

الباب الرابع  
الطاقة الأرضية

**GEOHERMAL ENERGY**

في نهاية هذا الباب يكون الطالب قادر على:-

- التعرف على الطاقة الأرضية.
- التعرف على مميزات وعيوب طاقة الرياح.
- التعرف على انواع الحقول الارضية والخصائص العامة لهذه الحقول.
- التعرف على استخدامات الطاقة الارضية.
- العمق المناسب للاستفادة من الطاقة الارضية.

## الطاقة الأرضية

## Geothermal Energy

## مقدمة:

الارض خزان واسع من الحرارةه فهى ومنذ بدأت بالتكوين قبل مئات ملايين السنين مازالت تبرد وتفقد حراراتها الجوفيه المتجهه الى السطح والى الغلاف الغازى المحيط بالكره الارضيه. ومعلوم أن جوف الارض على اعماق تصل الى مئات الكيلومترات يتكون من مواد منصهره حاره جدا, أما قشره الارض الصلبه فإنها لا تتعدى عشرات قليله من الكيلومترات لكن حتى فى هذه القشره الصلبه مازال هناك الكثير من المناطق التى تثور فيها البراكين وتتفجر منها الينابيع الساخنه بينما يندفع البخار بقوه كبيره فى مناطق أخرى, إن ثوره البراكين واندفاع البخار وتفجر الينابيع الساخنه هى من الادله الواضحه والشواهد الماديه على وجود مخزون كبير من الطاقه الحراريه فى قشره الارض الصلبه. وحيث إن باستطاعه الانسان تحويل الطاقه من شكل الى اخر فإن هذا الخزان من الطاقه الحراريه الموجوده فى قشرة الارض يمثل مصدرا احتماليا يستطيع الانسان استغلاله لخدمته فى اغراضه المختلفه.

عرف الانسان الطاقه الارضية منذ الاف السنين واستخدمها فى تلبيه بعض أغراضه بشكل يتلاءم ومستوى المعرفه التى امتلكها الانسان فى ذلك الوقت. ورغم أن الانسان فى السابق لم يكن على معرفه بطبيعه هذا المصدر الحرارى واسبابه الا انه مع ذلك استطاع التعامل معه وتسخيره لخدمه احتياجاته وليس أدل على ذلك من حقيقه ان الانسان عرف فوائد الاستشفاء فى ينابيع المياه المعدنيه ومارسها منذ فترات بعيده ومازال يمارسها الى وقتنا الحاضر وقد امتد وجود الينابيع الساخنه عبر معظم مناطق العالم من اوروبا مرورا بالشرق الاوسط وشمال افريقيا الى الهند والصين.

ومازالت هذه الينابيع موجوده وقيد الاستعمال لاغراض السياحه والاستشفاء فى جميع انحاء العالم. فلو نظرنا إلى العالم العربى لوجدنا توفر هذه الينابيع فى فلسطين والعراق ومصر والجزائر. وأما خارج العالم العربى فهناك وسط اوروبا حيث توجد مثل هذه الينابيع الساخنه فى تشيكوسلوفاكيا. وفى شمال

أوروبا توجد في إيرلندا بشكل مكثف. ثم هنالك الولايات المتحدة واليابان والاتحاد السوفيتي ومناطق مختلفة من أمريكا اللاتينية ونيوزيلندا.

لكن إذا كانت استعمالات الانسان لهذا المصدر من الطاقة قد تحددت بمستوى معرفته العلمية وقدراته التكنولوجية فان التطور العلمى والتكنولوجى الهائل الذى شهده العالم بالاضافة الى ازدياد حاجات الانسان للطاقة قد أديا إلى توسيع مجالات استخدام هذا المصدر من الطاقة, ويمكن القول ان توسيع استخدام الانسان للطاقة الارضية وتكثيفه قد بدأ فى أوائل هذا القرن. فى عام 1904 تم بناء أول محطة تستخدم البخار المندفَع من باطن الارض لادارة التوربينات لتوليد الطاقة الكهربائية فى ايطاليا فى منطقة لارديريلو ثم أخذت استعمالات الطاقة الارضية بالتوسع وتعددت الاغراض والمجالات التى استخدمت فيها كتدفئة البيوت المحمية وتدفئة البيوت الزجاجية لاغراض الزراعة فى المناطق الباردة, وفى منطقة واركاى حيث تتوفر هناك مصادر للمياه الساخنة فى جوف الارض والتى ما إن تندفع إلى السطح حتى يتحول قسم منها إلى بخار بفعل انخفاض الضغط عليها, ويستخدم هذا البخار الناتج فى تشغيل توربينات تولد الطاقة الكهربائية, كذلك استعملت المياه الساخنة فى نيوزيلاندا فى تبريد أحد الفنادق. وفى عام 1960 تم تشغيل محطة كهربائية تعمل على البخار فى كاليفورنيا فى الولايات المتحدة الامريكية. ثم فى عام 1967 قام الاتحاد السوفيتى بتشغيل محطة كهربائية يستعمل فيها غاز الفريون لتشغيل التوربينات. زكان السبب وراء استعمال الفريون هو ان درجة حرارة المياه الجوفية ليست عالية جدا إلى درجة تمكنها من ان تتحول الى بخار حال وصولها الى السطح فكان ان تم استعمال هذه الغازات التى تتبخر على درجات حرارة أقل من درجة غليان الماء. وبذا يتم تبخير هذه الغازات ورفع ضغطها ثم استعمالها بعد ذلك فى تشغيل التوربينات وتوليد الطاقة الكهربائية. هناك محطات لتوليد الطاقة الكهربائية تعمل على مصادر البخار والمياه الساخنة فى كل من اليابان والمكسيك. بالاضافة لتوليد الطاقة الكهربائية فهناك العديد من الاستعمالات المختلفة الصناعية والزراعية والطبية.

## انواع الحقول الارضية (الجيو حرارية):

يمكننا أن نقسم الحقول الارضية إلى ثلاثة أنواع بشكل عام:

## 1- حقول البخار الجاف:

حيث تكون الطبيعة الغالبة لهذه الحقول هي وجود خزانات من أبخرة الماء على درجات حرارة عالية وتحت ضغوط عالية أيضا ويعتبر هذا النوع من الحقول أكثر ملاءمة لأغراض توليد الطاقة الكهربائية إذا ان المطلوب لا يتعدى القيام بعمليات الحفر لاتاحة المجال امام البخار ليندفع بقوة الى السطح. ومن ثم نقل هذا البخار في انابيب غلى توربينات لتشغيلها ونتاج الكهرباء.

## 2- حقول الماء الساخن:

حيث يغلب في هذه الحقول توفر الماء الساخن. وقد يوجد الماء على درجات حرارة عالية وتحت ضغوط عالية أيضا مما يسمح في هذه الحالة بارتفاع درجة حرارة الماء إلى أكثر من 100 °م دون حدوث الغليان بسبب وجود هذه المياه تحت ضغط عال. إذ المعروف انه كلما ازداد الضغط الواقع على الماء كلما ارتفعت درجة غليانه, وعليه فقد توجد هذه المياه في خزانات كبيرة وتكون حرارتها مرتفعة وكذلك ضغطها, وحين يرتفع الماء إلى السطح ويتعرض إلى الضغط الجوى الذى هو أقل من الضغط المؤثر على الماء فى باطن الارض, فان الماء يتبخر بحكم انخفاض الضغط ويتحول قسم منه إلى بخار يمكن دفعه فى أنابيب وتوصيله إلى التوربينات لتشغيلها وتوليد الكهرباء. أما الماء المتبقى فيمكن استعماله فى عدد من الأغراض الأخرى الملائمة وهى كثيرة.

أما النوع الأخر من هذه الحقول فهى تلك التى تحوى مياهها الساخنة لكنها ذات درجة حرارة أقل من درجة الغليان, وقد توجد هذه المياه تحت ضغوط منخفضة نسبيا بحيث أنها تبقى فى حالة السيولة حتى حين وصولها إلى سطح الارض. إن مصادر المياه الساخنة هذه لا تحوى البخار ولذلك فمن أجل استعمالها فى توليد الطاقة الكهربائية فى التوربينات تستخدم لتبخير غازات عضوية مثل الفريون أو الايزوبيوتين ومن ثم تستعمل هذه الغازات فى تشغيل توربينات لتوليد الطاقة الكهربائية, وبالإضافة إلى توليد الكهرباء فإنه يتم حاليا

استعمال هذه المصادر من المياه الساخنة في العديد من الدول لاغراض مختلفة صناعية وزراعية وطبية.

### 3- حقول الصخور الحارة:

وتتميز هذه الحقول بكونها لا تحتوى على مياه أو سوائل أخرى تسهل من عملية نقل الحرارة من باطن الأرض إلى سطحها. إن هذا المصدر من الطاقة الأرضية هو الأكثر شيوعا إذ إن درجة حرارة الأرض تزداد مع ازدياد العمق وقد تصل إلى عدة مئات من الدرجات المئوية على أعماق لا تزيد عن كيلو مترات قليلة, وحيث إن تكنولوجيا الحفر قد شهدت الكثير من التقدم والتطوير بفعل عمليات التعدين وحفر آبار البترول فإن مستوى التكنولوجيا الحالي يشكل أرضية صلبة يمكن استغلالها في البحث عن هذه المصادر والوصول إليها واستغلالها. وإلى الآن لم يتم استغلال هذا المصدر الكبير من الطاقة لكن البحوث جارية لاستغلاله.

إن أحد العوائق الرئيسية في وجه استغلال هذا المصدر هو كيفية نقل الحرارة من باطن الأرض إلى سطحها. والفكرة الأكثر قبولا هنا هي ضخ كميات من المياه إلى باطن الأرض بحيث تصل إلى الصخور الحارة فتسخن وتتبخر ثم تعود إلى السطح بخارا يستعمل في توليد الكهرباء.

ويتوفر وجود الصخور الحارة في معظم أنحاء العالم وبشكل خاص في المناطق ذات النشاطات البركانية الحديثة حيث تتواجد مثل هذه الطبقات الصخرية الحارة على مسافة قريبة نسبيا من سطح الأرض, وكما ذكرنا سابقا فرغم أنه لم يتم استغلال هذا المصدر من الطاقة إلا أن نظرة حسابية سريعة ستكشف لنا عن المخزون الهائل من الطاقة التي مازال امام الانسان إمكان استغلالها, ونظرنا إلى خصائص هذه الصخور مثل الحرارة النوعية والكثافة ودرجة الحرارة ولو افترضنا إن بالإمكان تبريد هذه الصخور 200 °م لوجدنا أن كمية الطاقة الحرارية الناتجة تعادل حوالى خمسمائة ألف مليون كيلو وات من الطاقة الكهربائية, إن بإمكاننا من ثم تقدير الكمية الهائلة من الطاقة المخزونة في الصخور الحارة خاصة إذا ما أخذنا في الاعتبار الأبحار الهائلة من هذه الصخور.

## الخصائص العامة للحقول الأرضية (الجيو حرارية):

رغم ان مستوى المعرفة الحالية قد مكننا من تكوين صورة عامة عن الحقول الارضية إلا أن هناك الكثير من التفاصيل التي لا نعرف عنها سوى القليل, فنحن لا نعرف الكثير مثلا عن حركة المياه داخل هذه الخزانات وينطبق نفس الأمر على التيارات الحرارية التي تؤدي إلى تسخين هذه المياه والتي لا نعرف عنها الكثير. إن معرفتنا المحدودة هذه تشكل أحد العوائق في تحقيق استخدام امثل لهذه المصادر الحرارية, لكن مع ازدياد معرفة الانسان بالخصائص التفصيلية لهذه الحقول فستزداد بالتأكيد فعالية استخدام الحقول الجيوحرارية واستغلالها, وتصل حدود عدم معرفتنا عن أوضاع الحقول الجيوحرارية إلى درجة عدم القدرة على إعطاء تقديرات صحيحة لحجم هذه الحقول وكمية الطاقة المتوفرة فيها, ويلجأ العلماء والاختصاصيون في العادة إلى الاعتماد على التجربة وعلى المعلومات المتوفرة لديهم عن حقل ما لاعطاء بعض التقديرات عن حجم الحقول والطريقة المثلى لاستغلاله, لكننا رغم ذلك نملك صورة عامة عن توفرها في أية منطقة من أجل تكوين حقل جيوحرارى, وهذه الخصائص هي:-

**1-** وجود طبقة صخرية صلبة حارة تشكل المصدر الحرارى لتسخين المياه.إن مخزون المياه الموجود فى باطن الارض يحصل على حرارته من الصخور الحارة المجاورة, واذا لم تتوفر مثل هذه الصخور فان هذا يعنى غياب المصدر الحرارى وبالتالي لا ترتفع درجة حرارة المياه, وكما نعلم فإن هناك الكثير من مصادر المياه الجوفية التي يستخدمها الانسان فى الشرب والزراعة والصناعة لكنها ليست مياها حارة وهذا راجع إلى أن الخزانات لا تلاصق طبقات صخرية حارة كى تستمد الحرارة منها.

**2-** وجود خزان مائى مجاور للطبقة الصخرية الصلبة الحارة بحيث تتوفر الفرصة لانتقال الحرارة من الصخور الحارة إلى المياه الأبرد نسبيا من الصخور, وقد يحصل أن يفصل بين الماء وطبقة الصخور الصلبة الحارة طبقة صخرية مسامية تسمح للماء بالنفاذ خلالها للوصول إلى مخزون الصخور الحارة, وعند ملامسة المياه للصخور الحارة فانه يسخن وتقل كثافته ويرتفع مرة اخرى إلى خزان الماء ويحل بدلا منه ماء أبرد وأعلى

كثافة حيث يسخن بدوره وهكذا تستمر الدورة بحيث يسخن ماء الخزان الجوفى.

3- وجود طبقة من الصخور غير المسامية فتق خزان المياه تشكل عازلا حراريا وتقلل من تسرب الحرارة من خزان المياه إلى سطح الارض.

إن هذه الخصائص الثلاث هي من المتطلبات الأساسية لتكون حقول جيوحرارية وإذا كان وجود البخار هو السمة الغالبة لهذه الحقول فإنها تعرف بالحقول البخارية، أما إذا كان الماء الساخن هو السمة الغالبة فإنها تعرف بحقول السوائل. إن الدليل العملي والسهل على وجود مثل هذه الحقول هو وجود ينابيع المياه الساخنة أو اندفاع البخار من باطن الارض، ومع ذلك فقد توجد الحقول الجيوحرارية في بعض المناطق دون توفر الشواهد العملية على ذلك. أى بغياب وجود الينابيع الساخنة، لا بد في هذه الحالة من القيام بالبحث عن هذه الحقول.

تعتبر الحقول البخارية أكثر الحقول ملائمة في مجال استخدام الطاقة الجيو حرارية اذا أن استغلال هذه المصادر لا يتطلب سوى نقل البخار في أنابيب وتنقيته من الشوائب العالقة ومن ثم استخدامه في محطات توليد الطاقة الكهربائية. وأفضل الأمثلة على هذه الحقول محطات توليد الطاقة الكهربائية في لاريد بيريلو في ايطاليا والكيزرز في كاليفورنيا وماتسوكاوا في اليابان، وأما حقول المياه الساخن ذات الحرارة العالية والضغط العالي فإن البخار يتولد بسبب انخفاض الضغط على هذه المياه حين وصولها إلى السطح، وفي العادة يتحول حوالى 20% من هذا الماء إلى بخار بينما يبقى القسم الآخر بشكل ماء على درجة الغليان يمكن استخدامه في العديد من الأغراض.

### استخدامات الطاقة الأرضية:

كما ذكرنا سابقا، تتوفر الطاقة الأرضية بشكل مخزون حرارة في المياه الساخنة أو الأبخرة أو الصخور الحارة، وتتركز الاستخدامات الحالية لمصدر الطاقة هذا على حقول المياه الساخنة والبخار الحار بينما مازالت حقول الصخور الحارة قيد الدراسة والبحث والتطوير، أن وجود الطاقة على شكل مخزون مياه ساخنة وبخرة يعنى توفر العديد من مجالات الاستخدام لهذا المصدر ففى الكثير من مجالات استخدام الطاقة البترولية يجرى حرق المنتجات البترولية لانتاج المياه الساخنة أو الأبخرة واستعمالها من ثم فى العديد من الأغراض، وحيث إن الطاقة

الأرضية موجودة في الأصل بشكل مياه ساخنة وأبخرة فان استعمالها لا يتطلب سوى أعمال الحفر والوصول إلى هذا المصدر لاتاحة المجال أمام المياه أو الأبخرة للوصول إلى السطح ومن ثم استعمالها بشكل مباشر دون الحاجة إلى الدخول في حلقات وسيطية.

ويمكننا القول بان الطاقة الأرضية ما زالت تشكل نسبة ضئيلة جدا من مجمل الاستخدام العالمي من الطاقة, ومن المؤكد أن زيادة مساهمة هذا المصدر في تلبية احتياجات الانسان سيعتمد على مدى التطورات التكنولوجية وأعمال البحث التي تجرى مستقبلا.

ويمكن تقسيم الاستخدامات الحالية للطاقة الأرضية إلى قسمين رئيسيين

هما:

### 1- الاستخدامات الكهربائية:

ويقصد بذلك استخدام الطاقة الأرضية في توليد الكهرباء سواء بواسطة البخار الجاف أو البخار الرطب او استعمال الغازات العضوية, ويبلغ انتاج العالم من الطاقة الكهربائية من المصادر الأرضية حوالى 1362 ميغا وات وهو يعادل ثلث الاستعمال العام تقريبا, ويوضح جدول (4-1) توزيع إنتاج الطاقة الكهربائية في العالم من الطاقة الأرضية.

ونلاحظ من جدول (1) ان أمريكا هي اكثر الدول استخداما للطاقة الأرضية في توليد الكهرباء, ويليهما بعد ذلك كل من إيطاليا ونيوزيلاندا. والواقع أن أمريكا كانت تحتل المرتبة الثانية بعد ايطاليا فى مجال انتاج الكهرباء من الطاقة الأرضية إلا أن أزمة الطاقة أدت إلى تكثيف الجهود لاستغلال المصادر الأخرى ومنها الطاقة الأرضية. أما بالنسبة لايرلندا فرغم ان مصادر البخار والمياه الساخنة تتوفر بكثرة إلا أن انتاج الكهرباء لم تحتل مكانا مهما فى مجمل استعمالات الطاقة الأرضية هناك, ويعود السبب فى ذلك إلى أمرين: الأول هو توفر مصادر طاقة بديلة تتمثل بالمصادر الكهرومائية والثانى هو التركيز على استعمال الطاقة الأرضية يتم فى حقول اخرى مثل تدفئة المنازل وتسخين البيوت الزجاجية الزراعية, لكن وحيث ان ايرلاندا قد وصلت حدود استخدام معظم مصادرها من الطاقة الكهرومائية، فالأغلب أن يتم التركيز مستقبلا على استخدام الطاقة الأرضية فى توليد الطاقة الكهربائية.

جدول (4-1): انتاج الطاقة الكهربائية من الطاقة الأرضية

الدولة	كمية الطاقة الكهربائية بالميجا وات
اليابان	70.0
الاتحاد السوفيتى	5.8
الولايات المتحدة	52.2
ايطاليا	420.6
السلفادور	60.0
ايرلاندا	2.8
نيوزيلاندا	202.2
المكسيك	78.5
تركيا	0.5
المجموع	1362.4

## 2- الاستخدامات غير الكهربائية:

ويندرج تحت هذا النوع من الاستخدامات الكثير من المسائل الطبية والزراعية والصناعية. ففي ايرلاندا تستعمل المياه الساخنة فى تدفئة البيوت بشكل رئيسى. إذ فى عام 1974 كان حوالى 50% من سكان ايرلاندا يعتمدون على الطاقة الأرضية فى تدفئة منازلهم وقد ارتفعت هذه النسبة فى عام 1979 إلى 60% ثم إلى 70% فى عام 1980, وهناك الاستخدامات الزراعية حيث تم تدفئة 140 صوبة من البيوت الزجاجية الزراعية فى عام 1974, وفى نيوزولاندا تدخل مصادر البخار والماء الساخن فى صناعة الورق وتجفيف الاخشاب وأعمال

التدفئة والتبريد، وفي تشيلي تستخدم في تحلية المياه المالحة وفي أعمال التعدين في مناجم النحاس، أما في بلغاريا فإنها تستعمل في تدفئة المنازل والمستشفيات والمصانع وتدفئة البيوت الزجاجية الزراعية وتجفيف المحاصيل وبعض الأغراض الصناعية كصناعة الأغذية والمنسوجات والسيراميك والورق، أما في الفلبين فهناك خطط لاستعمال المصادر الجيوحرارية في إنتاج الملح وفي الاتحاد السوفيتي تستعمل في تدفئة المنازل وإذابة الجليد عن الطرقات، وفي كينيا يستعمل البخار المندفعمن الأرض في تجفيف المحاصيل، وفي الجزائر تستعمل الينابيع الساخنة في الأغراض الطبية، وفي الولايات المتحدة تستعمل في أعمال التدفئة والتبريد.

ويبلغ استعمال العالم من الطاقة الأرضية في مجالات الاستعمال غير الكهربائية حوالي 2276 ميغاوات أو ما يعادل ضعف كمية الطاقة الكهربائية المنتجة من هذا المصدر، وإن كان هناك من سبب لتفوق الاستعمالات الغير كهربائية على الانتاج الكهربائي فذلك لأن هناك العديد من المجالات التي يمكن استخدام الماء الساخن أو البخار فيها بشكل مباشر فتدفئة المنازل مثلا لا تحتاج سوى ترقية مياه الينابيع الساخنة ومن ثم ضخها في انابيب وتوزيعها على البيوت والمصانع والمستشفيات، وكذلك الامر بالنسبة لتدفئة البيوت الزجاجية الزراعية أو تجفيف المحاصيل، والسبب الاخر وراء زيادة استعمالات غير الكهربائية هو ان الكثير من مصادر الطاقة الأرضية توجد على شكل ينابيع مياه ساخنة درجة حرارتها أقل من درجة الغليان وبالتالي لا يتيسر استعمالها في توليد الكهرباء إلا باستعمال التوربينات التي تعمل على الغازات العضوية بدل البخار. ولذا فقد يكون المناسب في هذه الحالة استعمال المياه الساخنة في الأغراض الأخرى عدا توليد الكهرباء لان الامر في النهاية لا يعدو أن يكون توفير الطاقة بأشكالها المختلفة لخدمة اغراض الانسان العديدة.

تتوزع استعمالات غير الكهربائية لمصادر الطاقة الأرضية في عدة مجالات هي الطب والسياحة تليها الزراعة فالتدفئة فالاستعمالات الصناعية، ويوضح جدول (4-2) توزيع الاستعمالات الغير كهربائية في دول العالم المختلفة.

جدول (4-2): الاستعمالات الغير كهربائية للطاقة الأرضية بالميجاوات

الدولة	زراعية	طبية وسياحية	صناعية	تدفئة	المجموع
اليابان	339.57	628.79	56.78	27.68	1052.82
الاتحاد السوفيتى	233.71	116.03	11.44	71.04	432.22
الولايات المتحدة الامريكية	5.6	0.39	-	8.33	14.32
ايطاليا	0.6	-	-	-	0.6
بلغاريا	123.39	232.49	21.06	10.24	389.18
ايرلاندا	39.95	-	17.72	254.04	311.71
نيوزلاندا	-	-	43.33	32.23	75.56
المجموع	744.82	977.70	150.33	403.56	2276.41

## مشكلات الطاقة الأرضية:

مصادر الطاقة المختلفة لها مشكلاتها المختلفة والخاصة بكل نوع منها، فالصعوبات التى تعترض استغلال أحد هذه المصادر تختلف عن صعوبات استغلال المصدر الاخر، كذلك فان ما نعتبره مشكلة يجب حلها فى أحد هذه المصادر قد لا يكون له وجود فى عمليات استغلال المصدر الاخر، فلو نظرنا إلى الطاقة الشمسية والهوائية مثلا لوجدنا أن الطبيعة التناوبية لتوفر هذه المصادر تشكل أحد الجوانب التى يجرى التركيز عليها فى محاولة لدراسة أفضل الوسائل والسبل لتجنب الآثار الناتجة عن تناوبية توفر هذه المصادر، فنحن نعلم أن الشمس تشرق أثناء النهار فقط وأن إشعاعاتها الساقطة على مكان ما على سطح الأرض تتغير بتغير الفصول، وكذلك الامر بالنسبة للطاقة الهوائية حيث إن سرعة الهواء واتجاهاته ليست ثابتة وبالتالي فان الطاقة الناتجة ليست ثابتة أيضا مما يتطلب

التفكير الجدى لإيجاد وسائل لخرن الطاقة أثناء توفرها ثم إعادة استعمالها وقت الحاجة, إن مثل هذه المشكلات ليست موضع بحث عند الحديث عن استغلال الطاقة الأرضية لان خزان الطاقة هنا كبير وهائل ويمكن التحكم بكمية الطاقة المراد استخراجها ضمن المعطيات الطبيعية للحقل.

والطاقة الأرضية لها مشكلاتها الخاصة أيضا, والواقع أن هذه المشكلات تختلف باختلاف نوعية الحقول الحرارية, فالمشكلات الموجودة فى حقول البخار والماء الساخن تختلف عن مشكلات حقول الصخور الحارة, ومشكلات الصخور الحارة الصلبة تختلف عن مشكلات الصخور الحارة المسامية, ولتسهيل الامر سنناقش مشكلات حقول البخار والمياه الساخنة على حدة ثم نتبعها بنقاش مشكلات الحقول الصخرية الحارة.

### مشكلات حقول البخار والمياه الساخنة:

#### 1- مشكلات البحث:

طرق البحث عن مصادر المياه الساخنة والأبخرة تشبه تلك المستعملة فى البحث عن البترول, إلا أن البحث عن المصادر الجيوحرارية أكثر صعوبة لان الدلائل التى تشير إلى وجود خزانات من البخار والماء الساخن لا تعطى حكما قطعيا إلا بعد القيام بالحفر والتأكد من وجود مثل هذه المصادر كما ان وجود هذه البدائل لا تعطى حكما قطعيا عن مدى حجم الخزان الحرارى, وتتضمن عمليات البحث الأولية فى العادة القيام بالحفر عدة ابار على أعماق تصل إلى مئات الأقدام وذلك من أجل إجراء الاختبارات على طبيعة تركيب التربة وتوزيع درجات الحرارة فى باطن الأرض والبحث عن الدلائل الأخرى التى تشير إلى وجود مصادر حرارية, وتجرى عمليات البحث هذه فى المناطق التى تتوفر فيها دلائل اولية على إمكان وجود مصادر حرارية كتوفر ينابيع المياه الساخنة او تصاعد البخار من باطن الأرض, أو فى المناطق التى تعطى فيها الدراسات السطحية دلائل على توفر مثل هذه المصادر كالدراسات الجيوكيميائية للمياه الطبيعية والمقاومة الكهربائية للأرض فى المنطقة المذكورة ودراسة الهزات الأرضية التى تعرضت أو تتعرض لها تلك المنطقة.

**2- مشكلات الحفر:**

تبدأ أعمال الحفر لاستغلال هذه المصادر الحرارية بعد توفر الشواهد والأدلة على وجود مثل هذه المصادر, ولأعمال الحفر فى الحقول الحرارية مشكلاتها الخاصة, فالادوات المستعملة حاليا فى حفر الحقول الحرارية هى ذات الأدوات التى تم تطويرها طوال تاريخ البحث والتنقيب عن البترول وحفر ابارہ, وإذا كانت هذه الادوات ملائمة للحقول البترولية فالامر ليس كذلك فى الحقول الحرارية إذ تواجه هذه الالات درجات حرارة عالية فى الطبقات الأرضية الجوفية وتواجه أيضا ضغوطا عالية تحج من فعاليتها بل ومن صلاحيتها للحفر. كذلك يندفع الماء الساخن أو البخار أثناء عمليات الحفر ويكون محملا بمواد كيميائية مختلفة تعمل على تاكل ادوات الحفر وتقليل فعاليتها, وما يحصل فى أعمال الحفر بحثا عن المصادر الحرارية حاليا هو ان عمق البئر يتحدد بالعمق الذى يحصل عنده خلل فى أدوات الحفر وليس نتيجة لخطه موضوعية مسبقا, وعليه يمكننا رؤية اهمية تطوير معدات حفر تتلاءم مع ظروف المصادر الحرارية من حرارة عالية وضغط عال, والامر الذى سيؤدى إلى كفاءة استغلال هذه المصادر.

**3- المشكلات العلمية:**

المشكلة هنا ان معرفتنا بما يجرى فى المصادر الحرارية فى باطن الأرض قليل, فمعلوماتنا عن حركة المياه وتياراتها داخل الخزانات قليلة وكذلك أيضا معرفتنا بطرق انتقال الحرارة وتياراتها فى باطن الأرض, إن نقص المعلومات هذا يعنى فى النهاية عدم القدرة على تطوير نماذج نظرية تجعل من الممكن تحديد الحالة المثلى لعدد الابار مثلا وطريقة توزيعها والأبعاد بين بعضها والبعض الاخر, وأى الابار يجب حفره فى البداية وبأى ترتيب ثم أى معدلات انتاج يجب الالتزام بها من أجل إطالة عمر استغلال الخزان الحرارى بصورة فعالة, إن الطرق المستعملة فى وقتنا الحاضر تعتمد على اللخبرات المحلية أكثر من اعتمادها على المفاهيم العلمية الصحيحة, ولذا فإن تطوير المعرفة بخصائص الخزانات الحرارية سيعنى زيادة كفاءة استخدامها.

**4- مشكلات التلوث:**

هناك مصدران رئيسان للتلوث فى الحقول الحرارية البخارية او المائية وهما: التلوث الحرارى وخروج الغازات غير القابلة للتكثيف إذ من المعروف أنه

يخرج من باطن الأرض غازات غير قابلة للتكثيف تحت نفس الظروف التي يتكثف فيها البخار, وتختلف نسبة هذه الغازات من 0.5 – 5% من كمية البخار المتصاعد, وتتكون هذه الغازات بدرجة رئيسية من أول أكسيد الكربون, كذلك هناك غاز كبريتيد الهيدروجين والامونيا والميثانول, والمعروف ان غاز كبريتيد الهيدروجين علاوة على سميته رائحته منفرة وإذا تجمع في كميات كبيرة فقد يشكل خطرا على حياة الانسان والحيوانات, كذلك هناك إمكان أن تتجمع الغازات الثقيلة في الاماكن المنخفضة مما يؤدي إلى اخطار محتملة على النبات والحيوان, ومن جهة أخرى هناك أخطار التلوث الحرارى خاصة إذا تم التخلص من البخار على درجات حرارة عالية أو إذا تم التخلص من المياه الساخنة بضحها إلى سطح الأرض أو ضحها إلى البحيرات أو أماكن تجمع المياه مما قد يؤدي إلى تعريض الأحياء البحرية من حيوان ونبات إلى الخطر, إن التخلص من هذه الأخطار يقتضى إعادة حقن البخار أو المياه في باطن الأرض مرة أخرى لكن هذه العملية تطرح مشكلات التكلفة الاقتصادية وتوفر التكنولوجيا الملائمة.

#### مشكلات الحقول الصخرية الحارة:

المشكلة الرئيسية هنا هي عدم وجود المياه أو أية سوائل أخرى تعمل على نقل الحرارة من باطن الأرض إلى السطح, لكن من الجانب الآخر فإن مشكلات الحفر في الصخور الحارة أقل منها في حالة الحقول البخارية أو المائية, ذلك أن ادوات الحفر لن تواجه المشكلات الناجمة عن الضغوط العالية أو تدفق تيارات المياه الحارة القوية.

من المعروف أن الصخور هي من الموصلات الرديئة للحرارة, ولذا فإن انتقال الحرارة من الطبقات الصخرية الجوفية الحارة إلى الطبقات الأبرد نسبيا عملية بطيئة ومن أجل الحصول على أكبر مقدار من الحرارة من الصخور يستلزم الأمر استخراج الحرارة من مساحة كبيرة من الصخور للتعويض عن انخفاض قدرات الصخور على توصيل الحرارة, ويستلزم هذا بدوره ضخ كميات كبيرة من الماء لتغطية السطح الواسع من الصخور, وبعد استخراج المياه إلى السطح واستعمالها في الأغراض المطلوبة يعاد ضحها مرة أخرى إلى باطن الأرض للحصول على كمية حرارة أكبر وهكذا, ومن أجل استخراج الحرارة من الصخور فقد تم تقديم عدة أفكار.

إذا كانت الصخور الحارة الجافة من النوع المسامي وتقع تحت طبقة من الصخور الصلبة اللامسامية فإن المطلوب في هذه الحالة هو اختراق طبقة الصخور الصلبة للوصول على الطبقة المسامية الحارة, يتم حفر عدة ابار في مثل هذه الحقول يستعمل بعضها لضخ الماء البارد بينما يجمع البخار او الماء الساخن من بعضها الاخر, إن كون الصخور الحارة مسامية يسمح للماء بالنفاذ خلالها والتسرب عبر مساحات حارة واسعة مما يؤدي إلى استخراج الحرارة, ولا يحتاج الأمر هنا إلى أية زيادة في السطوح الحرارية إذ ان الطبيعة المسامية للصخور تعوض عن ذلك.

أما حين تكون الطبقة الصخرية من النوع الحار الصلب اللامسامي فلا بد والحالة هذه من زيادة مساحة سطح انتقال الحرارة لأن صلابة الصخور وعدم مساميتها تمنع الماء من التسرب عبر مساحات كبيرة, ويقتضى الأمر في هذه الحالة إنتاج مساحات واسعة من السطوح الحارة, والطرق المقترحة في هذا المضمار هي إجراء تفجيرات تحت سطح الأرض في هذه الصخور لتفتيتها وإحداث الشقوق والتصدعات التي تسمح للماء بالتسرب إلى مساحات كبيرة. غير ان استعمال مواد التفجير التقليدية يجعل من استخراج الحرارة أمرا مكلفا, ولذا فقد تم اقتراح القيام بتفجيرات نووية من أجل إحداث تشققات في الصخور.

لا يخفى على القارئ أن اللجوء إلى هذا الاسلوب محفوف بالمخاطر الكثيرة الناتجة عن التلوث النووي المحتمل, فالاسعاعات النووية قد تنفذ إلى سطح الأرض وتعرض البشر والحيوانات والنباتات إلى الخطر. كذلك فإن المياه المحقونة في الأرض لاستخراج الحرارة ستحمل إشعاعات نووية وتنقلها إلى السطح أيضا, ورغم أن بعض المهتمين يقول بأن المياه المستعملة سيعاد ضخها مرة أخرى إلى باطن الأرض إلا ان هذه لا يمنع من إمكان حدوث تسربات للإشعاعات النووية, والجدير بالذكر أن التفجير النووي نفسه سيشكل مصدرا حراريا يضاف إلى المصدر الحرارى الصخرى, لكن مازال استعمال الطاقة النووية محاطا بالكثير من الشكوك والمعارضة بسبب الأخطار الكامنة فيه.

وهناك بديل آخر مازال تحت البحث والاستقصاء وهو استعمال مياه تحت ضغوط عالية وحقتها في الطبقات الصخرية لاحداث شقوق فيها, والمعروف أن

هذه الطريقة مستعملة في صناعة البترول حيث تضخ المياه لاجل زيادة مسامية الطبقات المحتوية على البترول مما يؤدي إلى زيادة في استخراج البترول.

تقوم فكرة استعمال المياه المضغوطة على حفر حفرة في الطبقة الصخرية الصلبة ثم تعريض جوانب هذه الحفرة إلى ضغوط عالية مما يؤدي إلى إحداث تشققات في جوانب الحفرة تسمح للماء بالنفاذ إلى مساحات واسعة من السطوح الحارة، ويتوقع بعض العلماء أن ضخ المياه سيؤدي إلى تبريد الطبقات الصخرية التي تلامسها مما سيؤدي بدوره إلى تكوين وضع تكوين فيه بعض الصخور حارة والآخرى باردة، وسينتج عن هذا الوضع حدوث اجهادات حرارية عالية في الصخور تؤدي بدورها على إحداث المزيد من التشققات، وبمعنى آخر فإن العملية تعيد انتاج ذاتها بشكل دوري فكلما بردت طبقة من الصخور أدى ذلك إلى حصول المزيد من التشققات.

ويجرى في الوقت الحاضر العمل على مثل هذه الفكرة في مختبرات لوس الموس العلمية في نيومكسيكو في الولايات المتحدة. وقد دلت التجارب التي اجريت إلى الان انه بالإمكان إحداث تشققات كبيرة في الصخور الجرانيتية فيما إذا تم ضغط المياه إلى 100 ضغط جوى فأكثر، وستكشف السنوات القادمة عن مدى فعالية هذه الطريقة في استخراج الطاقة الأرضية من الصخور الحارة الصلبة.

### تحديد العمق المناسب للأستفادة من الطاقة الأرضية

إن الغرض من تحديد العمق المناسب للأستفادة من الطاقة الأرضية للأستفادة منها أقصى مايمكن على مدار العام ففي مجال الزراعة مثلاً يفيد تحديد العمق المناسب للأستفادة من الطاقة الأرضية في تدفئة وتبريد البيوت المحمية، حيث ان العمق المناسب هو العمق التي تكاد تثبت عنده درجة الحرارة أو تكون قريبة من بعضها على مدار العام، حيث تستخدم في فصل الصيف في تبريد البيوت المحمية وتستخدم في الشتاء في تدفئة البيوت المحمية. ويتم تحديد العمق المناسب للأستفادة من الطاقة الأرضية كما يلي:-

1- وضع حساسات لدرجة الحرارة (ثرموميتتر) على اعماق مختلفة في باطن الأرض وتسجيل درجات الحرارة الناتجة من قراءة الحساسات لمدة لمدة

عام كامل, فيكون العمق المناسب هو العمق التي تثبت فيه درجة الحرارة على مدار العام.

2- عمل نموذج باستخدام الحاسب الالى للتنبؤ بدرجة الحرارة على مدار العام أعماق مختلفة باستخدام المعادلة الآتية:

$$T_{(z,t)} = T_a + A_s e^{\left(-\left(\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}\right)z\right)} \cos \left[ \omega(t - t_o) - \left(\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}\right)z \right]$$

حيث أن:

$T_{(z,t)}$  درجة الحرارة عند زمن  $t$  وعمق  $z$  (م°)

$z$  العمق (م)

$t$  الوقت (يوم)

$T_a$  متوسط درجة حرارة الهواء خلال السنة (في المنطقة)

$A_s$  السعة في درجة الحرارة عند سطح التربة (م°)

$\omega$  التردد الزاوى (1/يوم)

$\alpha$  الانتشارية الحرارية للتربة (م<sup>2</sup>/يوم)

$t_o$  الوقت الذي يكون عنده اعلى قيمة لدرجة الحرارة عند السطح

$$\omega = \frac{2\pi}{365}$$

السعة في درجة الحرارة عند سطح التربة هي عبارة عن الفرق بين أقصى

درجة حرارة وأقل درجة حرارة خلال العام عند سطح الارض

**تحديد كمية الحرارة الناتجة من باطن الأرض:**

تتوقف كمية الحرارة الناتجة من باطن الأرض على عدة عوامل وهى:-

1- طول الأنابيب.

2- عمق الأنابيب.

3- قطر الأنابيب.

4- معامل الانتقال الحرارى للتربة.

5- معامل الشكل للتربة.

6- الفرق بين درجة حرارة التربة والهواء المحيط.

يتم تحديد كمية الحرارة الناتجة من باطن الأرض من المعادلة الآتية:

$$Q = S k (T_2 - T_1)$$

حيث أن:-

S معامل الشكل (م)

k معامل التوصيل الحرارى للتربة (وات/م.كلفن)

T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub> درجة حرارة التربة والهواء (كلفن)

$$S = \frac{2\pi L}{\ln\left(\frac{4Z}{D}\right)}$$

حتث أن:-

L طول الماسورة (م)

Z عمق الماسورة (م)

D قطر الماسورة (م)

