

## تعليق

# ما مدى واقعية استخدام الهيدروجين من أجل الإمداد بالكهرباء (الكهربة)؟

يناير 2022

شاهد حسن ورامي شبانة



## الأهمية المتزايدة للهيدروجين بوصفه ناقلاً للطاقة في المستقبل

اكتسب الهيدروجين دعماً عالمياً كبيراً في خطاب سياسات الطاقة حول كيفية تحقيق أهداف إزالة انبعاثات الكربون. وبسبب خواص الهيدروجين المتمثلة في الاحتراق النظيف وتعدد استخداماته، فإنه يتم فحص الهيدروجين بوصفه مصدراً بديلاً للوقود من أجل خفض انبعاثات الغازات الدفيئة في القطاعات المختلفة، بما فيها قطاعات النقل والصناعة والبناء والطاقة. ويعتبر مزج الهيدروجين مع الغاز الطبيعي في الشبكات القائمة اقتراحاً جذاباً للحد من استخدام المواد الهيدروكربونية وما يترتب على ذلك من انبعاثات كربونية لاحقة مصحوبة بزيادة الطلب على الهيدروجين. وقد قامت العديد من المشاريع النموذجية في كافة أنحاء العالم بتجربة حقن الهيدروجين في شبكة الغاز، باستخدام تركيبات الهيدروجين تصل إلى 20%. إلا أن الأثر طويل المدى لذلك على مواد خطوط الأنابيب ومعدات الاستخدام النهائي لا يزال غير واضح (NREL 2020). وبمجرد أن يتم المزج، يمكن فصل الهيدروجين عن الغاز الطبيعي عند نقطة التسليم باستخدام تقنيات الاستخراج النهائية، أو يمكن استخدام مزيج الهيدروجين والميثان الممزوج في عمليات الاحتراق بشكل مباشر. وتتناول في هذا التعليق الجدوى الاقتصادية لهذا الاستخدام الأخير، وتحديدًا لاستخدامها في توريينات الغاز في قطاع الطاقة الكهربائية.

**على الرغم من الأهمية المتنامية لمناقشة مزج الهيدروجين باعتباره وسيلة من وسائل إزالة الكربون من إنتاج الكهرباء، إلا أن معظم مثيريه ما تزال في مراحلها التجريبية**

تقوم شركات المرافق العامة التي تحركها الدوافع البيئية والاجتماعية والحوكمة، بنحو متزايد بإدخال التقنيات منخفضة الكربون وأنواع الوقود في محافظها من أجل الفوز بال عقود، مما يشير إلى التحول إلى الهيدروجين بوصفه عنصراً من عناصر خطتها الصفرية الصافية (Jones 2021). بالإضافة إلى ذلك، فقد أصبح من الصعب الحصول على الموافقات التنظيمية لمحطات الغاز الجديدة في بعض المناطق، نظراً لأن الدعم السياسي للتحول عن المواد الهيدروكربونية يكتسب زخماً متزايداً (Jones 2021).

فعلى سبيل المثال - باعتباره جزءاً من مسودة اقتراح الاتحاد الأوروبي - فإنه لا يُسمح لمحطات الغاز بأن تكون جزءاً من تصنيفاتها المستدامة للتمويل إلا إذا كان لديها "إمكانية استخدام أنواع وقود منخفضة الكربون في المستقبل، ولا تنبعث منها أكثر من 270 جراماً من مكافئ ثاني أكسيد الكربون لكل كيلواط في الساعة من الطاقة" (EURACTIV 2021). فيما يستجيب مصنعو توريينات الغاز من خلال تطوير توريينات قادرة على إطلاق تركيز أعلى بكثير من الهيدروجين عما هو ممكن من الناحية التقنية في يومنا هذا. كذلك تخطط شركة جنرال إلكتريك لتعزيز قدرتها الحالية على استخدام الهيدروجين بنسبة تتراوح ما بين (50% إلى 100%) بحلول عام 2030 (EURACTIV 2021). وقد نجحت شركة ميتسوبيشي للطاقة (Mitsubishi Power) في اختبار وقود ممزوج بالهيدروجين بنسبة 30%، ولكنها تهدف إلى تطوير توريينات الغاز التي تعمل بالهيدروجين بنسبة 100% بحلول عام 2025 (Mitsubishi Power 2018). فضلاً عن أنها تعمل على تطوير توريينات غازية من فئة (40 ميغاواط) التي يمكنها حرق 100% من الأمونيا بصورة مباشرة لتوليد الطاقة، والتي يتوقع الفراغ منها بحلول عام 2025 (Patel 2021).



هناك العديد من المشاريع الأخرى قيد التنفيذ حالياً تهدف لدراسة خصائص احتراق الغاز الممزوج بالهيدروجين لتوليد الطاقة. ويقوم مشروع الطاقة القائمة بين المناطق الجبلية (Intermountain Power Project) في ولاية يوتا بالولايات المتحدة الأمريكية، بتحويل محطة الفحم الحالية التي تبلغ طاقتها الإنتاجية 1,800 ميجاواط إلى منشأة توليد ذات دورة مركبة تعتمد على الغاز بقدرة تبلغ 840 ميجاواط، وينبغي أن يكون لها القدرة على مزج ما يصل إلى 30% من الهيدروجين بحلول عام 2025، ومن ثم ستنقل إلى مزج 100% من الهيدروجين بحلول عام 2045 (IPA 2020). كذلك يخطط مشروع (Palomar Green Hydrogen Systems Project) الذي تنفذه شركة سان دييغو للغاز والكهرباء (San Diego Gas & Electric (SDGE) في كاليفورنيا، لتجريب مزج الهيدروجين بالغاز الطبيعي لتوليد الطاقة (Mandel 2021). كما يدرس المشروع التجريبي الثاني للشركة المتمثل في مشروع (Borrego Springs Green Hydrogen Project) إمكانية استخدام الهيدروجين لتخزين الطاقة على المدى الطويل لدعم موثوقية الشبكة. حيث سيقوم محلل كهربائي في موقع هذا المشروع، بإنتاج الهيدروجين باستخدام الطاقة الشمسية، وستحول خلية الوقود طاقة الهيدروجين إلى كهرباء عندما تحتاجها الشبكة. ورغم أن الرغبة في خفض انبعاثات الغازات الدفيئة تعد المحرك الرئيس لهذا الأمر لاستخدام الهيدروجين للطاقة، إلا أن الجدوى الاقتصادية للهيدروجين وقدراته التقنية لم يتم تحديدها بعد.

## تأتي الانبعاثات من العديد من القطاعات، لكن يظل قطاع توليد الطاقة المساهم الأكبر فيها

على الرغم من النمو السريع لمصادر الطاقة المتجددة في العقد الماضي، إلا أن قطاع الكهرباء لا يزال أكبر مساهم في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالطاقة على مستوى العالم. كما هو مبين في الشكل (1)، فإن قطاعات الطاقة الكهربائية والتدفئة أسهمت بانبعاثات مقدارها 13.5 جيجا طن من ثاني أكسيد الكربون في عام 2020، أو حوالي 40% من الانبعاثات العالمية. ولا يزال قطاع الطاقة يهيمن عليه الوقود الأحفوري، ويشكل ما يقرب من 61% من إجمالي توليد الكهرباء، بينما لا تشكل مصادر الطاقة المتجددة غير المائية إلا 12% من هذا الإجمالي (BP 2021). إلا أن مساهمة الطاقة المتجددة في مزيج التوليد شهدت زيادة ملحوظة على مدى العقد الماضي. ومع ذلك، يظل الوقود الأحفوري المصدر المهيمن للطاقة لإنتاج الطاقة الكهربائية، ويرجع هذا بالأساس إلى ارتفاع وتيرة استخدام الغاز الطبيعي والفحم. وقد شهدت كل هذه المصادر مجتمعة زيادة في وتيرة استهلاك الإنتاج الكهربائي من (90.5 إكساجول) في عام 2009 إلى (112 إكساجول) في عام 2019، مما أدى بدوره إلى زيادة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من 7.5 جيجا طن في عام 2009 إلى 8.9 جيجا طن في عام 2019 (IEA 2021). وعلى الرغم من الجهود المبذولة لإزالة الكربون من شبكة الكهرباء على المدى الطويل، إلا أن من المرجح ارتفاع وتيرة الطلب على الغاز الطبيعي لتوليد الطاقة في المستقبل القريب، مصحوبة ببدء الانخفاض في الأربعينيات من القرن الحالي (IEA 2021a).

ارتفعت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن إنتاج الكهرباء على مستوى العالم، على الرغم من الزيادة الحادة في استخدام الطاقة المتجددة

**الشكل 1.** الانبعاثات العالمية لثاني أكسيد الكربون المتعلقة بالطاقة في عام 2020 (غيغا طن).



المصدر: (IEA 2021a).

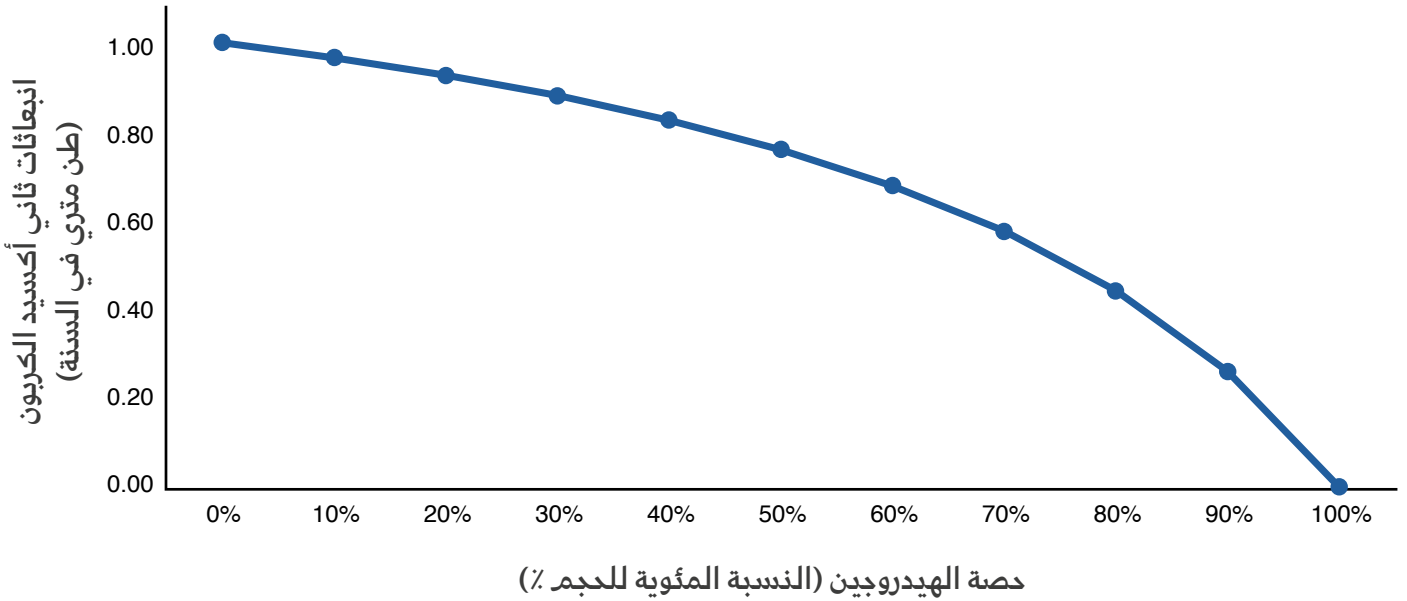
يمكن أن تؤدي عملية إعادة تأهيل محطات الطاقة الحالية التي تعمل بالغاز باستخدام تقنية احتجاز الكربون أو عزله (CCUS)، أو بناء محطات طاقة غازية جديدة باستخدام احتجاز الكربون أو عزله أو الإشعال المشترك للوقود الممزوج بالهيدروجين، إلى خفض كثافة انبعاثات أسطول المركبات التي تعمل بالطاقة الناجمة عن توليد الغاز مع توفير المرونة اللازمة لتشغيل الشبكة بطريقة موثوقة. نظرًا لأن تقنيات احتجاز الكربون أو عزله لا تزال في مرحلة مبكرة من الاستغلال التجاري، فيمكن للحرق المشترك للغاز الممزوج بالهيدروجين أن يوفر بديلًا سهلًا لإزالة الكربون قبل الاحتراق على المدى القصير.

## الهيدروجين من أجل الإمداد بالكهرباء (الكهربة): هل حان الوقت؟

### مزج الهيدروجين بالغاز الطبيعي من أجل خفض الانبعاثات الكربونية

يحتوي الغاز الطبيعي على أساس الحجم، على أكثر من ثلاثة أضعاف كثافة طاقة الهيدروجين. وبالتالي، فإن مزج الهيدروجين مع الغاز الطبيعي يقلل من القيمة الحرارية الإجمالية لمزيج الوقود، مما يعني أن توفير المحتوى الحراري اللازم لإنتاج وحدة من الكهرباء يستلزم حجمًا أكبر من الغاز الممزوج. علاوة على ذلك، ونظرًا للاختلافات في كثافة الطاقة، فإن تحقيق خفض بنسبة 50% في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون سيتطلب مزيجًا يبلغ نحو 77% (بالحجم) من الهيدروجين (الشكل 2). كما سيؤدي استخدام الهيدروجين بنسبة 100% كوقود لتوربينات الغاز إلى إزالة كل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالتشغيل باستخدام الغاز الطبيعي. مما يعني بالتالي أنه إذا تم تسعير الهيدروجين بسعر أعلى من سعر الغاز الطبيعي، فإن التكلفة الحدية قصيرة المدى (SRMC) لتشغيل محطة توليد الكهرباء ستزداد أيضًا (تمت مناقشتها في القسم التالي).

**الشكل 2.** العلاقة بين انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ومزيج وقود الهيدروجين والميثان (الحجم %).



المصدر: تقديرات المؤلفين.

ملاحظات: بناءً على (أ) حجم محطة توليد الكهرباء ذات الدورة المركبة 400 ميغاواط، (ب) 34200 كيلوجول/ متر مكعب و10809 كيلوجول/ متر مكعب من القيم الحرارية للغاز الطبيعي والهيدروجين، على التوالي، (ج) معامل الانبعاث يبلغ 56.10 كجم من ثاني أكسيد الكربون/ جيجا جول (حوالي 53.08 كجم من ثاني أكسيد الكربون لكل مليون وحدة حرارية بريطانية) للغاز الطبيعي (Gómez et al. 2006).

### ستعمل التوربينات الغازية العاملة بوقود الهيدروجين بنسبة 100% على تقليل الكفاءة الإجمالية الدائرية للكهرباء

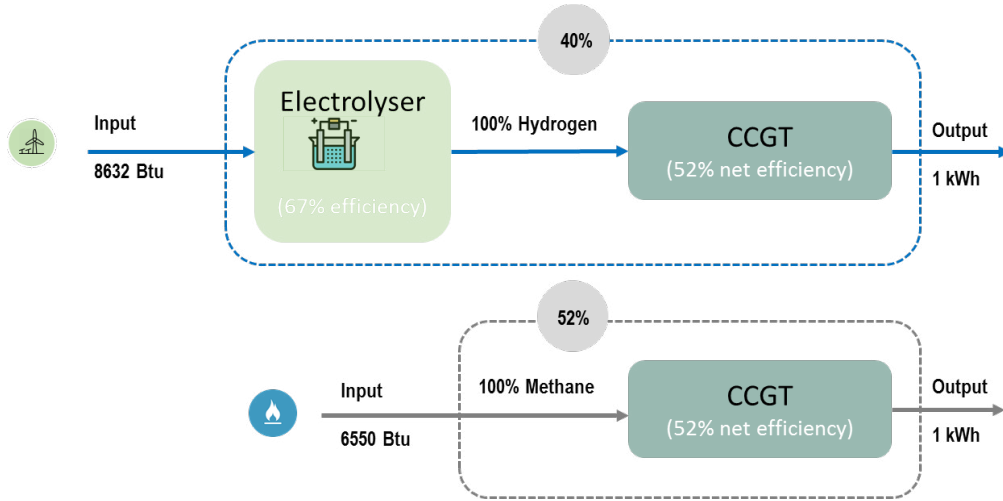
عادة ما تأتي التوربينات التي تعمل بالغاز الطبيعي في نسختين: توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة (OCGT)، أو توربينات الغاز ذات الدورة المركبة (CCGT). وتتميز توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة بتكوين أبسط بكثير من توربينات الغاز ذات الدورة المركبة، وتستخدم عادةً لتلبية أحمال الذروة وتوفر كفاءة كهربائية معتدلة. وفي المقابل، فإن توربينات الغاز ذات الدورة المركبة تعد أفضل بكثير من حيث كفاءتها وتعتبر الخيار المفضل لتلبية طاقة الحمل الأساسي، إلا أن تكلفتها الرأسمالية أعلى من توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة. ويمكن لكلا الخيارين زيادة إنتاج توليد الطاقة أو خفضه، مع وجود معدل زيادة إنتاج أعلى في توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة، مما يعزز المرونة التشغيلية لمحطة توليد الطاقة الكهربائية في الشبكة. ومع ذلك، أصبحت الكفاءة الحرارية العالية لتكنولوجيا توربينات الغاز ذات الدورة المركبة القوة الدافعة وراء اعتمادها، حيث وصلت إلى نطاق يتراوح ما بين (50% - 60)، ما يمثل تحسناً كبيراً على كفاءة توربينات الغاز ذات الدورة المفتوحة البسيطة، التي تبلغ حوالي 33% (IPIECA 2013).

**نقوم باستخدام المواصفات الفريدة طويلة الأجل التي تنفرد بها كل منطقة، بحسب الطلب الافتراضي على الكهرباء السكنية للفترة (2016 - 2018)، مع بقاء أسعار الكهرباء ثابتة عند مستويات عام 2015**

## تعتبر الكهرباء المباشرة باستخدام مصادر الطاقة المتجددة من وجهة نظر الكفاءة، خيارًا أفضل بكثير لإزالة الكربون من شبكة الطاقة

كذلك تتيح تطبيقات (Power-to-X) استخدام الطاقة المتجددة لإنتاج ناقلات الطاقة الغازية مثل الهيدروجين، التي تُستخدم بعد ذلك كوقود لتوليد الطاقة الكهربائية من خلال توربينات الغاز. غير أن من شأن هذه التطبيقات أن تؤدي إلى خفض الكفاءة العامة الدائرية بسبب المراحل المتعددة لتحويل الطاقة المتضمنة في هذه العملية. ويوضح الشكل (3) هذا التأثير، حيث تنخفض كفاءة محطة توليد الطاقة الكهربائية ذات الدورة المركبة العاملة بالغاز الطبيعي من معدل 52% إلى نحو 40%، إذا تم استخدام الهيدروجين بنسبة 100% كوقود لإنتاج الطاقة الكهربائية. ويعزى السبب في ذلك إلى المتطلبات الكبيرة للطاقة من أجل عملية التحليل الكهربائي للمياه لإنتاج الهيدروجين، كما أن إعادة استخدام هذا الهيدروجين لتوليد الطاقة يخفض أيضا من الكفاءة الدائرية.

الشكل 3. رسم توضيحي للكفاءة الدائرية للهيدروجين بنسبة 100% في تطبيق (Power-to-X).



المصدر: توضيح المؤلفين

## مزيج الهيدروجين والغاز الطبيعي من أجل إحداث اضطراب في اقتصاديات إنتاج الكهرباء

يمكن أن يكلف الهيدروجين الأخضر المنتج باستخدام موارد متجددة ما يتراوح بين (3 إلى 6.5) دولار للكيلوجرام اعتمادًا على تكاليف توليد الطاقة المتجددة في الأسواق المختلفة (European Commission 2020). مما يعني أن أسعار الغاز تتراوح ما بين (26 و57) دولار/ مليون وحدة حرارية بريطانية على أساس مكافئ الطاقة، الأمر الذي يجعل الهيدروجين الأخضر أكثر تكلفة من الغاز الطبيعي في معظم الولايات القضائية.

وبالتالي، فإن مزج الهيدروجين بنسبة 20% من حيث الحجم في توربينات الغاز ذات الدورة المركبة بسعر الغاز المفترض 4.5 دولار/ مليون وحدة حرارية بريطانية، سيؤدي إلى زيادة تكلفة الوقود (على سبيل المثال، التكاليف الحدية قصيرة الأجل) لإنتاج الكهرباء من 31 دولارًا/ ميجاواط ساعة (بدون مزج) إلى 63 دولارًا/ ميجاواط ساعة (عند سعر الهيدروجين 3 دولارات/ كجم) أو 87 دولار/ ميجاواط ساعة (بسعر الهيدروجين 5 دولارات/ كجم)، حسب ما هو موضح في الشكل (4). وتتراوح هذه زيادة ما بين (100% إلى 175%) في تكلفة الوقود لإنتاج الطاقة الكهربائية من أجل خفض الانبعاثات الناجمة عن ذلك بنسبة 7%. كما سيكون التأثير السلبي أكثر وضوحًا بالنسبة للمنتجين الذين يستخدمون الغاز الطبيعي ذي السعر المنخفض (مثل 1.5 دولار لكل مليون وحدة حرارية بريطانية) وذلك بسبب التفاوت الكبير في فروقات الأسعار بين الهيدروجين الأخضر والغاز الطبيعي. كما أن من شأن ارتفاع نسبة مزج الهيدروجين أن تؤدي إلى تفاقم تكلفة الإمداد بالكهرباء "الكهربة" (الشكل 5).

بالمقارنة مع هذا، ظل متوسط أسعار الكهرباء مقدمًا للبيع بالجملة في أوروبا أقل من 60 دولار لكل ميجاواط/ ساعة على مدى السنوات الثلاث إلى الأربع الماضية (باستثناء الأزمة الحالية التي بدأت تتكشف منذ شهر أبريل من عام 2021، وأدت إلى حدوث ارتفاع في أسعار الكهرباء بالجملة). بينما نجد في إسبانيا والبرتغال، أن الأسعار قد تضاعفت بمعدل ثلاثة أضعاف في الأشهر الستة الماضية لتصل إلى 175 يورو/ ميجاواط ساعة (203 دولارات/ ميجاواط ساعة) في شهر سبتمبر من عام 2021 (Hernández-Morales and Cienski 2021; BBC 2021). وفي نفس الوقت تقريبًا، بلغ متوسط السعر اليومي للكهرباء بالجملة في المملكة المتحدة مستوى قياسي بلغ 277.30 يورو/ ميجاواط ساعة (376.8 دولار/ ميجاواط ساعة) في المزاد الفوري "Nord Pool (Nord Pool 2021) (N2EX)". إلا أن بإمكان هذه الأسعار المرتفعة في أسواق الكهرباء بالجملة أن تدعم الكهرباء القائمة على الهيدروجين. فيما شهدت الأسعار قبل هذا العام ارتفاعات بين الفينة والأخرى متجاوزة 9 دولار/ مليون وحدة حرارية بريطانية بسبب الظروف الصعبة للسوق. كذلك تجاوزت واردات الغاز الطبيعي المسال إلى آسيا في الفترة الواقعة ما بين (2011 و2014) مبلغ 14 دولار/ مليون وحدة حرارية بريطانية (Corbeau, Shabaneh, and Six 2016). إلا أن الارتفاع الحالي في أسعار الكهرباء بالجملة في كافة أنحاء أوروبا كان ناتجًا إلى حد كبير عن الارتفاع الحاد في أسعار الغاز في الفترة التي سبقت موسم شتاء

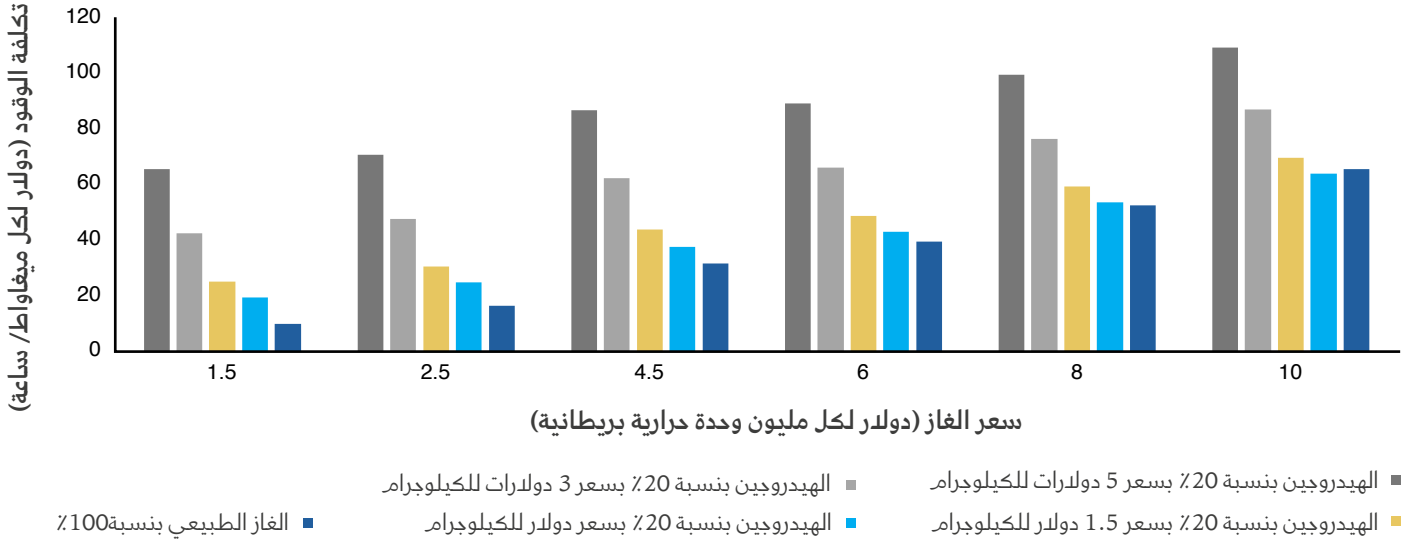
بالنسبة للكهربة، يجب أن يتنافس الهيدروجين مع الغاز الطبيعي على أساس قيمة التدفئة

2022/2021. وقد نتج هذا الارتفاع عن أسواق الغاز الصخري في قارتي أوروبا وآسيا (Eckert, Twindale, and Crellin 2021)، مما أدى إلى ارتفاع أسعار الغاز فيهما متجاوزاً سعر 30 دولار/ مليون وحدة حرارية بريطانية. إلا أن من المرجح أن يكون اتجاه الأسعار هذا مؤقتاً، ونتوقع تراجع أسعار الغاز الطبيعي بالتزامن مع تحسن وتيرة العرض.



وبالتالي، فإن من غير المحتمل أن يكون استخدام الهيدروجين لأغراض الكهرباء منطقيًا من الناحية الاقتصادية ما لم يتم فرض سعر باهظ للكربون على إنتاج الكهرباء القائم على الوقود الأحفوري. ولكن وعلى المدى الطويل، عندما يُتوقع أن تقل تكلفة الهيدروجين الأخضر عن 1 دولار/ كجم، فإن اقتصاديات الكهرباء من خلال الهيدروجين قد تتغير لصالحها، وبشكل أكبر حتى في الدول التي تصل فيها أسعار الغاز الطبيعي إلى حوالي 10 دولار/ مليون وحدة حرارية بريطانية. وبما أن الدولة تستهدف الوصول إلى صافي انبعاثات صفرية بحلول عام 2050، فإنها تخطط لتحويل بعض طاقتها القائمة على الوقود الأحفوري إلى الهيدروجين، وتهدف إلى جعلها قادرة على المنافسة من حيث التكلفة مقابل الغاز الطبيعي المسال (METI 2017). وقد استوردت اليابان بنجاح في عام 2020، شحنة تجريبية من الأمونيا الزرقاء من المملكة العربية السعودية لأغراض الاستخدام المباشر في محطات توليد الطاقة.

#### الشكل 4. تأثير مزج الهيدروجين على التكلفة الحدية قصيرة الأجل للأسعار المختلفة للغاز والهيدروجين.

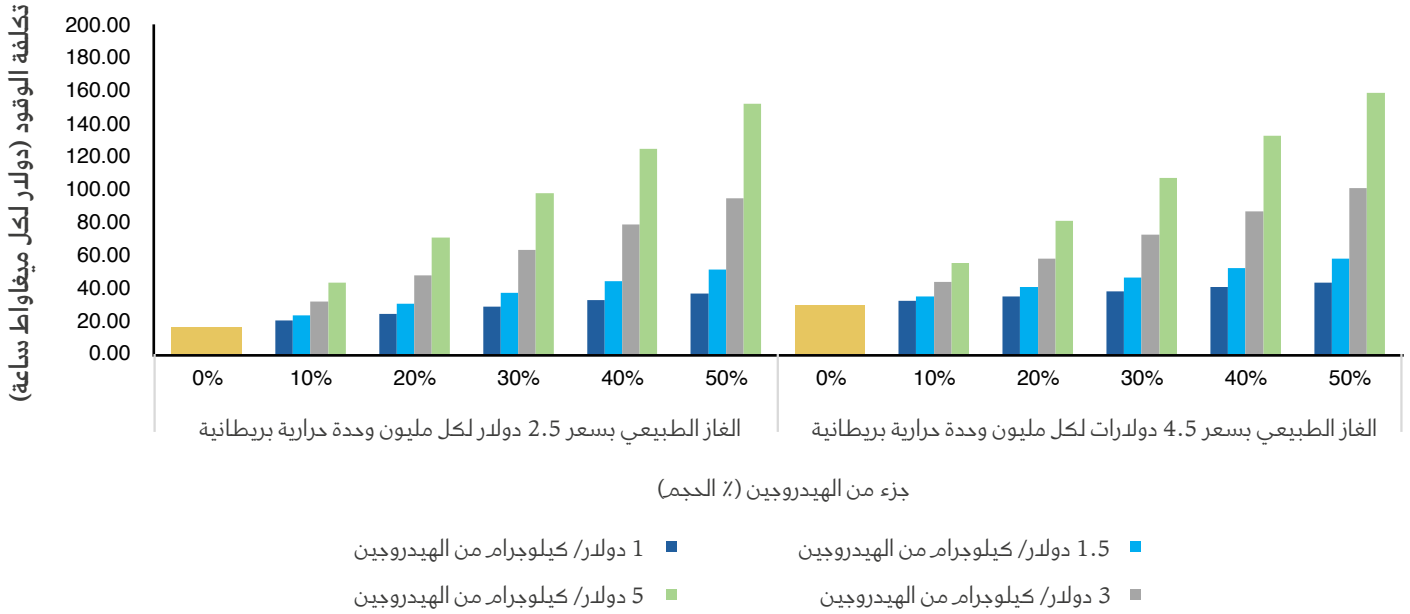


المصدر: تقديرات المؤلفين

ملاحظات: بناءً على (أ) معدل التدفئة الصافي المفترض 6,550 وحدة حرارية بريطانية/ كيلوواط ساعة (قيمة حرارية دنيا)، الذي يقابل صافي كفاءة بنسبة 52% في طريقة توربينات الغاز ذات الدورة المركبة، (ب) والقيمة الحرارية للغاز الطبيعي البالغة 34,200 كيلوجول/ متر مكعب، (ج) عامل حمل 75% لمحطة توربينات الغاز ذات الدورة المركبة.



## الشكل 5. التكلفة الحدية قصيرة الأجل لأسعار الأمزجة المختلفة للهيدروجين والوقود.



المصدر: تقديرات المؤلفين

## الخاتمة

تعتبر الكهرباء المباشرة باستخدام مصادر الطاقة المتجددة من وجهة نظر الكفاءة، خياراً أفضل لإزالة الكربون من شبكة الطاقة مقارنة بالهيدروجين. ويحتوي الهيدروجين على كثافة طاقة أقل من الغاز، إلا أن الآثار طويلة المدى لاستخدامه في خطوط أنابيب الغاز الطبيعي الحالية وتطبيقات الاستخدام النهائي لا تزال قيد الدراسة. كما أن الكهرباء باستخدام الهيدروجين بنسبة 100% لها كفاءة شاملة تبلغ معدل 40% أو أقل. ولأن الهيدروجين الأخضر الممتاز يتفوق على أنواع الوقود الأخرى، فإن من الأفضل استخدامه في القطاعات التي يصعب خفض مستويات انبعاثاتها مقارنةً بتوليد الطاقة. ومع ذلك، فقد تكون هنالك حالة لاستخدام الهيدروجين لتغطية أوقات الذروة في الأماكن التي تكون فيها أسعار الغاز مرتفعة، أو لتوفير خدمات المرونة اللازمة لتشغيل الشبكة بشكل موثوق. كما يمكن للتكلفة المتغيرة لحرق الهيدروجين من أجل توليد الطاقة أن تصل إلى التكافؤ مع إنتاج الكهرباء القائم على الغاز الطبيعي عندما تكون تكلفة الغاز الطبيعي حوالي 10 دولار/ مليون وحدة حرارية بريطانية، وتكون تكلفة الهيدروجين الأخضر حوالي دولار واحد للكيلوجرام. إلا أنه سيكون من الضروري إجراء المزيد من عمليات التطوير في مجال تخزين الهيدروجين على نطاق واسع وفعال من حيث التكلفة، من أجل الاستفادة من إمكانيات تطبيقات (Power-to-X) للهيدروجين بوصفه وقوداً لتوليد الطاقة.

## المراجع ومصادر البيانات

British Broadcasting Corporation (BBC). 2021. "Spain Targets Energy Firms as European Bills Surge." September 14. <https://www.bbc.com/news/world-europe-58556073>.

British Petroleum (BP). 2021. "BP Statistical Review of World Energy 2021." July 8. Accessed October 21, 2021. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.

Corbeau, Anne-Sophie, Rami Shabaneh, and Sammy Six. 2016. "The Impact of Oil and Gas prices on Gas Markets: A Retrospective Look at 2014-15." KAPSARC, May 3. Accessed November 16, 2021. <https://www.kapsarc.org/research/publications/the-impact-of-low-oil-and-gas-prices-on-gas-markets-a-retrospective-look-at-2014-15/>.

Eckert, Vera, Susanna Twindale, and Forrest Crellin. 2021. "Analysis: Expensive Winter Ahead as Europe's Power Prices Surge." Reuters, September 10. <https://www.reuters.com/business/energy/expensive-winter-ahead-europes-power-prices-surge-2021-09-10/>.

EURACTIV. 2021. "EU to Offer Gas Plants a Green Finance Label, under Certain Conditions." March 23. Accessed October 11, 2021. <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/eu-to-offer-gas-plants-a-green-finance-label-under-certain-conditions/>.

European Commission. 2020. *A Hydrogen Strategy for a Climate Neutral Europe*. Brussels: European Commission. Accessed September 24, 2021. [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen\\_strategy.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf).

Gómez, Darío R., John D. Watterson, Branca B. Americano, Chia Ha, Gregg Marland, Emmanuel Matsika, Lemmy Nenge Namayanga, Balgis Osman-Elasha, John D. Kalenga Saka, and Karen Treanton. 2006. "Chapter 2: Stationary Combustion." In *Energy, Volume 2 of 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Accessed September 2, 2021. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2\\_Volume2/V2\\_2\\_Ch2\\_Stationary\\_Combustion.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf).

Hernández-Morales, Aitor, and Jan Cienski. 2021. "Why Europe's Electricity Is So Expensive." *Politico*, September 21. Accessed October 2, 2021. <https://www.politico.eu/article/why-europes-electricity-is-so-expensive/>.

Intermountain Power Agency (IPA). 2020. "IPP Renewed." Accessed October 5, 2021. <https://www.ipautah.com/ipp-renewed/>.



International Energy Agency (IEA). 2021a. “Greenhouse Gas Emissions from Energy.” October. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/greenhouse-gas-emissions-from-energy>.

———. 2021b. *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*. Paris: International Energy Agency. Accessed September 28, 2021. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.

\_\_\_\_\_. 2021c. “World CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion.” IEA Statistics Package. Accessed November 2, 2021. <https://wds.iea.org/wds/ReportFolders/reportFolders.aspx>.

International Petroleum Industry Environmental Conservation Association (IPIECA). 2013. “Combined cycle gas turbine.” April 10. Accessed October 2, 2021. <https://www.ipieca.org/resources/energy-efficiency-solutions/power-and-heat-generation/combined-cycle-gas-turbines/>.

Jones, Nick. 2021. “Hydrogen Power is Here, But Natural Gas Isn’t Going Anywhere.” BTU Analytics, October 7. Accessed October 11, 2021. <https://btuanalytics.com/power-and-renewables/hydrogen-power-is-here-but-natural-gas-isnt-going-anywhere/>.

Mandel, Ethan. 2021. “SDG&E to Start Two Hydrogen Projects This Year.” *H2 Bulletin*, April 20. Accessed September 15, 2021. <https://www.h2bulletin.com/sdge-to-start-two-hydrogen-projects-this-year/>.

Ministry of Economy, Trade and Industry (METI). 2017. “Basic Hydrogen Strategy (Key Points).” December. Accessed October 14, 2021. [https://www.meti.go.jp/english/press/2017/pdf/1226\\_003a.pdf](https://www.meti.go.jp/english/press/2017/pdf/1226_003a.pdf).

## عن كابسارك

مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك) هو مركز عالمي غير ربحي يجري بحوثاً مستقلة في اقتصاديات وسياسات وتقنيات الطاقة بشتى أنواعها بالإضافة إلى الدراسات البيئية المرتبطة بها. وتتمثل مهمة كابسارك في تعزيز فهم تحديات الطاقة والفرص التي تواجه العالم اليوم وفي المستقبل من خلال بحوث غير منحازة ومستقلة وعالية الجودة لما فيه صالح المجتمع، ويقع كابسارك في الرياض بالمملكة العربية السعودية.

## إشعار قانوني

© حقوق النشر 2022 محفوظة لمركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك). لا يجوز استخدام هذا المستند أو أي معلومات أو بيانات أو محتوى يتضمنه دون نسبته بشكل ملائم لكابسارك. كما لا يجوز إعادة إنتاج هذا المستند أو جزء منه دون إذن خطي من كابسارك. ولا ينشأ عن المعلومات الواردة في هذا المستند أي ضمان أو تعهد أو أي مسؤولية قانونية -سواء مباشرة أو غير مباشرة- تجاه دقتها أو اكتمالها أو فائدتها. كما لا يجوز أن يعتبر هذا المستند-أو أي جزء منه- أو أن يفسر كمنصحة أو دعوة لاتخاذ أي قرار. الآراء والأفكار الواردة هنا تخص الباحثين معدّي الدراسة. ولا تعكس بالضرورة موقف المركز ووجهة نظره.



مركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية  
King Abdullah Petroleum Studies and Research Center

[www.kapsarc.org](http://www.kapsarc.org)