إحاطة موجزة حول

الطاقة الحرارية الجوفية: Geothermal Energy

من باطن الأرض إلى الطاقة المستدامة

إعداد

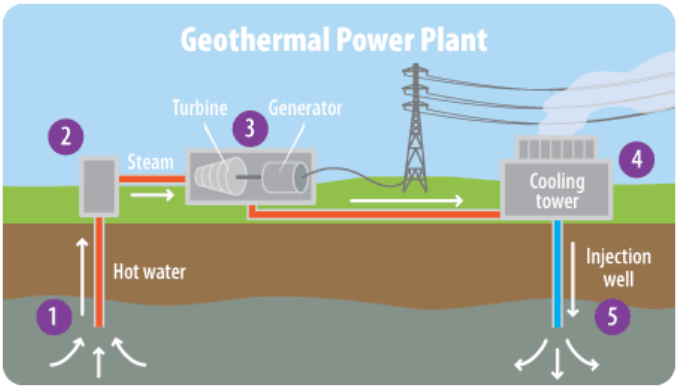
ماجد عامر

خبير اقتصادي – الإدارة الاقتصادية

الطاقة الحرارية الجوفية:

من باطن الأرض إلى الطاقة المستدامة

تُعرف الطاقة الحرارية الجوفية بأنها الطاقة الناتجة عن الحرارة المختزنة في باطن الأرض، والتي تتولد بفعل النشاط الإشعاعي والجيولوجي الطبيعي، حيث تتجمع في الصخور عالية الحرارة والمياه الجوفية والفوهات البخارية[1]، ويمكن استغلالها لتوليد الكهرباء أو للاستخدامات المباشرة مثل التدفئة والتبريد وتحلية المياه وفقاً لدرجة حرارة المصدر. ورغم أن مساهمة الطاقة الحرارية الجوفية في إنتاج الكهرباء ما تزال محدودة عند نسبة نحو 0.3% فقط من الإجمالي العالمي، فقد اكتسبت أهمية متزايدة وتوسعاً ملحوظاً في الاستثمارات خلال الأعوام القليلة الماضية – لا سيما في آسيا وأفريقيا، نظراً لأهميتها الاستراتيجية التي تكمُن في كونها مصدراً نظيفاً يمكن أن يساهم في الحد من الانبعاثات الكربونية، فضلاً عن كونها مصدر متجدد ولا يتأثر بالعوامل المناخية، مما يجعلها خياراً مثالياً لدعم تحقيق الاستقرار في أنظمة الطاقة العالمية.



هذا وتشير بعض الدراسات إلى إمكانية إنتاج الطاقة الحرارية الجوفية بشكل مشترك من آبار النفط الخام والغاز الطبيعي التي تحتوي على كميات كافية من المياه ذات درجات الحرارة المرتفعة. كما يُمكن إنتاج الهيدروجين الأخضر باستخدام الطاقة الحرارية الجوفية، من خلال الاعتماد على الكهرباء الناتجة منها في تشغيل المحلل الكهربائي.

بلغ إجمالي القدرة العالمية لتوليد الطاقة الحرارية الجوفية عالمياً حوالي 16.9 جيجاواط في نهاية عام 2024، توزعت على أكثر من 35 دولة، تتصدرها الولايات المتحدة، وتليها إندونيسيا والفلبين وتركيا ونيوزلندا وكينيا والمكسيك وايطاليا وآيسلندا واليابان. أما على مستوى الدول العربية، ما تزال الطاقة الحرارية الجوفية في مراحلها الأولى، لكن بعض الدول بدأت بالفعل خطوات عملية.

[1] فتحات طبيعية في سطح الأرض تتصاعد منها أبخرة وغازات ذات درجات حرارة مرتفعة مصدرها باطن الأرض.

فعلى سبيل المثال، أُجريت بعض عمليات الاستكشاف المبكرة التي أشارت إلى وجود "مناطق مثالية" محتملة للطاقة الحرارية الجوفية في المنطقة الغربية من **المملكة العربية السعودية**، حيث قامت جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية بالتعاون مع شركة TAQA Geothermal بحفر بئراً تجريبياً على عمق حوالي 400 متر في أوائل عام 2024، بهدف استطلاع ومراقبة ورصد مستقبل استخراج الطاقة الحرارية الجوفية. وفي **دولة الإمارات العربية المتحدة**، أعلنت شركة "أدنوك" في شهر ديسمبر 2023 عن بدء العمليات التشغيلية في مشروع "G2COOL"، وهو أول مشروع لتبريد المناطق باستخدام الطاقة الحرارية الجوفية على مستوى منطقة الخليج، ويهدف إلى خفض انبعاثات نظام تبريد المباني في "مدينة مصدر"[2]، والمساهمة في تنويع مزيج الطاقة، فضلاً عن دعم الاستراتيجية الوطنية للطاقة 2050. وتم إنشاء نظام متكامل للتدفئة الحرارية الجوفية في **جمهورية تونس**، يتكون من شبكة أنابيب حرارية مدفونة أفقيا أو عموديا تحت الأرض يمر عبرها سائل ناقل للحرارة، وقد أثبت كفاءة ملحوظة في تجربة ميدانية خلال فترة التشغيل في فصل الشتاء. وفي **جمهورية مصر العربية**، تم إطلاق مشروع "بناء القدرات البشرية والمادية في مجال الطاقة الحرارية الجوفية" في عام 2023، بالتعاون مع برنامج الاتحاد الأوروبي وعدد من الجامعات المصرية والدولية، بهدف دراسة إمكانات الطاقة الحرارية الجوفية واستغلال مواردها المتاحة.

ويواجه إنتاج الطاقة الحرارية الجوفية العديد من التحديات، من أبرزها **التحديات الاقتصادية والتكلفة الاستثمارية المرتفعة**، حيث تتطلب عمليات حفر الآبار العميقة وتجهيز منشآت الإنتاج استثمارات كبيرة، تتراوح ما بين 3000 إلى 5000 دولار للكيلوواط في المشروعات التقليدية، وتتراوح ما بين 8000 إلى 17000 دولار في مشروعات التقنيات المعززة التي تتطلب حفر أعماق وصيانة أكبر. ولكن رغم ذلك، فإن العائد التشغيلي مرتفع بفضل ثبات الإنتاج وانخفاض تكاليف التشغيل والصيانة، كما أن عمر المشروعات يتجاوز 30 عاماً، مما يجعلها استثماراً طويل الأمد. وتوجد **تحديات تقنية وجيولوجية** مثل المخاطر المرتبطة بعدم ضمان وجود حرارة كافية أو نفاذية مناسبة للصخور، مما قد يؤدي إلى عدم نجاح المشروعات أو حدوث انخفاض في الكفاءة الإنتاجية. وفي هذا السياق، يجري حالياً تطوير أنظمة معززة تتيح استغلال الصخور الجافة من خلال عمل

[2] المياه المبردة باستخدام الطاقة الحرارية الجوفية تلبي نسبة 10% من احتياجات نظام تبريد "مدينة مصدر" في دولة الإمارات العربية المتحدة.

شقوق اصطناعية لزيادة نفاذية الحرارة، إضافة إلى وضع أنظمة مغلقة تقلل من استهلاك المياه وتزيد من كفاءة التشغيل، واستغلال الموارد فائقة الحرارة التي قد توفر إنتاجية مضاعفة للبئر الواحد. يأتي ذلك إلى جانب **التحديات البيئية**، المتمثلة في المخاطر المحتملة لحدوث هزات أرضية صغيرة نتيجة الحقن الهيدروليكي في الأنظمة المعززة، وإعادة حقن المياه التي تتطلب مراقبة دقيقة لتجنب حدوث تلوث للمياه الجوفية. ولكن هذه المخاطر يمكن السيطرة عليها عبر أنظمة المراقبة والتحكم، كما أن الطاقة الحرارية الجوفية تتميز ببصمة أرضية صغيرة نسبياً، إذ تحتاج مساحات محدودة مقارنة بمزارع الرياح أو محطات الطاقة الشمسية لإنتاج نفس الكمية من الكهرباء. ويُعد نقص البيانات الجيولوجية الدقيقة والكوادر المتخصصة من بين أبرز التحديات التي تواجه الطاقة الحرارية الجوفية.

أما فيما يخص الآفاق المستقبلية، تشير التوقعات إلى أنه يمكن للطاقة الحرارية الجوفية تلبية ما يصل إلى نحو 15% من النمو في إجمالي الطلب العالمي على الكهرباء حتى عام 2050. مما يعني نشر ما يصل إلى نحو 800 جيجاواط من الطاقة الحرارية الجوفية على مستوى العالم، مما ينتج حوالي 6000 تيراواط/ساعة سنوياً، وهو ما يعادل الطلب الحالي على الكهرباء في الولايات المتحدة الأمريكية والهند مجتمعتين. ويأتي ذلك بدعم من الاستثمارات التي من المتوقع وصولها إلى حوالي 140 مليار دولار سنوياً، وهو ما يفوق إجمالي قيمة الاستثمارات الحالية في طاقة الرياح البرية على المستوى العالمي.

خلاصة القول، تُعد الطاقة الحرارية الجوفية مصدراً استراتيجياً نظيفاً ومستداماً قادراً على المساهمة في تحقيق أمن الطاقة العالمي، لا سيما في ظل الارتفاع المتوقع في الطلب على الكهرباء نتيجة الاستخدامات التقليدية مثل التبريد، والاستخدامات الحديثة مثل مراكز البيانات. وعلى الرغم من التحديات الاقتصادية والتقنية والجيولوجية والبيئية التي تواجهها، فإن التطور الإيجابي المستمر في الأبحاث والتقنيات الحديثة يعزز فرص التوسع في استخدامها، مع تحقيق أقصى استفادة منها من خلال دعم الاستثمارات والشراكات الدولية والسياسات الداعمة لخفض المخاطر وتعزيز ثقة المستثمرين، مما قد يُمكن الطاقة الحرارية الجوفية من أن تكون إحدى الركائز في التحول نحو مستقبل طاقة عالمي أكثر استدامة.

المصادر:

- ADNOC, ADNOC and Tabreed Commence Operations at Region’s First Geothermal Cooling Plant in Masdar City, 4 December 2023.
- Egyptian center for strategic studies, The Future of Energy: Geothermal Energy in Egypt, Challenges and Opportunities, 20 April 2024.
- IEA, The Future of Geothermal Energy, December 2024.
- king Abdullah university of science and technology, Powering geothermal in Saudi Arabia, 29 May 2025.
- kAPSARC, What Role Will Geothermal Play in the Energy Transition of Saudi Arabia? , 4 March 2025.
- mdpi, Heat Transfer Performance Factors in a Vertical Ground Heat Exchanger for a Geothermal Heat Pump System, 4 October 2024.
- Suez Canal University, Geothermal Energy Capacity Building in Egypt (GEB).
- Think Geoenergy, Top 10 Geothermal Countries 2024, 20 January 2025.