الفصل العاشر

# الاستخدامات المفيدة لغاز الرادون المشع

كان حديثنا في الفصول السابقة حول مخاطر الرادون وكيفية مقاومتها، أما في هذا الفصل فسنتطرق إلى الاستخدامات المفيدة لهذا الغاز المشع حتى يستكمل الحديث عن هذا الموضوع من جوانبه المختلفة، ويمكن تلخيص ذلك في النقاط الآتية:

## 10 - 1 استكشاف الخامات المعدنية

لاحظ علماء الأرض منذ سنين عديدة وجود علاقة مطردة بين غاز الرادون والعديد من الظواهر الجيولوجية مثل وجود خام اليورانيوم، والكشف عن التراكيب الجيولوجية المختلفة، والمناطق الحرارية تحت سطح الأرض، ففي المناطق التي يزداد فيها تركيز اليورانيوم فإن تحرر الرادون يزداد (انظر جدول (10 - 1))، كذلك وجدت نسب مرتفعة لغاز الرادون في العديد من مناجم الذهب والقصدير والفلورسبار ($CaF_2$) والحديد.

جدول (10 - 1) متوسط تركيز اليورانيوم في الصخور المعتادة، وفي الأرض (25).

| نوع الصخور | تركيز اليورانيوم ـــ 238 جزء بالمليون |
|---|---|
| الصخور فوق المافية (فوق القاعدية)[1] | 0.03 |
| الصخورالنارية القاعدية (القلوية) | 2,00 |
| الصخورالنارية الوسيطة | 0,94 ـ 0,46 |
| الجرانيت (صخور حامضية و فوق حامضية) | 4 ـ 2,4 |
| الجرانيت القلوي | 100 ـ 10 |
| قشرة الأرض بصفة عامة | 0,2 |

(1) الصخور فوق المافية: Utramafic صخر قلوي ناري تسود فيه المعادن القاتمة (المافية) كالصخور أحادية المعادن المتكونة من الأوليفين أو البيروكسين. أو تلك المتكونة من خليط منهما.

obeikandl.com

فإذا كان تركيز خام اليورانيوم مرتفعاً بحيث يكون ذا جدوى اقتصادية فإن غاز الرادون يكون موجوداً بتركيز يزيد أضعاف المرات عن تركيزه في المناطق الأخرى، لهذا يعمد حالياً إلى تهوية مناجم اليورانيوم وغيرها من المناجم بشكل مستمر لتقليل تركيز غاز الرادون وولائده فيها، كما يعمد عمال المناجم إلى لبس الكمامات الهوائية ويتم مراقبتهم لغرض التعرف على مقدار تعرضهم للإشعاع وبخاصة الرادون.

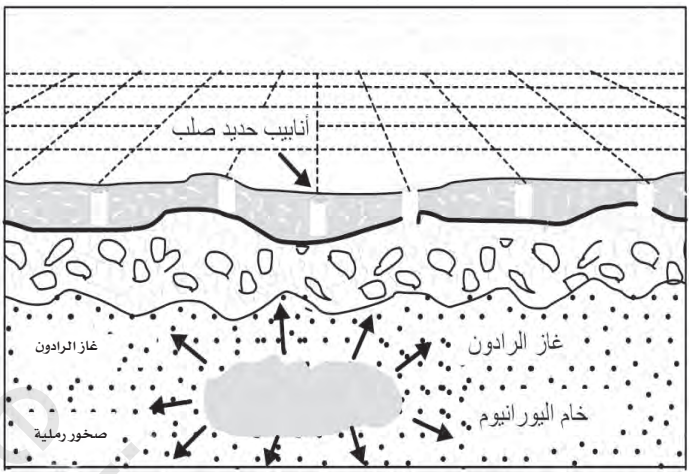
لتقويم خام اليورانيوم في منطقة ما، يقاس تركيز الرادون في التربة، ويستخدم لهذا الغرض عادة أنابيب من الحديد الصلب أو من البلاستيك (PVC) تحوي كواشف الآثار النووية، ومن المفيد الإشارة هنا إلى أن كفاءة حدوث الآثار على الكواشف تعتمد على قطر الأنبوبة فهي تزداد مع زيادة القطر حتى تصل حد الإشباع عند قطر 3 سم تقريباً، لذا لا فائدة من زيادة القطر على 3 سم. ويصل تركيز غاز الرادون في الأنبوبة حد الإشباع خلال مدة أربعة أسابيع تقريباً.

توضع هذه الكواشف على عمق 60 سم تقريبا وتوزع هذه الأنابيب على هيئة مصفوفة في المنطقة المراد دراسة خام اليورانيوم فيها (انظر شكل (10 - 1)) وتبعد خطوط التوزيع عن بعضها بمقدار 25م إلى 100م تبعاً لمرحلة الاستكشاف ومساحة المنطقة المراد استكشافها، والحجم المتوقع لخام اليورانيوم، كما يعتمد على طبيعة الأرض، ففي منطقة التحري الأولي توضع الأنابيب على أبعاد تصل إلى 1 كم، وتقل المسافة حتى 25م أو قريباً منها في المرحلة الأخيرة من التحري، وفي تحديد الأبعاد الثلاثية لشكل الخام ، لغرض تحديد كمية الخام. بعد وضع الأنابيب تغطى بالتربة وتترك دون تحريك مدة 4 إلى 6 أسابيع. وخلال هذه المدة تتجمع آثار جسيمات ألفا على الكواشف الموضوعة في الأنابيب نتيجة تفكك غاز الرادون الصادر من خام اليورانيوم في التربة.

وبقياس كثافة الآثار في وحدة المساحة في الكواشف بعد المعالجة الكيميائية المناسبة يمكن تحديد نسب تركيز غاز الرادون التي ترسم على مصفوفة توزيع الكواشف.

ونظراً لكون القياسات لمدد قصيرة (1 - 2 أسبوع) يحدث فيها تفاوت كبير في القيم، يفضل أخذ قياسات لمدد أطول.

obeikandl.com




شكل (10 - 1) شبكة المسح الجيولوجي لغاز الرادون الموضوعة في الأرض. وتتكون من أنابيب من الحديد الصلب أو البلاستيك مغلقة من الأعلى ومفتوحة من الأسفل بداخل كل واحد منها كاشف للآثار النووية. لاستكشاف خام اليورانيوم تحت سطح الأرض. وتستخدم شبكات مشابهة لتحديد ترسبات الغاز والنفط وفي دراسات أخرى مبنية على قياسات غاز الرادون (25).

ومما تمتاز به هذه الطريقة أنها لا تحوي أجزاء ميكانيكية أو كهربائية، لذا فإنها ليست عرضة للعطل خاصة تحت الظروف الجوية القاسية في المناطق الصحراوية، فيمكن استخدامها تحت مختلف الظروف، كما يمكن إنزالها في الأعماق لقياس تركيز غاز الرادون شريطة عمل ثقب لهذا الغرض. وهذه التقنية كغيرها من التقنيات تتطلب المعرفة الدقيقة لمستوى غاز الرادون في المنطقة المراد مسحها، كما ينبغي استخدام ما لا يقل عن مئة موقع لقياس الرادون لغرض تحديد المستوى العام للرادون بالمنطقة (25).

ولقد أثبتت التجارب في العديد من عمليات الاستكشاف باستخدام تقنية كواشف الآثار النووية أن الخلفية الإشعاعية يمكن أن تتفاوت بشكل كبير في أنحاء العالم، والسبب في ذلك هو الاختلافات في طبيعة السطوح، وقرب أو بعد سطح الخام، وبسبب الفروق في الطبيعة الجيولوجية في المناطق المختلفة. ولقد استخدمت كواشف الآثار النووية في تحديد ما يزيد على 300 موقع لليورانيوم في العديد من الدول في بيئات جيولوجية مختلفة، في الولايات المتحدة الأمريكية وأستراليا وكندا وإفريقية (25).

obeikandl.com

## 10 - 2 تحديد خامات الغاز والنفط

ما يزال استخدام الرادون في استكشاف النفط والغاز الطبيعي في مراحله الأولى، إلا أن الدراسات التي أجريت حتى الآن وفرت معلومات مفيدة في هذا المجال، فقد أثبتت أن التفاوت في تركيز الرادون يمكن أن يعطي معلومات مفيدة في تحديد مكامن البترول والغاز الطبيعي المدفونة عميقاً في الأرض وذلك عند توافر بعض الظروف المناسبة.

إن الرادون يتحرر بشكل مستمر من باطن الأرض بكميات قليلة إلى الجو وبمعدل ثابت إلى حد ما. ومن المعلوم منذ زمن بعيد التحرر الزائد لغاز الرادون من ترسبات اليورانيوم ومن مصادر طاقة الأرض الحرارية[1] ومن الصدوع الأرضية ومن البراكين وأثناء عملية حدوث الزلازل. وفي دراسة حديثة نسبياً وجد انخفاض في معدل تحرر الرادون من منطقة ثبت احتوائها على مكامن للنفط والغاز.

ومعدل سرعة حركة غاز الرادون في التربة هو نحو $(4 - 6) \times 10^{-3}$ سم/ث أو ما يعادل 3 - 5 م في اليوم، كما أن تركيز الرادون في غازات التربة مثل الأوكسجين والنتروجين وأكسيد الكربون ضئيل جداً (37,4 بيكريل/م$^3$ = $0,7 \times 10^{-8}$ لتر رادون في اللتر).

إن ترسبات النفط والغاز هي شواذ[2] جيوكيميائية، كما أن التراكيب التي تحوي كلا من النفط و الغاز وتمنع النفط من التسرب عبر الأرض هي شواذ جيوفيزيائية لذا يمكن استخدام كلا الصنفين من الطرق الجيوفيزيائية والجيوكيميائية في رسم الخرائط.

وقد أشار بعض العلماء إلى أن طريقة الكشف باستخدام كواشف الآثار النووية يمكن أن تكون مفيدة في تحديد التراكيب تحت سطح الأرض التي تحتوي على

(1) طاقة الأرض الحرارية هي الطاقة التي يمكن الحصول عليها طبيعياً أو صناعياً من حرارة الأرض الداخلية.

(2) الشواذ جمع شاذة هي انحراف القيم الجيوكيميائية أو الجيوفيزيائية للقشرة الأرضية عن القيم الجوهرية العامة لمنطقة ما، ناتجة عن ملاحظة القياسات المنفذة على منطقة معينة من سطح الأرض. ودراسة الشواذ تساعد في معرفة بنى الأرض وفي استكشاف خاماتها (25).

obeikandl.com

النفط والغاز، كما أن هذه التقنية بسيطة نسبياً وغير مكلفة وهي تفضل استخدام الطيف ألجامي (25).

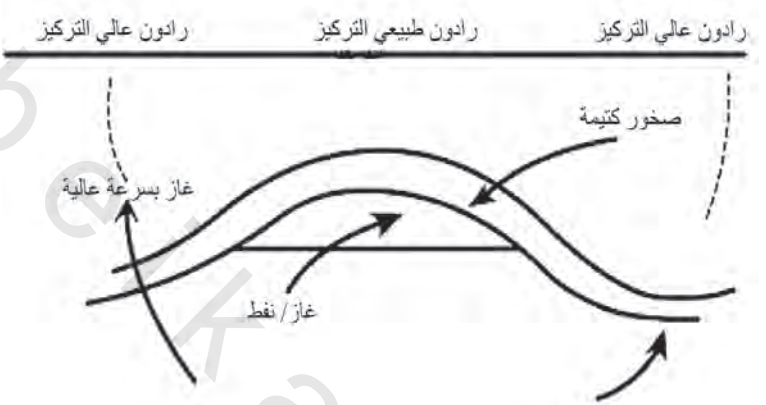
ففي دراسة لحقل بترول وغاز (سمنت) بولاية أوكلاهوما (34) في الولايات المتحدة الأمريكية لوحظ وجود علاقة إيجابية للرادون مع معدل نزيز الغاز ومع انخفاض تركيز نظير الكربون ـ 13، والشكل (10 - 2) يوضح مقطع عرضي مختصر للمنطقة، حيث إن الصخور التي تعلو المكمن في هذه المنطقة كتيمة (غير منفذة)، لذا فإن غاز الرادون وغيره من الغازات تتجاوز هذه (القبة) الصخرية وتنتقل نحو سطح الأرض من أطراف القبة كما هو موضح في الشكل .

من المعلوم منذ زمن بعيد وجود بعض الغازات مثل الهليوم وأحيانا النيتروجين بتركيز مرتفع في الماء الأجاج[1] أي شديد الملوحة الموجود أسفل كل من النفط والغاز الطبيعي، كما أن هذا الأجاج غني بغاز الرادون الذي ينفلت من الأجاج ويتخلل كلاً من النفط والغاز الطبيعي إلى سطح الأرض إذا وجد له منفذ. وقد لوحظ بالمسح الأرضي لحقول النفط والغاز ومناطق خالية منهما أن هناك ارتفاعا شاذا لتحرر الرادون فوق حقول النفط والغاز حتى ولو كان عمق الحقل بحدود كيلومتر واحد أو كيلومترين، وقد أشارت دراسات لاحقة أنه قد يكون هناك علاقة بين نقصان تركيز الرادون الشاذ مع استنزاف الحقل عند استمرار إنتاجه، لهذا يمكن للمستكشفين الاستفادة من هاتين الحقيقتين في تحديد المناطق التي يجري فيها الحفر، حيث إن المناطق التي فيها ارتفاع شاذ لتحرر الرادون أكثر احتمالا أن يوجد فيها البترول من المناطق التي لا يوجد فيها ارتفاع شاذ. إن هذه القرارات ينبغي أن تكون مقرونة طبعاً مع جميع الدراسات الجيولوجية الجيوفيزيائية والمائية[2] (الهيدرولوجية). ومع ازدياد الإنتاج

(1) الأجاج: المياه المصاحبة للنفط والغاز، أو الماء الذي يملأ الفجوات المسامية في الأحواض الترسيبية العميقة أو الموجودة في أحواض محجوزة وهو ماء حار شديد الملوحة يحتوي على أيونات الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والكلور بصفة أساسية (25، 41).

(2) المائيات أو الهيدرولوجيا: علم في خصائص المياه وظواهرها وتوزعها فوق سطح الأرض وفي باطنها وفي التربة والجو (25).

من المهم دائماً توقع أن يقل إنتاج الحقل إلى حد فقدان الجدوى الاقتصادية في حفر آبار جديدة فيه، وفي هذا المجال يوفر الرادون إمكانية محتملة لتوقع ذلك فيحدد بذلك عمر للحقل (34).




**شكل** (10 - 2) استخدام تحرر غاز الرادون من التربة في استكشاف النفط والغاز (5).

## 10 - 3 توقع حدوث الزلازل والأنشطة البركانية

### 10 - 3 - 1 توقع حدوث الزلازل

هناك قياسات عديدة ومتنوعة تجرى منذ زمن بعيد للتنبؤ بالزلازل وموقعها وشدتها لغرض الحد من الخسائر البشرية والمادية التي تسببها. ومع هذا ما تزال كل هذه الطرق في مراحلها الأولى، وقد جاءت عملية مراقبة تغير تركيز غاز الرادون في المياه تحت سطح الأرض كأحد المحاولات للتنبؤ بحدوث الزلازل، وكانت المراقبات التي أجريت على نوعين: قصيرة وطويلة المدى، ففي القصيرة المدى كانت القياسات لأيام إلى أسبوع، واستخدمت فيها الأجهزة الإلكترونية التي تعطي قراءات مباشرة. أما في القياسات الطويلة المدى – التي تتراوح مدة القياس فيها أسابيع إلى سنوات ـ فقد استخدمت كواشف الآثار النووية ، وكان الاستنتاج العام لهذه القياسات أن مراقبة غاز

الرادون في المياه تحت السطحية من مثل مياه الآبار تعد أحد المؤشرات في التنبؤ بحدوث الزلازل، ولا يمكن الاعتماد على مؤشر واحد منها فقط، ولكن إذا أعطت عدة مؤشرات قياسات إيجابية، فإن ذلك يشير إلى احتمال حدوث زلزال، ويمكن عندها إعطاء إنذار بذلك. فإذا استخدم غاز الرادون في المراقبة ضمن مجموعة من التقنيات فيكفي في هذه الحالة وضع مرقاب واحد أو مرقابين للرادون. أما إذا كان الاعتماد كليا على قياسات غاز الرادون وحدها في توقع حدوث الزلزال فإن ذلك يتطلب وضع شبكة من نقاط المراقبة في منطقة الزلازل تعطي قراءات متداخلة حتى يمكن الاعتماد عليها، إلا أنه ليس كل الزلازل الأرضية تعطي هذه الإشارات ومن المحتمل أن بعض العلاقات التي وجدت كانت بطريق الصدفة (25). ومما له شأن بالموضوع ما أثبتته دراسات حديثة من وجود علاقة قوية بين وجود الصدوع الأرضية والارتفاع الشاذ لتحرر الرادون في تلك المناطق (34).

### 10 - 3 - 2 توقع ثوران البراكين

إن وجود غاز الرادون في الموائع المرتبطة بالبراكين كان معلوما منذ زمن بعيد، إلا أن تغير تركيز الرادون في الينابيع الحارة مع النشاط البركاني لم يتبين إلا عام 1975م حين وجد أن تركيز الرادون يزداد أثناء النشاط البركاني، كما لوحظ تغير شديد لتركيز الرادون في غازات التربة. لذلك استخدمت كواشف الآثار النووية كما استخدمت الأجهزة الإلكترونية في قياس تركيز الرادون في التربة (25).

ومن المفيد الإشارة هنا إلى أن حركة غاز الرادون في التربة بعد تحرره تتم بأحد الطرق الثلاث الآتية: الانتشار، ولكن نظرا لقصر عمر نصف غاز الرادون فإنه لا يستطيع الحركة لأكثر من عدة أمتار قبل تفككه، والحمل الحراري ويكون مشاركته عند وجود تفاوت في درجة الحرارة في الوسط، وهي تعتمد على عوامل عدة مثل نفاذية الوسط ولزوجته، والطريقة الثالثة هي الحمل عن طريق أحد الغازات المتحركة في الوسط مثل غاز الهيدروجين، لهذا ينبغي الانتباه إلى ذلك في تفسير النتائج التي يتم جمعها بهذا الخصوص، أما بالنسبة لقياس غاز الرادون في الغازات المنبعثة من البركان فإن القياسات المباشرة متعذرة نظراً للحرارة العالية و الانفجارات الشديدة،

obeikandl.com

لذا تتم القياسات بطرق أخرى مثل أخذ عينات بواسطة ضخ الغازات في حاويات زجاجية أو حاويات مملوءة بالماء الصافي أو الماء المشبع بالملح، ثم تجلب العينات إلى المختبر للقياس، أو للفصل ثم قياس ولائد تفكك الرادون في معظم الأحيان وهي والبزموث – 214 والرصاص – 214 (25).

أما قياسات غاز الرادون في المياه الأرضية المرتبطة بالبراكين فتتم إما بأخذ عينات وقياسها في المختبر بأحد الطرق الواردة في الباب (3 - 4)، أو تتم بالقياس المباشر في الموقع باستخدام أحد الأجهزة الإلكترونية.

وقد أجرى باحثون قياسات للرادون في براكين أوروبة وأمريكة، وكثير من جزر آسية في المحيط الهندي، وأشارت النتائج إلى أن النشاط البركاني يؤثر بقوة على قيم الرادون التي يمكن كشفها في الغازات البركانية والمياه والتربة القريبة من القمم البركانية. ولكن نظراً للتعقيد الكبير في هذه الأنظمة لم تثبت العلاقة المؤملة من قبل الباحثين بشكل بيِّن حتى الآن، ويرى الباحثون أن مفتاح المعالجة والفهم الأفضل لهذه المشكلة يكمن في زيادة عدد الدراسات، وأقترح لهذا الغرض اختيار عدد قليل من البراكين المثالية النشطة ودراستها بشكل مستفيض للحد من التكلفة. وينبغي أن تكمَّل قياسات الرادون بقراءات أخرى تشمل الأبعاد الفيزيائية أو الكيميائية، وفي مثل هذه الظروف يمكن أن تزداد المعرفة والجيوكيميائية للبراكين بسرعة كبيرة في المستقبل القريب (25).

## 10 - 4 استكشاف طاقة الأرض الحرارية

طاقة الأرض الحرارية هي الطاقة التي يمكن الحصول عليها طبيعيا أو صناعياً من حرارة الأرض الداخلية، وقد استخدمت في توليد 6272 ميغاواط من الكهرباء عام 1994م، وهي تمثل 0,2% فقط من الطاقة الكهربائية الكلية المتولدة في العالم. ومع هذه المشاركة المتواضعة، إلا إنها تشكل في بعض البلدان مثل الفلبين 14%، وفي نيكاراجوا 9%، وفي كينيا 8%. وفي الولايات المتحدة الأمريكية 0,3% فقط، إلا أن هذه النسبة الضئيلة تشكل ضعفي مقدار توليد الكهرباء في الدول الأربع المذكورة آنفا،

والجدول (10 - 2) يبين مقدار إنتاج الطاقة الكهربائية من طاقة الأرض الحرارية في الدول المستفيدة من هذه الطاقة. ويتوقع أن تكون مشاركتها في عام 2010 هو 1700 ميغاواط، وفي عام 2020 هو 25000 ميغاواط (25). إن كفاءة محطات طاقة الأرض الحرارية تبلغ ثلث كفاءة محطات الطاقة الكهربائية التي تعمل بالوقود الأحفوري أو الوقود النووي، نظراً لانخفاض درجة حرارة البخار المتولد عن المحطات الأرضية، التي هي عادة بحدود 150 ْم، وتبذل الجهود حالياً لرفع كفاءة هذه المحطات، واستخدام ماء الأرض الحار حتى 90 ْم، في تسخين البيوت الزجاجية لزراعة النباتات (البيوت المحمية) وغيرها، وقد استخدم بنجاح في ذلك، وفي تجفيف علف الماشية والذرة، وفي خزانات الاستنبات المائي وفي غيرها (25).

إن النشاط الحركي تحت سطح الأرض في مواقع طاقة الأرض الحرارية يجلب إلى سطح الأرض غازات، وبتحليل هذه الغازات يمكن الحصول على معلومات حول التركيب الجيولوجي، وحرارة السوائل في المكمن، والتفاعلات الكيميائية بين السوائل والصخور وتطور النظام الحركي الحراري. والوجود الطبيعي لغاز الرادون والراديوم ذو الطبيعة الإشعاعية يجعلهما وسيلة مناسبة لسبر الصفات الجيولوجية للمكمن (25).

وتبلغ أعلى درجة حرارة في باطن الأرض نحو 4000 ْم على عمق 6000 كم، وتنخفض هذه إلى 1000 ْم في الطبقة نصف السائلة التي تقع بين عمق 35 و300 كم، ولهذا يبلغ معدل تغير درجة الحرارة مع العمق 30 ْم/كم، وهناك مناطق في الأرض تتغير درجة الحرارة بمقدار أكبر من هذا المعدل، وهذه المناطق توجد عادة في المواقع البركانية الحديثة النشاط (25).

إن تحري حقول طاقة الأرض الحرارية يتضمن خطوات عدة، أولها تحديد منطقة كبيرة لهذا الغرض بطرق سريعة وغير مكلفة بواسطة الاستكشاف بالتقانة الجيولوجية مثل الجيولوجيا التصويرية وجيولوجيا المياه وجيولوجيا البراكين، ومن ثم تستخدم الطرق الجيوفيزيائية مثل المقاومة الكهربية، والجاذبية والمغناطيسية، وتحديد الأعمار والنظائر مجتمعة في تحديد مناطق أصغر يتمّ فيها تحليل جيولوجي

لثقوب سطحية (ضحلة)، ولآبار عميقة تحفر لدراسة معدل جريان البخار، وهذه الأخيرة هي وحدها التي تعطي أدلة مؤكدة بإمكانية استغلال مكمن طاقة الأرض الحرارية (25).

هناك مناطق واسعة على سطح البسيطة معروفة بوجود حقول طاقة الأرض الحرارية فيها

جدول (10 - 2) مشاركة طاقة الأرض الحرارية في إنتاج الكهرباء في دول العالم (25).

| البلد | القدرة الكهربائية مليون ميغاواط (أ) | النسبة المئوية للمشاركة في إنتاج الطاقة (ب) |
|---|---|---|
| أمريكا | 2,594 | 0,3 |
| الفلبين | 1,053 | 14 |
| المكسيك | 753 | 2,4 |
| إيطاليا | 637 | 0,1 |
| نيوزيلندا | 285 | 2,2 |
| إندونيسيا | 256 | 1,4 |
| السلفادور | 105 | 19 |
| نيكاراجوا | 70 | 8,9 |
| كوستاريكا | 55 | - |
| أيسلندا | 50 | - |
| كينيا | 45 | 7,8 |
| الصين | 31 | - |
| تركية | 20 | - |
| روسية | 11 | - |
| دول أخرى | 9 | - |
| المجموع | 6,792 | |

(أ)عام 1995. (ب) عام 1991م.

حيث تكون القشرة الأرضية المحيطة بالصهارة[1] رقيقة. وفي المملكة العربية السعودية يجري حالياً تحري إمكانية استغلال طاقة الأرض الحرارية بمنطقة المدينة المنورة[2].

(1) الصهارة: مادة صخرية مذابة في باطن الأرض ينشأ الصخر البركاني منها حين تبرد.

(2) معلومة شخصية أخذت من أحد أعضاء فريق التحري.