



منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)  
ORGANIZATION OF ARAB PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES (OAPEC)



THE OXFORD  
INSTITUTE  
FOR ENERGY  
STUDIES

A RECOGNIZED INDEPENDENT CENTRE OF THE UNIVERSITY OF OXFORD



UNIVERSITY OF  
OXFORD

## الهيدروجين وإزالة الكربون من الغاز: فجر زائف أم حل سحري

### Hydrogen and decarbonisation of gas: false dawn or silver bullet?

تأتي هذه الورقة ضمن سلسلة الدراسات التي يصدرها معهد أكسفورد لدراسات الطاقة حول مستقبل الغاز الطبيعي. وتتنظر الورقة في إمكانيات إنتاج ونقل واستخدام الهيدروجين في نظام طاقة خال من الكربون "Decarbonizing Energy System"، وتشير إلى أنه منذ استخدام مصطلح "اقتصاد الهيدروجين" في عام 1970 ظهر العديد من المرات ما يمكن وصفه بالفجر الزائف مع ادعاءات جريئة بشأن سرعة الانتقال إلى الهيدروجين. وتبين الورقة أن هناك الآن أرضية للتفاوض حول الدور المستقبلي لبعض التطبيقات في مجال الهيدروجين الخالي من الكربون "Decarbonized Hydrogen"<sup>1</sup>. وحسبما ورد في الورقة فإنها تهدف إلى تقديم تقييم متوازن لاحتمالات قيام الهيدروجين بدور في إزالة الكربون من نظام الطاقة، وكيف يمكن أن ينسجم هذا الدور مع المسارات الأخرى، بما فيها الاستخدام الأكبر للكهرباء والميثان المتجدد.

تحتوي الورقة على ثلاث فقرات رئيسية، وتتضمن الفقرة الأولى الأسواق المحتملة للهيدروجين المتجدد «Renewable Hydrogen»<sup>2</sup> بدءاً باستخدام المكثف للهيدروجين غير المتجدد «Non-renewable Hydrogen»<sup>3</sup> في العديد من الصناعات الآن وكيفية إزالة الكربون في الاستخدام الصناعي، ثم تطبيقات ذلك في قطاع المواصلات (البرية، القطارات، البحرية، والجوية). وأخيراً الاستخدام المحتمل للهيدروجين في التدفئة، سواء في القطاع الصناعي أو التجاري أو المنزلي. وتتضمن الفقرة الثانية دراسة ومقارنة المسالك المحتملة لإنتاج الهيدروجين المتجدد، وتركز على تحسين الميثان باستخدام أسلوب اصطياد واستخدام وتخزين الكربون (CCUS) وعلى التحليل الكهربائي للماء "Electrolysis of water" باستخدام الكهرباء المولدة عن طريق المصادر المتجددة. وتتنظر الفقرة الثالثة في خيارات نقل الهيدروجين من مناطق

1- إذا كانت الكهرباء المستخدمة في إنتاج الهيدروجين لا تتجم عنها انبعاثات من الكربون فيطلق على الهيدروجين إنه خالي من الكربون.

2- وهو الهيدروجين المنتج عن طريق عملية التحليل الكهربائي والكهرباء المستخدمة في هذه الحالة يتم توليدها باستخدام الطاقات المتجددة.

3- وهو الهيدروجين المنتج عن طريق عملية التحليل الكهربائي والكهرباء المستخدمة في هذه الحالة يتم توليدها باستخدام مصادر طاقة غير متجددة كالنفط والغاز والفحم.

الإنتاج إلى الأسواق المحتملة. وتستعرض بصورة خاصة الفرص والتحديات لتحويل البنى التحتية للغاز الطبيعي القائمة حاليا نحو استخدام الهيدروجين. وتوصلت إلى أنه من المحتمل أن يشكل هذا تحديا أكبر مما يبدو للوهلة الأولى. وتقدم الفقرات التالية نبذة مختصرة عن محتويات الورقة.

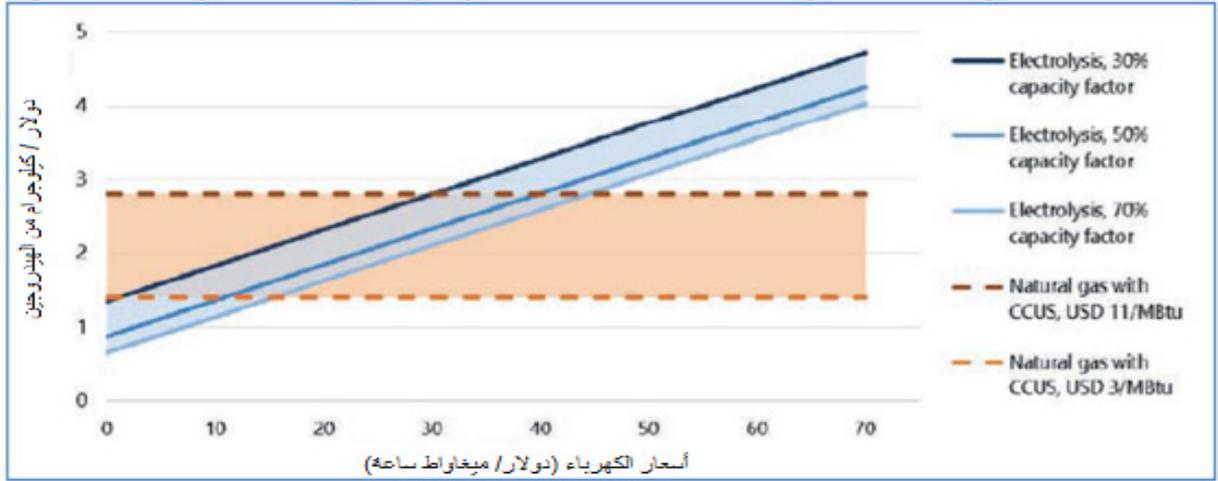
## 1 - الأسواق المحتملة للهيدروجين المتجدد «Renewable Hydrogen»:

ازداد الطلب العالمي على الهيدروجين النقي «وهو الذي يحتوي على مستويات قليلة من المواد المضافة أو مستويات منخفضة من الملوثات المسموح بها»، من حوالي 25 مليون طن في عام 1980 إلى ما يربو عن 70 مليون طن (أي ما يعادل 2750 تيرا وات ساعة) في عام 2018، أي بمعدل نمو سنوي بلغ 2.5%. ويتم إنتاج كل هذه الكميات من الهيدروجين باستغلال نسبة 6% من الغاز ونسبة 2.5% من الفحم المستهلكة عالميا، ويقدر أن حرق هذا الوقود قد أدى إلى انبعاث 830 مليون طن سنويا من ثاني أكسيد الكربون. وينبع الاهتمام بالهيدروجين من كونه لا يصدر أية انبعاثات للكربون عند استعماله، كما أنه هناك إمكانيات لإنتاجه عبر طرق ذات انبعاثات قليلة أو معدومة من الكربون، وتفيد الورقة بأن الاستخدامات الرئيسية للهيدروجين الآن هي في قطاع التكرير وفي إنتاج الأمونيا وفي القطاع الصناعي. أما الاستعمالات المستقبلية الواعدة للهيدروجين هي في قطاع المواصلات البرية والبحرية والجوية. كما يتوقع أن يتم استخدامه في مجال التدفئة في قطاع المباني وفي مجال توليد الكهرباء.

## 2 - الطرق المحتملة لإنتاج الهيدروجين المتجدد «Renewable Hydrogen»:

يتم إنتاج 95% من الهيدروجين حاليا من الوقود الأحفوري (76% من الغاز الطبيعي و23% من الفحم)، كما يتم إنتاج 2% من الهيدروجين عن طريق التحليل الكهربائي «Electrolysis». وينجم عن إنتاج هذه الكميات من الهيدروجين 830 مليون طن سنويا من غاز ثاني أكسيد الكربون كما أسلفنا. وفي سياق عملية إزالة الكربون فإن عمليات الإنتاج الحالية تحتاج إما إلى تعديل لتنسجم مع أسلوب اصطياد واستخدام وتخزين الكربون (CCUS) أو إلى تطوير تكنولوجيات إنتاج بديلة على نطاق واسع. ويتم حاليا دراسة ثلاث طرق رئيسية لإنتاج الهيدروجين بطرق خالية أو قليلة الانبعاثات من الكربون، وهي: طريقة تحسين الميثان الغازي (Steam Methane Reforming) أو التحسين الحراري التلقائي (Autothermal Reforming) لتحويل الميثان إلى هيدروجين، طريقة التحليل الكهربائي «Electrolysis»، وطريقة «Methane Pyrolysis» وهي تقنية مازالت في مراحلها الأولى من التطوير. وفيما يتعلق بالتكاليف المتعلقة بالإنتاج، فتشير الورقة أن التكلفة التقديرية لإنتاج ما يعادل نحو 1 ميغاواط ساعة في عام 2050 حسب الطرق الثلاث المختلفة سألفة الذكر

هي: 47 يورو لكل 1ميغاواط ساعة حسب الطريقة الأولى (Steam Methane Reforming)، و66 يورو لكل 1ميغاواط ساعة حسب الطريقة الثانية "Electrolysis"، و60 يورو لكل 1ميغاواط ساعة حسب الطريقة الثالثة "Methane Pyrolysis"<sup>4</sup>. ويوضح الشكل التالي مقارنة تكاليف إنتاج الهيدروجين باستخدام الكهرباء وباستخدام الغاز مع أسلوب اصطياد واستخدام وتخزين الكربون (CCUS):



### 3 - بدائل نقل الهيدروجين:

يتم حالياً استهلاك 85 % من الهيدروجين المنتج في مواقع تصنيعه، كما يتم نقل 15 % منه عن طريق الشاحنات أو خطوط الأنابيب. ويوجد حالياً 4500 كيلومتر من خطوط الأنابيب في العالم، منها 2600 كيلومتر في الولايات المتحدة، وتليها بلجيكا بحوالي 600 كيلومتر.

ويمكن نقل الهيدروجين على شكل غاز مضغوط أو هيدروجين مسيل عن طريق الحاويات سواء على الطرق البرية، أو سكك الحديد، أو السفن. ومن أجل المسافات البعيدة يمكن تحويل الهيدروجين إلى أمونيا أو إلى «حامل الهيدروجين العضوي السائل» (LOHC). وتتضمن عملية حامل الهيدروجين العضوي السائل تفاعل الهيدروجين المتجدد مع مادة أخرى لإنتاج سائل يمكن تخزينه ونقله بسهولة. وبعدها تتم عملية تحويل معاكسة للحصول على الهيدروجين المتجدد ثم توزيعه وبيعه إلى المستخدم النهائي. وتوجد عدة مواد مرشحة للاستخدام في عملية "حامل الهيدروجين العضوي السائل"، لكن البدائل الأقل كلفة التي يتم التفكير بها حالياً هي الميثانول، النفتالين، والتولوين.

4 . علماً بأن تكلفة 22.5 يورو لكل 1ميغاواط ساعة تعادل تقريباً 1 دولار للكيلوجرام من الهيدروجين.

وتوجد هناك العديد من الدراسات حول إمكانية تحويل الخطوط الحالية لنقل الغاز الطبيعي لاستخدامها لنقل الهيدروجين. وتغطي هذه الدراسات إمكانيات تتراوح ما بين خلط حوالي 20 % من الهيدروجين مع الغاز الطبيعي إلى التحويل الكامل لنقل 100 % من الهيدروجين المتجدد.

### الاستنتاجات التي توصلت لها الورقة:

من أهم ما توصلت إليه الورقة ما يلي:

- لا توجد هناك حلول سهلة أو منخفضة التكاليف لعملية إزالة الكربون من نظام الطاقة، وينطبق ذلك على الاستخدام المحتمل للهيدروجين منخفض الكربون.
- من المتوقع أن يلعب الهيدروجين دوراً بارزاً في إزالة الكربون من نظام الطاقة، وذلك على الرغم من أن حجم هذا الدور يمكن أن يكون أكثر محدودية مما هو متصور في بعض التوقعات الأكثر تفاؤلاً.
- أن التطبيقات الصناعية التي تستخدم الهيدروجين حالياً تمتلك إمكانيات واضحة للتحويل من الوضع الحالي القائم على إمدادات الهيدروجين ذات المستوى العالي من الكربون نحو البدائل ذات المستوى المنخفض. ومن المحتمل في نظام تمت إزالة الكربون منه أن ينخفض الطلب على الهيدروجين في مصافي التكرير، بينما سيزداد الطلب على الهيدروجين في صناعة المنتجات الأخرى، وعلى وجه الخصوص تصنيع الأمونيا تماشياً مع الطلب على الأسمدة، واستخدام الأمونيا كوقود في النقل البحري أو كوسيلة لنقل الهيدروجين.
- يعد إنتاج الهيدروجين عن طريق التحليل الكهربائي حالياً أعلى تكلفة من إنتاجه عن طريق تحسين الميثان مع أسلوب اصطياد واستخدام وتخزين الكربون (CCUS)، لذلك فهو بحاجة إلى سياسات دعم من الحكومات لتشجيع الاستثمارات المطلوبة. ويكمن الحل الأمثل في التوصل إلى تشجيع إنتاج الهيدروجين منخفض الكربون لاستخدامه في التطبيقات الصناعية القائمة يحتاج إلى اتفاقية عالمية (أو على الأقل بين الدول الصناعية الرئيسية مثل مجموعة العشرين) حيث يمكن أن يكون هذا الحل هو الطريق الممتاز لبناء الخبرة لتصنيع الهيدروجين منخفض التكاليف على نطاق واسع، وبالتالي تخفيض التكاليف.
- عندما يتم إنتاج الهيدروجين منخفض التكاليف على نطاق واسع، عندئذ يمكن تحقيق إضافة تطبيقات جديدة. ومن المحتمل أن تتضمن مثل هذه التطبيقات أكثر المجالات الواعدة لاستخدام الهيدروجين بعد التطبيقات الصناعية (إنتاج الحديد والصلب وغيرها من التطبيقات الصناعية

التي تتطلب مدخلات هامة من الطاقة مثل الإسمنت) ألا وهو قطاع النقل عن طريق السيارات الكهربائية التي تستخدم خلية الوقود، وخاصة في الحالات الثقيلة والمسافات الطويلة عندما تكون السيارات الكهربائية التي تستخدم البطاريات غير مجدية.

- أن نقل الهيدروجين عبر الأنابيب يقوم على أسس تكنولوجية مستقرة، ويمكن مع أعمال هندسية مفصلة تحويل خطوط الأنابيب الحالية للغاز الطبيعي لاستخدامها في نقل الهيدروجين الأمر الذي تم تجريبه، لكن لا يمكن الافتراض أن يتم ذلك بصورة مباشرة أو عن طريق عملية ذات تكاليف منخفضة لتحويل أنظمة الغاز الطبيعي الضخمة والمعقدة لنقل الهيدروجين.
- في بعض الحالات عندما لا يثبت أنه من الممكن بناء قدرات تحويل كهربائية كافية فإن الهيدروجين يمكن أن يكون له دور نظرا لكونه قادرا على نقل الطاقة لمسافات ملموسة، وذلك على الرغم من أن ذلك يمكن أن يضيف حوالي 10 يورو/1 ميغاواط ساعة لكل 1000 كيلومتر من أنابيب التحويل.

وأخيراً سيبقى هناك العديد من حالات عدم التأكد التي تحيط بالدور المستقبلي للهيدروجين في نظام طاقة خال من الكربون، ومن المبكر القول بأن العالم يتحرك نحو "اقتصاد الكربون" بعد 50 سنة من ابتكار هذا المصطلح.