الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة الخاصة بتوليد طاقة حرارة باطن الأرض

مقدّمة

الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة (**EHS**) هي وثائق مرجعية فنّية تتضمن أمثلة عامة وأمثلة من صناعات محددة على الممارسات الدولية الجيدة في قطاع الصناعة (**GIIP**).[1] وحين تشارك مؤسسة واحدة أو أكثر من المؤسسات الأعضاء في مجموعة البنك الدولي في أحد المشروعات ينبغي تطبيق الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة هذه حسب مقتضيات السياسات والمعايير التي تعتمدها تلك المؤسسة. وتستهدف هذه الإرشادات بشأن قطاع الصناعة أن يتم استخدامها جنباً إلى جنب مع وثيقة **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**، التي تتيح الإرشادات لمن يستخدمونها فيما يتعلق بالقضايا المشتركة في هذا المجال والممكن تطبيقها في جميع قطاعات الصناعة. وبالنسبة للمشروعات المُعقّدة، قد يلزم استخدام إرشادات متعددة حسب تعدد قطاعات الصناعة المعنيّة. ويمكن الاطلاع على القائمة الكاملة للإرشادات الخاصة بالقطاعات الصناعية على شبكة الإنترنت على الموقع:

http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines

وتتضمّن الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة مستويات الأداء والإجراءات التي يمكن للتكنولوجيا الحالية أن تحققها في المنشآت الجديدة بتكلفة معقولة. وقد يشمل تطبيق هذه الإرشادات في المنشآت القائمة وضع أهداف وغايات خاصة بكل موقع على حدة، مع اعتماد جدول زمني مناسب لتحقيقها.

وينبغي أن يكون تطبيق الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة بما يتناسب مع المخاطر والتهديدات المُحددة في كل مشروع، استناداً إلى نتائج التقييم البيئي الذي يأخذ في الاعتبار متغيرات كل موقع على حدة ومنها: الوضع في البلد المُضيف، والطاقة الاستيعابية في البيئة المعنيّة، والعوامل الأخرى الخاصة بالمشروع. كما يجب أن تستند تطبيق التوصيات الفنّية المحددة إلى الرأي المهني المتخصّص الذي يصدر عن أشخاص مؤهلين من ذوي الخبرة العملية.

وحين تختلف اللوائح التنظيمية المعتمدة في البلد المضيف عن المستويات والإجراءات التي تنص عليها هذه الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة، فمن المتوقع من المشروعات تطبيق أيهما أكثر صرامة. وإذا كانت المستويات أو الإجراءات الأقل صرامة من المنصوص عليه في هذه الإرشادات هي الملائمة – في ضوء أوضاع المشروع المعني – يحتاج الأمر إلى تبرير كامل ومُفصّل بشأن أية بدائل مُقترحة في إطار التقييم البيئي للموقع المحدد. وينبغي أن يُبيّن ذلك التبرير أن اختيار أي من مستويات الأداء البديلة يؤمّن حماية صحة البشر والبيئة.

[1] هي من حيث تعريفها ممارسة المهارات والاجتهاد والحصافة والتبصّر المُتوقعة على نحو معقول من المهنيين ذوي المهارات والخبرة العملية في النوع نفسه من العمل وفي الأوضاع نفسها أو المماثلة بشكل عام. وقد تشمل الأوضاع التي يمكن أن يجدها المهنيّون من ذوي المهارات والخبرة العملية عند قيامهم بتقييم مجموعة أساليب منع ومكافحة التلوّث المُتاحة لأحد المشروعات – على سبيل المثال لا الحصر – مستويات مختلفة من تدهور البيئة ومن الطاقة الاستيعابية البيئية، مع مستويات مختلفة من الجدوى المالية والفنّية.

التطبيق

تنطبق الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة على توليد طاقة حرارة باطن الأرض. ويتضمن المحلق (أ) من هذه الوثيقة وصفا عاما لأنشطة توليد طاقة حرارة باطن الأرض. ويرجى الاطلاع على الإرشادات بشأن البيئة والصحة والسلامة لنقل وتوزيع الطاقة الكهربائية من أجل مناقشة المسائل المتصلة بالنقل والتوزيع.

وقد تم تنظيم هذه الوثيقة وفق الأقسام التالية:

القسم 1. 0 - الآثار المرتبطة تحديداً بالصناعة وكيفية التعامل معها
القسم 2. 0 - رصد الأداء ومؤشراته
القسم 3. 0 – ثبت المراجع والمصادر الإضافية
الملحق (أ)- وصف عام لأنشطة الصناعة

1. 0 الآثار المرتبطة تحديداً بالصناعة وكيفية التعامل معها

يتضمن القسم التالي موجزا لقضايا البيئة والصحة والسلامة المتصلة بتوليد طاقة حرارة باطن الأرض؛ بالإضافة إلى التوصيات عن كيفية التعامل معها. وتتضمن **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** توصيات عن التعامل مع القضايا البيئية المشتركة في معظم المنشآت الصناعية الكبيرة في مراحل الإنشاء وإيقاف التشغيل.

1. 1 البيئة

وتشتمل القضايا البيئية التي قد تثور خلال مشاريع توليد طاقة حرارة باطن الأرض على ما يلي:[2]

- النفايات السائلة
- الانبعاثات الهوائية
- النفايات الصلبة
- ثوران البئر وتعطل خطوط الأنابيب
- استهلاك المياه واستخراجها

النفايات السائلة

موائع الحفر وقراضته

تستخدم آبار إنتاج البخار وإعادة حقنه خلال أنشطة الاستكشاف والاستغلال والتشغيل. وموائع الحفر المستخدمة في أعمال الحفر قد تتكون أساسا من الماء أو الزيت، وقد تحتوي على مضافات كيماوية للمساعدة في التحكم في درجات الضغط في بئر الحفر ومنع خفض لزوجة المائع. وقراضة الحفر من الطين الممزوج بالماء مبعث قلق خاص نظرا لما تحتويه من ملوثات متصلة بالزيت وقد تتطلب معالجة في الموقع أو خارجه والتخلص منها. وتتضمن التوصيات الخاصة بكيفية التعامل مع موائع الحفر وقراضته:

- استخلاص وتخزين موائع الحفر التي أساسها الزيت وقراضة الحفر في خزانات مخصصة لذلك أو أحواض مبطنة بغشاء كتيم قبل المعالجة (بالغسيل مثلا) وإعادة تدويرها و/أو معالجتها معالجة نهائية والتخلص منها؛
- إعادة استخدام موائع الحفر حيثما كان ذلك ممكنا؛
- إزالة الخزانات أو الأحواض لتجنب تسرب المواد التي أساسها الزيت حاليا أو في المستقبل في التربة ومصادر المياه ومعالجة / والتخلص من محتوياتها بوصفها فضلات ضارة أو غير ضارة حسب خصائصها (انظر الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة)؛
- التخلص من موائع الحفر التي أساسها الماء في تجويف البئر بعد إجراء اختبارات السمية. وفي العادة

[2] Duffield and Sass (2003)

يعاد استخدام قراضة الحفر التي أساسها الماء إذا لم تكن ذات طبيعة سمية (كمادة للردم في أعمال البناء مثلا) أو يتخلص منها في موقع لطمر النفايات؛

- ينبغي أثناء معالجة الآبار بالحمض استخدام أنابيب تبطين للبئر مانعة للتسرب إلى عمق ملائم للتكوين الجيولوجي لتفادي تسرب الموائع الحمضية إلى المياه الجوفية.

موائع جوفية حرارية مستعملة

تتكون موائع طاقة حرارة الأرض المستعملة من فضلات المياه من وحدات فصل البخار (فضلات المياه هي المياه التي تصاحب في بادئ الأمر البخار من مكمن طاقة حرارة الأرض) والمتكثفات الناشئة عن تكاثف البخار المستعمل في أعقاب توليد الطاقة. وتقوم المحطات التي تستخدم أبراج تبريد المياه في عملية التبخير عادة بتوجيه هذه المتكثفات إلى دورة التبريد. والمتكثفات الناشئة عن طاقة حرارة الأرض قد تتميز بارتفاع درجة حرارتها وانخفاض درجة حموضتها ومحتواها من المعادن الثقيلة. وفضلات المياه من أجهزة الفصل تكون غالبا متعادلة من حيث درجة الحموضة وقد تحتوي على معادن ثقيلة. [3] ويختلف البخار ونوعية الماء في التكوينات الجيولوجية حسب خصائص مورد طاقة حرارة الأرض.

وتشتمل أساليب التعامل مع موائع طاقة حرارة الأرض الموصى بها على ما يلي:

- التقييم الدقيق للآثار البيئية المحتملة لتصريف موائع حرارة الأرض حسب نظام التبريد المختار؛ [4]
- وإذا كانت المحطات لا تعيد حقن كل موائع الطاقة الحرارية في باطن الأرض فإن تصريف الفضلات السائلة يجب أن يكون متسقا مع استخدام وحدة استقبال المياه كما هو موضح في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة**. وقد يتضمن هذا تعديل درجة حرارة النفايات السائلة وفق اللوائح المحلية أو معايير موقع معين على أساس الآثار المحتملة على وحدة استقبال المياه. وإذا وجدت تركيزات مرتفعة من المعادن الثقيلة في موائع حرارة الأرض فيجب توخي العناية الواجبة لتصريفها في مرافق المياه الطبيعية وهو ما قد يتطلب إنشاء وتشغيل أنظمة معالجة معقدة وباهظة التكاليف؛
- وحيثما يكون إعادة الحقن هو البديل المختار يجب الحد من إمكانية تلوث المياه الجوفية إلى أقل قدر ممكن عن طريق استخدام أنابيب تبطين مانعة للتسرب في آبار الحقن إلى عمق ملائم للتكوين الجيولوجي الذي يحتوي على مكمن حرارة الأرض؛
- ويجب دراسة فرص إعادة استخدام فضلات موائع طاقة حرارة الأرض ومن بينها:
  - استخدام تقنية الدورة المزدوجة لتوليد الطاقة؛
  - الاستخدام في العمليات الصناعية المتممة إذا كانت نوعية فضلات المياه (بما في ذلك مستويات المعادن الثقيلة الكلية والمذابة) تتسق مع متطلبات الجودة للاستخدام المزمع. وتشتمل أمثلة الاستخدامات في العمليات الصناعية المتممة تطبيقات التدفئة مثل الصوبات، والزراعة المائية، والتدفئة الحيزية، وتصنيع الأغذية/الفواكه، والاستخدامات الترفيهية للفنادق / عيون المياه المعدنية وذلك من بين أشياء أخرى.

[3] Kestin (1980)
[4] قد يكون إعادة الحقن مفضلا في بعض الحالات لإطالة عمر المكمن.

- التصريف النهائي للموائع المستخدمة وفق متطلبات المعالجة والتصريف للنشاط المعني –إن وجدت- وبما يتسق واستخدام وحدة استقبال المياه كما هو مبين في **الإرشادات العامة للبيئة والصحة والسلامة**.

الانبعاثات الهوائية

انبعاثات محطات طاقة حرارة الأرض لا تذكر إذا ما قورنت بانبعاثات محطات الطاقة القائمة على احتراق الوقود الأحفوري؛ [5] فكبريتيد الهيدروجين والزئبق هما أهم ملوثات الهواء المحتملة المتصلة بتوليد طاقة حرارة الأرض باستخدام تقنيات البخار الومضي أو الجاف. ويوجد ثاني أكسيد الكربون في البخار لكن انبعاثاته أيضا لا يعتد بها إذا ما قورنت بمصادر احتراق الوقود الأحفوري. وتتباين درجات وجود ملوثات الهواء المحتملة وتركيزها حسب خصائص مصدر طاقة حرارة الأرض.

وقد تحدث الانبعاثات أثناء أعمال حفر الآبار وتقييم التدفق وعن طريق أنظمة المكثف التلامسي / برج التبريد ما لم يتم ضخها خارج المكثف وإعادة حقنها في المكمن إلى جانب فضلات موائع الطاقة الحرارية. وقد تكون صمامات التنفيس في مجال البئر أو موقع المحطة أيضا مصدرا محتملا لانبعاثات كبريتيد الهيدروجين ولاسيما في ظروف التشغيل المضطربة التي تتطلب تهوية. وتقنيات الدورة المزدوجة لتوليد الطاقة والتقنيات المختلطة من البخار الومضي والدورة المزدوجة تقترب من الصفر انبعاثاتها من كبريتيد الهيدروجين أو الزئبق في الغلاف الجوي بسبب إعادة حقن كل الغازات والموائع في عملية توليد طاقة حرارة الأرض.

وتشتمل الأساليب الموصى بها للتعامل مع الانبعاثات الهوائية على ما يلي:

- دراسة الخيارات التقنية التي تتضمن إعادة الحقن الكلي أو الجزئي للغازات مع موائع حرارة الأرض في إطار الآثار البيئية المحتملة لتقنيات التوليد البديلة والعوامل الأساسية الأخرى؛ مثل ملاءمة التكنولوجيا للتكوين الجيولوجي والاعتبارات الاقتصادية (مثل رأس المال وتكاليف التشغيل / والصيانة)
- وحينما يكون إعادة الحقن الكلي غير مجد , فإن تصريف كبريتيد الهيدروجين والزئبق الطيار غير المتكاثف حسب تقييم الآثار المحتملة على التركيزات في البيئة المحيطة لن يجعل مستويات التلوث تتجاوز المعايير المعتمدة للسلامة والصحة؛
- وإذا اقتضت الضرورة، فيمكن استخدام أنظمة تخفيف الآثار لإزالة انبعاثات كبريتيد الهيدروجين والزئبق من الغازات غير المتكاثفة. وقد تتضمن أمثلة ضبط كبريتيد الهيدروجين أنظمة الغسل الرطب أو الجاف أو نظام خفض مرحلة السوائل / الأكسدة بينما تتضمن وسائل ضبط انبعاثات الزئبق تكثيف بخار الغاز مع المزيد من أساليب الفصل أو الاستيعاب.

النفايات الصلبة

لا تنتج تقنيات توليد طاقة حرارة الأرض قدرا كبيرا من النفايات الصلبة. ويجري عادة تجميع ترسبات الكبريت وثاني أكسيد السليكون والكربون من أبراج التبريد وأنظمة غسل الهواء والتوربينات ووحدات فصل البخار. ويمكن تصنيف هذه الحمأة على أنها ضارة وذلك حسب نسبة التركيز وإمكانية

[5] على سبيل المثال فان محطات طاقة حرارة الأرض ينبعث منها تقريبا واحد في المائة من أكسيد الكبريت (Sox) وأكسيد النتروجين ,(NOx) وخمسة في المائة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO2) لمحطة طاقة حرارية لها طاقة توليد مماثلة وتعمل بالفحم. Duffield and Sass (2003)).

الاستخلاص بالغسل أو الإذابة لمركبات السليكون, والكلوريدات, والزرنيخ, والزئبق, والفاناديوم, والنيكل, وغيرها من المعادن الثقيلة. والأساليب الموصى بها لمعالجة النفايات الخطرة مبينة في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** وتتضمن التخزين الملائم في الموقع والحصر قبل المعالجة النهائية والتخلص منها في مرفق مناسب للنفايات. وإذا كانت الحمأة ذات نوعية مقبولة ولا يتضمن محتواها قدرا كبيرا من المعادن القابلة للاستخلاص بالغسل أو الإذابة (بمعنى أنها نفايات غير ضارة) فإن إعادة استخدامها في الموقع أو خارجه كمادة للردم قد يعتبر خيارا محتملا للتخلص منها. ويجب أن تقوم أطراف ثالثة بإعادة تدوير النفايات الصلبة مثل كتلة الكبريت إلى الحد الذي يكون مجديا. [6] ويجب أن تتحدد طرق التخلص من النفايات بادئ الأمر عن طريق تحليلات كيماوية مناسبة للترسبات ويجب تكرار هذه التحليلات بصورة دورية (كل عام مثلا) لاستيعاب التغيرات المحتملة المتصلة بطاقة حرارة الأرض وما ينتج عنها من آثار على نوعية النفايات.

ثوران البئر وتعطل خطوط الأنابيب

وثوران البئر وتعطل خطوط الأنابيب –وإن كان نادرا جدا- فإنه قد يحدث أثناء حفر البئر أو تشغيل المرافق. وقد تتسبب مثل هذه الأعطال في انطلاق مضافات وموائع الحفر السامة؛ وكذلك غازات كبريتيد الهيدروجين من التكوينات في باطن الأرض. وقد يؤدي تمزق خطوط الأنابيب إلى خروج موائع جوفية حرارية ومعادن ثقيلة محتوية على البخار، وعناصر حمضية، وترسبات معدنية وملوثات أخرى إلى سطح الأرض.

وتشتمل الأساليب الموصى بها لمنع التلوث ومكافحته لمعالجة ثوران البئر وتمزق خطوط الأنابيب على:

- الصيانة الدورية لرأس البئر وأنابيب الموائع بما في ذلك مراقبة التآكل، والفحص والمعاينة، ورصد الضغط، واستخدام معدات منع ثوران البئر مثل صمامات الإغلاق؛
- وتصميم خطط الاستجابة في حالات الطوارئ عند ثوران البئر أو تمزق خطوط الأنابيب؛ بما في ذلك إجراءات احتواء وحصر موائع طاقة حرارة الأرض المتسربة.[7]

وتتضمن **الإرشادات العامة للبيئة والصحة والسلامة** مزيدا من التفصيل لخطط استجابات الطوارئ.

استهلاك المياه واستخراجها

استخراج المياه السطحية ضروري لمجموعة متنوعة من أعمال توليد طاقة حرارة الأرض؛ ومن ذلك حفر الآبار واختبار قابلية التكوينات الجوفية للحقن والاستخدام في أنظمة التبريد. والمياه السطحية المستخدمة في نظام التبريد عادة ما تعاد إلى منشأها مع بعض الزيادة في حرارتها لكن لا يطرأ عموما تغير على نوعية المياه.

والإجراءات الإدارية التالية يوصى بها للمحافظة على موارد المياه المستخدمة في دعم أعمال توليد طاقة حرارة الأرض:

- تقييم السجلات الهيدرولوجية في الأحوال المتغيرة على الأجلين القصير والطويل للأنهار كمصدر للمياه؛ وضمان استمرار التدفقات الحيوية خلال فترات ضعف التدفق حتى لا تعوق مرور الأسماك أو تؤثر تأثيرا سلبيا على النباتات والحيوانات المائية؛

[6] مثال على الاستخدامات المفيدة هو تصنيع الأسمدة الزراعية.

[7] لمزيد من المعلومات يرجى الاطلاع على Babok and Toth (2003)

- رصد تغير درجات حرارة النفايات السائلة ووحدات استقبال المياه من أجل الالتزام باللوائح المحلية فيما يتعلق بالتصريف الحراري؛ أو في غياب مثل هذه اللوائح؛ مثلما ذكر من قبل في هذه الوثيقة.

1. 2 الصحة والسلامة المهنية

قضايا الصحة والسلامة المهنية أثناء إنشاء وإيقاف تشغيل مشروعات توليد طاقة حرارة الأرض قاسم مشترك مع كل المنشآت الصناعية الأخرى وتناقش **الإرشادات العامة للبيئة والصحة والسلامة** سبل الوقاية من الأمراض ومكافحتها.

وتتضمن قضايا معينة للصحة والسلامة في مشروعات طاقة حرارة الأرض إمكانية التعرض لـ:

- غازات حرارة باطن الأرض
- الأماكن المحصورة
- الحرارة
- الضوضاء

غازات حرارة باطن الأرض

قد يحدث التعرض المهني لغازات حرارة باطن الأرض ولاسيما غاز كبريتيد الهيدروجين أثناء الإطلاق غير المعتاد لموائع حرارة الأرض (عند تعطل خطوط الأنابيب مثلا) وأعمال الصيانة في الأماكن المحصورة مثل خطوط الأنابيب، والتوربينات، والمكثفات. وقد يختلف مدى خطورة كبريتيد الهيدروجين حسب الموقع والتكوين الجيولوجي الخاص بالمنشأة.

وحيثما وجد احتمال للتعرض لمستويات خطرة من كبريتيد الهيدروجين فيجب على منشآت طاقة حرارة الأرض أن تدرس اتخاذ الإجراءات الإدارية التالية:

- تركيب أنظمة الرصد والإنذار لكبريتيد الهيدروجين على أن يتحدد عدد ومكان أجهزة الرصد على أساس تقييم لمواقع المحطات التي تكون عرضة لانبعاثات كبريتيد الهيدروجين والتعرض المهني للمخاطر؛ [8]
- وضع خطة طوارئ لمواجهة حوادث انطلاق كبريتيد الهيدروجين بما في ذلك كافة الجوانب اللازمة من التقييم إلى استئناف العمليات المعتادة؛
- إتاحة فرق إسعاف الطوارئ في المنشأة، وعمال في المواقع التي يشتد فيها خطر التعرض، مع وجود مراقبين شخصيين لكبريتيد الهيدروجين وأجهزة تنفس قائمة بذاتها والتدرب على استخدامها الآمن والفعال؛
- إتاحة وسائل تهوية كافية للمباني المشغولة لتجنب تراكم غاز كبريتيد الهيدروجين؛
- وضع وتنفيذ برنامج لدخول الأماكن المحصورة في المناطق التي تصنف على أنها أماكن محصورة (انظر أدناه)
- إتاحة عمال لديهم صحيفة وقائع أو معلومات أخرى جاهزة عن التركيب الكيماوي للمرحلتين السائلة والغازية مع إيضاح للآثار المحتملة على صحة البشر وسلامتهم.

الأماكن المحصورة

مخاطر الأماكن المحصورة في هذه الصناعة وأي قطاع آخر من قطاعات الصناعة قد تكون مهلكة. وتختلف مخاطر دخول العمال إلى الأماكن المحصورة واحتمالات وقوع حوادث بها من منشأة إلى أخرى من منشآت محطات طاقة حرارة الأرض

[8] يجب وضع حدود الإنذار للمنشأة أو مراقب شخصي لكبريتيد الهيدروجين دون معايير السلامة الموصى بها حسب نصيحة متخصص في السلامة المهنية.

بحسب تصميمها، والمعدات المتاحة بالموقع، ووجود مياه جوفية أو موائع حرارة الأرض. وقد تشتمل الأماكن المحصورة على مناطق محددة لغرض بعينه منها التوربين والمكثف وبرج التبريد (أثناء أعمال الصيانة) وسقيفة معدات الرصد (أثناء أخذ العينات) وفتحة البئر "السرداب" (وهو منخفض تحت سطح الأرض من أجل أغراض الحفر). ويجب على منشآت طاقة حرارة باطن الأرض وضع إجراءات لدخول الأماكن المحصورة وتطبيقها وفقاً لما هو مبين في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.**

الحرارة

يحدث التعرض المهني للحرارة أثناء أعمال الإنشاء، وأثناء تشغيل وصيانة الأنابيب والآبار، والمعدات الساخنة المتصلة بها. وتتضمن حوادث التعرض غير المعتادة إمكانية ثوران البئر خلال الحفر وكذلك أعطال منشآت النقل وملوثات البخار.

وتتضمن الإجراءات الموصى بها للوقاية من حوادث التعرض للحرارة ومكافحتها:

- خفض الوقت المطلوب للعمل في بيئات ذات درجة حرارة مرتفعة وتيسير الحصول على مياه الشرب؛
- تغطية الأسطح التي يكون فيها العمال قريبين من معدات ساخنة بما في ذلك معدات توليد الطاقة والأنابيب وغيرها؛
- واستخدام معدات وقاية شخصية حسب مقتضى الحال ومن بينها قفازات وأحذية معزولة
- تطبيق إجراءات السلامة المناسبة أثناء عملية الحفر الاستكشافي

الضوضاء

مصادر الضوضاء في منشآت طاقة حرارة الأرض تكون في الأساس مرتبطة بحفر الآبار وتصفيح حجيرات البخار والتنفيس ومن المصادر الأخرى للضوضاء المعدات المتصلة بأجهزة الضخ والتوربينات وأعمال الشطف المؤقت للأنابيب. وقد تفوق مستويات الضوضاء المؤقتة 100 ديسبيل أثناء أعمال معينة للحفر وتنفيس البخار. وتتضمن تقنيات خفض الضوضاء استخدام كمامات الصخور، وعزل الأصوات، وحواجز أثناء الحفر، بالإضافة إلى كواتم الصوت على المعدات في منشأة معالجة البخار. وتتضمن **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة** مزيدا من التوصيات عن معالجة الضوضاء المهنية والاهتزازات مثل استخدام معدات وقاية شخصية مناسبة.

1. 3 صحة وسلامة المجتمع المحلي

قضايا الصحة والسلامة المهنية أثناء إنشاء وإيقاف تشغيل مشروعات توليد طاقة حرارة الأرض قاسم مشترك مع كل المنشآت الصناعية الأخرى وتناقشها **الإرشادات العامة للبيئة والصحة والسلامة.**

وتتضمن قضايا صحة وسلامة المجتمع المحلي أثناء تشغيل محطات طاقة حرارة الأرض:

- التعرض لغاز كبريتيد الهيدروجين
- سلامة مرافق البنية الأساسية
- الآثار على موارد المياه

كبريتيد الهيدروجين

بالإضافة إلى منع ومكافحة الانبعاثات والتعرض لغاز كبريتيد الهيدروجين التي ورد ذكرها في أقسام الصحة والسلامة البيئية

والمهنية أعلاه؛ فإنه يجب دراسة إمكانية تعرض أفراد المجتمع المحلي للمخاطر دراسة دقيقة خلال عملية التخطيط وتنفيذ الاحتياطات اللازمة. وحيثما يزداد احتمال تعرض المجتمع المحلي للمخاطر فإن أمثلة تدابير التخفيف لهذا الاحتمال تشتمل على:

- تحديد مصادر الانبعاثات المحتملة مع دراسة تعرض المجتمعات القريبة لغاز كبريتيد الهيدروجين (مع الأخذ في الحسبان عوامل بيئية هامة مثل القرب والتشكيلات الصخرية والاتجاهات السائدة للرياح)
- تركيب شبكة لرصد غاز كبريتيد الهيدروجين على أن يتحدد عدد ومكان أجهزة المراقبة من خلال نماذج التشتت الجوي؛ مع الأخذ في الحسبان مكان مصادر الانبعاثات ومناطق السكنى في المجتمع المحلي؛
- التشغيل المتواصل لأنظمة رصد غاز كبريتيد الهيدروجين لتسهيل الرصد والإنذار المبكر؛
- التخطيط للطوارئ بمشاركة المجتمع المحلي من أجل تيسير الاستجابة الفعالة لإنذارات نظام الرصد.

سلامة مرافق البنية الأساسية

قد تكون المجتمعات المحلية معرضة لمخاطر مادية مرتبطة بالآبار وشبكات الأنابيب المتصلة بها. وقد تنجم المخاطر عن ملامسة المكونات الساخنة، أو تعطل المعدات، أو وجود مكونات بنية أساسية للآبار عاملة أو مهجورة الأمر الذي قد يؤدي إلى مخاطر الأماكن المحصورة أو السقوط. وتشتمل أساليب المعالجة الموصى به لتخفيف هذه الآثار على:

- وضع مثبطات الدخول مثل الأسوار ولافتات التحذير لمنع الدخول والتحذير من المخاطر القائمة؛
- تقليل طول شبكات الأنابيب اللازمة إلى أقل حد ممكن؛
- دراسة جدوى الأنابيب الممدودة تحت السطح أو دروع الحرارة لمنع ملامسة العوام لخطوط الأنابيب الساخنة لطاقة حرارة الأرض؛
- العمل على إغلاق مرافق البنية الأساسية مثل خطوط الأنابيب وطرق الوصول بما في ذلك معدات التنظيف والتفكيك والنقل، وتحليل نوعية التربة، مع تنقيتها حيثما اقتضت الضرورة؛ وإعادة تخضير الموقع وما حوله؛ وإصلاح طرق الوصول متى كان ذلك ضروريا؛
- العمل على إغلاق رؤوس الآبار بما في ذلك سد البئر بالاسمنت؛ وإزالة رأس البئر؛ وردم الأرض المنخفضة حول رأس البئر عند الضرورة.[9]

الآثار على موارد المياه

قد يؤثر استخراج وإعادة حقن وتصريف موائع حرارة باطن الأرض على نوعية وكمية موارد المياه السطحية والجوفية. ومن أمثلة الآثار المحددة إدخال موائع حرارة باطن الأرض بغير قصد في خزانات منتجة ضحلة للمياه الجوفية أثناء أعمال الاستخراج وإعادة الحقن أو خفض معدل التدفق في الينابيع الحارة بسبب أعمال سحب المياه. وتشتمل الإجراءات الموصى بها لمنع هذه الآثار ومكافحتها على:

- إعداد نموذج جيولوجي وهيدرولوجي شامل يتضمن البنية العامة الجيولوجية والهيكلية والتكتونية، وحجم الخزان، والحدود، والخصائص الجيولوجية الفنية والهيدرولية للصخور المضيفة؛
- إكمال تقييم الميزان الهيدرولوجي والمائي خلال مرحلة تخطيط المشروع لتحديد صلات الترابط

[9] قد يتطلب إيقاف تشغيل مرافق البنية الأساسية لحقل طاقة حرارة باطن الأرض وإغلاقها خططا مفصلة تعتمد على اعتبارات محددة بشأن الموقع.

الهيدروليكي بين نقاط استخراج طاقة حرارة الأرض وإعادة الحقن وبين أي موارد لمياه الشرب أو خصائص المياه السطحية؛

- عزل مصادر إنتاج البخار عن التكوينات الهيدرولوجية الضحلة التي قد تستخدم كمصادر لمياه الشرب من خلال الاختيار الدقيق للموقع والتصميم والتركيب السليم لأنظمة تبطين الآبار؛
- تفادي الآثار السلبية على المياه السطحية عن طريق تطبيق معايير صارمة للتصريف ووسائل ملائمة لتحقيق المعايير المقبولة لنوعية المياه ودرجة حرارتها.

2. 0 مؤشرات الأداء ومراقبته

2. 1 البيئة

الإرشادات بشأن الانبعاثات والنفايات السائلة

الانبعاثات

قد تحدث انبعاثات طفيفة في الهواء من كبريتيد الهيدروجين وبخار الزئبق وثاني أكسيد الكبريت تنفلت من أبراج التبريد إذا تضمنت عملية التكثيف تلامسا مباشرا للبخار مع مياه التبريد. وتشير القيم الاسترشادية للانبعاثات والنفايات السائلة في هذا القطاع إلى الممارسات الدولية السليمة للصناعة كما تعبر عنها المعايير المتصلة في الدول التي لديها أطر تنظيمية معترف بها. ومع أن مشروعات طاقة حرارة باطن الأرض لا تنتج في العادة مصدرا ثابتا كبيرا للانبعاثات أثناء الإنشاء وعمليات التشغيل؛ فإن انبعاثات كبريتيد الهيدروجين، أو الأنواع الأخرى من الانبعاثات، لا تؤدي إلى تركيزات في البيئة المحيطة تتجاوز معايير جودة الهواء المعلنة على الصعيد الوطني أو؛ في غيابها؛ الإرشادات المعترف بها دوليا. [10]

النفايات السائلة

عادة ما يعاد حقن موائع حرارة الأرض المستعملة في تكوينات الصخور المضيفة لينتج عنها كميات طفيفة من الفضلات السائلة ومنها فضلات المياه. وتختلف الملوثات المحتملة في النفايات السائلة لمشروعات طاقة حرارة الأرض حسب الخصائص المعدنية للتكوينات الجيولوجية المضيفة، ودرجة حرارة المياه في باطن الأرض، وعمليات المنشأة في موقع بعينه. وإذا لم يتم إعادة حقن موائع حرارة باطن الأرض المستعملة فإن النفايات السائلة يجب أن تفي بمستويات التصريف في الموقع المحدد للمياه السطحية كما هو مبين في **الإرشادات العامة للبيئة والصحة والسلامة**.

الرصد البيئي

يجب تطبيق برامج الرصد البيئي الخاصة بهذا القطاع للتعامل مع جميع الأنشطة التي تم تحديد كونها تحدث آثاراً كبيرة محتملة على البيئة، أثناء العمليات العادية وفي الظروف المضطربة. ويجب أن تستند أنشطة الرصد البيئي إلى المؤشرات المباشرة أو غير المباشرة للانبعاثات والنفايات السائلة واستخدام الموارد. التي تنطبق على مشروع بعينه.

وينبغي أن يكون معدل تكرار الرصد بالقدر الكافي لتوفير بيانات تمثيلية للمعايير الجاري رصدها. ويجب أن يقوم بعمليات الرصد أفراد مدربون يتبعون إجراءات الرصد والاحتفاظ بالسجلات ويستخدمون معدات تجري معايرتها وصيانتها على نحو سليم. وينبغي أيضا تحليل بيانات الرصد ومراجعتها على فترات منتظمة ومقارنتها بالمعايير التشغيلية

[10] إرشادات بشأن نوعية الهواء؛ منظمة الصحة العالمية (WHO) جنيف 2000.

حتى يتسنى اتخاذ أي إجراءات تصحيحية لازمة. وتتوفر إرشادات إضافية عن الطرق المطبقة لأخذ العينات وتحليل الانبعاثات والنفايات السائلة في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.**

2.2 الصحة والسلامة المهنية

إرشادات بشأن الصحة والسلامة المهنية

يجب تقييم أداء الصحة والسلامة المهنية بالمقارنة مع إرشادات التعرض المنشورة دولياً، والتي تشمل على سبيل المثال، قيمة الحد الأقصى المقبول للتعرض (TLV®) وإرشادات التعرض المهني ومؤشرات التعرض البيولوجي (BEIs®) المنشورة من قبل المؤتمر الأمريكي لخبراء الصحة المهنية الحكوميين (ACGIH)، [11] ودليل الجيب للمخاطر الكيميائية المنشورة من قبل المعهد الوطني الأمريكي للصحة والسلامة المهنية (NIOSH)، [12] وحدود التعرض المسموح بها (PELs) المنشورة من قبل الإدارة الأمريكية للصحة والسلامة المهنية (OSHA)، [13] والقيم الإرشادية لحدود التعرض المهني المنشورة من قبل الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي، [14] أو ما يشابهها من مصادر.

معدلات الحوادث والوفيات

يجب أن تحاول المشروعات تقليل عدد الحوادث التي يتعرض لها العاملون (العاملين المباشرين أو المقاولين من الباطن) إلى حد العدم، ولاسيما الحوادث التي قد تؤدي إلى ضياع وقت العمل، أو مختلف درجات الإعاقة، أو حتى الوفيات. ويجب إجراء مقارنة معيارية بين المعدلات السائدة في المنشأة وبين أداء المنشآت في هذا القطاع في البلدان المتقدمة من خلال الرجوع إلى المصادر المنشورة (مثل مكتب إحصاءات العمل الأمريكي وإدارة الصحة والسلامة بالمملكة المتحدة)[15]

رصد الصحة والسلامة المهنية

يجب أن تكون بيئة العمل مناسبة للمخاطر المهنية التي ينطوي عليها مشروع بعينه. وينبغي تصميم الرصد وتنفيذه على أيدي متخصصين معتمدين[16] كجزء من برنامج رصد الصحة والسلامة المهنية. كما يجب على المنشآت الاحتفاظ بسجلات عن الحوادث والأمراض المهنية والأحداث والحوادث الخطرة. وتتوفر إرشادات إضافية عن برامج رصد الصحة والسلامة المهنية في **الإرشادات العامة بشأن البيئة والصحة والسلامة.**

[11] متاح على الموقعين التاليين :
http://www. acgih. org/TLV/
http://www. acgih. org/store/
[12] متاح على الموقع: http://www. cdc. gov/niosh/npg/
[13] متاح على الموقع:
http://www. osha. gov/pls/oshaweb/owadisp. show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992
[14] متاح على الموقع: http://europe. osha. eu. int/good_practice/risks/ds/oel/

[15] متاح على الموقع: http://www. bls. gov/iif/ و http://www. hse. gov. uk/statistics/index. htm
[16] يشمل المتخصصون المعتمدون الخبراء الصحيين المعتمدين، وخبراء الصحة المهنية المسجلين، أو اختصاصيي السلامة المعتمدين أو المناظرين لهم.

3.0 ثبت المراجع والمصادر الإضافية

ANZECC (Australian and New Zealand Environment Conservation Council). ANZECC. Available at http://www. deh. gov. au/about/councils/anzecc (accessed on March, 2006).

AS/NZ (Australian/New Zealand Standard on Risk Management). 1999. Australian/New Zealand Standard on Risk Management (AS/NZ 4360:1999). Auckland, NZ: AS/NZ. Available at http://www. uq. edu. au/hupp/index. html?page=30899&pid=30896 (accessed on March 2006).

Axelsson, G. , and Gunnlaugsson, E. 2000. "Background: Geothermal utilization, management and monitoring. " In *Long-Term Monitoring of High- and Low Enthalpy Fields under Exploitation*, World Geothermal Congress 2000 Short Courses, Japan, 3–10. Beppu, Japan.

Babok, B. , Toth, A. , 2003. Geothermal energy production and its environmental impacts in Hungary. International Geothermal Conference , Reykjavik, 2003. , pp. 19-25.

Bay Area Air Quality Management District, Regulation 9: Inorganic Gaseous Pollutants, Rule 5 – Hydrogen Sulfide from Geothermal Power Plants. Available at http://www. baaqmd. gov/dst/regulations/index. htm#reg9 (accessed on September 11, 2006).

Brophy, Paul. 1997. "Environmental Advantages to the Utilization of Geothermal Energy. " *Renewable Energy* 10:2–3, table 3. 374.

Bloomfield, K. , Moore, J. N. , and R. M. Neilson Jr. (2003). Geothermal Energy Reduces Greenhouse Gases. Davis, CA.: Geothermal Research Council. GRC Bulletin, April 2003.

Brown, K. L. 2000. "Impacts on the physical environment. " In Brown, K. L. , ed. , *Environmental Safety and Health Issues in Geothermal Development*, World Geothermal Congress 2000 Short Courses, Japan, 43—56. Beppu, Japan.

California Energy Commission. 2002. Overview of Geothermal Energy in California. Sacramento, CA. California Energy Commission. Available at http://www/energy. ca. gov/geothermal/overview (accessed on March 2006.

California Vision of Oil Gas and Geothermal Resources. 2004. Geothermal Injection Wells.: California Vision of Oil Gas and Geothermal Resources. Available at http:/www. consrv. ca. gov/DOG/geothermal/general_info/injection_wells. htm (accessed on March 2006).

Crecilius, E. A. ; Robertson, D. E. ; Fruchter, J. S. ; and Ludwick, J. D. 1976. Chemical forms of mercury and arsenic emitted by a geothermal power plant. 10th Annual Conference on Trace Substances in Environmental Health. University of Missouri, Columbia, Missouri, United States.

Dipippo, R. 1999. Small Geothermal energy Plant, Design, Performance and Economics. Geothermal Research Council Bulletin (June). Davis, Ca.

Duffield, W. A. , Sass, J. H, 2003. Geothermal Energy – Clean Power from the Earth's Heat. U. S. Geological Survey. Circular 1249. p. 43

FME (Federal Ministry for the Environment of Germany). 2005. *Geothermal Energy – Energy for the Future.* Werner Burchmann, ed. Berlin, Germany: Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Available at www. bmu. de. (accessed March 2006).

Geothermal Hot Line. 1996. Subsidence and Uplift at Heber Geothermal Field. California.

Geothermal Regulatory and Reclamation Program at DOGAMI. Department of Geology and Minerals Industries. Portland, OR. Available at http://www. oregongeology. com/sub/oil/oilhome. htm (accessed on March 2006).

Geothermal Training Programme Reports. 2003. Orkustofnun, Grensásvegur 9, Number 5 IS-108. Reykjavík, Iceland.

Gutierrez-Negrin, L. C. A. , and Quijano-Leon, J. L. 2004. Analysis of Seismicity in the Los Humeros, Mexico, Geothermal Field. *Geothermal Resources Council Transactions* 28: 467–72.

Hiroyuki T. , H. Takagi, Y. Kiyota, K. , Matsuda, Hideki Hatanaka, Kanichi Shimada, Hirofumi Inuyama, Roger Young, Larry F. Bayrante, Oliver T. Jordan, Jesus Reymundo M. Salera, and Francis Edward B. Bayon. 2000. Development and Verification of a Method to Forecast Hot Springs Interference due to Geothermal Power Exploitation. Proceedings World Geothermal Congress 2000. Kyushu - Tohoku, Japan, May 28–June 10, 2000.

International Geothermal Association. 2001. Report of the IGA to the UN Commission on Sustainable Development, Session 9 (CSD-9), New York, April 2001.

International Energy Agency. 2003. Appendices to Report on Benign Energy: The Environmental Implications of Renewables. Appendix G Geothermal Paris, France: International Energy Agency. Available at http://www. iea. org/pubs/studies/files/benign/pubs/append3g. pdf (accessed on March 2003).

Kagel. A, D. Bates, and K. Gawell. 2005. *Clear the Air: Air Emissions from Geothermal Electric Power Facilities Compared to Fossil-Fuel Power Plants in the United States.* Washington, DC: Geothermal Energy Association, GRC Bulletin, May/June.

Kestin, J. (Editor). Source book on the production of electricity from Geothermal Energy. US Department of Energy. Division of Geothermal Energy. Washington, D. C.

Krzan, Zbigniew. 1995. "Environmental Protection of the Tatra, Pieniny and Gorge Mountains by the Use of Geothermal Energy. " *WGC* 4: 2799–800.

Lienau, P. J. , and Lunis, B. C. (editors), 1991. Geothermal direct use engineering and design guidebook. Geoheat Center, Oregon Institute of Technology.

Lunis, B. , and Breckenridge, R. 1991. "Environmental considerations. " In Lienau, P. J. and Lunis, B. C. , eds. , *Geothermal Direct Use, Engineering and Design Guidebook*, 437–45. Klamath Falls, Oregon: Geo-Heat Center.

Philippines DOE (Department of Energy). 2002. Guidelines for Geothermal Operations in the Philippines. Bureau Circular No. 83-01-02. Manila. DOE. Available at www. doe. gov. ph/peer2005 (accessed on March 2003.

Reed, Marshall J. , and J. Renner. 1995. "Environmental Compatibility of Geothermal Energy. " In F. S. Sterret, eds. , *Alternative Fuels and the Environment.* Boca Raton: CRC Press.

Takashashi, K, M. Kuragaki, 2000. Yanaizu-Nishiyama geothermal power station H2S Abatement. Proceedings of World Geothermal Congress, Beppu, Japan, 2000. pp. 719-724

Timperly, M. H. , and L. F. Hill, (1997). Discharge of mercury from the Wairakei geothermal power station to the Waikato River, New Zealand. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 1997, Vol. 31: 327-336

UNEP (United Nations Environmental Programme). 2005. Guidelines for Geothermal Energy Systems (Release 1. 0) Environmental Due Diligences of Renewable Energy Projects, United Nations Environmental Programme. UNEP. Available at www. energy-base. org/fileadmin/ media/sefi/docs/edd_geothermal. pdf (accessed on November 5, 2005).

U. S. DOE (U. S. Department of Energy), 2000. Revised Geothermal Safety and health rules and regulations. Department Circular 2000-02-001. Washington DC.

US DOE (U. S. Department of Energy). 2001. Energy and Geosciences Institute at University of Utah. Geothermal Energy: Clean Sustainable Energy for the Benefit of Humanity and the Environment (Brochure). Washington, DC: US DOE.

Available at http://www. geo-energy. org/RedBrochure. pdf (accessed on October 2004).

US DOE (U. S. Department of Energy), Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE). 2004. Geothermal Technologies Program. Geothermal energy Plants. Washington, DC: US DOE/EERE. Available at http://www.eere. gov/geothermal/powerplants. html (accessed on December 6, 2004).

US DOE (U. S. Department of Energy), Geothermal Technologies Program. 2004. Geopowering the West: Hawaii Facts Sheet. December 21, 2004. Washington, DC: US DOE. Available at http://www. eere. energy. gov/geothermal/gpw_hawaii. html (accessed on March 2006).

U. S. DOE (U. S. Department of Energy), NERL(National Renewable Energy Laboratory). 2001. Geothermal Energy: Heat from the Earth (Publication No. DOE/GO – 102001-1432). Washington, DC: US DOE/NERL. Available at http://www. nrel. gov/dos/fy02osti/29214/pdf (accessed on December 6, 2004).

Utah Water Quality Act. 2004. The Utah Water Quality Act and Title R317 - Environmental Quality and Water Quality, 2004. State of Utah.

Weres, O. 1984. Environmental Protection and the Chemistry of Geothermal Fluids. Berkley, CA.: Lawrence Berkeley Laboratory, LBL 14403.

World Bank Group. 2002. Geothermal Energy. Washington, DC: World Bank Group. Available at http://www. worldbank. org/html/fpd/energy/geothermal/ (accessed on December 6, 2004).

World Health Organization (WHO), Air Quality Guidelines, Second Edition, Geneva, 2000. Available at http://www. euro. who. int/air/activities/20050223_3 (accessed on September 11, 2006).

World Energy Council website (June 2006): http://www. worldenergy. org/wec-geis/publications/default/tech_papers/17th_congress/3_1_17. asp

Wright, P. M. 1998. The Sustainability of Production from Geothermal Resources. Bulletin. Geo-Heat Center 19(2): 9–12.

الملحق(أ): الوصف العام لأنشطة الصناعة

يتضمن توليد طاقة حرارة باطن الأرض تسخير درجات الحرارة المرتفعة وخزانات المياه أو البخار الجوفية وتحويل الطاقة الحرارية إلى كهرباء. وعادة ما يتم اختيار موقع محطات طاقة حرارة الأرض بجوار مصادر الطاقة الحرارية لتقليل كمية الحرارة المفقودة أثناء النقل. ويمكن التكيف مع المسافات الطويلة لنقل الكهرباء وتوزيعها عن طريق خطوط كهرباء ذات حجم مناسب وتحتاج محطات طاقة حرارة الأرض في العادة إلى ما بين 0. 5 إلى 3. 5 هكتار من الأرض لكل ميجاوات. وتتيح مشروعات طاقة حرارة الأرض المتكاملة توليد الطاقة وقد تستخدم الحرارة المتبقية من فضلات موائع حرارة الأرض في مجموعة متنوعة من الصناعات المتممة المحتملة مثل الصوبات، والزراعة المائية، والتدفئة الحيزية، وتصنيع الأغذية/الفواكه، والاستخدامات الترفيهية للفنادق/ عيون المياه المعدنية وذلك ضمن أشياء أخرى.[17]

وتشتمل المكونات الأساسية لمحطات توليد طاقة حرارة باطن الأرض على الآبار لتقييم البخار والمياه الجوفية ذات الحرارة العالية، وتوربينات البخار، والمكثفات، وأبراج التبريد، ومضخات إعادة الحقن، ومعدات الربط بشبكة الكهرباء.

وتتضمن مشروعات طاقة حرارة الأرض ثلاث مراحل رئيسية بما فيها الاستكشاف وتقييم الخزان، وتطوير حقول الإنتاج، وإنشاء محطة الطاقة.

وتتضمن أعمال الاستكشاف وتقييم الخزان إجراء مسوح لجوانب الجيولوجيا وطبيعة الأرض والحفر من أجل الحفر الاستكشافي وتقييم الخزان.

وتتضمن تنمية حقول الإنتاج حفر آبار إنتاج البخار أو الماء الساخن وإعادة حقن الآبار وتجهيز إنتاج الخزان لاستخدامه في محطة الطاقة. ويستمر الحفر طوال حياة المشروع لأن آبار الإنتاج والحقن تحتاج إلى تحديث بين الحين والآخر لدعم متطلبات توليد الطاقة.

وتتضمن أعمال إنشاء محطات الطاقة إنشاء مباني المحطة ومرافق البنية الأساسية المتصلة بها ومنها أبراج التبريد, وخطوط الأنابيب، ومنشآت معالجة فضلات المياه والغاز وإعادة حقنها. وهناك أنشطة أخرى من بينها إنشاء برك ترسيب لدعم عمليات الحفر وتقييم البئر، وإنشاء طرق الوصول , وأحواض التخزين، ومنشآت الصيانة.

وتتضمن العمليات التشغيل المعتاد لمحطة طاقة حرارة الأرض وصيانتها، ومراقبة مجال البئر وصيانته، والحفر بصورة دورية لآبار الإنتاج والحقن، ومعالجة موائع حرارة الأرض وصيانة خطوط الأنابيب.

وتحتوي موائع باطن الأرض ذات الحرارة المرتفعة للغاية عادة على عدد من المعادن والغازات المذابة. وعادة ما يعاد حقن فضلات المياه والغازات في الخزان أو محيطه الخارجي لتقليل احتمال تلوث المياه الجوفية. ويكون إنشاء برك الترسيب / التبريد لجمع الغازات وتنقيتها ضروريا في بعض الأحيان

[17] Lienau and Lunis (1991)

حينما لا يكون ممكنا إعادة حقن موائع فضلات المياه والغازات.

ويمكن حسب تصميم المنشأة أن تستخدم أبراج التبريد موائع حرارة الأرض أو تستعين بموارد المياه السطحية من أجل إعادة تدويرها. ويمكن استخلاص الفضلات الصلبة الضارة من رواسب الكبريت داخل المتكثفات ويجب إزالتها وتخزينها بشكل سليم في الموقع قبل التخلص منها.

وهناك نوعان رئيسيان لموارد طاقة حرارة الأرض: هما البخار الجاف والماء الساخن[18] وفي موارد البخار الجاف يخرج من البئر المنتجة بخار جاف يمكن استخدامه استخداما مباشرا في تشغيل المولدات التوربينية. أما في موارد الماء الساخن فإن البئر يخرج منها ماء درجة حرارته مرتفعة (180 درجة مئوية). وفي موارد المياه التي تقل درجة حرارتها عن 180 درجة مئوية، يكون توليد الطاقة ممكنا باستخدام نظام الدورة المزدوجة التي تتضمن استخدام مائع ثان كما هو موضح أدناه.

ويتضمن توليد طاقة حرارة باطن الأرض عموما إحدى العمليات التالية أو مزيجا منها:

- **البخار الوميضي:** ينفصل البخار عن مورد المياه الحارة ويستخدم في توليد الطاقة حينما تكون درجة حرارة المورد أكثر من 180 درجة مئوية، وهو ما يسمح باستخراج بعض البخار ذي الضغط المرتفع لينساب في وحدات فصل البخار لتشغيل المولد التوربيني. والتقنيات المشتركة في هذا المجال هي التبخير الوميضي الأحادي والتبخير الوميضي الثنائي والتبخير الوميضي المتعدد في بعض الأحيان. ويستخدم جزء من البخار في التوربينات ويلفظ باقي الماء الحار أو يعاد حقنه في الخزان. والتقنيات المشتركة في هذا المجال هي التبخير الوميضي الأحادي والتبخير الوميضي الثنائي والتبخير الوميضي المتعدد في بعض الأحيان. ويستخدم جزء من البخار في التوربينات ويلفظ باقي الماء الحار أو يعاد حقنه في الخزان.
- **عملية الدورة المزدوجة لاستغلال طاقة حرارة الأرض:** حينما تكون درجة حرارة المورد أقل من 180 درجة مئوية، فإن دورة ثانية تعتمد على مائع ذي نقطة غليان منخفضة مثل الأيزوبيوتان والايزوبنتان تستخدم لتحقيق التفاعل بين مورد الحرارة (الموائع الجوفية الحرارية) والتوربين.
- **تقنية البخار الوميضي / الذروة المزدوجة لتوليد طاقة حرارة الأرض:** تستخدم عمليتا التبخير الوميضي والدورة المزدوجة كلتاهما في زيادة الكفاءة.
- **عمليات البخار الجاف لتوليد طاقة حرارة باطن الأرض:** يستخدم البخار الجاف ذو الضغط المرتفع الذي يجري تصريفه من آبار الإنتاج استخداما مباشرا في التوربينات لتوليد الكهرباء. وموارد البخار الجاف قيمة للغاية لكنها نادرة نسبيا.

[18] Duffield and Sass (2003)