



2018

# مستقبل الطاقة الحرارية الجوفية في الوطن العربي



د. أسماء الكتبي

إسفير أنترناشونال

11/27/2018

## المخلص<sup>1</sup>

يمتد الوطن العربي من المحيط الهندي شرقاً للمحيط الأطلسي غرباً، صحيح أنه ليس جميع الدول العربية تطل سواحلها على أحد المحيطين، لكن أغلبها لها تضاريس جبلية، أو أن صخورها الأساسية قريبة من السطح، والملفت أن الدول العربية المطلة على المحيطات تمتد بها سلاسل جبلية إلتوائية، وعموماً بين المحيطين أراضي بها تضاريس بصخور أساسية bedrock مختلفة الصلابة والمكونات، لكنها متفكة في إحتضان وتثبيت آبار الطاقة الحرارية الجوفية.

ومن حسن حظ الوطن العربي، أن علماء الطاقة الخصرء والبديلة والمتجددة والنظيفة إكتشفوا منتجات طاقة من باطن الأرض اليباس، ومن ماء سواحل المحيطات. لكن الحظ لم يسعف لإنتشار هذه التقنيات في الوطن العربي بعد، بالرغم إنتشار الطاقة الحرارية الجوفية-على الأقل- في دول خارج الدول الغربية مثل تركيا، ودول أمريكا الجنوبية بالإضافة للصين والفلبين وأندونيسيا، وكينيا.

بالنسبة للحرارة الجوفية، إنتشر إستخدامها خلال الثلاثة عقود الماضية في الدول الغربية، خاصة ما يسمى بالإستخدام المباشر للطاقة، التي هي عبارة عن حفر بئر للطاقة في البيت، أو حتى لمبنى يتكون من عشر طوابق للتدفئة والماء الحار، ومنذ عام 1904م تم تشغيل أول محطة كهرباء بإستخدام طاقة بخار المياه الجوفية (الحارة) في إيطاليا، تلتها محطة أخرى 1913 في الولايات المتحدة الأمريكية.

ويمكن اليوم تشغيل محطات الكهرباء من الصخور مباشرة، وليس ضرورياً وجود مياه حارة، ولا حتى بقع حارة، وهذا ما يطلق عليه الحرارة الجوفية الجافة، فالأحجية في التقنية الحديثة المستخدمة هي القاعدة الصخرية Bedrocks للتأكد من ثبات البئر الطاقى، وليس مدى توفر بخار الماء في البقعة المقام بها، بالرغم من أهمية الحرارة بالنسبة للبئر الطاقى، إلا أن هذه المعضلة تحل بعمق البئر، الذي قد يصل إلى أكثر من 3 كم في باطن الأرض.

أما الإستخدام المباشر للطاقة الجوفية، فتقوم فكرته على حفر بئر طاقي في صخور القاعدة الصلبة Bedrocks، في أي نوع من الصخور الأصلية الثلاثة المعروفة (النارية، والمتحولة، والرسوبية)، على أن يتم الحفر بعمق 1م لكل 1م<sup>2</sup> من مساحة المنزل أو المبنى المراد تبريده أو تسخينه، وقد يصل البئر إلى 200م، المهم هو أن يكون هناك تغير في درجة الحرارة، بمعنى أن يهبط الماء بدرجة حرارة، ويصعد بدرجة حرارة أخرى، أقلها 4 درجات مئوية، فهذه الدرجات المئوية الأربع يمكن أن تؤثر في تغيير درجة حرارة محلول الإيثانول أو الجليكول، والوصول لدرجة التسخين تتم عن طريق كمبريسور تصنعه عدد من الدول الغربية بالإضافة للصين، ففيه يتم عملية كيميائية تفاعلية تصاعدية نتيجة إختلاف درجة الحرارة في محلول الإيثانول. أما نظام التبريد، فيتم بتثبيت مروحة تنشر الهواء الملامس لمحلول الماء البارد.

أما بالنسبة لطاقة الهيدروجين، فإن إفتتاح بعض الدول العربية مثل كل من الإمارات (الساحل الشرقي) وعمان واليمن والصومال على المحيط الهندي، وكل من المغرب والصحراء وموريتانيا على المحيط الأطلسي، يفتحها أيضاً على طاقة جديدة، هي طاقة الهيدروجين، فالهيدروجين حامل أساسي للطاقة، ومشغل للمحطات الكهربائية بدل من الوقود الإحفوري (البترول، الغاز، والفحم) المعروف والمستخدم حالياً، فالمستقبل الإقتصادي والطاقى في الهيدروجين، الذي يمكن إنتاجه من تفكيك الماء إلى أكسجين وهيدروجين، وضرورة إنشاء محطات التفكيك تلك بالقرب من سواحل مطلة على المحيطات، حتى لا تتلوث البحار شبه المغلقة كالخليج العربي والبحر المتوسط والبحر الأحمر، حيث يعاني الأول من التلوث الإحفوري، والثاني من جميع أنواع الملوثات في مقدمتها التلوث بسبب الزخم السياحي.

**المصطلحات:** الطاقة الحرارية الجوفية، طاقة الهيدروجين، الطاقة المتجددة، الطاقة النظيفة، الوطن العربي، تخزين الطاقة.

<sup>1</sup> المؤتمر العربي الدولي -الخامس عشر- للموارد المعدنية، القاهرة 26-28 نوفمبر 2018.

## 1. مقدمة

الإمتداد الجغرافي للوطن العربي من المحيط الهندي شرقاً للمحيط الأطلسي غرباً، يعطيه أبعاداً اقتصادية وإستثمارية كثيرة، ليس في مجال إستخراج المعادن والطاقة الإحفورية فقط، لكن في إستثمار الطاقة البديلة والمتجددة أيضاً، ولأغراض هذا البحث سأركز على طاقتي الحرارة الجوفية للأرض وطاقة الهيدروجين.

في الوقت الحاضر يشكل النفط والغاز نسبة 98% من استهلاك الطاقة في الوطن العربي، أي أن الطاقة المتجددة تمثل ما نسبته 2% فقط من إستخدامات الطاقة في العالم وفي الوطن العربي، وفي هذا لا تختلف هذه النسبة عما هو عليه في بقية دول العالم، بما فيها الدول الغربية (Elgendi, 2017). وتصل إلى 9% لو أضفنا لها الطاقة الكهرمائية، وللتوثيق فإن الطاقة الكهرمائية من أكثر أنواع الطاقة إستخداماً وراوفاً في الدول العربية، تلك التي تجري فيها أنهار، فلقد قامت كل من العراق وسوريا ومصر في الستينيات والسبعينيات من القرن الماضي ببناء السدود ومحطات توليد الكهرباء على أنهارها، فلقد كانت تلك الدول في تلك الحقبة في أوج إزدهارها، لكن منذ الثمانيات ومع الإنهالك السياسي والتآكل الداخلي للدول العربية الكبرى، تراجع كل شيء فيها، وصارت أستخدامات الصيحات الجديدة للتقنيات الحديثة -بما فيها الطاقة المتجددة- تظهر في الدول البترولية بشكل خاص، والدول الأكثر استقراراً كالأردن والمغرب ومصر والجزائر بالإضافة للبنان.

في هذا البحث لن أتطرق للطاقة البديلة أو المتجددة والنظيفة مجاملة، لأن ذلك سيفتح باب للحديث عن الطاقة الشمسية، فهي نجمة الطاقة المتجددة، وكأنه في الدول العربية لا يوجد مجال للطاقة غيرها، بالرغم من غلاءها، وبالرغم من أن مزاياها التي تركز أشعة الشمس تحتاج إلى صيانة بشكل مستمر، وهي قصيرة العمر أيضاً. وطاقة الرياح تلي الطاقة الشمسية في النجومية في الدول العربية، بالرغم من عدم إستمراريتها. كما تصدرت الطاقة الحيوية، وطاقة الكتل الحيوية مجالات الطاقة البديلة، بالرغم من الأخيرة ليست صديقة للبيئة، فهي لها إنبعاثات كربونية.

سأركز في هذا البحث على الطاقة الحرارية الجوفية Geothermal، وطاقة الهيدروجين، فالطاقة الجوفية موجودة في كل بقاع الأرض، لكن بعض بقاع الأرض مهتمة بها ومشتغلة فيها، والبعض الآخر لا يعلم عنها شيئاً بعد، ومن خلال هذا البحث وبحوث أخرى قادمة سأحاول الترويج لهما، وقد يعود عدم رواج طاقتي الجيوثيرمال والهيدروجين بين العامة إلى أنهما لا تدخلان في التجارة الخارجية، كما هو حال الطاقات الإحفورية (النفط، الغاز، الفحم)، ولا يقوم عليها إقتصاد الدول المنتجة لها ولمعداتهما، بالرغم من أهميتها في التجارة الداخلية للدول المنتجة لهذه التقنيات. ومن جانب آخر فإن الإستثمار في إستقدام أو إستيراد هذه المنتجات الطاقية، لها مردود إقتصادي كبير تدره على الموردين، فلا أعتقد أن هناك مدينة تقوم بلا طاقة، ولا مصنع ولا حتى دكان، أي أن مردود الإستثمار فيها ناجع في كل الأحوال. ومن أهم أهداف هذا البحث ليس ليظهرهاتين الطاقتين على السطح فقط، لكن ليركز على مسألة باب الإستثمار فيهما، والتجارة في تقنيتهما ومعداتهما، وربما حتى فتح مجال تصنيع لهذه المعدات، الذي سيعتني بناحيثين التنمية والإقتصاد.

أثناء التحضير لهذه الورقة اكتشفت أن كل من قطاعي الطاقة الحرارية الجوفية والطاقة الهيدروجينية قطاعين واسعين، والبحث حولهما يحتاج إلى بحث مستقل لكل واحد منهما. لذلك فإن هذه المقدمة فقط ستكون مشتركة لقطاعين الطاقة المختلفين، لكني سأدرج لكل منهما عناوين مختلفة، حتى أعطي كل نوع حقة من البحث والدراسة، وفي الدراسات المستقبلية سأدرج كل واحد منهما في ورقة مختلفة.

## 2. لمحة عن الطاقة البديلة

خلال القرن العشرين لم توجد لا دراسات ولا أبحاث على الطاقة البديلة والمتجددة والنظيفة في الوطن العربي، لكن مع نهاية القرن وبداية القرن الواحد والعشرين بدأت الدراسات، وتبعتها التطبيقات التي إنتشرت في معظم الدول العربية مع بداية العقد الأول للقرن الواحد والعشرين ( Saab, 2017, Sedaoui, 2017). لكن في الغرب بدأ الإهتمام بالطاقة البديلة منذ السبعينيات من القرن الماضي، وتحديدًا حين امتنعت الدول العربية المصدرة للبترو (OAPIC) عن تصديره لأمريكا أثناء حرب أكتوبر، ونتيجة لذلك تضاعفت أسعار البترول خلال ستة أشهر من 3 دولار للبرميل إلى 18 دولار للبرميل الواحد (Boyer, 2001)، فظاهر الأمريكيون من قرصة الغلاء، وبدأت الحكومات الغربية بعدها تبحث عن حلول وبدائل للطاقة، فخرجوا بالطاقة البديلة والطاقة الخضراء، ثم صارت الطاقة المتجددة أو النظيفة.

لكن ليس هذا هو السبب الوحيد لموجة الطاقة الخضراء أو الطاقة البديلة، يمكن إضافة أنه قبل حرب أكتوبر بقليل أي في منتصف الستينيات من القرن العشرين ظهرت الحركات البيئية في أمريكا، وتجدر الإشارة إلى أن من حرك ذلك بين العامة سيدة تدعى ريتشل جارسون في كتابها "الربيع الصامت" عام 1966 (Bell and Walker, 2005; Grace, 2005)، الذي تساءلت فيه عن صمت زقزقة العصافير في قريتها. وعليه بدأ البحث عن بدائل للطاقة ليس لها إنبعاثات في فورة الحفاظ على البيئة. ومع الوقت تطورت مسميات هذه الطاقة لتصير الطاقة النظيفة أو الطاقة المتجددة، ونعتت بالمتجددة، لأنها تتجدد ولا تنضب ومستمرة التدفق، بالرغم من أن اهليوحت وه هجاتحت ام لكو، يديلقت ريغ نكل يعيبط اهردصم

. (Bachelier, 2012) اهليوحتل تاينقت راكتبا لالخ نم اهمادختسا لهسي برخا بلا يعيبط عقاط نم وهنا يجدر التنويه إلى أن التجدد أو الإستمرارية صفة مطاطة إلى حد ما، فالطاقة الشمسية مستمرة مازالت الشمس مشرقة، لكنها تنقطع لو غربت الشمس أو أختفت وراء الغيوم، ولها معضلة أخرى أنها لا يمكن تخزينها، وكذلك هو الحال بالنسبة للرياح، فطاقتها متوفرة مع هبوب الرياح وتختفي بسكونها. أما الطاقة الحرارية الجوفية فإنها بالفعل مستمرة، لأن التفاعلات الإشعاعية في باطن الأرض مستمرة، لكنها تظل مثل طاقة الشمس يصعب تخزينها، كما لا يمكن إطفاءها، والكتل الحيوية مستمرة لأن النفايات البشرية مستمرة، والهيدروجين الطاقة المائية مستمرة لأن المحيطات كبيرة ومستمرة، وطاقة المد والجزر مستمرة، والأشجار (Arvizu, 2008, Axelsson, et al. 2005, Fishedick, 2001, 2008, a, b). اضياً قرمتسم اهتقاط Biofuel يويحلا دوقولا تويزلل ةجتتملا

وتوصف هذه الأنواع من الطاقة بأنها خضراء أو نظيفة لأنها ليس لها إنبعاثات، لا ثاني أكسيد الكربون ولا أول أكسيد الكربون، ولا أي نوع من الإنبعاثات التي تتسبب في تلوث البيئة أو الغلاف الغازي، مما قد يتسبب في الإحتباس الحراري. وهنا يجدر القول أن مساهمة الدول العربية في انبعاثات الغازات الدفيئة لا تتجاوز 5%، من مجموع الإنبعاثات حول العالم (Elgendi, 2017)، وذلك لأن قطاعي الصناعة والتعدين في الدول العربية محدودين.

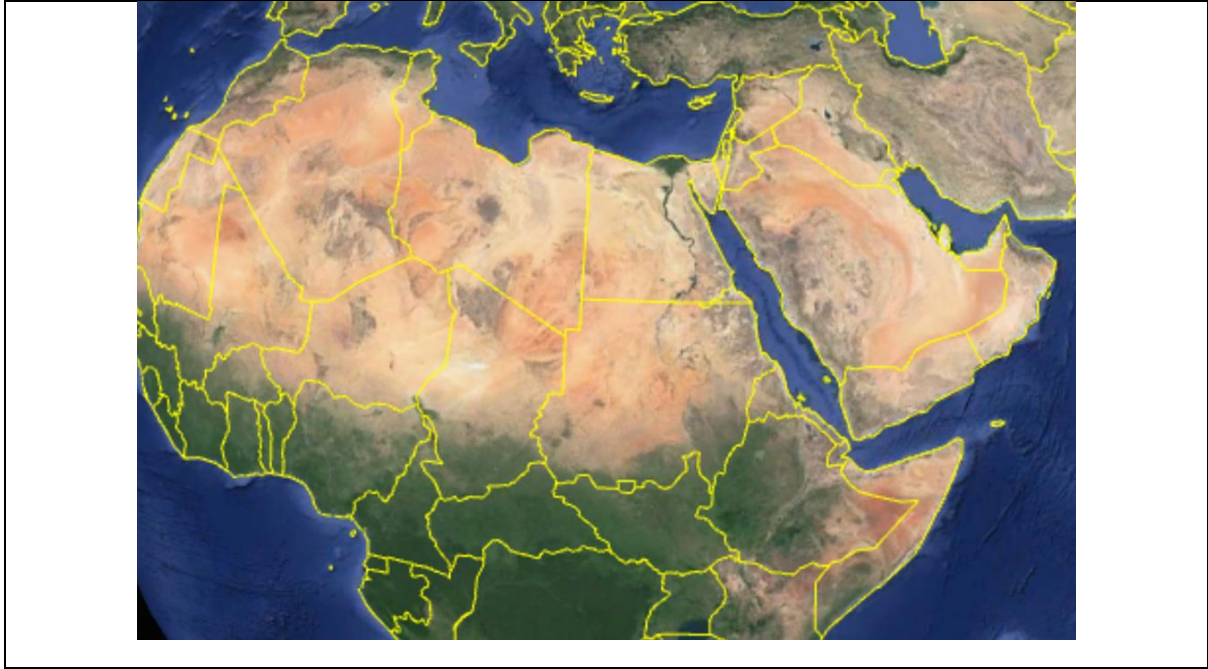
إستخدامات الطاقة البديلة أو الطاقة المتجددة قديمة، أقدم من السبعينيات، لكن حصرها وإدراجها ضمن إستخدامات الطاقة البديلة أو الخضراء هو الجديد، كما أن التقنيات المستخدمة لتحويلها هي الحديثة. فطاقة الجيوثيرمال معروفة منذ الأزل، وعرفها الحيوان قبل الإنسان، فكم من الحيوانات الصغيرة (الأرانب)، والمنتاهية الصغر (النمل) تحفر جحورها تحت الأرض، لأن درجات الحرارة ثابتة لا تتغير بتغير الطقس أو الفصول. وهي طاقة عرفتها إيطاليا منذ الأزل وأستخدمتها في تدفئة بيوتها في الشتاء، ومنها كان الناس يستحمون ويغسلون متاعهم وملابسهم عند المنابع. وكذلك الحال بالنسبة لطاقة الرياح وطاقة المد والجزر والتيارات البحرية هي من سيرت السفن التي إكتشفت العالم الجديد، والسفن التجارية، والسفن الحربية قبلها. وحتى الطاقة الحيوية وطاقة الكتل الحيوية كانت معروفة منذ أن عرف الإنسان النار، ولهذا السبب تم العودة إليها وإعادة النظر فيها وفي وتقنيات (Krewitt, 2008, Moomaw, 2008).

لكن لأن الوقود الإحفوري (النفط، والغاز، والفحم)، أكثر كفاءة من أنواع الطاقة النظيفة، أحتل مكانها، وصارت مسألة العودة للطاقة النظيفة أو المتجددة بطيئة جدا، بالإضافة إلى غلاء أسعار الطاقة النظيفة،

أو غلاء أسعار التقنيات (التوربينات والكمبروسورات) التي تشغلها، مما أدى إلى بطئ تداولها إلا للضرورة القصوى، فهي وبالرغم من إتساع تداولها والأبحاث حولها، إلا أن استخدامها لا يتجاوز 2% وذلك وفقا للتقارير الأممية والعربية (أبراهيم عبدالجليل، وآخرون، 2013).

### 3. خريطة الوطن العربي

بالإطلاع على خريطة الوطن العربي (شكل 1)، ترى تضاريس بألوان جميلة، يغلب عليها لون الصحاري الأصفر، الذي يغطي مجمل الوطن العربي، وفي علم الطاقة البشرية (الشاكرا)، فإن اللون الأصفر يعني الطاقة power أي العمل والديناميكية، وهذه النظرة توحي بأننا في مسار نسير فيه نحو التفاضل الطاقى، بأن عمل الوطن العربي في مجال الطاقة البديلة سيكون مميزا وقريب.

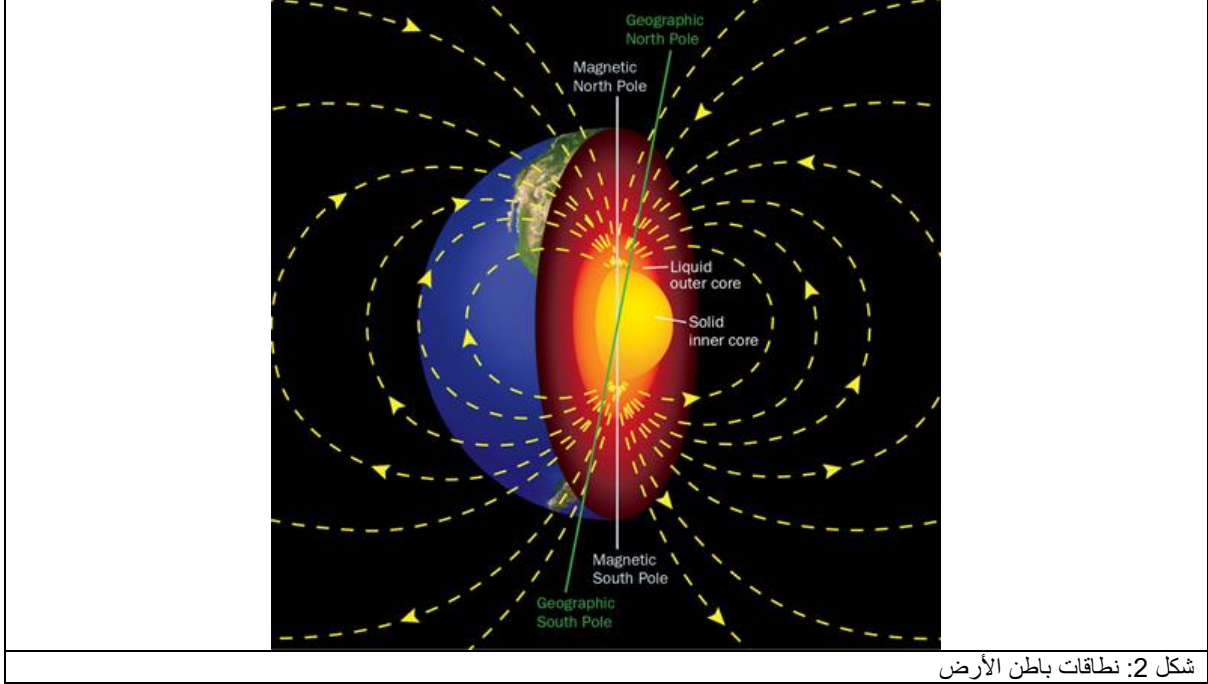


شكل 1: صورة فضائية للدول العربية، تباين الألوان يظهر تباين التضاريس، التي يغلب عليها اللون الأصفر، فهي منطقة صحراوية، خالية من الغطاء النباتي (المصدر قول إيرث).

مرة أخرى وبعيدا عن الرومانسية، بالإطلاع على خريطة الوطن العربي، ترى إختلاف التضاريس، وإختلاف التضاريس يعني إختلاف نوع الطاقة المتجددة التي يمكننا إستخدامها في الوطن العربي. ففي جميع أركان الوطن العربي نستطيع أن نستخدم طاقة الرياح والطاقة الشمسية، وطاقة الكتلة الحيوية، لكن في بعض المناطق الأخرى نستطيع أن نستخدم طاقة دون غيرها، فعند السواحل الممتدة في شرق الوطن العربي وغربه تمدنا تيارات المد والجزر بالطاقة، كما تفتح لنا طاقة الهيدروجين أذرعاها. عند المناطق الجبلية سواء تلك الساحلية، أو الداخلية التي تطل علينا بطاقة الجيوثيرمال أي الطاقة الأرضية الجوفية. أما الأنهار التي تشق وديان الوطن العربي وصحراءه فهي مصدر للطاقة الكهرومائية عند سدودها. إذن هذه الخريطة الزاهية الألوان توحي لما بمستقبل طاقة بديلة باهر.

### 4. طاقة الجيوثيرمال

الطاقة الجوفية للأرض geothermal موجودة في كل مكان وتحت أي أرض، لأنها طاقة قادمة من باطن الأرض، من نواتها بالذات، وكما هو معروف أن النواة الخارجية السائلة للأرض -وهناك نواة داخلية صلبة هامة أيضا- هي المولد الطاقى للأرض، وهي سبب جميع الحركات الأرضية التي نعرفها، كما أنها هي أيضا مصدر المجال المغناطيسي للأرض (شكل 2)، فدرجة حرارتها تصل إلى 5700 درجة مئوية (Dye, 2012)، وهي تقل كلما ابتعدنا عن النواة، وحين نصل لسطح الأرض لا نشعر بها، تحجبها عنا قشرة الأرض الصلبة، والرواسب التي تغطيها بأنواعها، والغطاء النباتي، لكننا نشعر بها لو حفرنا بئرا، فدرجات الحرارة فيه تزيد بمعدل 2.5 درجة مئوية كلما تعمقنا 100 متر.



شكل 2: نطاقات باطن الأرض

ويمكننا مشاهدة الحرارة الجوفية من نوافذ أرضية تدعى فوهات البراكين، ويمكننا لمسها من العيون الحمئة أي العيون الطينية والعيون الحارة، وقد لا تنتشر البراكين في جميع بقاع الأرض، لكن العيون الحارة موجودة في كل ركن من أركان الكرة الأرضية، ففي الإمارات وحدها ثلاث عيون حارة، ولا ننسى الجبل الذي يتنفس (شكل 3) الذي زارته الجمعية الجغرافية قبل عدة أعوام، من أين استمد أنفاسه الدافئة؟ بالطبع من جوف الأرض!



شكل 3: الجبل الذي يتنفس في شمال دولة الإمارات، وهذا ما أطلقه عليه السكان المحليين، لأنه في الشتاء تستطيع أن ترى بخار الماء وهو يخرج من خياشيم الجبل، كما في الصورة.

هذا النوع من الطاقة قد يكون بتكلفته مثل تكلفة الطاقة الشمسية، لكنه ينتج ميغوات MW أكثر منها أو من طاقة الرياح، كما أنه لا يحتاج إلى صيانة، ولا يحتاج لمناطق أفقية شاسعة لتجميع الطاقة، كما في

طاقتي الشمس والرياح، كل ذلك بالرغم من أن الطاقة الحرارية الجوفية للأرض الجيوثيرمال geothermal تدرج عرضياً، أو ربما قصداً، في بحوث الطاقة المتجددة التي تكتب باللغة العربية، لكن ليس بشكل إستثنائي بالرغم من أنها طاقة إستثنائية. حتى إنك لا تجد أي تسليط إعلامي عليها في الدول العربية، فهي غير معروفة في ثقافة المجتمعات العربية، كما أنها ضئيلة التداول بين المشتغلين في مجال البيئة، ربما لأن مجالها الإستثمار وليس البيئة، بينما جميع أنواع الطاقة الأخرى حاضرة، والأغرب من هذا وذاك أن الطاقة الجوفية من أقدم الطاقات التي استخدمها الإنسان، فلقد تم إستخدامها في كل مكان في العالم توجد فيه عيون حارة من أجل الإستحمام أو غسل الملابس، لكن إستغلالها في توليد الكهرباء بدأ في عام 1904، أي أنها ليست طاقة حديثة على الإطلاق. وهي أيضاً ليست مبهمة للجميع، لكنها فقط معروفة عند الباحثين والعاملين في مجال الطاقة المتجددة أو بعض العاملين البيئة، ومعظم تجار تقنيات الجيوثيرمال، كما أنها معروفة ضمن مشاريع المدن الجديدة في دول الخليج العربي مثل السعودية والإمارات، لكنها ليست حاضرة بين الناس كحضور طاقة البترول أو الطاقة الشمسية (Bloomquist, 2003, Odenka, et al, 2007, Holm, et al., 2010).

يمثل إستخدام طاقة الجيوثيرمال 15% من نسبة الطاقة البديلة حول العالم، وهذه النسبة في تزايد مضطرد، فلقد زادت سعة طاقة الجيوثيرمال في عام 2017 بنسبة 4.3% (600MW)، ليصل إلى 14.3 جيجاوات GW، وتعد تركيا الأكثر زيادة فلقد زاد إنتاجها 243 ميجاوات عن 2016، أما أندونيسيا فلقد زاد إنتاجها 220 ميجاوات، لكن الدولة التي تنتج أكثر من ربع إنتاج العالم من الطاقة الحرارية الجوفية هي الولايات المتحدة الأمريكية، بطاقته انتاجيه وصلت الى 3.7 جيجاوات، وتليها في ذلك الفلبين واندونيسيا الى 1.9 جيجاوات، ثم نيوزلاندا واحد جيجاوات. ويعتقد أن طاقة الجيوثيرمال ستنغطي 3.4% من كمية الكهرباء في العالم، ووصل إنتاجها حتى عام 2016 إلى 13 جيجا، ويتوقع ان يصل الى 17 جيجاوات في 2021 ، وحتى عام 2017 تنتج كينيا 40% من طاقتها من الجيوثيرمال، وتليها أيسلندا بنسبة 25%، ثم نيوزلاندا بنسبة 18% من مجمل طاقتها (الوكالة الدولية للطاقات المتجددة).

الدولة	نتاج الكهرباء من الطاقة الحرارية MWt	الإنتاج المباشر للطاقة الحرارية الجوفية GWh
الأردن	153.30	428
الجزائر	54.64	472
السعودية	44	

جدول 1: الدول المنتجة للطاقة الحرارية في الوطن العربي بالميجاوات (مصدر البيانات الوكالة الدولية للطاقات المتجددة)

#### 4.1 خصائص طاقة الجيوثيرمال

تعد الطاقه الحرارية الجوفيه (الجيوثيرمال)، من أكثر أنواع الطاقه المتجددة رسوخاً ونضجاً في المجال التجاري، وأحد أهم صفات هذه الطاقه هو "عامل التحميل العالي"، أي أن سعة كل ميجاوات فيها تنتج كهرباء خلال العام أكثر مما تنتجها طاقة الرياح أو الطاقة الشمسية. كما أن إنتاج الجيوثيرمال متواصل وليس متقطعاً مثل إنتاج الرياح أو الشمس، لذلك فهو ينتج كمية كهرباء أكثر، لكن الجيوثيرمال يحتاج إلى ظروف جيولوجية معينة، مما يجعله مقتصر على بعض دول العالم دون غيرها. وهي مكلفة نوعاً ما، وغلاء التكلفة ليس في مسألة حفر البئر فقط، لكن في تحلية المياه المستخدمة للتسخين والتبريد على حد سواء (Cullin, et Al., 2012, Evans, et al. 2006, Fridleifsson, et al., 2008).

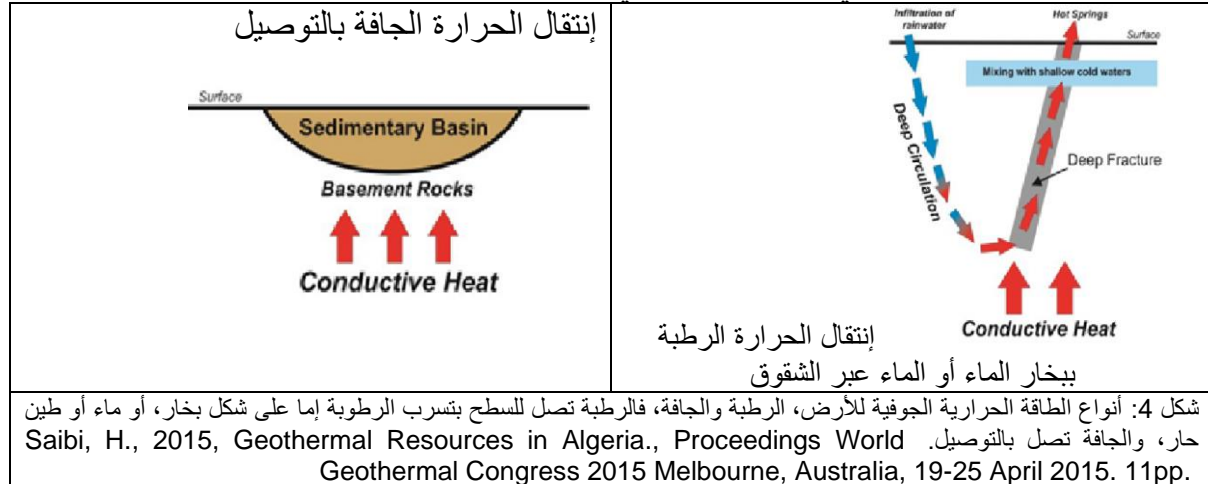
#### 4.2 أنواع استخدامات الطاقة الحرارية الجوفية

هذه الطاقة الحرارية الجوفية للأرض، لها نوعين من الإستخدامات، الأولى هي الإستخدامات المباشرة، إي يستطيع الإنسان أن يحفر بئرين طاقيين في حوش اباحة البيت، الأول يأتي بالطاقة الحارة، والثاني يأخذ الطاقة الباردة، وفي الحالتين يمر الماء بمحلولي الإيثانول أو الجليكول، إما للتدفئة أو التبريد. أما النوع الثاني فهو يحتاج إلى رأس مال كبير، وعادة ما تقوم بها جهات ومؤسسات حكومية، وهي إنشاء

محطات كهرباء تستمد طاقتها من الأرض، أو من الطاقة الحرارية الجافة في الأرض، بدل من المحطات الحالية التي تشغل بالديزل، عبر بئر يصل عمقه لثلاثة كيلومترات أو أكثر. وتبلغ تكلفة حفر البئر الواحد نحو 5 ملايين دولار، ولكل محطة نحتاج إلى حفر بئرين، الأول لإبتلاع الماء البارد، والثاني لإرتفاع المياه الساخنة (Lund, and Boyd, 2015).

الجيوتيرمال أو الطاقة الحرارية الجوفية هي إستخراج الطاقة من القاعدة الصخرية Bedrocks للأرض، وهذا على غير غرار بدايات استخدام هذا النوع من الطاقة، التي إرتبطت بالعيون والنافورات الحارة، أي بالبخر، لذلك اليوم لم يعد مهما وقوع المكان بالقرب من المناطق البركانية، ولا نقاطها الساخنة hotspots، ولا حتى بالقرب من أشباه البراكين كالعيون والنافورات الطينية الحارة. فالأحجية لم تعد مرتبطة بالبخر، إنما في حرارة القاعدة الصخرية وثباتها، للتأكد من ثبات البئر الطاقى، وبمحلولي الإيثانول أو الجليكول (Zogg, 2008a, b).

بمعنى آخر هناك نوعين من الطاقة الحرارية الجوفية للأرض، فهي إما رطبة وإما جافة (شكل 4)، فالرطوبة منها تصل إلينا بتسرب الرطوبة إلينا إما على شكل بخار، أو ماء أو طين حار (عين حمئة)، ويوجد هذا النوع في المناطق الإنكسارية fault zone أو المناطق البركانية، أو تتسرب من الشقوق fractures، أما الجافة فتصل إلينا بالتوصيل، أي دون أن يكون هناك ماء أو طين أو بخار ينقلها إلينا. النوع الأول عرفته البشرية منذ الأزل، النوع الثاني تقنية تعرف إليها الناس في نهاية القرن العشرين، بالرغم من أن الحيوانات كانت تعرفها قبلنا فهي تحفر جورها في الأرض لأن درجة الحرارة ثابتة هناك.



وهناك نوعين لإستخدام الطاقة الجوفية، وطريقتين لإستخراجها، النوع الأول هو مولدات محطات الطاقة الكهربائية Electricity plants power وتستخرج من بئر عميق، والثاني هو الإستخدام المباشر للطاقة. بالنسبة للنوع الأول يجدر القول أن أول تشغيل لمحطة كهرباء بإستخدام بخار المياه الجوفية كان عام 1904 في إيطاليا، تلتها الولايات المتحدة الأمريكية عام 1913. واليوم صار بالإمكان تشغيل محطات الكهرباء من حرارة الصخر نفسه، وتشغيلها يتم بنقل الحرارة فيه بالتوصيل، لهذا قد يصل عمق البئر الطاقى إلى 3كم.

الإستخدام المباشر للطاقة الحرارية الجوفية يعني تسخين الماء بشكل مباشر من الطاقة الحرارية الجوفية في الأرض، وهذه التقنية يمكن استخدامها في تدفئة المنازل وفي الصناعة والبيوت الزجاجية (Green house)، والزراعة المائية وتربية الأسماك بالإضافة لتدفئة الفنادق والمطارات، في هذا النوع من الاستخدام المباشر تتراوح درجة الحرارة بين 38-149 درجة مئوية.

أما بالنسبة للإستخدام المباشر للطاقة، الذي يعد حديثاً مقارنة بالنوع الأول، إلا أنه أكثر إنتشاراً منه، فخلال الثلاثة عقود الماضية إنتشر استخدامه في الدول الغربية وبعض الدول العربية. هذه التقنية مناسبة جداً لتوفير التدفئة، فتدفئة عمارة من عشرة طوابق ببئر طاقي واحد يعد في غاية الرخص، وتقوم فكرة هذا النوع على حفر بئر طاقي في صخور القاعدة الصلبة Bedrocks، في أي نوع من الصخور الأصلية الثلاثة المعروفة (النارية، والمتحولة، والرسوبية)، على يتم حفر بئر بعمق 1م لكل 1م<sup>2</sup> من مساحة المنزل



أوالمبني المراد تبريده أو تسخينه، وقد يصل عمق البئر إلى 200م، المهم هو أن يكون هناك تغير في درجة الحرارة، بمعنى أن يهبط المحلول بدرجة حرارة، ويصعد بدرجة حرارة أخرى، أقلها 4 درجات مئوية، فهذه الدرجات المئوية الأربع يمكن أن تؤثر في تغيير درجة حرارة محلول الإيثانول أو الجليكول، أما عملية التسخين فيتم عن طريق الكمبريسور-الذي يصنع في الدول الغربية والصين- فيه تتم عملية كيميائية تفاعلية تصاعديّة نتيجة إختلاف درجة الحرارة في محلول الإيثانول. وبالنسبة لنظام التبريد، فيمكن أن يدرج ضمن ذات النظام، وبتثبيت مروحة تنشر الهواء البارد من حول محلول الماء البارد. أما بالنسبة لباقي الإستخدامات الكهربائية للمنزل، فنتم عن طريق الكهرباء المعروفة، أو إستخدام نوع آخر من الطاقة النظيفة كالطاقة الشمسية أو طاقة الرياح.. الخ.

### 4.3 توزيع الجيوثيرمال في الوطن العربي

عالميا تعد ايسلندا من الدول الرائدة في تكنولوجيا الجيوثيرمال، وتستخدم الكهرباء المولدة من الطاقه الحرايه الارضيه في تدفئة %90 من المنازل فيها. وعربيا المغرب والأردن ولبنان في مقدمة الدول العربية في إستخدام تكنولوجيا الجيوثيرمال. وفي كل الأحوال لا تتجاوز نسبة إستخدام هذه الطاقة في الوطن العربي عن 1% من مجموعها حول العالم، فحتى الآن تصل سعة استخدام الجيوثيرمال في الوطن العربي الى 466 ميغاوات، وتنتج الاردن 153.3 ميغا وات MWT من كهرباءها من الجيوثيرمال، تليها الجزائر 145.64، ثم السعودية 44 MWT، فتونس MWT43 هرتز (الوكالة الدولية للطاقات المتجددة).

ولو عدنا لخريطة الوطن العربي، فهو يمتد من المحيط الهندي شرقا إلى المحيط الأطلسي غربا، صحيح أنه ليس جميع الدول العربية تطل بسواحلها على أحد المحيطين، لكن جميعها تستطيع الوصول للب الأرض بطريقة أو بأخرى، لذلك فأن جميعها لديها فرصة للإستثمار في الطاقة الحرارية الجوفية للأرض، فالسر هنا مرتبط بلب الأرض الساخن، ويطل علينا هذا اللب من أي وكل نقطة على سطح الأرض. الأحجية في حفر الآبار الطاقية هو وجود تضاريس جبلية، ليس لأن البئر الطاقية سيحفر فيها، لكنه يعني أن صخور القاعدة للأرض bedrock التي ستنبت البئر قريبة من السطح في تلك المناطق. ولو أطلعت على الخريطة التضاريسية للوطن العربي، ستجد أن جميع الدول العربية لها تضاريس جبلية، بإستثناء بعض دول الخليج العربي، كالبحرين وقطر والكويت، لكن هذه الدول صخورها الأساسية (القاعدة) قريبة من السطح، ولا نحتاج لكثير من الأدلة لنثبت هذا، فمعروف عنها أن آبار بترولها قريبة من السطح، والبترول لا يوجد إلا في الصخور الأصلية.

وبالنظر للخريطة التضاريسية للوطن العربي مرة أخرى، ستجد أن دوله المطلة على المحيطات تمتد على سواحلها سلاسل جبلية إلتوائية، ولو أستثنينا موريتانيا، فأن كل من عمان والإمارات والمغرب وحتى الجزائر لها سلاسل جبلية ساحلية إلتوائية، وهذا لا يعني أن موريتانيا بلا مرتفعات جبلية لا، فهي وكل من ليبيا والجزائر بالإضافة إلى السودان لها مرتفعات في عمقها الصحراوي والداخلي. أما السلاسل الجبلية الإنكسارية فهي على جانبي البحر الأحمر، في كل من اليمن والسعودية والأردن وفلسطين، ويصل إمتدادها للبنان وسوريا، وعلى الجانب الغربي منه تشمل كل من جيبوتي والصومال والسودان ومصر. تقع بعض المناطق العربية في مناطق انشقاق الأرض مثل تلك التي على جانبي البحر الأحمر، أو أن بها نقاط ساخنة، مثل السودان أو تلك التي عند إلتقاء القارات، مثل جميع دول مجلس التعاون وشمال أفريقيا. بعض دول الوطن العربي تقع في مناطق ساخنة جيولوجياً، ويمكن استخدام طاقة البخار فيها، مثل اليمن والسعودية والأردن ولبنان وجيبوتي والصومال والسودان والمغرب والجزائر. وبعض الدول الأخرى يمكنها ان تستخدم الطاقة الحديثة من الطاقة الجوفية أي الطاقة الجافة وليس طاقة البخار. ولأن أصل الطاقة الحرارية الجوفية إرتبط بالمناطق البركانية، التي هي غالبا ما تكون مرتبطة بالجبال الإنكسارية، تجد أن أول الدول العربية التي تحولت لإنتاج هذا النوع من الطاقة، تلك الواقعة على هذه الجبال، فالأردن ولبنان كانتا في المقدمة، ليس لهذا السبب فقط، لكن أيضا لأنها لهما شتاء قارص، تحتاجان فيه إلى تدفئة رخيصة، ثم تأتي كل من المغرب والجزائر في إستخدام الطاقة الحرارية الجوفية بالتوصيل، بالنسبة للمغرب فهي دولة غير منتجة للبترول، لذلك تعد هذه الطاقة وغيرها من أنواع الطاقة المتحددة الأخرى من أولوياتها. وتليهما في الإنتاج كل من السعودية والإمارات واليمن وجيبوتي، أما

باقي الدول العربية التي لم تنتجها، ربما لأن هذا النوع من الطاقة ليست من ضمن إهتماماته، إما لأنشغال الدولة في الحروب كما في سوريا وليبيا، أو عدم الاستقرار السياسي كما في العراق، أو لعدم توفر المال كما في موريتانيا. وبالرغم من كل هذا السرد، فإن آبار الطاقة الحرارية الجوفية في الوطن العربي مازالت عزيزة الاستخدام، وتحتاج إلى عقود ليصير هذا النوع من الطاقة من أولوياتها.

دولة الإمارات دوماً في المقدمة في استخدام جميع التقنيات الحديثة، وقد برز استخدامها للتقنيات الحديثة في مجال الاتصالات أول ما برز، ولكنها اليوم هي في مقدمة التقنيات الحديثة في جميع المجالات، حتى في مجال استخدام الطاقة المتجددة والنظيفة، بل وفي إنتاجها أيضاً. وأكثر استخدامات الطاقة النظيفة بشكل عام في الإمارات، في مدينة مصدر، ومن مدينة مصدر بالذات انطلقت دولة الإمارات في استخدام الطاقة المتجددة والخالية من الكربون باستخدام جميع أنواع الطاقة الخضراء والنظيفة ومن ضمن هذه الطاقة طاقة الجيوثرمال (Kazim, 2003, 2010, Kazim, and Veziroglu, 2001, 2003).

وفي هذا السياق أورد أن دولة الإمارات أسست شركة مصدر "شركة ابوظبي لطاقة المستقبل"، وهي شركة حكومية لإنتاج الطاقة المتجددة مقرها مدينة ابوظبي في دولة الإمارات، تم تأسيسها في إبريل 2006، وهي تابعة لشركة مبادلة للتنمية، ومن أهم أهداف الشركة الاستثمار في الطاقة النظيفة والمتجددة. والهدف الأساسي لها إبراز دولة الإمارات في مجال تطوير التقنيات وتحقيق توازن فاعل في السوق العالمية، بالإضافة إلى تسويق وتطبيق هذه التقنيات وغيرها في مجال الطاقة المستدامة وإدارة الكربون، والحفاظ على المياه، وفي المستقبل الإرتقاء من استهلاك التكنولوجيا إلى إنتاجها.

بالرغم من أن مدينة أبوظبي بعيدة عن أي عيون حارة أو إنكسارات، لكن يمكنها إقامة محطات كهرباء وقودها الجيوثيرمال، فكما قلنا استخدام الجيوثيرمال يعتمد على عمق البئر، أي الوصول إلى الطاقة الحرارية الجافة، لكن لا يمكن إقامة آبار الاستخدام المباشر للجيوثيرمال في كل الأحوال، فهذه أكثر فعالية في شرق إمارة أبوظبي، أي في مدينة العين، بالإضافة للمناطق الشمالية للدولة. وفي كل الأحوال قامت هيئة الكهرباء والماء في دبي بحفر بئر جيوثيرمال لإنشاء محطات الكهرباء. وهناك دراسات جيوفيزيائية قائمة للمناطق الأخرى كراس الخيمة والفجيرة والشارقة، لدراسة إمكانية إقامة محطات كهرباء تعتمد على الجيوثيرمال، أو الاستخدام المباشر للجيوثيرمال. والهدف هو أن يكون 75% من إنتاج الطاقة في دولة الإمارات نظيفاً بحلول عام 2030 (تقرير الحكومات لدعم تقنيات المستقبل، 2018).

وقبل الانتقال إلى دول الخليج العربي، أود التوضيح أن أكثر استهلاك الكهرباء فيها، يستنزف على التبريد أي المكيفات، والمياه أي صناعة تحلية المياه، وهاتين الحاجتين جوهريتين بالنسبة لدول الخليج الحارة الشتاء، لذلك يرجح علماء الجيوفيزياء أن استخراج الطاقة فيها يجب أن يتم من استخراج الطاقة المنخفضة في الحرارة، لتلبية تلك الاحتياجات (Bachelierie, 2012).

بالنسبة للمملكة العربية السعودية، بدأت الدراسات لإستخدام الطاقة الجوفية فيها منذ الثمانينات من القرن العشرين، وتركزت معظم الدراسات على غرب المملكة، المطلة على البحر الأحمر الذي هو أحد بؤر الإنشاقات في الأرض (Lashin, et Al., 2015)، أي أن الطاقة الحرارية الجوفية فيه قريبة من الأرض. ومنذ بداية 2017 بدأت السعودية مشاريعها للبحث عن الطاقة الحرارية الجوفية للأرض في المناطق البركانية فيها، أو ما يعرف محلياً (بالحارات)، وذلك ضمن إستراتيجية الطاقة في المملكة، وكان التوجة نحو إنشاء محطات في جازان (حيث العيون الحارة)، بالإضافة إلى الخوية. قامت في سلطنة عمان دراسات حول طاقة الجيوثيرمال، لكن بتطبيقها مازال قيد التنفيذ (Kazem, 2011, Umar, 2017, Schütz, et al., 2018). قطر فيها طاقات متجددة لكنها لا تتضمن الجيوثرمال، بالرغم من أنها توجد دراسات حول استخدام الجيوثيرمال فيها (Kharseh, and Alzaeem, 2013)، وكذلك حال البحرين، فيها طاقات متجددة لا تتضمن الجيوثرمال، وذلك لأن هاتين الدولتين ليس بهما سلاسل جبلية، أما الكويت فليديها خطط لإنتاج هذه الطاقة، لأن الصخور الأصلية **bedrocks** فيها قريبة من السطح (الوكالة الدولية للطاقات المتجددة).

أما الأردن التي تأتي في مقدمة الدول العربية لإستخدام طاقة الجيوثيرمال، سواء المباشرة أو العميقة، ولنفس الأسباب التي في السعودية نجد أن معظم محطات الكهرباء فيها موجودة عند البحر الميت، أي قريبة من البؤر البركانية التي شقت البحر الأحمر (Swarieh, 2000). وتلي الأردن لبنان في استخدام طاقة الجيوثرمال، وذلك بالتعاون مع اليونيب، والقطاع الاقتصادي في الدولة، وخاصة نوع الطاقة

المباشر (Fardoun, et Al., 2012). بالنسبة للعراق توجد مجرد تقارير ودراسات حول إستخدامات الطاقة البديلة بما فيها الجيوثيرمال (Jassim, 2008).

في مصر هناك دراسات لإستخدام طاقة الجيوثيرمال (Abdelrahim, et Al., 2013, Lashin, 2015)، في ليبيا قامت دراسات حول إمكانية تنفيذ وإستخدام طاقة الجيوثيرمال، كما توجد دراسات حول الطاقة البديلة (Khalil, and Asheibi, 2015)، لكن التنفيذ صعب في ظل ظروف عدم الاستقرار الحالية. أما تونس فأنها تدرس وتقييم مسألة الجيوثيرمال، بالرغم من أنها موجودة في جنوب البلاد تستخدم في الزراعة Green house (Mohamed, 2015, Mohamed, and Saïd 2008). والجزائر بدأ إهتمامها بالجيوثيرمال بمشروع صغير في جنوب البلاد، وهناك دراسات كثيرة على الطاقة البديلة وطاقة الجيوثيرمال (Hadji, and Meisen, 2016, Saibi, 2015). المغرب كانت في مقدمة الدول العربية التي إستخدمت هذه الطاقة، وفي مقدمة الدول التي قامت بدراسات حولها (Rimi, 2000, Zarhloule, 2003, Zarhloule, et al., 2008)، أما الصومال بما أنها تقع على البحر الأحمر فيها إمكانية استخدام الجيوثيرمال، لكن الأمور معقدة بسبب عدم الاستقرار السياسي فيها. واليمن تقع في مناطق حرارية على (البحر الأحمر)، ويمكن ان تنشئ فيها محطات الجيوثيرمال خاصة طاقة البخار، لكن الأوضاع معقدة حالياً بسبب الحروب وعدم الاستقرار السياسي (Al-Kohlani, et Al., 2015).

## 5. طاقة الهيدروجين

في 1874 كتب الروائي الفرنسي جولز فيولز غابرييل فيرن Jules Verne، في روايته "الجزيرة الغامضة": بأن الماء سيكون فحمًا طاقة المستقبل. وهو روائي وشاعر وكاتب مسرحي فرنسي، اشتهر بروايات المغامرة، وله أثر كبير في روايات الخيال العلمي. وفي الواقع ما كتبه لم يكن مبني على الخيال العلمي بقدر ما هو مبني على حقائق علمية، فقد تم عام 1839 إستخدام تقنية خلايا وقود الهيدروجين، وهي التكنولوجيا التي تستخدمها وكالة ناسا ووكالات الفضاء العالمية الأخرى للبعثات الإستكشافية في الكون، بالإضافة إلى أنشطتهم الأخرى (Adolf, et Al., 2017, Lokke, 2017).

قبل الشروع في الحديث عن طاقة الهيدروجين، يجدر المرور بتعريف الهيدروجين، فمن سوف يستخدمون هذه الطاقة هم من عامة الناس، وهم ليسوا متخصصين في الكيمياء ولا في الطاقة ولا في الفيزياء الكيميائية، كذلك هو حال المستثمرين في هذا المجال، فهم إما خريجي إدارة أعمال أو علوم بيئية في أضعف الإيمان. هذا غير واقع أن الحديث عن هذه الطاقة وإستخدامها في الوطن العربي نادراً ما يطرح في المحافل العربية، أو حتى في الصحافة العربية، لذلك حين البدء للحديث عنه والترويج لأهميته يجب العودة للبدء.

وفي المستهل، الهيدروجين من أكثر العناصر الكيميائية وفرة في الكون، فهو يشكل 75% من حجم الكون، لكن أغلب هيدروجين كوكب الأرض يتوفر بشكل جزيئي، أي أنه لا يوجد على شكل غاز بشكله الطبيعي كما هو حاله في الكون، فهو دائماً مرتبط بعنصر آخر، أي أنه يدخل في رابطة تساهمية، مثل حاله في الماء الذي يتكون من ذرتين هيدروجين وذرة أكسجين  $H_2O$ . وكحالها في المكونات العضوية الأخرى، كالغاز الطبيعي، وعليه الهيدروجين حامل للطاقة الكهربائية فقط، لكنه ليس مصدر للطاقة مثل مصادر الطاقة الأحفورية (الفحم، البترول، الغاز)، بالإضافة للهيدروكربون الذي يدخل في صناعة جميع أنواع الوقود الغير نظيفة والغير متجددة، مثل البترول والغاز والميثانول، والبروبان وهو مركب كيميائي يتم اشتقاقه تقطير النفط (Lokke, 2017, Lovins, 2003).

والهيدروجين غاز عديم اللون والرائحة، سريع الإشتعال، غير سام، وهو -كما هو معروف للبعض وللمتخصصين- عنصر كيميائي بسيط، بل من أخف العناصر الكيميائية، فذرتة تتكون من بروتون واحد وإلكترون واحد، ثنائي الذرة أحادي التكافؤ. يقع في المجموعة الأولى ضمن عناصر الدورة الأولى من الجدول الدوري للعناصر الكيميائية (Hoffman & Dorgan, 2012; Holland, et al., 2007).

أكتشف الهيدروجين كعنصر كيميائي عام 1766، على يد العالم البريطاني هنري كافيندش، الذي وجده مختلف ومتميز عن غيره من الغازات القابلة للإشتعال، وفي عام 1781 اكتشف أن هذا الغاز يعطي بإحتراقه الماء، وهذه هي الجزئية الأهم في إكتشافه، فهي التي جعلت من الماء وقود، ففي شعلة من غاز

الهيدروجين النقي، المحترقة في الهواء، الهيدروجين يتفاعل مع الأكسجين، ليشكل الماء ويطلق الطاقة  $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{energy}$ . ولم يطلق على هذا العنصر إسم هيدروجين حتى عام 1783 حين منح إنطوان لافوازييه هذه التسمية، وهي مشتقة عن الإغريقية التي تعني مكوناً مشكل، أي مشكل الماء (Hoffman & Dorgan, 2012; Holland, et al., 2007). تم تسييل الهيدروجين لأول مرة عام 1898 من قبل جيمس ديوار، وطريقة تسييله تعني التبريد وليس العكس. وفي العام الذي يليه قام بتحضير الهيدروجين الصلب (Fact Sheet, 2010, Lovins, 2003). واكتشفت نظائر الهيدروجين الواحدة تلو الأخرى منذ الثلاثينيات من القرن العشرين. ومن أكثر نظائر الهيدروجين وفرة هو البروتيوم، الذي يتألف من بروتون واحد فقط دون نيوترونات في النواة (Fact Sheet, 2010 Lovins, 2003).

وللهيدروجين ثلاثة نظائر رئيسية وهي  $^1\text{H}$  ويدعى البروتيوم وله الرمز  $\text{H}$ ، و  $^2\text{H}$  ويدعى ديوتيروم وله الرمز  $\text{D}$ ، و  $^3\text{H}$  ويدعى تريتيوم وله الرمز  $\text{T}$ . وبذلك يعدّ الهيدروجين العنصر الوحيد الذي لنظائره أسماء مختلفة، حيث أن أسماء نظائر باقي العناصر يشار إليها باسم العنصر مرفقاً بعدد النيوترونات في النواة. وللهيدروجين نظائر مشعة أخرى لا توجد في الطبيعة، وهي هيدروجين-4  $^4\text{H}$  وهيدروجين-5  $^5\text{H}$  وهيدروجين-6  $^6\text{H}$ ، ومؤخراً تم تصنيع هيدروجين-7  $^7\text{H}$  (Fact Sheet, 2010, Lovins, 2003).

وكان أول الإستخدامات التجارية للهيدروجين هو نفخ المناطيد في فرنسا (جاك شارل) في عام 1783. وفي ألمانيا تم الترويج لها، ولأنها ليست آمنة تراجع إستخدامها في نقل الركاب، لكنها ظلت كطريقة للهو. لكن ما سنتحدث عنه هنا، هو إستخدام الهيدروجين كطاقة بديلة للطاقة الإحفورية (النفط، الغاز الطبيعي، والفحم)، وأنظف منها، أي أنه ليس له إنبعاثات (Lovins, 2003).

## 5.1 مزايا طاقة الهيدروجين وإستخداماتها

هناك عدد من إستخدامات الهيدروجين بالإضافة لإستخدامه في مجالات الطاقة، فنصف منتج الهيدروجين من عملية هابر بوش يستخدم لإنتاج الأمونيا (غاز النشادر أو روح النشادر)، والنشادر أو الأمونيا يستخدم مباشرة في صناعة الأسمدة، أما النصف الآخر من إنتاج الهيدروجين فيستخدم لتخفيف المواد البترولية ويجعلها صالحة للإستخدام (Hoffman & Dorgan, 2012; Holland, et al., 2007). جزء بسيط من منتج الهيدروجين يستخدم كطاقة في مجالي النقل والمباني، الذي بدأ استخدامه تجارياً في مجال النقل للمركبات التي تسير بخلية الوقود، كالسيارات والحافلات منذ مدة طويلة، بل وتطور في هذا المجال، ولأن استخدامه في الأصل كان كوقود لتسيير المركبات الفضائية، فلقد أستخدمت ناسا ووقود الهيدروجين السائل لأطلاق صواريخها ومكوكاتها الفضائية منذ السبعينيات من القرن العشرين. وتدخل إستخدامات طاقة الهيدروجين في مجالات عدة، غير طاقة المنازل والمركبات، مثل: الخلايا الكهروكيميائية، مرورا بمحركات الإحتراق الداخلي لطاقة المركبات أو الأجهزة الكهربائية (Lovins, 2003).

وفي المقابل كنى "فيرن" وفرة الوقود في المستقبل بالماء، متنبأ بإستخلاص الوقود من الماء، إلا أنه أهمية الهيدروجين الحالية لا تقوم على وفرته في الكون أو على سطح الأرض، لأن إستخلاصه وفصله عن الماء تجعله صعب الإصطناع، أي قليل الوفرة، فرغم أن المحيطات تغطي 75% من مساحة الأرض، إلا أن إستخلاص الهيدروجين منها مسألة ليست سهلة، وبالرغم من هذه المعوقات، إلا أن الحصول عليه مسألة جوهرية وملحة، لأن للهيدروجين مزايا فيزيائية عظيمة، خاصة المزايا الطاقية منها بالذات (Lovins, 2003)، فمن أهم مزاياه الرئيسية وفقاً لعدد من المراجع مثل (Hoffman & Dorgan, 2007; Holland, et al., 2012) التالي:

1. تعد طاقة الهيدروجين الحر ( $\text{H}_2$ ) من أهم مصادر الطاقة المتجددة والمستدامة، وهي بذلك ليست طاقة المستقل، بل أنها طاقة الحاضر فهناك عدد من المدن التي تعمل بالهيدروجين، وعلى سبيل المثال بريسبان Brisbane بأستراليا طورت سيارات تسير بهيدروجين الأمونيا، وستعمل طاقة الهيدروجين قريباً في مدينة مصدر بأبوظبي في دولة الإمارات، ودبي ستبعتها في مجال النقل.

2. أن إنتاج الهيدروجين مستمر، فهو غير مرتبط بشروق الشمس ولا بخسوف القمر، فلو حجبت الغيوم الكثيفة الشمس يتوقف توليد الطاقة الشمسية، طالما السحابة موجودة هناك، ولا يتأثر بالمد والجزر المتعلقة بمواقع القمر، ولا هبوب الرياح المرتبطة بمواقع الشمس في فصول السنة.
3. طاقة الهيدروجين Hydrogen fuel طاقة نظيفة، فهو حين استخدامه كوقود لا ينطلق منه ثاني أكسيد الكربون عند الاحتراق، أي أنه بلا انبعاثات zero-emission، حين يحترق مع الأكسجين.
4. يمكن أن ينظم الهيدروجين للكهرباء كحامل مهم للطاقة، فمنه يمكن إنتاج الطاقة الكهربائية الممكن تخزينها لإستخدامها لاحقاً، كما يمكن نقل الهيدروجين تماماً مثل الكهرباء للأماكن التي يراد استخدامه فيها.
5. الهيدروجين عالي الطاقة، فهو يحتوي على محتوى طاقة كبير في وحدة الكتلة، بالعربي ان مردود الإحتراق الداخلي فيه يصل إلى 38%، وذلك أكثر ب 8% من مردود استخدام البنزين مثلاً، لكن أكثر المآخذ عليه أنه عالي التكلفة، بالإضافة إلى مشاكل التخزين.
6. قلة فقدان الطاقة في أوقات فائض التزويد، وذلك لأنه يمكن تخزين الطاقة الزائدة، وألا تترك للهدر، كما هو حال طاقة الرياح والطاقة الشمسية الزائدتين، ففيهما طاقة الكهرباء التي تولد منهما يجب أن تستخدم بمجرد أنتاجها، أي تكنولوجيا التخزين بالنسبة إليهما مازالت معطلة. ويمكن مقارنة طبيعة تخزين الهيدروجين بطبيعة عمل البطارية، لكن بطارية الهيدروجين لا تنتهي أبداً، وذلك لأن خلية وقود الهيدروجين تم صنعها من معدن البلاتين، الذي يعمل لفترة حياة أطول بكثير جداً مما عليه الحال في البطارية.

والهيدروجين كطاقة متجددة أيضاً بسيطة بحد ذاتها، لكنها تحتاج لعدد من الخطوات:

1. حين تولد الطاقة من مصادر متجددة كالرياح والشمس، والجيوتيرمال، الكهرباء تستخدم بمجرد إنتاجها، لكن الطاقة الكهربائية المنتجة من الهيدروجين يمكن تخزينها للإستخدام لاحقاً.
2. يتم حينئذ تخزين الهيدروجين في خزان عالي الضغط .
3. ثم يتم إرسال الهيدروجين المخزن لخلايا الوقود، حيث يعاد إتحاده مع الأكسجين لتزويد المنازل أو المركبات بالوقود أو للتدفئة أو حتى مياه الشرب.

## 5.2 أسعار الهيدروجين بالنسبة لأسعار الوقود الأخرى

يوضح الجدول أسعار وقود الهيدروجين بالنسبة لأنواع الوقود الأخرى، فهو أرخص من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، ولا تقل عنه في السعر إلا طاقتي الفحم والطاقة الحيوية، لكن الإثنتين غير صديقات للبيئة، فبهما انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (Fischedick, 2001, Sanyal, et al., 2007, Fridleifsson, 2008).

نوع الوقود	سعره بالدولار\$ لكل وحدة GGA أي ما يعادل غالون بالبنزين
الطاقة النووية الهيدروجينية	2.5
الطاقة الشمسية	9.5
طاقة الرياح	3
الطاقة الحيوية	1.9
طاقة الفحم	1

جدول 2: أسعار الهيدروجين بالنسبة لأسعار الوقود الأخرى

## 5.3 وفرة الهيدروجين في الكون

الهيدروجين بشكله الذري H أكثر العناصر الكيميائية وفرة في الكون، فهو يشكل 75% من كتلة الكون بالنسبة لباقي العناصر، و90% بالنسبة لعدد ذرات العناصر في الكون. علماً أن معظم كتلة الكون مغايرة للمادة الموجودة على الأرض، من حيث ارتباط العناصر، ويعتقد أنها توجد على شكل مادة وطاقة مظلمة. وتعد السحب الجزيئية للهيدروجين H<sub>2</sub> لاعبا رئيسا في ولادة النجوم، فهي التي تزودها بوقود مخاض

الولادة اللازم، ويوجد الهيدروجين في الكون بحالتين: الحالة الذرية وحالة البلازما، وتختلف خواص هاتين الحالتين عن شكل وحالة الهيدروجين الجزيئي الموجود على الأرض (Hoffman & Dorgan, 2012; Holland, et al., 2007).

في حالة البلازما مثلاً، تجد إن إلكترون وبروتون الهيدروجين غير مرتبطين ببعضهما البعض، بل في حالة سحابة متداخلة، مما يمنحها ناقلية كهربائية وإشعاعية عالية، كحالته في النجوم الشمس، وتتأثر هذه الجسيمات المشحونة بالمجالات المغناطيسية والكهربائية، كما في الرياح الشمسية، التي تتأثر بالغللاف المغناطيسي للأرض، فتكون الشفق القطبي. والحالة الذرية المعتدلة للهيدروجين تكثر في الأوساط بين النجمية، على شكل سحب غازية، وعلى شكل ذري معتدل غير متأين هيدروجين I، أما السحب الغازية المتأينة للهيدروجين تسمى مناطق هيدروجين II (Milbrandt, and Mann, 2007).

#### 5.4 الهيدروجين على الأرض

وجود الهيدروجين الحر على الأرض أي كغاز ثنائي الذرة  $H_2$  نادر جداً، لأن الهيدروجين غاز خفيف جداً يرتفع عالياً في الغلاف الغازي للأرض، لذلك نادراً ما يوجد بشكل نقي  $H_2$ ، وهذا الغاز الحر القابع في الطبقات العليا من الغلاف الغازي، يشكل واحد من المليون فقط من حجم الغلاف الجوي للأرض، حتى أن بعض البكتيريا والطحالب التي تنتج غاز الهيدروجين الحر طبيعياً، يتصاعد منتجها إلى طبقات الجو العليا.

فما يتوافر لدينا من الهيدروجين على سطح الأرض ليس بشكله الحر، إنما بشكل مركبات كيميائية، مثل وجوده في الماء الذي يمثل 75% من مساحة الأرض، وفي الهيدروكربونات، لذلك يعدّ الهيدروجين ثالث أكثر العناصر وفرةً على سطح الأرض، وذلك بعد الأكسجين والسيلكون، فأكثر من نصف المعادن المكتشفة حتى الآن تحتوي في تركيبها على الهيدروجين (Hoffman & Dorgan, 2012; Holland, et al., 2007).

#### 5.5 إنتاج الهيدروجين وتخزينه

بالرغم من أن الهيدروجين من أبسط العناصر الكيميائية، والأكثر تواجداً في الكون، لكن مسألة فصله من الكربوهيدرات مثل الميثان أو الماء، لإستخدامه كحامل للطاقة ليست سهلة، ولقد قدم أفكار لفصل الهيدروجين عن الماء مهندس الكيمياء الحيوية البروفيسور باتريك كانجي تاكاهاشي Patrick Kenji Takahashi، في كتابه "الحلول السهلة للأرض" الصادر عام 2007، لكنها يبدو أنها جميعاً لا تتعدى كونها محاولات مختبرية. وجميع المحاولات المختبرية لإنتاج الهيدروجين كغاز حر، لا تتعدى إنتاجه بكميات صغيرة، لذلك فهي ليست مناسبة للتطبيق على مستوى صناعي.

والهيدروجين ليس طاقة، إنما حامل للطاقة مثل الكهرباء، ويمكن إنتاج طاقة من الهيدروجين على شكل حرارة أو كهرباء، من خلال عملية الحرارة العالية الإلكترونية high temperature electronic درجات الحرارة العالية، ومطلوب بين 900-1000 مئوية لفصل الأكسجين عن الهيدروجين من الماء، وحتى نسخن الماء نحتاج إلى طاقة نظيفة، مثل الطاقة الشمسية أو الطاقة الحيوية، أو الجيوثيرمال أو الرياح، أو الطاقة النووية (اليورانيم)، أو حتى الطاقة الأولية الإحفورية، أي الغير نظيفة، كالغاز والنفط والفحم، وكذلك هو الحال لإنتاجه بمقاييس صناعية تجارية (Hoffman & Dorgan, 2012; Holland, et al., 2007).

وبالإضافة للتسخين، من الطرق الأكثر تداولاً لإنتاج الهيدروجين هما التحليل الكهربائي، والإصلاح ببخار الميثان. والتحليل الكهربائي أي فصل ذرات الهيدروجين عن ذرات الأكسجين بالنسبة للماء، ويتم استخدام أنواع الطاقة أعلاه للقيام بهذه الطرق. وما زالت الدراسات تتقدم للحصول على طاقة الهيدروجين بطريقة قابلة للاستخدام، وبأسعار زهيدة، فطريقة التحليل الكهربائي ما زالت غير مجدية اقتصادياً لأنها تحتاج إلى قدر كبير من الطاقة، وغالباً ما تكون أحفورية أو شمسية، والأولى غير نظيفة، والثانية باهظة

التكاليف، بالإضافة إلى حدوث تفاعلات جانبية تقلل من الكفاءة. وعموما هذه الطريقة الوحيدة البسيطة والقديمة لإستخلاص الهيدروجين من الماء، عبارة عن تمرير تيار كهربائي بين قطبين كهربائيين مغموسين في الماء، فيتشكل الهيدروجين على المهبط المصنوع من البلاتين، في حين أن الأكسجين يتشكل على المصعد المصنوع من أي فلز خامل آخر (Hoffman & Dorgan, 2012; Holland, et al., 2007; Takahashi, 2007).

والطريقة الثانية هي عملية إصلاح البخار Steam reforming of hydrocarbons، وهي عملية كيميائية من أجل فصل الهيدروجين عن الكربون في الهيدروكربون. وللتذكير مجموعة الكربون هي المجموعة الرابعة عشر في الجدول الدوري للعناصر الكيميائية، وغالبا ما توجد المواد الهيدروكربونية على الأرض بشكل طبقي طبيعي في النفط الخام، حيث توفر مواد عضوية متحللة، والكربوهيدرات ثلاثة أنواع، أبسطها الهيدروكربونات المشبعة، التي تتكون من رابطة أحادية واحدة مشبعة بالهيدروجين، والصيغة الكيميائية للهيدروكربونات المشبعة، غير الحلقية أي "الألكانات"  $C_nH_{2n+2}$ ، والهيدروكربونات المشبعة هي أساس الوقود النفطي (Hoffman & Dorgan, 2012; Holland, et al., 2007; Takahashi, 2007).

أما الهيدروكربونات غير المشبعة لها رابطة ثنائية أو ثلاثية واحدة بين ذرات الكربون، وتدعى تلك التي تحتوي على رابطة تساهمية واحدة أو أكثر بين ذرات الكربون بالألكنات، وتكون على هذه الصيغة  $C_nH_{2n}$ ، أما الهيدروكربونات التي تحتوي على روابط ثلاثية تُسمى الألكينات، وهذه صيغتها العامة  $C_nH_{2n-2}$ . كما توجد أنواع أخرى من الهيدروكربونات، تدعى الهيدروكربونات العطرية والأورماتية، وهي مركبات عضوية تحتوي على حلقات البنزين كجزء من بنائها. هذا بالإضافة إلى الهيدروكربونات الغازية، مثل الميثان والروبان. بالإضافة للهيدروكربونات السائلة، مثل الهكسان والبنزين، والهيدروكربونات الصلبة أو الشمعية المنخفضة درجة الإنصهار مثل شمع البرافين والنفثالين، وقد تكون الهيدروكربونات على شكل بوليمرا، مثل متعدد الأيثيلين، ومتعدد البروبيلين، والبوليسترين (Hoffman & Dorgan, 2012; Holland, et al., 2007; Takahashi, 2007).

في الوقت الحاضر إصلاح بخار-الميثان Reforming (استخراج الهيدروجين من غاز الميثان) هي التكنولوجيا الرائدة في مجال إنتاج الهيدروجين بكميات كبيرة، لكن نتيجة لهذا التفاعل ينبعث ثاني أكسيد الكربون الأحفوري وأول أكسيد الكربون، الذين يتسببان في تكوين الغازات الدفيئة ويؤثران في دورة الكربون الطبيعية، وهكذا تسهم هذه العملية في الاحتباس الحراري، الذي يؤدي لتدفئة المحيطات والغلاف الجوي للأرض بشكل متسارع.

وهناك طرق أخرى لفصل الهيدروجين، مثل استخدام سبائك الألمنيوم، أو استخدام طرق كيميائية حرارية لإنتاج الهيدروجين من الطاقة الشمسية لتحليل الماء دون استخدام الكهرباء كمصدر للطاقة. بالإضافة إلى أكثر من 200 طريقة لا تزال ضمن دائرة البحث العلمي، لم يتم التوصل فيها حتى الآن إلى الطريقة الأمثل (Hoffman & Dorgan, 2012; Holland, et al., 2007; Takahashi, 2007).

وهذا لا يعني أن طاقة الهيدروجين طاقة نظرية، لكنه حتى الآن مصدرها الوحيد هو الوقود الأحفوري، وبهذا يفقد ميزته كطاقة بديلة أو نظيفة، لأن إنتاجه من الوقود الأحفوري، وبذلك فهو يجبرنا على استخدام الوقود الأحفوري وخاصة الغاز الطبيعي والفحم، فهذه الطريقة من أكثر الطرق كفاءة من الناحية الاقتصادية، وتدعى هذه العملية الإصلاح البخاري للهيدروكربونات، وخاصة الغاز الطبيعي، وينتج الهيدروجين في هذه العملية كنتاج ثانوي حيث يمرر بخار الماء عند درجات حرارة مرتفعة تتراوح بين 700 إلى 1000<sup>°</sup>مئوية، هذا التفاعل يفضل إجراؤه تحت ضغوط منخفضة، ولكن عملياً يجري تحت ضغوط مرتفعة (حوالي 2 ميغا باسكال)، لأن تسويق الهيدروجين المضغوط أسهل. ويمكن استخدام الفحم كإحد المواد الأولية لتفاعل فصل الغاز عن الماء. وأخيرا، في بعض الأحيان ينتج الهيدروجين في العمليات الصناعية، ويستهلك في نفس العملية، دون الحاجة إلى فصله، مثلما في عملية هابر بوش لإنتاج الأمونيا (Hoffman & Dorgan, 2012; Holland, et al., 2007; Takahashi, 2007).

ولقد مر الهيدروكربون بعدة مراحل اقتصادية، المرحلة الأولى بدأت مع العقد الأول من القرن الواحد والعشرين، وهي مرحلة تطوير تقنيات الهيدروجين سواء من ناحية الإستخدام أو الإنتاج. والمرحلة الثانية وهي المرحلة التي نمر بها الآن هو انتقال من التطوير ونقل تلك التقنيات الى السوق، وغالبا ما استفادت من هذه التقنيات الدول العربية مثل (دولة الإمارات والسعودية)، ففي الإمارات توجد أول محطة وقود هيدروجينية. والمرحلة الثالثة بدأت الآن أيضا وهي توسيع السوق المستخدمة، وتوسيع التكنولوجيا. أما المرحلة الأخيرة فهي الإنتباه إلى إقتصاد الهيدروجين، وهي في كل الأحوال مرحلة قادمة ستبدأ في العقد القادم بالرغم من أن العمل عليها بدء منذ السبعينيات من القرن الماضي.

المناطق التي يمكن ان يخزن بها الهيدروجين هي الكهوف cavern، والقباب الملحية، وحقول الغاز والبتروال المفرغ، أي أنه يخزن تحت سطح الارض (Brinner, and Philipps, 2001, Chenoy, 2009).

## 5.6 إقتصاد الهيدروجين

يقصد بإقتصاد الهيدروجين إنتاج أنواع متعددة منه كمصادر للطاقة، يمكن تخزينها للإستعمال لاحقا، أو توصيلها لأماكن الحاجة إليها، ومن ثم تحويلها بطريقة نظيفة إلى حرارة أو كهرباء (Ekins, 2010)، ويتضمن إقتصاد الهيدروجين التالي:

1. خلايا الوقود Fuel Cells، تحسين تكنولوجيا خلايا الوقود والمواد اللازمة لها.
2. الإنتاج production، تطوير التكنولوجيا ذات كفاءة وفعالية من حيث التكلفة تجعل الهيدروجين من مصادر الطاقة المتجددة.
3. التخزين storage، تطوير تكنولوجيا ذات كفاءة وفعالية من حيث السلامة والتكلفة لتخزين ونقل الهيدروجين.

وتتألف البنية التحتية لصناعة الهيدروجين من خط نقل الهيدروجين، محطات تعبئة وقود الهيدروجين، مجهزه وموجودة على خط الهيدروجين، ومحطات تعبئة منفصلة تعبأ عن طريق الهيدروجين تانك (ناقلات الهيدروجين)، في الولايات المتحدة يوجد خط انابيب بطول 700 ميل.

## 5.7 خلايا وقود الهيدروجين

خلايا وقود الهيدروجين hydrogen fuel cell وهي التي تنتج الكهرباء بتفاعل كهربائي كيميائي بإسخدام الهيدروجين والأكسجين، وتعمل خلية الهيدروجين بتفاعل الهيدروجين مع الأكسجين، فينتج تيار كهربائي، وهي الطريقة من أكثر وسائل توليد الكهرباء حفاظاً على البيئه، ولهذا تحظى بأهتمام كبير نحو تطويرها وتسخيرها لتسيير السيارات وامداد المنازل بالتيار الكهربائي، وقد يصل وزن خلية الوقود الواحدة إلى عدة اطنان.

وخلية الوقود الهيدروجينية تنتج طاقة نظيفة بالإضافة للماء النقي، وهي مياه صالحة للشرب، فهذا ما يشربه رواد الفضاء، وخلية الوقود هي إتحاد الأكسجين والهيدروجين لإنتاج الكهرباء أو الحرارة أو الماء، وفي معظم الأحيان تقارن خلية الوقود بالبطارية. والإثنين (خلية الوقود والبطارية) تحتويات على طاقة محولة منتجة من التفاعل الكيميائي إلى طاقة كهربائية يمكن إستخدامها. لكن الفرق بينهما أن خلية الوقود تظل تنتج الكهرباء مادام الوقود موجود (الهيدروجين)، فهي لا تفقد شحنتها، لذلك تعد خلايا الوقود تكنولوجيا مباشرة بالخير، كمصدر للطاقة والكهرباء للمنازل، وطاقة كهربائية للسيارات الكهربائية.

خلايا الطاقة تكون أكثر إنتاجية في الهيدروجين النقي، لكن باقي أنواع الوقود مثل الغاز الطبيعي والميثانول والبتروال يمكن أن تستخدم في عملية الإصلاح reforming لإنتاج الهيدروجين المطلوب لخلية الوقود، وبعض خلايا الوقود يمكن ان تعبئها بشكل مباشر بالميثانول بدون استخدام عملية الإصلاح reforming.

تعود بدايات استخدامات تكنولوجيا خلايا وقود الهيدروجين لعام 1839، وهي تقنية تعمل بعكس عملية تحليل الماء لإستخلاص الهيدروجين، ففي خلية الوقود يتفاعل الأكسجين مع الهيدروجين تفاعلا كيميائيا لإنتاج الكهرباء، بينما -وكما هو معروف- عند تحليل الماء بالكهرباء ينفصل الهيدروجين عن الأكسجين



بواسطة قطبي الكهرباء. وبشكل عام مبدأ عمل خلية الوقود الهيدروجينية تشبه البطارية، وبالتحديد بطارية السيارة بشكل خاص، فالبطارية تخزن الطاقة بواسطة العامل المؤكسد بداخلها، مما يستوجب إعادة شحنها من حين لآخر، بينما خلايا الوقود تعمل على إتحاد عنصري الهيدروجين والأكسجين لنتج الكهرباء، وميزتها أنها تعمل بصفة مستمرة، وذلك بواسطة مخزون غاز الهيدروجين ذي ضغط عالي يصل إلى نحو 700 ضغط جوي(باسكال)، وذلك للتقليل من حجم الهيدروجين، ويستمد الأكسجين من الجو. وللحصول على جهد كاف، تحتوي خلية الوقود على عدد كبير من الأقطاب التي توصل على التوالي، عند توصيل أحمال بخلية الوقود تعمل العمليات الكيميائية والكهربائية على خفض الجهد، وينتج 1 فولت من الجهد الكهربائي من تفاعل الهيدروجين مع الأكسجين، عند درجة حرارة 25 درجة مئوية، كما ينتج ماء بالطبع.

وبالمجمل تتكون خلايا الوقود من رقائق مسطحة معدنية، تتحد على سطحها جزيئات الهيدروجين والأكسجين بنسبة 1:2 لتكوين الماء  $H_2O$ ، وكل شريحة تنتج فولت واحد من الكهرباء، مما يعني أنه كلما زاد عدد الشرائح المستخدمة، زاد الجهد الكهربائي للخلايا. وتتكون خلية الوقود من من أقطاب تفصلها أغشية، أو تكون بشكل ألواح معدنية أو إسطوانات رقيقة جدا من الكربون، مغطاة بمادة محفزة مثل البلاتين أو البلاديوم، مغمورة في سائل حمضي أو قلوي يسمح بتوصيل الأيونات. وتحتاج سيارة صغيرة لتعمل بخلايا الوقود نحو 4 كيلوجرام من الهيدروجين، تكفيها للسير مسافة نحو 350 كم ( Hoffman & Dorgan, 2012; Holland, et al., 2007; Takahashi, 2007).

### 5.7 واقع الهيدروجين في الوطن العربي

حتى الوقت الحاضر لا توجد أي من الدول العربية البترولية أو غير البترولية، والواقعة على محيطات أو حتى بحار داخلية تنتج الهيدروجين، بالرغم من أن الدول البترولية لديها المواد الأولية لإنتاج الهيدروجين من الوقود الأحفوري كالغاز الطبيعي، ولديها آبار بترول خالية يمكن أن تستغلها في تخزين الهيدروجين، كما أن لديها رأس المال لتقوم بهذا الإستثمار، لكن أي منها لم تستهويها حتى الآن- أي نهاية عام 2018- فكرة إنتاج الهيدروجين، لكن ربما بعد عدد من المؤتمرات يمكن أن تكون هذه الفكرة أكثر رواجاً في بعض من الدول العربية أو كلها ربما.

في المقابل دولة الإمارات قد تكون من أولى الدول لإستخدام طاقة الهيدروجين، فحين تم التخطيط لمدينة مصدر فيها، كان القصد إنتاج الطاقه الكهربائيه من مشروعات الطاقه الشمسيه وطاقه الرياح وباستخدام الهيدروجين، كما قامت الإمارات بشراكه بينها ممثله في مصدر وبين بريتش بتروليوم BP لإنشاء محطة طاقه تقوم على الهيدروجين، وبهذا فإن الإمارات بالرغم من أنها لا تنتج الهيدروجين، لكنها في مراحل متقدمة لإستخدامه في المنازل في المستقبل القريب.

في الشرق الأوسط أولى محطات تزويد بوقود الهيدروجين station for hydrogen fuel cell vehicles (FCVs) سيتم إفتتاحها في دبي، بالرغم من أنه مازال الوقت بعيد قبل أن تكون السيارات التي تسير بالهدروجين متوفرة للعملاء في الإمارات.

## 6. مستقبل طاقتي الجيوثيرمال والهيدروجين في الوطن يبر علا

طاقتي الهيدروجين والجيوثيرمال من أرخص أنواع الطاقه المتجدده، ويمكن تطبيقهما بسهولة في الوطن العربي، والتطبيق هنا ليس للحصول على طاقه نظيفه صديقه للبيئه ومتجدده لا تموت فقط، لكن أيضا من أجل المردود الإقتصادي على الدول العربية. فالطاقه عموما مهمه لتشغيل كل شيء من لمبة الغرفة إلى الصاروخ، وهذا هو سر أهمية طاقتي الجيوثيرمال والهيدروجين الرخيصتين المتجددتين. لذلك التخطيط للسير في إتجاه الإستثمار فيهما مسألة حرجه ومهمه، ليس لأن هذا النوع من الطاقه موضة العصر، ولكن لأن هذا هو وقت التفكير في إنشاء البنية التحتية لها، والإستثمار فيها، وبذلك ستحقق الدول العربية هدفين في آن واحد: هدف إقتصادي وآخر تنموي.

وكيفية الاستفادة من هاتين الطاقتين المتجددتين، مستمدة من إحصاءات الوكالة الدولية للطاقات المتجددة، التي تفيد أن الطلب على الطاقة المتجددة في الوطن العربي ثلاث أضعاف طلبات دول العالم مجتمعة، ويعود السبب في هذا إلى أن الدول العربية لا تنتج المعدات والتقنيات التي تشغل الطاقة المتجددة من توربينات وكمبروسيرات ومرايا.. الخ، إنما تستوردها، وعليه نعتقد أنه حان الوقت للإستثمار فيها ليس للإتجار فيهما فقط، لكن من تصنيعهما أيضاً، فلقد أصبحت تقنيات ومعدات الطاقة المتجدد جزء أساسي في صناعة الطاقة، والإستثمارات فيها حوالي 50% من الإستثمارات العالمية الجديدة (الوكالة الدولية للطاقات المتجددة)، وهذا مرتبط بالفرس.

فمربط الفرس هو الإستثمار في إنتاج طاقتي الجيوثيرمال والهيدروجين، وذلك ليس من خلال إستقطاب رؤوس أموال أجنبية أو ديون خارجية، لكن من خلال تفعيل الأموال المحلية، بمعنى الشراكة الإستثمارية بين الشعوب والمؤسسات والهيئات الحكومية في هاتين الطاقتين، فهذه -من وجهة نظري- من أهم عوامل النجاح لمستقبل طاقتي الجيوثيرمال والهيدروجين في الوطن العربي، وذلك من خلال تأسيس وإنشاء شركات قومية، يكون المواطن مساهم فيها، فيستفيد ليس من الوقود الناتج عنهما فقط، إنما من المردود المالي الذي سيعود عليه من إستثماره فيهما أيضاً. وفي هذا حتى الوطن الدولة ستنتاقسم الفائدة ليس المالية فقط، إنما التنموية أيضاً، لأن الإستثمار في هذا المجال عالي التكلفة، ويحتاج إلى رؤوس أموال كبيرة، لذلك المؤسسات المساهمة للطاقة، أفضل بكثير من القروض الأجنبية أو رؤوس الأموال الأجنبية التي تهتمش العنصر المحلي الشعب.

ومن جانب آخر، راجت مؤخرا التجارة في معدات وتقنيات الطاقة عاوناً نم عون يأ لوحت يتلا ،ةددجتلا يف لخدلل ردصم تادعما هذه دعنو ،اهمادختسا نكمي ةلوحتم ةقاط بلا ةبعييط ةقاط نم ةددجتلا ةقاطلا لودلا يفو .ةبيير علا لودلا اهيف امب ةفاك ملاعلا لودلا تايقتلا هذهب رجنت يتلا ،ةبييرغلا لودلا نم ريتك انهو ،نانبلو ندرألا يف ةصاخ ،ةحبرملا ةراجتلا هذه نم بابشلا نم ةضيرع ةحيرش انهم تداقتسا ةبيير علا يف راجتالل فيرطلاف ،نيجورديهلا سيلو ،لامريثويجلا ةقاطل رشابملا مادختسالا ةقاط تادعم ينعأ اليوط لازام هتادعمو نيجورديهلا .

وتتوقع الهيئة العربية للطاقة المتجددة أن يصل حجم الإستثمارات في قطاع الطاقة المتجددة في الوطن العربي إلى 300 مليار دولار أمريكي بحلول عام 2030. وإذا كان هذا الحال، فإنه يعني ثلاثة أمور: الأولى فتح فرص عمل للشباب في الدول العربية التي لم تبدأ بعد من الإستثمار في طاقتي الجيوثيرمال والهيدروجين، خاصة إن كانت رؤوس الأموال أجنبية. والثانية فتح الباب للأموال المحلية للإستثمار فيهما، "فجحا أولى بلحم ثوره"، فالمواطن العربي أولى بالإستثمار في دولته، وهذا يتطلب نشر ثقافة الإستثمار والتجارة والعمل والبحث والتصنيع في طاقتي الهيدروجين والجيوثيرمال، فأن الوعي بهذا النوع من الطاقة في الوطن العربي غير منتشر بين العامة. أما الثالثة يجب البدء في توطين تكنولوجيا الطاقة النظيفة في الوطن العربي، ونقل معرفة تصنيع معدات تكنولوجيا الطاقة المتجددة إليها، بل ربما إبتكار طرق لتحويلها، فمثلا بالنسبة لطاقة الهيدروجين فإنه حتى اليوم لم توجد طريقة ناجعة لفصل الهيدروجين عن الأكسجين من الماء، بالرغم من إتساع المحيطات وعمقها (Usher, 2008)، وعليه هذا مجال واسع للبحث، والسبق العلمي فيه .

## 7. الخلاصة والتوصيات

طاقتي الجيوثيرمال والهيدروجين من أكثر أنواع الطاقة النظيفة والمتجددة حول العالم، فالأولى يمكن إستخراجها من بئر طاقي، والثانية يمكن إنتاجها من المحيطات، عن طريق فصل الأكسجين عن الهيدروجين، وبالرغم من أن الأولى بدأت بعض الدول العربية في إستخراجها، بإستخدام تقنية إستخراجها من الغرب أو من الصين، إلا أن الثانية إنتاجها وإستخدامها مقتصر على الدول الغربية فقط. ما توصي به هذه الدراسة وبشكل مباشر هو مشاركة المواطن في الإستثمار في طاقة الجيوثيرمال بالذات، وذلك من خلال طرح أسهم هذه الطاقة في الأسواق المحلية، بعد إنشاء هيئة خاصة بها تقوم بحفر آبار

طاقة على إمتداد الدولة، فتزود مدن وقرى الدولة بالكهرباء، وفي ذات الوقت لها عائد سنوي على المواطن، وهنا لا يستفيد المواطن من الخدمات المقدمة له فقط، لكن يستفيد من المردود المادي أيضا، ومدى الحياة.

بالنسبة لطاقة الهيدروجين، ربما الآن هي الفرصة لإنتاج الهيدروجين من الغاز الطبيعي، في دولة مثل قطر مثلا، التي تعد من أكثر الدول العربية في إنتاج الغاز، وهذه فرصة يمكن أن تقوم بها مصر أيضا بعد إكتشاف آبار الغاز في البحر المتوسط. أما الشق الأهم هو أن تقوم الجامعة العربية بعمل مسابقة سنوية تشمل المدارس والجامعات في الدول العربية جميعا، لإنتاج الهيدروجين من الماء بكميات تجارية، وليس كميات مخبرية كما حالة الآن.

## المراجع

أبراهيم عبدالجليل، محمد العشري، ونجيب صعب، 2013، البيئة العربي، الطاقة المستدامة، التوقعات، التحديات، الخيارات، تقرير المنتدى العربي للبيئة والتنمية 2013، 217 صفحة.  
تقرير الحكومات لدعم تقنيات المستقبل، 2018 أكاديمية دبي للمستقبل، 108 صفحات.

## المراجع الأجنبية

- Abdelrahim, H. M., Fahmy, F. H., and El-Fawal, A. M.H., 2013, Geothermal Hot Water and Space heating System in Egypt, 2nd International Conference on Energy Systems and Technologies 18 – 21 Feb. 2013, Cairo, Egypt. Pp7.
- Adolf, J., Balzer, Ch., H., Louis, J., 2017, SHELL HYDROGEN Study Energy of the Future? Sustainable Mobility through Fuel Cells and H2, Report, 37p.
- Al-Kohlani, T., Al-Sabri A., ALnethary M., Sharian A., Noman W., Sultan M., and Aldukhain A., 2015. Geothermal Exploration at Al-Qafr Geothermal Field, Ibb Governorate, Yemen. Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015
- Annual U.S. and Global Geothermal Power Production Report. 2015, Geothermal energy Associatio, 21pp. pdf.
- Arvizu, D.E., 2008, Potential Role and Contribution of Direct Solar Energy to the Mitigation of Climate Change, IPCC SCOPING MEETING ON RENEWABLE ENERGY SOURCES, PROCEEDINGS, Lübeck, Germany, 20 – 25 January, 2008, *Edited by* Olav Hohmeyer and Tom Trittin, 49-59.
- Axelsson, G., Stefánsson, V., Björnsson, G., and Jiurong Liu, J., 2005, Sustainable Management of Geothermal Resources and Utilization for 100 – 300 Years., Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005. pdf.
- Bachellerie, I. J., 2012, Renewable Energy in the GCC Countries, Resources, Potential and Prospects. Gulf Research Centre. 232pp.
- Barkaoui, A., Nemet, A., Varbanov, P. S., Klemeš, J. J., Zarhloulea, Y., Rimic, A., 2013, Integration of Geothermal Energy in the Case of North Eastern Morocco. Chief Editors: Sauro Pierucci, Jiří J. Klemeš, The Italian Association of Chemical Engineering, Online at: [www.aidic.it/cet](http://www.aidic.it/cet) Copyright © 2013, AIDIC Servizi S.r.l., 247-252. ISBN 978-88-95608-23-5; ISSN 1974-9791
- Barkaoui, AE, Zarhloule, Y, Rimi, A, Correia, A, Voutetakis, S, Seferlis, P, 2015, Geothermal Country Update Report of Morocco (2010-2015). World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19-25 April 2015. 9pp.
- Bell, M., Walker, M. J. C., 2005, Late Quaternary Environmental change, physical and Human perspective. Pearson Education Limited. Essex, 348p.
- Bloomquist, R. G., 2003, Geothermal space heating. Geothermics. Volume 32, Issues 4–6, Pages 513-526.
- Boyer, p., 2001, The Oxford Companion to United States History. Oxford University press. 984pp.
- Brinner, A. and Philipps F., 2001, Hydrogen as the Fuel of the Future-Production, purification and Storage. Institute for Technical Thermodynamics German Aerospace. Pp10. Pdf.
- Chenoy, D., 2009, Overview of Indian Hydrogen Programme & Key Safety Issues on Hydrogen Fuel. US Department of Transportation and US Department of Energy Workshop on Compressed Natural Gas and Hydrogen Fuels: Lessons Learned for the Safe Deployment of Vehicles. 33pp.
- Cullin, J.R., L. Xing, E. Lee, J.D. Spitler, D.E. Fisher 2012: Feasibility of foundation heat exchangers for residential ground source heat pump systems in the United States. – ASHRAE Transactions, 118, pp. 1039–1048.
- Dye, S. T., 2012, Geoneutrinos and the Radioactive Power of the Earth, Reviews of Geophysics, 50, RG3007 / 2012 8755-1209/12/2012RG000400 Paper number 2012RG000400. PDF.
- Ekins, P., 2010, Hydrogen Energy: Economic and Social Challenges. Routledge. 312 pp.
- Elgendi, K., 2017, Two Trends of Energy and Carbon Emissions in the Arab World available at: <http://www.carboun.com/energy/two-trends-of-energy-and-emissions-in-the-arab-world/> FAO
- Evans, D.J., Reay, D.M., Riley, N.J., Mitchell, W.I., and Busby, J., 2006, Appraisal of underground energy storage potential in Northern Ireland. Sustainable and Renewable Energy Programme. Internal Report IR/06/095. British Geological Survey, Natural Environment research Council, 171pp.
- Fact Sheet, 2010, The History of Hydrogen fact sheet, Hydrogen Association. [www.HydrogenAssociation.org](http://www.HydrogenAssociation.org)*
- Fardoun, F., Ibrahim, O., Younes, R., and Louahlia-Gualous, H., 2012, Electricity of Lebanon: Problems and Recommendations. Energy Procedia 19 (2012) 310 – 320.
- Fridleifsson, I.V., 2001, Geothermal energy for the benefit of the people. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 5, Issue 3, Pages 299-312.

Fischedick, M., 2008, Mitigation potential, cost of renewable energy systems and costs of transition, IPCC SCOPING MEETING ON RENEWABLE ENERGY SOURCES, PROCEEDINGS, Lübeck, Germany, 20 – 25 January, 2008, Edited by Olav Hohmeyer and Tom Trittin, 135-146.

Fridleifsson, I.B. 2008, The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change, , IPCC SCOPING MEETING ON RENEWABLE ENERGY SOURCES, PROCEEDINGS, Lübeck, Germany, 20 – 25 January, 2008, *Edited by* Olav Hohmeyer and Tom Trittin, 59-80.

Fridleifsson, I.B., R. Bertani, E. Huenges, J. W. Lund, A. Ragnarsson, and L. Rybach 2008. The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change. In: O. Hohmeyer and T. Trittin (Eds.) IPCC Scoping Meeting on Renewable Energy Sources, Proceedings, Luebeck, Germany, 20-25 January 2008, 59-80.

Grace, J., 2005. Humans and Environmental change. In: Holden, J. (Ed) Physical Geography and the Environment. Pearson. Harlow. Pp 526-548.

Hadji, L., and Meisen, P., 2016, How is 100% Renewable Energy Possible for Algeria by 2030? report, Global Energy Network Institute (GENI) pp34.

Hoffman, P. & DORGAN, B.L., 2012, Tomorrow's Energy: Hydrogen, Fuel Cells, and the Prospects for a Cleaner Planet. (The MIT Press). 360pp.

Holland, G. B. James J. Provenzano, Gibbs Smith, 2007, The Hydrogen Age: Empowering a Clean-Energy Future. Nature. 370pp.

Holm, A., Blodgett, L., Jennejohn and Gawell, K., 2010. Geothermal Energy: International Market Update Geothermal Energy Association. Pp77.

Jassim, H., 2008, Geothermal Energy and Possibility Use It in Iraq, report, Electrical Department, College of Engineering, Babylon University, pp21.

Jilali, A., Chamrar, A., and El Haddar, A., 2018, Hydrochemistry and geothermometry of thermal water in north-eastern Morocco. *Geotherm Energy* (2018) 6:9 <https://doi.org/10.1186/s40517-018-0095-2>

Kazim, A., 2003. Introduction of PEM fuel-cell vehicles in the transportation sector of the United Arab Emirates, *Applied Energy* 74 : 125–133.

Kazim, A., 2010. Strategy for a sustainable development in the UAE through hydrogen energy. *Renewable Energy* 35 , 2257-2269

Kazim, A., and Veziroglu, T.N., 2001., Utilization of solar–hydrogen energy in the UAE to maintain its share in the world energy market for the 21st century. *Renewable Energy* 24 : 259–274.

Kazim, A., and Veziroglu, T.N., 2003. Role of PEM fuel cells in diversifying electricity production in the United Arab Emirates, *International Journal of Hydrogen Energy*. Volume 28, Issue 3, Pages 349-35

Kazem, H. A., 2011, Renewable energy in Oman: Status and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 : 3465– 3469

Khalil, A., and Asheibi, A., 2015, The Chances and Challenges for Renewable Energy in Libya. 4th International Conference on Renewable Energy Research and Applications Palermo, Italy, 22-25 Nov 2015.

Kharseh, M., and Alzaem, A., 2013, Potential of Geothermal Systems for Energy Saving in Qatar. Pdf presentation.

Krewitt, W., 2008, Integration of renewable energy into future energy systems, , IPCC SCOPING MEETING ON RENEWABLE ENERGY SOURCES, PROCEEDINGS, Lübeck, Germany, 20 – 25 January, 2008, Edited by Olav Hohmeyer and Tom Trittin, 127-134.

Lashin, A., 2015, Geothermal resources of Egypt: Country Update, World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19-25 April 2015. 13pp.

Lashin, A., Al Arifi, N., Chandrasekharam, D., Al Bassam, A., Rehman, S., and Pipan, M., 2015, Geothermal Energy Resources of Saudi Arabia: Country Update, Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015, pp15.

Lokke, J.A. 2017, Wide Spread Adaptation on Competitive Hydrogen Solution. Nel Hydrogen, PDF.

Lovins, A.B., 2003, Twenty Hydrogen Myths. Rocky Mountain Institute. All rights reserved. Pp 49.

Lund, J., W., and Boyd, T., L., 2015, Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review Proceedings. World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19-25 April 2015. 8pp.

Milbrandt, A. and Mann, M., 2007, Potential for Hydrogen Production from Key Renewable Resources in the United States, Technical Report NREL/TP-640-41134 , February 2007, National Renewable energy Laboratory.

Mohamed, M. B., and Saïd, M., 2008, Geothermal Energy Development in Tunisia, present and Status and Future outlook, GEOTHERMAL TRAINING PROGRAMME 30th Anniversary Workshop Orkustofnun, Grensásvegur Iceland 9, August 26-27, 2008 .

Mohamed, M. B., 2015, Regional Commissariat for Agriculture Geothermal Energy Development: the Tunisian Experience. Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015

Moomaw, W., 2008, Renewable Energy and Climate Change An Overview, IPCC SCOPING MEETING ON RENEWABLE ENERGY SOURCES, PROCEEDINGS, Lübeck, Germany, 20 – 25 January, 2008, Edited by Olav Hohmeyer and Tom Trittin.3-11

Odenka, J., M.I. Rüsgen, I. Strober, K. Czurda 2007: GIS-supported mapping of shallow geothermal-potential of representative areas in south-western Germany: possibilities and limitations. – Renewable Energy, 32, pp. 2186–2200.

Rimi, A., 2000, First Assessment of geothermal Resources in Morocco, Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu - Tohoku, Japan, May 28 - June 10, 2000. 397-402

Saab, N., 2017, Introduction, In: Arab Environment In 10 years, 2017. Najib Saab. 11-20

Saibi, H., 2015, Geothermal Resources in Algeria., Proceedings World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19-25 April 2015. 11pp.

Sanyal, S.K., Morrow, J.W., Butler, S. J., and Robertson-Tait, A., 2007, Cost of electricity from enhanced geothermal systems. PROCEEDINGS, Thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 22-24, 2007 SGP-TR-183

Schütz, F., Winterleitner, G., and Huenges, E., 2018. Geothermal exploration in a sedimentary basin: new continuous temperature data and physical rock properties from northern Oman. Geotherm Energy (2018) 6:5 <https://doi.org/10.1186/s40517-018-0091-6>. 23pp.

Sedaoui, R., 2017, Sustainable energy pathway for the Arab region In: Arab Environment In 10 years, 2017. Najib Saab.127-142.

Swarieh, A., 2000. Geothermal Energy Resources in Jordan, country Update report. Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu - Tohoku, Japan, May 28 - June 10, 2000. 469-474.

Takahashi, P. K., 2007. Simple Solutions: For Planet Earth. Author House. 296 p.

Umar, T., 2017, Geothermal energy resources in Oman, Energy, Volume 171 Issue EN1. 37-43.

Usher, E., 2008, Global Investment in the Renewable Energy Sector. IPCC SCOPING MEETING ON RENEWABLE ENERGY SOURCES, PROCEEDINGS, Lübeck, Germany, 20 – 25 January, 2008, Edited by Olav Hohmeyer and Tom Trittin, 147-154.

Zarhloule, Y., Abedlkrim Rimi, A., Boughriba, M., Alae Eddine Barkaoui, A., and Abderrahim Lahrach, A., 2008, The Geothermal Research in Morocco: History of 40 Years, 6pp.pdf.

Zarhloule, Y., 2003, Overview of geothermal activities in Morocco, International Geothermal Conference, IS-108 Reykjavík, Iceland. Sept. 2003, 1-8.

Zogg M. 2008 a. "History of Heat Pumps - Swiss Contributions and International Milestones", final report, Swiss Federal Office of Energy, Berne; with 285 references, downloadable from [www.zogg-engineering.ch/publi/HistoryHP.pdf](http://www.zogg-engineering.ch/publi/HistoryHP.pdf).

Zogg, M., 2008b, History of Heat Pumps Swiss Contributions and International Milestones. 9th International IEA Heat Pump Conference, 20 – 22 May 2008, Zürich, Switzerland.