مركز الخليج للأبحاث
المعرفة للجميع

# الهيدروجين الأزرق في منطقة الخليج:
## مُستقبل واعد وتحديات كُبرى


د. ناجي ابي عاد

مستشار أول في شؤون الطاقة – مركز الخليج للأبحاث

خبير دولي في شؤون الطاقة


اغسطس ٢٠٢٦


مركز الخليج للأبحاث
المعرفة للجميع
منذ عام 2000م

@Gulf_Research Gulfresearchcenter gulfresearchcenter gulfresearchcenter

الآراء الواردة في هذا المقال تعبر عن رأي الكاتب وحده، ولا تعكس بالضرورة سياسة أو توجه مركز الخليج للأبحاث

بالإضافة إلى تصدير الغاز الطبيعي بصورة غاز مُسال والمنقول عبر الأنابيب من الخليج، فقد تم التفكير بجدية في العديد من المشاريع في المنطقة تهدف إلى إنتاج الهيدروجين «الأزرق» من الغاز الطبيعي عبر عملية إصلاح الميثان بالبخار يُخلط بها الغاز ببخار شديد السخونة ومادة مُحفزة قبل ان تقترن بإحتجاز الكربون أو تكسير الميثان، وكذلك الأمونيا الزرقاء التي تُنتج عبر دمج النيتروجين مع الهيدروجين الأزرق، وتصدير هذه المُنتجات إلى الأسواق العالمية.

وفي الواقع، لطالما إعتبر خبراء الطاقة والحكومات الغاز الطبيعي مصدرًا نظيفًا وإنتقاليًا للطاقة مُقارنة بالنفط والفحم. ولكن مع ذلك، تزداد الدعوات المُطالبة بتحّول عالمي نحو مصادر الطاقة الخالية من الإنبعاثات. وفي هذا الإطار، يظهر الهيدروجين كبديل واعد ويُساهم، بإعتباره ناقلًا مُتعدد الإستخدامات للطاقة، في تخزين ونقل الطاقة المُتجددة، ويوفر مسارًا محتملًا لمُصّدري الغاز الطبيعي. وكذلك يُمكن للهيدروجين الأزرق أن يُمثل حلقة وصلٍ بين إقتصاد الغاز الطبيعي الحالي والمُستقبل المُستدام وذلك من خلال تقنيات إصلاح الميثان المُبتكرة.

ولا يُقلل وجود الهيدروجين الأزرق من الإعتماد على الغاز بل ربما العكس، ولكنه يُنتج ثاني أكسيد الكربون الذي يتطّلب إحتجازه وتخزينه. وتبلغ تكلفة إنتاج الهيدروجين الأزرق حوالي نصف تكلفة إنتاج الهيدروجين «الأخضر» الذي يُستخرج عند إستخدام طاقة مُتجددة مثل الرياح أو المياه أو الطاقة الشمسية اللازمة لعملية التحليل الكهربائي. وفي المناطق التي تتمتع بوفرة الوقود الأحفوري مُنخفض التكلفة وموارد إحتجاز الكربون وتخزينه، مثل منطقة الخليج، يظل الهيدروجين الأزرق خيارًا تنافسيًا يُتيح لهذه المناطق الريادة عبر إنتاجه.

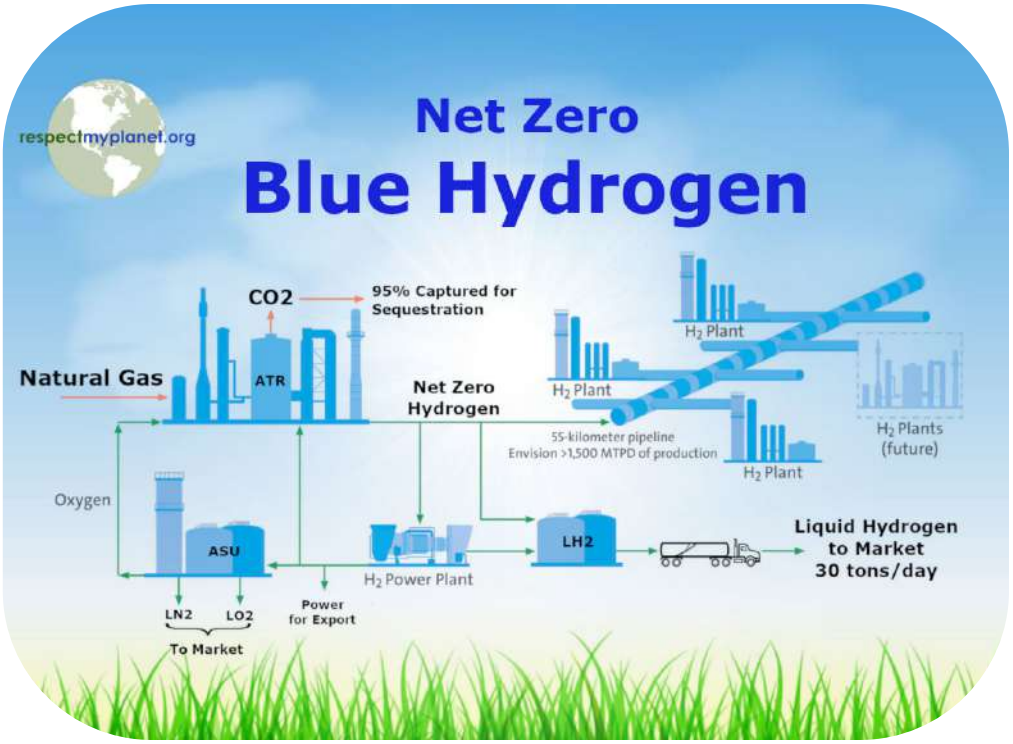
وفي الواقع، تستفيد منطقة الخليج من وفرة الغاز الطبيعي مُنخفض التكلفة، بالإضافة إلى سهولة الوصول إلى آبار النفط المُستنفدة، التي تُعد ضرورية لعملية إحتجاز وإستخدام وتخزين ثاني أكسيد الكربون. لذا، فإن إستخدام هذه الموارد لإنتاج الهيدروجين الأزرق بمسؤولية يُمكن أن يُحفز الدول الغنية بالنفط والغاز في المنطقة على تحمل مسؤولية بصمتها الكربونية العالية، والمُساهمة في تحقيق أهداف الإستدامة العالمية.

> **يُمكن للهيدروجين الأزرق أن يُمثل حلقة وصل بين اقتصاد الغاز الطبيعي الحالي والمستقبل المستدام**

ويُقدم الهيدروجين الأزرق والأمونيا الزرقاء مجموعة مُتنوعة من الإستخدامات المُحتملة. حيث يُنظر إلى الهيدروجين الأزرق كوقود في المركبات، خاصة في قطاع النقل الثقيل مثل الحافلات والشاحنات. ويُستخدم الهيدروجين في القطاع الصناعي، وخاصة في صناعة الصلب والتكرير، ويُمكن إستخدامه لتخزين الطاقة المُتجددة، مما يُساعد على موازنة العرض والطلب في شبكات الكهرباء. أما الأمونيا، فيُمكن إستخدامها كوقود مُنخفض الكربون في العديد من الإستخدامات الصناعية، وتشمل النقل وتوليد الطاقة، بالإضافة إلى صناعات الصلب والأسمنت وخاصة الأسمدة، بإعتبار الأمونيا عنصرًا أساسيًا في إنتاجها، مما يُفيد القطاع الزراعي ويدعم مُمارسات الزراعة المُستدامة.

ويشهد قطاع الهيدروجين طفرة عالمية ملحوظة في السنوات الأخيرة، حيث أعلنت العديد من الدول عن إستراتيجياتها الخاصة به، وطورت البنية التحتية ووسائل النقل اللازمة. وبالنسبة لمنطقة الخليج، فإن تأمين مكانة رائدة في هذا القطاع المُتنامي بسرعة يُعد ضروريًا لتحقيق الازدهار المُستقبلي للمنطقة. وبشكل عام، وفي قطاع إنتاج الهيدروجين الأزرق مُنخفض الكربون،حُددت ثلاث دول في منطقة الخليج بإعتبارها «ذات إمكانات عالية» وهي المملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة ودولة قطر.

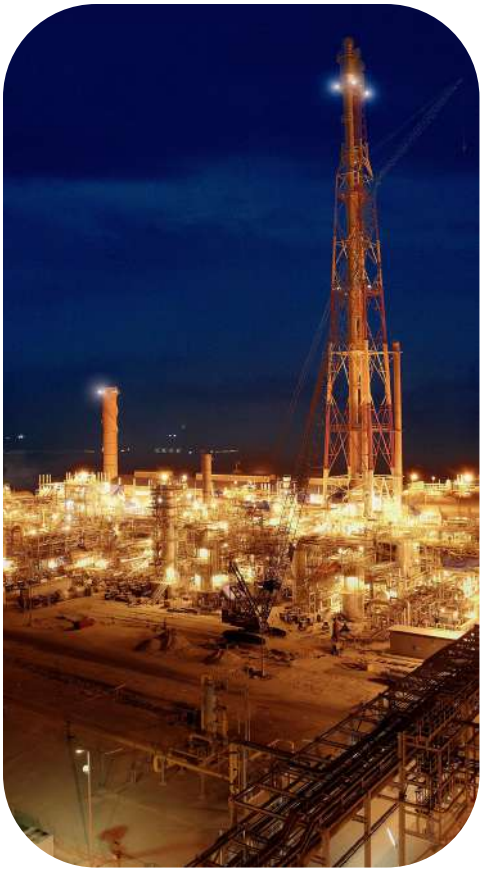
> **يُعد تأمين مكانة رائدة في قطاع الهيدروجين المتنامي بسرعة أمرًا ضروريًا لتحقيق الازدهار المستقبلي لمنطقة الخليج**




ففي إطار جهودها لتنويع مصادر الطاقة وتقليل الإعتماد على النفط، تسعى السعودية في رؤية ٢٠٣٠ لتكون رائدة عالميًا في إنتاج الهيدروجين. وفي أكتوبر ٢٠٢١، خصصت المملكة حقل الجافورة الشرقي، وهو أكبر حقول الغاز الصخري لديها، لإنتاج الهيدروجين الأزرق. وتتوقّع شركة أرامكو السعودية، المسؤولة عن هذا المشروع الضخم، إنتاج طاقة نظيفة تُعادل إستخراج حوالي ٥٠٠ الف برميل من النفط الخام يوميًا، بالإضافة إلى إنتاج ٦٣٠ الف برميل من سوائل الغاز الطبيعي يوميًا بحلول عام ٢٠٣٠.

وتُؤمِن السعودية بالإمكانات الإقتصادية الواعدة للهيدروجين الأزرق، حيث توقّع تقرير صادر عام ٢٠٢٢ عن مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك)، وهو أكبر مركز بحثي للطاقة في المملكة، أن تنخفض تكلفة إنتاج الهيدروجين الأزرق من ١,٣٤ دولار أمريكي إلى ١,١٣ دولار أمريكي للكيلوغرام بحلول عام ٢٠٣٠. ومع ذلك، يُشير التقرير أيضًا إلى التكاليف المُرتفعة لنقل الهيدروجين السائل بحرًا، مما قد يُضيف تكلفة إضافية تصل إلى دولارين أمريكيين للكيلو غرام الواحد.

> **تسعى السعودية في رؤية ٢٠٣٠ لتكون رائدة عالميًا في إنتاج الهيدروجين**



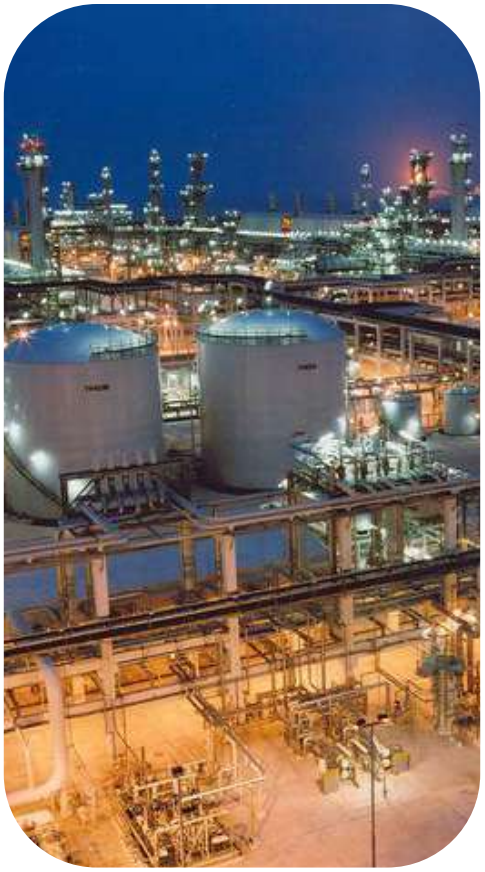
وتُركّز المملكة حاليًا على الاستحواذ خلال العقد القادم على حُصة سوقية كبيرة من الهيدروجين الأزرق، خاصة في صورة الأمونيا الزرقاء. وتستهدف شركة أرامكو السعودية إنتاج ١١ مليون طن من الأمونيا الزرقاء سنويًا بحلول عام ٢٠٣٠. وفي سبتمبر ٢٠٢٠، خطت المملكة خطوة رائدة، عندما شحنت شركة أرامكو السعودية ٤٠ طنًا من الأمونيا الزرقاء إلى اليابان. وكان هذا أول عرض عملي لسلاسل إمداد الأمونيا الزرقاء على مُستوى العالم، والذي يشمل إنتاجها ونقلها بحرًا بين الدول.

وفي الإمارات، وبعد تحديد الهيدروجين كـ «وقود المُستقبل» في المُساهمات المُحددة وطنيًا لإتفاقية باريس لعام ٢٠١٥، تجّلى إلتزام الدولة بإنتاج الهيدروجين من خلال التعاون بين شركة بترول أبو ظبي الوطنية (أدنوك) وشركة أبو ظبي الوطنية للطاقة (طاقة) وشركة مبادلة للإستثمار. وتُساهم هذه الكيانات الثلاثة في شركة أبو ظبي لطاقة المُستقبل (مصدر) والرائدة عالميًا في مجال الطاقة المُتجددة والهيدروجين.

وفي مؤتمر الأمم المُتحدة للتغير المناخي لعام ٢٠٢١، كشفت الإمارات عن «خارطة طريق ريادة الهيدروجين» بهدف تطوير الصناعات المحلية مُنخفضة الكربون والمُنافسة في سوق صادرات الهيدروجين. وتُخطط دائرة الطاقة في أبو ظبي لإنتاج أكثر من مليون طن من الهيدروجين سنويًا بحلول عام ٢٠٣٠، وذلك عبر تحقيق توازن بين إنتاج الهيدروجين الأزرق والأخضر.

ويُقام حاليًا مشروع على المُستوى العالمي لإنتاج الأمونيا الزرقاء في منطقة الرويس بأبو ظبي. ويُطوَّر المشروع ضُمن النظام الصناعي الجديد «تعزيز» ومركز الكيماويات بأبو ظبي، ومن المؤمل أن يصل إنتاجه السنوي إلى مليون طن. وفي الوقت نفسه، تتعاون شركة بي بي (بريتيش بتروليوم) الانكليزية مع شركة أدنوك لتقييم مشروع جديد للهيدروجين الأزرق في أبو ظبي، مع إظهار إهتمام مُشترك بالإستثمار في مشاريع الهيدروجين الأزرق على مُستوى العالم. وفي مايو ٢٠٢٢، إستحوذت أدنوك على حُصة ٢٥٪ في مشروع أتش ٢ تيسايد (H2Teesside) للهيدروجين الأزرق التابع لشركة بي بي في المملكة المُتحدة، بهدف إنشاء وحدتي إنتاج هيدروجين بقُدرة ٦٠٠ ميجاوات بحلول عام ٢٠٣٠.

> **تُركّز المملكة حاليًا على الاستحواذ خلال العقد القادم على حصة سوقية كبيرة من الهيدروجين الأزرق خاصة في صورة الأمونيا الزرقاء**



ويتمثل أحد التحدّيات الرئيسية التي تواجه الإمارات في تطوير الهيدروجين الأزرق محليًا في النقص في موارد الغاز الطبيعي، المصدر الأولي الأكثر سهولة لتلبية أهداف إنتاج الهيدروجين الطموحة للدولة وخاصة الهيدروجين الأزرق. وهذا يعني إضطرار الإمارات إلى الإعتماد على شراء الغاز الطبيعي من قطر ودول أخرى لتحقيق هذه الأهداف. وبالتالي، سيتوقف إنتاج الإمارات للهيدروجين الأزرق في المُستقبل على القُدرة على التفاوض لإبرام إتفاقيات توريد غاز قابلة للتنفيذ.

وفي الجوار، تمتلك قطر موارد غاز طبيعي ضخمة وعلاقات دولية قوية وبُنية تحتية مُتطورة، مما يمنحها ميزة تنافسية في إنتاج الهيدروجين الأزرق، تُساعدها على تنويع مصادر الطاقة وتطوير التكنولوجيا وتقليل الإعتماد تدريجيًا على الغاز الطبيعي. وتُعد الدول المُستوردة للطاقة من قطر مثل اليابان وكوريا الجنوبية والبُلدان الأوروبية والتي تتجه نحو مصادر الطاقة النظيفة، أسواقا مُحتملة لصادرات الهيدروجين الأزرق من المصانع القطرية. وتماشيًا مع هذه الرؤية، أطلقت الدوحة أخيراً برنامجًا لتنويع مصادر الطاقة، ووضعت إستراتيجية للهيدروجين الأزرق والأمونيا الزرقاء، لضمان إستقرار الإيرادات والحفاظ على مكانتها كمورد موثوق للطاقة. وسيُساهم هذا النهج في تحقيق النمو الإقتصادي المُستدام، وتعزيز مكانة قطر في أسواق الطاقة العالمية المُستقبلية.

وفي هذا الإطار، بدأت شركة قطر للطاقة في نوفمبر ٢٠٢٤ ببناء أكبر مصنع للأمونيا الزرقاء في العالم، بتكلفة تُقدر بحوالي ١,٢ مليار دولار أمريكي. وسيبلغ إنتاج المصنع حوالي ١,٢ مليون طن سنويًا، بالإضافة إلى وحدة إحتجاز الكربون وتخزينه بقُدرة ١,٥ مليون طن.

> **تمتلك قطر موارد غاز طبيعي ضخمة وعلاقات دولية قوية وبُنية تحتية مُتطورة مما يمنحها ميزة تنافسية في إنتاج الهيدروجين الأزرق**

## مُستقبل واعد للهيدروجين الأزرق في الخليج

يبرز تطوير أنظمة «إحتجاز الكربون وتخزينه» وأنظمة «إحتجاز الكربون وإستخدامه وتخزينه» كضرورة ملحة عند إنتاج الهيدروجين من الوقود الأحفوري بهدف خفض إنبعاثات الغازات الدفيئة. وتُساهم منطقة الخليج حاليًا بحوالي ١٠٪ من القُدرة العالمية لإحتجاز الكربون وإستخدامه وتخزينه، ويتضح ذلك من خلال مواقع التخزين التجارية واسعة النطاق في الإمارات والسعودية وقطر. وبفضل وفرة موارد إحتجاز الكربون وإستخدامه وتخزينه وإمكانية الحصول على الغاز الطبيعي بتكلفة مُنخفضة، تظل منطقة الخليج في موقع مثالي لتتبوأ مكانة رائدة في سوق الهيدروجين الأزرق.

ومن الواضح أن منطقة الخليج تتمتع بالعديد من الفُرص والإمكانات المُهمة في إستراتيجية دولها لإنتاج الهيدروجين، والتي تشمل ما يلي:

- الموارد الوفيرة: تمتلك منطقة الخليج موارد وفيرة من الغاز الطبيعي، سواء التقليدية منها وغير التقليدية، لإنتاج الهيدروجين الأزرق.

- التنويع: سيُمكّن الهيدروجين دول الخليج من توسيع نطاق مصادر الطاقة لديها وتقليل إعتمادها على صادرات النفط والغاز.

- تغير المناخ: نظرًا لكون الهيدروجين شكل من أشكال الطاقة مُنخفضة الكربون، فإنه قد يُساهم في مساعدة الدول على تحقيق أهدافها المناخية المُحددة في إتفاقية باريس للمناخ المُوقعة في ديسمبر ٢٠١٥.

- الطلب على الطاقة: من المُتوقع أن تشهد منطقة الخليج تصاعدًا ملحوظًا في الطلب على الطاقة خلال الفترة المُقبلة، حيث سيُسهم دمج الهيدروجين في مزيج مصادر الطاقة بدول المنطقة في تلبية الإحتياجات المُتزايدة بشكل أكثر فعالية مع تقليل الإعتماد على الوقود الأحفوري.

- الشراكات: تحتاج دول الخليج إلى مُساعدة خارجية لمتابعة إستراتيجيات الهيدروجين الخاصة بها وتطوير البنية التحتية اللازمة. لذلك، ستعكف هذه الدول على تطوير شراكات دولية مُهتمة لجلب التكنولوجيا والإستثمارات والخُبرات.

- إمكانات التصدير: تُتيح البنية التحتية القائمة لقطاع الطاقة والموقع الجغرافي الإستراتيجي لدول الخليج إمكانية التحّول إلى مصادر رئيسية لإنتاج الهيدروجين، مما يُساهم في تنويع مصادر الطاقة وتقليل الإعتماد على صادرات وإيرادات الغاز والنفط.

- إحتجاز الكربون وإستخدامه: تمضي دول الخليج في طريقها لتصبح رائدة في تكنولوجيا إحتجاز الكربون وإستخدامه. ويُمكن ايضاً إستخدام الإنبعاثات الصناعية لتوليد هيدروجين مُنخفض الكربون. وعلى العموم، تُقّدم إستراتيجيات الهيدروجين داخل المنطقة

> **تُتيح البنية التحتية القائمة لقطاع الطاقة والموقع الجغرافي الاستراتيجي لدول الخليج إمكانية التحول إلى مصادر رئيسية لإنتاج الهيدروجين**

فُرصًا كبيرةً لها للتحّول نحو مصادر مُتنوعة ومُختلطة للطاقة وإمدادات أكثر إستدامة. في الوقت نفسه، يُمكن لهذه الدول كبح عملية تغّير المناخ في بلادهم وتقليل بصماتها الكربونية.

## ولكن تبقى مواجهة التحدّيات ضرورية

رغم ما تتمتع به المنطقة من مزايا في إنتاج الهيدروجين، فإنها تواجه تحدّيات عدة، أبرزها إرتفاع التكاليف الرأسمالية والتشغيلية وتكاليف الصيانة، إلى جانب مُضاعفة نفقات الإنتاج الأولية لضمان النقل الفعال إلى الأسواق المُربحة. ورغم الآمال الكبيرة المُعلقة على نقل الهيدروجين، فإنه يواجه عقبات تقنية وبنية تحتية وإقتصادية يلزم مُعالجتها قبل إعتماده على نطاق واسع.

وإضافة إلى ذلك، ونظرًا لتركيز المُناقشات غالبًا على التكاليف والعقبات الفنية، فإن الأسئلة الحاسمة المُتعلقة بإمدادات المياه العزبة كمادة خام في إنتاج الهيدروجين غالبًا ما يتم تجاهُلها. ويؤكد الخبراء الفنيون على أهمية الماء العذب في عملية إنتاج الهيدروجين، حيث يتطلب إنتاج كيلو غرام واحد فقط من الهيدروجين الأزرق ما بين ١٢ و١٩ لترًا من الماء. وهذا الأمر يُمثل حرجاً خاصة لدول الخليج القاحلة والتي تسعى لتُصبح مراكز رئيسية للهيدروجين، مثل السعودية وقطر والإمارات.

وعند التطرق إلى قضية توافر المياه، يتبادر إلى الذهن عادةً خيار اللجوء إلى مرافق تحلية مياه البحر. وفي هذا السياق، تتناول إستراتيجية الهيدروجين في الإمارات، والتي تم تطويرها بالتعاون مع معهد فراونهوفر الألماني، تحدّي المياه، حيث تُشير إلى أن تحلية مياه البحر ستكون كافية لتلبية إحتياجات المياه العذبة دون أن يؤدي ذلك إلى زيادة تكاليف إنتاج الهيدروجين. وبالمثل، خلُصت دراستان حديثتان (صادرتان عن مركز الملك عبد اللّه للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك) ومركز الإمارات للسياسات) إلى أن تكاليف تحلية مياه البحر لا تؤثر إلى حد كبير على تكلفة إنتاج الهيدروجين.

ومن جهة أخرى، يتوجب تقديم تسعير تنافسي للهيدروجين في دول الخليج ليتمكن من مُنافسة أنواع الوقود التقليدية الأخرى وتنمية سوقه المحلي في المنطقة وإلا ظّل الطلب على الهيدروجين ومُنتجاته، وخاصة المحلي منه، مُقييداً ومحدودًا.

> **يتوجب تقديم تسعير تنافسي للهيدروجين في دول الخليج ليتمكن من مُنافسة أنواع الوقود التقليدية الأخرى وتنمية سوقه المحلي في المنطقة**

Gulf Research Center
Knowledge for All

مركز الخليج للأبحاث
المعرفة للجميع

**Gulf Research Center Jeddah (Main office)**

19 Rayat Alitihad Street
P.O. Box 2134
Jeddah 21451
Saudi Arabia
Tel: +966 12 6511999
Fax: +966 12 6531375
Email: info@grc.net

**Gulf Research Center Riyadh**

Unit FN11A
King Faisal Foundation
North Tower
King Fahd Branch Rd
Al Olaya Riyadh 12212
Saudi Arabia
Tel: +966 112112567
Email: info@grc.net

**Gulf Research Center Foundation**

Avenue de France 23
1202 Geneva
Switzerland
Tel: +41227162730
Email: info@grc.net

**Gulf Research Centre Cambridge**

University of Cambridge
Sidgwick Avenue,
Cambridge CB3 9DA
United Kingdom
Tel:+44-1223-760758
Fax:+44-1223-335110

**Gulf Research Center Foundation Brussels**

4th Floor
Avenue de
Cortenbergh 89
1000 Brussels
Belgium
grcb@grc.net
+32 2 251 41 64