الفصل الثاني عشر

أشكال أخرى للطاقات المتجددة

12–1 الطاقة الجيوحرارية:

تسود في الأرض درجات حرارة تتراوح في المجال $3000 \div 4000[°C]$ ويسبب فرق درجات الحراة مع سطح الأرض نشوء تيار حاري نحو سطح الأرض بمعدل عالمي يبلغ $0.063[W/m^2]$ أو $63[kW/km^2]$. وتبلغ الطاقة السنوية الناتجة عن هذا التيار الحراري حوالي $3 \cdot 10^{20}[J/a]$ أو $300[EJ/a]$ أي ما يعادل أكثر من نصف الاستهلاك العالمي للطاقة .

تمثل الطاقة الحرارية لجوف الأرض احتياطي هائل لا يمكن مقارنته بما يخرج منه تلقائياً للسطح. وفق تقديرات علمية محسوبة على أساس عمق يتراوح بين $4 \div 6[km]$ وطاقة حرارية مستجرة عند منسوب لا يتجاوز $130[°C]$ ، يبلغ الاحتياطي العالمي من الطاقة الجيوحرارية حوالي $1.8 \cdot 10^{25}[J]$ لا يزال استثمار الطاقة الجيوحرارية مركزاً على المناطق النشطة جيوحرارياً حيث تتوفر شروط استثمار مناسبة إذ تكون صهارة جوف الأرض غير بعيدة عن السطح وتسبب في تسخين غير عادي للطبقات السطحية وما تحتويه من أحواض أو جيوب مائية .

تتزايد درجة الحرارة بحدود $1[°C]$ لكل $30[m]$ عمقاً داخل القشرة الأرضية في المناطق الطبيعية ، لكن هذه الزيادة تكون أكبر بشكل ملحوظ في المناطق النشطة جيوحرارياً ، وعندما يجد الماء المخزون في هذه الطبقات طريقاً طبيعياً إلى السطح فإنه يندفع على شكل بخار أو مزيج من الماء الساخن والبخار أو على شكل ينابيع حارة تتواجد في العديد من بقاع العالم التي تعتبر مناطق ذات نشاط جيولوجي (بركاني أو زلزالي) عن حواف صفائح التكونية المتحركة (عند حواف المحيط الأطلسي وفي وسط المحيط ، إيطاليا ، إندونيسيا) ويمكن تصنيف أهم الاستثمارات المتاحة تقنياً واقتصادياً للطاقة الجيوحرارية على النحو التالي .

1. بخار جاف ومحمص يستخرج من مكامن حرارية أو يندفع تلقائياً عبر معبر محتل عبر القشرة الأرضية، يستعمل مباشرة في تدوير عنفة لإنتاج الكهرباء.
2. بخار رطب من بعض الخزانات المائية المضغوطة ضمن صخور حارة وعند وجود مجال للتسرب، تندفع تيارات من الماء الحار المضغوط مع البخار بدرجات حرارة تراوح بين

$180 \div 370[°C]$ بعد فصل الماء عن البخار يستخدم الأخير لتوليد الكهرباء أو للصناعات التي تستخدم البخار بينما يمكن استخدام الماء الحار لأغراض التدفئة والتكييف (أي مستهلك أخر للماء الساخن)

3. ينابيع الماء الحار: يتدفق ماء دافئ أو حار قليلاً تحت ضغط نظامي (جوي عادي) وذلك من طبقات سطحية متأثرة بحرارة عالية لطبقات أعمق ويمكن الإفادة منه لأغراض التدفئة أو التزود بالماء الساخن.
4. الطاقة الحرارية للصخور الحارة في المناطق النشطة جيوحرارياً والخالية من الخزانات المائية الجوفية يمكن استثمارها وذلك عن طريق ثقب الطبقات السطحية والوصول لها ثم حقن الماء المضغوط عبر هذه الطبقات ليسخن ويستخرج على شكل ماء حار أو بخار ليستخدم لأغراض التدفئة أو التكييف والامداد بالماء الساخن أو توليد الكهرباء عند كفاية درجات الحرارة لذلك.
5. في المناطق النشطة جيوحرارياً كثيراً ما تتواجد جيوب مغلقة مليئة بالماء والغازات الساخنة بضغوط عالية وأحجام ضخمة وذلك على أعماق تتجاوز $5[km]$ ويتطلب استثمارها إمكانية السيطرة على درجات الحرارة وضغوط هائلة لدى الوصول لها تكنولوجياً.
6. في المناطق الأكثر نشاطاً جيولوجياً تتواجد في طبقات على عمق أقل من $5[km]$ الماغما المنصهرة وهي قابلة نظرياً للاستثمار والصعوبة تكمن في درجات الحرارة والضغوط الهائلة لهذه الماغما.

يتجاوز الانتاج (الاستثمار) العالمي للطاقة الجيوحرارية حالياً $30[kW]$ حوالي نصفها يستخدم لتوليد الكهرباء أما النصف الآخر فيستثمر على شكل طاقة حرارية مباشرة لأغراض التدفئة والتكييف والتزويد بالماء الساخن بالإضافة إلى بعض الأحمال التكنولوجية طبعاً يكاد يكون هذا الرقم لا يذكر بالمقارنة مع الاحتياطي العالمي وبالتالي فإن آفاق استثمار الطاقة الجيوحرارية هي آفاق واعدة ولا تزيد كلفة انتاج واحدة الطاقة الكهربائية من هذا المصدر في المنشآت العاملة حالياً عن كلفة الانتاج في محطات الطاقة التقليدية كافة التطبيقات المنطلقة من الفقرات السابقة ما عدا الفقرة (4) لا تعتبر صديقة للبيئة تماماً في تلويث البيئة يكون في بعض الأحيان شديداً وذلك

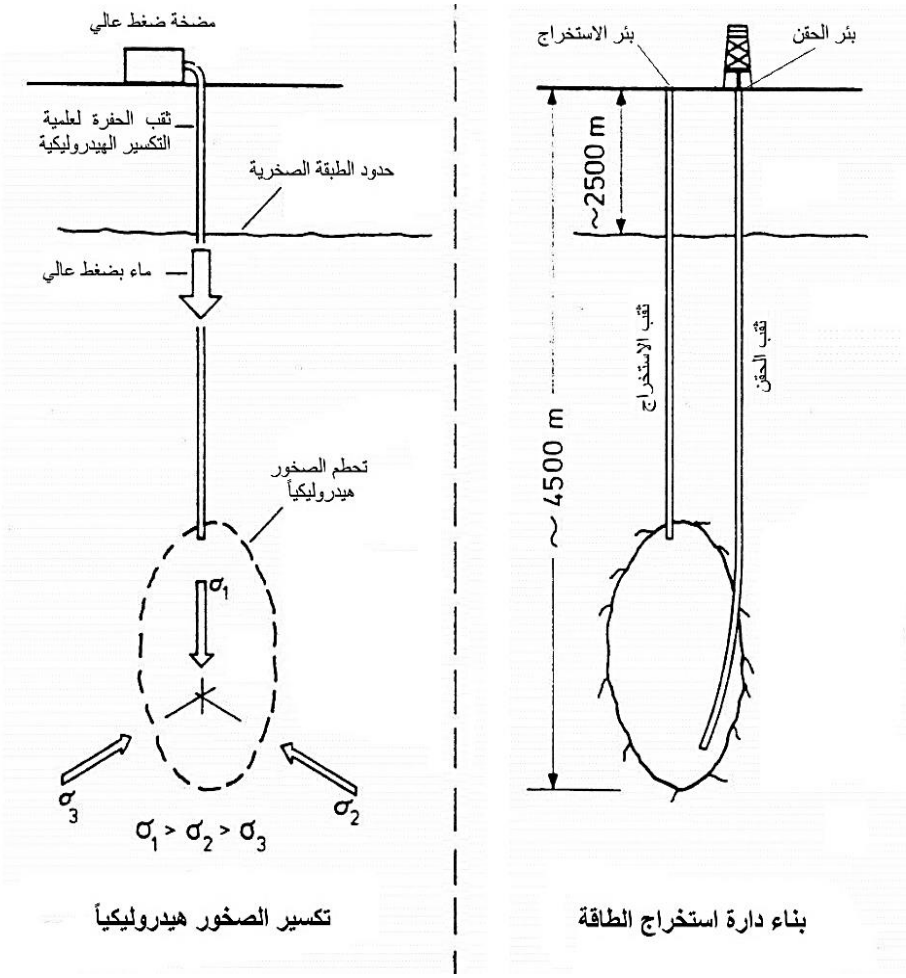
بسبب التدفقات الغازية والملحية الضارة كالكبريت والبور والأمونياك وحمض الكبريت وأملاح أخرى، وذلك لآن إعادة حقن هذه المواد إلى الطبقات التي خرجت منها ليست دائماً ممكنة كما أن ذلك يتسبب في زيادة كلفة الانتاج في حال كان الحقن ممكناً بالإضافة إلى ذلك فإن هذه المواد تتسبب بضرر لشبكة الأنابيب والتجهيزات المستخدمة في دارات تحويل الطاقة.

من سلبيات الاستثمارات المذكورة:

انخفاض المردود في حالة انخفاض درجات الحرارة إذا أن مردود توليد الكهرباء في هكذا منشآت لا يتجاوز 15% ، إلا ان كمية كبيرة من الطاقة المهدورة يمكن الإفادة منها في مجالات أخرى (تدفئة ، ماء ساخن) إن الاستجرار المستمر للماء والغازات من طبقات نشطة جيولوجياً ولفترة طويلة ليس مضمون النتائج من الناحية الزلزالية ويجب مراعاة ذلك في حال الاستجرار طويل الأمد ربما كانت طريقة استثمار طاقة الصخور الحارة الجافة (في المناطق النشطة حرارياً) (وفق الفقرة 4) هي الأكثر موضوعية وقابلية للانتشار الواسع .

ويبين الشكل (12-2) طريقة الإفادة من حرارة الصخور الجافة الحارة التي تم تطويرها في الولايات المتحدة تحت عنوان Hot-Dry-Rock-Metlod بينما يبين الشكل (12-1) طريقة الحفر والتحضير لبناء منشأة لاستثمار الطاقة الحرارية من الصخور الحارة الجافة.

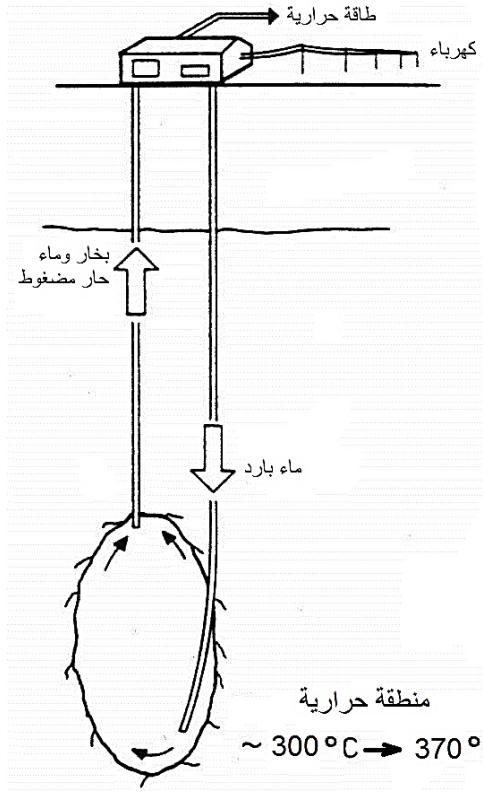
بالوصول إلى صخور على عمق حوالي $5 \div 4[km]$ درجات حرارة $300 \div 370[°C]$ يمكن الحصول على بخار جاف ومحمص مضغوط كفاية لتشغيل عنفة لتوليد الطاقة الكهربائية .



شكل (12–1) (طريقة الصخور الحارة الجافة لاستثمار الطاقة الجيوحرارية)

يبين الشكل (12–2) دارة استخراج واستثمار الطاقة الحرارية للصخور الحارة وانتاج الطاقة الكهربائية.

ينمو استثمار الطاقة الجيوحرارية عالمياً بشكل سريع ويشمل التطوير البحث عن مصادر لهذه الطاقات بالإضافة إلى تطوير التقانات والطرق المستخدمة.

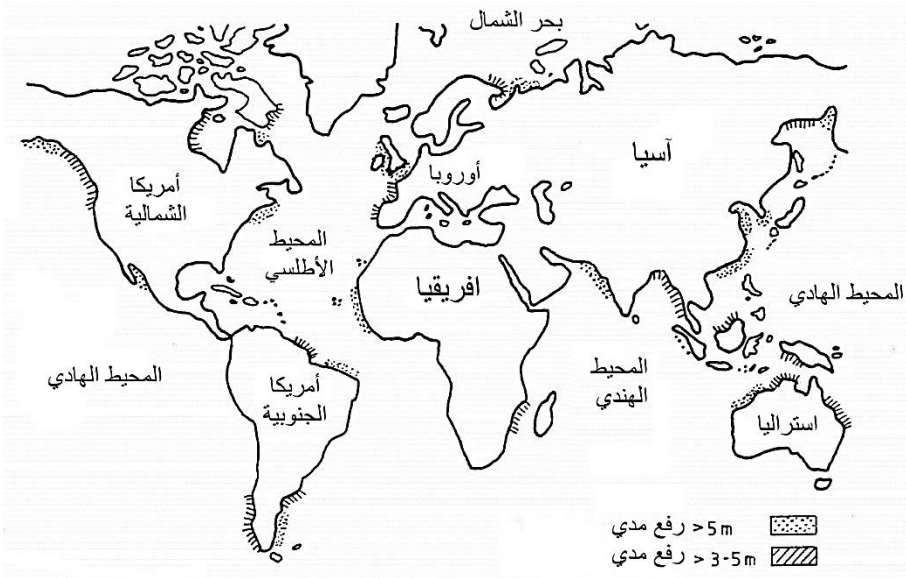


شكل (12–2) (معمل انتاج الطاقة الكهربائية من الطاقة الجيوحرارية)

12– 2 طاقة المد والجزر:

تؤثر قوة جذب القمر والشمس للأرض على منسوب مياه المحيطات والبحار وبسبب دوران الأرض حول محورها يكون هذا التأثير دورياً، ويؤدي ذلك إلى ما يسمى الرفع المدي الذي يبلغ في المحيطات المفتوحة حوالي $1[m]$ لكن هذا الرفع المدي يمكن أن يصل في بعض المناطق الشاطئية (الخلجان ومصبات الأنهار) حتى $20[m]$. والسبب في ذلك هو ظاهرة الطنين التي تؤدي إلى تراكم طاقة الأمواج، وكذلك ما يسمى بالتأثير القمعي لهذه المناطق حيث تكون الخلجان عادة ذات فم واسع ونهاية ضيقة على شكل قمع يؤدي إلى جمع وتركيز طاقة الأمواج في بقعة ضيقة.

يقدر الاحتياطي العالمي من طاقة المد والجزر بحوالي $3 \cdot 10^6[MW]$ أو حوالي $95[EJ/a]$. لكن هذه الطاقة تعتبر قابلة لاستبخار تقنياً فقط في المناطق التي تجاوز فيها الرفع المدي $3[m]$. أما الاستثمار الاقتصادي لمحطات توليد كهربائية بطاقة المد والجزر يتطلب رفع مدى يتجاوز $5[m]$ يبين الشكل 12–3 توزيع مناطق المد والجزر القابلة نظرياً للاستثمار في العالم.



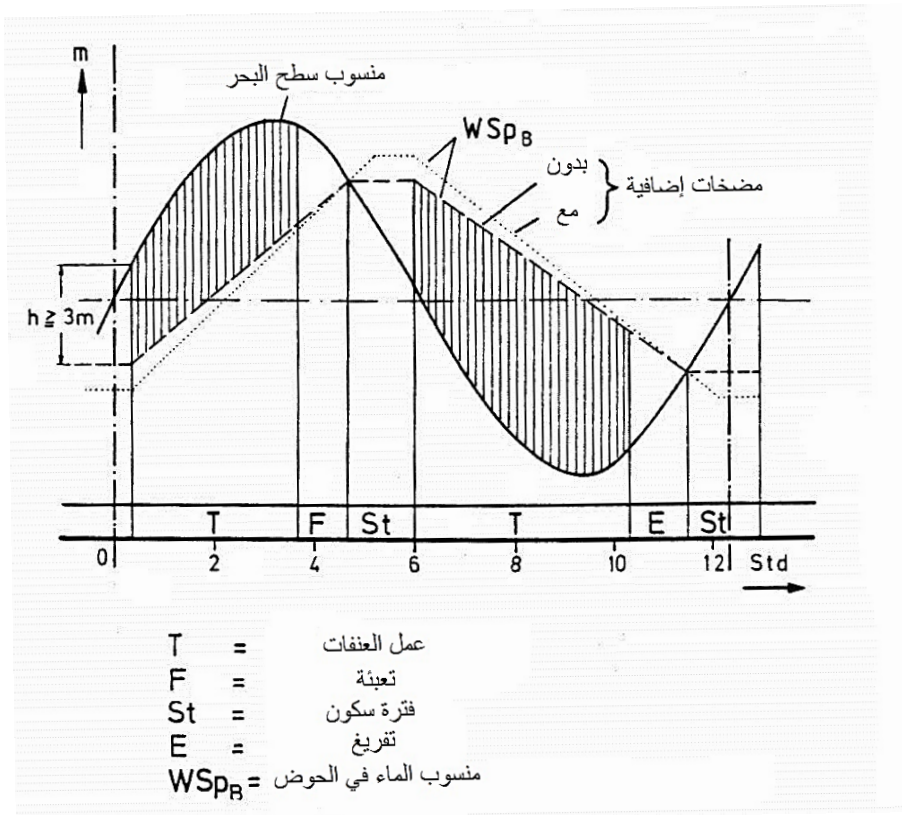
شكل (12–3) (توزيع مناطق المد والجزر القابلة للاستثمار في العالم)

تشير تقديرات الأبحاث على مناطق المد والجزر إلى قيمة احتياطي لا تتجاوز $360[GW]$، وبناء على اعتبارات واقعية للتقانات المتاحة والكلفة وشغل مناطق المد والجزر مكانياً وأيضاً بمشاريع ذات أهمية أكبر فإن فقط حوالي 10% من هذا الاحتياطي يعتبر قابلاً تقنياً واقتصادياً للاستثمار في الوقت الحاضر .

يوجد عالمياً فقط القليل من محطات الطاقة العاملة بطاقة المد والجزر ومن هذه المحطات واحدة في خليج رانس في فرنسا وفي مدينة غوبسلوغوبسك في روسيا ومحطة في كندا واثنتان في الصين وتعتبر محطة خليج لانس هي الأكبر والوحيدة التي يمكن النظر إليها كمحطة ذات أهمية اقتصادية مقنعة،

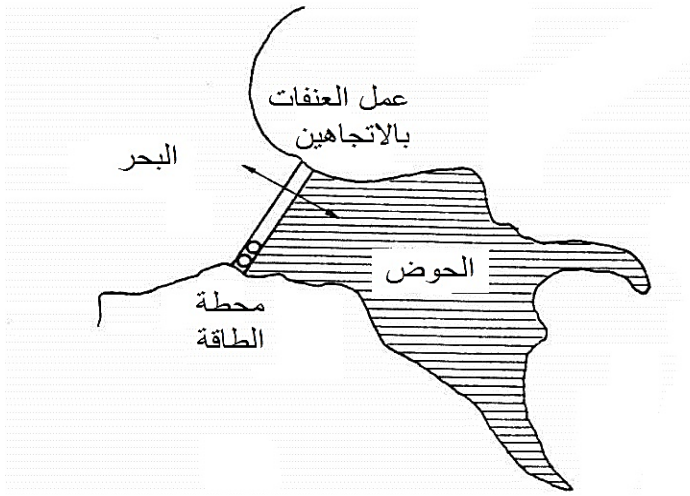
يبلغ الرفع المدي الوسطي لهذه المحطة حوالي [8.5[m وتنتج حوالي [240[MW منذ عام 1966 .

يبين الشكل (12–4) مخطط العمل التصميمي المبدئي لهذه المحطة، ويظهر من المخطط أنه ورغم إضافة مضخات مساعدة فإن توليد الكهرباء يتوقف مرتين يومياً.



شكل (12–4) (مخطط العمل التصميمي المبدئي لمحطة طاقة المد والجزر)

تبلغ فترة المد الوسطي حوالي 12 ساعة و25 دقيقة مما يؤدي إلى انزياح فترات التوقف يومياً بمقدار 35 دقيقة مما يتسبب في وقعها أحياناً ضمن فترات الحمل الأعظمي وهي سلبية يصعب تجاوزها.



شكل (12–5) (مخطط مبسط لتوضيح محطة التوليد بالنسبة للحوض والبحر في محطة طاقة المد والجزر)

إن الاحتياطي العالمي القابل للاستثمار تقنياً واقتصادياً من طاقة المد والجزر يعتبر نسبياً صغيراً ولا يمكن النظر إليه كأحد الأشكال الهامة للطاقات المتجددة بالإضافة إلى ذلك فإن المتاح من هذه الطاقة يتواجد في أماكن محدودة في العالم كما لاحظنا ولا يمكن للقطر العربي السوري الإفادة من هذا الاحتياطي. وما تم التطرق له يهدف إلى إيضاح هذه الطاقة وليس إلى العمل على استثمارها.

12 – 3 طاقة الأمواج البحرية:

تعتبر طاقة الأمواج البحرية أحد أشكال التحولات الطبيعية لطاقة الرياح أو بمعنى آخر بأن الأمواج البحرية تنتج عن طاقة الرياح للأمواج البحرية طاقة حركية وكذلك طاقة كامنة تتناسب استطاعة الأمواج البحرية لكل $1[m]$ من جبهة الموجة طرداً مع جداء مربع ارتفاع الموجة وتردد شريطة عدم وجود احتكاك مع اليابسة (أي في عرض البحر)

أو :
$$P \sim H^2 f \left[\frac{W}{m}\right]$$

p : الاستطاعة الكلية $[w/m]$

H : ارتفاع الموجة $[m]$

f : تردد الموجة $[1/S]$

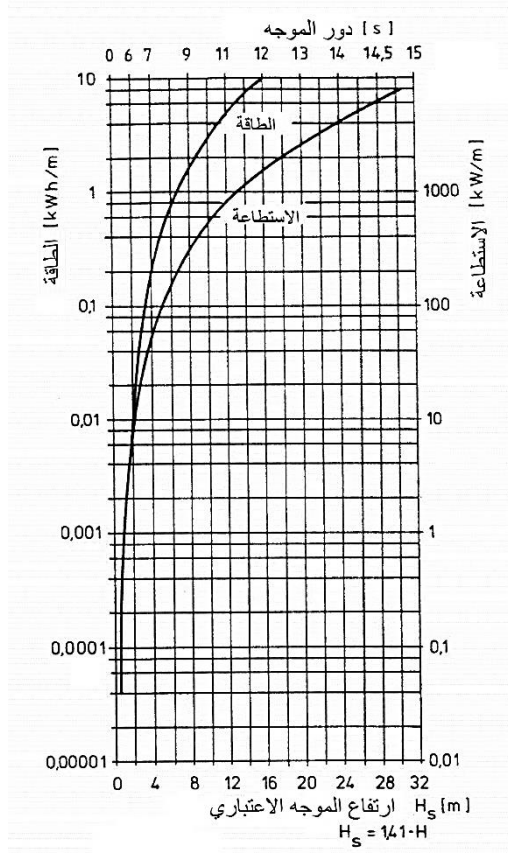
لتقويم الطاقة المتاحة من الأمواج يتم الاستعانة بمخططات تسمى الطيف القياسي للأمواج وتمثل هذه المخططات العلاقة بين ارتفاع الأمواج ودورها وتسمح هذه المخططات باستنتاج الاستطاعة وبالتالي الطاقة المتاحة كتابع لارتفاع الأمواج وترددها، يبين الشكل (12-6) مخططاً لطيف قياسي لمنطقة متوسطة الغنى بالأمواج.

ونظراً لعدم توفر قياسات لمناطق كثيرة في العالم فإنه يصعب تقدير الاحتياطي العالمي من هذه الطاقة.

في منشآت طاقة الأمواج يكون الارتفاع الاعتباري (الفعال) للأمواج H_S أكبر من الارتفاع المقاس وذلك بسبب توزع الطاقة على عرض الموجة وعدم تركزها في نقطة الارتفاع الأعظمي (المقاس) أو $H_S = 1.41H$.

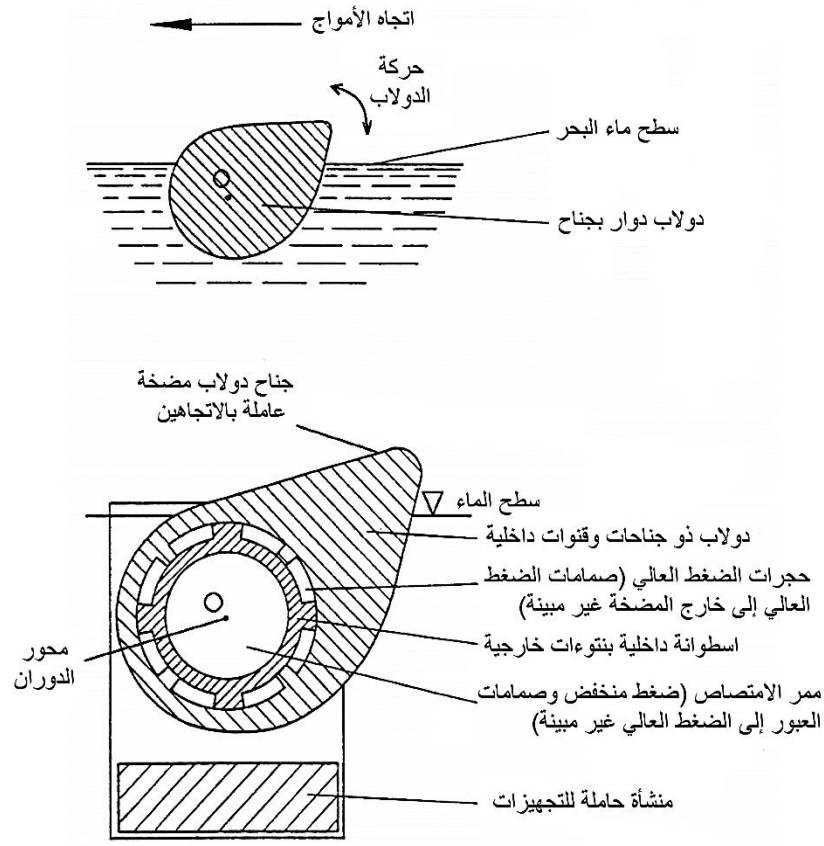
يلاحظ من الشكل أنه عند ارتفاع الأمواج $H = 1.5[m]$ ودور موجة قدره $6.2[S]$ يكون الارتفاع الاعتباري $H_S = 2.11[m]$ وتكون استطاعة الموجة النوعية تساوي $14[kW]$ لكل متر من جبهة الموجة وهذا يعني طاقة متاحة قدرها $14[MW]$ لكل $1[km]$ من جبهة الموجة.

يبين الشكل (12-7) مبدأ محطة طاقة أمواج منسوبة لسالتر Salter عناصر العمل الرئيسية للنظام عبارة عن اسطوانتين: خارجية ذات جناح قابل للدوران حول محور O (دوران محدود) بفعل حركة الأمواج صعوداً وهبوطاً الدولاب مفرغ من الداخل على شكل اسطوانة داخلية ذات نتوءات داخلية أيضاً.



شكل (12–6) (طيف الأمواج القياسي لمنطقة متوسطة الغنى بطاقة الأمواج)

أما الأسطوانة الداخلية فثابتة وذات نتوءات خارجية تداخل مع نتوءات الأسطوانة الخارجية لتشكل حجرات، تعمل النتوءات الخارجية لمكبس المضخة على مسح الحجرات يمسناً ويساراً عند صعود وهبوط مستوى سطح الماء وتدفع سائل العمل الذي يتم امتصاصه عبر صمامات سحب تصل جوف الأسطوانة الداخلية (ممر الامتصاص) بالحجرات بين الأسطوانتين. وعند ضغط السائل داخل الحجرات يندفع عبر صمامات الضغط العالي (صمامات الدفع) إلى دارة العمل. تستخدم في دارة العمل سوائل خاصة (زيوت) وتكن منفصلة تماماً عن الماء المحيط.



شكل (12–7) (مخطط مبدأي لمحطة طاقة أمواج حسب سالتر(Salter)

وتتألف دارة العمل من نظام عنفة ومولد كهربائي. حتى يصبح هذا النظام ذو جدوى لا بد من توفر عدة شروط منها العمر الكافي وتحمل ظروف العمل الاستثنائي بالإضافة إلى حل مشكلة تخزين ونقل الطاقة المنتجة، في الوقت الحاضر لا تجد هذه الانظمة تطبيقاً واسعاً في مجال انتاج الطاقة بشكل اقتصادي ومع ذلك هناك تطبيقات محدودة في حالات خاصة لإنتاج كميات محدودة من الطاقة عند الحاجة لها في أعالي البحار.

12 – 4 طاقة التيارات البحرية:

تحدث في البحار نتيجة للفوارق الحرارية، وتباين تدفقات الأنهار من بحر لآخر تيارات ذات طاقة عظيمة يمكن الإفادة منها نظرياً لتوليد الطاقة وتكون هذه التيارات أكثر وضوحاً وسرعة عند الخلجان والمضائق لكن الإفادة من هذه الطاقة دونها صعوبات تقنية هائلة ما يجعل البحث في استثمارها دون معنى على الأقل في الوقت الحاضر.

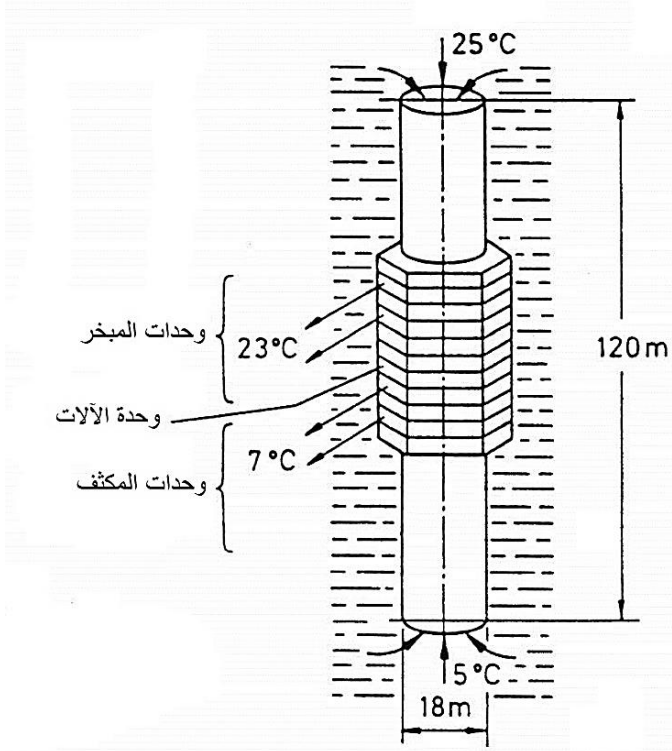
12 – 5 طاقة الوسط المحيط:

12 – 5 – 1 محطات الطاقة الحرارية لمياه البحار:

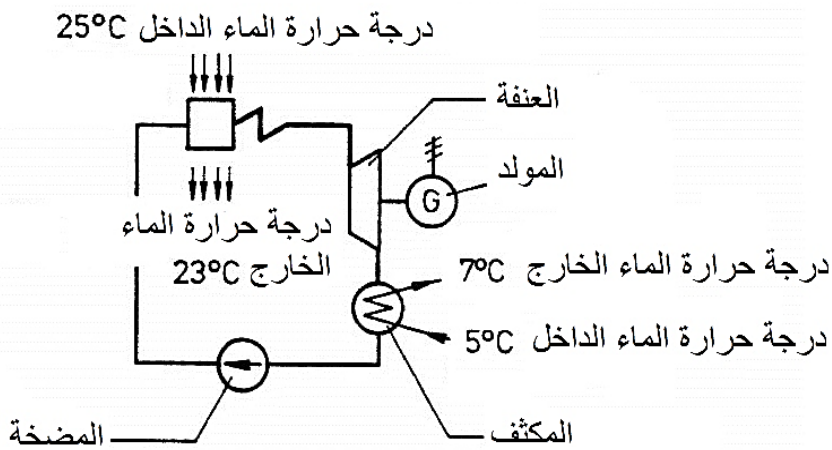
لاحظنا عند دراسة الموازنة الحرارية للكرة الأرضية أن القسم الأعظم من الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض يتم امتصاصه من سطح الأرض المائع واليابس ليتحول إلى طاقة حرارية ترفع درجة حرارة الأرض والبحر والهواء.

في البحار الاستوائية يتم تحويل أكثر من 20% من الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية في الماء مما يجعل سطح البحر ذو درجة حرارة تزيد عن درجة حرارة الأعماق بمقدار $\div$ 20 $30\ [°C]$ مما يسمح بالإفادة من فرق درجات الحرارة هذا لبناء محطة طاقة تعمل وفق دورة رانكين.

يبلغ الاحتياطي العالمي من هذه الطاقة حوالي $0.72 \cdot 10^6 [EJ/a]$ أو ما يعادل آلاف المرات من الطلب العالمي على الطاقة إلا أن مردود عملية الإفادة من هذه الطاقة لا يتجاوز $3\% \div 1$ وذلك بسبب فرق درجات الحرارة المتاح والصغير نسبياً $\div \Delta t = 20$ $30[°C]$ مما يحتاج إلى تدوير كميات كبيرة من (حامل الطاقة) الماء .



شكل (12–8) (محطة طاقة بحرية تعمل على فرق درجات الحرارة بين سطح البحر وأعماقه)



شكل (12–9) (دارة العمل لمحطة الطاقة المبينة في الشكل 12– 8)

وبسبب صعوبة نقل الطاقة لا تزال إمكانية الإفادة من هذه الطاقة مقتصرة على المناطق القريبة من السواحل. بالإضافة إلى صعوبة النقل هناك صعوبة التخزين وسلسلة أخرى من الصعوبات التقنية يبين الشكل (12–8) مخطط مبدأي لمحطة طاقة بحرية تعمل على فرق درجات الحرارة المذكورة بينما يبين الشكل (12– 9) دارة العمل لمحطة الطاقة المذكورة.

12–5–2 المضخات الحرارية:

يمكن استخدام المضخات الحرارية للإفادة من طاقة الوسط المحيط لا سيما تلك الناتجة عن التسخين الشمسي لرفع المنسوب الحراري لهذه الطاقة والحصول على طاقة حرارية عند درجات حرارة مناسبة لأغراض التدفئة وتحضير الماء الساخن.

كمصادر طاقة طبيعية (حرارية) يمكن أن تكون التربة أو الماء أو الهواء ويمكن الإفادة من الطاقة الشمسية بنظم فعالة (أي بواسطة نظام تسخين ماء أو هواء شمسي) ويمكن أيضاً الإفادة من الطاقة الجيوحرارية ذات المنسوب المنخفض عند توفرها أما المصادر الصناعية المتاحة فهي غالباً إما هواء مطرود أو ماء تبريد تم رفع درجة حرارته في مكثفات محطات الطاقة أو حتى مياه الصرف ذات درجات الحرارة المناسبة ومن المضخات الحرارية شائعة الاستخدام المضخات الحرارية المكبسية وكذلك المضخات الحرارية الامتصاصية.

يمكن لمحركات الضواغط أن تعمل على الغاز أو الديزل وعندها يمكن الإفادة أيضاً من الحرارة المنبعثة لتدويرها وإعادة استخدامها في المضخة الحرارية نفسها أو إضافتها إلى الطاقة الناتجة من المضخة الحرارية.

12–6 طاقة جريان الماء (الأنهار):

إن الماء المتبخر من المسطحات المائية والنباتية على الأرض بفعل طاقة الإشعاع الشمسي يكتسب طاقة كاملة بعد صعوده إلى طبقات الجو، وعند هطوله مطراً أو ثلجاً يتخلى عن هذه الطاقة جزئياً لدى الهطول والجزء الآخر عند جريان الماء على سطح الأرض مندفعاً نحو المنخفضات وغالباً نحو البحر يمكن الإفادة من ضغط الجريان لهذا الماء وتحويلها إلى طاقة ميكانيكية بواسطة عنفات ومن

ثم إلى طاقة كهربائية عبر مولدات كهربائية مناسبة. ولتأمين استقرار الطاقة المنتجة عند وفر الهطول أو قلته يلجأ عادة إلى بناء أحواض تخزين مناسبة (سدود) تفيد ليس فقط في توليد الطاقة بل أيضاً في حفظ الماء إلى الفترات الي تزداد فيها الحاجة له ، يستفاد أيضاً من طاقة جريان الماء لإدخال الطاقة في خزانات أو بحيرات طبيعية أو صناعية متوضعة على ارتفاعات مناسبة حيث يتم ضخ الماء من أنهار أو أحواض سفلية في فترات الطلب القليل على الطاقة ليعاد استخدام طاقة هذا الماء بواسطة محطة طاقة مائية مناسبة في فترات الطلب على الطاقة وذلك بعد أن تكون قد تحولت إلى طاقة كهربائية .

يتم استثمار طاقة المياه الجارية بشكل واسع ومكثف في البلدان المتطورة وينتشر هذا الاستثمار بشكل مطرد في البلدان النامية.

يبلغ الاحتياطي العالمي من هذه الطاقة حوالي $160[EJ/a]$ أما القابل تقنيا للاستثمار من هذا الاحتياطي قد يتجاوز $48[EJ/a]$، أما القابل للاستثمار بشكل اقتصادي فيتجاوز $33[EJ/a]$. والمستثمر حالياً هو في حدود $11.5[EJ/a]$ عالمياً.

معظم الاحتياطي غير المستثمر يتواجد في الدول النامية، وذلك بسبب صعوبات اقتصادية (مادية) وبيئية. بينما يتم استثمار أكثر من 79% من الاحتياطي في أوروبا حيث يتم استثمار حوالي $3.2[EJ/a]$ من أصل احتياطي قدره $3.3[EJ/a]$.