**السنة الاولى ماستر اقتصاد الطاقة الدكتورة : مسمش نجاة**

**المقياس : تحليل مصادر الطاقة**

**المحاضرة ■ مصادر الطاقة المتجددة**

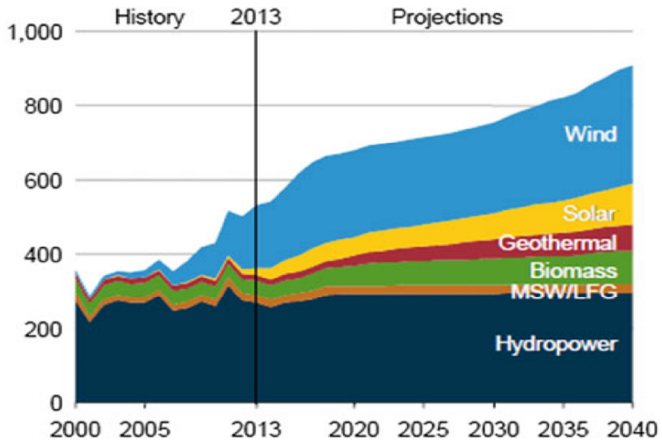
## مقدمة :

تأتي الطاقة المتجددة من موارد طبيعية خلقها الله ووهبها القدرة في أن تتجدد بشكل طبيعي. يوجد العديد من مصادر الطاقة المتجددة الرئيسية كالطاقة الكهرومائية، الطاقة الشمسية، الكتلة الحيوية، طاقة الرياح، الحرارة الجوفية (حرارة باطن الأرض)، طاقة المد والجزر والتسخين في المحيطات.

في جميع الأشكال المتعددة، تنتج الطاقة المتجددة مباشرة من الشمس، أو من الحرارة المتولدة في أعماق الأرض. يوضح الشكل 1 تاريخ وتوقعات مصادر الطاقة المتجددة المنتجة لتوليد الكهرباء في الولايات المتحدة (على سبيل المثال) بمليار كيلووات في الساعة. وكما نرى، فإن توليد الكهرباء من الطاقة المتجددة، مثل الكتلة الحيوية والرياح والطاقة الشمسية والطاقة الحرارية الأرضية والوقود الحيوي، ينمو باطراد. ويكمن السبب في الأزمات السياسية والاقتصادية بين الدول وارتفاع أسعار النفط والدعم الحكومي وازدياد التلوث البيئي في نضوب المصادر غير المتجددة وزيادة الحاجة إلى إنتاج الطاقة المتجددة وتسويقها. وبالتالي، تشير التقديرات، المبينة في الشكل 1، إلى زيادات حادة في استخدام مصادر الطاقة الشمسية وطاقة الرياح لإنتاج الكهرباء في الولايات المتحدة وفي جميع أنحاء العالم بشكل عام. تحل الطاقة المتجددة محل الوقود التقليدي في أربعة مجالات مهمة: مجال توليد الطاقة، الماء الساخن/تسخين المساحات، وقود النقل، وخدمات الطاقة الريفية (خارج

الشبكة) على النحو:

- ✓ يوفر توليد الطاقة المتجددة 18 ٪ من إجمالي توليد الكهرباء في جميع أنحاء العالم، حيث تنتشر مولدات الطاقة المتجددة في العديد من البلدان، وتوفر طاقة الرياح وحدها بالفعل نسبة كبيرة من الكهرباء في بعض المناطق.
- ✓ تساهم سخانات المياه الشمسية بجزء من احتياجات تسخين المياه لأكثر من 70 مليون أسرة في العديد من البلدان.
- ✓ يساهم الوقود الحيوي المتجدد في انخفاض استهلاك النفط في العديد من البلدان.




**الشكل .1: تاريخ ومسقاط توزيعات مصادر الطاقة المتجددة لتوليد الكهرباء في الولايات المتحدة بمليار كيلووات في الساعة. 2013 على المخطط يفيد تاريخ عمل هذه الدراسة.**

لا تزال بعض تقنيات الطاقة المتجددة الجديدة والناشئة قيد التطوير وتشمل تقنيات الإيثانول السيليولوز، والطاقة الحرارية الأرضية للصخور الساخنة الجافة، وطاقة المحيطات. ومن المتوقع قريبا أن تصبح الطاقة المتجددة أرخص على المدى الطويل، في حين أن الوقود الأحفوري يصبح أكثر تكلفة. وبالرغم أن تكنولوجيات الوقود الأحفوري أصبحت أكثر تطورا من ذي قبل، تتحسن تقنيات الطاقة المتجددة بسرعة لزيادة كفاءتها وخفض تكلفتها من خلال البحث العلمي وتطوير علوم المواد والهندسة. في المناطق الريفية والنائية، قد يكون نقل وتوزيع الطاقة المولدة من الوقود الأحفوري صعباً ومكلفاً؛ وبالتالي، فإن إنتاج الطاقة المتجددة محليا يمكن أن يوفر بديلاً مهما.

وقد شجعت الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA) اعتماد الطاقة المتجددة في جميع أنحاء العالم، وكان ذلك في عام 2010، حيث ضمت الوكالة 143 دولة. وقد صيغت أهداف لسياسة

الطاقة المتجددة في حوالي 73 بلدا حول العالم، وأصبحت السياسات العامة لتعزيز استخدام الطاقة المتجددة أكثر ممارسة وتوظيفا في السنوات الأخيرة، وسُنت القوانين لمزج الوقود الحيوي في وقود المركبات في 17 بلداً. ويتيح التحول بإعادة التدوير للمواد الأولية للمحصول الغذائي إلى نفايات المخلفات والأعشاب المحلية فرصا كبيرة للمزارعين والمستثمرين. لمزيد من التفاصيل، نلقى المزيد من الضوء على موارد الطاقة المتجددة في النص التالي.

تستمد الطاقة المائية من قوة أو طاقة الماء المتحرك واستخدامها في توليد الكهرباء. تأتي معظم الطاقة الكهرومائية من طاقة الوضع للمياه أمام السدود والتي تدير التوربينات المائية ومولدات الكهرباء. تعتمد الطاقة المستخرجة من الماء على حجم وعلى فرق الارتفاع بين المياه أمام السد وخلفه. يسمى اختلاف الارتفاع هذا الرأس (head). تتناسب كمية طاقة وضع الماء مع ارتفاع الرأس. لتوصيل الماء إلى التوربين مع الحفاظ على الضغط الناشئ عن الرأس يمكن استخدام أنبوب كبير يسمى البربخ (قناة ضبط جريان الماء). في عام 1878، كان أول منزل في العالم يضاء بالطاقة الكهرومائية في نورثمبرلاند بإنجلترا.

أحد المزايا الرئيسية للطاقة الكهرومائية هي استبعاد استخدام الوقود. ولأنه لا يوجد احتراق للوقود، فهناك القليل من التلوث البيئي مقارنة مع محطات الوقود الأحفوري وكذلك محدودية التلوث الحراري مقارنة بالمحطات النووية. تميل محطات توليد الطاقة الكهرومائية أيضاً إلى حياة اقتصادية أطول من توليد الطاقة باستخدام الوقود، حيث توجد بعض المصانع في الخدمة إلى الآن وقد بنيت منذ 50-100 سنة. كما أن تكلفة التشغيل تكون منخفضة في العادة، حيث أن المصانع تكون آلية وتحتاج إلى عدد قليل من العمال في الموقع أثناء التشغيل العادي. تحتاج المحطة الكهرومائية من 5-8 سنوات لتغطية تكاليف البناء والترميم مع كامل التشغيل.

عادة ما يشير توليد الطاقة الكهرومائية إلى السدود الكهرومائية المبنية على الأنهار والشلالات. تنتج أنظمة الطاقة الكهرومائية الصغيرة طاقة تصل إلى 100 كيلو واط. كما إن الأنظمة المائية الأخرى بدون السدود تستمد الطاقة الحركية من الأنهار والمحيطات. فالطاقة المتولدة في المحيط تشمل طاقة التيارات البحرية، وتحويل الطاقة الحرارية للمحيطات،

وطاقة المد والجز إلى كهرباء. وكمثال على الأنظمة المائية الناجحة يوجد السد العالي في أسوان في مصر، الشكل 2. وقد ساعد هذا السد كثيراً في التحكم على تدفق المياه والتخفيف من آثار فيضان النيل، ويستخدم لتوليد الكهرباء في مصر. وفي تقرير صدر عن الهيئة الدولية للسدود والشركات الكبري تم تقييم السد العالي في الصدارة في كافة المشروعات، حيث ذكر انه تجاوز ما عداه في المشروعات الهندسية المعمارية واختارته الهيئة الدولية كأعظم مشروع هندسي شيد في القرن العشرين، متقدما على كافة المشروعات العملاقة الأخرى مثل مطار "شك لاب كوك" في هونغ كونغ ونفق المانش الذي يربط بين بريطانيا وفرنسا. كما أكد التقرير الدولي على أن السد العالي تفوق على 122 مشروعات عملاقاً في العالم، لما حققه من فوائد عادت على الجنس البشري، حيث وفر لمصر رصيدها الاستراتيجي في المياه بعد أن كانت مياه النيل من أشهر الفيضانات تذهب سدىً في البحر المتوسط.

**الطاقة الشمسية:** تستمد الطاقة الشمسية من الشمس من خلال الإشعاع الشمسي. يعتمد توليد الطاقة الكهربائية بواسطة الطاقة الشمسية على الخلايا الكهروضوئية (photovoltaic) والمحركات الحرارية. وتشمل التطبيقات الشمسية الأخرى تدفئة وتبريد المساحات من خلال المباني الشمسية، واستخدام ضوء النهار في إضاءة المباني السكنية، وتسخين الماء بالطاقة الشمسية، والطهي بالطاقة الشمسية، وعمليات درجة الحرارة العالية للأغراض الصناعية. تتسم التقنيات الشمسية إما إنها طاقة شمسية سلبية (أو غير فعالة، passive) أو طاقة شمسية نشطة اعتمادًا على طريقة التقاط الطاقة الشمسية وتحويلها وتوزيعها:



**الشكل .2: سد أسوان العالي في مصر، والذي بني بين 1960 و 1970.**

- ✓ **تقنيات الطاقة الشمسية النشطة** تتضمن استخدام مجمعات حرارية شمسية لتجميع

وتسخير الطاقة. الشمس هي مصدر الحرارة ومجمعات الطاقة الشمسية تجمع الإشعاعات الشمسية. يفقد جزء من الطاقة الساقطة ويمتص الباقي بواسطة مائع ناقل للحرارة (سائل مجمع الطاقة الشمسية). وتتضمن بعض تقنيات الطاقة الشمسية النشطة حرارة العمليات الشمسية في المباني التجارية والصناعية، وتدفئة/تبريد المساحات، وتسخين المياه. يتضمن نظام تسخين الماء النموذجي مجمعات شمسية تعمل جنبا إلى جنب مع مضخة ومبادل حراري وخزان تخزين كبير أو أكثر. يسمى المجمع الأكثر شيوعا مجمع اللوحة المسطحة. يكون المجمع مثبت على سقف، ويتكون من صندوق رقيق مستوي ومستطيل الشكل مع غطاء شفاف يواجه الشمس ، تمر أنابيب صغيرة عبر الصندوق حاملة مائع نقل الحرارة والذي يكون بشكل رئيسي الماء أو الهواء المراد تسخينه. وترتبط الأنابيب بلوحة ماصة للحرارة، وتكون مطلية باللون الأسود لامتصاص الحرارة. يعمل تراكم الحرارة في المجمع، على تسخين المائع الذي يمر عبر الأنابيب. حينئذ يقوم الخزان بحفظ المائع الساخن. يمكن لهذا التصميم أن يكون مجرد سخان ماء معدل، لكنه عادة ما يكون أكبر حجماً ومعزول بشكل جيد. تقوم الأنظمة التي تستخدم سوائل أخرى غير الماء بتسخين المياه عادة عن طريق تمريرها عبر دائرة من الأنابيب في الخزان المملوء بالسائل الساخن.

- ✓ **الأنظمة الشمسية السلبية**: تعتمد هذه الأنظمة على الجاذبية وميل الماء إلى الدوران الطبيعي أثناء تسخينه. تقوم التقنيات الشمسية السلبية بتوجيه المباني نحو الشمس، واختيار مواد ذات كتلة حرارية (سعة حرارية) مفضلة أو خصائص تشتيت الضوء، وتصميم مساحات تعمل بشكل طبيعي على تدوير الهواء. يوضح الشكل 3 أنظمة المياه الساخنة الشمسية ومنزل يتميز بتصميم الطاقة الشمسية السلبي.




**الشكل .3: (أ) مجمعات الطاقة الشمسية ذات لوحة مسطحة بشكل نموذجي باتجاه الجنوب على سطح المبنى،**

**(ب) التصميم شمسي سلبي، بما في ذلك النوافذ الشفافة لإضاءة النهار وجدران تمتص الحرارة خلال النهار وتصدرها في الليل.**

## الكتلة والطاقة الحيوية

الكتلة الحيوية هي المادة العضوية المتكونة من بقايا النباتات والكائنات الدقيقة والحيوانات. وكما نعلم، تمتص النباتات طاقة الشمس في عملية التمثيل الضوئي وتخزن الطاقة ككتلة حيوية. لذلك، فإن الكتلة الحيوية هي مصدر للطاقة المتجددة يعتمد على دورة الكربون. تتضمن بعض أمثلة وقود الكتلة الحيوية الخشب والمحاصيل والطحالب. عند حرق هذه الأشياء تنطلق الطاقة الكيميائية من الكتلة الحيوية على شكل حرارة (انظر الشكل 4). يمكن تحويل الكتلة الحيوية إلى أنواع أخرى من الوقود الحيوي، مثل الإيثانول والديزل الحيوي. وتشمل الكتلة الحيوية التي تنتج الوقود الحيوي الذرة وفول الصويا وحشائش الصفصاف وبذور اللفت وبنجر السكر وزيت النخيل والذرة الرفيعة. كما يمكن استخدام الكتلة الحيوية السليولوزية من قش الذرة والخشب وقش الأرز في إنتاج الوقود الحيوي. كما أن الهضم اللاهوائي للكتلة الحيوية ينتج الغاز الحيوي، في حين تنتج عملية "التغويز" الغاز التركيبي، وهو خليط من الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون ليتم تحويله إلى وقود سائل. يمكن أيضا الحصول على الإيثانول السليولوزي عن طريق عملية حرارية كيميائية تستخدم توليفات مختلفة من درجات الحرارة والضغط والمياه والأكسجين أو الهواء ومحفزات لتحويل الكتلة الحيوية إلى إيثانول سليلوزي.



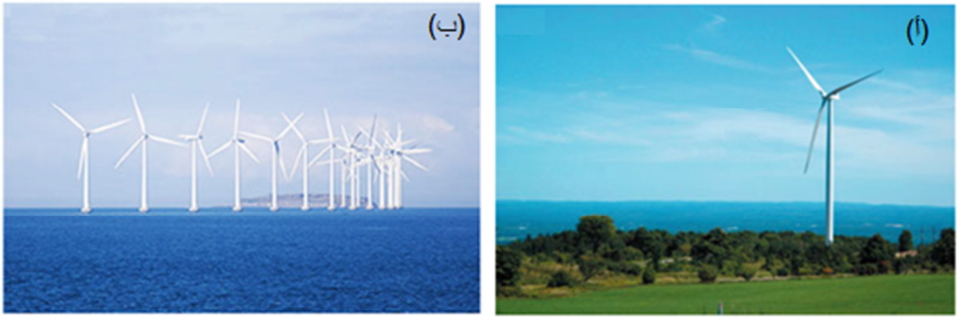
(أ) (ب) (ج)

**الشكل .4: (أ) التركيب الضوئي؛ في التمثيل الضوئي للنبات تتحول الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية في شكل الجلوكوز: ماء + ثاني أكسيد الكربون + أشعة الشمس ← الجلوكوز + الأوكسجين (ب) نمو الكتلة الحيوية في المزارع، (ج) تستخدم محطات الكتلة الحيوية مخلفات الخشب المستخرجة من العمليات الزراعية والصناعية.**

**دورة الكربون:** في دورة الكربون، ينتقل الكربون في أشكاله المختلفة بين المكونات المختلفة

للمحيط الحيوي للأرض، وبين الغلاف الجوي والغلاف المائي (البحار والمحيطات)، والقشرة الصخرية (الصخور والتربة والترسبات المعدنية، بما في ذلك الوقود الأحفوري)، والمواد البيولوجية بما في ذلك النباتات والحيوانات والكائنات الحية. تحافظ دورة الكربون على حالة من التوازن الحركي. ويمكن لأشكال أخرى، أبرزها الوقود الأحفوري، أن تخزن الكربون إلى أجل غير مسمى، ومع ذلك، وعند حرقه، ينطلق الكربون ويساهم كإضافة الى محصلة دورة الكربون ورفع إجمالي الكربون الحر. عند استخدام الكتلة الحيوية دون استبدال، على سبيل المثال في حالة إزالة الغابات دون التعويض بجديد، فإن هذا أيضا يمكن أن يؤدي إلى محصلة مضافة إلى دورة الكربون، وذلك لان النبات الأخضر يقوم بامتصاص الكربون المنطلق من الكتلة الحيوية المحصودة، فإن الاستخدام المستدام للكتلة الحيوية لا يقدم أي مساهمة صافية مباشرة.

**طاقة الرياح:** تعمل اشعة الشمس على تسخين الأرض على نحو غير متساوٍ ويؤدي تدرج الحرارة إلى نظام حمل حراري جوي عالمي يمتد من سطح الأرض إلى طبقة الستراتوسفير. يمكن إيجاد معظم الطاقة المخزونة في حركات الرياح هذه على ارتفاعات عالية حيث تحدث سرعات رياح مستمرة تزيد عن 160 كم / س (99 ميلاً في الساعة) لتقييم تردد سرعات الرياح في موقع معين، غالبا ما يتم استخدام دالة توزيع احتمال في تحليل البيانات المرصودة. تعتبر طاقة الرياح مصدرا خالصا للطاقة المتجددة، وهو بدون انبعاثات غازات الدفيئة، حيث تستخدم توربينات الرياح والتي تحول الطاقة الحركية للرياح (في إدارة توربين صغير الى كهرباء، الشكل 5. ونتيجة لصعوبة التنبؤ بالرياح يكون، هذا المصدر ظرفي ويصعب دمجه مع الشبكات للكهرباء المحلية. إن التوسع في بناء توربينات الرياح يعظم الاستفادة من الطاقة الهائلة المجانية للرياح ويجعل هذا المصدر أكثر جدوى اقتصادية.




**الشكل 5: أمثلة لموارد طاقة الرياح (أ) توربينات الرياح حيث كل توربين رياح يولد طاقه تبلغ 1.65 ميجاواط**

**من الكهرباء تكفي لتشغيل حوالي 500 منزل؛ (ب) مزارع الرياح البحرية.**

**الطاقة الحرارية الأرضية** هي الحرارة الناشئة عن التكوين الأصلي لكوكب الأرض، أو من الاضمحلال الإشعاعي للمعادن، أو من النشاط البركاني، وأيضا من الطاقة الشمسية الممتصة على السطح. إن التدرج الحراري الأرضي، الذي يمثل الفرق بين درجة الحرارة قلب الكرة الأرضية وسطحها، يؤدي إلى توصيل مستمر للطاقة الحرارية في شكل حرارة من القلب إلى السطح. إن الطاقة الحرارية الأرضية فعالة من حيث التكلفة وموثوقة ومستدامة وصديقة للبيئة. إن أكبر منشآت الطاقة الحرارية الأرضية في العالم هي شركة المراجل (Geysers) في ولاية كاليفورنيا، بطاقة استيعابية تبلغ 750 ميجاوات. في جميع أنحاء العالم، يتم إنتاج حوالي 10105 ميجاواط (MW) من الطاقة الحرارية الأرضية. يتم استخدام 28 جيجاوات إضافية من الطاقة الحرارية الأرضية المباشرة للتدفئة المركزية وتدفئة المساحات والمنتجعات والعمليات الصناعية وتحلية المياه والتطبيقات الزراعية.

يتم الوصول للمياه الساخنة أو الخزانات البخارية في أعماق الأرض عن طريق حفر الآبار. وتحافظ الخزانات الحرارية الأرضية الواقعة بالقرب من سطح الأرض على درجة حرارة ثابتة نسبياً تتراوح بين 50 و 60 درجة فهرنهايت. يمكن استخدام هذا الماء الساخن والبخار من الخزانات لإدارة المولدات الكهربائية وإنتاج الكهرباء. في التطبيقات الأخرى، كما يتم استخدام الحرارة الناتجة عن الحرارة الأرضية مباشرة في تدفئة المباني والمنشآت الصناعية. كما هو الحال في حالة طاقة الكتلة الحيوية، فإن محطة الطاقة الحرارية الأرضية تعمل 24 ساعة في اليوم، 7 أيام في الأسبوع، ويمكن أن تنافس محطات الفحم.

**الطاقة في المحيطات:** كانت أنظمة حصاد الطاقة الكهربائية من أمواج المحيط تكتسب زخما في الآونة الأخيرة كتقنية قابلة للاستمرار، وتعتبر إمكانية استخدام هذه التقنية واعدة. تم تركيب أول محطة طاقة مدنية تجارية في العالم في عام 2007 في مضيق سترانجفورد لوف في إيرلندا. على الرغم من أن المولد كان قويا بما يكفي لتشغيل ألف منزل، إلا أن التوربينات كانت له تأثير بيئي ضئيل، حيث أنها غارقة في الماء بالكامل تقريباً، ولا يشكل دورانها أي خطر على الحياة البرية لأنها تدور ببطء شديد. إن تحويل الطاقة الحرارية في المحيط يستخدم الفرق في درجة الحرارة بين المياه العميقة والضحلة لتشغيل المحرك الحراري.

توجد مصادر أخرى تعتمد على مياه المحيطات منها طاقة موجات الرياح البحرية. القوة الموجية هي التقاط طاقة لموجات الرياح للقيام بعمل مفيد، على سبيل المثال، توليد الكهرباء، تحلية المياه، أو ضخ المياه. تسمى الآلة التي تستغل طاقة الأمواج بمحول طاقة موجة (WEC). تتميز قوة الموجة عن قوة المد والجزر، والتي تلتقط طاقة التيار الناتج عن سحب الجاذبية للشمس والقمر. كما تتميز الأمواج والمد والجزر عن التيارات المحيطية التي تسببها قوى أخرى بما في ذلك تحطم الأمواج وطاقة الرياح وتأثير كوريوليس وكبيلينج والاختلاف في درجة الحرارة والملوحة على الأعماق المختلفة. أن توليد الطاقة من الأمواج ليست بتلك بالتقنية التجارية واسعة الاستخدام، على الرغم من وجود محاولات لاستخدامها منذ عام 1890. في عام 2000، تم تركيب أول جهاز طاقة موجه تجاري في العالم، على ساحل إسلاي في اسكتلندا، وفي عام 2008، افتتحت أول مزرعة تجريبية ذات مولدات متعددة في البرتغال في متنزه أجوكادورا ويف.

**_ الهيدروجين كمصدر للطاقة**

الهيدروجين هو أبسط العناصر الكيميائية، حيث كل ذرة من الهيدروجين تحتوي على بروتون واحد فقط. والشمس عبارة عن كرة عملاقة من الهيدروجين وغاز الهيليوم. في قلب الشمس، تتحد ذرات الهيدروجين لتشكل ذرات هليوم (وهذه العملية تسمى عملية الاندماج النووي) وتنطلق الطاقة الإشعاعية، والتي يصل إلينا جزء منها. هذه الطاقة الإشعاعية تحافظ على الحياة على الأرض لأنها تقود عملية التمثيل الضوئي في النباتات والأنظمة الحية الأخرى ويتم تخزينها كطاقة كيميائية في الوقود الأحفوري، علاوة على تأثيرها في الطقس وحركة الرياح ودورة المياه.

لا يوجد الهيدروجين على الأرض كغاز لكن يوجد فقط في شكل مركب مع عناصر أخرى، مثل الماء $H_2O$ والميثان $CH_4$. يتم إنتاج الهيدروجين من موارد أخرى بما في ذلك الغاز الطبيعي والفحم والكتلة الحيوية، وحتى من الماء. طريقتي الإنتاج الأكثر شيوعا هما إعادة تكوين البخار والتحليل الكهربائي حيث ينقسم الماء إلى أكسجين وهيدروجين. إعادة تكوين البخار هو حاليا أقل الطرق وأكثرها شيوعا لإنتاج الهيدروجين، بينما التحليل الكهربي، في

الوقت الحاضر، هو عملية باهظة الثمن. وحالياً، يبلغ إنتاج الهيدروجين العالمي حوالي 48٪ من الغاز الطبيعي، و 30٪ من النفط، و 18٪ من الفحم، و 4٪ من التحليل الكهربي للماء.

يحتوي الهيدروجين على أعلى محتوى للطاقة بالوزن من أي وقود شائع (حوالي ثلاثة أضعاف البنزين)، بينما يكون أقل محتوى للطاقة من حيث الحجم. ينقل الهيدروجين الطاقة في صيغة قابلة للاستخدام. عندما يحترق الهيدروجين في محرك أو عندما يستخدم في خلية وقود، فإنه يتحول إلى ماء $H_2O$ فقط، أي أن عملية الاحتراق هي عملية نظيفة وصديقة للبيئة. لجعل الهيدروجين يمتلك وجودا متجددا، يجب استخدام طاقة متجددة، مثل طاقة الرياح أو الطاقة الشمسية، لإنتاج الهيدروجين نفسه. هناك استخدامين رئيسيين للهيدروجين اليوم، حيث يتم استخدام حوالي نصف الهيدروجين لإنتاج الأمونيا $(NH_3)$ عبر عملية هابر (Haber)، والتي بدورها تستخدم الأمونيا بشكل مباشر أو غير مباشر كسماد لتسميد النباتات. النصف الآخر من إنتاج الهيدروجين الحالي يستخدم في عملية التكسير الهيدروجيني لتحويل مصادر النفط الثقيلة إلى مشتقات أخف وتكون مناسبة للاستخدام كوقود. إن خلايا الوقود الهيدروجينية تصنع الكهرباء، وهي فعالة للغاية، ولكنها مكلفة في البناء. تستطيع خلايا الوقود الصغيرة تشغيل السيارات الكهربائية، بينما تستطيع خلايا الوقود الكبيرة توفير الكهرباء في الأماكن النائية بدون خطوط طاقة كهرباء.

**الطاقة الكهربائية :**

في الذرة، تحمل البروتونات والإلكترونات شحنات كهربية، حيث تحمل البروتونات شحنة موجبة (+) والإلكترونات تحمل شحنة سالبة (-). تنجذب هذه الشحنات المختلفة نحو بعضها البعض، في حين لا تنجذب الإلكترونات في المدارات الخارجية للذرات بقوة نحو البروتونات بسبب حجب إلكترونات القلب، وبالتالي يمكن لهذه الإلكترونات الانتقال من ذرة إلى أخرى، وتتحرك داخل البلورة مسببة تيار كهربي. يتم توليد تيار كهربي بواسطة ما يسمى بالمولد والذي هو عبارة عن ملف كهربي يدور داخل مجال مغناطيسي. في هذه العملية تتحول الطاقة الميكانيكية لدوران المغناطيس إلى طاقة كهربية مولدة تيار متردد (AC). تقاس كمية الكهرباء التي تولدها محطة توليد الكهرباء أو التي يستخدمها المستهلك خلال

فترة زمنية معينة بالكيلوواط ساعة، وهي تساوي طاقة مقدارها 1000 واط تعمل لمدة ساعة واحدة. على سبيل المثال، إذا كنت تستخدم لمبة إضاءة بقدرة 100 واط لمدة 7 ساعات، فإنك قد استخدمت 700 واط أو 0.7 كيلووات ساعة من الطاقة الكهربائية.

تستهلك معظم الكهرباء المستخدمة في القطاع السكني في تكييف الهواء داخل المنازل، والثلاجات، وتدفئة المساحة، وتسخين المياه، والإضاءة، والأجهزة والمعدات الكهربية المختلفة. تعد الكهرباء هي الشكل الأسرع نمو للطاقة المستخدمة في جميع أنحاء العالم حتى عام 2030، كما كانت على مدى العقود العديدة الماضية. تعتبر الكهرباء أكثر ناقلات الطاقة شهرة لنقل الطاقة من الفحم والغاز الطبيعي واليورانيوم وطاقة الرياح ومصادر الطاقة الأخرى إلى المنازل والشركات والصناعة. كما تستخدم الكهرباء لنقل الطاقة من المياه المتدفقة من سدود الطاقة الكهرومائية إلى المستهلكين واستيفاء الاحتياجات من الطاقة. يكون استخدام الكهرباء أسهل بكثير من مصادر الطاقة نفسها. عند مرور التيار الكهربي عبر جهاز كهربي، فإن بعض الطاقة الكهربية سيتم تحويلها إلى أشكال أخرى للطاقة (على الرغم من أن بعضها سيفقد على الدوام كحرارة). يمكن التعبير عن كمية الطاقة الكهربية، $E_e$ (بوحدات الواط)، بسبب تيار كهربي بعدة طرق مختلفة:

$$E_e = V\,I\,t = I^2 R\,t \qquad 1.10$$

حيث $V$ هو فرق الجهد الكهربي (بالفولت)، $I$ هو التيار الكهربي (بالأمبير)، و $t$ هو الزمن الذي يتدفق فيه التيار، و $R$ هي المقاومة الكهربية (بالأوم).

في التيار المتردد، أو المتناوب (AC) يتحول اتجاه تدفق الإلكترونات على فترات أو دورات منتظمة ويعبر عنها بتردد التيار (بوحدات عدد الدورات في الثانية أو الهيرتز، Hz). يتدفق التيار المتردد من محطات التوليد في خطوط الكهرباء إلى الشبكات المنزلية العادية، وتؤخذ من المقبس في الحائط. يكون تردد التيار القياسي المستخدم في الولايات المتحدة هو 60 دورة في الثانية (60 هرتز)، بينما في أوروبا ومعظم أجزاء العالم الأخرى يكون التردد 50 هرتز. إحدى مزايا التيار المتناوب هي أنه رخيص نسبياً وسهل تغيير الجهد الكهربي بواسطة ما يسمى بالمحولات الكهربية. علاوة على ذلك، فإن فقدان الطاقة، الذي لا مفر منه والذي يحدث عند نقل الطاقة عبر المسافات الطويلة، يكون أصغر بكثير مع التيار المتردد

منه مع التيار المباشر.

من ناحية أخرى، بالإضافة إلى التيار المتردد يوجد ما يسمى بالتيار المستمر أو المباشر (DC)، ويكون مصدرة من الطاقة الكهربية المخزنة في البطاريات. هذا التيار الكهربي يتدفق باستمرار في اتجاه واحد ثابت مع الزمن، ومن هنا جاءت التسمية. فالتيار الذي يتدفق في المصباح اليدوي هو تيار مستمر.

**_ الطاقة المغناطيسية**

لا يوجد فرق جوهري بين الطاقة المغناطيسية والطاقة الكهربائية على الرغم من أن هاتين الظاهرتين ترتبطان بمعادلات ماكسويل. الطاقة المغناطيسية هي طاقة الوضع المختزنة في المجال المغناطيسي. يتم تعريف طاقة الوضع لمغناطيس له عزم مغناطيسي $m$ موضوع في مجال مغناطيسي $B$ بأنها الشغل المبذول بالقوة المغناطيسية (عزم الازدواج المغناطيسي)، طبقا للعلاقة،

$$E_m = -m\,B \qquad 1.11$$

الشغل المحسوب اللازم لإحداث مجال كهربي أو مغناطيسي في وحدة الحجوم يولد كثافة الطاقة الكهربية أو المغناطيسية. إن الإشعاع الكهرومغناطيسي، مثل موجات الميكروويف أو الضوء المرئي أو أشعة جاما، يمثل تدفقا للطاقة الكهرومغناطيسية. لطاقة الإشعاع الكهرومغناطيسي مستويات طاقة منفصلة، والتباعد بين هذه المستويات يساوي $E = h\upsilon$ حيث $h$ هو ثابت بلانك، وهو $\upsilon$ تردد الإشعاع. عادة ما تسمى هذه الكمية المجزئة من الطاقة الكهرومغناطيسية بالفوتون (photon). الفوتونات التي تشكل الضوء المرئي لها طاقات تساوي .160–310 kJ/mol.

**الطاقة الكيميائية :**

الطاقة الكيميائية هي قدرة مادة كيميائية على الخضوع للتحول من خلال تفاعل كيميائي لتتحول إلى نواتج مواد كيميائية أخرى. تنتج الطاقة الكيميائية من ارتباطات الذرات في الجزيئات وأنواع أخرى مختلفة من المجاميع من المادة. يمكن تعريف الطاقة الكيميائية على

أنها شغل تقوم به القوى الكهربية وهي طاقة وضع كهروستاتيكية للشحنات الكهربائية. عندما تنخفض الطاقة الكيميائية لنظام خلال تفاعل كيميائي، ينقل الفرق في الطاقة إلى المناطق المحيطة في شكل حرارة أو ضوء. من ناحية أخرى، إذا زادت الطاقة الكيميائية لنظام ما نتيجة تفاعل كيميائي، عندئذ يمتص النظام الفرق في الطاقة من الوسط المحيط به على شكل حرارة أو ضوء. تتراوح القيم النموذجية للتغير في الطاقة الكيميائية المولارية خلال التفاعل الكيميائي من عشرات إلى مئات الكيلو جول لكل مول. على سبيل المثال، الأيزو أوكتان (2،4،4-ثلاثي ميثيل البنتان، isooctane)، المستخدم على نطاق واسع في البنزين، له تركيبة كيميائي $C_8H_{18}$ ويتفاعل مع الأكسجين في تفاعل طارد للحرارة وينتج 10.86 ميجا جول لكل مول من الأيزوكن طبقا للعلاقة،

$$C_8H_{18}(1)+25/2\ O_2(g) \rightarrow 8\ CO_2(g)+9\ H_2O(g)+10.86\,MJ/mole$$

عندما تتفاعل ذرتان من الهيدروجين لتشكل جزيء هيدروجين، تنخفض الطاقة الكيميائية بواسطة طاقة الرابطة $H-H$. بينما عندما يتم إزالة الإلكترون تماما من ذرة الهيدروجين، لتشكيل أيون هيدروجين، تزداد الطاقة الكيميائية بالمقدار المسمى طاقة التأين.

أنه يمكن القول إن التغير في الطاقة الداخلية لعملية كيميائية يساوي الحرارة المتبادلة إذا تم قياسها تحت ظروف الحجم الثابت ودرجة الحرارة الأولية والنهائية المتساوية، كما هو الحال في وعاء مغلق يسمى المسعر. ومع ذلك، في ظل ظروف الضغط الثابت، كما هو الحال في التفاعلات في الأوعية المفتوحة المتصلة بالجو المحيط، فإن تغير الحرارة المقاس لا يكون دائما مساوياٍ لتغير الطاقة الداخلية، لأن شغل الضغط-الحجم يؤدي أيضا إلى إطلاق الطاقة أو امتصاصها. يسمى تغير الحرارة عند الضغط الثابت بتغير المحتوى الحراري (الإنثالبي، enthalpy).

ومن المصطلحات المفيدة الأخرى هي **حرارة الاحتراق**، وهي في الغالب الطاقة التي تنطلق من الروابط الثنائية الضعيفة للأكسجين الجزيئي بسبب تفاعل الاحتراق، وكثيرا ما يتم استخدامها عند دراسة احتراق الوقود. كذلك، الغذاء مشابه للوقود الهيدروكربوني والكربوهيدرات، فعندما يتأكسد إلى ثاني أكسيد كربون وماء، فإن الطاقة المنطلقة تشبه حرارة الاحتراق (على الرغم من عدم تقييمها بنفس طريقة الوقود الهيدروكربوني).

**طاقة الوضع الكامنة** هي شكل من أشكال طاقة الوضع المرتبطة بالترتيب البنائي للذرات أو الجزيئات. قد يكون هذا الترتيب نتيجة الروابط الكيميائية داخل جزيء أو غير ذلك. يمكن تحويل الطاقة الكيميائية لمادة كيميائية إلى أشكال أخرى من الطاقة بواسطة التفاعل الكيميائي. فعلى سبيل المثال، عند حرق الوقود، تتحول الطاقة الكيميائية للأكسجين الجزيئي إلى حرارة، ونفس الشيء ينطبق على عملية التمثيل الغذائي في الكائن البيولوجي. فالنباتات الخضراء تحول الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية (معظمها من الأكسجين) خلال العملية المعروفة باسم التمثيل الضوئي، ويمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية والعكس بالعكس من خلال التفاعلات الكهروكيميائية.