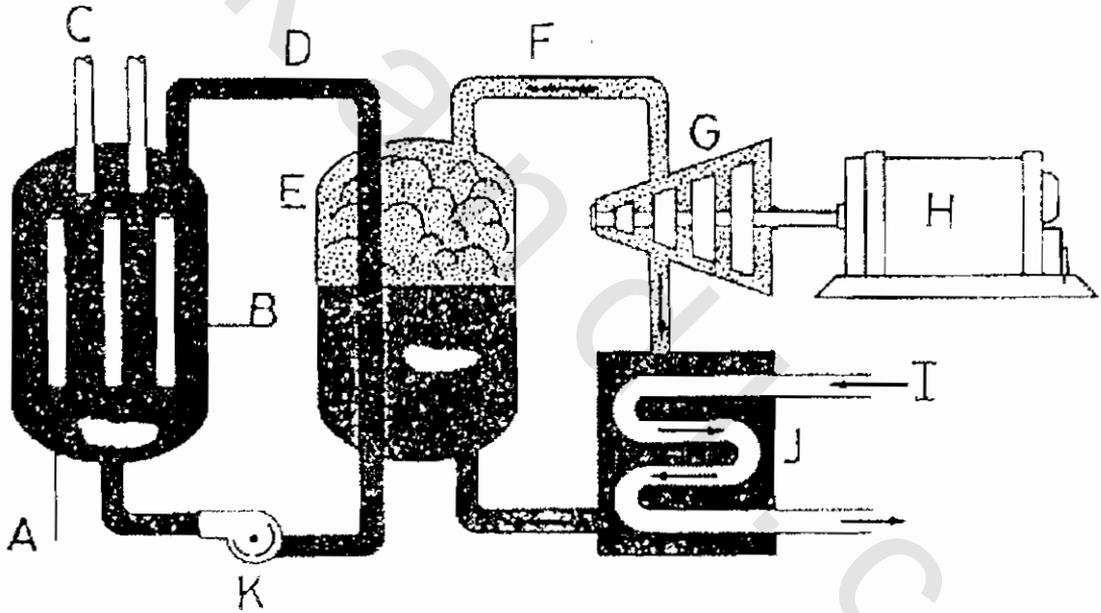


شكل (2) التفاعل النووى التسلسلى فى ذرة اليورانيوم - 235

في هذا النوع من المفاعلات شكل (٣) يمر ماء التبريد داخل المفاعل تحت ضغط حوالي ١٦٠ جو، فترتفع درجة حرارته دون أن يغلي. وهذا الماء الساخن ينتقل من المفاعل في دائرة مغلقة إلى غلاى لتوليد البخار تحت ضغط مرتفع نسبياً بحيث تصل درجة حرارته إلى حوالي ٣٥٠° س وهذا البخار يستخدم في إدارة توربين توليد الكهرباء، ونظراً لارتفاع درجة حرارته فإن كفاءة توليد الكهرباء ترتفع تبعاً لذلك. ومن مزايا هذا المفاعل كذلك أن الماء المستخدم في تبريد المفاعل يمر في دائرة مغلقة فلا يمكن أن يحدث تلوثاً لبخار الماء في التوربين أو المكثف .

ولذلك فينتظر أن يعمم استخدام هذا النوع من المفاعلات؛ نظراً لأن احتياطات الأمن من التلوث فيه كبيرة، وهو يستخدم في الوقت الحالى في الغواصات والسفن النووية .

المفاعلات ذات التبريد بالماء تحت ضغط مرتفع :



شكل (٣) مفاعل يبرد بماء تحت ضغط مرتفع

A - قلب المفاعل - B - قضبان الوقود - C - قضبان التحكم - D - ماء التبريد تحت ضغط مرتفع - E - مبادل حرارى - F - بخار ماء - G - توربين - H - مولد كهرباء - I - ماء لتبريد المكثف - J - مكثف - K - مضخة لرفع ضغط ماء تبريد المفاعل .

عوامل الأمان فى المفاعلات النووية :

بعد حادثى مفاعل ينسلفانيا بالولايات المتحدة وتشرنوبل بأكرانيا بالاتحاد السوفيتى، دار جدل طويل حول مستقبل استخدام المفاعلات النووية فى توليد الطاقة، وازدادت مخاوف الناس من إمكان حدوث تلوث للبيئة بسبب هذه المفاعلات ولا سيما عند حدوث توقف مفاجئ فى أجهزة التبريد كما حدث فى المفاعلين السابقين. وسوف يتضح من الحقائق التالية أنه لا داعى للقلق من ذلك عند استخدام أحد الأنواع الحديثة من المفاعلات، فهى أقل تلويثاً للبيئة من حرق البترول أو الفحم لتوليد الطاقة .

نفترض أنه لسبب ما ارتفعت درجة حرارة قلب المفاعل، عندئذ سيحدث ما يلى للتفاعل النووى الحادث به :

١ - ستقل كثافة الماء المستخدم للتبريد وتقل قدرته على تهدئة سرعة النيوترونات بالقدر الكافى لجعلها تنجح فى إحداث التفاعل النووى بامتصاصها فى يورانيوم - ٢٣٥ وبذلك يقل معامل التضاعف فيبطئ التفاعل النووى .

٢ - عند ارتفاع درجة حرارة المفاعل تزداد قدرة اليورانيوم - ٢٣٨، وهو الذى يكون ٩٧ ٪ من اليورانيوم المستخدم فى المفاعل على امتصاص النيوترونات، وبذلك يتناقص عدد النيوترونات التى يمكنها أن تحدث انشطاراً فى اليورانيوم - ٢٣٥ وهذا يؤدى إلى إنقاص معامل التضاعف ويبطئ التفاعل النووى .

٣ - هناك عوامل أمان تتخذ عند بدء المفاعل فأشعة α يمكن إبطال مفعولها بسهولة بإحاطة قلب المفاعل المحتوى على الوقود النووى بأسطوانة من الصلب . وهذا كافى لامتصاص هذه الأشعة، أما أشعة γ فهى تنفذ من هذه الأسطوانة وتحتاج إلى أسطوانة سميكة من الخرسانة ثم أسطوانة سميكة أخرى من الصلب وأسطوانة خارجية من البلاستيك. فإذا ما حدث وانصهر قلب المفاعل فإن هذه الأغلفة السميكة سوف تمنع تسرب أى مادة مشعة خارج المفاعل، وكذلك أى إشعاعات مثل أشعة γ .

ويبلغ تكاليف المفاعل النووى الذى يعطى واحد جيجاوات حوالى بليون دولار .

الغاز الطبيعى والفحم والبترول كلها مصادر للطاقة، إلا أنها تزيد من تصاعد الغازات الكربونية. كما أن إيجاد تكنولوجيات لمنع تصاعد الغازات الكربونية للجو تزيد من تكلفة إنتاج الطاقة بالمقارنة بالطاقة النووية .

هذا بالإضافة إلى أن أسعار البترول والغاز الطبيعى فى تزايد مستمر، مما يجعل الاهتمام بإيجاد بدائل مناسبة أمراً ضرورياً. فى الوقت الحالى تنتج محطات الطاقة النووية حوالى ٢٠ جيجا واط من الكهرباء على مستوى العالم .

الجهود الدولية المبذولة لاستخدام الطاقة النووية :

لعل أهم الصعوبات التي تعترض بناء المحطات النووية هي ارتفاع تكلفة الإنشاء وإيجاد طرق آمنة للتخلص من المخلفات النووية والخوف من انتشار المحطات النووية في مختلف دول العالم، التي قد تستخدمها في صناعة أسلحة نووية ولا يمكن السيطرة عليها .

في إحدى الدراسات التي أجراها معهد ماساشوستس للتكنولوجيا (MIT) Massachusetts Institute of Technology عن مستقبل الطاقة النووية، تبين أن استخدام الطاقة النووية يمكن أن يمثل ثلاثة أمثال ما هو عليه الآن لتعطي مليون ميجاواط مع حلول عام ٢٠٥٠، وهذا يمنع تصاعد الكربون إلى الجو بمقدار من ٠,٨ إلى ١,٨ بليون طن من الكربون في السنة، وذلك يعتمد على نوع الوقود الكربوني المستخدم .. هل هو غاز طبيعي أم فحم؟ كما بينت أن استخدام الطاقة النووية يمكن أن يساعد على إحداث استقرار في كمية الكربون المتصاعدة إلى الجو. فمن المعروف أن حالة الاستقرار تستلزم التخلص من سبعة بلايين طن من الكربون المتصاعد إلى الجو كل عام؛ حتى لا تصل الكرة الأرضية إلى نقطة اللاعودة مع حلول ٢٠٥٠ كما سبق أن ذكرنا .

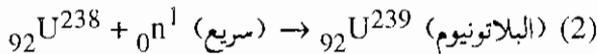
دورة الوقود النووي :

Fuel Cycle

إذا كان من المقرر أن يزداد عدد المفاعلات النووية على مستوى العالم فلا بد أن نقرر أي نوع من أنواع المفاعلات يمكن أن يكون أقل خطراً أو أكثر أماناً .

من الاعتبارات الهامة عند إتخاذ القرار باستخدام المفاعلات النووية أن نحدد نوع دورة الوقود .. هل هي دورة وقود مفتوحة Open Fuel Cycle أم دورة وقود مقفولة Closed Fuel Cycle؟ في دورة الوقود المفتوحة يتم استخدام اليورانيوم في المفاعل مرة واحدة، واليورانيوم المستنفد بعد الاستخدام يحفظ في أماكن خاصة لمنع تسرب الإشعاعات الضارة منه. إلا أن هذا الوقود المستنفد يحتوى على بعض البلاتونيوم الذي يمكن فصله وإعادة استخدامه في مفاعل آخر، وإذا ما تم ذلك فسوف تكون دورة الوقود مقفولة، كما في شكل (٤) .

والبلاتونيوم أحد نظائر اليورانيوم إلا أنه لا يوجد في الطبيعة، ويرمز له بالرمز ${}_{92}\text{U}^{239}$ ، ويتم الحصول عليه في المفاعلات النووية من ${}_{92}\text{U}^{238}$ عندما يتعرض لسيل من النيوترونات السريعة طبقاً للمعادلة النووية .



ونصف عمر البلاتونيوم - ٢٣٩ يصل إلى ٢,٤ × ١٠^٤ سنة، لذلك يمكن تركه داخل المفاعل لفترة طويلة .

وعندما تصطدم ذرات البلاتونيوم بالنيوترونات السريعة داخل المفاعل يحدث

تفاعل نووي انشطاري شبيه بالتفاعل النووي الانشطاري الحادث لليورانيوم - 235 الذى سبق توضيحه بمعادلة (1)، وتنتج عنه طاقة قدرتها 200Mev وهى طاقة مساوية للطاقة الناتجة عن انشطار اليورانيوم - 235، كما أنه يعطى زوج من النيوترونات، أى أنه يستطيع القيام بتفاعل متسلسل مثل اليورانيوم - 235 والذى سبق تناوله .

ومن الدول التى تستخدم الدورة المقفولة فرنسا، حيث يتم خلط البلاتونيوم بأكسيد اليورانيوم وإدخالهما فى المفاعل لتوليد الطاقة، وبذلك تطيل فترة استخدام الوقود فى المفاعل الذى يطلق عليه اسم المفاعل السريع Fast Reactor. وفى هذه الحالة، أى باستخدام الدورة المقفولة للوقود، يتم التخلص من المكونات ذات العمر النصفى الطويل مثل البلاتونيوم - 239 بإدخالها فى المفاعل، وبذلك تقل المشاكل المتعلقة بحفظ المخلفات النووية الأخرى .

وإدارة المخلفات النووية ليعاد استخدامها فى دورة الوقود المقفولة؛ لها فوائد كثيرة منها : استخدام كمية أقل من الوقود الخام للحصول على نفس القدر من الطاقة، وكذلك عدم الحاجة إلى نقل وتخزين الوقود الذى سبق استخدامه، حيث إن المتبقى منه كمية قليلة يمكن حفظها فى مستودعات خاصة بتخزين النفايات النووية .

إلا أنه يفضل استخدام اليورانيوم الخام فى دورة الوقود المفتوحة، حيث إنه متوفر بكمية تكفى لعدة عقود قادمة، كما أنه أرخص من البلاتونيوم المستخلص من الوقود الذى سبق استخدامه. ومن ناحية الحفظ فإن الخطورة الناجمة عنه أقل من الخطورة الناجمة عن عمليات فصل البلاتونيوم، حيث إنها عملية معقدة وليست بسيطة، أضف إلى ذلك أن استخلاص البلاتونيوم يمكن أن يوجه إلى استخدامات عسكرية ولبناء قنابل نووية .

والنوع الأكثر شيوعاً من المفاعلات هو المفاعل الذى يستخدم الماء لعمليات التبريد، حيث إن التكنولوجيا الخاصة بتصنيعه أصبحت معروفة بدرجة كبيرة، وعوامل الأمان فيه كبيرة، وهو الموضح فى شكل (3) .

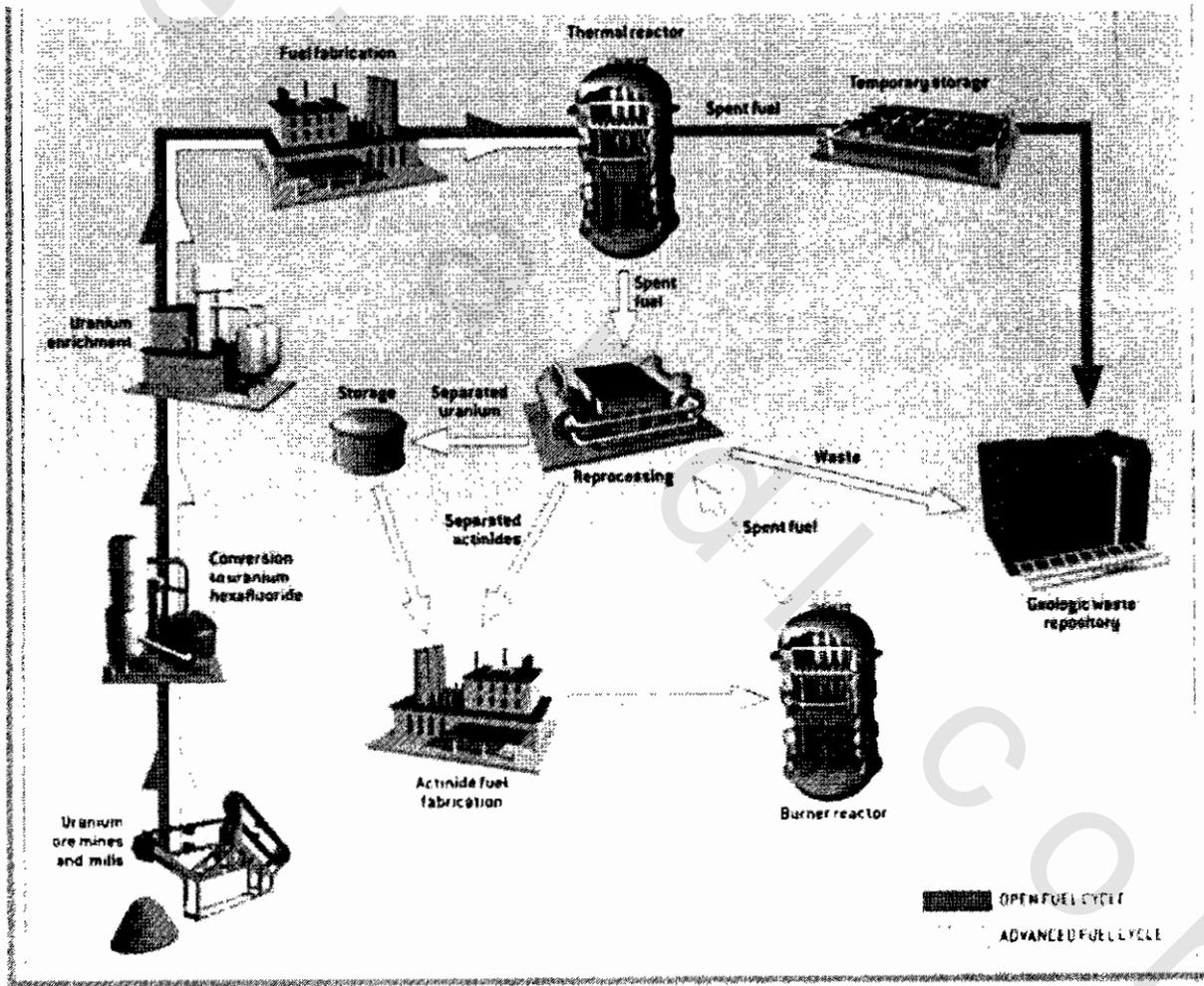
وتصميمات المفاعلات وتطورها مع الزمن جعلها تنتمى إلى عدة أجيال، فالجيل الأول هو النموذج الأول Prototype من المفاعلات وتم بناؤه فى الفترة من 1950 إلى 1960، والجيل الثانى هو المفاعلات التى تبنى للأغراض التجارية، وقد نفذ منها العديد من المفاعلات فى الفترة من 1960 إلى 1990، والجيل الثالث من المفاعلات قد أدخلت عليه العديد من التحسينات ولاسيما فى تكنولوجيا الوقود

وزيادة عوامل الأمان، بحيث إن المفاعل يتوقف تماماً إذا ارتفعت درجة حرارته عن الدرجة المحددة له، وقد بني أول مفاعل من هذا النوع عام ١٩٩٦ فى اليابان، أما الجيل الرابع فهو لا يزال فى دور التجربة ولم يصل بعد إلى درجة الاستغلال التجارى.

وقد أصبح من الممكن بناء مفاعلات نووية صغيرة تنتج طاقة تصل إلى ١٠٠ ميغاواط وهى تصلح للاستخدام فى الدول النامية، حيث إنها ليست غالية الثمن. وتعتمز جنوب أفريقيا إنتاج مفاعلات تصل قدرتها إلى ١١٠ ميغاواط فى عام ٢٠٠٧، على أن يتم إنتاجها تجارياً فى عام ٢٠١١، وتأمل أن تستطيع تسويقها عالمياً لا سيما فى أفريقيا .

دورة الوقود النووي

في دورة الوقود المفتوحة بعد أن يستخدم اليورانيوم في المفاعل يخزن اليورانيوم المستنفذ في مخزن مؤقت حتى يتم نقله إلى خزان مستديم، كما في الشكل (٤)، في المفاعلات التي تعمل بنظام الدورة المغلقة يستخلص البلاتونيوم من الوقود المستنفذ ليعاد استخدامه مع يورانيوم جديد في مفاعل سريع. وفي المستقبل ينتظر تجهيز الوقود الأكتينيدي (خليط من البلاتونيوم واليورانيوم) ثم إعادة استخدامه في المفاعل وهو المبين في الشكل بالأسهم البيضاء، أما الأسهم السوداء فهي تعبر عن دورة اليورانيوم المفتوحة.



شكل ٤ :

خفض سعر الطاقة المتولدة من المفاعلات النووية :

تصل تكلفة الكيلواط ساعة من الطاقة المتولدة من المفاعلات النووية طبقاً لتقديرات معهد ماساشوستس للتكنولوجيا MIT حوالي ٧,٦ سنت شاملة تكلفة إنشاء المفاعل وتكلفة تشغيله، بينما الكيلواط - ساعة الناتج عن المحطات التي تعمل بالفحم أو الغاز الطبيعي يتكلف ٤,٢ سنت. ومع الزيادة المضطربة لأسعار الغاز الطبيعي قد يصل سعر الكيلواط - ساعة إلى ٥,٨ سنت، ومن المحتمل أن ينخفض سعر الكيلواط ساعة المنتج من المحطات النووية لو انخفض سعر إنشاء تلك المحطات بمقدار ٢٥ ٪، وذلك في حالة إنشاء أعداد كبيرة من المحطات التي لها نفس التصميم. إلا أن الطاقة النووية سوف تكون مساوية من حيث التكلفة للطاقة الناتجة عن المحطات التي تعمل بالوقود الكربوني في حالة دفع ضريبة على الكربون المتصاعد من تلك المحطات. فلو فرضت ضريبة قدرها ٥٠ دولار لكل طن من الكربون المتصاعد إلى الجو سيصل سعر الكيلواط ساعة من تلك المحطات إلى ٥,٤ سنت .

ولو أرادت تلك المحطات ألا تدفع تلك الضريبة فعليها أن تمنع وصول غاز ثاني أكسيد الكربون إلى الجو بتجميعه في أنابيب أو أسطوانات تحت ضغط مرتفع وتبيعه لشركات البترول لتستخدمه في رفع الضغط داخل آبار البترول التي بدأت تنضب لتستخرج ما تبقى بها، أو مد الأنابيب التي تجمع فيها الغاز إلى أعماق البحار ليدوب في الماء ويتفاعل مع ما بها من أملاح، وهذه الأعمال سترفع من سعر الكيلواط ساعة الناتج عن محطات الكهرباء التي تعمل بالوقود الكربوني إلى أكثر من خمسة سنتات .

انتشار استخدام المحطات النووية لتوليد الكهرباء تواجهه مشكلة عويصة هي كيفية التخلص من المخلفات النووية التي تنتج عن استخدام اليورانيوم في تلك المفاعلات، ولاسيما أن تلك المخلفات ذات عمر طويل وعالية الإشعاع، ومستودعات النفايات الجيولوجية تعتبر من أكثر الطرق أمناً لحفظ تلك المخلفات، وفيها تودع تلك النفايات في غرف على عمق مئات الأمتار تحت سطح الأرض، شريطة أن لا تصل إلى مجارى المياه الجوفية. ومن الأهمية بمكان عدم تأكد الحاويات الضخمة التي توضع فيها تلك النفايات بفعل الصخور التي تنحت فيها تلك الغرف تحت سطح الأرض. وقد أثبتت الدراسات التي أجريت على تلك الطريقة جدواها وصلاحياتها وقدرتها على منع تسرب الإشعاعات أو النيوكليدات إلى الجو أو إلى المياه الجوفية .

إلا أن الولايات المتحدة لا تزال تبحث عن المكان المناسب لهذا الغرض في أحد الجبال بصحراء نفاذا. في فنلندا تم بناء مستودع على عمق ٥٠٠ م تحت سطح الأرض، وتجري عليه الدراسات من حيث طبيعة الصخور ومسارات المياه الجوفية،

إدارة مخلفات المحطات النووية :

واختبار تكنولوجيات حفظ المخلفات النووية تحت سطح الأرض، ويطلق على هذا المشروع اسم Onkalo Project .

الخوف من الانتشار النووي:

فى الوقت الحالى تبذل الجهود لوضع نظام دولى لتداول المواد النووية بين الدول المانحة لها والدول المستخدمة لها. فالدول المانحة لها مثل الولايات المتحدة وروسيا وفرنسا والمملكة المتحدة ستبيع الوقود الخام إلى الدول المستخدمة له لاستخدامه فى برامج نووية سلمية بنظام دورة الوقود المفتوحة، بحيث يتم تسليم الوقود الذى تم استخدامه فى مفاعلات تلك الدول مرة أخرى إلى الدولة المانح، وتتسلم منها كمية أخرى بديلة. وبهذه الطريقة تتلاشى المخاوف من عمليات إثراء اليورانيوم بهدف استغلاله فى الأسلحة النووية، كما يحدث فى إيران حالياً. وليست إيران هى المثل الوحيد فهناك البرازيل أيضاً تقوم حالياً بتخصيب اليورانيوم بهدف استخدامه فى المفاعلين الكبيرين بها .

إنتاج الطاقة بواسطة المفاعلات

النووية لتصل إلى تيراواط:

للإقلال من معدل تصاعد الغازات الكربونية فى نصف القرن القادم، أى حتى عام ٢٠٥٦، لابد من توفير ما يقرب من تيراواط من القدرة الكهربائية عن طريق المحطات النووية، وهو ما يلاشى مثلث أو اثنين من مثلثات الاتزان الموضحة فى شكل (١) .

إلا أن توفير هذا القدر يعتبر تحدياً حقيقياً، فالمطلوب إنشاء مفاعلات جديدة تعطى زيادة بمعدل ٢٠٠٠ ميجاواط شهرياً وهو ما يكلف ٢ ترليون دولار لعدة عقود. وكذلك البحث عن وسائل للتخلص من النفايات الذرية، ووضع ضوابط صارمة لمنع انتشار استخدام اليورانيوم فى الأغراض الحربية، وفرض ضريبة على الكربون المتصاعد إلى الجو كغازات كربونية على الدول الصناعية الكبرى، وكذلك على الدول الآخذة فى النمو الاقتصادى مثل الصين والهند والبرازيل .

فإذا كان المطلوب توفير تيراواط من القدرة الكهربائية عن طريق المحطات النووية على مستوى العالم، فإن ذلك يعنى أن تقوم دولة مثل الولايات المتحدة برفع قدرتها من الطاقة من المفاعلات النووية بما يساوى ٣٠٠ جيجاواط سنوياً حتى عام ٢٠٥٦ .

١-٢ مستقبل الطاقة الشمسية الحرارية والضوئية

استغلال الطاقة الشمسية الضوئية

الخلايا الشمسية أو الفوتوفلظية :

مقدمة : تحتوى الخلايا الشمسية على مواد شبه موصلة لتحويل الطاقة الضوئية للشمس إلى طاقة كهربائية. فى الوقت الحالى نظراً لارتفاع ثمنها وضعف كفاءتها لا تضيف لما ينتجه العالم من طاقة كهربائية إلا قدرًا يسيراً لا يتعدى ٥ جيجاواط وهو يمثل ٠,٠٤ ٪ من الطاقة المنتجة عالمياً. إلا أن الطاقة الضوئية للشمس يمكنها أن تعطى العالم ٥٠٠٠ مرة قدر ما يحتاجه .

نتج عن التقدم التكنولوجى تحسن خواص تلك الخلايا وانخفاض سعرها، مما شجع على زيادة ما تعطيه من كهرباء. ففى العقد الأخير زادت نسبة الإنتاج بمقدار ٢٥ ٪ سنوياً وفى عام ٢٠٠٥ زاد الإنتاج بنسبة ٤٥ ٪. لقد ساهمت الخلايا التى تم تصنيعها فى العام الماضى فى زيادة القدرة الكهربائية بمقدار ١٧٢٧ ميجاواط أضيفت للإنتاج العالمى للطاقة، منها ٨٣٣ ميجاواط فى اليابان و ٣٥٣ ميجاواط فى ألمانيا و ١٥٣ ميجاواط فى الولايات المتحدة .

فى الوقت الحالى يتم تصنيع الخلايا الشمسية من العديد من المواد منها : شرائح السليكون المتبلور الذى لا زال يستخدم بدرجة كبيرة فى تصنيع الخلايا، ومن أغشية رقيقة من السليكون ومنتجات أخرى مكونة من البلاستيك أو مركبات عضوية شبه موصلة، والخلايا الفوتوفلظية المصنوعة من السليكون غير المتبلور أُرخص فى إنتاجها من تلك المصنوعة من السليكون المتبلور إلا أنها أقل كفاءة فى تحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية .

وتبلغ كفاءة الخلايا الشمسية المنتجة صناعياً من ١٥ ٪ إلى ٢٠ ٪ ، ولانزال البحوث جارية للارتفاع بتلك الكفاءة إلى ٣٠ ٪ .

ومن السهل استخدام الخلايا الشمسية، فيمكن وضعها فى مصفوفات فوق أسطح المنازل وفى مجموعات كبيرة من الخلايا فى الصحراء التى لا تصلها شبكة كهرباء وبها تجمعات من السكان أو بها بعض المعسكرات .

نظرية عمل الخلايا الفوتوفلظية :

تتكون الخلايا الشمسية من وصلة ثنائية (موجة - سالبة) والوصلة الموجبة تتكون من شريحة مأخوذة من بلورة السليكون الأحادية مضافاً إليها بعض الشوائب من عنصر ثلاثى التكافؤ مثل البورون، أما الوصلة السالبة فهى أيضاً من السليكون النقى ويضاف إليها بعض الشوائب لعنصر خماسى التكافؤ مثل الفوسفور، كما نعلم من نظرية أشباه الموصلات لو كونا خلية من هاتين الشريحتين كما فى شكل (٥)

ثم سقط شعاع ضوئي على الشريحة السالبة فإن طاقة الفوتونات تنتقل إلى الإلكترونات الموجودة في منطقة التكافؤ فتكسبها طاقة تكفي لنقلها إلى منطقة التوصيل بالشريحة السالبة. أما الفجوات الموجبة فإنها تنتقل إلى منطقة التوصيل بالشريحة الموجبة. وبذلك يتكون فرق جهد بين سطحى الوصلة الثنائية فنوصلنا ما بين سطحيهما بموصل كهربى فإن تياراً كهربياً سوف يمر في هذه الدائرة شكل (٦)، ويصل فرق الجهد بين السطحين إلى ٠,٦ فولت، وتمر الإلكترونات من الوصلة السالبة إلى الوصلة الموجبة في الدائرة الخارجية. وهكذا تتحول الطاقة الضوئية أى طاقة الفوتونات الساقطة على الخلية إلى طاقة كهربية .

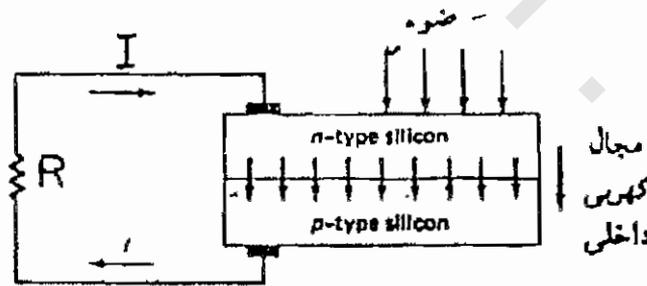
ويمكن حساب طاقة الفوتون من استخدام معادلة بلانك وهى :

$$E = h \nu$$

حيث E طاقة الفوتون ، ν هو التردد، h ثابت بلانك للإشعاع .

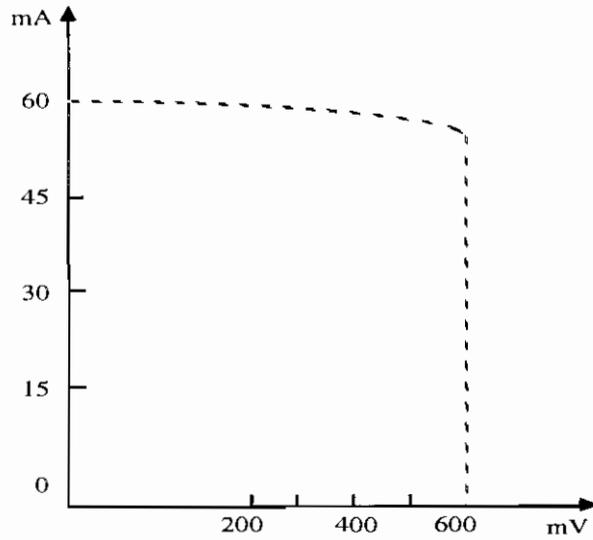
يوضح المنحنى شكل (٦) خواص خلية السليكون الكهربية، ومنه يتضح أن أعلى شدة تيار يمكن الحصول عليه هو ٠,٠٧ أمبير وأعلى جهد هو ٠,٦ فولت وذلك عندما تكون الدائرة الخارجية مفتوحة، أى أن أعلى قدرة كهربية يمكن الحصول عليها من هذه الخلايا لايتعدى ٠,٠٤ واط، أى ٤٠٠ مليواط وذلك طبقاً للمعادلة :

$$\text{القدرة الكهربية} = \text{التيار} \times \text{فرق الجهد} = ٠,٠٧ \times ٠,٦ = ٠,٠٤ \text{ واط}$$



شكل (٥) خلية شمسية (خلية فوتوفولتية)

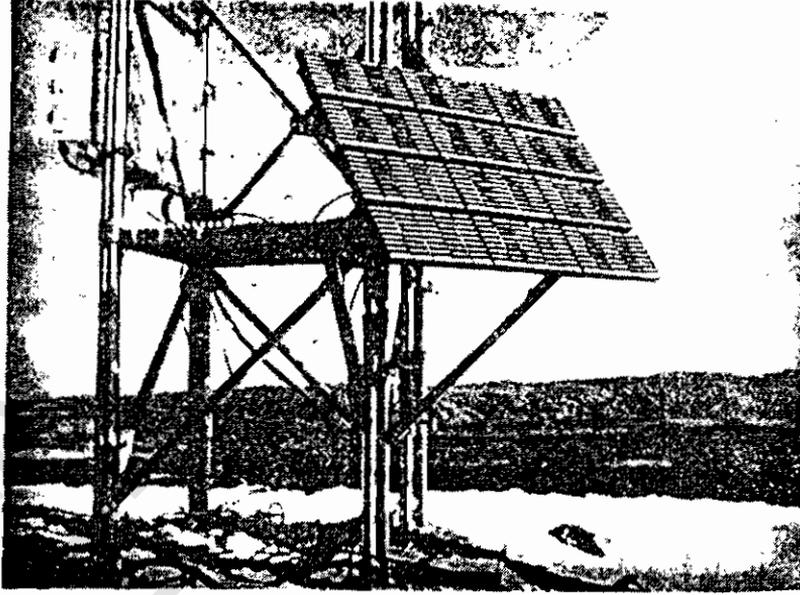
مكونة من وصلة $p-n$ (p-n)



شكل (٦) منحنى القدرة للخلايا الشمسية

إذن لكي نحصل على قدرة كهربية قدرها ٥٠٠ واط لتشغيل مضخة فإننا نحتاج إلى مصفوفة بها مئات الخلايا الشمسية، شكل (٧). وتتكون مصفوفات الخلايا الشمسية Solar Array من مجموعة كبيرة من الخلايا متصلة ببعضها على التوالي والتوازي، والعدد المتصل على التوالي يحدد جهد المصفوفة، والعدد المتصل على التوازي يحدد شدة التيار. ومساحة المصفوفة ١ م^٢ وتعطى تياراً قدره ٤ أمبير وقوة دافعة كهربية ١٢ فولط. أى أن قدرتها الكهربائية ٤٨ واط. ولذلك فلنكنى نفذى موتور قدره ٤/١ حصان، أى ١٨٧ واط، نحتاج إلى ٤ مصفوفات مساحة كل منها ١ متر مربع وتحتوى على ٥٠٠٠ خلية شمسية متصلة مع بعضها على التوالي والتوازي لكي نحصل على التيار المطلوب والقوة الدافعة المطلوبة .

وتستخدم المصفوفات الشمسية فى مراكب الفضاء والأقمار الصناعية لتغذيتها بالطاقة الكهربائية اللازمة لها وتركب على شكل أجنحة كبيرة حول القمر الصناعى .



شكل (٧) مصفوفات من الخلايا الشمسية لتشغيل آلة أو وحدة تحكم

كفاءة الخلايا الشمسية المصنوعة

تصل كفاءة الخلايا الشمسية المصنوعة من السليكون إلى ١٨ ٪ ، وهذه الكفاءة تحددها عدة عوامل أهمها :

من السليكون :

١ - الجزء من الطيف الشمسي ذو الطول الموجي أكبر من ١,١٥ ميكرومتر، وهو يكون ٢٥ ٪ من الطاقة الشمسية ليس لفوتوناته طاقة كافية لنقل الإلكترونات من منطقة التكافؤ إلى منطقة التوصيل بوصلة السليكون الثنائية. فكما ذكرنا طاقة الفوتون تتناسب مع الطول الموجي للإشعاع طبقاً لمعادلة بلانك $E=hf$ فإذا كان الطول الموجي 3×10^{-6} ميكرومتر مثلاً يكون التردد 1×10^{14} هرتز، والطاقة تساوي $0,66 \times 10^{-19}$ جول، وهي أقل من الطاقة اللازمة لنقل الإلكترون عبر منطقة التكافؤ $1,73 \times 10^{-19}$ جول .

٢ - الإشعاعات ذات الأطوال الموجية القصيرة تكون طاقة فوتوناتها أكبر من الطاقة اللازمة لنقل الإلكترون إلى منطقة التوصيل في السليكون، وهي $1,73 \times 10^{-19}$ جول، وتتحول الطاقة الزائدة إلى حرارة، ولا ينتفع بها في نقل الإلكترونات، وهذه الحرارة تقلل من كفاءة الخلية الشمسية .

٣ - جزء كبير من الطاقة الساقطة على مصفوفات الخلايا تنعكس من على السطح أو تمر خلال المصفوفات دون أن تمتص، كل هذه العوامل هي التي حددت كفاءة خلايا السليكون بما لا يزيد عن ١٨ ٪ .

الجهود المبذولة لخفض أسعار الكهرباء المنتجة بالخلايا الفتوفلوية :

لعل التحدى الأكبر فى استخدام الخلايا الشمسية يتمثل فى العمل على خفض سعر ما تنتجه تلك الخلايا من الكهرباء حيث إنه مرتفع فى الوقت الحالى فسعر الكيلواط ساعة المنتج من تلك الخلايا فى الوقت الحالى يصل إلى ٢٥ سنتاً، بينما يصل سعر الكيلواط ساعة المنتج من المحطات التى تعمل بالفحم من أربعة إلى ستة سنتات، والتى تعمل بالغاز الطبيعى تصل من ٥ إلى ٧ سنتات. ولحسن الحظ أن سعر الخلايا الشمسية قد هبط فى الآونة الأخيرة نظراً لتحسين طرق الإنتاج، ففي اليابان حيث ينتج ٢٩٠ ميغاواط باستخدام الخلايا الشمسية هبط سعر إنتاج الخلايا الشمسية بمعدل ٨ ٪ سنوياً وفى كاليفورنيا حيث تنتج حالياً ٥٠ ميغاواط بالخلايا الشمسية سوف يهبط سعر تكلفة إنتاج تلك الخلايا بمعدل ٥ ٪ سنوياً .

ولعل كينيا هى أكبر دولة فى العالم تستخدم الخلايا الشمسية وبها ما يقرب من ٣٠٠٠٠ وحدة صغيرة لتوليد الطاقة الكهربائية كل منها ينتج من ١٢ إلى ٣٠ واط يتم شراؤها سنوياً بسعر ١٠٠ دولار للمصفوفة الكاملة .

والمصفوفة تكفى لشحن بطارية سيارة أو لإنارة لمبة فلوريسنت أو لتشغيل تلفزيون لبضع ساعات. وعدد كبير من الكينيين يستخدمون تلك المصفوفات لأن شبكة الكهرباء لا تصل إلى قراهم. ومصفوفات الخلايا الشمسية المصنوعة من السليكون غير المتبلور يصل سعرها إلى نصف سعر الخلايا المصنوعة من السليكون المتبلور، إلا أن كفاءتها فى تحويل الطاقة الضوئية للشمس أقل، ويمكن أن يستخدمها ما يقرب من ٢ بليون شخص على مستوى العالم ولاسيما من لا تصلهم شبكات الكهرباء .

المركبات البديلة للسليكون فى صناعة الخلايا الشمسية :

هناك محاولات كثيرة لإيجاد مواد أرخص من السليكون لصناعة الخلايا الشمسية وتكون أعلى كفاءة. ومن المركبات ذات الكفاءة العالية فى تصنيع هذه الخلايا هى الجاليوم أرسينيد، فأشعة الشمس تمتص به على عمق ١-٢ ميكرون من السطح بينما فى السليكون تحتاج إلى عمق يصل إلى ١٠٠-٢٠٠ ميكرون. ولذلك يمكن استخدام سمك قليل من مادة الجاليوم أرسينيد فى كل خلية مما يقلل من التكلفة. كما أن كفاءة هذه المادة أعلى من السليكون، فالطاقة اللازمة لنقل الإلكترون من منطقة التكافؤ إلى منطقة التوصيل تصل إلى ١,٣٥ إلكترون فولت أى ٢,٢ × ١٠^{-١٩} جول، وهى قريبة من طاقة الفوتون فى المنطقة المرئية من الطيف الشمسى والتى تحمل كما سبق أن ذكرنا القدر الأكبر من الطاقة الشمسية. كما أن خلايا الجاليوم أرسينيد تعمل عند درجات حرارة مرتفعة دون أن تقل كفاءتها، وبذلك يمكن استخدام مرايا مقعرة لتركيز أشعة الشمس مما يقلل من المساحة المطلوبة .

مما سبق يتضح أن الخلايا المصنوعة من الجاليوم أرسينيد لها ثلاث ميزات : الأولى كفاءتها العالية في تحويل الطاقة الشمسية إلى كهربية تصل إلى ١٩ ٪ ، والثانية استخدام مساحات صغيرة نظراً لإمكان استخدام مرايا لتركيز الطاقة الشمسية والثالثة استخدام سمك صغير من الجاليوم أرسينيد. كل هذه المميزات تجعل هذه المادة مناسبة جداً لتصنيع الخلايا الشمسية على مستوى تجارى وأرخص من خلايا السليكون. إلا أن هذا النوع من الخلايا لا يتحمل التغيرات الجوية ويحتاج إلى استبدال من وقت لآخر .

وهناك مجموعة كبيرة من أشباه الموصلات تجرى محاولة استخدامها في عمل الخلايا الشمسية على أن تكون عالية الكفاءة ولها قدرة تحمل كبيرة للعوامل الجوية. ومن هذه المواد الكادميوم تلريد Cd Te والكادميوم سلفيد Cd S (Cu₂-S) وغير ذلك .

في الوقت الحالى يصل ما تقدمه جميع الخلايا الشمسية على مستوى العالم بعد حوالى ٥٠ سنة من إنتاجها وتوزيعها تجارياً حوالى ٥ جيجاواط أى ما يعادل ٠,٠٣٨ ٪ من الطاقة المنتجة عالمياً، مما يجعل هذه التكنولوجيا عديمة العائد .

الخلايا الشمسية النانوتكنولوجية

Nano-Tech Solar Cells

إلا أن التكنولوجيات الحديثة قد تحسن من وضع الخلايا الفوتوفلطية وتزيد من أهميتها. يبحث العلماء عن مواد جديدة يمكنها أن تزيد من الأطوال الموجية لأشعة الشمس المستفاد منها بواسطة تلك الخلايا، ومن ثم تزداد كفاءتها ويقل سعرها. فكفاءة الخلايا الشمسية المصنوعة من السليكون، كما ذكرنا، لا تتعدى ٢٠ ٪ . اكتشف العلماء مواداً جديدة تُرصع بنقط كمية quantum dots يمكنها أن تضاعف تلك الكفاءة وأبعاد كل من تلك النقط أقل من ١٠ أجزاء من بليون من المتر. عندما تتعرض تلك النقط لأشعة الشمس يمكنها أن تمتص نسبة كبيرة من الأشعة ذات الأطوال الموجية المختلفة المتاحة في أشعة الشمس، فيزداد التيار الكهربائي الصادر عن الخلية. ويدرس الباحثون في الوقت الحالى عناصر جديدة صديقة للبيئة لاستخدامها في صنع النقط الكمية خلاف عناصر الرصاص والسلينيوم والكادميوم الضارة بصحة الإنسان، ومن المنتظر أن تساعد الجسيمات النانوسكوبية في تخفيض سعر القدرة الكهربائية الناتجة عن الخلايا الفوتوفلطية وبالقرب من سان فرانسيسكو تقوم شركة نانوسولار Nanosolar ببناء مصنع ينتج ٢٠٠ مليون خلية فوتوفلطية في السنة بطبع نقط نانوسكوبية من ثنائى سلفيد النحاس - إنديوم - جاليوم Cu-In-Ga diselenide على فيلم رقيق جداً من السليكون، وهذا الفيلم يقوم بامتصاص أشعة الشمس وتحويلها إلى كهرباء بكفاءة عالية، بحيث ينتظر أن يصل ثمن إنتاج الخلية إلى ٥٠ سنتاً للواط .

لقد تنبّهت العديد من الشركات إلى أهمية تطوير الخلايا الفوتوفلّطية فشرّكة بريتشن بتروليم BP أبرمت عقداً مع معهد كاليفورنيا التكنولوجي لتصنيع خلايا عالية الكفاءة مصنوعة من قضبان نانوسكوبية .

المحطة الفضائية لتوليد الكهرباء من الطاقة الشمسية - مشروع جليسر :

Solar Satellite Power Station (SSPS)

في عام ١٩٦٨ رأى العالم بيتر جليسر Dr. Peter Glaser بشركة آرثر ليتيل Arthur D. Little الأمريكية أن يتخلص من مشكلتين هامتين من مشاكل استغلال الطاقة الشمسية هما عدم توافرها بالليل وفي الأيام الغائمة وكذلك امتصاص الغلاف الجوي لنسبة كبيرة منها، وذلك بأن يضع عدداً كبيراً من مصفوفات الخلايا الشمسية في الفضاء وعلى بعد ٢٢٣٠٠ ميل من سطح الأرض، كما هو موضح في شكل (٩)، وهذه تتحرك في مدارها حول الأرض بحيث تبقى دائماً فوق نقطة ثابتة محددة على سطح الأرض وتتجه دائماً نحو الشمس، وتبلغ مساحة هذه المحطة ٣٠ كم^٢ ويمكنها أن تعطي ٩,٣ جيجاوات (٩,٣ × ١٠^٩ واط) من الكهرباء. والموجات الميكرونية التي تولدها المحطة تنقل إلى الأرض على شكل موجات ميكرونية طولها الموجي ١٢ سم. وهذا ممكن فكما ذكرنا سابقاً فإن الغلاف الجوي يسمح بنفاذ الموجات الميكرونية بهذا الطول الموجي، وتستقبل الموجات الميكرونية هذه على سطح الأرض بواسطة هوائيات ضخمة تشغل مساحة يبلغ قطرها ١٠ كيلومترات وتستطيع أن تستقبل ٩٠ ٪ من الطاقة الكهربائية .

يعاد تحويل هذه الطاقة بعد ذلك إلى تيار كهربى متردد يغذى الشبكة الكهربائية بما يقرب من ٥ جيجاوات من الكهرباء. ويبلغ وزن المحطة الفضائية ١,٨ ألف طن، ويتوقف نجاح هذا المشروع على الطريقة التي سيتم بها نقل هذه المحطة وتركيبها في الفضاء. ويحتمل أن يستخدم المكوك الفضائي في هذه المهمة .

وتبلغ تكاليف هذا المشروع ١٠ بلايين دولار، وعلى الرغم من ضخامة التكاليف واحتمال فشل المشروع إلا أن العديد من الشركات الأمريكية الكبيرة مثل بوينج وروكويل تتعاون مع شركة ليتيل وناسا NASA في دراسة هذا المشروع .

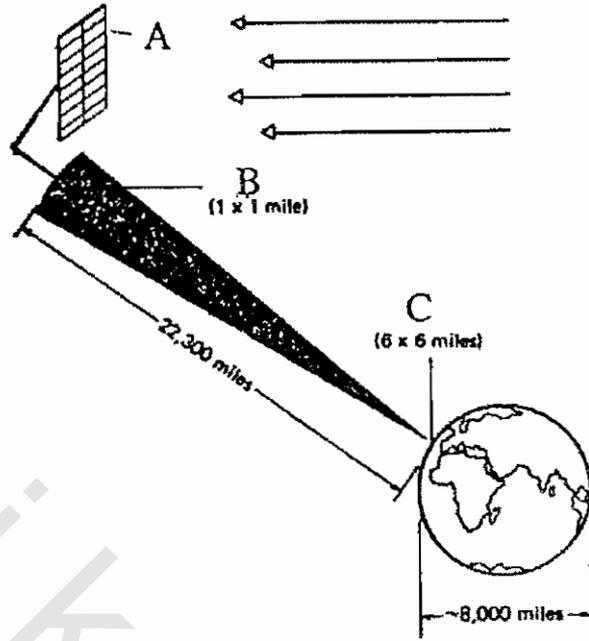
بدأت الفكرة معقولة وقابلة للتطبيق إلا أن انخفاض أسعار الطاقة البترولية في السبعينات قللت الاهتمام بمشروعات الطاقة الشمسية، وكان ذلك هو نهاية المشروع .

استخدام الطاقة الضوئية

الشمسية الفضائية في توليد

الكهرباء

Space Solar Power



شكل (٩) محطة جليسر الفضائية

- A - مجمع الخلايا الشمسية ٥ × ٥ ميل - B - مرسل الموجات الميكرونية
- C - هوائي لاستقبال الموجات على الأرض

إلا أن استغلال الطاقة الشمسية من الفضاء (Space Solar Power (SSP) ظلت فكرة تراود العلماء، فمصنوفات الخلايا الموضوعية في مدار ثابت فوق موقع على سطح الأرض ستظل دائماً مواجهة للشمس حيث تكون شدتها ٨ أضعاف شدتها على سطح الأرض، كما أن قدرتها الكهربائية تظل ثابتة ويمكن توصيلها بشبكة كهرباء المدينة. والقدرة الكهربائية القادمة إلى الأرض من الخلايا الشمسية الفضائية تكون على شكل موجات ميكرونية تستقبلها هوائيات على مساحة تصل إلى ١٠ كم^٢ فوق سطح الأرض وتحويلها إلى تيار كهربائي بكفاءة تصل إلى ٩٠٪.

ويرى هوفرت Hoffert أحد المهتمين بهذا المشروع أن استغلال الطاقة الشمسية الفضائية SSP من حيث التكلفة وإمكانية التنفيذ أفضل من مشروع الطاقة الاندماجية التي اعتمدت له الحكومة ١٠ بلايين دولار .

قامت ناسا NASA بدراسة وتقييم بعض مشروعات الطاقة الشمسية الفضائية، وقد استفادت التصميمات الحديثة من التقدم العلمى الذى طرأ على الخلايا الشمسية باستخدام الأغشية الرقيقة الفوتوفولطية واستخدام الموصلات الفائقة فى درجات الحرارة المرتفعة لنقلها، ثم تحويلها إلى أشعة ميكرونية لإرسالها إلى المحطات الأرضية، ومن الممكن كذلك استخدام أشعة الليزر فى المنطقة تحت الحمراء ، وباستخدام التكنولوجيات الحديثة High-tech تمكن مهندسو الطاقة الشمسية الفضائية من تخفيف وزن المنظومة، ومن ثم تقلل التكاليف الخاصة بنقلها إلى الفضاء ووضعها فى المدار الثابت بالنسبة للأرض .

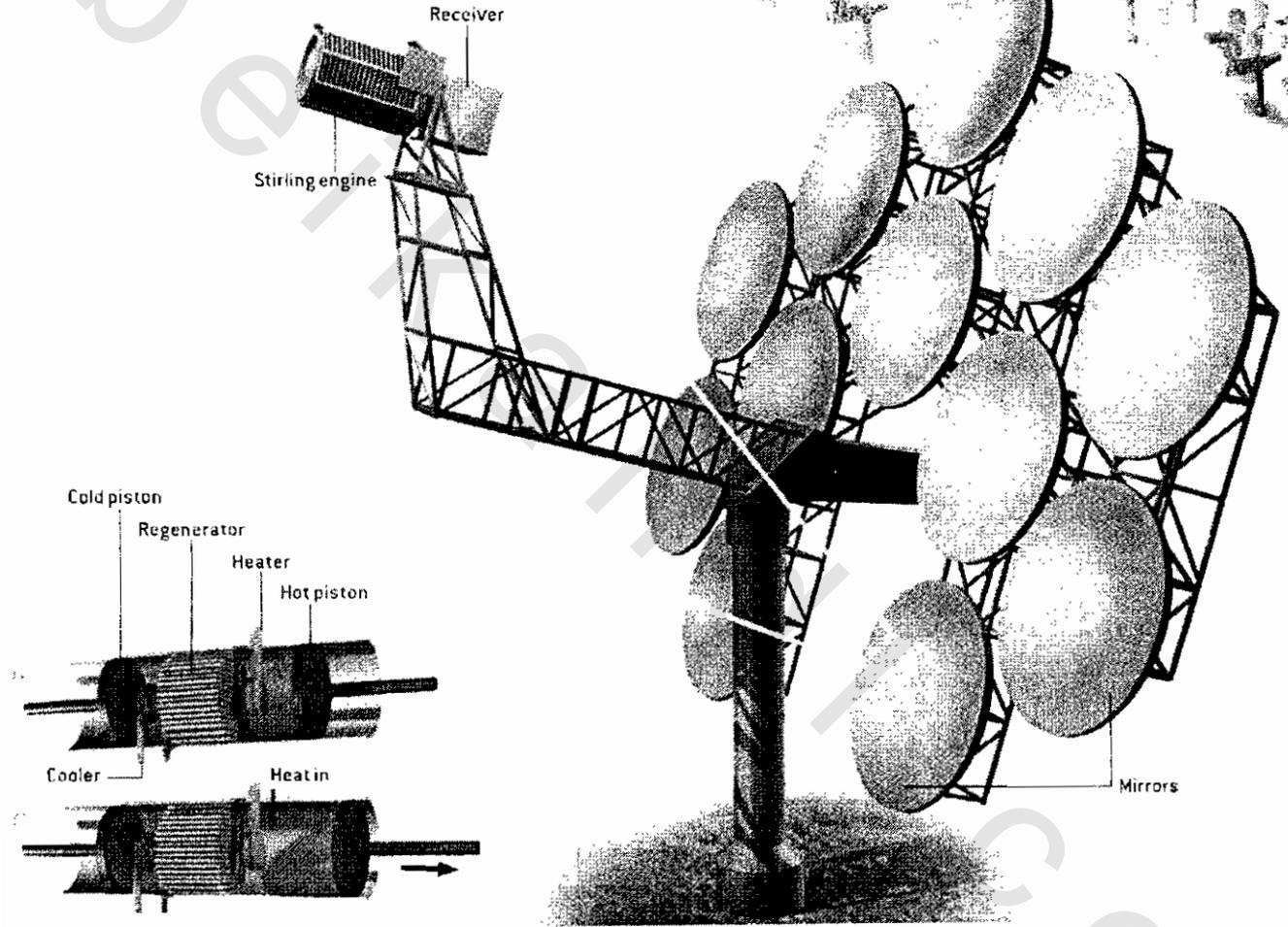
وعلى الرغم من كل تلك التحسينات ستظل التكلفة مرتفعة، فالقدرة المكافئة لكل كيلو جرام من المنظومة لا تتعدى بضع مئات من الواط .

لا يزال التقدم التكنولوجى يزيد من كفاءة الخلايا الشمسية، فقد أعلن العلماء فى سويسرا أنهم توصلوا لطريقة جيدة لصنع أغشية رقيقة من السليكون ترسب على شرائح رقيقة وذات كفاءة عالية، فهى تعطى ٣٢٠٠ واط لكل كيلو جرام، إلا أن وسائل التحكم وطرق التثبيت لا تزال موضع بحث .

أعلنت وكالة الفضاء اليابانية JAXA أنها تعزم إرسال قمر صناعى إلى الفضاء فى عام ٢٠١٠ يحمل مجموعة من مصنوفات الخلايا الشمسية ويرسل شعاعاً ميكرونياً قدرته ١٠٠ كيلواط. وفى عام ٢٠٢٠ تعزم إرسال منظومة شمسية إلى الفضاء ترسل ٢٥٠ ميغاواط إلى الأرض وستقوم ببيعها للدول الأخرى .

SOLAR CONCENTRATOR

A solar-thermal array consists of thousands of dish-shaped solar concentrators, each attached to a Stirling engine that converts heat to electricity. The mirrors in the concentrator are positioned to focus reflected sunlight on the Stirling engine's receiver.



شكل ١٠:

مجموعة من المجمعات الشمسية عبارة عن مرايا مقعرة على شكل أطباق متصلة بالآلات ستيرلنج الحرارية. تقوم المرايا بتركيز أشعة الشمس على تلك الآلات فيتمدد الغاز وهو المادة الشغالة بها، فيدفع مكسًا يدير توربين توليد الكهرباء . ويمكن مضاعفة عدد المرايا بحيث تركز الشمس على عدد كبير من تلك الآلات لتعطي الطاقة الكهربائية المطلوبة كما هو واضح من الشكل

استخدام الطاقة الشمسية الحرارية في تشغيل محطات توليد الكهرباء :

من الممكن استخدام الطاقة الشمسية الحرارية بواسطة مرايا مقعرة لتجميع أشعة الشمس في نقطة بهدف تسخينها، أو بواسطة المجمعات الشمسية المسطحة، وقد استخدمت الطاقة الحرارية للشمس منذ زمن طويل في أغراض تسخين المياه وتدفئة المنازل وتحمية المياه وغير ذلك، إلا أنه من الممكن استخدامها كذلك في توليد الكهرباء دون الحاجة إلى الخلايا الشمسية باهظة الثمن، وذلك باستخدام آلة رانكين الحرارية، وهي مكونة كما في الشكل التوضيحي (١١-أ). والكفاءة الترموديناميكية لهذه الآلة تعتمد على درجتي حرارة المستودع الساخن والمستودع البارد طبقاً لنظرية كارنو .

في أحد التصميمات شكل (١٠) تركز أشعة الشمس بواسطة المرايا المقعرة على آلة ستيرلنج الحرارية وهي آلة عالية الكفاءة بها غاز ينتقل بين مستودعين أحدهما ساخن والآخر بارد، فيضغط على بستن Piston، وهذا البستن يدير توربينة المولد الكهربائي .

في شكل (١١-ب) رسم تفصيلي لمكونات آلة رانكين تسخن بالطاقة الشمسية بواسطة مجموعة من المجمعات الشمسية المسطحة .

وعند استخدام المجمعات الشمسية المسطحة كمصدر للحرارة في آلة رانكين وجد أنه من الأفضل استخدام سوائل عضوية غير الماء كسائل شغال في الآلة، وشكل (١١-ب) يبين محطة لتوليد الكهرباء تعمل بالطاقة الشمسية المجموعة بالسخانات الشمسية وهي من صنع شركة آرثل ليتل Arthur D. Little Inc. USA وتتميز هذه الآلات بالآتي :

١ - كفاءة عالية تصل إلى ٦٠ ٪ من الكفاءة الترموديناميكية عندما تعمل في درجات حرارة منخفضة بين ٩٠ ، ٢٠٠ ° س .

٢ - يمكن استخدام مواد غير باهظة الثمن وتكنولوجيات غير معقدة في صنع هذه الآلات بما يتناسب وظروف الدول الفقيرة والتي تتوفر بها الطاقة الشمسية .

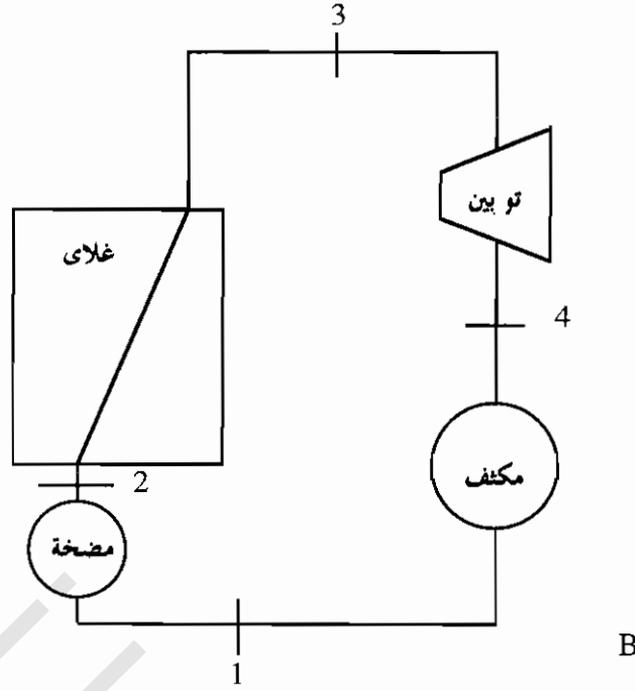
٣ - يمكن تطويع هذه الآلات لإنتاج قدرات مختلفة من الطاقة تمتد من بضعة كيلوات لتشغيل مضخات رفع المياه مثلاً إلى الميجاوات .

وكما هو واضح من شكل (١١-ب) تتكون هذه المحطة من الأجزاء الآتية :

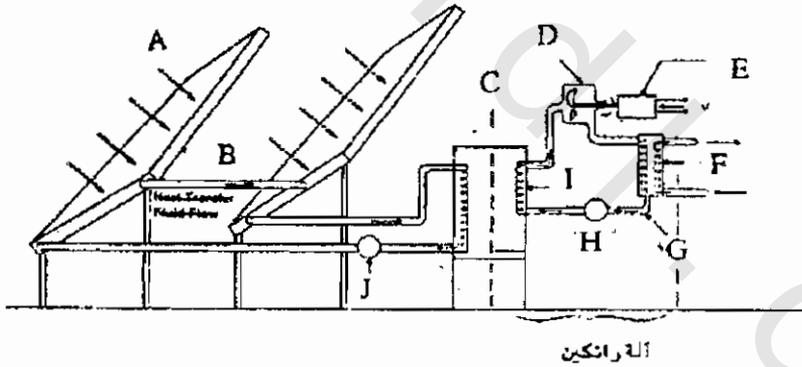
١ - سخانات شمسية مسطحة (A) . ٢ - غلاي أو مبادل حراري (C) .

٣ - توربين (D) . ٤ - مضخة (H) .

٥ - مكثف (F) .



شكل (١١-أ) آلة تعمل طبقاً لدورة رانكين



شكل (١١-ب) محطة لتوليد الكهرباء تعمل بالطاقة الشمسية (شركة آرثر - ليتيل)

A - مجموعة من المجمعات الشمسية المسطحة - B - أنابيب نقل السائل الشغال في المجمعات الشمسية - C - مبادل حرارى
 D - توربين - E - مولد كهرباء - F - مكثف - G - أنابيب نقل السائل الشغال - H - مضخة - I - مولد البخار - J -
 مضخة للسائل الشغال في المجمعات الشمسية

ولتشغيل آلة رانكين يستخدم الماء الساخن الآتى من المجمعات الشمسية وتتراوح درجة الحرارة التى يصل إليها الماء من 80°C إلى 200°C ويتوقف ذلك على طريقة تشغيل المجمعات الشمسية وعددها والفيض الشمسى الساقط عليها. وللحصول على درجات حرارة أعلى من 100°C يجب أن يصل ضغط بخار الماء من المجمع الشمسى إلى 16 كج/سم^2 .

فى المبادل الحرارى (C) يتم الانتقال الحرارى من الماء الساخن الآتى من السخان الشمسى إلى السائل العضوى الشغال فى آلة رانكين فيتحول إلى بخار مشبع. وقد وجد أن السوائل العضوية المستخدمة فى أجهزة التبريد مثل الفريون تصلح لهذا الغرض.

يقوم البخار المشبع للسائل العضوى وهو عند درجة حرارة مرتفعة وضغط مرتفع بإدارة التوربين (D) ثم يمر بعد ذلك خلال المكثف حيث يتم انتقال حرارى من السائل العضوى إلى ماء التبريد. يضغط السائل العضوى بعد ذلك بواسطة المضخة (H) إلى المبادل الحرارى ليبدأ الدورة من جديد.

٢-٢ طاقة الرياح :

قد استخدم الإنسان منذ القدم طاقة الرياح في تسيير المراكب الشراعية، وفي العصر الحديث أخذ الإنسان يستخدم هذا المصدر للطاقة الميكانيكية في توليد الكهرباء .

١٥, ٠ ٪ من الطاقة الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض تذهب في تحريك الهواء، والرياح تنشأ عن اختلاف كثافة الهواء بفعل الطاقة الشمسية، وقد استخدم الإنسان طاقة الرياح في تسيير المراكب الشراعية كما استخدمت طواحين الهواء في بلاد عديدة لطحن الغلال ورفع المياه .

وفي الوقت الحاضر ومع ارتفاع أسعار الطاقة بدأت العديد من الدول تضع برامج علمية للاستفادة من طاقة الرياح في الحصول على أجزاء من احتياجاتها من الطاقة .

تتكون الآلة التي تعمل بطاقة الرياح من مروحة تشبه مروحة الطائرة معلقة على حامل مرتفع، فعندما تصطدم بها الرياح تنتقل إليها الطاقة الحركية من جزئيات الهواء. فلو فرضنا أن الطاقة الحركية لجميع جزئيات الهواء التي تمر خلال المروحة تنتقل إليها، وبذلك فإن كل الطاقة الحركية للرياح تتحول إلى طاقة تدير ريش المروحة ومن ثم إلى طاقة كهربائية أو ميكانيكية. ومن قوانين الميكانيكا يمكن كتابة القدرة الميكانيكية التي تكتسبها المروحة من الرياح بالمعادلة الآتية :

$$P = \frac{\rho}{8} d D^2 V^3$$

حيث d كثافة الهواء وتساوى ١,٢٠١ كج/م^٣، D قطر المروحة، و V سرعة الرياح، P هي القدرة بالواط. ومن تلك المعادلة يتضح مدى أهمية سرعة الرياح على ما تعطيه المروحة من قدرة كهربائية حيث إنها مرفوعة للأس الثالث .

الطاقة المستغلة من الرياح تفوق بكثير الطاقة المستغلة من الشمس، وفي السنين الأخيرة يتزايد استغلال طاقة الرياح بمعدل ٢٥ ٪ سنوياً. والطاقة المتولدة من التوربينات التي تدار بطاقة الرياح على مستوى العالم قد وصلت إلى ٦٠ جيجاواط. في الفترة من ١٩٩٤ إلى ٢٠٠٥ ازداد إنتاج دول الاتحاد الأوربي من الطاقة الكهربائية من المحطات التي تعمل بطاقة الرياح من ١,٧ إلى ٤٠ جيجاواط. وتنتج ألمانيا وحدها طاقة كهربائية من المحطات التي تعمل بطاقة الرياح ما يقرب من ١٨ جيجاواط. والمناطق الشمالية من ألمانيا تنتج ٢٥ ٪ من الطاقة الكهربائية من محطات تعمل بطاقة الرياح، وبها ٢٤٠٠ توربين تعمل بالمراوح الهوائية. وأسبانيا تنتج ١٠ جيجاواط بواسطة التوربينات التي تعمل بطاقة الرياح، وتنتج الدنمارك ٣ جيجاواط، أما بريطانيا وشمال إيطاليا والبرتغال فكل منها ينتج حوالي جيجاواط واحد .

حساب قدرة مروحة تعمل بطاقة

الرياح :

في الولايات المتحدة حدثت طفرة كبيرة في استغلال طاقة الرياح لتوليد الكهرباء لتصل إلى ٩١٠٠ ميجاواط في عام ٢٠٠٥، وهو ما يعادل ٠,٥ ٪ من إجمالي إنتاج الطاقة الكهربائية. والفرصة لنمو استغلال طاقة الرياح كبيرة ولاسيما في المناطق التي تتميز بشدة الرياح مثل شمال داكوتا، فلو أن الولايات المتحدة استغلت كل طاقة الرياح المتاحة، وذلك بإنشاء العديد من حقول المراوح الهوائية التي تدير توربينات توليد الكهرباء فسوف تستطيع أن تضيف ١١ تريليون كيلوات ساعة وهو ما يعادل ثلاثة أمثال ما أنتجته الولايات المتحدة من طاقة كهربائية في عام ٢٠٠٥ .

وقد تمكنت المصانع من إنتاج توربينات تعمل بطاقة الرياح وتستطيع توليد طاقة كهربائية مقدارها من ٤ إلى ٦ ميجاواط للوحدة. وفي بعض المناطق تكون الطاقة الكهربائية الناتجة عن طاقة الرياح أرخص بكثير من الطاقة الكهربائية التي تنتجها محطات القوى التقليدية حيث يبلغ ثمن الكيلوات - ساعة من ٤ - ٧ سنتات .

إلا أن طاقة الرياح تقابل ببعض الاعتراض من قبل بعض الجماعات التي تعتبر أن حقول المراوح الهوائية تسيء إلى المنظر العام، كما تؤدي إلى حدوث ضجيج للسكان القريبين منها. ولكن يجب أن تقارن تلك الجماعات بين هذه الأضرار والأضرار الضخمة التي تنتج عن تشغيل محطات الكهرباء بالوقود الكربوني الذي يتصاعد منه أطنان من الغازات الكربونية الضارة بصحة الناس ويكوكب الأرض .

استغلال الطاقة الميكانيكية من مساقط المياه في توليد الطاقة الكهربائية المائية :

مصدر الطاقة الميكانيكية في المياه المتدفقة هي الشمس، فقد سبق أن ذكرنا أن ٢٣ ٪ من الطاقة الشمسية التي تصل الأرض تسقط على سطح الأرض والأنهار والمحيطات فيتبخر الماء منها ويتصاعد بخار الماء مع الهواء إلى طبقات الجو العليا فيبرد ويكون السحب التي تسير مع الهواء إلى مناطق بعيدة، وإذا ما قابلت سفوح الجبال فإنها تبرد وتتحوّل ثانياً إلى ماء أو برد يهطل فوق هذه الجبال، ومنها يندفع إلى أسفل بسرعة كبيرة فيكون المجارى المائية والأنهار. جزء آخر من الأمطار يتجمع فوق الجبال في بحيرات كبيرة، حتى إذا ما امتلأت فاض منها الماء هابطاً إلى أسفل مكوناً المساقط المائية .

ولكى يمكن استغلال طاقة الوضع المكتسبة في كميات الماء الهائلة المخزونة في هذه البحيرات توضع بوابات عند مخارج هذه البحيرات بحيث يمكن عن طريقها التحكم في معدل سقوط الماء .

وطاقة الوضع تساوى وزن الماء المخزون في البحيرة مضروباً في ارتفاع البحيرة عند النقطة التي سنستغل عندها هذه الطاقة. ووزن الماء هو حاصل ضرب كتلة الماء في عجلة الجاذبية .

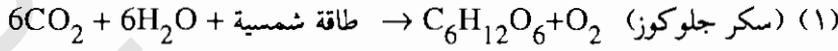
$$\text{أى أن طاقة الوضع} = \text{كتلة الماء} \times \text{عجلة الجاذبية} \times \text{الارتفاع}$$

وعند اندفاع الماء المخزون في البحيرة إلى أسفل تتحول طاقة الوضع إلى طاقة حركة، فإذا ما سقطت على توربين متصل بمولد كهرباء فإن طاقة الحركة هذه تتحول إلى طاقة ميكانيكية تدير التوربين وتولد الكهرباء، وكفاءة توليد الطاقة الكهربائية من المساقط المائية تصل إلى ٨٥ ٪ فهي أعلى من كفاءة توليد الكهرباء بواسطة المحطات الحرارية أو بواسطة الخلايا الشمسية .

مميزات استخدام محطات توليد الكهرباء الهيدروولوجية :

- ١ - لا تحدث تلوثاً للبيئة .
- ٢ - رأس المال المنفق يتمثل في بناء السد أو الخزان، وهذا يفيد في تنظيم الري ويبقى البلاد شر الفيضانات أو السيول. كل ذلك إلى جانب توليد الكهرباء .
- ٣ - كفاءة توليد الكهرباء من الطاقة المائية عالية وتصل إلى ٨٥ ٪ بينما كفاءة توليد الكهرباء من المحطات الحرارية لا يتعدى ٤٠ ٪ ومن الخلايا الشمسية ١٥ ٪.
- ٤ - لا تحتاج إلى تكاليف عالية للصيانة، كما أن التوربينات المائية سهلة التركيب والتشغيل ويمكن إيقافها وتشغيلها في أى وقت، وبذلك يمكن استخدامها في التحكم في الطاقة الكهربائية ولاسيما في ساعات الذروة. أما المحطات الحرارية فلا يمكن إيقافها كلية؛ لأن محطات توليد البخار سوف تحتاج إلى وقت طويل لإعادة تسخينها للدرجة المطلوبة .

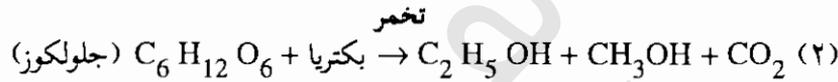
من المعروف أن ٠,٠٢ ٪ من الطاقة التى تصل إلى الأرض من الشمس تستخدم فى عمليات التمثيل الضوئى التى تقوم بها النباتات، وعملية التمثيل الضوئى هى عملية كيميائية إندوثرمية تقوم فيها النباتات بتخليق جزئيات المركبات السكرية من اتحاد ثانى أكسيد الكربون الموجود فى الجو والماء وذلك فى وجود ضوء الشمس. ويتم التفاعل طبقاً للمعادلة :



ويخزن الجلوكوز المتكون على شكل مركبات كربوهيدراتية مثل النشا والسليولوز والسكر فى أجزاء مختلفة من النبات .

وقد بدأ العلماء يفكرون فى استغلال الطاقة الكيميائية المخزونة فى هذه المركبات بتحويلها إلى وقود سائل وغازى يمكن استخدامه فى محركات الاحتراق الداخلى بدلاً من المركبات البترولية مثل الجازولين والسولار .

فالجلوكوز إذا أضيفت إليه بعض أنواع الخمائر وترك فى معزل عن الهواء فإنه يتحول إلى كحول إيثيلى وميثيلى يمكن استخدامه كوقود جيد للسيارات وذلك طبقاً للمعادلة :



وجميع التكنولوجيات الخاصة بعمليات التخمير وفصل المركبات الكحولية بالتقطير معروفة جيداً، حيث إنها تستخدم منذ زمن طويل فى تحضير الكحول من مولاس قصب السكر ومن النشا والبطاطس والشعير وغير ذلك .

هناك أنواع عديدة من الوقود السائل الذى يمكن الحصول عليه من الكتلة الحيوية بالطرق الميكروبيولوجية مثل الأيثانول والأسيتون والبيوتانول والميثانول، وقد صنعت كل هذه الأنواع بهذه الطريقة أثناء الحرب العالمية الثانية حينما كانت الحاجة ماسة إلى الوقود السائل. أما فى الوقت الحالى فهذه السوائل تحضر من البتروكيمياويات باستثناء الأيثانول الذى لا يزال يصنع من تخمير المولاس الناتج عن استخراج السكر من القصب ومن النشويات ولاسيما الذرة .

وفى الطرق الصناعية لتحضير السوائل السابقة الذكر بالطرق الميكروبيولوجية تستخدم أجهزة تخمير سعتها من ٢٠٠ إلى ١٥٠٠ م^٣ وأثناء عملية التخمير يجب أن يظل الوسط معقماً لمنع أى كائنات حية غير مرغوب فيها من التدخل فى عملية التخمير مما قد ينتج عنه تكون مركبات غنى مطلوبة .

وفى أجهزة التخمير تقوم الميكروبات بدور المنشط الحيوى Biocatalyst لتحويل الكتل الحيوية فى معزل عن أكسوجين الهواء إلى المركبات المطلوبة .

التكنولوجيات المستخدمة للحصول على الوقود السائل من الكتلة الحيوية :

وأثناء هذا التحول الكيماوى ترتفع درجة الحرارة، لذلك يجب أن يبرد المحلول، كما يجب أن يقلب باستمرار لتسهيل انتشار ميكروبات التخمر فى المحلول المحتوى على البيوماس وضمان تجانسه، وتستغرق هذه العمليات من ٤٠-٦٠ ساعة. ونواتج التخمر الأساسية هى الأيثانول والبيوتانول والأسيتون، وهذه المركبات يمكن فصلها من المحلول بواسطة التقطير. إلى جانب الحصول على هذه المخروقات السائلة يمكن الحصول كذلك على غاز ثانى أكسيد الكربون الناتج عن عملية التخمر، ويمكن الاستفادة منه فى تصنيع ثانى أكسيد الكربون الجاف الذى يستخدم بكثرة فى التبريد. كما ينتج كذلك غاز الهيدروجين الذى يمكن الاستفادة منه كمصدر للطاقة .

أما مخلفات عملية التقطير فهى تتكون من مركبات عضوية غير متطايرة وأملاح غير عضوية ويمكن الاستفادة منها كعلف حيوانى أو كسماد .

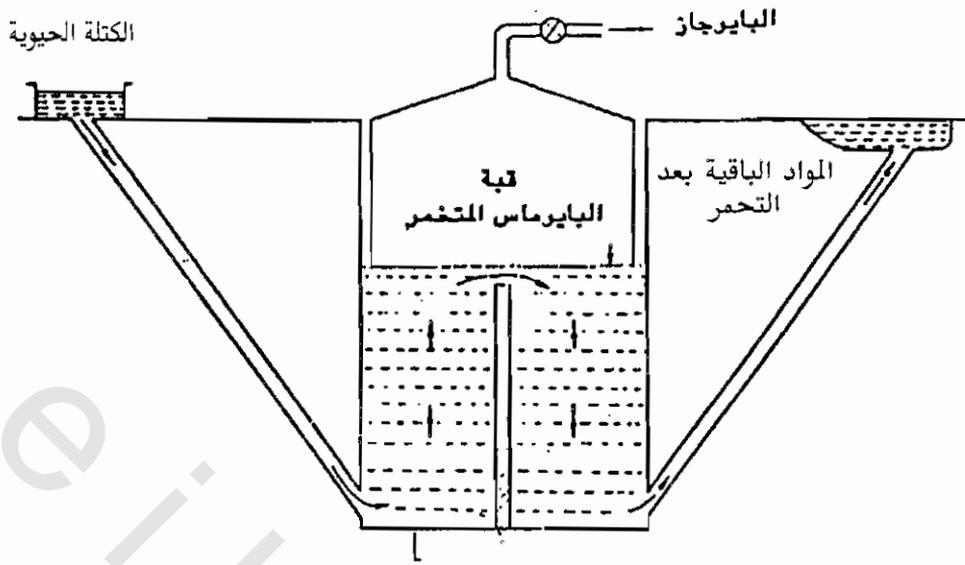
ومن أهم المواد الخام التى يمكن استخدامها للحصول على السوائل السابقة الذرة والمولاس والسليلوز والبطاطس والفواكه غير الصالحة، للأكل والشعير والحنطة والكسافا والنشا .

وتكنولوجيات التخمر تحتاج إلى مصانع ومتخصصين للتحكم فيها والحصول على المقطرات المطلوبة، أى أنها ليست ممكنة فى المجتمعات الريفية .

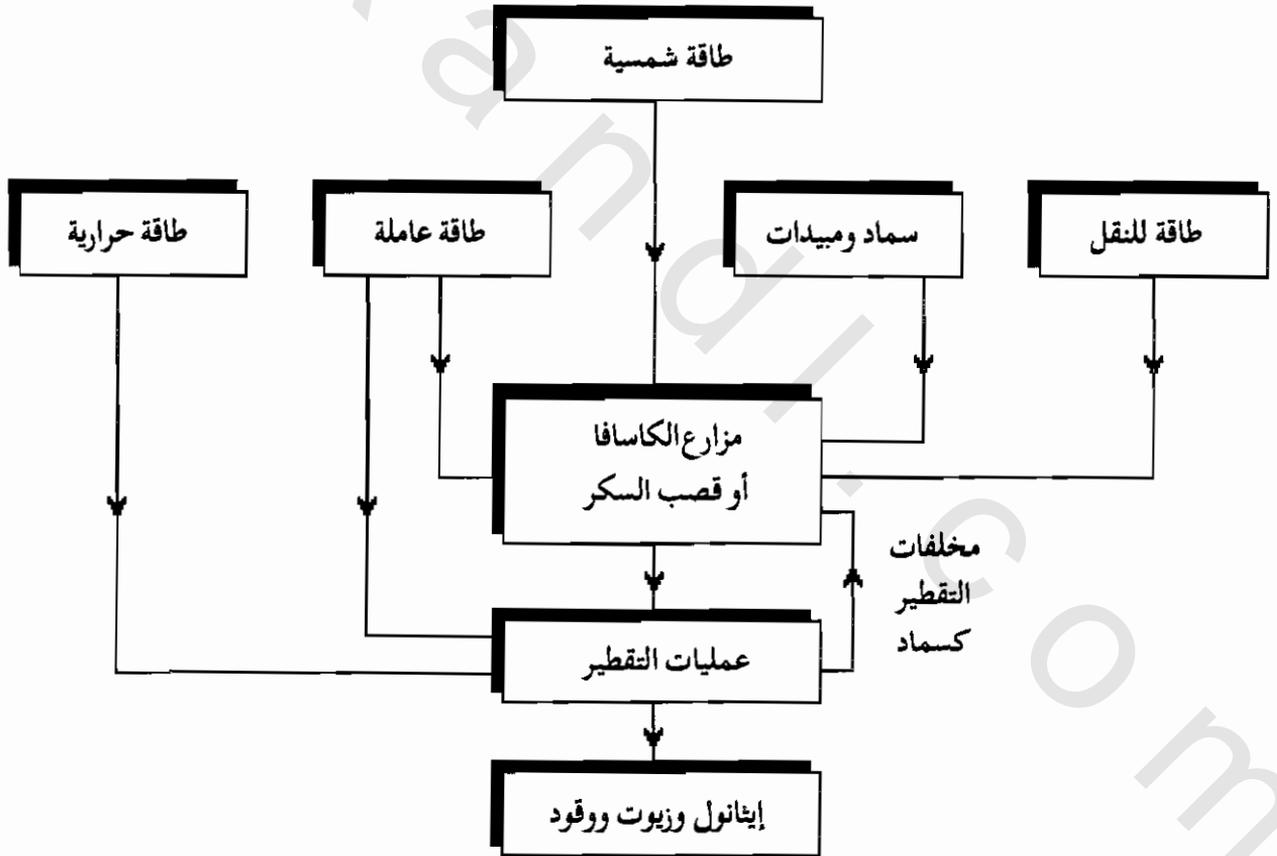
فى هذه الطريقة يمكن الحصول على البايوجاز، وهو خليط من غاز الميثان وغاز ثانى أكسيد الكربون بنسبة تتراوح بين ٤٥ ٪ ، ٧٠ ٪ وتتم باستخدام المخلفات الحيوانية أو النباتية وكذلك نواتج الصرف الصحى وتخمرها فى معزل عن الهواء. ويبين الرسم توضيحاً لطريقة عمل محطة للحصول على البايوجاز، وهى تتكون من أسطوانة كبيرة تحتوى على المخلفات العضوية الرطبة ويطفو فوقها قبة يتجمع تحتها البايوجاز وتتم تغذية المحطة بالبايوماس من جانب وتسحب نواتج بواقى التخمر من الجانب الآخر، وهذه النواتج يمكن استخدامها كسماد جيد لأنها تحتوى على أملاح هامة مثل البوتاسيوم والفوسفور، ويصل قطر أسطوانة التخمر Digester حوالى ٥م وعمقها من ٣ إلى ٦م، والحائط الموجود فى منتصف الأسطوانة يقوم بتوجيه حركة البايوماس الداخلى إلى أسطوانة التخمر شكل (١٢) .

وتتم عملية تحلل البايوماس بفعل البكتريا على مرحلتين، فى المرحلة الأولى تتكون مجموعة من الأحماض البسيطة بفعل نوع معين من البكتريا، وفى المرحلة الثانية تتحول هذه الأحماض البسيطة بفعل نوع آخر من البكتريا إلى غاز الميثان وثانى أكسيد الكربون .

**طريقة للحصول على البايوجاز من
الكتل الحيوية والمخلفات الزراعية
والحيوانية :**



شكل (١٢) طريقة عمل محطة للحصول على البايوجاز



شكل (١٣) رسم توضيحي للتقييم الاقتصادي لاستغلال الطاقة من عمليات التمثيل الضوئي

والقيمة الحرارية للبايوجاز تصل من ١٦٠٠٠ إلى ٢٥٠٠٠ كيلو جول/م^٣ ، وهو وقود جيد للأغراض المنزلية مثل الطهي والإنارة .

وتعتمد بعض الدول مثل الهند على إنتاج البايوجاز ولا سيما فى الأماكن الريفية التى تتوفر فيها قطعان الماشية والأغنام ولديها ما يقرب من ٨٠٠٠٠ محطة تنتج كل منها ما يقرب من ١٠٠ م^٣ فى اليوم، أى أنها تنتج ما يقرب من ٣ بليون متر مكعب من الغاز فى العام وهو ما يعادل ٢ مليون طن من البترول .

يعتبر الإيثانول أهم أنواع الوقود الحيوى لتسيير السيارات، وهو يصنع غالباً من الذرة. ومصانع الإيثانول أنتجت فى الولايات المتحدة ١٦ بليون لتر فى عام ٢٠٠٥، وهو ما يعادل ٣ ٪ من حجم وقود السيارات فى ذلك العام، وينتظر أن يتزايد الإنتاج ليصل إلى ٥٠ ٪ من وقود السيارات عام ٢٠٠٧، أما بالنسبة لأثر الإيثانول عندما يحترق على نسبة ثانى أكسيد الكربون فى الجو فلن يزيد ذلك من كميته، لأن ما يتصاعد من ثانى أكسيد الكربون عند احتراقه يساوى ما سبق أن امتصه النبات من الجو أثناء نمو الذرة أو النشويات الأخرى كما هو واضح من المعادلة الكيماوية (١).

لاستغلال الطاقة الناتجة عن التمثيل الضوئى على أسس اقتصادية سليمة يجب إجراء دراسة لمعرفة تكاليف عمليات الاستزراع والتسميد والتقطير وغير ذلك، ثم حساب كفاءة العملية وهى النسبة بين الطاقة الناتجة على شكل مركبات كيميائية مثل الإيثانول وزيتوقود إلى الطاقة المستهلكة فى العمليات السابق ذكرها، ويبين الشكل التخطيطى شكل (١٣) عمليات حركة الطاقة بين العمليات المختلفة لاستزراع وتخمير الكاسافا، وهو نبات ينتج درنات غنية بالمواد الكربوهيدراتية التى تصلح للتخمير وتصنيع الكحول وغيره من أنواع الوقود السائل، ويمكن زراعته فى المناطق الصحراوية ويتميز بإنتاجية عالية، وقد نجحت زراعته فى البرازيل، ويمكن تجربة زراعته فى الصحارى المصرية كمصدر للوقود .

وقد أجريت دراسات جدوى على الكاسافا وقصب السكر كمصدرين للطاقة ويبين جدول (١) نتائج هذه الدراسة التى أجريت فى البرازيل .

**أثر استخدام الطاقة من الوقود
الحيوى على المناخ :**

**التقييم الاقتصادى لاستغلال
الطاقة من عمليات التمثيل
الضوئى :**

جدول (١)

الكفاءة %	الإجمالي	الطاقة المستهلكة (كيلو كالورى × ١٠ ^٦)			الطاقة الناتجة	النبات
		فى النقل	فى التقطير	فى الزراعة		
		كيلو كالورى × ١٠ ^٦				
٨٠	٠,٧	٠,٢٦	٠,٠١٧	٠,٤٢	٥,٥٩	قصب السكر
٩٠	٠,٦٢	٠,٢٧	٠,٠٤٥	٠,٣٠	٥,٥٩	الكاسافا

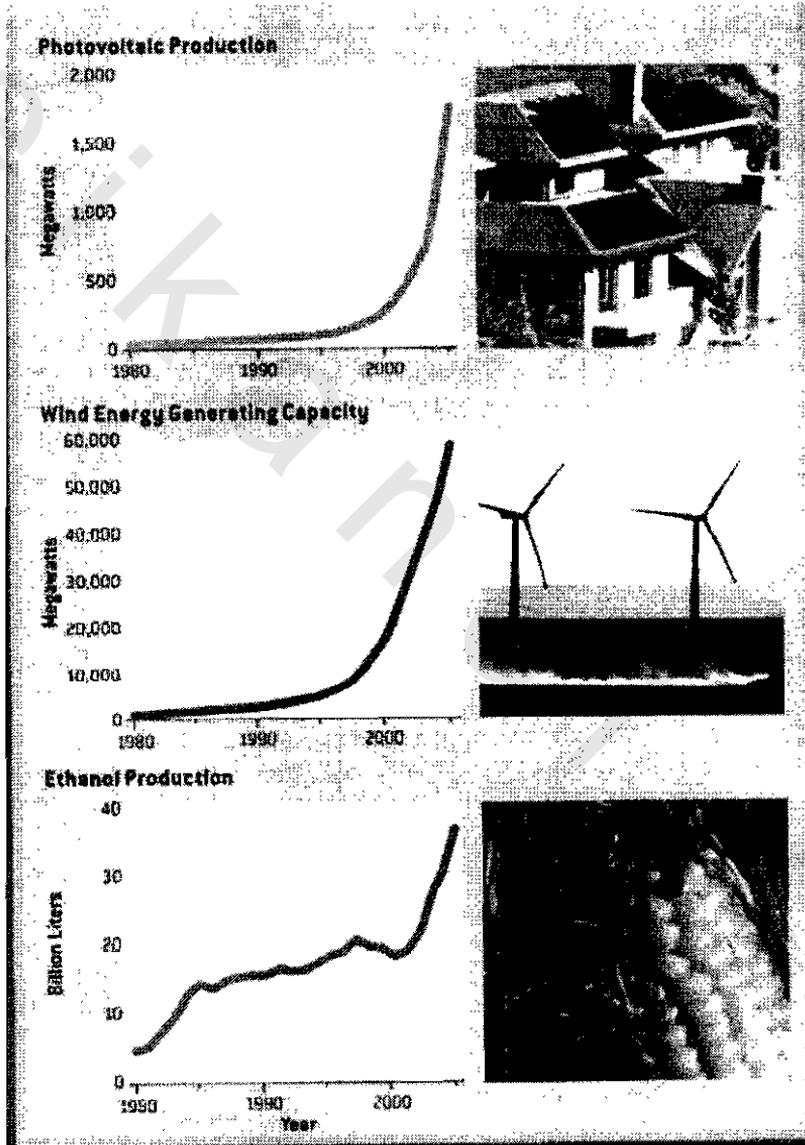
ويتضح من هذا الجدول أن الكفاءة عالية ولذلك ينصح المختصون بزراعة مثل هذه النباتات وكذلك الغابات على مساحات كبيرة كمصدر للطاقة .

يبين شكل (١٤ ب) أن الإنفاق على بحوث التنمية فى مجال الطاقة المتجددة قد انخفض عما كان عليه عام ١٩٨٠ . وتبين الأنشطة فى براءات الاختراع أن خفض الإنفاق قد أحدث تباطؤاً شديداً فى بحوث التنمية فى مجالات الطاقة المتجددة، وتبين المنحنيات (٢ ، ٣) أن الهبوط فى التمويل وأكبه هبوط فى عدد براءات الاختراع فى مجالى طاقة الرياح والطاقة الضوئية الشمسية .

**الإنفاق الحكومى والقطاع الخاص
فى الولايات المتحدة على بحوث
التنمية فى قطاع الطاقة المتجددة :**

التقدم في استخدام الطاقات المتجددة على مستوى أوروبا والولايات المتحدة :

بعد عام ٢٠٠٠ تزايد استغلال الطاقة المتجددة بشكل غير مسبوق، فقد تزايدت الطاقة المتولدة من الخلايا الفوتوفلطية، أى الخلايا الشمسية، بنسبة ٤٥ ٪ فى عام ٢٠٠٥. أما الطاقة المتولدة من الريح فقد تضاعفت ١٠ مرات خلال العقد الماضى على مستوى العالم. والإيثانول أهم منتج فى الوقود الحيوى فقد وصل إنتاجه على مستوى العالم ٣٦,٥ بليون لتر فى عام ٢٠٠٤. كما هو مبين فى شكل (١٤-أ).

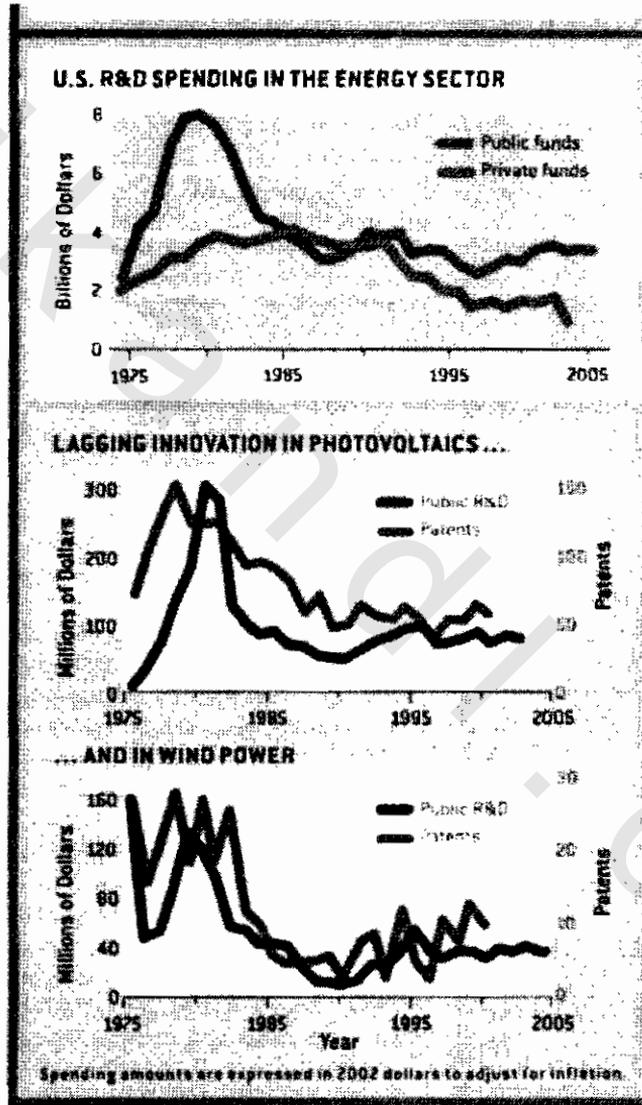


شكل (١٤-أ)

بحوث التطوير في مجال الطاقة (شكل ١٤-ب).

في الولايات المتحدة هبطت بحوث التطوير والتنمية في مجال الطاقة بعد عام ١٩٨٠ كما هو واضح من منحى رقم (١) فنتج عن ذلك :

تناقص بحوث التنمية والابتكار في مجال الخلايا الفوتوفلوية وقلت تبعاً لذلك براءات الاختراع في هذا المجال كما هو واضح من منحى (٢). وبين منحى (٣) هبوط التمويل في مجال بحوث طاقة الريح، وتبع ذلك هبوط براءات الاختراع المسجلة في هذا المجال .



شكل (١٤-ب)

٣ - استغلال الفحم كمصدر للطاقة دون السماح لتصادد الغازات الكربونية إلى الجو

الفحم مصدر هام من مصادر الطاقة اعتمدت عليه الصناعة منذ بداية عصرها، فهو متوفر ورخيص الثمن، إلا أن الغازات الكربونية المتصاعدة إلى الجو عند احتراقه تمثل مشكلة ضخمة وضرراً بالغاً بكوكب الأرض الذي نعيش عليه .

ولذلك فإذا أردنا استغلاله مستقبلاً فلا بد من إيجاد وسيلة ناجحة لمنع وصول الغازات الكربونية المتصاعدة عند احتراقه إلى الجو. فلو استمر استخدام الفحم كما استخدم منذ بدء الثورة الصناعية، فإنه بعد مضي ثلاثة عقود سيصل تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو ضعف تركيزه عند قيام الثورة الصناعية، وهو ما يمثل خطراً جسيماً على مستقبل الأرض، ليس هذا فحسب بل سيزر أيضاً بصحة الإنسان بسبب ما يتصاعد مع ثاني أكسيد الكربون من أكاسيد الكبريت والمواد السامة الأخرى الموجودة مع الفحم؛ ولذلك فسوف نتناول فيما يلي الطرق اللازمة لتابعها عند استخدام الفحم حتى لا يؤثر على البيئة وعلى صحة الإنسان :

تقدير احتياطي الفحم في العالم:

من الممكن تقدير كمية الفحم الموجود على الأرض، فهو يوجد في تكوينات تكون في مجموعها شريطاً يحيط بالكرة الأرضية. ومن دراسة التكوين الجيولوجي أمكن تحديد احتياطي العالم من الفحم، ووجد أنه يصل إلى $6,6 \times 10^{10}$ طن متري. فلو فرضنا أن معدل استخراجه يبلغ 2×10^9 طن متري في السنة فإن هذا الاحتياطي سيكفينا لمدة 3000 سنة، ولو فرضنا أن معدل الاستخراج سيتزايد مع الزمن ليصل إلى أربعة أضعاف ما هو عليه حالياً فإن هذا الاحتياطي سيكفي لمدة تصل إلى 750 سنة .

الطرق الجيولوجية للتخلص من الغازات الكربونية :

الطرق التي تمنع وصول الغازات الكربونية إلى الجو تعتمد على جمع وتخزين ثاني أكسيد الكربون CO₂ Capture and Storage وتسمى اختصاراً (CCS) بعد ذلك يتم نقله إلى مواقع التخزين على أعماق سحيقة تحت سطح الأرض ولاسيما في المناطق ذات الصخور المسامية مثل آبار البترول الناضبة أو في أعماق البحار. وطرق جمع ثاني أكسيد الكربون معروفة لدى عدد كبير من المصانع ولاسيما في مصانع الكيماويات، ومحطات تنقية الغاز الطبيعي من غازي ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين. والتخلص من الغازات الكربونية أمر في غاية الأهمية لضمان ثبات كميته في الجو بما لا يتعدى 450 جزءاً في المليون بالحجم (PPMV) حتى يمكن تلافي التغيرات المناخية الضارة بالكرة الأرضية. ويجب على محطات توليد الكهرباء والمصانع المستخدمة للفحم أن تسارع في تنفيذ برامج لجمع الغازات الكربونية ومنع وصولها للجو.

وقد قدرت اللجنة الدولية للتغيرات المناخية Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) القدرة الاستيعابية للخزانات الجيولوجية بما مقداره

٢ ترليون طن متري من غاز ثاني أكسيد الكربون، وهو يزيد عما ستنتجه جميع الدول خلال القرن الواحد وعشرين. إلا أنه من الضروري دراسة مدى قدرة هذه الخزانات الجوفية على الحفاظ على الغازات الكربونية دون التسرب السريع أو البطيء، فالتسرب السريع للغازات الكربونية خطير جداً بالبيئة المجاورة للخزان الجوفى وقد يصيب الآلاف من سكان تلك المناطق بالاختناق، لذلك يجب اختيار خزانات درجة مساميتها عالية جداً وعلى عمق كبير. أما التسرب البطيء فقد ينتج عنه خروج الغازات الكربونية ببطء شديد إلى الجو مرة أخرى، وخلال ١٠٠ سنة يكون الغلاف الجوى قد ازداد فيه تركيز الغازات الكربونية بشكل خطير .

الفحم وإن كان سعره منخفضاً فى الأسواق إلا أن تكلفه استخراجة ومعالجته واستخدامه بشكل لا يلوث الهواء ولا يضر بالصحة العامة تجعله مرتفع الثمن. فالغازات الناتجة عن حرق الفحم تحتوى على أكاسيد سامة وأكاسيد حامضية مثل ثاني أكسيد الكبريت إلى جانب غازات الصوبة مثل ثاني أكسيد الكربون الذى يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الأرض. إذن لابد من منع تلك الغازات من الانتشار فى الهواء الجوى وجمعها من أماكن حرق الفحم مباشرة .

هناك طريقتان لعمل ذلك، فى الطريقة الأولى وتسمى جمع وخزن غاز ثاني أكسيد الكربون وتسمى اختصاراً (CCS) أى Carbon Capture and Storage. فى هذه الطريقة يحرق الفحم فى محطات توليد الكهرباء التقليدية لتسخين الماء لدرجة الغليان ويستخدم البخار الناتج عن الغليان فى إدارة التوربينات التى تتحول طاقتها إلى طاقة كهربائية عن طريق مولدات الكهرباء .

فى المحطات الحديثة، الغازات الناتجة عن حرق الفحم والتى تتكون من ثاني أكسيد الكربون والنيتروجين الآتى من الهواء الجوى وبعض أكاسيد الكبريت تمرر على جهاز خاص لفصل أكاسيد النيتروجين والتى تمثل ٨٠ ٪ من حجم الغازات المتصاعدة، كما يتم أيضاً امتصاص الأكاسيد الضارة بصحة الإنسان، يعود النيتروجين إلى الجو مرة أخرى، أما ثاني أكسيد الكربون فيجمع فى أسطوانات تحت ضغط مرتفع لينقل إلى أماكن تخزينه فى جوف الأرض كما سبق أن ذكرنا أو فى أعماق البحار. ومن مميزات هذه الطريقة أن النيتروجين الذى يمثل ٨٠ ٪ من الغازات الناتجة عن الاحتراق يتم التخلص منه بإعادته للجو ولا يجمع غير ثاني أكسيد الكربون، وفى ذلك توفير للطاقة اللازمة لجمعه وضغطه فى الأسطوانات .

عملية تحويل الفحم إلى غاز Cool Gas هى عملية قديمة كانت تستخدم فى الماضى لتوليد الغاز اللازم للإتارة والتسخين فى المدن الكبرى، وقد توقفت هذه

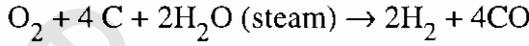
**التكنولوجيات الحديثة للتخلص من
ثاني أكسيد الكربون ومنع وصوله
للجو:**

**كيف يتم جمع غازات احتراق
الفحم:**

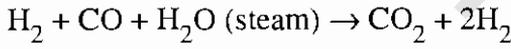
عمليات تحويل الفحم إلى غاز:

الصناعة بعد اكتشاف الآبار الضخمة للغاز الطبيعي في أعقاب الحرب العالمية الثانية وإنشاء شبكات من الأنابيب تغذى المدن بالغاز الطبيعي .

في الوقت الحالى بدأ استخدام طريقة مشابهة تسمى الدورة المشتركة للغاز والبخار ويرمز لها (IGCC) Integrated Gasification Combined Cycle . فى هذه الطريقة لا يتم حرق الفحم، بل أكسدته جزئياً بجعله يتفاعل مع قدر محدود من الأوكسجين عن طريق جهاز لفصل الأوكسجين من الهواء الجوى ويخلط مع بخار الماء تحت ضغط مرتفع فى جهاز لتحويل هذا الخليط إلى غازات Gasifier طبقاً للمعادلة الكيميائية :



ويسمى هذا الخليط الغازى Syngas سنجاز، أى الغاز الصناعى Synthetic Gas وهو يتكون من غازى أول أكسد الكربون والهيدروجين. يستخدم السنجاز فى إدارة التوربينات التى تعمل بالغاز التى تعمل بالبخار ولذلك تسمى هذه الدورة بالدورة المشتركة Integrated Gasification Combined Cycle وتختصر (IGCC) ويمكن فى تلك الدورة أن يتم جمع ثانى أكسيد الكربون وفى هذه الحالة يرد السنجاز فى جهاز التحضير الذى سبق ذكره شكل (١٥) ثم تفصل منه الجسيمات الصلبة. بعد ذلك يتفاعل مع بخار الماء شكل (١٥) لينتج غازى ثانى أكسيد الكربون والهيدروجين طبقاً للمعادلة الكيميائية :



يفصل غاز ثانى أكسيد الكربون ويحفظ فى أسطوانات تحت ضغط مرتفع، أما الهيدروجين فيستفاد منه فى تشغيل خلايا الوقود أو كمصدر للطاقة الحرارية. وطريقة IGCC تعتبر إحدى الطرق للحصول على غاز الهيدروجين من الفحم. وفى طريقة IGCC تستخدم الغازات الناتجة فى التفاعل الكيماوى السابق مع بخار الماء تحت درجة حرارة مرتفعة لإدارة التوربينات لتوليد الكهرباء .

وهناك دراسات عديدة أجريت لتحديد أى من الطرق التى سبق ذكرها وهى CCS و IGCC الأفضل والأرخص فى تشغيل محطات توليد الكهرباء .

واستخدام تكنولوجيات CCS و IGCC في محطات القوى التي تعمل بالفحم ستجعل الكيلواط المنتج من تلك المحطات يحتاج إلى كمية من الفحم أكبر بمقدار ٢٠ ٪ من المحطات التقليدية، كما أن سعر الكيلواط - ساعة سيرتفع كثيراً نتيجة لرأس المال المستثمر في تلك التكنولوجيات، مما يجعل محطات القوى النووية أو المحطات التي تعمل بالطاقة المتجددة أقل سعراً من المحطات التي تعمل بالفحم .

وقد أجريت دراسة على الزيادة المحتملة في سعر الكيلواط - ساعة الناتجة عن جمع وحفظ ثاني أكسيد الكربون بطريقة CCS ونقله إلى أماكن تخزينه فوجدت أنها في حدود ١,٩ سنت تضاف إلى سعر الكيلواط - ساعة الناتج عن حرق الفحم مباشرة في محطات القوى التقليدية والذي يبلغ ٤,٧ سنتات فيكون السعر الكلي للكيلواط - ساعة ٦,٦ سنتات وهو ما يعادل سعر الكيلواط - ساعة من المحطات النووية .

ولذلك فإنه من المفيد أن تبدأ المحطات التي سيتم بناؤها في المستقبل القريب لتعمل بالفحم أن تصمم الوسائل اللازمة لتكنولوجيات جمع ونقل الغازات الكربونية بطريقة CCS أو بطريقة IGCC، ومن المفضل أن تساعد الحكومات بمنح بعض الحوافز التي تشجع أصحاب محطات الكهرباء على استخدام تكنولوجيات CCS .

يعتبر الفحم من أكثر مصادر الطاقة ضرراً بالبيئة وبإنسان، وعلى الرغم من تجميع الغازات الناتجة عن حرقه وحفظها في باطن الأرض أو في أعماق البحار إلا أن استخراجها واستخدامه يسبب أضراراً نذكر منها ما يلي :

١ - عمال استخراج الفحم من المناجم هم أكثر عمال المناجم تعرضاً للخطر بسبب اشتعال الحرائق في المناجم أو الاختناق أو الانفجارات الناتجة عن الغازات الكربونية وسوء التهوية .

في الولايات المتحدة يموت سنوياً قرابة ٦٠٠٠ شخص بسبب تلك الحوادث وفي الصين يموت سنوياً ما بين ١٠٠٠٠ و ٢٠٠٠٠٠ عامل، كما يصاب بأمراض الرئة سنوياً ما يقرب من ٦٠٠,٠٠٠ عامل، ويطلق على هذا المرض اسم مرض الرئة السوداء .

٢ - التأثيرات المناخية والبيئية : عمليات نقل الفحم واستخراجه من المناجم القريبة من سطح الأرض تؤثر على طبيعة سطح الأرض Landscape وتلوث المياه، وهو ما يضر بالإنسان والبيئة الطبيعية ويؤثر على كل الكائنات الحية .

كما أن طرق التعدين الخاطئة تزيل مساحات كبيرة من الغابات وتحصد تعرية لسفوح الجبال وتلحق التربة، وتسبب الأنهار والجداول المائية. أما التعدين من

الاضرار البيئية الناتجة عن استخراج الفحم واستخدامه :

المناجم العميقة فلها أخطار كثيرة، فعندما ينهار المنجم يتأثر سطح الأرض في المناطق القريبة وتنهار المنازل والطرق وغير ذلك من المنشآت .

أما مياه الصرف من المناجم فغالباً ما تحتوى على نسبة عالية من الأحماض الكبريتية المتكونة من الكبريت المختلط بالفحم، وهذه المياه تختلط مع المياه الجوفية القريبة من سطح الأرض فتلوثها، ولاسيما أن بها نسبة عالية من الأملاح السامة للعناصر الثقيلة مثل الزئبق وينتج عنها هلاك كل أشكال الحياة على سطح الأرض في المناطق القريبة من تلك المناجم .

٣ - الانبعاثات السامة : ينبعث عن احتراق الفحم من محطات توليد الكهرباء ثشا أكاسيد الكبريت المتصاعدة إلى الجو و ١/٥ أكاسيد النيتروجين، وأكاسيد الكبريت تكون في الجو بعض أملاح الكبريتات التي تسبب الأمطار الحمضية، كما أن تواجد تلك الأملاح الحمضية في الهواء تؤدي إلى أمراض الرئة ويموت بسببها عدد غير قليل من الناس. كما أن لها آثاراً ضارة بالمباني الأثرية المبنية بالحجر الجيري .

أما أكاسيد النيتروجين فإنها تتفاعل مع المركبات العضوية الموجودة في الجو لتكون ضباباً يساعد على تكون الأوزون في الطبقات السفلى من الغلاف الجوى المحيط بالأرض .

والمحطات التي تعمل بالفحم في الولايات المتحدة تنفث في الجو ما يقرب من ٤٨ طناً مترياً من الزئبق في السنة، وهو عنصر سام جداً، ويدمر النظام البيئي بعد أن يتحول إلى ميثيل الزئبق Methyl Mercury ويدخل في أنسجة الأسماك وأوراق النباتات وثمارها. كما أن استنشاقه يؤثر على الرئة في الكائنات الحية كما يؤثر على الجهاز العصبي للأطفال ويتسبب في أورام المخ وتدمير الجهاز العصبي .

**الطرق المختلفة لإنقاذ بعض
مثلثات الاستقرار المبيئة في
شكل (١) :**

- ١ - رفع كفاءة السيارات وعددها ٢ بليون سيارة على مستوى العالم، بحيث تقصع ٦٠ ميل/جالون (mpg) بدلاً من ٣٠ ميل / جالون .
- ٢ - قيادة السيارة لمسافة ٥٠٠٠ ميل في السنة بدلاً من ١٠٠٠٠ ميل .
- ٣ - توفير استهلاك الكهرباء بالمنازل والمكاتب بنسبة ٢٥ ٪ .

(ولا: الاقتصاد في استهلاك الطاقة:

ثانياً: توليد الطاقة الكهربائية:

- ٤ - رفع كفاءة ١٦٠٠ محطة توليد كهرباء تعمل بالفحم بنسبة ٤٠ إلى ٦٠ % .
- ٥ - تحويل ١٤٠٠ محطة توليد كهرباء لتعمل بالغاز الطبيعي .
- ٦ - استخدام نظام CCS أى جمع وتخزين الغازات الكربونية فى ٨٠٠ محطة توليد كهرباء تعمل بالفحم .
- ٧ - استخدام نظام CCS فى محطات إنتاج الهيدروجين من الفحم لاستخدامه فى تسيير ١,٥ بليون سيارة .
- ٨ - استخدام نظام CCS فى محطات إنتاج السنجاز Syngas .
- ٩ - مضاعفة عدد المحطات النووية التى تعمل حالياً لتحل محل المحطات التى تعمل بالفحم .
- ١٠ - زيادة القدرة الكهربائية المولدة من طاقة الرياح ٤٠ مرة قدر المولدة حالياً لتحل محل محطات الطاقة التى تعمل بالفحم .
- ١١ - زيادة القدرة الكهربائية من الطاقة الشمسية ٧٠٠ مرة قدر المنتجة حالياً، لتحل محل الفحم .
- ١٢ - زيادة القدرة الكهربائية من طاقة الرياح ٨٠ مرة قدر المنتجة حالياً لإنتاج الهيدروجين بالتحليل الكهربى للماء .
- ١٣ - تشغيل ٢ بليون سيارة باستخدام الإيثانول، ويخصص سدس إنتاج العالم من الذرة لهذا الغرض .
- ١٤ - التوقف تماماً عن إزالة الغابات .

ثالثاً: جمع وتخزين الغازات الكربونية (CCS):

رابعاً: إنتاج طاقات بديلة:

come
ity.

HYDROGEN

