طاقة باطن الأرض
(Geothermal energy)

1. مقدمة عامة:

عـرف الإنســان طاقــة بــاطن الأرض أو الطاقــة الجيوحراريــة منــذ الآف الســنيين و أستخدمها لتلبية بعض أغراضـه بشكل يتلاءم ومستوى المعرفة التـي يمتلكها الإنسـان في ذلك الوقت، وقد عرف الإنسان فوائد الاستشفاء في ينـابيع الميـاه الحـارة منذ فترات بعيدة ومازالت هذه الينابيع موجودة وقيد الاستعمال لأغراض السياحة والاستشفاء في أنحاء مختلفة من العالم، فلو نظرنا إلى العالم العربي لوجدنا توفر هذه الينابيع في فلسطين والعراق ومصر والجزائر. أما خارج العالم العربي فهناك أوربا حيث توجد الينابيع الحارة في هنغاريـا والجيك وإيطاليـا، وفـي شمال أوربا توجد في أيسلندا بشكل مكثف، حيث اعتمد سكانها الأصـليين علـى البخـار الصـادر من الأرض للطبخ والتدفئة ويستخدمون الماء الحار للاستحمام والغسل والمعالجة.

أدى التطور العلمي والتكنولوجي الهائل الذي شهده العالم بالإضـافة إلـى ازديـاد حاجـات الإنسان للطاقة إلى بنـاء أول محطـة لتوليد الطاقـة الكهربائيـة تستخدم البخـار المندفع من بـاطن الأرض لتدوير التوربينات في إيطاليا عام 1904. أما الآن فهناك 12 دولـة تستخدم طاقـة بـاطن الأرض لتوليد الكهرباء **ومن** الدول التى استخدمت الطاقة الحرارية مباشرة لأغراض التدفئة والزراعة فهي اليابـان ، والصـين وتعتبـر هنغاريـا وأيسـلندا هـما الدولتان الرئيسيتان اللتـان استغلتا طاقة باطن الأرض في مجـال الاستخدام المباشر

2. أصل طاقة باطن الأرض:

تتركب الأرض من أربعة أقسام رئيسية كما مبين في الشكل (**1**) وهي:

1. القشرة اليابسة (Lithosphere):

تنقسـم هـذه الطبقـة إلـى جـزأين همـا القشـرة (Crust) والوشـاح الخـارجي(Upper mantle) ، يتراوح سمك اليابسة من 0-100 km ، وتشكل ما يقارب 1.5% من حجم الأرض وترتفع درجة الحرارة فيها إلى حوالي 1000 °C،

2.الوشاح الداخلي (Inner mantle):

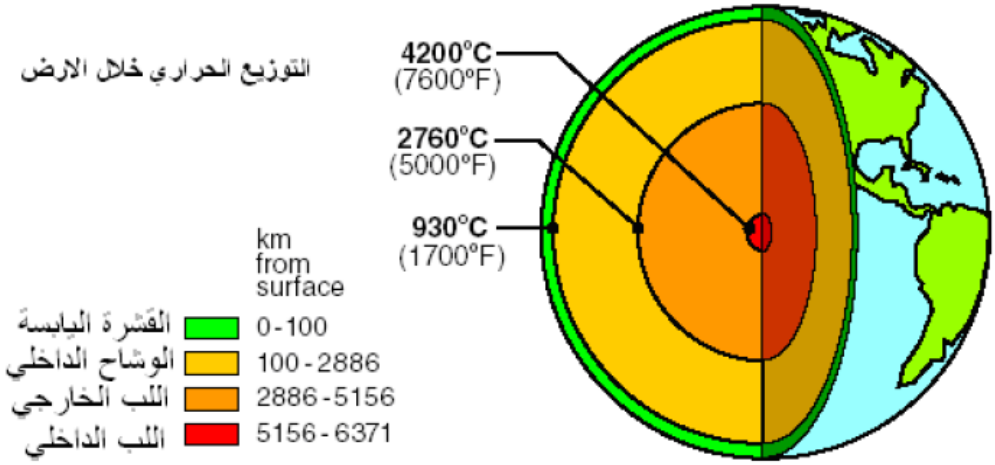
ويقع تحت القشرة اليابسة ويمتد إلى عمق 2886 km تقريبا ويشكل 82.3% من مجمل حجم الأرض، وتصل درجة الحرارة فيه إلى 2760 °C.

3.اللب الخارجي (Outer core):

ويقع تحت الوشاح ويمتد إلى عمق 5156 km .

4. اللب الداخلي (Inner ore):

ويشغل القسم المتبقي من الأرض وتصل درجة الحرارة فيه إلى 4200 °C. ويبلغ حجم اللب الداخلي مع الخارجي ما يقارب 16.2% من مجمل حجم الأرض. ويعزى سبب وجود الحرارة في داخل الأرض إلى عوامل الجاذبية وحركة الأرض والى قوى الاحتكاك بين الطبقات الأرضية التي تتحرك بعضها فوق بعض.



شكل (1) التوزيع الحراري خلال طبقات الأرض

تتكون القشرة الأرضية من مجموعة من الصفائح التي تتحرك بعضها فوق بعض ويؤدي احتكاك هذه الصفائح إلى توليد كميات حرارة كبيرة ترفع من درجة حرارة الصخور وخزانات المياه، كما أنها تساعد على عمل شقوق تتيح للأبخرة والمياه الساخنة من الوصول إلى سطح الأرض

مزايا طاقة باطن الأرض :

١- طاقة متجددة فهي من مصادر الطاقة التي لا تنفذ
٢- لا تسبب أي تلوث سواء في استخدامها أو استخراجها أو تحويلها
٣- تتوفر بكميات ضخمة وفي مساحات شاسعة اغلب بلدان العالم
٤- عمر المنشاة طويل تصل لسبعون عام وهذا ما يميزها عن الواح الطاقة الشمسية

تستخدم طاقة باطن الأرض في توليد الكهرباء و التدفئة والتبريد

١- في توليد الكهرباء :

كلما ازداد العمق في داخل الأرض كلما ازداد ت درجة الحرارة أي بمعدل وسطي كل مئة متر تزداد الحرارة ب $2.7\ c^o$

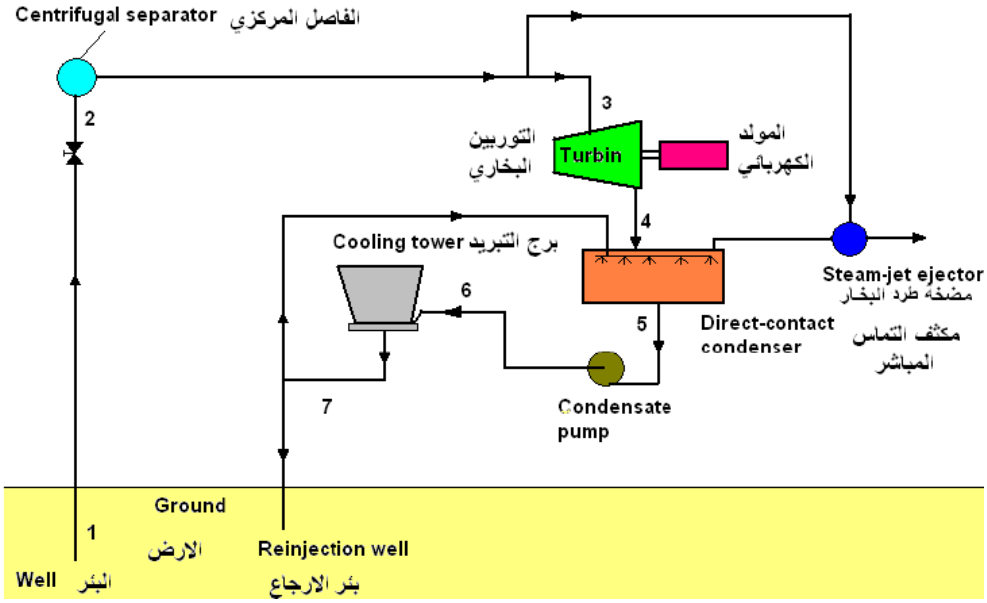
توجد هناك العديد من المنظومات لاستغلال طاقة باطن الأرض وتختلف اعتمادا على نوعية الطاقة المتوفرة في باطن الأرض ومن هذه المنظومات:

١-١- أنظمة الماء الساخن (Hot water system):

تنشأ هذه الأنظمة في المناطق التي يتوفر فيها ماء ساخن بدرجات حرارة عالية تتراوح بين (150-350 °C) و تحت ضغوط عالية أيضا. عند السماح لهذا الماء الحار بالتدفق إلى السطح عند حفر بئر مثلا ويتعرض إلى الضغط الجوي الذي هو أقل من الضغط المؤثر عليه في باطن الأرض، فأن الماء سيتبخر بحكم انخفاض الضغط ويتحول قسم منه إلى بخار يمكن دفعه في أنابيب وتوصيله إلى التوربينات لتشغيلها وتوليد الطاقة الكهربائية، أما الماء الباقي فيمكن استخدامه لأغراض أخرى كالتدفئة والتبريد والتجفيف وغيرها. وقد يتواجد الماء في مناطق أخرى ولكن بدرجات حرارة اقل من درجة الغليان وتحت ضغوط منخفضة نسبيا بحيث إنها تبقى في حالة السيولة حتى حين وصولها إلى السطح.

١-٣- أنظمة البخار الجاف (Dry steam system):

تنشأ هذه الأنظمة في الأماكن التي يتوفر البخار غير المختلط بالسوائل، حيث تكون الطبيعة الغالبة لهذه الأنظمة وجود خزانات من أبخرة الماء على درجات حرارة عالية تصل إلى 205 °C و ضغط مقداره 8. bar ويتم الاستفادة مباشرة من البخار المتدفق لتشغيل التوربينات ومنه توليد الكهرباء. وتعتبر هذه الأنظمة الأكثر ملائمة لأغراض توليد الطاقة الكهربائية إذ إن المطلوب لا يتعدى القيام بعمليات الحفر لإتاحة المجال أمام البخار ليندفع إلى السطح ومن ثم نقل هذا البخار إلى التوربينات لتشغيلها وتوليد الكهرباء وتكون الأقل كلفة من بقية الأنظمة، إضافة إلى ان محطات البخار الجاف هي الأقل تأثرا بالمشاكل المصاحبة لمحطات القدرة الجيوحرارية من بقية الأنظمة مثل وجود الغازات الآكلة والرمل والملوثات البيئية.



١-٣- أنظمة الصخور الجافة الساخنة (Hot dry rock system):

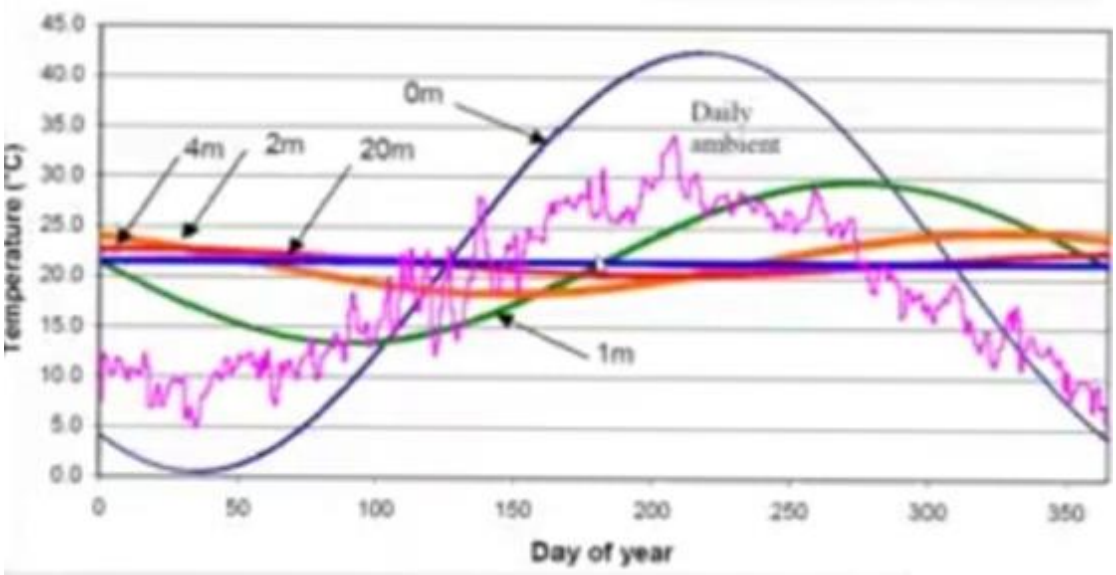
تتميز هذه الأنظمة بكونها لا تحتوي على مياه أو سوائل تسهل من عملية نقل الحرارة من باطن الأرض إلى سطحها. إن هذا المصدر هو الأكثر شيوعا ويشكل حوالي 99% من مجموع مصادر الطاقة الجيوحرارية على سطح الأرض،إذ إن درجة الحرارة تزداد مع العمق وقد تصل إلى عدة مئات من الدرجات المئوية على أعماق لا تزيد على كيلومترات قليلة، وحيث ان تكنولوجيا الحفر قد شهدت الكثير من التطوير بفعل حفر أبار النفط مما يشكل أرضية واسعة لاستغلال هذا المصدر المهم. إن أحد العوائق الرئيسية في وجه استغلال هذا المصدر هو كيفية نقل الحرارة من باطن الأرض إلى سطحها والفكرة الرئيسية هي ضخ كميات من المياه إلى باطن الأرض بحيث تصل إلى هذه الصخور الساخنة فتسخن و تتبخر ثم تعود إلى السطح بخارا

يستعمل في توليد الطاقة الكهربائية. ومن المعروف إن الصخور موصلات رديئة للحرارة لذا فان انتقال الحرارة من الطبقات الصخرية الحرة إلى الطبقات الأبرد بطيء نسبيا، ومن اجل

الحصول على اكبر قدر ممكن من الحرارة يستلزم الأمر استخراج الحرارة من مساحة كبيرة من الصخور للتعويض عن الموصلية الحرارية الرديئة لها ويستلزم بدوره ضخ كميات كبيرة من الماء لتغطية السطح الواسع من الصخور، وبعد استخراج المياه إلى السطح و استعمالها في الأغراض المطلوبة يعاد ضخها مرة أخرى إلى الأرض. وتوجد عدة أفكار لاستخلاص الحرارة، فإذا كانت طبقة الصخور الحارة مسامية فأن الأمر يستلزم حفر عدد من الآبار لاختراق الطبقة العليا الصلبة غير النفاذة ويستخدم قسم من هذه الآبار لضخ المياه الباردة إلى باطن الأرض والأخرى لاستلام المياه الحرة من باطن الأرض ونقلها إلى المحطة لغرض توليد الطاقة الكهربائية، ومن أهم المشاكل التي تواجهنا عندما تكون الصخور الحارة مسامية هي مشكلة تسرب المياه إلى باطن الأرض وعدم إمكانية سحبها إلى سطح الأرض، أما حين تكون طبقة الصخور الحارة من النوع اللا- مسامي فلابد من زيادة مساحة سطح انتقال الحرارة لن صلابة الصخور وعدم مساميتها تمنع الماء من التسرب عبر مساحات كبيرة

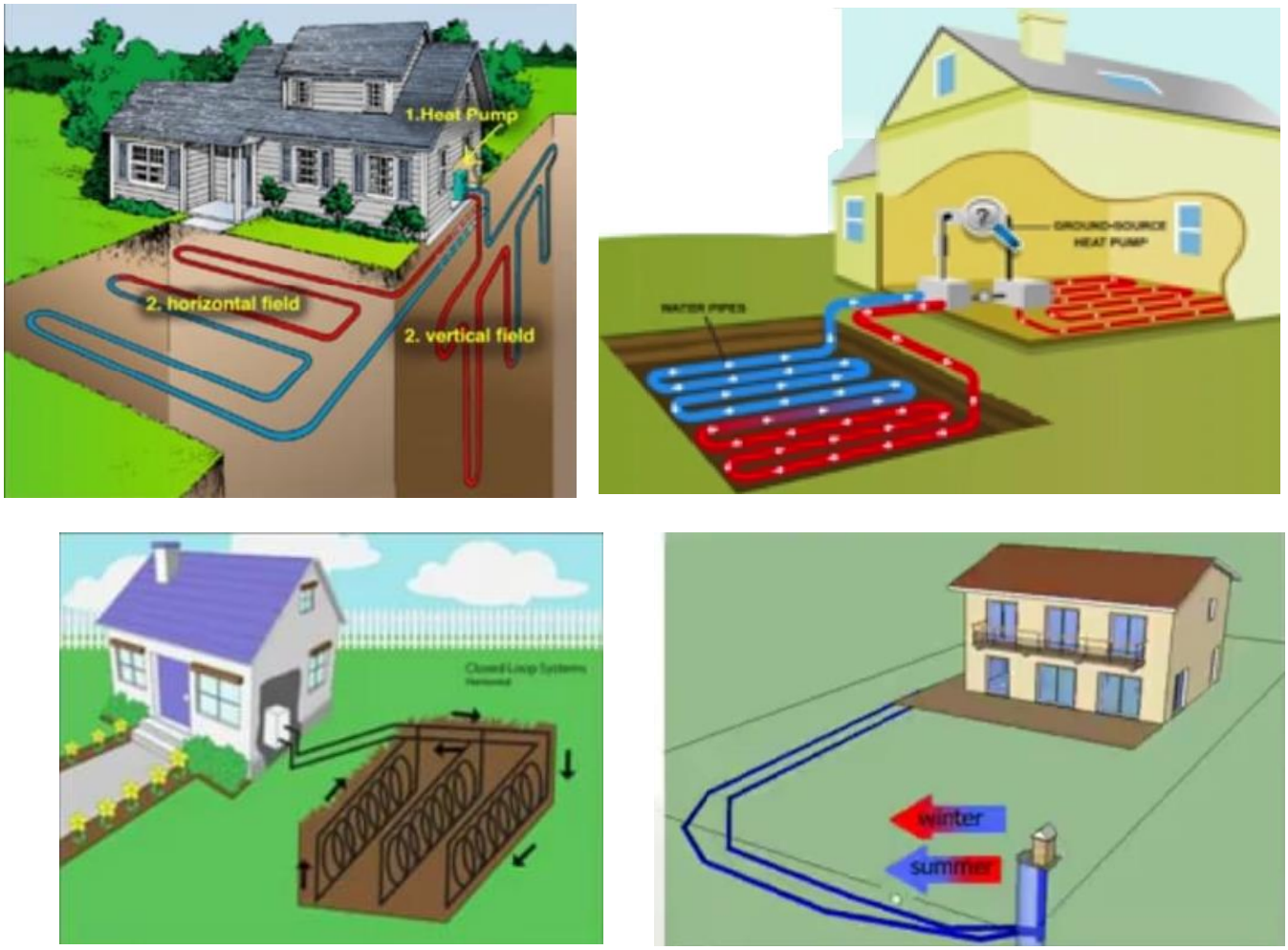
٢- <u>في التدفئة و التبريد:</u>

تتغير درجة حرارة الليل والنهار ..كما تختلف الحرارة حسب الفصول الأربعة على سطح الأرض , ولكن كلما نزلنا في الأرض عمقا نصل بعد عمق معين الى درجة حرارة شبه ثابتة للأوقات جميعا أي في فصل الصيف أو الشتاء أي على مدار السنة ..حيث يوضح الشكل (٣)



الشكل (٣)

تجربة في بلاد الشام .. حيث نلاحظ درجة حرارة سطح الأرض في فصل الشتاء حوالي الصفر بينما في فصل الصيف تصل الى حالي c^o 43 بينما على عمق 1 m نلاحظ درجة الحرارة في الصيف تصل الى c^o 30 وفي الشتاء تصل الحرارة c^o 16 بينما على عمق على 20 m تصل الحرارة في قصل الصيف والشتاء الى $22c^o$ أي شبه ثابتة ولكن على عمق 3.5 m نلاحظها حوالي c^0 23 . ففي هذه التجربة يمكن الاستفادة من درجة الحرارة على عمق 3.5 m في التبريد في الصيف والتدفئة في الشتاء كما في الشكل (٤)



الشكل (٤)

حيث يمكن استخدام وسيط الهواء او وسيط المياه . كما يجب استخدام انابيب ذات موصلية جيدة للحرارة وتتحمل ضغط التربة اعلاها ..يمكن تقليل الكلفة باستخدام اللبن, ولزيادة المردود يمكن تركيب مروحة سحب يمكن تشغيلها بالطاقة الشمسية في حال عدم وجود الكهرباء في البناء في بداية الانابيب الداخلة الى المكان المراد تدفئته او تبريده. لقد دلت التجربة على حرارة المكان المراد تدفئته بزيادة حوالي c^o 15 في الشتاء أو تقليل درجة الحارة الخارجية بمقدار حوالي 15 c^o في الصيف .

الطاقة المائية
Hydraulic energy

يعود استخدام الإنسان للطاقة المائية إلى القرن الأول الميلادي، حيث استعملت مياه الأنهار في تشغيل بعض النواعير المستخدمة لطحن الحبوب، ومع القرن الرابع الميلادي انتشرت النواعير في العراق وسوريا ومصر ومن ثم انتقلت إلى أوربا حيث انتشرت هناك خاصة بعد الثورة الصناعية وتوسعت استعمالاتها لتشمل ضخ المياه وتشغيل آلات قطع الأخشاب و آلات النسيج. يرتبط مفهوم مصادر الطاقة المائية في الوقت الحاضر بمحطات توليد الطاقة الكهربائية وتعود فكرة إنشاء محطات الطاقة على مساقط الأنهار إلى عام 1870م حيث طرحت فكرة إنشاء محطة لتوليد الطاقة الكهربائية عند شلالات نيكارا في الولايات المتحدة الأمريكية وكانت طاقتها تبلغ 3.75 MW، وتستخدم الطاقة المائية حاليا في معظم دول العالم الحاوية على الأنهار والشلالات، ويبلغ إنتاجها من الطاقة حوالي 7% من الإنتاج العالمي للطاقة

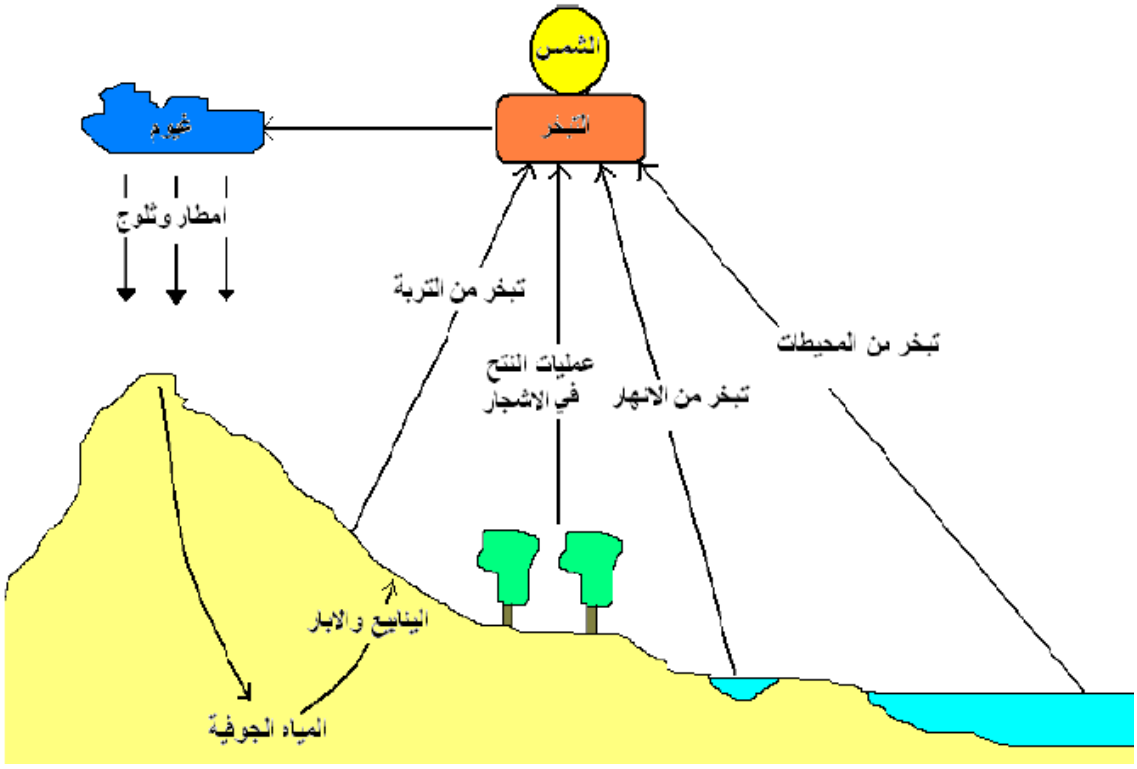
تشكل الطاقة المائية مصدرا محدودا للطاقة في البلاد العربية لمحدودية المياه والأنهار في المنطقة ويقدّر إنتاج الطاقة المائية العربية بحوالي 28 ألف جيجاواط ساعة (GWh)

1- الطاقة الكامنة المخزونة:

تعتمد كمية الطاقة الكامنة المخزونة في محطات التوليد الكهرومائية على حجم كمية الماء المخزونة وعلى ارتفاع سقوط الماء، فكلما ارتفع أي من العاملين المذكورين زادت كمية الطاقة الكامنة في المحطة، وتعمل محطات الطاقة المائية بكفاءة عالية تصل إلى 90% بالمقارنة مع كفاءة محطات القدرة الحرارية التي تستعمل الوقود الاحفوري والتي تعمل بكفاءة لا تزيد عن 40% في الغالب. تبلغ كمية الطاقة الكامنة في العالم $3*10^6$ MW في حين تبلغ نسبة كمية الطاقة المستغلة 5% من الطاقة الاحتمالية الكلية، ويعزى أحد أسباب هذه النسبة المنخفضة إلى الكلفة العالية لإنشاء محطات الطاقة وبخاصة إن المواقع الملائمة غالبا ما تكون بعيدة عن مراكز الاستهلاك

دورة المياه في الطبيعة Hydrologic cycle:

يمكن تعرف دورة المياه في الطبيعة او ما يسمى بالدورة الهيدرولوجية بانها سلسلة الحوادث التي تحدث للماء في الطبيعة ، فالماء يغطي الجزء الاكبر من سطح الكرة الارضية ويتأثر بالعوامل المناخية ويتبخر جزء من ماء المحيطات والانهار وبقية المسطحات المائية متصاعدا الى الجو على هيئة بخار بالإضافة إلى تصاعد بخار الماء من سطح التربة واسطح النباتات نتيجة لعمليات التبخر والنتح الى الجو، ثم تتكثف هذه الابخرة وتتساقط مرة اخرى على سطح الارض وفوق المحيطات على شكل امطار او ثلوج او ندى اوضباب علما ان قسما منه لايصل لى سطح الارض بل يبقى فوق النباتات والابنية ليتبخر مرة ثانية ويعود الى الجو ويدعى بالخسائر البينية (Interception loss) وينساب قسم من المياه التي تصل الى الارض عبر جداول وانهار لتصب مرة ثانية في الميطات ويترشح قسم اخر الى باطن الارض ليشكل المياه الجوفية والتي قدر تخرج بصورة طبيعية كما في الينابيع والعيون او يقوم الانسان باستخراجها عن طريق حفر الابار والشكل (1 ٠) يبين دورة المياه في الطبيعة.



الشكل (١)

3- محطات القدرة الكهرومائية:

تتكون أي محطة كهرومائية من أربعة أجزاء رئيسية :

1. بحيرة الخزن (Storage reservoir).
2. السد وملحقاته (Dam and its parts).
3. التوربين والمولد الكهربائي (Water turbine and electric generator).
4. الأنابيب والممرات الناقلة للمياه (Water ways).

وتتراوح سعة محطات القدرة الكهرومائية من عدة مئات من الكيلووات إلى اكثر من 1000 MW ويمكن تصنيف المحطات إلى عدة أنواع هي:

1. محطات السدود:

وهو النوع السائد من المحطات الكهرومائية إذ يتم تخزين الماء خلف سد ومن ثم التحكم فيه تبعا للاحتياجات ويمكن الإشارة هنا إلى إن حجز المياه غالبا ما يحقق أهدافا أخرى كتوفير المياه للأغراض الزراعية والصناعية أو منع حدوث الفيضانات أو للأغراض السياحية وتختلف هذه البحيرات في مقدار الارتفاع المؤثر للمياه الموجودة إمام السد.

2. محطات سريان الماء الصغيرة:

تقام مثل هذه المحطات على مجاري الأنهار الصغيرة ولا تزيد ارتفاعات المياه الساقطة في هذه المحطات عن 20 m. ومن الطبيعي ان يكون مقدار الطاقة المنتجة محدودا، ولقد تزايد استخدام هذا النوع من المحطات في الدول النامية؛ وذلك لأسباب عديدة منها: قلة تكاليف إنتاج الكهرباء، وإمكانية استخدام المواد المحلية والتصاميم المناسبة لبيئة المناطق التي يتم تنفيذ المحطات فيها، بالإضافة إلى تعاظم الآثار البيئية المصاحبة لبناء السدود الكبيرة.

3. محطات تخزين المياه:

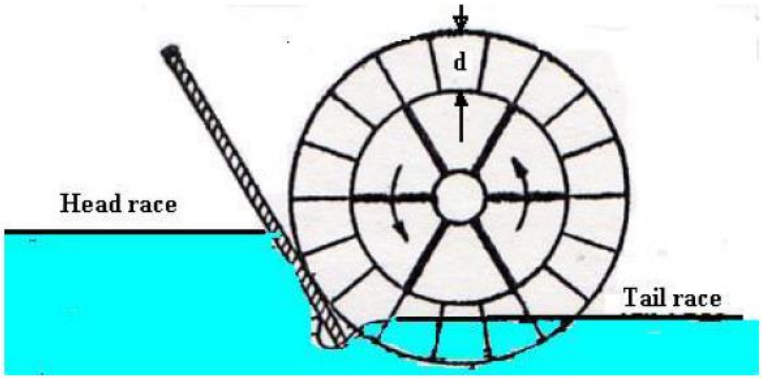
يستفاد من الطاقة الفائضة من محطات توليد الكهرباء التقليدية خلال فترة الأحمال المنخفضة كساعات الليل حيث يمكن ضخ المياه من بحيرة سفلية الى بحيرة علوية ثم يعاد إسقاط المياه عبر توربينات توليد الطاقة الكهربائية لتغطية حمل الذروة ويؤدي هذا النظام التكافلي إلى خفض الكلفة الإجمالية لأنتاج الكهرباء.

4- النواعير المائية (Water wheel):

استخدمت النواعير منذ فترات طويلة لتلبية حاجات الإنسان اليومية ويوجد هناك نوعان رئيسان هما:

1. الناعور المسير بالدفع السفلي (Undershot water wheel):

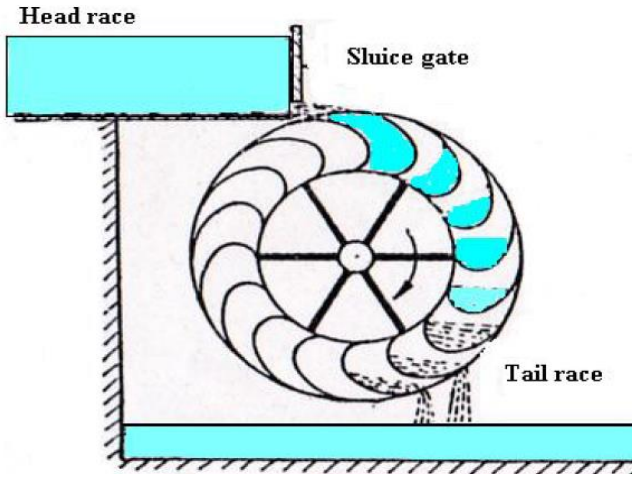
يتحرك الناعور بواسطة ضغط الماء على الجزء السفلي من الشفرات المغمورة فيه وفي هذا مزايا جيدة، اذ يمكن استخدامه في الجداول و السواقي (الشكل 2)، وتظهر مساوئه أثناء الفيضانات اذ ينغمر كل الدولاب ويتوقف عن الحركة.



الشكل (٢)

2. الناعور المسير بالدفع العلوي (Overshot water wheel):

يتحرك الماء بواسطة الماء الساقط على الشفرات (الدلو) من الأعلى (الشكل 3) والتي لها جوانب مغلقة تجعله يبدو كدلو. ولا يعاني الناعور المسير بالدفع العلوي من مشاكل الفيضان، لكن له حدود وهو ان فرق الارتفاع بين دخول الماء وخروجه يجب إن يكون على الأقل مساويا لقطر الناعور، وهذا النوع من النواعير غير ملائم للعمل في الجداول ولانهار ذات التدرج الطبيعي، كما انه يجب ان يتم صنعه بمتانة لمقاومة وزن الماء الساقط من الأعلى.



الشكل (٣)

مثال 1:

نهر جار يخطط لإنشاء سد عليه وقد سجلت كمية المياه الجارية خلال سنة وفق الجدول الاتي:

الشهر	الكمية (مليون م^3)	الشهر	الكمية (مليون م^3)
كانون الثاني	1000	تموز	2500
شباط	800	اب	3000
آذار	600	ايلول	2400
نيسان	500	تشرين الأول	2000
أيار	200	تشرين الثاني	1500
حزيران	1500	كانون الاول	1500

احسب كمية القدرة المتوقع توليدها على فرض انشاء سد يحجز المياه بارتفاع 80 م وكانت الكفاءة الكلية للمعدات الميكانيكية والكهربائية المستخدمة في التوليد 80%.

الحل:

نحسب في البداية معدل المياه الجارية لكل شهر كالاتي

$$\overline{Q} = \frac{1000 + 800 + 600 + 500 + 200 + 1500 + 2500 + 3000 + 2400 + 2000 + 1500 + 1500}{12} \approx 1460$$

ووحدات هذه الكمية هي مليون م^3 لكل شهر وبالتالي تكون كمية المياه المتدفقة بالمتر المكعب لكل ثانية تساوي:

$$= \frac{1460}{24 * 3600 * 30} = 564 \ \mathrm{m^3/sec}$$

وتحسب لقدرة المنتجة من القانون الآتي:

$$P = \gamma * Q * H * \eta = 9810 * 564 * 80 * 0.8 = 354 \ \mathrm{MW}$$

مثال 2:

تجري مياه في نهر ما بمعدل $20\ m^3/s$ خلال موسم الفيضان المتكون من أربعة أشهر وبمعدل $2.5\ m^3/s$ لبقية أشهر السنة واقترح إنشاء سد على هذا النهر لغرض توليد الطاقة الكهربائية ،احسب:

1. ادنى حجم للبحيرة المتكونة إمام السد.
2. إذا كانت خسائر الاحتكاك في توصيلات المياه التي تنقل المياه إلى منظومة التوليد حوالي 3% من الارتفاع الحقيقي وكفاءة التوليد الكلية (الكهربائية والميكانيكية) 90% احسب معدل القدرة المتولدة إذا كان ارتفاع السد 80 م.(يبدأ موسم الفيضان وذوبان الثلوج من 1 حزيران إلى 30 أيلول).

الحل:

عدد الأيام التي يكون فيها الجريان أعلى ما يمكن $(20\ m^3/s)$ تساوي

$$= 30 + 31 + 31 + 30 = 122 \text{ يوم}$$

وعدد الأيام التي يكون فيها الجريان أقل ما يمكن $(2.5\ m^3/s)$ تساوي

$$= 365 - 122 = 243 \text{ يوم}$$

وبذلك تكون كمية المياه الكلية الجارية خلال السنة تساوي

$$= 20 * 3600 * 24 * 122 + 2.5 * 3600 * 24 * 243 = 263304000\ m^3$$

ويكن معدل الجريان ألحجمي يساوي

$$= \frac{263304000}{24 * 3600 * 365} = 8.35\ m^3/s$$

وبذلك يكون الفرق بين اعلى تدفق ومعدله يساوي

$$= 20 - 8.35 = 11.65\ m^3/s$$

ويكون أدنى حجم للبحيرة مساوي إلى

$$= 11.65 * 3600 * 24 * 122 = 122800320\ m^3$$

ويبلغ كمية الطاقة المتولدة:

$$P = \gamma * Q * H * \eta$$
$$= 9810 * 8.35 * 80 * 0.97 * 0.9$$
$$= 5.72 MW$$