الهيدروجين الأزرق والأخضر:
تطوّرات محتملة في المنطقة العربية

الأمم المتحدة
الاسكوا
ESCWA

ازدهارُ البلدان كرامةُ الإنسان

الأمم المتحدة
الاسكوا
ESCWA

ازدهارُ البلدان **كرامةُ الإنسان**

رؤيتنا

طاقاتٌ وابتكار، ومنطقتُنا استقرارٌ وعدلٌ وازدهار

رسالتنا

بشغَف وعزْم وعَمَل: نبتكِر، ننتج المعرفة، نقدِّمُ المشورة،
نبني التوافق، نواكب المنطقة العربية على مسار خطة عام 2030.

يداً بيد، نبني غداً مشرقاً لكلِّ إنسان.

E/ESCWA/CL1.CCS/2022/TP.1

اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا

الهيدروجين الأزرق والأخضر:
تطوّرات محتملة
في المنطقة العربية

الأمم المتحدة
بيروت

© 2022 الأمم المتحدة
حقوق الطبع محفوظة

تقتضي إعادة طبع أو تصوير مقتطفات من هذه المطبوعة الإشارة الكاملة إلى المصدر.

توجّه جميع الطلبات المتعلقة بالحقوق والأذون إلى اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا)، البريد الإلكتروني: publications-escwa@un.org.

النتائج والتفسيرات والاستنتاجات الواردة في هذه المطبوعة هي للمؤلفين، ولا تمثل بالضرورة الأمم المتحدة أو موظفيها أو الدول الأعضاء فيها، ولا ترتب أي مسؤولية عليها.

ليس في التسميات المستخدمة في هذه المطبوعة، ولا في طريقة عرض مادتها، ما يتضمن التعبير عن أي رأي كان من جانب الأمم المتحدة بشأن المركز القانوني لأي بلد أو إقليم أو مدينة أو منطقة أو لسلطات أي منها، أو بشأن تعيين حدودها أو تخومها.

الهدف من الروابط الإلكترونية الواردة في هذه المطبوعة تسهيل وصول القارئ إلى المعلومات وهي صحيحة في وقت استخدامها. ولا تتحمل الأمم المتحدة أي مسؤولية عن دقة هذه المعلومات مع مرور الوقت أو عن مضمون أي من المواقع الإلكترونية الخارجية المشار إليها.

جرى تدقيق المراجع حيثما أمكن.

لا يعني ذكر أسماء شركات أو منتجات تجارية أن الأمم المتحدة تدعمها.

المقصود بالدولار دولار الولايات المتحدة الأمريكية ما لم يُذكر غير ذلك.

تتألف رموز وثائق الأمم المتحدة من حروف وأرقام باللغة الإنكليزية، والمقصود بذكر أي من هذه الرموز الإشارة إلى وثيقة من وثائق الأمم المتحدة.

مطبوعات للأمم المتحدة تصدر عن الإسكوا، بيت الأمم المتحدة، ساحة رياض الصلح،

صندوق بريد: 8575-11، بيروت، لبنان.

الموقع الإلكتروني: www.unescwa.org.

مصادر الصور: iStock.com©

شكر وتقدير

أعدَّ هذا التقرير قسم الطاقة في مجموعة تغيّر المناخ واستدامة الموارد الطبيعية في اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا). وقد شارك في إعداده المؤلفان الرئيسيان السيدة راضية سداوي، رئيسة قسم الطاقة، والدكتور مصطفى أوكي، خبير الطاقة. وقدَم المدخلات والدعم كلٌّ من السيد شون راتكا، مسؤول الشؤون الاقتصادية، والسيد مصطفى أنصاري، مسؤول الشؤون الاقتصادية، والسيدة مايا منصور، مساعدة الشؤون الاقتصادية.

يعتمد هذا التقرير على مدخلات المشاركين في ندوة الإسكوا التي عُقدت عبر شبكة الإنترنت: الهيدروجين الأزرق والأخضر: تطوّرات محتملة في 14 كانون الأول/ديسمبر 2021. وكان من بين المشاركين فيها السيد خوسيه م. برموديز، محلّل تكنولوجيا الطاقة في وكالة الطاقة الدولية؛ والسيد هـ. إيمانويل الطيبي، رئيس استراتيجيات تحويل قطاع الطاقة في الوكالة الدولية للطاقة المتجددة؛ والسيد رامي شبانة، باحث مشارك أول في مركز الملك عبدالله للدراسات والبحوث البترولية (كابسارك)؛ والسيد سهيل شاتيلا، أخصائي أول في مجال الطاقة الاستراتيجية في الشركة العربية للاستثمارات البترولية (أبيكورب)؛ والسيد خليل الحنشي، مسؤول تكنولوجيا الطاقة في شركة تنمية نفط عُمان (PDO).

المحتويات

مقدمة 7

السياق 9

الغرض والمحتويات 10

1

1. إنتاج الهيدروجين ونقله وتخزينه 11

ألف. الإنتاج 13

باء. فئات الهيدروجين 14

جيم. النقل والتخزين 14

دال. الجوانب ذات الصلة في المنطقة العربية 15

2

2. استخدامات الهيدروجين الحالية والمحتملة 17

ألف. الهيكل الحالي لاستخدامات الهيدروجين 19

باء. صناعات الهيدروكربون والبتروكيماويات 19

جيم. صناعة الفولاذ 20

دال. وسائل النقل 20

هاء. القطاعات المحتملة لاستخدام الهيدروجين سواء الأزرق أو الأخضر 21

3

3. الهيدروجين والترابط مع أهداف التنمية المستدامة 23

ألف. أوجه الترابط ين أهداف التنمية المستدامة 24

باء. الهيدروجين المنخفض الكربون والمساهمات المحددة وطنياً 26

4

4. إمكانات الطاقة المتجددة وغير المتجددة في المنطقة العربية 27

ألف. لمحة عامة 29

باء. إمكانات الطاقة المتجددة 29

جيم. ثروات الغاز الطبيعي 32

5

5. الهيدروجين: التطورات الحالية والمخطط لها في المنطقة العربية 35

ألف. تغيّر المشهد 37

باء. تطورات تأثير الهيدروجين المنخفض الكربون 37

جيم. صادرات الهيدروجين المخطط لها 44

6
6. التحديات والفرص 47
ألف. الحواجز التقنية والتجارية 49
باء. الاقتصادات المتطورة 50
جيم. القيود أمام التمويل 54
دال. الأطر القانونية والتنظيمية 56
هاء. الفرص المتاحة للبلدان العربية 57

7
النتائج والتوصيات 59
ألف. الخلاصات 61
باء. التوصيات 62

المراجع 64

الحواشي 69

قائمة الأشكال

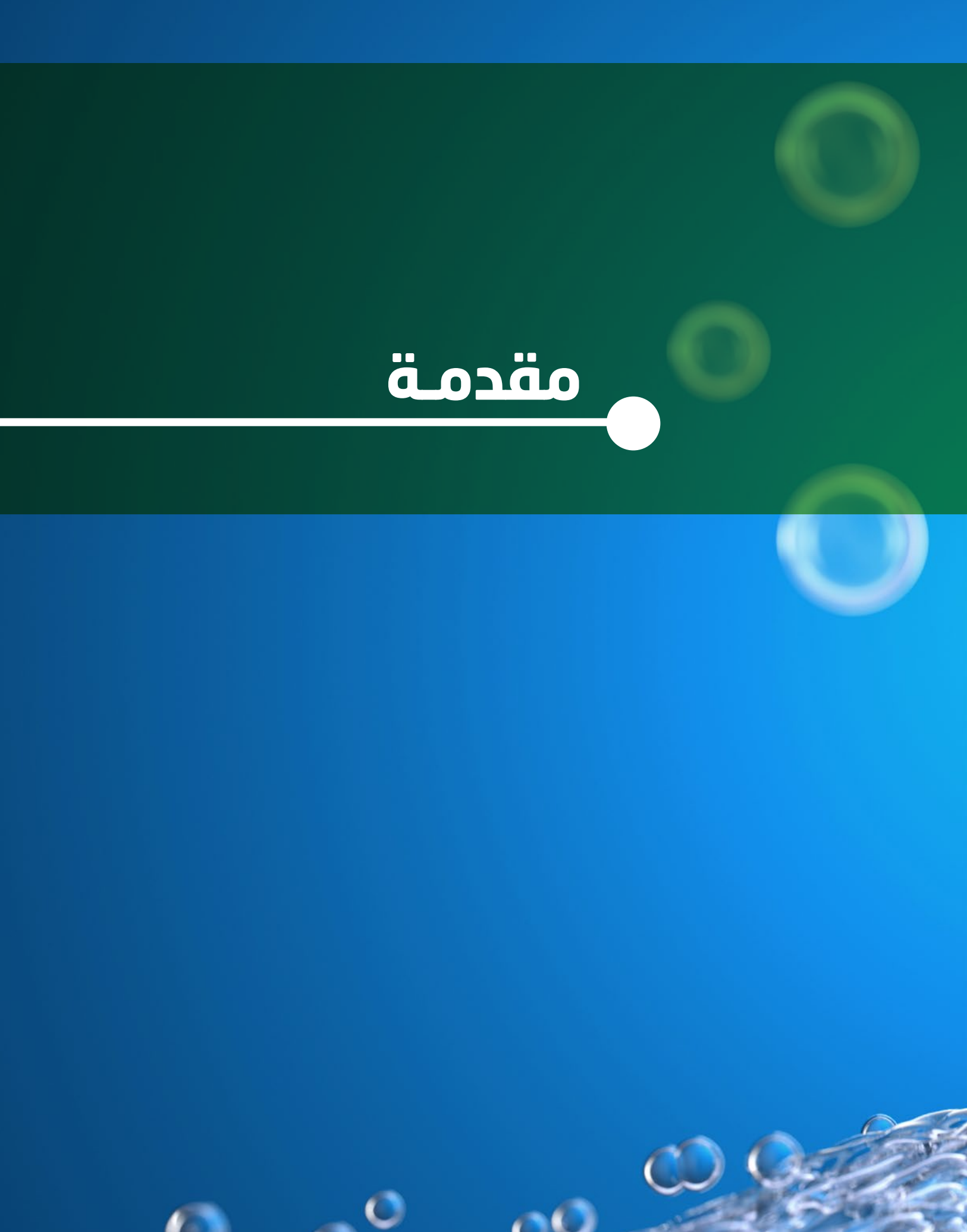
الشكل 1. حصص الاستخدامات الرئيسية العالمية من الهيدروجين بحسب القطاع - 2020 19
الشكل 2. المنطقة العربية: قدرة الطاقة المتجددة المركبة - 2020 (ميغاواط) 30
الشكل 3. المنطقة العربية: احتياطيات الغاز الطبيعي الرئيسية المثبتة (مليار متر مكعب) 33
الشكل 4. المنطقة العربية - إنتاج الغاز الطبيعي واستهلاكه 2020 (مليار متر مكعب) 34
الشكل 5. تكاليف إنتاج الهيدروجين الإرشادية: 2019 (دولار أمريكي/كلغ) 51
الشكل 6. تكاليف إنتاج الهيدروجين الإرشادية: 2025-2030 (دولار أمريكي/كلغ) 51
الشكل 7. التكاليف التقديرية لإنتاج الهيدروجين الأزرق - 2018 (دولار أمريكي/كلغ) 52
الشكل 8. القدرة المخطط لها للتحليل الكهربائي بحلول عام 2030 (جيغاواط) 52
الشكل 9. قدرة المحلل الكهربائي المخطط لها في شمال أفريقيا وفقاً لخارطة طريق أوروبا (ميغاواط) 54

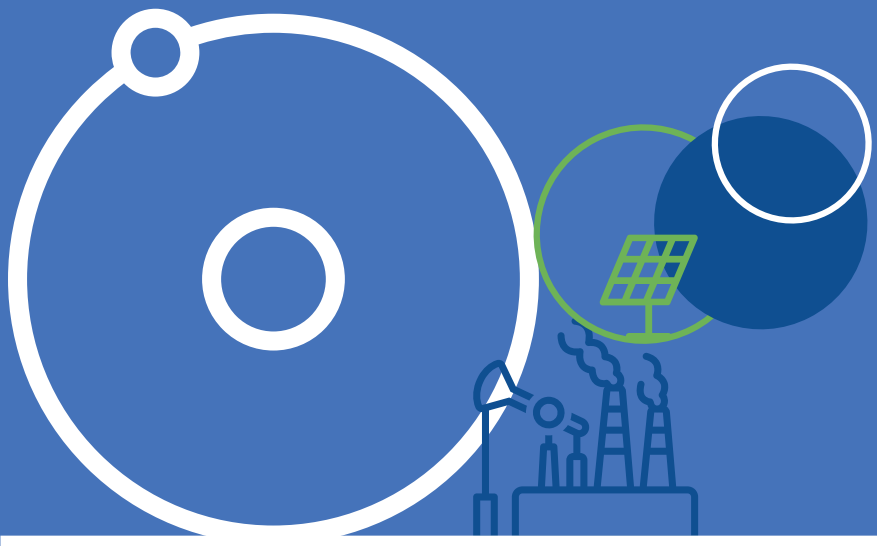
قائمة الجداول

الجدول 1. الجوانب ذات الصلة بحسب فئة البلد في المنطقة العربية 16
الجدول 2. الهيدروجين المنخفض الكربون وترابطه بأهداف التنمية المستدامة 25
الجدول3. المنطقة العربية: القدرة المستهدفة في إنتاج الطاقة المتجددة في المستقبل وحصة مزيج استهلاك الطاقة 31

H2

مقدمة





الرسائل الرئيسية

يعتمد اقتصاد المنطقة العربية اعتماداً شديداً على الوقود الأحفوري كمصدر **للطاقة والمواد الخام**، وفرص العمل وعائدات التصدير.

يشكّل تنويع مزيج استهلاك الطاقة جانباً رئيسياً من جوانب الانتقال في مجال الطاقة. وإلى جانب التعجيل في استيعاب الطاقة المتجددة وكهربة القطاعات ذات الصلة، ينبغي استكشاف شركات نقل الطاقة البديلة، بما فيها مشتقات الهيدروجين وبدائل الهيدروجين، من أجل ضمان انتقال عادل ومستدام للطاقة.

يؤدي تطوير الهيدروجين المنخفض الكربون، سواء الأزرق أم الأخضر، في المنطقة العربية، دوراً مهماً كونه جزءاً من مجموعة أدوات حلول الطاقة النظيفة، وسيستفيد من موارد الغاز الطبيعي في المنطقة وإمكانات الطاقة المتجددة الموسّعة.

يمكن أن يُساهم تطوير الهيدروجين المنخفض الكربون في تغيير مزيج استهلاك الطاقة في المنطقة العربية مع تنويع عائدات التصدير وخفض الانبعاثات المرتبطة بالطاقة بما يتماشى مع خطة التنمية المستدامة لعام 2030.

السياق

في إطار خطة الأمم المتحدة للتنمية المستدامة لعام 2030 واتفاق باريس بشأن تغيّر المناخ، تعمل الدول العربية على وضع برامج تنفيذ لتحقيق انتقال عادل يتماشى وأهداف التنمية المستدامة، بما في ذلك الهدف 7 المتمثل في ضمان الحصول على "ضمان حصول الجميع بتكلفة ميسورة على خدمات الطاقة الحديثة الموثوقة والمستدامة" والهدف 13 الذي يتوخى "اتخاذ إجراءات عاجلة للتصدي لتغيّر المناخ وآثاره".

يشكّل تنويع مزيج استهلاك الطاقة جانباً رئيسياً من جوانب الانتقال في مجال الطاقة. وبالإضافة إلى التعجيل في استيعاب الطاقة المتجددة وكهربة القطاعات ذات الصلة، ينبغي استكشاف شركات نقل الطاقة البديلة، بما فيها مشتقات الهيدروجين من أجل ضمان انتقال عادل ومستدام للطاقة. ومن أجل بلوغ أهدافنا المحددة والسعي الى ضمان عدم إهمال أحد، يجب أن ندعم الدول والمجتمعات المحلية للتكيّف مع الاقتصاد الأخضر من خلال الحماية الاجتماعية والمهارات الجديدة، وضمان استعداد كل من يحتاج إلى ذلك للاستفادة من 30 مليون وظيفة خضراء جديدة يتوقع توفيرها بحلول عام 2030. وعلى المدى الطويل، يمكن أن يضمن الانتقال إلى اقتصاد الهيدروجين ألاّ تعتمد دول المنطقة العربية اعتماداً مفرطاً على عدد قليل من مصادر الطاقة المختارة، وأن تكون بالتالي أقلّ عرضةً للصدمات في مجال الإمداد وأكثر مرونةً.

أمّا على الصعيد العالمي، فإنّ عدد الدول والمؤسسات والشركات التي سبق أن أدخلت أو ستُدرج قريباً أهدافاً لخفض انبعاثات غازات الدفيئة من أجل تحقيق الحياد الكربوني بحلول عام 2050 هو في تزايد سريع. ويعتمد اقتصاد المنطقة العربية اعتماداً شديداً على الوقود الأحفوري كمصدر للطاقة والمواد الخام، وفرص العمل وعائدات التصدير. وقد أدى ذلك إلى زيادة غير مستدامة في انبعاثات الغازات الدفيئة في المنطقة العربية، حيث صُنِّفت بعض الدول العربية من بين أعلى الدول المصْدِرة لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون للفرد الواحد[1]. ولا تترتّب على هذه الحالة آثار مباشرة وسلبية على المناخ فحسب، بل تؤثر

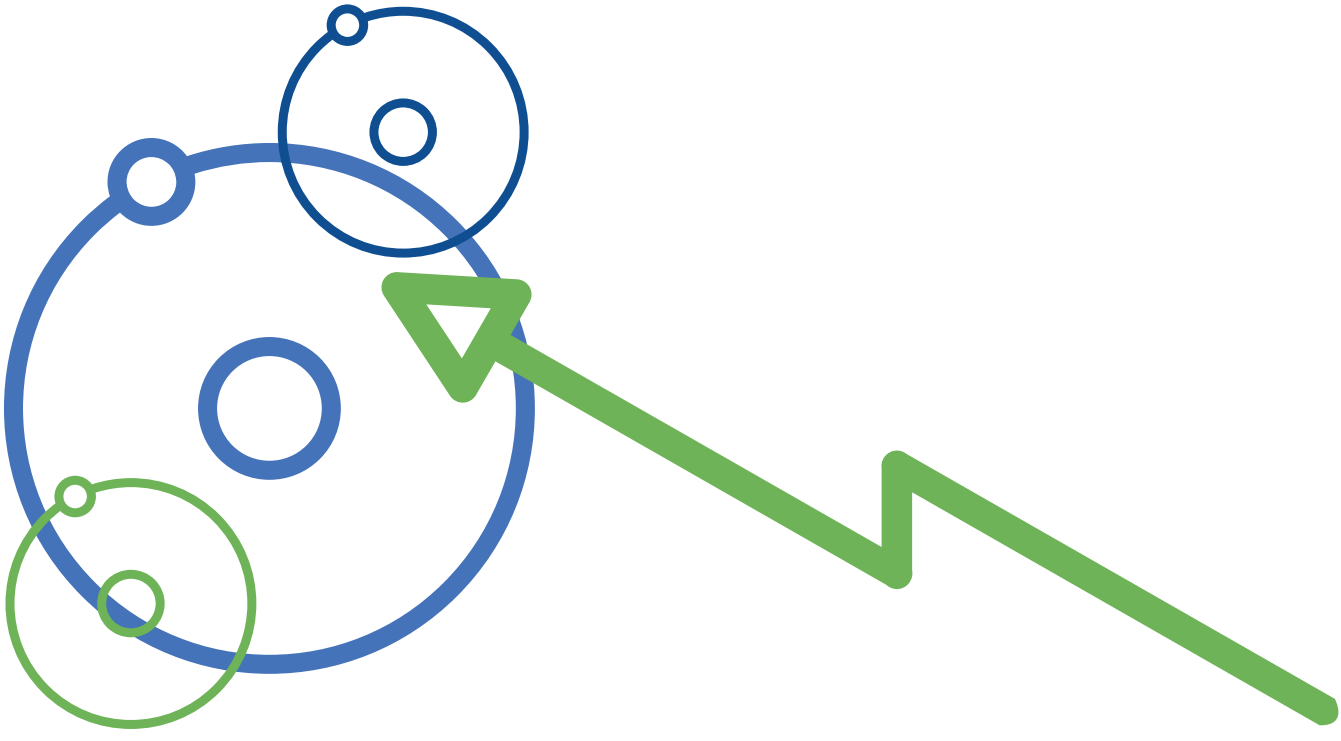
أيضاً تأثيراً خطيراً على اقتصاد المنطقة.

لذا لا بدّ للمنطقة من التّصدي لضعفها البيئي والاقتصادي لأنّ الوضع سيتفاقم ما لم تُتّخذ إجراءات سريعة لنقل الطاقة. وتشمل هذه التدابير مجموعة من الحلول والتدابير المستدامة للطاقة، مثل زيادة استخدام مصادر الطاقة المتجددة وتنفيذ تدابير فعّالة لكفاءة استخدام الطاقة من أجل بلوغ الهدف الحاسم المتمثل في الحياد الكربوني.

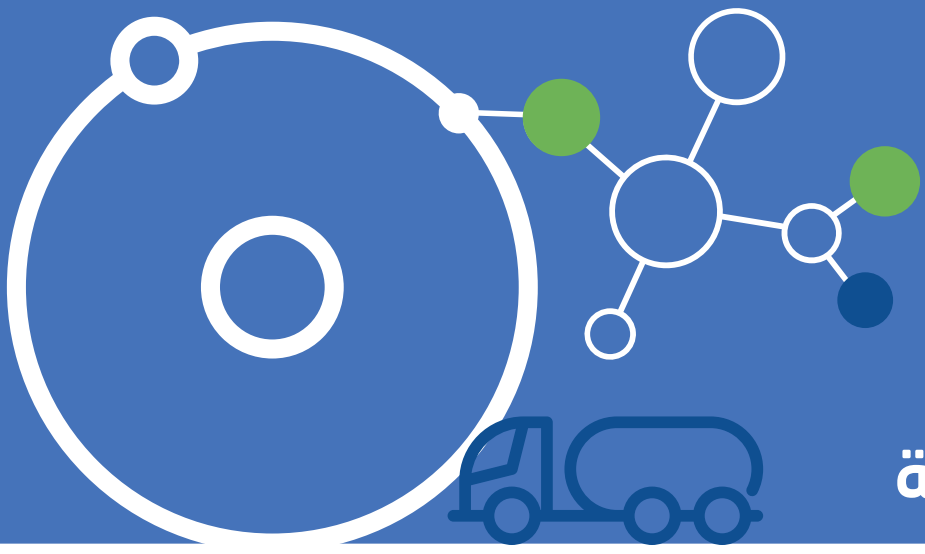
يمكن أن يؤدّي تطوير وإدخال الهيدروجين المنخفض الكربون، سواء الأزرق أم الأخضر، في المنطقة العربية، دوراً مهماً كجزء من مجموعة أدوات حلول الطاقة النظيفة، وأن يستفيد من موارد الغاز الطبيعي في المنطقة وإمكانات الطاقة المتجددة الموسعة[2]. وقد سبق أن باشرت بعض الدول العربية ببذل جهود بهدف تطوير القدرات الإنتاجية للهيدروجين الأزرق والأخضر، غير أنها لا تزال في مرحلة مبكرة وتقتصر على عدد قليل من الدول.

الغرض والمحتويات

يركّز هذا التقرير على التّطورات الحالية والمخطط لها في مجال الهيدروجين في المنطقة العربية، ويستكشف التحديات والفرص الرئيسية لإنتاج الهيدروجين واستخدامه لدعم انتقال الطاقة في المنطقة في سياق خطة التنمية المستدامة لعام 2030. كما يتناول القرارات التي اتّخذتها عدة دول مؤخراً لإدخال أهداف انبعاثات غازات الدفيئة الصافية الصفرية بحلول عام 2050. كما يناقش الآثار المترتبة على الإنتاج المستدام للهيدروجين.



1 إنتاج الهيدروجين ونقله وتخزينه



الرسائل الرئيسية

75%

يأتي 75 في المائة من جميع الهيدروجين النقي المنتج على الصعيد العالمي من الغاز الطبيعي باستخدام تنقية إصلاح الميثان بالبخار.

CO_2

تتشكّل الغالبية العظمى من إنتاج الهيدروجين اليوم من الهيدروجين الرمادي غير المستدام.

ينبغي احتجاز الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه بغية تحويل الهيدروجين الرمادي إلى هيدروجين أزرق أكثر استدامة.

يسمى الهيدروجين المنتج من خلال التحليل الكهربائي بالكهرباء التي يتم توفيرها بالكامل من مصادر الطاقة المتجددة "الهيدروجين الأخضر" ويعتبر عامة الخيار الأكثر ملاءمة على المدى الطويل في مجال تدابير إزالة الكربون.

1%

يشكّل الهيدروجين الأخضر المتجدد أقل بكثير من 1 في المائة من الإنتاج العالمي من الهيدروجين النقي، وهو أثمن بمرتين إلى ثلاث مرات من الهيدروجين الأزرق.

85%

يُستهلك نحو 85 في المائة من الهيدروجين المنتج في الأماكن التي ينتج فيها أو في أماكن قريبة من موقع إنتاجه. وقد يتغير هذا الواقع في المستقبل حيث تشكّل الصادرات والنقل المنخفض التكلفة والمسافات الطويلة في اقتصاد الهيدروجين العالمي عنصرين أساسيين.

ألف. الإنتاج

حُدِّدَت مواقع مختلفة برية وبحرية للهيدروجين في شكله الطبيعي. فالهيدروجين الطبيعي لا يُنتج حالياً سوى في موقع واحد، في حوض بوراكيبوغو في مالي، غرب أفريقيا، حيث تدير شركة هيدروما الكندية مشروعاً تجريبياً[4,3]. وكمية الهيدروجين المستهلكة عالمياً تُنتج حالياً باستخدام عمليات تكنولوجية.

وعلى مدى العقود القليلة الماضية، كانت دول عديدة تنتج الهيدروجين في مرافق تقع أساساً بالقرب من مناطق الاستهلاك. ويُنتج الهيدروجين في معظم الأحيان باستخدام الغاز الطبيعي كمصدر رئيسي وهو يُستخدم في المقام الأول في تكرير النفط وإنتاج الأمونيا. وبالإضافة إلى تكنولوجيات إنتاج الهيدروجين المخصّصة لإنتاج الهيدروجين النقي، يمكن كذلك الحصول على الهيدروجين كمنتج ثانوي باعتماد عمليات أخرى، إلى جانب غازات أخرى.

في عام 2020، بلغ الإنتاج العالمي 90 مليون طن من الهيدروجين[5]. وكان نحو 80 في المائة من هذا المجموع من الهيدروجين النقي مصنّعاً من نباتات هيدروجين مخصّصة، وما يزيد على نحو 20 في المائة من الهيدروجين الممزوج بغازات أخرى[6]. ويمكن إنتاج الهيدروجين النقي بطرق مختلفة ثلاث منها مدرجة أدناه[7]:

- إصلاح الهيدروكربونات.
- تغويز الفحم والكتلة الحيوية.
- التحليل الكهربائي.

يشكّل إصلاح الميثان بالبخار حالياً التكنولوجيا المهيمنة لإنتاج الهيدروجين. وهو يستخدم الغاز الطبيعي (الميثان) كمصدر أساسي مع البخار في إنتاج الهيدروجين. ففي عام 2018، شكّلت تكنولوجيا الإصلاح القائمة على الغاز الطبيعي أكثر من 75 في المائة من مجموع الهيدروجين النقي المنتج عالمياً.

كذلك يمكن إنتاج الهيدروجين عن طريق التغويز، باستخدام الفحم أو الكتلة الحيوية كمصادر رئيسية. فتغويز الفحم هي التكنولوجيا التي برزت في القرن التاسع عشر في أوروبا، ولا تزال تحظى بشعبية خاصة في البلدان المنتجة للفحم مثل الصين وجنوب أفريقيا. ويمكن أيضاً استخدام الكتلة الحيوية لإنتاج الهيدروجين من خلال عملية التغويز.

90
مليون طن

بلغ الإنتاج العالمي من الهيدروجين في عام 2020

ويختلف التحليل الكهربائي عن الفئتين المذكورتين أعلاه اللتين تعتمدان على الوقود الأحفوري كمصدر أولي (باستثناء تغويز الكتلة الحيوية). بالمقابل، يستخدم التحليل الكهربائي الكهرباء لتقسيم المياه إلى هيدروجين وأوكسجين، حيث تأتي الكهرباء من الوقود الأحفوري أو المصادر المتجددة. وهذا عامل مهم في نوع الهيدروجين المنتج، كما هو موضح أدناه. واليوم، يشكّل التحليل الكهربائي باستخدام مصادر الطاقة المتجددة أقل بكثير من 1 في المائة من الإنتاج العالمي من الهيدروجين النقي.

في ما يلي تقنيات التحليل الكهربائي الرئيسية الثلاث:

- **التحليل الكهربائي للمياه القلوية (AWE).**
- **التحليل الكهربائي بغشاء التبادل البروتوني (PEM).**
- **خلية التحليل الكهربائي للأكسيد الصلب (SOEC).**

باء. فئات الهيدروجين

باستثناء تغويز الكتلة الحيوية، تستخدم تكنولوجيات الإصلاح والتغويز الوقود الأحفوري كمصدر رئيسي لإنتاج الهيدروجين. وبالتالي، تولّد هذه العمليات ثاني أكسيد الكربون الذي يطلق في الغلاف الجوي. ويسمّى الهيدروجين المنتج من خلال هذه التقنيات "الهيدروجين الرمادي"، أو "الهيدروجين البني"، أو "الهيدروجين الأسود". وفي عام 2020، أدّى الإنتاج المخصّص للهيدروجين إلى انبعاث إجمالي بلغ حوالي 900 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون[8].

يمكن أن تقترن بعض التقنيات المذكورة أعلاه، وخاصة تقنية إصلاح الميثان بالبخار، بمرَافق التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه التي تلتقط ثاني أكسيد الكربون وتخزّنه أو تَستخدمه وتُخزِّنه. وفي هذه الحالة، يُسمَّى الهيدروجين المنتج "الهيدروجين الأزرق". ويُصنَّف الهيدروجين المنتج باستخدام تكنولوجيا الانحلال الحراري للميثان على أنه "هيدروجين فيروزي".

ويسمّى الهيدروجين المنتج من خلال التحليل الكهربائي بالكهرباء التي يتم توفيرها بالكامل من مصادر الطاقة المتجددة "الهيدروجين الأخضر" ويعتبر الخيار الأكثر ملاءمة لتدابير إزالة الكربون على المدى الطويل. لكن ما زالت دونه تحديات بسبب ارتفاع تكاليف الإنتاج، كما سيرد لاحقاً في هذا التقرير.

أخيراً، ما من تصنيف متفق عليه دولياً لفئة ألوان الهيدروجين الذي تنتجه مختلف التكنولوجيات والمصادر الأولية. وقد استخدمت ألوان أخرى لوصف الهيدروجين المنتج، على سبيل المثال، بمصدر نووي للطاقة؛ الفحم أو الليغنيت؛ أو كمنتج ثانوي للعمليات الصناعية. ومع ذلك، تُستخدم فئتا الأزرق والأخضر على نطاق واسع للإشارة إلى الهيدروجين المُنتج من الوقود الأحفوري (الغاز الطبيعي بشكل أساسي) مع التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه والهيدروجين المنتج باستخدام مصادر الطاقة المتجددة.

جيم. النقل والتخزين

يُستهلك نحو 85 في المائة من الهيدروجين المنتج في الأماكن التي ينتج فيها أو في أماكن قريبة من موقع إنتاجه. وتنقل الشاحنات أو خطوط الأنابيب النسبة المتبقية البالغة 15 في المائة[9]. وعلى مدى السنوات العشر أو الخمس عشرة المقبلة، يمكن أن يتغير هذا الواقع مع تداول الهيدروجين وشحنه عبر المناطق والبلدان.

ويعتمد أسلوب نقل الهيدروجين على تكاليف النقل التي ستتأثّر بحجمه، وتكلفة إنتاجه، ومسافة النقل، والحدود الجغرافية الفاصلة، والقوانين والأنظمة المرعية الإجراء.

أمّا الخيارات المتاحة لنقل الهيدروجين فهي متنوعة كما يلي:

- مزج الهيدروجين بالغاز الطبيعي داخل خطوط أنابيب نقل الغاز، أو عبر خطوط أنابيب الهيدروجين المخصّصة[10].
- شحن الهيدروجين السائل كهيدروجين نقي.
- الشحن على شكل الأمونيا.
- الشحن في ناقلات الهيدروجين العضوية السائلة (LOHCs).

تمثّل خطوط الأنابيب الوسيلة الأرخص لنقل الهيدروجين عبر المسافات المتوسطة والطويلة (بين 1,000 و4,000 كيلومتر). أمّا الشحنات الكبيرة من الهيدروجين التي ستنقل عبر مسافات طويلة بين البلدان، فيُستحسن تحويلها إلى الأمونيا أو إلى أشكال عضوية سائلة[11]. ولكنّ تكاليف التحويل إلى أشكال سائلة ومن ثمّ العودة إلى الغاز فتزيد من التكاليف الإجمالية، وتضرّ بكفاءة استخدام الطاقة. وتتوقّف القدرة التنافسية لتكلفة وسيلة النقل، كما هو مبين أعلاه، على تكلفة إنتاج الهيدروجين، إنّما أيضاً على الاستخدام النهائي للهيدروجين، النقي أم الأمونيا. وتشكّل اعتبارات السلامة محرِّكاً رئيسياً آخر في اختيار وسائل النقل المناسبة.

وإلى جانب النقل عبر خطوط الأنابيب، يمكن أن توزّع الشاحنات (أو القطارات وفقاً للطرق التي تسلكها) كميات صغيرة من الهيدروجين على مسافات قصيرة نسبياً، حيث يُخزَّن الهيدروجين في أشكال غازية سائلة أو مضغوطة أو كأمونيا.

ويعتمد تخزين الهيدروجين أساساً على الكميات التي سيتم تخزينها؛ وعلى مدة التخزين؛ والتحركات داخل التخزين وخارجه كما على الظروف الجيولوجية. أما الأحجام الصغيرة من الهيدروجين التي ستُخزّن لفترات قصيرة، فيبقى الخيار الأفضل عادةً تخزينها في خزانات مضغوطة.

أما الكميات الكبيرة التي ستُخزّن لفترات أطول، فالأفضل تخزينها داخل تكوينات جيولوجية، ومنها كهوف الملح وخزانات الهيدروكربون المنضبة، أمّا خزانات النفط والغاز فيمكن أن تكون مصدراً للتلوث وهذا يحدُّ من استخدامها أو يحظّره. كذلك اعتُبرت طبقات المياه الجوفية خياراً محتملاً للتخزين، لكن التأكّد من مدى ملاءمتها ما زال ضرورياً لأنّها لم تُستخدم بعد لتخزين الهيدروجين النقي. في الواقع، لم تثبت بعد الجدوى التجارية من تخزين الهيدروجين في أيٍّ من خزانات الهيدروكربون المنضبة أم مستودعات المياه الجوفية[12].

دال. الجوانب ذات الصلة في المنطقة العربية

يختلف إنتاج الهيدروجين ونقله وتخزينه من بلد إلى آخر من حيث التكنولوجيات والمصادر الأولية المستخدمة في إنتاجه. فالدول العربية تتّبع مسارات مختلفة لإدخال الهيدروجين في اقتصاداتها، حيث أنّ اختيار التكنولوجيا يتعلق بعوامل ترتبط أو لا ترتبط بالتكلفة. ومع تزايد المخاوف بشأن تحقيق أهدافنا المناخية بحلول منتصف القرن ومقاصد الهدف 7 بحلول عام 2030، لا سيّما في قطاع النقل حيث لا تزال المنطقة العربية الأكثر اعتماداً على استخدام الطاقة بين جميع المناطق، سيتأثر اختيار التكنولوجيا بشكل كبير بهذه المحرّكات والسياسات والقوانين والأنظمة ذات الصلة.

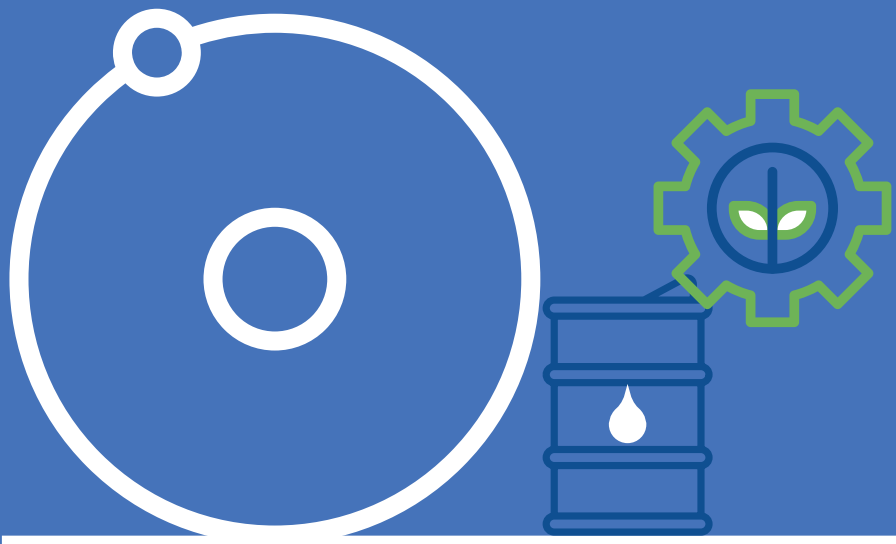
تمتد المنطقة العربية الشاسعة من المحيط الأطلسي إلى المحيط الهندي وهي أبعد ما تكون عن واقع التجانس. فهي تختلف في ما بينها من حيث نُظُمها السياسية والاقتصادية؛ وثرواتها المالية ومواردها الطبيعية؛ وأعداد سكانها؛ وجغرافيتها؛ وظروفها ومناخاتها الجيولوجية. وفي الجدول التالي بعض من الخصائص التي يمكن أن تميّز كلّ بلد في المنطقة العربية في طريقة استخدامه الهيدروجين الأزرق والأخضر ونقله وتخزينه.

تبيّن النقاط المذكورة في الجدول 1، والتي لا تشكل بالضرورة قائمة شاملة بالعوامل المرتبطة بإنتاج الهيدروجين ونقله وتخزينه، أنّ البلدان العربية التي تنتج الهيدروكربون يمكن أن تشكّل الحصة الأكبر من إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون في المنطقة العربية في المستقبل.

الجدول 1. الجوانب ذات الصلة بحسب فئة البلد في المنطقة العربية

البلدان المنتجة للهيدروكربون	البلدان المنتجة للنفط
يمكن استخدام إمدادات الغاز الطبيعي الوفيرة المنخفض التكلفة من بعض البلدان المصدرة للغاز في إنتاج الهيدروجين الأزرق من خلال إصلاح الهيدروكربون بالتقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه (كما هو الحال في قطر). يمكن الاستفادة من النشر السريع والواسع النطاق للقدرة على توليد الطاقة الكهربائية المتجددة بتكاليف متدنية في بعض البلدان بهدف إنتاج الهيدروجين الأخضر وذلك باستخدام التحليل الكهربائي (كما هو الحال في الإمارات العربية المتحدة ومصر والمملكة العربية السعودية).	يمكن أن تستفيد بعض البلدان المستوردة للنفط من قدرتها الحالية والسريعة النمو في مجال الطاقة المتجددة، في إطار التنمية والتخطيط، بغية إنتاج الهيدروجين الأخضر عن طريق استخدام تكنولوجيا التحليل الكهربائي (كما هو الحال في المغرب). وكما هو مبين في العمود المقابل، يمكن أن تستفيد البلدان المنتجة للهيدروكربون من قدرتها على الطاقة المتجددة الآخذة في التوسع في إنتاج الهيدروجين الأخضر. لكن يُرجّح أن تعمل شركات النفط والغاز الوطنية التي تملكها الدول على إنتاج الهيدروجين الأزرق، بينما تنفِّذ مشاريع الهيدروجين الأخضر مرافق تعمل بالشراكة مع شركات محلية في القطاع الخاص و/أو شركات دولية.
يمكن استخدام محطات الهيدروجين والبنية التحتية التابعة لها في مصافي النفط ومواقع الأمونيا في إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون. فالاستفادة من المجمعات الصناعية الموجودة (مثل الجبيل في المملكة العربية السعودية والرويس في الإمارات العربية المتحدة) توفر ميزة كبيرة لإنشاء مراكز أو مجموعات جديدة للهيدروجين.	
يمكن استخدام مرافق التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه في بعض البلدان المنتجة للهيدروكربون.	
يمكن استخدام البنية التحتية لخطوط أنابيب الغاز الطبيعي في البلدان الرئيسية المنتجة للغاز في مشاريع تهدف إلى مزج الهيدروجين المنخفض الكربون وتعديله أو إعادة تنقيته.	
يمكن استخدام خزانات الهيدروكربون المنضبة في التخزين الجوفي لثاني أكسيد الكربون والهيدروجين في بعض البلدان، حسب ملاءمتها وجدواها التجارية. يمكن استخدام ثاني أكسيد الكربون الملتقط في مشاريع الأسلوب المحسَّن لاستخراج النفط.	
يمكن الاستفادة من خبرة مصدري الغاز الطبيعي العربي المسال وغاز البترول المسال في شحن المنتجات المبرّدة ضمن التداول بالهيدروجين المنخفض الكربون والأمونيا عبر مسافات بعيدة.	

2 استخدامات الهيدروجين الحالية والمحتملة



الرسائل الرئيسية

الهيدروجين متعدد الاستعمالات ويمكن استخدامه للمساعدة في التصدي لمختلف تحديات الطاقة الحرجة.

وحيثما أمكن، يمكن أن يكون إنتاج الهيدروجين الأزرق خياراً أسرع للحد من انبعاثات غازات الدفيئة ودعم التوسع الطويل الأجل في القدرة الإنتاجية للهيدروجين الأخضر.

80%

حالياً، يشكّل تكرير النفط وإنتاج الأمونيا أكثر من 80 في المائة من مجموع الهيدروجين المستخدم عالمياً.

في المنطقة العربية، يستخدم الجزء الأكبر من الهيدروجين في تكرير النفط والبتروكيماويات.

1%

ومن المتوقع أن ينمو دور الهيدروجين المنخفض الكربون في صناعة الفولاذ والنقل والوقود القائم على الهيدروجين في المنطقة.

2050

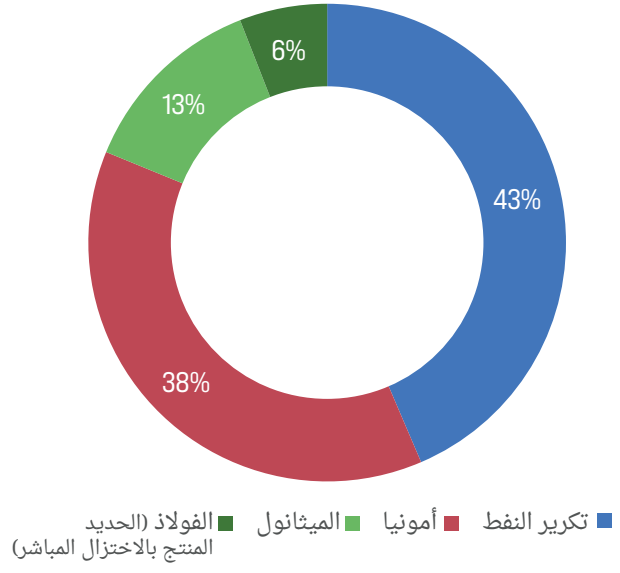
إدخال الهيدروجين المنخفض الكربون في اقتصادات العالم هو جزء رئيسي في محفظة حلول الطاقة المستدامة والإجراءات اللازمة لتحقيق الحياد الكربوني بحلول عام 2050.

ألف. الهيكل الحالي لاستخدامات الهيدروجين

يستخدم الهيدروجين حالياً أساساً في الصناعات الهيدروكربونية والبتروكيميائية (بما فيها إنتاج الأمونيا للأسمدة). كما يستخدم في صناعة الفولاذ، لا سيّما الحديد المنتج بالاختزال المباشر (DRI).

وفي عام 2020، شكّل تكرير النفط وإنتاج الأمونيا ما يزيد عن 80 في المائة من مجموع الهيدروجين المستخدم عالمياً. وهذه الصناعات كانت ولا تزال تتطور في البلدان العربية المنتجة للهيدروكربون.

الشكل 1. حصص الاستخدامات الرئيسية العالمية من الهيدروجين بحسب القطاع - 2020

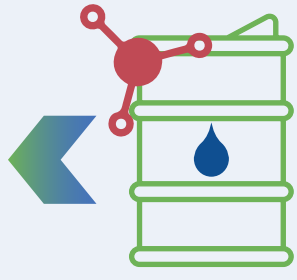


المصدر: IEA, 2021b.

وفي عام 2020، شكّل تكرير النفط وإنتاج الأمونيا ما يزيد عن

80%

من مجموع الهيدروجين المستخدم عالمياً



باء. صناعات الهيدروكربون والبتروكيماويات

لطالما استُخدم الهيدروجين في تكرير النفط. والهيدروجين الذي تستهلكه مصافي النفط يأتي من مصادر مختلفة، منها المرافق المتكاملة الموجودة في موقع المصفاة والهيدروجين الذي تنتجه كمنتج ثانوي شركات التكرير والغاز الصناعي.

في المصافي، يُستخدم الهيدروجين بشكل رئيسي لإزالة الكبريت من المنتجات النفطية في عملية إزالة الكبريت وفي التكسير الهيدروجيني لتشقيق جزيئات الهيدروكربون الكبيرة وإنتاج جزيئات أصغر مثل الديزل أو البنزين[13].

في صناعة البتروكيماويات، يستخدم الهيدروجين لإنتاج الأمونيا للأسمدة النيتروجينية وغيرها من الاستخدامات.

ومن بين التطبيقات الأخرى للهيدروجين في البتروكيماويات استخدامه في تصنيع الغاز التوليفي أو الغاز الطبيعي لإنتاج الميثانول. كما يُستخدم الهيدروجين في إنتاج الغاز التركيبي بالتحويل من غاز إلى سائل (GTL). غير أنّ هذا التطبيق يقتصر فقط على مراكز التحويل من غاز إلى سائل بحيث لا تتواجد في المنطقة العربية إلاّ في دولة قطر.

جيم. صناعة الفولاذ

لا تزال الحصة العالمية من استخدام الهيدروجين في صناعة الفولاذ ضئيلة مقارنة بالاستخدام في صناعات الهيدروكربون والبتروكيماويات، كما هو مبين في الشكل 1. ويُنتج الجزء الأكبر من الفولاذ العالمي باستعمال الأوكسجين القاعدي في أفران الصهر (BF-BOF) واستخدام الفحم كعامل اختزال. وتُنتج هذه العملية الهيدروجين كمنتج ثانوي مع غازات أخرى ويُستهلك الهيدروجين في الموقع أو يباع إلى مستهلكين آخرين. كذلك يُستخدم الهيدروجين كعامل اختزال في الحديد المصنوع بالاختزال المباشر والفرن الكهربائي المقوّس (DRI-EAF)، حيث يُنتج الهيدروجين من وحدات الهيدروجين المخصّصة القائمة على الغاز الطبيعي.

حالياً، يدخل في إنتاج الفولاذ استخدام الوقود الأحفوري، لا سيما الفحم. لذا فإنّ صناعة الفولاذ هي مصدر رئيسي لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتواجه تحديات كبيرة في إزالة الكربون، وخاصة في أوروبا[14]. ومن أجل معالجة هذه المسألة، يتمثل أحد الخيارات في استخدام الهيدروجين الأخضر المنتج من مصادر الطاقة المتجددة بدلاً من الوقود الأحفوري، واستخدام الهيدروجين الأزرق هو بديل آخر تسمح به الأنظمة في المرحلة الانتقالية.

دال. وسائل النقل

يشهد قطاع النقل عالمياً، وهو مستهلك رئيسي للمنتجات المكررة، تغيّراً بنيوياً في نوع وجودة الوقود الذي يحتاجه أو قد يستخدمه للحد من انبعاثات غازات الدفيئة وما تسبّبه من تلوث متزايد في المدن، لا سيّما في الاقتصادات النامية.

ففي عام 2018، شكّل هذا القطاع أقل بكثير من 1 في المائة من مجموع الهيدروجين المستهلك في العالم. أمّا حالياً فتمثّل المركبات الكهربائية التي تعمل بخلايا وقود الهيدروجين الجزء الأكبر من مجموع استخدامات الهيدروجين في قطاع النقل، وأكثر من 50 في المائة من مجموع محطات تزويد الهيدروجين بالوقود تقع في منطقة آسيا والمحيط الهادئ، وخاصّة في اليابان وكوريا. وتشمل المناطق المتوقّع أن تسجّل نمواً مرتفعاً في محطات تغذية الهيدروجين على مدى السنوات العشر المقبلة الصين وأوروبا واليابان والولايات المتحدة الأمريكية. ولكنّ ارتفاع تكلفة الهيدروجين في المركبات المخصّصة للرّكاب ومحدودية قدرتها التنافسية أمام المركبات الكهربائية التي تعمل بواسطة البطارية لا تزال تعرقل تقدّمها. ويمكن أن يحبّذ النقل البري لمسافات طويلة وشاقّة استخدام

الوقود القائم على الهيدروجين. وعلى المدى الطويل، يمكن أن يتيح استخدام الوقود القائم على الهيدروجين في قطاعي الشحن وربما الطيران فرصاً أفضل لوقف استخدام الكربون في قطاعي النقل المذكورين[15].

هاء. القطاعات المحتملة لاستخدام الهيدروجين سواء الأزرق أو الأخضر

باستثناء عدد قليل جداً من مشاريع الهيدروجين الأزرق في منطقة بلدان مجلس التعاون لدول الخليج العربية، يُنتج مجموع الهيدروجين المستهلك في المنطقة العربية من الهيدروجين الرمادي من مصادر الوقود الأحفوري من دون التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه. ويُستخدم الجزء الأكبر من الهيدروجين في المنطقة العربية في تكرير النفط والبتروكيماويات (الأمونيا والميثانول) وصناعة الفولاذ والتحويل من غاز إلى سائل (GTL). وفي إطار الانتقال المستدام في مجال الطاقة وتحقيق أهداف التنمية المستدامة، فإن الحدّ من البصمة الكربونية لهذه القطاعات أو الصناعات هو تحدٍّ ينبغي مواجهته.

ومع ذلك، شهدت السنوات الأخيرة زيادة ملحوظة في قدرة المنطقة العربية على تكرير النفط، لا سيما في بلدان مجلس التعاون لدول الخليج العربية والعراق، حيث يجري إعداد وتطوير حوالى 12 مشروعاً جديداً أو التخطيط له، في حين يواجه فيه قطاع المنتجات النفطية شكوكاً متزايدة سببها الطاقة الفائضة، والدفع العالمي لإزالة الكربون، وجائحة كوفيد -19، التي يمكن أن تكون لها آثار طويلة الأجل. وسوف تستلزم الأنظمة الدولية لتحقيق خفض مستمر في محتوى الكبريت في وقود النقل زيادةً في أحجام الهيدروجين لوحدات إزالة الكبريت، التي يمكن معالجتها باستخدام الهيدروجين الأزرق أو الأخضر. لكنّ هذا الاقتراح دونه تحدّيات لأنّ هذه الأشكال من الهيدروجين المنخفض الكربون هي أكثر تكلفة بكثير من إمدادات الهيدروجين الرمادي المستخدمة حالياً.

تستخدم المصانع الكيميائية الكبيرة القائمة على الغاز، مثل مصانع الأمونيا والميثانول، التي تقع أساساً في البلدان

المنتجة للغاز (مثل الإمارات العربية المتحدة والجزائر ومصر والمملكة العربية السعودية)، الهيدروجين حصراً من بين مصادر الهيدروجين الرمادي. وتشكّل البصمة الكربونية في إنتاج الهيدروجين حاجزاً محتملاً أمام التجارة الدولية في الأمونيا والميثانول، لا سيّما بالنسبة إلى الصادرات إلى أوروبا وبعضٍ من أجزاء آسيا. لذا ينبغي النظر في مسارات تطوير الهيدروجين الأزرق و/أو الأخضر لهذه الصناعات.

تَستخدم جميع مصانع الصلب في المنطقة العربية الوقود الأحفوري وتنتج الهيدروجين الرمادي، باستثناء بلد واحد. فالإمارات العربية المتحدة تنتج الهيدروجين المستخدم في مصنع الإمارات العربية المتحدة للصلب ذي الفرن الكهربائي المقوّس من الغاز الطبيعي. مع ذلك يُصنَّف بالهيدروجين الأزرق لأنّ ثاني أكسيد الكربون يُنتج بواسطة احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه في منشأة الريادة التابعة لشركة بترول أبو ظبي الوطنية ثمّ يُنقل إلى آبار النفط حيث يُستخدم في عملية الأسلوب المحسَّن لاستخراج النفط (EOR)[16].

تعمل مصانع فولاذ عديدة في البلدان العربية المنتجة للهيدروكربون بتقنية الحديد المصنوع بالاختزال المباشر (DRI)، فتستفيد من توافر إمدادات الغاز الطبيعي المنخفض التكلفة في إنتاج الهيدروجين، وجميعها ينتج الهيدروجين الرمادي باستثناء دولة الإمارات العربية المتحدة. لذا فإنّ إنتاج الهيدروجين الأخضر أو الأزرق الذي يستهدف صناعة الفولاذ في المنطقة العربية مرشّح محتمل آخر للحد من بصمة انبعاثات الكربون. لكنّ هذا يتوقف على عدد من العوامل الرئيسية، بما فيها الأهداف الاستراتيجية للسياسات العامة للبلدان؛ وتوافر مصادر إضافية متجددة للكهرباء المنخفض التكلفة؛ والتعديلات العملية المطلوبة المحتملة[17]؛ والقدرة التنافسية الإجمالية من حيث التكلفة للفولاذ وتوافر أسواق متميزة قابلة للاستمرار تجارياً لمنتجات الفولاذ ذات البصمة الكربونية المنخفضة، أو تطبيق ضرائب حدود الكربون التي يمكن فرضها على المنتجات الصناعية بشكل منتظم. وهذا احتمال مرجّح بالنّسبة إلى الصادرات إلى أوروبا حيث اعتمدت المفوضية الأوروبية آلية جديدة لتعديل حدود الكربون تحدّد بموجبها سعر الكربون على واردات مجموعة مستهدفة من المنتجات بحيث لا تؤدي الأنشطة المناخية في أوروبا إلى "تسرب الكربون".

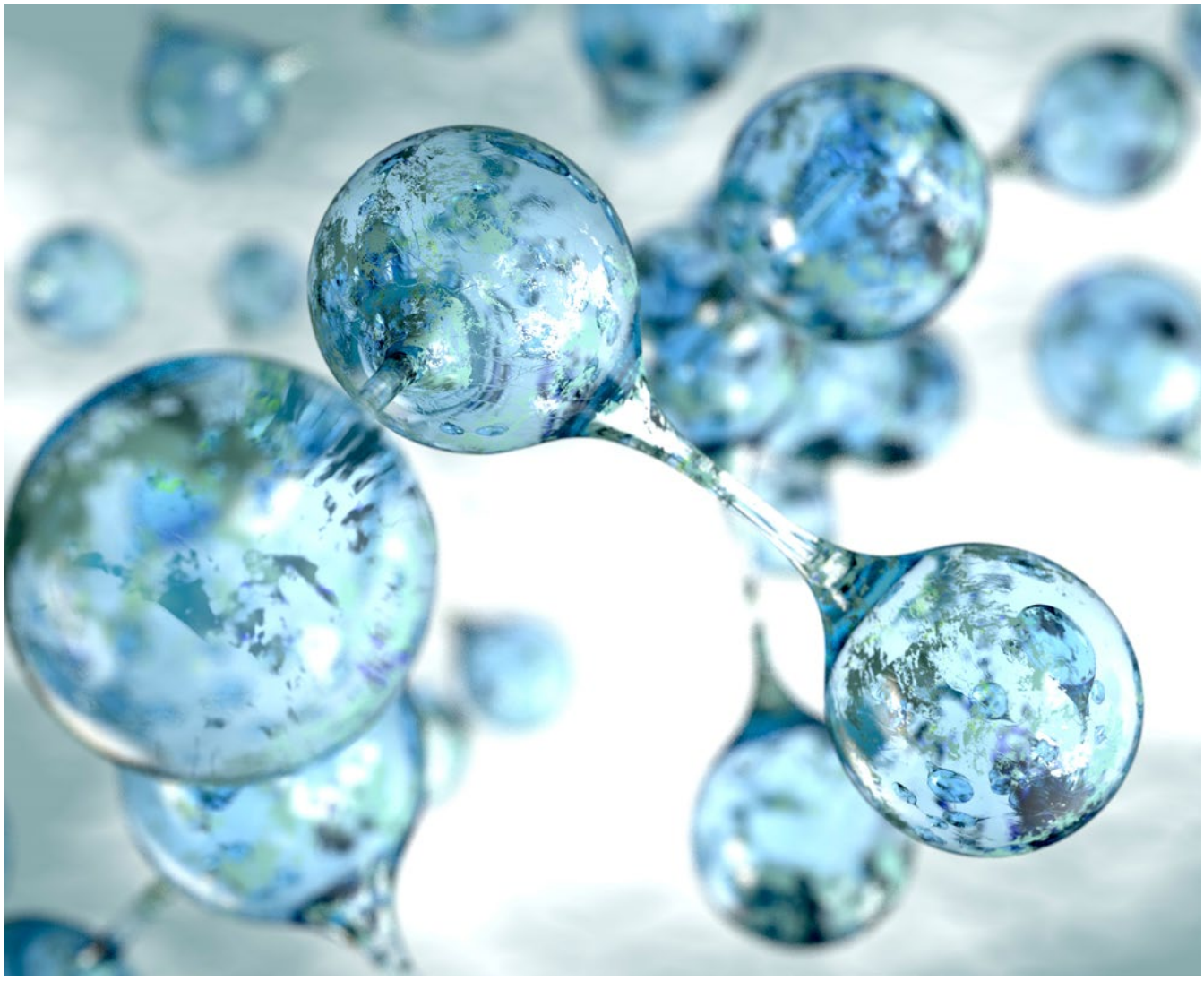
يبحث هذا التقرير في التحديات التي تواجهها الدول العربية لإدخال الهيدروجين الأزرق أو الأخضر في القطاعات أو الصناعات التي يصعب التخفيف منها والمحددة في هذا القسم تحت عنوان التحديات والفرص.

3 الهيدروجين والترابط مع أهداف التنمية المستدامة

ألف. أوجه الترابط بين أهداف التنمية المستدامة

إدخال الهيدروجين المنخفض الكربون إلى اقتصادات العالم جزء رئيسي من أجزاء حافظة حلول الطاقة المستدامة والإجراءات اللازمة لتحقيق الحياد الكربوني بحلول عام 2050، وهو هدف طويل الأجل اعتمدته دول ومؤسسات وكيانات معنوية. وأهداف الأمم المتحدة للتنمية المستدامة تشكّل إطاراً لتحديد وتصنيف مختلف مزايا التنمية المستدامة للهيدروجين المنخفض الكربون من خلال ترابطه مع هذه الأهداف، على النحو المبين في الجدول 2.

فبالنظر إلى هذا الجدول، يمكننا أن نستخلص الملاحظات التالية. أولاً، إنّ تحقيق التأثير الكامل للهيدروجين المنخفض الكربون مرجّح الحدوث على مدى فترة طويلة، حيث تنخفض تكلفة الهيدروجين المنخفض الكربون بشكل كبير على مدى العقود المقبلة. وسوف تختلف مساهمة إنتاج الهيدروجين الأخضر من بلد إلى آخر. ولا يُعزى ذلك إلى محدودية توافر إمكانات الطاقة المتجددة المنخفضة التكلفة والبنى التحتية المرتبطة بها فحسب، بل إلى احتمال الحاجة إلى إعطاء الأولوية لاستخدام مصادر الطاقة المتجددة لأغراض كهربة نظيفة في بعض البلدان. وحيثما أمكن، يمكن أن يكون إنتاج الهيدروجين الأزرق خياراً أسرع للحد من انبعاثات غازات الدفيئة ودعم التّوسع الطويل الأجل في القدرة الإنتاجية للهيدروجين الأخضر. مع ذلك، سوف يكون مسار إنتاج الهيدروجين الأزرق مكلفاً، ولكن أقل تكلفة نسبياً من إنتاج الهيدروجين الأخضر.



الجدول 2. الهيدروجين المنخفض الكربون وترابطه بأهداف التنمية المستدامة

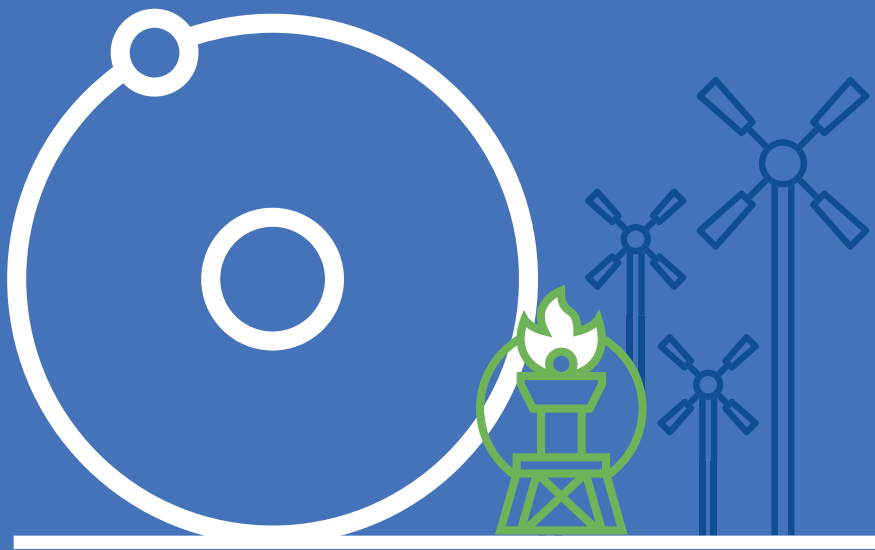
تأثير الهيدروجين المنخفض الكربون	أهداف التنمية المستدامة	
إدخال مصادر نظيفة للهيدروجين، لا سيما في القطاعات التي يصعب التخفيف من حدتها في الاقتصاد، لها أثر إيجابي واضح على صحة المجتمعات المحلية ورفاهيتها.		الهدف 3 من أهداف التنمية المستدامة: ضمان تمتّع الجميع بأنماط عيش صحية وبالرفاهية في جميع الأعمار.
في بعض مناطق العالم التي تتأثر بشدة بمشاكل شحّ المياه، يمكن أن يكون استخدام المياه العذبة في إنتاج الهيدروجين الأخضر مسألة حاسمة. غير أن تطوير مصادر مجدية ومستدامة تجارياً لقدرات إضافية لتحلية مياه البحر لإنتاج الهيدروجين يمكن أن يزوّد المجتمعات المحلية أيضاً بإمدادات المياه.		الهدف 6 من أهداف التنمية المستدامة: ضمان توافر المياه وخدمات الصرف الصحي للجميع وإدارتها إدارة مستدامة.
يوفر إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون واستخدامه على المدى الطويل مصدراً جديداً لتخزين الطاقة النظيفة. ويتمثل التحدي في زيادة القدرة على إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون مع مرور الوقت وإنشاء أسواق مستدامة وبأسعار معقولة للجميع.		الهدف 7 من أهداف التنمية المستدامة: ضمان حصول الجميع بتكلفة ميسورة على خدمات الطاقة الحديثة الموثوقة والمستدامة.
تطوير صناعة منخفضة الكربون بمليارات الدولارات في البلدان المحتملة المنتجة والمستهلكة للهيدروجين المنخفض الكربون سيوفر على المدى الطويل النمو الاقتصادي وفرص العمل.		الهدف 8 من أهداف التنمية المستدامة: تعزيز النمو الاقتصادي المطرد والشامل للجميع والمستدام، والعمالة الكاملة والمنتجة، وتوفير العمل اللائق للجميع.
سبق أنّ سمح تطوير الهيدروجين المنخفض الكربون بتعزيز الابتكار على طول سلسلة الهيدروجين المنخفض الكربون، وعلى المدى الطويل، يرجّح أن يُطوِّر بنية تحتية مرنة للهيدروجين المنخفض الكربون، أقلّه في المراكز الرائدة في إنتاج الهيدروجين واستهلاكه.		الهدف 9 من أهداف التنمية المستدامة: الصناعة والابتكار .
يساهم الاستخدام الطويل الأجل للهيدروجين المنخفض الكربون في قطاع التنقل أو النقل في الحدّ من التلوث الناجم عن حركة المرور على الطرق ويساعد على تحسين البيئات المحلية في المدن والمجتمعات المحلية. ولكنّ استخدام الهيدروجين المنخفض الكربون سيكون أساساً لنقل الأحمال الثقيلة عبر مسافات طويلة.		الهدف 11 من أهداف التنمية المستدامة: جعل المدن والمستوطنات البشرية شاملة للجميع وآمنة وقادرة على الصمود ومستدامة.
الهيدروجين المنخفض الكربون هو جزء من مزيج من الحلول والتدابير النظيفة لمعالجة مسألة التخفيف من آثار تغيّر المناخ، لا سيّما في القطاعات التي يصعب التخفيف من حدّة الآثار المترتبة عليها. لكن عند النظر في خيار استخدام الطاقة المتجددة في إنتاج الهيدروجين الأخضر، تبرز الحاجة إلى تحقيق توازن مقبول بين الكهربة النظيفة وإنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون.		الهدف 13 من أهداف التنمية المستدامة: اتخاذ إجراءات عاجلة للتصدي لتغيّر المناخ وآثاره.

باء. الهيدروجين المنخفض الكربون والمساهمات المحددة وطنياً

استناداً إلى البيانات والمعلومات التي توافرت لدى إعداد هذا التقرير، لم تُدرج الدول العربية في مساهماتها المحددة وطنياً تطوير الهيدروجين المنخفض الكربون في الأسواق المحلية وأسواق التصدير، باستثناء الإمارات العربية المتحدة التي أدرجته في تقريرها الثاني حول مساهماتها المحدّدة وطنياً الذي قدمته في كانون الأول/ديسمبر 2020.

غير أن خمس دول عربية أشارت إلى تكنولوجيا التقاط ثاني أكسيد الكربون في مساهماتها المحدّدة وطنياً، وقد يكون هذا إشارةً على إمكانية استخدام التقاط ثاني أكسيد الكربون في إنتاج الهيدروجين الأزرق، وتحديداً في البلدان المنتجة للغاز الطبيعي. ويُرجّح أن تشمل تكنولوجيا التقاط ثاني أكسيد الكربون استخدامات أخرى غير إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون، أو قد لا تكون سوى جزء من قائمة "طموحات إزالة الكربون البعيدة المدى"[18]. لكن تجدر الإشارة إلى أنّ أربع دول عربية فقط (الإمارات العربية المتحدة والجزائر وقطر والمملكة العربية السعودية) تملك مرافق تجارية لالتقاط ثاني أكسيد الكربون وتستخدمها (أو سبق لها أن استخدمتها)[19].

4 إمكانات الطاقة المتجددة وغير المتجددة في المنطقة العربية



الرسائل الرئيسية

سوف تسعى الدول العربية إما إلى مواصلة استخدام الهيدروجين الأزرق أو الأخضر أو كليهما، بحسب ما تملكه من مصادر الوقود الأحفوري والطاقة المتجددة.

180 جيغاواط بحلول عام 2030

لقد ارتفعت قدرة المنطقة على توليد الطاقة المتجددة من 1 جيغاواط في عام 2010 إلى أكثر من 12 جيغاواط في عام 2020، ويُتوقّع أن تتخطّى 180 جيغاواط بحلول عام 2030، بحيث تفسح المجال أمام زيادة في إنتاج الهيدروجين الأخضر.

يمكن أن يبرز عدد قليل من الدول (مثل الإمارات العربية المتحدة وعُمان ومصر والمغرب) كمصادر قادرة على إنتاج الهيدروجين الأخضر.

يشكّل الغاز الطبيعي المستخدم في إنتاج الهيدروجين الأزرق دوراً بالغ الأهمية للانتقال إلى مرحلة الهيدروجين الأخضر. وفي بلدان عربية مختارة تملك فائضاً من الغاز الطبيعي، يمكن أيضاً استخدام الغاز الطبيعي في إنتاج الهيدروجين الأزرق لتصديره بعد تلبية احتياجات السوق المحلية.

ألف. لمحة عامة

تشكّل قدرات المنطقة العربية الحالية والمستقبلية في مجال الطاقة المتجددة، فضلاً عن ثرواتها من موارد الغاز الطبيعي، عنصراً مهماً لتطوير قدراتها على إنتاج الهيدروجين الأزرق والأخضر. ويُرجّح أن تتبع كل دولة عربية أو مجموعة من الدول العربية مساراً مختلفاً لتطوير الهيدروجين المنخفض الكربون وإدخاله في اقتصادها. وقد يختار منتجو الهيدروكربون ذوي الموارد الكبيرة من الغاز الطبيعي التركيز في البداية على الهيدروجين الأزرق بغية تطوير قدراتهم على إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون بأسعار تنافسية نسبياً.

ولكنّ الدول التي لا تملك ثروات من الهيدروكربون أو أنّها تملكه بكميات ضئيلة سوف تركّز على تطوير الهيدروجين الأخضر. وقد تقرّر بعض الدول التي تملك ثروات كبيرة من الهيدروكربون إنتاج الهيدروجين الأزرق والأخضر. لذا يتناول هذا القسم من التقرير الجوانب المذكورة أعلاه ويحدّد البلدان العربية التي قد تكون مرشحة محتملة لإنتاج الهيدروجين.

باء. إمكانات الطاقة المتجددة

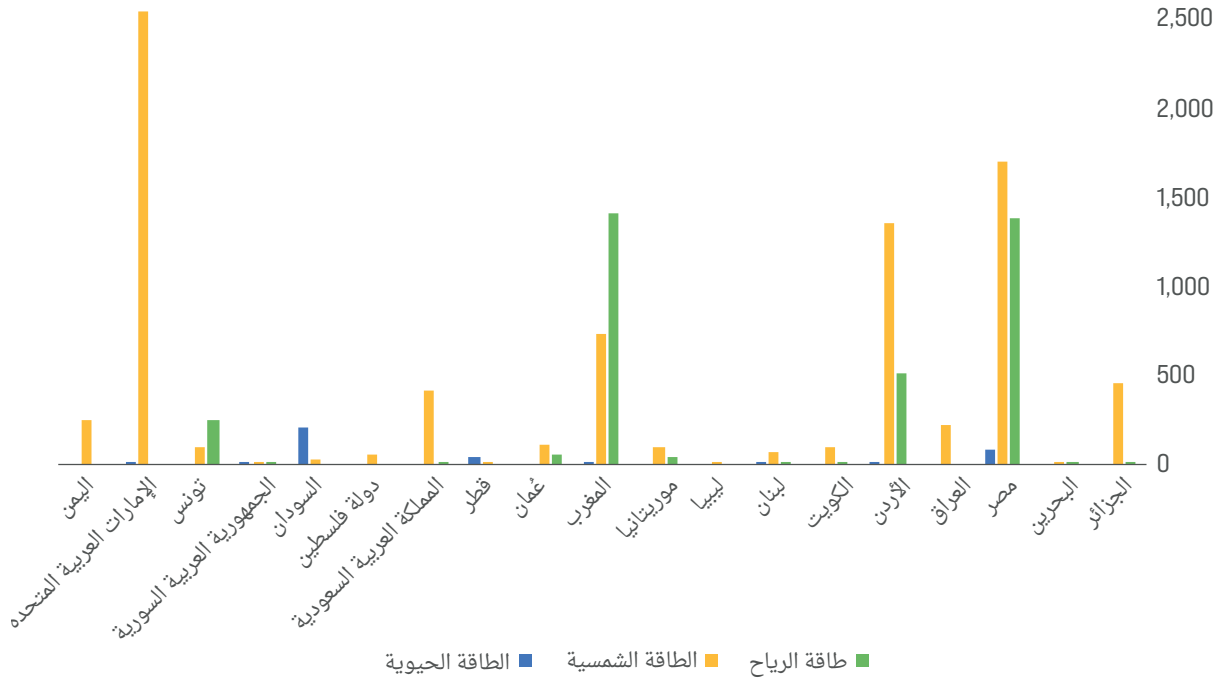
شهدت السنوات العشر الماضية زيادة ملحوظة في قدرة المنطقة العربية على إنتاج الطاقة المتجددة المركّبة (باستثناء الطاقة الكهرمائية)، بارتفاع من 1 جيغاواط في عام 2010 إلى أكثر من 12 جيغاواط في عام 2020[20] ولكنّ الجزء الأكبر من مجموع الطاقة المتجددة المركبة يبقى متركّزاً في عدد قليل من البلدان، كما يظهر في الشكل 2. ففي عام 2020، وحدها أربعة بلدان (الأردن والإمارات العربية المتحدة والمغرب ومصر) أنتجت نحو 80 في المائة من إجمالي الطاقة المتجددة المتغيّرة في المنطقة.

وفقاً للمؤشر العربي الأحدث لطاقة المستقبل ، الصادر عن المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة، بالتعاون مع برنامج الأمم المتحدة الإنمائي، يُتوقّع أن تصل قدرة المنطقة العربية على إنتاج الطاقة المتجددة المركّبة إلى حوالى 180 جيغاواط بحلول عام 2030[21]. وتستند هذه التقديرات إلى أهداف أعلنت عنها دول عربية مختلفة بشأن مخططاتها حول قدراتها على إنتاج الطاقة المتجددة، والحصة المستقبلية المستهدفة من الطاقة المتجددة من مزيج قدرتها الإجمالية على إنتاج الطاقة[22]. وتبدو هذه الأهداف، في معظمها، طموحة جداً لدى مقارنتها بالقدرة المتجددة المركبة الحالية وحصتها من مزيج قدرات كل بلد على إنتاج الطاقة (الجدول 3).

وتبرز رسالة رئيسية من الجدول 3 أنّ احتمالات تجاوز الطاقة المتجددة بحلول عام 2030 نسبة 30 في المائة من مزيج استهلاك الطاقة المركبة في معظم البلدان العربية تبقى بعيدةً حتى ولو كان البرنامج الإنمائي طموحاً، باستثناء بعض بلدان المنطقة التي أعلنت عن أهدافها حيث ستحقق مصر نسبة 52 في المائة بحلول عام 2030، والمغرب 50 في المائة بحلول عام 2030، والمملكة العربية السعودية 42 في المائة بحلول عام 2035. أمّا السودان الذي ينتج الحصة الأكبر من الطاقة الحيوية المركّبة في المنطقة العربية فيهدف إلى بلوغ قدرة على إنتاج الطاقة المتجددة بنسبة 50 في المائة بحلول عام 2031.

لذا يُتوقّع أن يستمرّ الوقود الأحفوري، وخاصة الغاز الطبيعي، في تأدية دور مهيمن من حيث قدرة المنطقة العربية الإجمالية على توليد الطاقة الكهربائية خلال السنوات الخمس عشرة المقبلة[23،24]. كذلك، لا بدّ من الإشارة إلى ملحوظة أساسيّة إضافية حول القدرة المحدودة المتوقّعة في بعض الدول العربية في مجال الطاقة المتجددة. فقد سبق أن التزمت هذه الدول بمحطات كبيرة لتوليد الكهرباء تعمل بالغاز أو محطات طاقة تعمل بالفحم الحجري، فآلت التزاماتها هذه إلى محدودية في المساحة المتبقية للتّوسع في نطاق الطاقة المتجددة. وهذا سوف يؤدي في بعض الحالات (أو سبق أن أدّى) إلى فائض في القدرة الإجمالية على توليد الكهرباء يتخطّى عتبات هامش الاحتياطي المقبول بها.

الشكل 2. المنطقة العربية: قدرة الطاقة المتجددة المركبة - 2020 (ميغاواط)



المصدر: IRENA, 2021b.

سوف يتعيّن على واضعي السياسات اتخاذ بعض القرارات الأساسية المتعلقة بالسياسات العامة في مجال الطاقة وذلك لإدخال قدرات جديدة للهيدروجين المنخفض الكربون في اقتصادات بلدانهم لأغراض محلية و/أو بما يخدم صادراتهم. وهذا يشمل ما إذا كان ينبغي أن تخصّص الاقتصادات العربية جزءاً (أو بالأحرى جزءاً كبيراً) من قدرتها على توليد الطاقة المتجددة في المستقبل في إنتاج الهيدروجين الأخضر أو التركيز على إنتاج الهيدروجين الأزرق على المدى القريب باستخدام الغاز الطبيعي مع التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه كوقود انتقالي حيثما تسمح الموارد والظروف الجيولوجية بذلك.

وبذلك، سوف تتمكن الدول العربية من الاستمرار في كهربة مزيج استهلاك الطاقة لديها واعتماد سياسات تتّسق مع "مبدأ إضافية الطاقة المتجددة" الذي يشير إلى أنّ "الاستخدامات الإنتاجية الأخرى من الطاقة الكهربائية المولّدة من مصادر متجدّدة ينبغي ألاّ تسمح بتحويل الكهرباء عن تلك الاستخدامات من أجل إنتاج الهيدروجين الأخضر"[25]. وهذا ينطبق على الدول العربية التي لا تملك موارد من الغاز الطبيعي أو تملك القليل من هذه الموارد. ومع ذلك، فإن الخيار سيكون إما بين زيادة الكهربة الخضراء أو النظيفة أو بين إنتاج الهيدروجين الأخضر.

الجدول3. المنطقة العربية: القدرة المستهدفة في إنتاج الطاقة المتجددة في المستقبل وحصة مزيج استهلاك الطاقة

البلد	الهدف (ميغاواط)	السنة المستهدفة	الطاقة المتجددة كنسبة مئوية من مزيج استهلاك الطاقة المستهدفة	المتغير المتجدّد كنسبة مئوية من مزيج استهلاك الطاقة المستهدف لعام 2020
الجزائر[أ]	15,000	2035	30	2
البحرين	700	2035	10	0.1
مصر	54,000	2035	42	5
العراق	2,240	2025	البيانات غير متوفرة	0.7
الأردن	3,220	2030	31	31
الكويت	4,200	2030	15	0.5
لبنان	البيانات غير متوفرة	2030	30	2
ليبيا	4,600	2030	22	0
موريتانيا	البيانات غير متوفرة	البيانات غير متوفرة	البيانات غير متوفرة	21
المغرب	10,000	2030	52	19
عُمان	البيانات غير متوفرة	2030	30	1
قطر	1,800	2030	20	0.3
المملكة العربية السعودية[ب]	58,700	2030	50	0.5
دولة فلسطين	البيانات غير متوفرة	البيانات غير متوفرة	البيانات غير متوفرة	البيانات غير متوفرة
السودان	5,300	2031	50	5
الجمهورية العربية السورية	4,550	2030	30	0.1
تونس	3,815	2030	30	5
الإمارات العربية المتحدة	6,500	2030	البيانات غير متوفرة	7
اليمن	714	2025	15	13

المصدر: المركز الإقليمي لكفاءة الطاقة والطاقة المتجددة، 2019، والوكالة الدولية للطاقة المتجددة، 2021b.

أ. Smati, Said, 2021.

ب. من أهداف المبادرة الخضراء السعودية التي أعلنت في نيسان/أبريل 2021 بلوغ "50 في المائة من مصادر الطاقة المتجددة في مزيج استهلاك الطاقة في المملكة بحلول عام 2030". https://www.saudigreeninitiative.org/.

ومن الطبيعي أن تواصل الدول التي لا تملك موارد من الغاز الطبيعي أو تملك موارد ضئيلة منه تركيزها على خيار الهيدروجين الأخضر (كالمغرب مثلاً). ومع ذلك، سوف يستغرق الانتقال إلى إنتاج الهيدروجين الأخضر في المنطقة العربية بعض الوقت ويتطلب استثمارات كبيرة.

تبيّن هذه النظرة العامة على القدرات المخطط لها في مصادر الطاقة المتجددة أنّ عدداً قليلاً من البلدان (مثل الإمارات العربية المتحدة وعُمان ومصر والمغرب والمملكة العربية السعودية) يمكن أن تبرز كمصادر محتملة لإنتاج الهيدروجين الأخضر. ولكن هذا يعتمد، كما هو مبين أعلاه، على مدى تحديدها الأولويات لمزيد من كهربة الطاقة المتجددة في قطاع الطاقة. ومع ذلك، قد لا تتأثر بلدان مثل المملكة العربية السعودية بمدى تحديدها أولوياتها بمزيد من كهربة الطاقة المتجددة نظراً إلى قدرتها العالية على الإنتاج في مجال الطاقة المتجددة. ويخطط المغرب، الرائد في المنطقة العربية في مجال الطاقة المتجددة، وكذلك الأردن، لتطوير قدراتهما على تصدير الهيدروجين الأخضر إلى أوروبا. وفي هذه الحالة، فإن التنفيذ لن يتوقف فقط على مسألة كهربة الطاقة المتجددة مقابل إنتاج الهيدروجين الأخضر، إنّما أيضاً على الدعم المالي والتكنولوجي لاستيراد مصادر الهيدروجين الأخضر في أوروبا.

وكما شددّنا سابقاً، خلال مرحلة الانتقال إلى إنتاج الهيدروجين الأخضر، يُرجَّح أن يؤدّي الغاز الطبيعي دوراً رئيسياً في إنتاج الهيدروجين الأزرق المنخفض الكربون في المنطقة العربية. ومع ذلك، يمكن أن يؤمّن عدد ضئيل جداً من البلدان العربية الموارد المالية وموارد الغاز الطبيعي اللازمة في إنتاج الهيدروجين الأزرق والأخضر، ولا سيّما مشاريع الهيدروجين المنخفض الكربون المحتملة طويلة الأجل المخصصة للصادرات إلى مناطق العالم حيث الأنظمة المفروضة على قطاع الكربون هي الأكثر تشدداً. وقد أشارت هيدروجين أوروبا إلى أنّ القارة العجوز قد تستورد ما يزيد على مليوني طن من الهيدروجين المنخفض الكربون من شمال أفريقيا عبر خطوط الأنابيب العابرة للحدود بحلول عام 2030[26]، غير أنّ هذه الخطة طموحة للغاية نظراً إلى الوضع الحالي لخطط التصدير التي لا تزال في مراحلها الأوليّة.

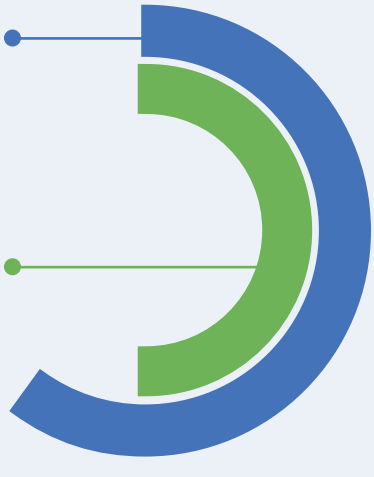
جيم. ثروات الغاز الطبيعي

في عام 2020، بلغ إنتاج السوق العالمي من الهيدروجين 90 مليون طن (باستثناء حوالى 30 مليون طن من الهيدروجين الموجود في الغازات المتبقيّة من العمليات الصناعية المستخدمة للحرارة والكهرباء)، 60 في المائة من إجمالي إنتاج هذا الهيدروجين اعتمد على الغاز الطبيعي كمصدر أساسي وتطلّب 240 مليار متر مكعب من الغاز الطبيعي (وكالة الطاقة الدولية، 2021)، أي ما يعادل أكثر من 50 في المائة من إجمالي الغاز الطبيعي الذي استهلكته المنطقة العربية في عام 2020. أما الباقي فقد أُنتج باستخدام الفحم وكميات قليلة جداً من النفط كمصادر رئيسية. وقد أُنتج أقلّ من 1 في المائة من إجمالي الناتج العالمي من الهيدروجين الأزرق في منشآت التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (CSS).

60% من إجمالي إنتاج هذا الهيدروجين اعتمد على الغاز الطبيعي

⇔

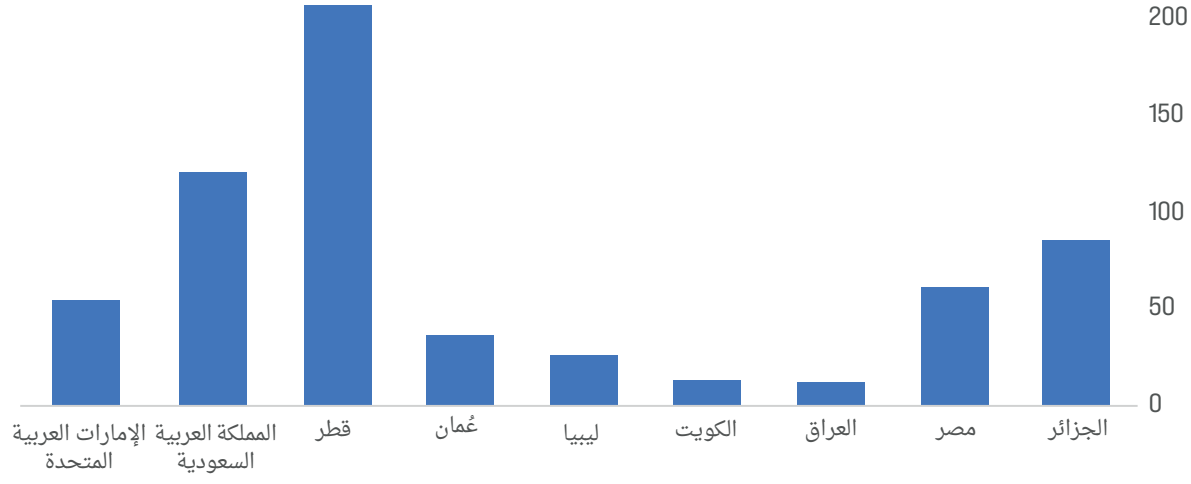
50% من إجمالي الغاز الطبيعي الذي استهلكته المنطقة العربية في عام 2020



الغاز الطبيعي، كما ورد أعلاه، ضروري لإنتاج الهيدروجين الأزرق، ولكن ليس لكل بلد عربي إمكانيات للوصول إلى إمدادات الغاز الطبيعي. وحيثما يتوفر الغاز الطبيعي، يُرجَّح أن يُعطى توليد الطاقة الكهربائية الأولوية، غير أنّ مجموعة صغيرة جداً من البلدان العربية تملك فائضاً من الغاز وتصدّره عبر خطوط الأنابيب العابرة للحدود[27] و/أو بواسطة ناقلات الغاز الطبيعي المسال، وحيث يمكن استخدام الغاز الطبيعي أيضاً في إنتاج الهيدروجين الأزرق للتصدير بعد تلبية احتياجات السوق المحلية.

يبيّن الشكل 3 أن احتياطيات الغاز الطبيعي المثبتة موزّعة بشكل غير متساوٍ في المنطقة العربية، حيث عدد البلدان العربية التي تملكُ احتياطيات كبيرة من الغاز محدود جداً. والرسم البياني لاحتياطيات الغاز الذي يعرض غالباً لإظهار إمكانات الغاز في المنطقة لا يقدّم صورة كاملة عن واقع الغاز الطبيعي فيها.

الشكل 3. المنطقة العربية: احتياطيات الغاز الطبيعي الرئيسية المثبتة (مليار متر مكعب)



المصدر: منتدى الدول المصدرة للغاز، 2021، ومنظمة منظمة البلدان المصدرة للبترول (أوبك)، 2021.

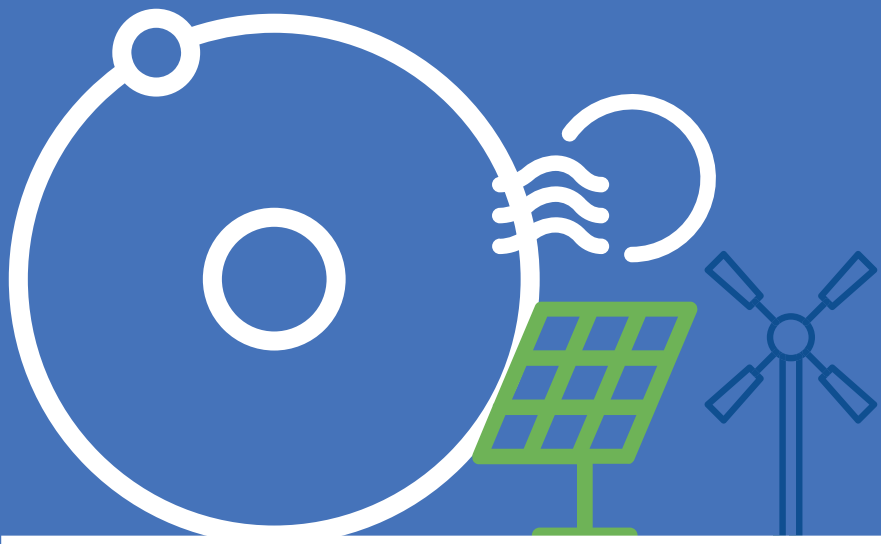
الشكل 4. المنطقة العربية - إنتاج الغاز الطبيعي واستهلاكه 2020 (مليار متر مكعب)

المصدر: منتدى الدول المصدرة للغاز، 2021.

يبيّن الشكل 4 التوازن الهش للغاز الطبيعي في العديد من البلدان العربية، حيث النسبة العالية من الإنتاج الحالي من الغاز تستهلك على المستوى المحلي أو أنها ببساطة لا تكفي لتلبية الاحتياجات المحلية.

وباستثناء قطر، التي ستظل مصدراً رئيساً للغاز على الصعيدين الإقليمي والعالمي، يُرجَّح أن يُخصَّص الغاز الطبيعي المنتج في معظم البلدان العربية لتلبية الطلب المحلي المتزايد على الغاز في قطاعي الطاقة والصناعة. ولكنّ استخدامها للغاز سينمو ببطء أكبر في المستقبل مما كان عليه في العقود السابقة[28]. فالبلدان ذات الاحتياطيات الكبيرة من الغاز الطبيعي، مثل الإمارات العربية المتحدة وقطر والمملكة العربية السعودية، تملك إمكانات الطاقة المتجددة وغير المتجددة التي تسمح لها بتطوير الهيدروجين الأزرق والأخضر، كما يرد في القسم التالي.

5 الهيدروجين: التطورات الحالية والمخطط لها في المنطقة العربية



الرسائل الرئيسية

90%

أكثر من 90 في المائة من إجمالي الهيدروجين المنتج في المنطقة العربية هو من الهيدروجين الرمادي.

كبدائل للمساعدة في تحقيق الهدف الطويل الأجل المتمثل في تحقيق الحياد الكربوني، ينتج عدد محدود جداً من البلدان العربية الهيدروجين الأزرق والأخضر ويطوّر اقتصاد الكربون الدائري.

H

الصّادرات من الهيدروجين المنخفض الكربون هي فرص للمنتجين الجدد المحتملين في المنطقة العربية، ويمكن أن تقدّم على المدى الطويل لمنتجي الهيدروكربون العرب فرصاً وحوافز لتعجيل الانتقال في مجال الطاقة.

كثيرة هي البلدان العربية التي اعتُبرت مصادر محتملة لإنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون بسبب إمكاناتها الكبيرة في مجال الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وتوافر مساحات شاسعة من الأراضي لتطوير مشاريع الطاقة المتجددة.

H

في المنطقة العربية فرص جديدة بدأت تظهر في مجال تصدير الهيدروجين المنخفض الكربون، وهذا يُعزى جزئياً إلى ندرة الإمدادات المحلية من الهيدروجين المنخفض الكربون في أوروبا التي لن تكفي لتلبية الطلب المتوقع على الهيدروجين على المدى الطويل.

ألف. تغيّر المشهد

كان إنتاج الهيدروجين واستخدامه في البلدان العربية مدفوعاً بمتطلبات صناعات، مثل تكرير النفط والبتروكيماويات والصلب، التي تستهلك الهيدروجين. وأكثر من 90 في المائة من إجمالي الهيدروجين المنتج في المنطقة العربية هو من الهيدروجين الرمادي. وتستهلك كميات كبيرة من الهيدروجين بشكل رئيسي في مناطق بلدان مجلس التعاون لدول الخليج العربية وشمال أفريقيا. فبلدان مجلس التعاون لدول الخليج العربية تستهلك حالياً ما يتراوح بين 5 و6 ملايين طن من الهيدروجين، والمملكة العربية السعودية ما يزيد على 40 في المائة من إجمالي استهلاك بلدان مجلس التعاون لدول الخليج العربية[29].

على مدى السنوات الست الماضية منذ اتفاق باريس، وجّه عدد قليل من البلدان العربية جهود سياساته العامة نحو تطوير مصادر متجددة للكهرباء. في البداية، لم تكن هذه الدوافع قائمة على اعتبارات تتعلّق بتغيّر المناخ، بل على ضرورة خفض الواردات النفطية المكلفة والاستفادة من انخفاض تكاليف الألواح الشمسية. فتمكنت بلدان مثل الأردن والمغرب من زيادة حصتها بشكل كبير من مصادر الطاقة المتجددة في مزيج استهلاك الطاقة لديها. وفي منطقة بلدان مجلس التعاون لدول الخليج العربية، برزت دولة الإمارات العربية المتحدة كرائدة بإطلاقها مبادرات عديدة لتطوير بدائل خالية من الكربون أو البدائل المنخفضة الكربون. ورغم أنّ الحصة الحالية من مصادر الطاقة المتجددة في مزيج استهلاك الطاقة في دولة الإمارات العربية المتحدة لا تزال منخفضة نسبياً، إلا أن الحكومات الاتحادية والمحلية (على مستوى الإمارة) في الإمارات العربية المتحدة أصدرت استراتيجيات وخططاً ذات أهداف طموحة لإزالة الكربون، وبعضها قيد التنفيذ. ومؤخراً، باشرت المملكة العربية السعودية تطوير برنامج كبير للطاقة المتجددة ومشاريع إنتاج الهيدروجين الأزرق والأخضر.

باء. تطورات تأثير الهيدروجين المنخفض الكربون

يقوم عدد محدود جداً من البلدان العربية بإنتاج الهيدروجين الأزرق والأخضر وتطوير اقتصاد الكربون الدائري كبدائل للمساعدة في تحقيق الهدف الطويل الأجل المتمثل في تحقيق الحياد الكربوني. وتجدر الإشارة إلى أن معظم بلدان المنطقة العربية ما زالت تواجه تحديات في تخطيط وتنفيذ برامج واقعية للطاقة المتجددة المستدامة. ولا يزال إدماج المستويات الكافية لتوليد الطاقة الكهربائية المتجددة هدفاً لم يتحقق بعد في هذه المنطقة، كما هو مبين في الجدول 3، غير أنّ التركيز الدولي على الهيدروجين المنخفض الكربون أدّى إلى وضع مبادرات جديدة لتطوير الهيدروجين المنخفض الكربون في المنطقة.

وفي الوقت الحاضر، تنشط خمس دول عربية في تطوير إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون و/أو تخطط لإنتاجه، بما في ذلك مشاريع الهيدروجين الأزرق والأخضر. وهذه الدول هي مصر والمغرب في شمال أفريقيا وعُمان، والإمارات العربية المتحدة والمملكة العربية السعودية في منطقة بلدان مجلس التعاون لدول الخليج العربية. وإنّ دولاً عربية أخرى تملك قدرات كبيرة أو أنها تعمل على تطوير قدراتها من أجل إنتاج الطاقة المتجددة و/أو موارد الغاز الطبيعي قد أظهرت اهتمامها بتطوير الهيدروجين، وهي تعتزم القيام بمبادرات للتخطيط لتطوير إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون.

مع التركيز أولاً على الدول العربية الخمس المذكورة أعلاه، وُضعت أولاً الاستراتيجيات والسياسات والخطط التالية المتعلقة بالهيدروجين أو أُعلن عنها. وتجدر الإشارة إلى أنّ هذه التطورات والإعلانات المتعلقة بالهيدروجين تحصل بشكل متواصل؛ لذلك يهدف هذا التقرير إلى دمج جميع التطورات الأخيرة حتى شهر كانون الأول/ديسمبر 2021.

الإمارات العربية المتحدة

كانت دولة الإمارات العربية المتحدة من أوائل الدول العربية التي بدأت في وضع استراتيجيات لتحقيق انتقال مستدام لقطاع الطاقة وقطاعات أخرى من اقتصادها. وفي عام 2017، أطلقت استراتيجية الطاقة لعام 2050، التي "تهدف إلى زيادة مساهمة الطاقة النظيفة في إجمالي مزيج استهلاك الطاقة من

25 في المائة إلى 50 في المائة بحلول عام 2050 والحد من البصمة الكربونية في توليد الطاقة بنسبة 70 في المائة"[30]. وقد سبقت هذه الاستراتيجية مبادرات ومشاريع عديدة أخرى في مجال الطاقة النظيفة.

وفي كانون الثاني/يناير 2012، أطلقت إمارة دبي مشروع تطوير مجمع محمد بن راشد آل مكتوم للطاقة الشمسية. أُقيم الحفل الرائد في "أول منشأة للتحليل الكهربائي الهيدروجيني تعمل بالطاقة الشمسية في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا" في شباط/فبراير 2019[31]. وكان مقرراً أن توضع المنشأة في تلك الحديقة الشمسية ومتوقعاً أن تصبح جاهزة للتشغيل في عام 2022.

لم تصدر الإمارات العربية المتحدة بعد استراتيجية لتطوير الهيدروجين، غير أنّ السلطات الاتحادية والمحلية تؤكّد باستمرار التزامها إدخال الهيدروجين الأزرق والأخضر في الاقتصاد الإماراتي وتتّخذ قراراتها على هذا الأساس. ففي تشرين الثاني/نوفمبر 2020، خلال اجتماع للمجلس الأعلى للبترول في أبو ظبي، كلّف ولي العهد الشيخ محمد بن زايد شركة بترول أبو ظبي الوطنية "البحث في فرص ممكنة في مجال الهيدروجين يمكن أن تجعل من الإمارات العربية المتحدة رائدة في مجال الهيدروجين"[32]. وفي كانون الثاني/يناير 2021، صرّح وزير الصناعة والتكنولوجيا المتقدمة والرئيس التنفيذي في شركة بترول أبو ظبي الوطنية بأنّ "الهيدروجين يمكن أن يغير قواعد اللعبة في مرحلة انتقال الطاقة"[33]. وفي تشرين الثاني/نوفمبر 2021، بدأت دولة الإمارات العربية المتحدة في بناء أول مصنع للهيدروجين الأخضر، والتجارب جارية، وفقاً لوزير الطاقة سهيل المزروعي[34].

بحلول عام 2050

زيادة مساهمة الطاقة النظيفة في إجمالي مزيج استهلاك الطاقة من

50% - 25%

الحد من البصمة الكربونية في توليد الطاقة بنسبة

70%

وقد حدّدت الإمارات العربية المتحدة بوضوح في مساهمتها الثانية المحدّدة وطنياً التي قدمتها إلى اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيُّر المناخ في كانون الأول/ديسمبر 2020، أهمية الهيدروجين المنخفض الكربون وضرورة إدخاله في اقتصادها[35].

وفي كانون الثاني/يناير 2021، وقّعت شركة بترول أبو ظبي الوطنية وشركة مبادلة للاستثمار شركة أبو ظبي التنموية القابضة مذكّرة تفاهم قضت بتشكيل تحالف أبو ظبي للهيدروجين "لتأسيس أبو ظبي كرائدة موثوق بها في إنتاج الهيدروجين الأخضر والأزرق المنخفض الكربون في الأسواق الدولية الناشئة"[36].

وأُعلِن مؤخراً عن مشروعين لإنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون أو القائم على الهيدروجين المنخفض الكربون، بينهما مشروع على "نطاق عالمي" بحجم مليون طن سنوياً من الأمونيا الزرقاء ضمن مشروع مشترك بين شركة بترول أبو ظبي الوطنية وشركة أوراسكوم للصناعات الإنشائية المصرية في حديقة الرويس للبتروكيماويات[37]. وقد أعلن هذا المشروع المشترك الجديد Fertiglobe في آب/أغسطس 2021 عن توجُّه شحنة تجريبية من الأمونيا الزرقاء إلى شركة إتوتشو اليابانية.

وسوف يُنتِج مشروع آخر، تملكه شركة هيليوس للصناعة[38] في منطقة خليفة الصناعية في أبو ظبي، 0.2 مليون طن سنوياً من الأمونيا الخضراء. وفي إمارة دبي، افتتحت شركة سيمنز للطاقة وهيئة دبي للكهرباء والمياه ومعرض إكسبو دبي 2020 "أول منشأة هيدروجين خضراء تعمل بالطاقة الشمسية في الشرق الأوسط وشمال أفريقيا"، ومقرها في حديقة محمد بن راشد آل مكتوم للطاقة الشمسية[39].

وسوف يتزايد استخدام الهيدروجين المنخفض الكربون في الإمارات العربية المتحدة في قطاعات النقل وغيرها من القطاعات. وسبق أن باشرت دولة الإمارات العربية المتحدة استخدام الهيدروجين في السيارات الكهربائية التي تعمل بخلايا وقود الهيدروجين (FCEVs). وفي عام 2019، أصدرت هيئة الإمارات للمواصفات والمقاييس اللائحة التقنية الأولى للهيدروجين المستخدَم في المركبات[40]. وتشير وكالة أنباء الإمارات[41] إلى أن دولة الإمارات العربية المتحدة تخطط أيضاً لتصدير الهيدروجين المنخفض الكربون وتهدف إلى السيطرة على ربع السوق العالمي لوقود الهيدروجين بحلول عام 2030.

في تشرين الثاني/نوفمبر 2021، تعاونت شركتا الطاقة في دولة الإمارات العربية المتحدة، شركة بترول أبو ظبي الوطنية أدنوك وشركة أبو ظبي الوطنية للطاقة، لإنشاء مشروع عالمي للطاقة المتجددة والهيدروجين بهدف تطوير قدرة إجمالية على توليد 30 جيغاواط بحلول عام 2030 [42]. وفي مؤتمر المناخ للأطراف الذي عُقد في غلاسكو، قدمت الإمارات العربية المتحدة "خارطة طريق قيادة الهيدروجين" وأعلنت أنها "سوف تستهدف حصة 25 في المائة من سوق الهيدروجين العالمية"[43].

المملكة العربية السعودية

لطالما ركّزت المملكة العربية السعودية على الاستفادة من مواردها الهيدروكربونية الكبيرة محلياً وخارجياً. وفي منتصف العشرينات من القرن العشرين، كثّفت الحكومة جهودها بهدف تنويع اقتصادها والحد من اعتمادها الشديد على الهيدروكربون. وتُوِّجت هذه الجهود برؤية المملكة العربية السعودية 2030، التي صدرت في عام 2016 وتضمّنت "أهداف وتوقعات المملكة على المدى الطويل". وتحدّد الرؤية تطوير موارد الطاقة المتجددة كهدف استراتيجي وتسلّط الضوء على الهدف الاستراتيجي المتمثّل في زيادة مساهمة مصادر الطاقة المتجدّدة ضمن مزيج استهلاك الطاقة الوطني[44].

وقد استغرق تنفيذ برنامج الطاقة المتجددة زمناً للشروع فيه، لكنه اليوم يتقدّم نحو تطوير أكبر قدرة على إنتاج الطاقة المتجددة في المنطقة العربية مع واحدة من أكثر تكاليف توليد الكهرباء تنافسية من حيث التكلفة. وتخطّط المملكة العربية السعودية، بحلول عام 2030، توليد 50 في المائة من حاجتها من الطاقة الكهربائية من مصادر الطاقة المتجددة، كما أعلنت في تشرين الثاني/نوفمبر 2020، في دورة مجموعة العشرين التي التأمت برئاسة المملكة العربية السعودية وأُعيد التأكيد على هذا الهدف في كانون الثاني/يناير 2021 خلال الدورة الحادية عشرة لجمعية الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA)[45].

خلال اجتماعات مجموعة العشرين، ركّزت المملكة العربية السعودية جهودها على تبنّي مفهوم الاقتصاد الدائري للكربون[46] من أجل الانتقال إلى طاقة نظيفة ومستدامة. ويوفر مفهوم الاقتصاد الدائري للكربون، الذي أقرّه أعضاء مجموعة العشرين، إطاراً لإنتاج واستخدام الهيدروجين المنخفض الكربون محلياً وفي التصدير[47]. وأعلنت المملكة العربية السعودية، في الوقت نفسه، أنّها كلفت فريقاً لإعداد "استراتيجية وطنية حول كيفية تطوير عمل المملكة مع الانتقال إلى استخدام الهيدروجين"[48].

وتدير المملكة العربية السعودية حالياً مشروعين للهيدروجين المنخفض الكربون الأزرق والأخضر، أكبرهما مشروع الهيدروجين الأخضر ومقره في نيوم في المنطقة الشمالية الغربية من المملكة العربية السعودية، وهو أكبر مشروع للهيدروجين الأخضر في العالم.

يجري تطوير مشروع الأمونيا الخضراء القائمة على الهيدروجين، الذي تصل تكلفته إلى 5 مليارات دولار، من خلال جهود مشتركة بين نيوم وشركة أكوا باور في المملكة العربية السعودية وشركة Air Products الأمريكية. وسيمتلك الشركاء الثلاثة المشروع بالقدر نفسه وستنتج الأمونيا الخضراء للتصدير. وسوف يكون المشروع قيد التشغيل في عام 2025 ويشمل أكثر من 4 جيغاواط من الطاقة المتجددة، باستخدام التحليل الكهربائي لإنتاج 650 طناً من الهيدروجين الأخضر و1.2 مليون طن من الأمونيا الخضراء يومياً[49]. كذلك أعلن الشركاء عن خططٍ لتطوير مصنع تجميع في مدينة نيوم لإنتاج ما يصل إلى 10 000 مركبات سنوياً تعمل بخلايا وقود الهيدروجين، وذلك كجزء من مذكّرة تفاهم بين شركة هايزون موتورز الأمريكية ومجموعة الاستثمار الصناعي الحديث القابضة وشركة نيوم[50] في المملكة العربية السعودية.

أما المشروع الثاني فهو مشروع الأمونيا الزرقاء القائمة على الهيدروجين ويقع في مدينة الجبيل الصناعية في المنطقة الشرقية من المملكة العربية السعودية. والجبيل هي أكبر مجمّع صناعي في المملكة العربية السعودية والمنطقة العربية وواحدة من أكبر المجمّعات الصناعية في العالم، وبذلك فهي تملك ميزة مقارنة أساسية في إنتاج واستخدام وتصدير الهيدروجين المنخفض الكربون والأمونيا. ويرتبط ميناء الملك فهد الجبيل الحالي بمدينة الجبيل الصناعية فيوفر كذلك ميزة إضافية لتصدير الأمونيا القائمة على الهيدروجين المنخفض الكربون.

ويستخدم مشروع الأمونيا الأزرق القائم على الهيدروجين البنية التحتية القائمة في الجبيل حيث يُنتج الهيدروجين والأمونيا، ويتمّ التقاط ثاني أكسيد الكربون وإرساله إلى حقول النفط لتعزيز استعادة النفط وإلى مصنع الميثانول في الجبيل. وفي أيلول/سبتمبر 2020، صدّرت المملكة العربية السعودية إلى اليابان شحنة تجريبية من 40 طناً من هذا المركز الصناعي السعودي وكانت الشّحنة الأولى في العالم من الأمونيا الزرقاء القائمة على الهيدروجين[51]. وقد أعدّت شركة أرامكو السعودية ومعهد اقتصاديات الطاقة الياباني IEEJ مبادرة التصدير هذه، بالشراكة مع الشركة السعودية للصناعات الأساسية، واستخدمت الأمونيا الزرقاء القائمة على الهيدروجين في اليابان لتوليد الطاقة الكهربائية الخالية من الكربون[52].

كذلك وقّعت المملكة العربية السعودية مذكرات تفاهم مع ألمانيا وكوريا الجنوبية لإقامة شراكات تهدف إلى إعداد مبادرات قائمة على الهيدروجين والهيدروجين المنخفض الكربون.

تطوير مشروع الأمونيا الخضراء القائمة على الهيدروجين

5 مليارات

بحلول عام 2050

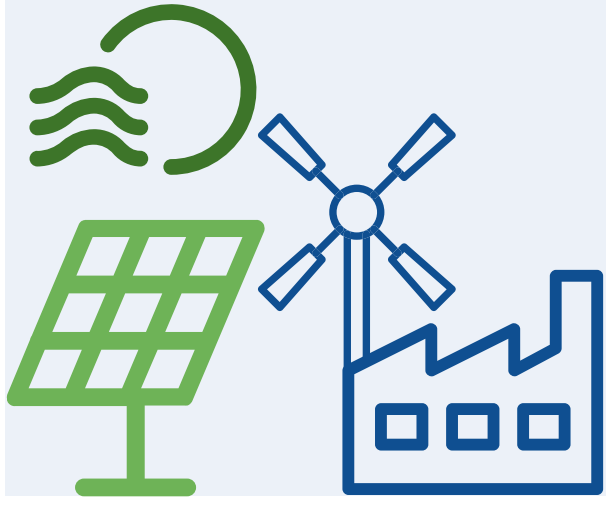
4 جيغاواط من الطاقة المتجددة

لإنتاج

650 طناً من الهيدروجين الأخضر

1.2 مليون طن

من الأمونيا الخضراء يومياً



وفي تشرين الأول/أكتوبر 2021، أعلنت المملكة العربية السعودية خلال المنتدى الأول للمبادرة السعودية الخضراء، أنها كانت تخطط لتصبح مورداً عالمياً رائداً للهيدروجين الأزرق والأخضر وأنها سوف تنتج وتصدّر 4 ملايين طن من الهيدروجين المنخفض الكربون بحلول عام 2030[53].

عُمان

تمتلك عُمان، مقارنةً بالمملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة، احتياطيات محدودة من الهيدروكربون وهي ما زالت تستورد كميات ضئيلة من إمدادات الغاز الطبيعي من قطر عن طريق خط أنابيب دولفين للطاقة عبر الإمارات العربية المتحدة. ولكنّها تسعى إلى تطوير مواردها من الغاز الطبيعي من المنبع، بالتعاون مع شركات النفط والغاز الدولية، لتلبية احتياجاتها المحلية وزيادة صادراتها. كذلك تبذل عُمان جهوداً عديدة بهدف تطوير مصادر الطاقة المتجددة لتنويع مزيج استهلاك الطاقة لديها والحد من اعتمادها على الوقود الأحفوري في توليد الطاقة الكهربائية وإطلاق مزيد من إمدادات الغاز لصادرات الغاز الطبيعي المسال.

وقد باشرت بمبادرات مشاريع الطاقة المتجددة كلٌّ من شركة النفط والغاز العُمانية، وشركة تنمية نفط عُمان، وشركة أوكيو ومقرّها في عُمان والعديد من شركات الطاقة والبتروكيماويات العُمانيّة، مثل نفط عُمان. وأنشأت أوكيو وحدةً خاصة للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة تُسمى وحدة أعمال الطاقة البديلة. وإنَّ اهتمام عُمان الناشئ بإنتاج الهيدروجين الأخضر مدفوعٌ بالتوسّع الذي تُخطِّط له السلطنة في قطاع الطاقة. وتعمل "إيجاد"، وهي "منصة تعاونية افتراضية قائمة على العضوية"[54]، وتضمّ وزارة النفط والغاز العمانية، وهيئة التنمية الاقتصادية، ومجلس البحوث العماني، على "تنسيق الجهود الرامية إلى وضع استراتيجية وطنية للهيدروجين كمحرّك اقتصادي واعد"[55].

أمّا على مستوى المشاريع فقد أعلنت عُمان في عام 2020 عن مبادرتين مع شراكات دولية. أُطلقت المبادرة الأولى في كانون الثاني/يناير 2020 بإنشاء مركز عُمان للهيدروجين في الجامعة الألمانية للتكنولوجيا، عُمان، وهو بمثابة "مركز المعرفة في تكنولوجيا الهيدروجين في عُمان وخارجها، إقليمياً على مستوى بلدان مجلس التعاون لدول الخليج العربية"[56].

أما المبادرة الثانية، التي أُعلن عنها في آذار/مارس 2020، فهي شراكة بين الكونسورتيوم البلجيكي DEME Concessions ووحدة أعمال الطاقة البديلة لتطوير مشروع الهيدروجين الأخضر Hyport Duqm في المنطقة الاقتصادية الخاصة في عُمان في الدقم. وتضمّ المرحلة الأولى من مشروع الهيدروجين الأخضر هذا محطةً للتحليل الكهربائي بقدرةٍ تتراوح بين 250 و500 ميغاواط تُزوَّد بالطاقة الكهربائية المتجددة من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح.

وفي آب/أغسطس 2021، أنشأت عُمان، كجزء من رؤيتها 2040 لتحويل اقتصادها، تحالفاً وطنياً للهيدروجين يتكوّن من 13 مؤسسة من القطاعين العام والخاص لإنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون ونقله واستخدامه[57].

المغرب

وفي شمال أفريقيا، طوّر المغرب برنامجاً كبيراً نسبياً للقدرات المتجددة المتغيرة (يعمل بالطاقة الشمسية وطاقة الرياح) خلال فترة قصيرة من الزمن. وهو اليوم رائد في تطوير موارد الطاقة المتجددة في المنطقة العربية ومرشّح لإنتاج الهيدروجين الأخضر والأمونيا الخضراء القائمة على الهيدروجين.

ويخطط المغرب لكي يصبح مصدراً لإمدادات الهيدروجين الأخضر أو الأمونيا الخضراء القائمة على الهيدروجين في أوروبا. وبهدف تعزيز تطوير هذا المصدر من الهيدروجين المنخفض الكربون، اتَّخذت حكومته الإجراءات الرئيسية التالية:

- **"أنشأت لجنة وطنية للهيدروجين الأخضر تضم مشاركين من القطاعين العام والخاص.**
- **أطلقت دراسة لوضع خارطة طريق للهيدروجين الأخضر.**
- **أطلقت مشروعاً تجريبياً هو قيد التنفيذ لإنتاج الأمونيا الخضراء.**
- **وضعت برنامجاً متكاملاً لإنتاج الأمونيا الخضراء، من خلال إعادة توزيع الطاقة المتجددة.**
- **عقدت مؤتمراً علمياً وتكنولوجياً مخصصاً للهيدروجين الأخضر"[58].**

وفي حزيران/يونيو 2020، وقّع المغرب اتفاقية شراكة مع ألمانيا تغطي مشروعين متعلقين بالهيدروجين الأخضر. يتألف المشروع الأول، Power-to-X، من مشروع تجريبي لإنتاج الهيدروجين الأخضر. أما المشروع الثاني فهو يقضي بإنشاء منصّة للأبحاث حول Power-to-X، ونقل المعرفة وتعزيز المهارات ذات الصلة[59].

وينشط المغرب في تطوير طاقات لإنتاج الهيدروجين الأخضر. وتخطط الوكالة المغربية للطاقة الشمسية لبناء محطة هجينة للطاقة الشمسية الكهروضوئية ومحطة لطاقة الرياح من أجل تزويد محطة التحليل الكهربائي بقدرة 100 ميغاواط لإنتاج الهيدروجين الأخضر. والمشروع هو اليوم في مرحلة دراسة الجدوى ومقرّر تكليفه بين عامي 2024 و2025[60].

وبالرغم من تزايد الاستثمارات في الطاقة المتجددة، ما زال المغرب يعتمد اعتماداً شديداً على واردات الوقود الأحفوري لخفض حصته من الوقود الأحفوري في مزيج استهلاك الطاقة. ويُرجَّح أن ترتفع حصته من الطاقة المتجددة من حوالى 20 إلى 52 في المائة بحلول عام 2030. لكنّ هذا يعني أنّ المغرب كان لا يزال يعتمد حتى عام 2019 في إنتاج حوالى 70 في المائة من طاقته الكهربائية على محطات الطاقة العاملة بالفحم الحجري[61].

وتبقى مسألة كيفية توزيع الطاقة المتجددة بين الكهربة المباشرة وإنتاج الهيدروجين الأخضر أو الأمونيا الخضراء القائمة على الهيدروجين من أجل التصدير إلى أوروبا، وإنتاج الأسمدة المحلية للحدّ من واردات الأمونيا الرمادية. ومع ذلك، يُتوقَّع أن يُواصل المغرب دوره الرائد في المنطقة العربية على إنتاج الهيدروجين الأخضر، وهو يخطط لالتقاط ما يصل إلى 4 في المائة من الطلب العالمي على الهيدروجين الأخضر والأمونيا الخضراء[62].

مصر

تمتلك مصر حالياً أكبر قدرة على إنتاج الطاقة المتجددة المركّبة في المنطقة العربية، وهي تنشط في التخطيط لتوسيع قدرتها الإنتاجية هذه بهدف توليد الكهرباء النظيفة، حيث أعلنت مؤخراً عن مشاريع ومبادرات بالشراكة مع شركات دولية هدفها إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون.

كذلك تعمل حالياً على تحديث استراتيجيتها المتكاملة للطاقة المستدامة حتى عام 2040 بهدف دمج "مساهمتها في مجال الطاقة المتجددة والانتقال نحو الاقتصاد الأخضر"، حيث أطلقت مشاريع ومبادرات للهيدروجين المنخفض الكربون "نحو

تطوير اقتصاد الهيدروجين في مصر" وأنشأت لجنة مشتركة بين الوزارات هدفها وضع "استراتيجية وطنية للهيدروجين".

سبق أن أطلقت مصر مشاريع ومبادرات عديدة للهيدروجين المنخفض الكربون. ففي كانون الثاني/يناير 2021، وقّعت وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة اتفاقية مع شركة سيمنز الألمانية لإجراء دراسات هدفها إعداد مشروع تجريبي للهيدروجين الأخضر يتراوح بين 100 و200 ميغاواط من التحليل الكهربائي[63].

وفي نيسان/أبريل وتموز/يوليو 2021، وقّعت الحكومة المصرية اتفاقيات منفصلة مع مجموعة DEME البلجيكية وشركة إني الإيطالية لمشاريع الهيدروجين المنخفض الكربون تستهدف أسواقاً محلية وأسواق التصدير. وأعقبها توقيع اتفاقية في تشرين الأول/أكتوبر 2021 بين الشركة المصرية الإماراتية المشتركة فيرتيغلوب وشركة الطاقة المتجددة Scatec النرويجية لمشروع الهيدروجين الأخضر والأمونيا الخضراء[64].

وفي أيار/مايو 2021، تلقّت وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة في مصر ستة عروض من شركات عالمية من ألمانيا وإيطاليا والصين والمملكة المتحدة والولايات المتحدة واليابان لتنفيذ مشاريع إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون. وقد أنشئت لجنة لمراجعة هذه العروض.

يتبيّن جلياً تصميم مصر على خفض انبعاثات غازات الدفيئة والانتقال إلى اقتصاد أخضر أكثر مراعاةً للبيئة على المدى الطويل، يشمل إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون، لا سيّما الهيدروجين الأخضر. وهذا يمكن أن يحلّ جزئياً على الأقل محلّ الكميات الكبيرة من الهيدروجين الرمادي التي تستهلكها الصناعة المصرية حالياً[65].

بلدان عربية أخرى

لقد اعتبرت عدة بلدان عربية مصادر محتملة لإنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون بسبب إمكاناتها الكبيرة في مجال الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وتوافر مساحات شاسعة من الأراضي لتطوير مشاريع الطاقة المتجددة. فالجزائر لا تستند إلى إمكاناتها في مجال الطاقة الشمسية فحسب، بل إلى أنابيب الغاز الطبيعي في بنيتها التحتية العابرة للحدود والمتصلة بأوروبا[66]. وعلى المدى الطويل، يمكن استخدام هذه الصلة بالبنية التحتية للغاز لنقل الهيدروجين المنخفض الكربون المنتج في شمال أفريقيا إلى أوروبا. فخطط الهيدروجين المنخفض الكربون التي وضعتها مؤسسات الاتحاد الأوروبي تتضمن نقل الهيدروجين عبر خطوط أنابيب الغاز الطبيعي عبر الحدود بين إسبانيا وإيطاليا والجزائر.

وكان العلماء ومعهم مراكز البحوث في الجزائر الرواد في إجراء دراسات وتنظيم ورش عمل دولية في عام 2000 حول إمكانية تطوير إنتاج الهيدروجين الأخضر في الجزائر، غير أن تحديات عديدة حالت دون إحراز تقدم نحو التنفيذ[67]. وفي عام 2021، أعادت وزارة الانتقال الطاقوي والطاقات المتجددة المنشأة حديثاً إدراج موضوع تطوير الهيدروجين الأخضر على جدول الأعمال الوطني في إطار المبادرات الهادفة إلى الانتقال في إنتاج الطاقة.

وفي شباط/فبراير 2021، أطلقت وزارة الانتقال الطاقوي والطاقات المتجددة بالشراكة مع الوكالة الألمانية للتعاون الدولي دراسة عن الهيدروجين الأخضر وPower-to-X. أعقبتها ورشة عمل في نيسان/أبريل 2021 بتنظيم من وزارة الانتقال الطاقوي والطاقات المتجددة ووزارة التعليم العالي والبحث العلمي حول تطوير الهيدروجين الأخضر في الجزائر وتأثيره المحتمل على الانتقال في مجال الطاقة. واختتمت ورشة العمل بالإعلان عن تحالف حول الهيدروجين الأخضر وخطة وطنية جديدة للهيدروجين الأخضر[68]. وفي تموز/يوليو 2021، أصدرت وزارة الانتقال الطاقوي والطاقات المتجددة الأهداف الرئيسية لهذه الخطة الوطنية للهيدروجين الأخضر[69].

كذلك أعربت هيئات أخرى عن اهتمامها بإمكانية تطوير الهيدروجين المنخفض الكربون، حيث اتفقت الشركة الوطنية للنفط والغاز في الجزائر سوناطراك مع شركة إني الإيطالية على إعداد دراسة جدوى لمشروع تجريبي هدفه إنتاج الهيدروجين الأخضر في الجزائر[70].

هذه التطورات الأخيرة أتاحت الفرصة أمام إعادة النظر في مبادرة الهيدروجين المنخفض الكربون كجزء من بدائل الطاقة النظيفة المحتملة في المستقبل. وفي نهاية تشرين الثاني/نوفمبر 2021، أنشأت الحكومة الجزائرية لجنة وطنية لصياغة استراتيجية وطنية للهيدروجين لتطوير الهيدروجين المنخفض الكربون في الجزائر.

ويمكن للجزائر أن تقدّم مزايا عديدة لإمكانيات تطوير الهيدروجين الأخضر، مثل مستويات الإشعاع الشمسي المؤاتية جداً، والمساحات الشاسعة من الأراضي، والبنية

التحتية المتطورة للطاقة. ومع ذلك، يُرجَّح أن يظلّ تطوير إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون هدفاً بعيد المنال حيث تواجه الجزائر تحديات متكرّرة في جهودها الهادفة إلى تحقيق الكهربة النظيفة. وكما هو مبين في الشكل 2، فإن الجزائر لديها حالياً قدرة ضئيلة جداً على إنتاج الطاقة المتجددة.

كذلك أعلنت موريتانيا عن خطط لتطوير قدراتها لإنتاج الهيدروجين الأخضر والأمونيا الخضراء. ومع ذلك تبقى المعلومات المتاحة محدودة بشأن هذه المشاريع الطموحة[72،71].

جيم. صادرات الهيدروجين المخطط لها

لا تزال البلدان الصناعية، مثل بلدان الاتحاد الأوروبي وكوريا الجنوبية واليابان، تركّز على إزالة الكربون من اقتصاداتها. ومن بين البدائل المتاحة لتحقيق مزيج استهلاك الطاقة النظيفة للوفاء بالتزاماتها بتحقيق الحياد المناخي بحلول عام 2050، تعمل على إدخال الهيدروجين المنخفض الكربون، وخاصة في القطاعات التي يصعب فيها كهربة الكربون والحد من انبعاثاته. ولكنّ التوقعات التي قُدِّمت حول استهلاكها المُخطَّط له من الهيدروجين المنخفض الكربون أو الأمونيا القائمة على الهيدروجين المنخفض الكربون تشير إلى أنّ إمداداته المحلية في أوروبا لن تكون كافية لتلبية الطلب المتوقّع على الهيدروجين على المدى الطويل. وهذا يفتح بالتالي المجال أمام استيراده من المنطقة العربية ومن أماكن أخرى.

وفي ما يلي عرض موجز لمشاريع تصدير الهيدروجين من البلدان العربية.

صادرات الهيدروجين المحتملة في شمال أفريقيا

يشير الاتحاد الأوروبي في استراتيجيته للهيدروجين إلى الواردات المحتملة من الهيدروجين المنخفض الكربون من "البلدان المجاورة للاتحاد الأوروبي في أوروبا الشرقية وفي بلدان جنوب وشرق البحر الأبيض المتوسط". ويحدّد بشكل خاص شمال أفريقيا وقربها الجغرافي وحقيقةَ أنَّها يمكن أن توفر إمدادات هيدروجين متجددة تنافسية من حيث التكلفة[73]. ولا تحدد استراتيجية الاتحاد الأوروبي طرق الاستيراد من شمال أفريقيا، ولكن مبادرة أطلقها مشغِّلو خطوط أنابيب الغاز الأوروبيون تسمى العمود الفقري الأوروبي للهيدروجين تشير إلى أنَّ واردات الهيدروجين من شمال أفريقيا، المُخطَّط لها لعام 2040 أو ربما قبل ذلك، سوف تمرُّ عبر إسبانيا وإيطاليا[74]. ومن المحتمل أن يشمل ذلك إمدادات الهيدروجين المنخفض الكربون، من الجزائر، وربما تونس وليبيا والمغرب.

صادرات الهيدروجين المحتملة في الشرق الأوسط

يشكّل الشرق الأوسط مصدراً آخر من مصادر إمدادات الهيدروجين المنخفض الكربون المحتملة نحو أوروبا وبعض البلدان الآسيوية. وقد كثر الكلام عن مشروع خط أنابيب غاز مخطط له في شرق البحر الأبيض المتوسط إلى جنوب أوروبا باعتباره بنية تحتية محتملة للغاز الطبيعي عابر للحدود يمكن استخدامه لنقل الهيدروجين المتجدد المنخفض الكربون، ولكنّ تنفيذ مشروع خط أنابيب الغاز الطموح هذا الذي يبلغ طوله 2,000 كيلومتر لن يتحقّق في أي وقت قريب.

يُرجح أن تُنقل إمدادات الهيدروجين المنخفض الكربون المحتملة من الشرق الأوسط على متن سفن متخصصة إلى آسيا وأوروبا. ففي الوقت الحاضر، لا وجود لمشاريع محددة بوضوح تهدف إلى تصدير غاز الهيدروجين من الشرق الأوسط، باستثناء مشروع نيوم للهيدروجين الأخضر في المملكة العربية السعودية. وقد تمّت شحنة تصدير تجريبية من الأمونيا الزرقاء القائمة على الهيدروجين من مدينة الجبيل الصناعية في المملكة العربية السعودية. نظراً للقيود التي تفرضها تكاليف نقل الهيدروجين النقي عبر مسافات طويلة، فإن الهيدروجين المنخفض الكربون من الشرق الأوسط يُشحن في الغالب في شكل الأمونيا المنخفضة الكربون الأقل كلفةً.

التحديات المحتملة أمام صادرات الهيدروجين

أخيراً، لا بدّ من طرح مسألة المصادر المحتملة من الطاقة النظيفة في المنطقة العربية ومدى كفايتها لإنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون بكميات تلبي الطلب المتوقع على الواردات. وهل يمكن المصادر العربية أن تتنافس مع غيرها من مصادر إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون المحتملة مثل أستراليا (وخاصة بالنسبة إلى الأسواق الآسيوية) وروسيا وشيلي؟ هذه التحديات هي ما يوجزها القسم التالي. كذلك توفّر صادرات الهيدروجين المنخفض الكربون فرصاً للمنتجين الجدد المحتملين في المنطقة العربية، ويمكن أن توفّر على المدى الطويل لمنتجي الهيدروكربون العرب فرص تنويع وحوافز للانتقال السريع في مجال الطاقة، غير أنّ بلوغ هذا الهدف كانت دونه تحدّيات حتى الآن. فالمنتجون الذين تربطهم خطوط أنابيب

الغاز العابرة للحدود مع أوروبا، يمكن أن يحققوا الاستخدام لهذه البنية التحتية للغاز في تجارة الهيدروجين المنخفض الكربون، خاصة مع بدء انخفاض واردات الغاز الأوروبية بشكل كبير بحلول عام 2030 وما بعده، إنّما يُرجّح أن تبقى هذه الفرصة بعيدة المدى.

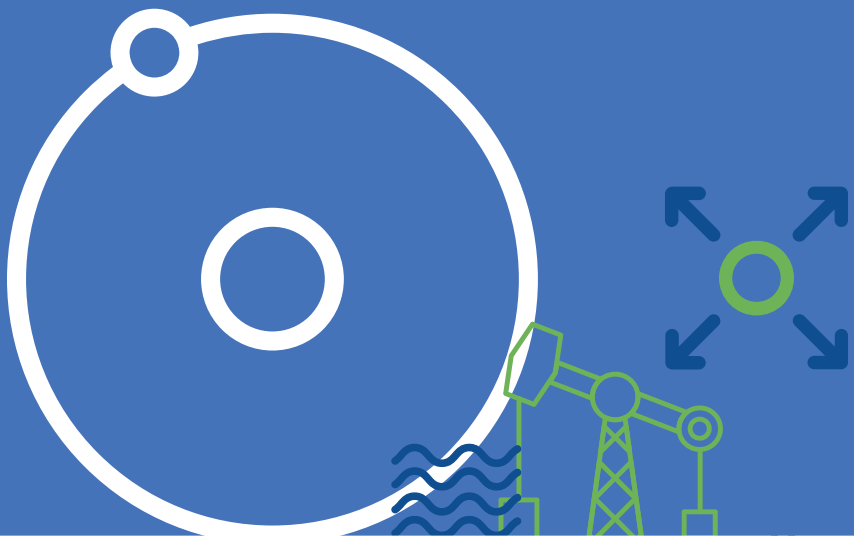
نُهُج التطوير المحتملة للهيدروجين المنخفض الكربون

يُرجَّح أن تعتمد الدول مسارات مختلفة في جهودها الهادفة لإزالة الكربون من اقتصاداتها والتوجّه نحو الحياد الكربوني على المدى الطويل، غير أنّها ستتشارك في ما بينها سمات ترتبط بتطوير مشاريع الهيدروجين الأزرق والأخضر وتنفيذها.

فمشاريع الهيدروجين الأزرق تطلقها وتديرها عادة الشركات الوطنية للنفط والغاز في البلدان المنتجة للهيدروكربون، بالشراكة مع شركات النفط والغاز الدولية وشركات القطاع الخاص المحلية والدولية والهيئات الحكومية في البلدان المستوردة للطاقة. أمّا مشاريع الهيدروجين الأخضر التي ترتبط ارتباطاً وثيقاً بمشاريع الطاقة المتجددة، فيكون للمرافق العامة فيها الدور الريادي إن تطويراً أم تنفيذاً.

كذلك، تتركّز مشاريع الهيدروجين المنخفض الكربون عادةً في التجمعات الصناعية أو المتنزهات أو "الوديان" أو المحاور الجديدة (مثل نيوم)، حيث يُتوقَّع أن تُستهلك معظم كميات الهيدروجين المنخفض الكربون المنتجة محلياً، أو في الموانئ حيث يمكن استهلاكه محلياً و/أو على المدى الطويل في شكل الهيدروجين المنخفض الكربون أو الأمونيا الخضراء.

6 التحديات والفرص



الرسائل الرئيسية

يمكن أن يعمل الهيدروجين الأزرق كجسر فعال للانتقال إلى الهيدروجين الأخضر، ويمكن أن يسمح بالتقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه بإنتاج هيدروجين أزرق أقل تكلفة نسبياً.

تواجه البلدان التي تشارك في تطوير قدرات إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون أو التي تخطط لتطوير هذه القدرات مجموعة من التحديات التقنية والاقتصادية والتنظيمية والتمويلية المترابطة في ما بينها.

تتخطى تكلفة إنتاج الهيدروجين الأخضر بمرتين إلى ثلاث مرات تكلفة إنتاج الهيدروجين الأزرق، ولذا فهي تشكّل حاجزاً رئيساً أمام زيادة القدرة على إنتاجه.

يمكن أن تحدّ الاحتياجات المائية لإنتاج الهيدروجين الأخضر من استخدامه في بعض المناطق التي تعاني من شح المياه. لكنّ المياه المحلاّة لا تضيف سوى حوالى 1 في المائة إلى تكلفة الهيدروجين الأخضر، لذلك يمكن من خلال توفير الآليات المناسبة تجنب قضايا شحّ المياه بل اعتبار إنتاج الهيدروجين الأخضر فرصة لا مخاطرة (وتزويد المجتمعات المحلية بفائض من المياه العذبة).

يُتوقع أنّ تضيق الفجوة في التكلفة بين إنتاج الهيدروجين الأزرق والهيدروجين الأخضر بشكل ملحوظ على المدى الطويل.

تتطلب مواجهة تحديات التمويل إطاراً قانونياً وتنظيمياً ملائماً لدعم زيادة القدرات على إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون.

تتطلّب الجدوى التجارية لمشاريع الهيدروجين المنخفض الكربون زيادة كبيرة في القدرة على إنتاج الهيدروجين، مدعومةً بطلبات آمنة في السوق على المدى الطويل.

ألف. الحواجز التقنية والتجارية

قيود التحجيم

بدءاً بالحواجز التقنية والتجارية المترابطة في ما بينها والتركيز على إنتاج الهيدروجين الأخضر من خلال التحليل الكهربائي، يتمثل التحدي الرئيسي في كون تكنولوجيات التحليل الكهربائي لم تصل بعد إلى الجدوى التجارية اللازمة من أجل الوصول بالانبعاثات إلى مستوى الصفر على المدى الطويل. ويتطلب توسيع نطاق هذه التكنولوجيات وما يصاحبها من تخفيض في تكاليف الإنتاج وقتاً طويلاً وموارد مالية ضخمة. ويؤثر هذا القيد على زيادة القدرة التنافسية للهيدروجين الأخضر من حيث التكلفة وعلى تنفيذ برنامج للهيدروجين الأخضر قابل للطرح تجارياً وللتمويل كما هو مبيّن أدناه.

الكفاءة في استخدام الطاقة

يشكّل عدم كفاءة الطاقة أو فقدان الطاقة في النُظُم المستخدَمة في إنتاج الهيدروجين الأخضر حاجزاً تكنولوجياً آخر. فالوكالة الدولية للطاقة المتجددة تشير إلى خسارة تتراوح ما بين 30 و35 في المائة من الطاقة المستهلَكة في عملية إنتاج الهيدروجين الأخضر عن طريق التحليل الكهربائي. كذلك، يمكن أن يؤدي الانتقال إلى أشكال أخرى، وبخاصة إلى نقل المنتج النظيف، إلى خسائر في الطاقة تتراوح بين 13 و25 في المائة[75]. ومع مرور الوقت، ومع تحسن التكنولوجيا، يمكن الحدّ من هذه الخسائر، غير أنّها تظل عائقاً أمام النّمو في إنتاج الهيدروجين الأخضر وزيادة القدرة الإنتاجية على التسويق القابل للتطبيق.

القيود أمام التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه

يشير التقرير الخاص للفريق الحكومي الدولي المعني بتغيّر المناخ والتقرير الأخير الصادر عن الوكالة الدولية للطاقة بشأن صافي الصفر إلى أهمية التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه في الحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون على المدى القصير إلى المتوسط[77,76].

خلال مرحلة الانتقال إلى الهيدروجين الأخضر و/أو بموازاة إنتاجه، يسمح التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه بإنتاج الهيدروجين الأزرق بتكلفة أقلّ نسبياً. وتستند هذه العملية إلى تكامل التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه من أجل التقاط ثاني أكسيد الكربون و/أو استخدامه و/أو تخزينه. ولكنّ هذه التكنولوجيا لا تزال باهظة الثمن ولم تتطور بعد على النطاق المطلوب للوصول بالانبعاثات إلى مستوى الصفر، حيث لا يُستخدم التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه سوى في عددٍ محدود من المشاريع ضمن بلدان منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي. وفي الوقت الحالي، تعمل 27 منشأة تجارية على مستوى العالم، ثلاث منها فقط في المنطقة العربية[78].

وعلى الرغم من اعتراف الشركات بمَرافق التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه كبديل أساسي للحدّ بسرعة من الانبعاثات والمساعدة في تطوير سوق الهيدروجين المنخفض الكربون، إلا أنّها كانت مترددة للغاية في الاستثمار فيها، وطلبت دعماً قوياً من الحكومات. فالكلفة المرتفعة لتطوير هذه المرافق للوصول بالانبعاثات إلى مستوى الصفر، وتوافر خيارات تخزين مناسبة لثاني أكسيد الكربون، والقبول بمشاريع التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه تشكّل تحديات رئيسية أمام هذه المشاريع، وبالتالي أمام الإنتاج المحتمل للهيدروجين الأزرق.

البنية التحتية المحدودة للنقل

لا يشكّل نقل الهيدروجين المنتَج مشكلة في الوقت الحاضر، حيث يُستهلك الجزء الأكبر من الهيدروجين في موقع تصنيعه أو بالقرب منه. فتكوينات مواقع مصفاة النفط تدمج مثلاً وحدات إنتاج الهيدروجين. في الولايات المتحدة وعدة بلدان أوروبية توجد أيضاً بعض شبكات أنابيب الهيدروجين الصغيرة نسبياً. لكن إزاء التوسّع الكبير الذي قد تشهده

المنطقة العربية مع تعزيز قدرتها على إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون في الاستخدامات المحلية وربما في الصادرات، ستتعرّض البنية التحتية الحالية لأنابيب الهيدروجين لضغوط شديدة للتعامل مع متطلبات النقل المتزايدة المحلية والعابرة للحدود.

القيود أمام استخدام المياه

كمية المياه التي تحتاجها نباتات الهيدروجين الخضراء يمكن أن تحدّ من استخدامها في مناطق معيّنة من العالم. فالاستهلاك الإجمالي المحتمل للمياه العذبة في جميع أنحاء العالم، إذا كان الإنتاج الحالي من الهيدروجين النقي يعتمد على تقنية التحليل الكهربائي للماء، فسيكون 617 مليون متر مكعب، أي ما يعادل 1.3 في المائة فقط من استهلاك المياه في قطاع الطاقة العالمي (وكالة الطاقة الدولية، 2019). ولكنّ المياه المحلاّة تضيف فقط حوالى 1 في المائة إلى تكلفة الهيدروجين الأخضر. ولذلك يمكن، بوجود الآليات المناسبة، تجنّب قضايا شحّ المياه، بل ويمكن اعتبار إنتاج الهيدروجين الأخضر فرصة لا خطراً (وتزويد المجتمعات المحلية بفائض من المياه العذبة).

ولكنّ الرقم الإجمالي العالمي المنخفض المذكور أعلاه حول استهلاك المياه لا يعكس الأثر الاقتصادي والاجتماعي السلبي الذي يمكن أن يُحْدِثُه استخدام المياه العذبة هذا على المناطق التي تعاني من مشاكل حادة في شحّ المياه العذبة. وهذا عامل بالغ الأهمية ينبغي أخذه في الاعتبار في المنطقة العربية، لا سيّما في المناطق الداخلية التي لا تتوفر فيها إمكانية الوصول إلى المصادر الممكنة لمياه البحر المحلاة[79]. وحتى إذا كانت لديها فرصة الوصول إلى مياه البحر، فإنّ تحليتها مكلفة وتتطلّب استهلاكاً كثيفاً للطاقة وينبغي تقييمها في سياق محلي أو إقليمي. ولكنّ استحداث طريقة مستدامة تجارياً وبيئياً لتطوير قدرة إضافية على تحلية مياه البحر من أجل إنتاج الهيدروجين الأخضر يمكن أن تتيح أيضاً فرصاً لتزويد المجتمعات المحلية بالمياه العذبة.

التحديات التقنية الإقليمية

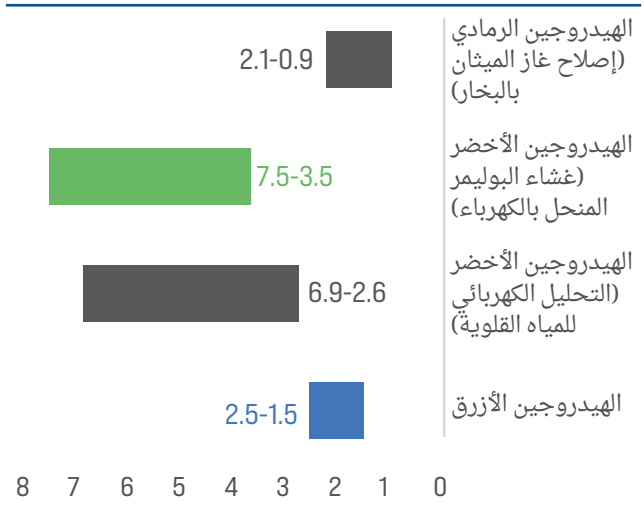
سوف يواجه مطوّرو ومشغلو القدرات على إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون وتحويله ونقله بعض القيود التقنية الإضافية التي تتعلّق بتوافر المهارات والقدرات على تصنيع المكونات التكنولوجية ذات الصلة. مع ذلك، ينبغي أن يكون التغلب على هذه الحواجز أكثر سهولةً عن طريق شراكات وعمليات شراء دولية فعالة يخُطط لها بشكل مناسب، غير أنّ هذه الأخيرة ستقتصر بلا شكّ على مجموعة صغيرة من البلدان العربية.

باء. الاقتصادات المتطورة

لا تزال اقتصادات إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون صعبة للغاية وترتبط ارتباطاً مباشراً بقيود عديدة ومن ضمنها القيود التكنولوجية المذكورة أعلاه. فإنتاج الهيدروجين الأخضر أكثر كلفةً بكثير مقارنةً بإنتاج الهيدروجين الأزرق. وإنتاج الهيدروجين الأزرق لم يتطور بعد على نطاق واسع، غير أنّ خيار الهيدروجين الأزرق الانتقالي المنخفض الكربون يمكن أن يتقدم بسرعة أكبر من خيار الهيدروجين الأخضر. وعلى المدى الطويل، يُتوقع أن تضيق الفجوة في التكلفة بشكل كبير بين إنتاج الهيدروجين الأزرق والأخضر، كما تظهر الأرقام أدناه في حال تعزّزت القدرات على إنتاج الهيدروجين الأخضر كما هو متوقّع.

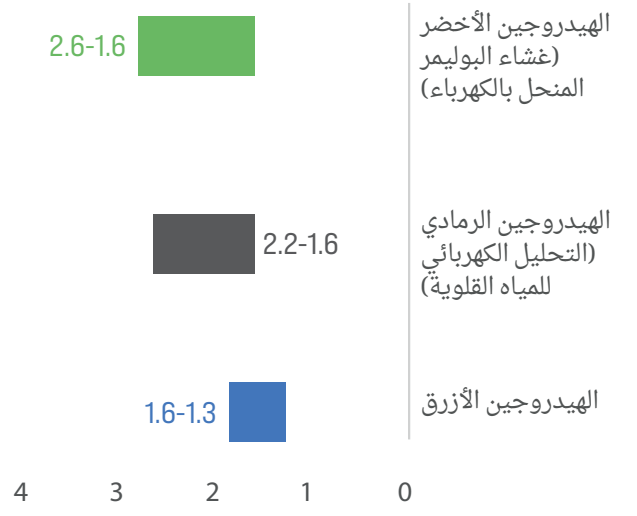
تبين نطاقات تكلفة إنتاج الهيدروجين الإرشادية الواردة في الشكلين 5 و6 أن الهيدروجين الأخضر قد يستغرق نحو عشر سنوات لتحقيق تعادل قريب من التكلفة مع الهيدروجين الأزرق. ويفترض ذلك أنّ التمويل اللازم متاح وأنّ أسواق الهيدروجين المنخفض الكربون تتطوّر بشكل إيجابي خلال هذا الأفق الزمني المفترض. وفي هذه الأثناء، يمكن أن يوفر إنتاج الهيدروجين الأزرق، باستخدام الغاز الطبيعي كمصدر رئيسي من خلال تكنولوجيا إصلاح الميثان بالبخار وبالتقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه، انتقال الهيدروجين المنخفض الكربون إلى هيدروجين أخضر أكثر فعالية من حيث التكلفة، على أن تُعالج بسرعة التحديات المذكورة أعلاه المرتبطة بالتقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه. ولكنّ تحويل الهيدروجين المنخفض الكربون (إلى أشكال خضراء أخرى) أو المنتجات الخضراء (مثل الأمونيا الخضراء) ونقلها يمكن أن يزيد كثيراً من التكلفة التي يتحملها المستخدمون النهائيون، لا سيّما في حالة الإمدادات عبر مسافات طويلة.

الشكل 5. تكاليف إنتاج الهيدروجين الإرشادية: 2019 (دولار أمريكي/كلغ)



المصدر: Kearney Energy Transition Institute, 2020.

الشكل 6. تكاليف إنتاج الهيدروجين الإرشادية: 2025-2030 (دولار أمريكي/كلغ)

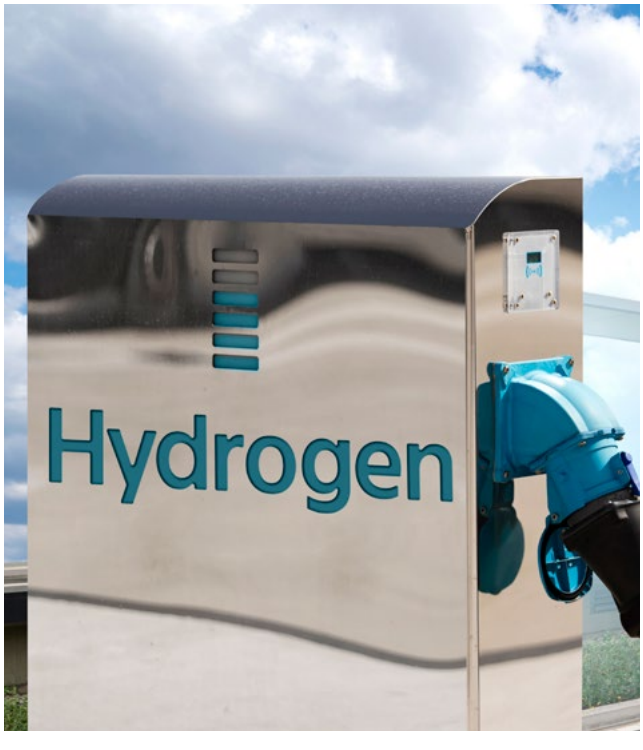


المصدر: Kearney Energy Transition Institute, 2020.

الانتقال إلى الهيدروجين الأزرق

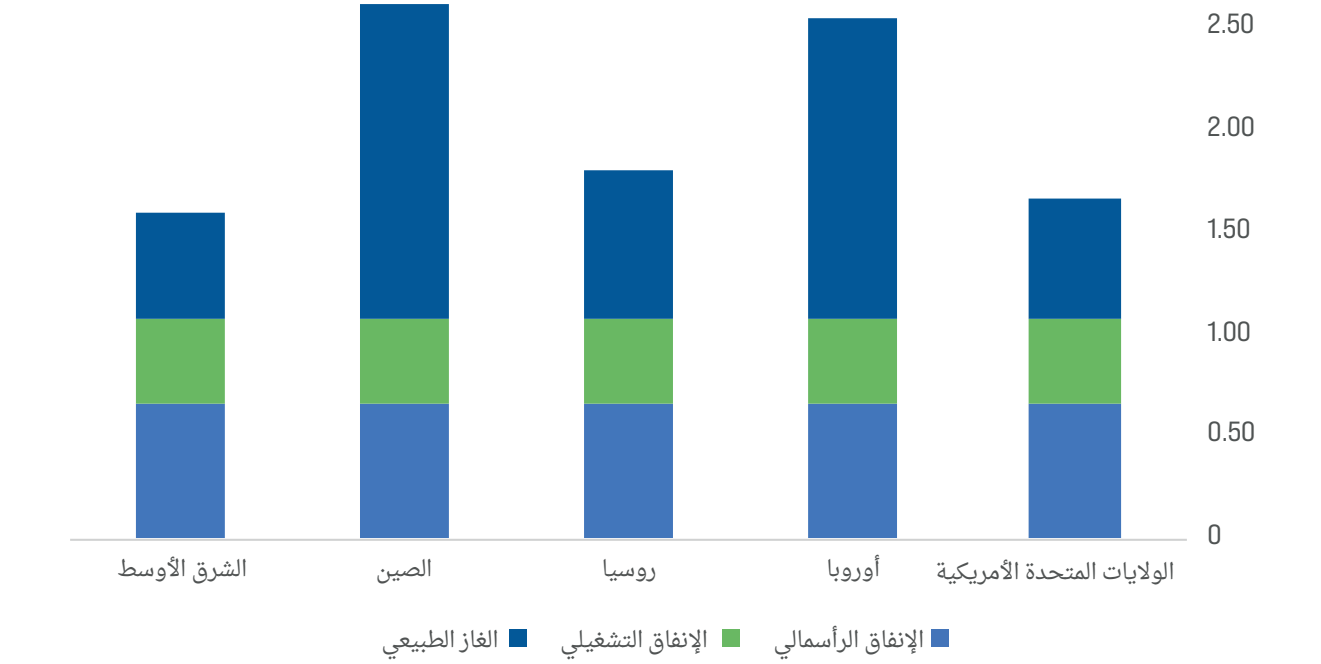
مع إضافة منشآت التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه، ستزداد تكلفة إنتاج الهيدروجين الأزرق مقارنةً بالهيدروجين الرمادي. فالوكالة الدولية للطاقة تشير إلى أنّ إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون سيزداد من حيث الإنفاق الرأسمالي (CAPEX) بمعدّل 50 في المائة تقريباً، ويتضاعف من حيث الإنفاق التشغيلي (OPEX). وترتبط هذه الزيادات المقدّرة في التكاليف بتصميم مصنع إصلاح الميثان بالبخار وموقعه (وكالة الطاقة الدولية، 2019). والزيادة في تكلفة الغاز الطبيعي بسبب إضافة احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه أقل بكثير نسبياً ولكنها عامل مهم عند مقارنة تكاليف إنتاج الهيدروجين الأزرق في مناطق مختلفة من العالم (الشكل 7). وهذا يصحّ في البلدان العربية التي تنتج الغاز الطبيعي، لا سيّما منها البلدان التي تملك فائضاً من الغاز. وإذا افترضنا أن تقديرات الإنفاق الرأسمالي والإنفاق التشغيلي لا تختلف في المتوسط بين المناطق، وهذا لا يحدث دائماً، فإن الشكل 7 يبيّن أنّ الهيدروجين الأزرق المنتج في الشرق الأوسط والولايات المتحدة تنافسي نسبياً من حيث التكلفة مقارنة بالمناطق الأخرى من العالم، حيث يبلغ 0.94 دولار للكيلوغرام الواحد في الشرق الأوسط ودولار واحد للكيلوغرام في الولايات المتحدة.

وفي حالة البلدان المنتجة للغاز في شمال أفريقيا، يمكن أن يكون إنتاج الهيدروجين الأزرق باستخدام الغاز الطبيعي كمصدر رئيسي أكثر صعوبة. ويمكن أن تتسبّب أرصدة الغاز الطبيعي التي تتزايد القيود عليها لدى بلدان منتجة مثل الجزائر ومصر بالحدّ من آفاق نمو إنتاج الهيدروجين الأزرق. على المدى الطويل وفي مرحلة ما بعد النزاع، يمكن أن تكون ليبيا مرشّحة محتملة مع وضع توازن أفضل للغاز الطبيعي، غير أن ذلك سيستغرق وقتاً قد يتجاوز المرحلة الانتقالية.



مع ذلك، تقدّم شمال أفريقيا فرصاً أفضل بكثير لناحية إنتاج الهيدروجين الأخضر باستخدام موارد الطاقة المتجددة الحالية والمحتملة. لذا يُرجَّح أن تتعزَّز في المدى القريب تكلفة إنتاج الهيدروجين الأزرق كميزة تملكها قلّة من البلدان العربية التي لديها فائض من الغاز في منطقة بلدان مجلس التعاون لدول الخليج العربية.

الشكل 7. التكاليف التقديرية لإنتاج الهيدروجين الأزرق - 2018 (دولار أمريكي/كلغ)

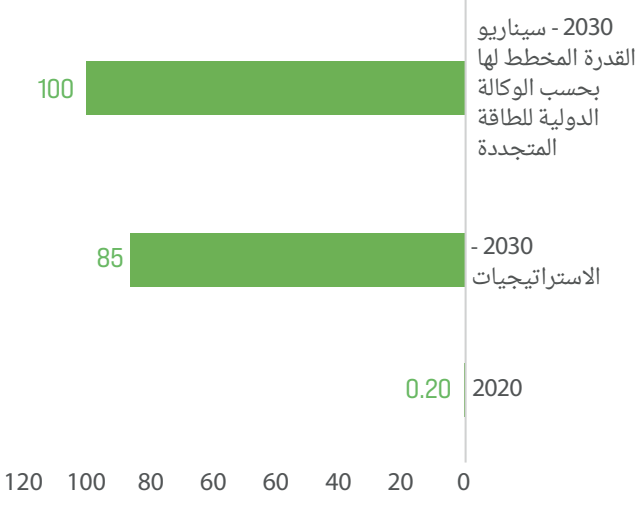


المصدر: الوكالة الدولية للطاقة، 2019.

الطاقة المتجددة والهيدروجين الأخضر

تؤيد أطراف عديدة، لا سيما في أوروبا، الانتقال بشكل أسرع إلى خيار الهيدروجين الأخضر. ويتطلب تحقيق هذا الطموح التطوير سريعاً نحو امتلاك قدرة على التحليل الكهربائي على مدى السنوات العشر القادمة وما بعدها. ففي عام 2020، بلغت طاقة التحليل الكهربائي العالمية الإجمالية 0.2 جيغاواط. وفي حال نُفِّذت جميع الاستراتيجيات التي سبق أن أُعلن عنها، فسوف يؤدي ذلك بحسب الوكالة الدولية للطاقة المتجددة إلى قدرة مركّبة من 85 جيغاواط من التحليل الكهربائي بحلول عام 2030 أي ما يعادل حوالى 85 في المائة من سيناريو القدرة المخطط لها بحسب الوكالة الدولية للطاقة المتجددة وفقاً للشكل التالي[80].

الشكل 8. القدرة المخطط لها للتحليل الكهربائي بحلول عام 2030 (جيغاواط)



المصدر: IRENA, 2020b.

يبيّن الشكل 8 بوضوح التوسع الكبير في قدرة التحليل

الكهربائي المخطط له لعام 2030. فمن المقرّر تنفيذ مشاريع عديدة جديدة في التحليل الكهربائي في مناطق مختلفة من العالم مع إعلانات تشير إلى قدرة أكبر تتجاوز 8 جيغاواط بحلول عام 2030 في أوروبا، و22 جيغاواط في أستراليا، وقدرة مذهلة تتراوح بين 70 و80 جيغاواط بحلول عام 2030 في الصين[81].

وأمّا إدخال الهيدروجين الأخضر بصورة واقعية وفعالة من حيث التكلفة إن في الاستخدامات المنزلية أم في الصادرات أو في كليهما فدونه تحديات عديدة كبيرة ينبغي مواجهتها. ففي الوقت الحاضر، تشكِّل تكلفة إنتاج الهيدروجين الأخضر حاجزاً رئيسياً أمام تطوير قدرة الهيدروجين الأخضر المتزايدة، حيث تقدّر الوكالة الدولية للطاقة المتجددة أنها تتخطى حالياً تكلفة إنتاج الهيدروجين الأزرق بضعفين إلى ثلاثة أضعاف (الشكل 5).

تكلفة إنتاج الهيدروجين الأخضر مدفوعة بثلاثة عناصر متفاعلة رئيسية وهي: تكلفة الاستثمار في التحليل الكهربائي؛ وعامل القدرة (أي نسبة الاستخدام أو ساعات التشغيل) وتكلفة الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة.

على مدى السنوات العشر الماضية، انخفضت التكلفة المستوية للكهرباء المولّدة باستخدام الطاقة الشمسية الكهرضوئية بنسبة 82 في المائة؛ والطاقة الشمسية المركّزة بنسبة 47 في المائة ومصادر الرياح البرية بنسبة 39 في المائة[82]. ويُتوقَّع أن يتواصل تراجع تكاليف التوليد بنسب أعلى بالنسبة إلى تكنولوجيات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. وإنّ بعضاً من هذه الانخفاضات الكبيرة في تكاليف توليد الكهرباء المتجددة ينعكس في مشاريع الطاقة المتجددة في المنطقة العربية. فمشروع الظفرة ذات الطاقة الشمسية الكهرضوئية البالغة 2 جيغاواط في دولة الإمارات العربية المتحدة هو أكبر مشروع للطاقة الشمسية الكهرضوئية في العالم ويتميّز بكونه واحداً من أسعار الكهرباء الأكثر تنافسية في العالم حيث يساوي سعر كل كيلوواط ساعة 0.0135 دولار[83]. أمّا مشروع الشعيبة ذو الطاقة الشمسية الكهرضوئية البالغة 600 ميغاواط في المملكة العربية السعودية فقد حقّق مستوىً أقل لسعر الكيلوواط ساعة الذي وصل إلى 0.0104 دولار[84].

تملك البلدان العربية، مثل الأردن والإمارات العربية المتحدة والمغرب والمملكة العربية السعودية، التي لديها حالياً تكاليف منخفضة وآخذة ربما في الانخفاض في توليد الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة (أي الطاقة الشمسية وطاقة الرياح)، ميزة مقارنة رئيسية في إنتاج الهيدروجين الأخضر. لكن يمكن تقييم هذه الميزة، كما أكّدنا أعلاه عندما يزيد مستوى استخدام التحليلات الكهربائية تبعاً لمدى توافر الكهرباء المتجددة.

وتخطط الإمارات العربية المتحدة ومصر والمغرب والمملكة العربية السعودية لتطوير قدرات كبيرة على توليد الكهرباء باعتماد مصادر الطاقة المتجددة. وإذا تحققت الأهداف الطموحة الواردة في الجدول 3، بحلول 2035/2030، فإن حصة

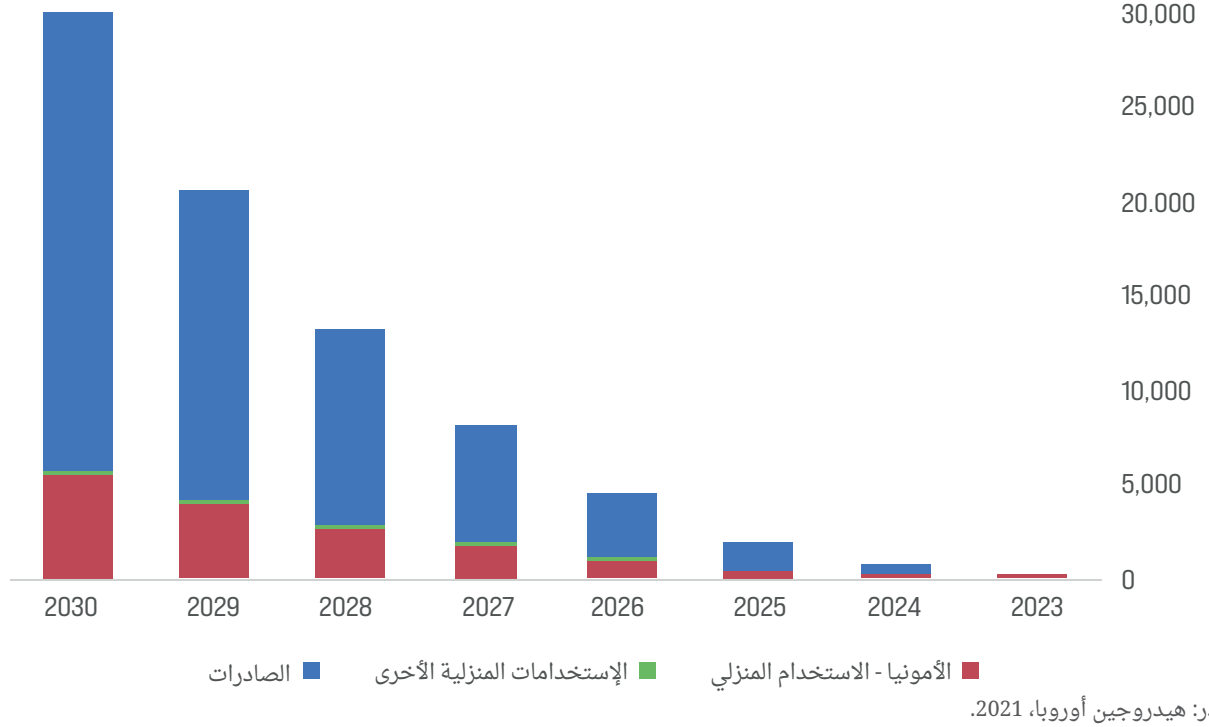
كل بلد من هذه البلدان العربية في مجال الطاقة المتجددة سوف تصل إلى 30 في المائة وتتخطى نسبة 50 في المائة بقليل من مزيج استهلاك الطاقة في كل بلد. ويمكن أن يملك بعض البلدان فائضاً في القدرة على توليد الكهرباء يمكّنه من تخصيص قدرة الطاقة المتجددة للتحليل بالكهرباء، لا سيما خلال الفترات التي ينخفض خلالها استخدام الطاقة الكهربائية (مثل فصل الشتاء)[85].

جيم. القيود أمام التمويل

أمّا خارج منطقة بلدان مجلس التعاون لدول الخليج العربية فتملك بلدان شمال أفريقيا، لا سيّما مصر والمغرب، فرصاً لتعزيز قدرتها المتزايدة في مجال الطاقة المتجددة على إنتاج الهيدروجين الأخضر. ولكنّ بلدان شمال أفريقيا لا تملك الموارد المالية نفسها كما بلدان الخليج، وتواجه تحديات إضافية في تأمين التمويل الخارجي اللازم للقيام بمشاريع تطوير الهيدروجين. لذا سيتعين عليها الاعتماد على شراكات فعالة مع شركات أو مؤسسات دولية ليس فقط من أجل تطوير وتركيب التكنولوجيات ذات الصلة، ولكن أيضا بهدف الاستثمار في سلسلة إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون بأكملها التي تشمل منشآت التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه للهيدروجين الأزرق والوحدات الجديدة لتوليد الكهرباء المتجددة والمحللات الكهربائية للهيدروجين الأخضر، بالإضافة إلى البنية التحتية المتعلقة بالنقل والإرسال والتحويل.

تتطلب الاستثمارات في تطوير الهيدروجين المنخفض الكربون في السوق المحلية وسوق التصدير توفير مستويات عالية من التمويل قادرة على تغطية مختلف أقسام سلسلة الهيدروجين. فسوف يطوّر الاتحاد الأوروبي، تماشياً مع أهداف استراتيجية الهيدروجين الصادرة عنه قدرة محلل كهربائي محلية إجمالية تبلغ 6 جيغاواط بحلول عام 2024، ثمّ ترتفع إلى 40 جيغاواط بحلول عام 2030 بحسب ما هو مبيّن أعلاه. وتشمل خطط أوروبا أيضاً إمكانية تطوير 40 جيغاواط من قدرة التحليل الكهربائي في شمال أفريقيا وأوكرانيا بحلول عام 2030[86].

الشكل 9. قدرة المحلل الكهربائي المخطط لها في شمال أفريقيا وفقاً لخارطة طريق أوروبا (ميغاواط)



المصدر: هيدروجين أوروبا، 2021.

يظهر الشكل 9 أنّ ثلاثة أرباع قدرة المحلّل الكهربائي غير الأوروبية هذه أو 30 جيغاواط منها سوف تنحصر في منطقة شمال أفريقيا بحلول عام 2030[87]. مع ذلك، ليست واضحةً كيفية تمويل هذا البرنامج الطموح قصير الأجل للمحلّل الكهربائي في "الجوار الجنوبي" لأوروبا، لأنّ كلفته سوف تتراوح بين 20 و30 مليار دولار أو تتخطّاها (بحسب التكنولوجيات وحجم القدرة والتوقيت ومعدل خفض تكاليف رأس المال).

استثمارات سنوية تتراوح بين

16 - 25 مليار دولار

على مدى 25 عاماً

لتحقيق قدرة على إنتاج الهيدروجين الأخضر تتراوح بين

50 - 70 مليون طن

وفي منطقة بلدان مجلس التعاون لدول الخليج العربية، أشارت دراسة حديثة أُعدَّت بتكليف من تحالف الهيدروجين في الشرق الأوسط وشمال أفريقيا إلى الحاجة إلى استثمارات سنوية تتراوح بين 16 و25 مليار دولار (وهذا سيناريو متحفّظ) على مدى 25 عاماً بغية تركيب 150 إلى 210 جيغاواط من قدرة التحليل الكهربائي وتحقيق قدرة على إنتاج الهيدروجين الأخضر تتراوح بين 50 و70 مليون طن بحلول عام 2050. وتشمل هذه الاستثمارات النفقات الرأسمالية للتخزين والتحويل والطاقة المتجددة والمحللات الكهربائية[88].

وسوف يكون تنفيذ خطط وسيناريوهات الاستثمار الشديد الارتكاز على رأس المال المذكورة أعلاه في المنطقة العربية أمراً صعباً للغاية. فقد أشار تقرير صادر عن وكالة الطاقة الدولية حول تمويل الانتقال إلى الطاقة النظيفة في الاقتصادات الناشئة والنامية إلى عدم وجود نقص في رأس المال العالمي بل في فرص الاستثمار في الطاقة النظيفة في جميع أنحاء العالم وهي التي توفر عوائد كافية من أجل موازنة المخاطر[89]. فواضح أنّ العائق الرئيسي أمام التمويل هو توافر مشاريع الطاقة النظيفة المجدية تجارياً.

تتطلب الجدوى التجارية لمشاريع الهيدروجين المنخفض الكربون زيادة كبيرة في الطاقة الإنتاجية للهيدروجين

مدعومة بطلب آمن طويل الأجل في السوق مع التزامات شراء تعاقدية كتلك التي سمحت بإطلاق التجارة الدولية للغاز الطبيعي المسال، أقلّه في البداية. كذلك ضمان الاستقرار في الإيرادات بواسطة آليات أخرى، منها العقود مقابل الفروق[90].

مرجح أن تنتظر البنوك التجارية، من بين بنوك أخرى، إزالة المخاطر من مشاريع الهيدروجين المنخفض الكربون قبل تقديم التمويل على النطاق المطلوب. ولذلك، سيكون من الضروري توفير التمويل والحوافز المالية من القطاعين العام والخاص.

وتوصي منظمات مثل مبادرة دي ديزرت إينيرجي بأن تعزّز دول الشرق الأوسط وشمال أفريقيا درايتها الحالية وتجاربها الناجحة في تمويل المشاريع من خلال مؤسسات التنمية الدولية في دول الشرق الأوسط وشمال أفريقيا النامية والبنوك التجارية الكبيرة في بلدان مجلس التعاون لدول الخليج العربية[91].

قد يكون تأمين التمويل في شمال أفريقيا صعباً، وبخاصة لتوسيع قدرة التحليل الكهربائي، إلا أنّه يخضع لقيود أقل تشدّداً نسبياً في أجزاء أخرى من المنطقة العربية، وتحديداً في منطقة بلدان مجلس التعاون الدول الخليج العربية، مثل الإمارات العربية المتحدة والمملكة العربية السعودية. ولكنّه لا يزال يشكّل تحدياً مالياً هاماً يتعيَّن على أصحاب الشأن في القطاعين العام والخاص مواجهته. وبالرغم من دعم المؤسسات الحكومية و/أو الدولية لإطلاق المشاريع في البداية، ليس مرجحاً أن تدعم البلدان العربية المنتجة للهيدروكربون والتي تعاني أساساً من انخفاض كبير في عائدات صادراتها من الهيدروكربون إطلاق برنامج للهيدروجين المنخفض الكربون على نطاق واسع.

دال. الأطر القانونية والتنظيمية

تتطلب مواجهة تحديات التمويل إطاراً قانونياً وتنظيمياً ملائماً لدعم زيادة القدرات على إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون. ونبغي أن يتضمّن هذا الإطار استراتيجيات واقعية صيغت على المستوى الوطني أو الإقليمي بحيث تشكّل أساساً لصياغة إطار قانوني وتنظيمي يدعم تطوير الهيدروجين المنخفض الكربون في كل بلد أو منطقة. سبق أن وضعت بعض البلدان أنظمة أو معايير تغطي جوانب معينة من هذه التطورات الهيدروجينية. وفي الوقت الحاضر، تركّز معظم مبادرات دعم الهيدروجين التي أُطلقت في بلدان مختلفة على استخدام الهيدروجين في قطاعي التنقل والنقل، بينما لم تحظَ أجهزة التحليل الكهربائي حتى الآن سوى بمستوى أقل نسبياً من الدعم، علماً أنّها تشكّل حلقة أساسية من حلقات إنتاج الهيدروجين الأخضر.

في معظم البلدان العربية المنتجة للهيدروكربون، تقدّم الحكومات شكلاً من أشكال الدعم خاصة عن طريق دعم أسعار الطاقة لصناعاتها، غير أنّ الضغوط كبيرة حالياً لخفض أشكال الدعم هذه وإلغائها تدريجياً. فالزيادة المحتملة في تكاليف منتجاتها المصنّعة الناتجة عن إدخال الهيدروجين المنخفض الكربون واستخدامه في صناعات البلدان العربية يشكل تحدياً لصانعي السياسات في المنطقة. في المقابل، يمكن أن تصبح البصمة الكربونية مشكلة للقطاعات الموجهة نحو التصدير، لا سيّما تلك التي سبق لها أن باشرت بتصدير منتجاتها أو التي تخطط لتصديرها إلى الأسواق الأوروبية، وذلك في حال فُرِضت قيود على هذه الأسواق ولم يكن ممكناً تأمين أسواق بديلة.

فقد اعتمد الاتحاد الأوروبي في تموز/يوليو 2021 آلية جديدة لتعديل حدود الكربون تضع سعر الكربون على واردات مجموعة مستهدفة من المنتجات حتى لا يؤدي العمل المناخي في أوروبا إلى "تسرب الكربون"[92]. وتشمل القطاعات التي تغطيها الآلية الجديدة لتعديل حدود الكربون الأسمنت والحديد والصلب والألمنيوم والأسمدة. وهذه قطاعات رئيسية في معظم الدول العربية التي تخطّط لتطوير مشاريع الهيدروجين المنخفض الكربون. لذا لا مفرّ من إزالة الكربون تدريجياً من هذه الصناعات الموجّهة للتصدير بمرور الوقت إذا كانت الأسواق العربية تبغي ولوج الأسواق الأوروبية.

تتكرر مسألة الدعم الذي تقدّمه الحكومات لاعتماد الهيدروجين المنخفض الكربون في إنتاج الهيدروجين الأزرق والأخضر في المناقشات التي تجري على كافة المستويات (الوطنية والإقليمية والدولية) من أجل وضعها ضمن إطار قانوني وتنظيمي.

يمكن أن يكون الانتقال في بعض المناطق أو البلدان هو تدريجياً من اقتصاد الهيدروجين الأزرق إلى اقتصاد

الهيدروجين الأخضر بحيث يسمح بتوسيع نطاق القدرات وخفض التكاليف في المستقبل، بينما تختار بلدان ومناطق أخرى الانتقال مباشرة إلى اقتصاد الهيدروجين الأخضر، وغيرها يرتأي تطوير قدرات الهيدروجين الأزرق والأخضر في آن. لذا فإن الأطر القانونية والتنظيمية تختلف وتعكس بذلك المسارات التي تختارها البلدان أو مجموعات محددة من البلدان.

كانت الدول العربية المنتجة للهيدروكربون تنتج الهيدروجين الرمادي وتستخدمه على مدى العقود العديدة الماضية من دون إطار قانوني وتنظيمي مخصّص يركّز على تطوير إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون واستخدامه (محلياً أو للتصدير) في أي بلد عربي، باستثناء الأنظمة التقنية المتعلقة باستخدام الهيدروجين في قطاع التنقل[93].

المستخدمون الحاليون والمحتملون للهيدروجين في المنطقة العربية هم في الغالب صناعات كبيرة مثل تكرير النفط والبتروكيماويات والصلب. وتواجه هذه الصناعات هوامش ضئيلة (مثل تكرير النفط) أو آفاق نمو متقلبة (مثل تصنيع الصلب) ولن تكون قادرة على استيعاب التكاليف المتزايدة لإمدادات الهيدروجين المنخفض الكربون بسهولة ويمكن أن تعارض دفع أي علاوة في سعر إمدادات الهيدروجين المنخفض الكربون. مع ذلك، لا بدّ من إزالة الكربون أو الحدّ من البصمة الكربونية على المدى الطويل للصناعات العربية المعدّة للتصدير، وخاصة تلك التي يصعُب تخفيفها، وسوف يتعين في مرحلة ما استيعاب هذه التكاليف الإضافية.

يمكن أن تقتصر التطورات المحتملة للهيدروجين المنخفض الكربون في المنطقة العربية على مشاريع التصدير الصغيرة أو التجريبية، لأنّ هذه المسألة تتوقّف على تكلفة نقل الهيدروجين لمسافات طويلة وتطوير سوق دولية للهيدروجين مجدية تجارياً. وبمرور الوقت، يمكن أن تركِّز هذه التطورات في قطاع الهيدروجين المنخفض الكربون على استبدال تدريجي لكميات الكبيرة من الهيدروجين الرمادي المنتَج والمستهلَك بشكل رئيسي في بلدان مجلس التعاون لدول الخليج العربية وشمال أفريقيا. وسيكون الدافع وراء ذلك التهديد الوشيك بفرض ضرائب الكربون المتزايدة على واردات المنتجات الصناعية.

هاء. الفرص المتاحة للبلدان العربية

تبيِّن سلسلة التحديات التي يتناولها هذا القسم أنَّ مستويات صعوبة هذه الحواجز تختلف من منطقة إلى أخرى، بل وحتى في ما بين مختلف البلدان داخل المنطقة الواحدة. والواقع أنّ الفرص تظهر في بلدان يمكّنها وضعها وظروفها من مواجهة هذه التحديات بشكل أفضل.

وفي حالة البلدان العربية، يمكن أن تشكّل العوامل التالية بعض مزايا وفرصاً تميّزها عن غيرها في مجال تطوير قدراتها على إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون.

ففي البلدان العربية الغنية بالغاز، يمكن أن يسمح إنتاج الهيدروجين الأزرق باستخدام الغاز الطبيعي كمصدر أساسي في عملية إصلاح الميثان بالبخار، مقترناً بمرافق التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه بتسهيل الانتقال إلى مرحلة إنتاج الهيدروجين الأخضر منخفض التكلفة عن طريق دعم توسيع قدرة الهيدروجين المنخفض الكربون. ولكن يتعيّن على هذه البلدان العربية المنتجة للهيدروكربون أن تؤدي دوراً أكثر نشاطاً في حشد الاستثمارات الموجّهة نحو توسيع نطاق احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه وفي مرافق التخزين الجيولوجية[94].

أمّا في ما يتعلّق بالتقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه فيمكن استخدام ثاني أكسيد الكربون (CO_2) الملتقط في مشاريع الأسلوب المحسَّن لاستخراج النفط (EOR) وفي بعض الصناعات في البلدان المنتجة للهيدروكربون و/أو تخزينه بأمان بعيداً عن المناطق المأهولة بالسكان في حقول الهيدروكربون المنضبة (حيثما تسمح الظروف الجيولوجية).

ويمكن أن يستفيد إنتاج الهيدروجين الأخضر من إمدادات الكهرباء المتجددة المنخفضة التكلفة ومن توافر المساحات الشاسعة من الأراضي في بعض أجزاء من المنطقة العربية من أجل تطوير قدراتها في مجال الطاقة المتجددة أو توسيع نطاقها.

يمكن أن يشكّل استخدام المياه في إنتاج الهيدروجين الأخضر مشكلة في البلدان ذات موارد المياه العذبة

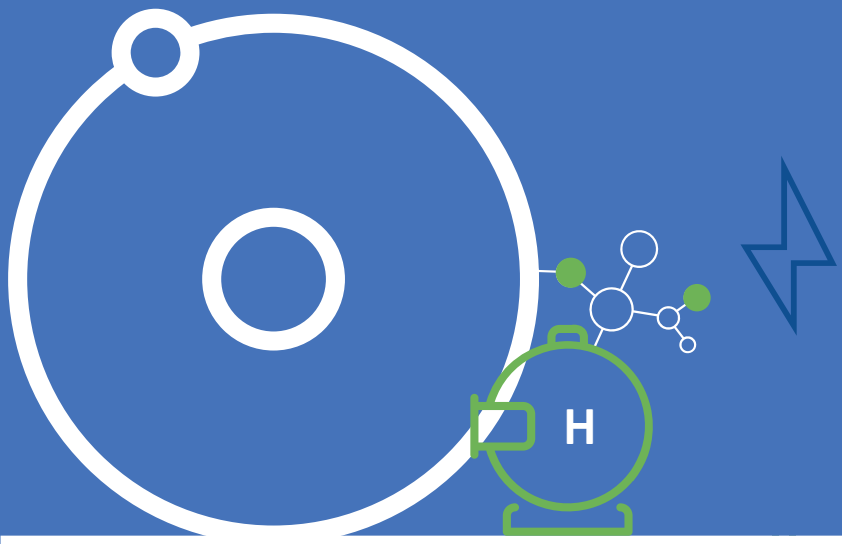
الشحيحة للغاية. ولكن، يمكن أن تعمل بلدان مجلس التعاون لدول الخليج العربية التي تملك صناعات راسخة في مجال تحلية مياه البحر وقدرات إنتاجية كبيرة على تحسين هذه الحالة عن طريق التخفيف من أي آثار سلبية تنتج عن استخدام المياه لتوسيع نطاق هذه القدرات بهدف إنتاج الهيدروجين الأخضر. كما أنّ تطوير القدرات على تحلية المياه على نطاق أوسع يمكن أن يزوّد المجتمعات المحلية بإمدادات إضافية من المياه، بشرط أن تكون القدرة المضافة على تحلية المياه لإنتاج الهيدروجين الأخضر قابلة للتطبيق تجارياً وأن تكون مرافق تحلية المياه ذات بصمة كربونية منخفضة.

تمتلك البلدان المنتجة للغاز في شمال أفريقيا (مثل الجزائر وليبيا) بنية تحتية كبيرة لخطوط أنابيب الغاز الطبيعي العابرة للحدود تربطها بجنوب أوروبا. ويمكن استخدام هذه الروابط من أجل تصدير الهيدروجين، وقد ذُكرت في الخطط الأوروبية المتعلقة باستيراد الهيدروجين الأخضر من شمال أفريقيا. ولكنّ تنفيذ هذه الخطط سوف يستغرق وقتاً طويلاً حتى تتحقق للأسباب الموضحة أعلاه ضمن القسم المتعلق بالتحديات.

تمتلك بعض البلدان العربية الرئيسية المنتجة للهيدروكربون مجمّعات أو مجموعات صناعية كبيرة حيث يمكن وضع مشاريع الهيدروجين المنخفض الكربون بتكاليف أقل من مواقع الحقول الخضراء. ويمكن أن تستهلك الصناعات في هذه المجمّعات محلياً حصصاً كبيرة من إنتاج الهيدروجين.

وأخيراً، يمكن أن يساعد تطوير صناعة الهيدروجين المنخفض الكربون في تحقيق التنويع الاقتصادي بعيداً عن الهيدروكربونات، وهذا هو أحد أكثر الأهداف صعوبة في التحقيق في البلدان المنتجة للهيدروكربون في المنطقة العربية، وتحقيقه يتطلّب فصل صناعة الهيدروجين المنخفض الكربون الجديدة عن صناعة الهيدروكربون الحالية. فصناعة الهيدروجين المنخفض الكربون الجديدة لا يمكن أن تعتمد على مدخلات الهيدروكربون الحالية وعلى بنيتها التحتية لكي تحقق التنوّع الاقتصادي. فإذا كانت صناعة الهيدروجين المنخفض الكربون الجديدة هذه في البلدان المنتجة مستقلة تماماً عن قطاعي النفط والغاز اللذين يشكلان الأساس لما يميّز هذه البلدان عن غيرها، فإنها تخاطر بخسارة قدرتها التنافسية[95]. ولذلك، ينبغي النظر في إيجابيات استراتيجية حقيقية للتنويع الاقتصادي وسلبياته، وفي ما ينبغي لهذه البلدان من تعديلات إقتصادية وفي رأس المال البشري بمرور الوقت لكي تكون قادرة على بلوغ مستويات تنافسية من حيث التكلفة على المستوى الدولي. والنظر في هكذا استراتيجية سوف يختلف بين مختلف مجموعات البلدان العربية المنتجة للهيدروكربون تبعاً لأهمّية قطاع الهيدروكربون في اقتصاد كل بلد من هذه البلدان.

7 النتائج والتوصيات



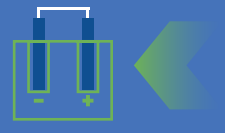
الرسائل الرئيسية

سوف يؤدي الهيدروجين المنخفض الكربون دوراً حاسماً في تحقيق أهداف الحياد الكربوني بحلول عام 2050، إلى جانب كهربة الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة.

ينبغي إنشاء أسواق للهيدروجين المنخفض الكربون من أجل تعزيز القدرات بحيث يكون الهيدروجين الأزرق والأخضر قابلاً للتطبيق تجارياً. ولحلّ هذه المعادلة لا بدّ للحكومة أن تقدّم الدعم والحوافز اللازمة.

يتعين على جميع أصحاب الشأن المعنيين من القطاعين العام والخاص، لا سيّما البلدان المنتجة للهيدروكربون، أن تتخذ إجراءات عاجلة تهدف إلى حشد الاستثمارات من أجل تعزيز قدراتها على التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه بحيث تنتج الهيدروجين الأزرق المجدي اقتصادياً.

يُرجَّح أن تقتصر احتمالات تطوير الهيدروجين الأزرق والأخضر في المنطقة العربية، على مدى السنوات العشر إلى الخمس عشرة المقبلة، على مجموعة صغيرة من البلدان في منطقة بلدان مجلس التعاون لدول الخليج العربية وشمال أفريقيا، حيث ستتركّز المشاريع بشكل رئيسي ضمن المجمعات الصناعية أو التجمعات والموانئ التي يمكن أن تصبح مراكز الهيدروجين المنخفض الكربون في المنطقة العربية.



لم يصل استخدام التحليل الكهربائي الواسع النطاق في إنتاج الهيدروجين الأخضر إلى المستوى المتقدّم بعد ولا تزال تكاليف الإنتاج مرتفعة جداً.

قد يتعيّن توليد مزيد من الطاقة الكهربائية القائمة على الوقود الأحفوري للتعويض عن تخصيص جزء كبير من قدرة الطاقة المتجددة الحالية أو الموسّعة النطاق في إنتاج الهيدروجين الأخضر.

ألف. الخلاصة

سوف يؤدي الهيدروجين المنخفض الكربون دوراً حاسماً في تحقيق أهداف الحياد الكربوني بحلول عام 2050، إلى جانب كهربة الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة. ومما له أهمية خاصة إمكانية استخدامه في القطاعات التي يصعب تخفيفها أو التي يصعب كهربتها حيث لا تكون الكهرباء النظيفة ممكنة. وبما أن مدخلات الكهرباء تمثّل جزءاً كبيراً من تكلفة إنتاج الهيدروجين الأخضر، فإنَّ انخفاض تكاليف الطاقة المتجددة سيضيِّق الفجوة. وفي الوقت نفسه، يجب أن يتّجه الاهتمام نحو أجهزة التحليل الكهربائي، وهي ثاني أكبر عنصر من عناصر التكلفة. وبوجود مرافق إنتاج أكبر، وتوحيد التصاميم، ورؤى من أوائل المتبنّين، يمكن أن تنخفض هذه التكاليف بنسبة 40 في المائة على المدى القصير وتصل إلى 80 في المائة على المدى الطويل. فمن حيث السعر، يمكن أن ينخفض الهيدروجين الأخضر الناتج إلى ما دون 2 دولار/للكيلوغرام الواحد في غضون عقد من الزمان، بحيث يصبح متميّزاً بقدرته على المنافسة من حيث التكلفة[96].

إنّ التركيز على الهيدروجين ليس بالأمر الجديد، ومحاولات تطوير إنتاجه واستخدامه سبق أن حصلت مراراً ولكن من دون جدوى. فأمّا الحماس العالمي مؤخراً لإنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون مدفوع بشكل رئيسي بالاهتمام الدولي المتزايد بمعالجة آثار تغيُّر المناخ عن طريق تحقيق الحياد الكربوني. ويعزّز هذا الحماس الانخفاض المستمر في تكاليف توليد الكهرباء المتجددة، وتكلفة التشغيل الرئيسية لإنتاج الهيدروجين الأخضر من خلال التحليل الكهربائي، وانخفاض تكاليف أجهزة التحليل الكهربائي. ولكنّ هذه التكنولوجيا لم تتقدّم بما يكفي لإنتاج الهيدروجين الأخضر على نطاق واسع، ولا تزال تكاليف الإنتاج مرتفعة جداً.

تُستخدم حالياً تقنية إصلاح الميثان بالبخار في إنتاج معظم كميات الهيدروجين المستهلك عالمياً. والهيدروجين الأزرق يُنتَجُ عندما يقترن بمرافق التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه. فاستخدام الهيدروجين الأزرق كوقود انتقالي يساعد على تعزيز القدرات ويسمح بتخفيضات كبيرة في تكاليف إنتاج الهيدروجين الأخضر[97]. ولكن يتعيّن على جميع أصحاب الشأن المعنيّين من القطاعين العام والخاص، لا سيما البلدان المنتجة للهيدروكربون، أن يتخذوا إجراءات عاجلة من أجل حشد الاستثمارات بهدف تعزيز قدرات التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه.

ينبغي إنشاء أسواق للهيدروجين المنخفض الكربون من أجل تعزيز القدرات بحيث يكون الهيدروجين الأزرق والأخضر قابلاً للتطبيق تجارياً. ولحلِّ هذه المعادلة لا بدّ للحكومة أن تقدّم الدعم والحوافز اللازمة، وأن تضع إطاراً قانونياً وتنظيمياً داعماً وتوفّر له شكلاً من أشكال التمويل إلى أن يتطور السوق ويسمح لمؤسسات القطاع الخاص بالاضطلاع بدور فعّال.

وأمّا في حالة معظم البلدان العربية، فسيكون الدعم المالي الحكومي خاضعاً لقيود شديدة للغاية، هذا إن وجد هكذا دعم أصلاً. فالمستخدمون الحاليون والمحتملون للهيدروجين في المنطقة العربية، وبخاصة الصناعات ذات الهوامش الصغيرة وآفاق النمو المتقلّبة، لن تتمكن بسهولة من استيعاب التكاليف المتزايدة لإمدادات الهيدروجين المنخفض الكربون. ولكنّ آليات تعديل الكربون، التي ستفرضها قريباً الكتل الكبرى مثل الاتحاد الأوروبي وبعض البلدان الآسيوية على استيراد المنتجات الصناعية، يمكن أن تؤثر بشدة على وصول المنتجات الصناعية العربية إلى هذه الأسواق الرئيسية. لذا لا مفرّ من إزالة الكربون عن طريق استبدال إنتاج الهيدروجين الرمادي واستهلاكه في المراكز الصناعية في المنطقة العربية بشكل تدريجي، خاصة في الصناعات التي يصعب تخفيفها. وفي المرحلة الانتقالية، يمكن للبلدان العربية القليلة التي تملك احتياطيات كبيرة من الغاز الطبيعي أن تركّز على إنتاج الهيدروجين الأزرق. أمّا تلك البلدان التي لا تملك موارد الغاز الطبيعي أو تلك التي قررت تنفيذ مشاريع الهيدروجين الأزرق والأخضر على حدٍّ سواء، فسوف يتعيّن عليها أن تحدّد أولوياتها.

لم تتّخذ المنطقة العربية قراراً بأن تتجاوز الحصّة المستهدفة من قدرة الطاقة المتجددة في مزيج استهلاك الطاقة الثلاثين في المائة، إلى جانب عدد قليل من البلدان المختارة التي تهدف إلى بلوغ الخمسين في المائة، ولكن حتى هذه الأهداف المتحفِّظة نسبياً سيكون من الصعب تحقيقها. فإن تخصيص جزء كبير من قدرة الطاقة المتجددة الحالية أو الموسعة النطاق في إنتاج الهيدروجين

الأخضر قد يعني توليد مزيد من الطاقة الكهربائية القائمة على الوقود الأحفوري للتعويض. ولا بدّ أن يؤثر هذا على هدف الحياد الكربوني والهدف 7 من أهداف التنمية المستدامة الذي يشدد على التوسع في استخدام الطاقة النظيفة. وتنطبق الملاحظة نفسها على الدول العربية التي بالغت في الالتزام ببرامج توسّع كبيرة لتوليد الطاقة الكهربائية القائمة على الوقود الأحفوري.

سوف تكون المسيرة نحو تحقيق صناعة الهيدروجين المنخفض الكربون القابل للتطبيق تجارياً طويلة وصعبة. فبحلول عام 2030، نحتاج إلى انخفاض في تكاليف المحلل الكهربائي بنسبة تتراوح بين 75 و80 في المائة بحيث تصل تكلفة الهيدروجين الأخضر إلى حدود 2 دولار/كلغ. ومتى تَحقَّق هذا الهدف، يمكن أن يتوسّع الإنتاج من أجل الوصول إلى أهدافنا لإزالة الكربون المحدّدة لعام 2050، والتي تعتمد على الهيدروجين الأخضر كجزء أساسي من خريطة العمل. وحتى في البلدان العربية التي تملك موارد كبيرة من الغاز الطبيعي، وقدرات عالية في مجال الطاقة المتجددة، وإمكانات مالية مؤاتية، فإن الجدول الزمني اللازم من أجل توسيع نطاق قدرات الهيدروجين الأخضر سوف يستغرق وقتاً، ويُرجَّح أن يتجاوز الفترة 2035/2030. ومن الأهمية بمكان أن يكون هذا الأفق الزمني الطويل واضحاً كما يجب لكي يسمح بوضع مسار (أو مسارات) يمكن تحقيقها على أرض الواقع ويوفّر خياراً واسعاً من التكنولوجيات فيجنّب بالتالي الاستثمار (والانغلاق) في تكنولوجيات قديمة وأصول لا طائل منها.

يُرجَّح أن تقتصر احتمالات تطوير الهيدروجين الأزرق والأخضر في المنطقة العربية، على مدى السنوات العشر إلى الخمس عشرة المقبلة، على مجموعة صغيرة من البلدان في منطقة بلدان مجلس التعاون لدول الخليج العربية وشمال أفريقيا، حيث ستتركّز المشاريع بشكل رئيسي ضمن المجمعات الصناعية أو التجمعات والموانئ التي يمكن أن تصبح مراكز الهيدروجين المنخفض الكربون في المنطقة العربية.

لدينا التكنولوجيا اللازمة لتطوير الهيدروجين المنخفض الكربون، فما نحتاج إليه الآن هو العمل، والسياسات الفعالة التي تسمح بتمكينها.

باء. التوصيات

في ما يلي توصيات مختارة للدول العربية تهدف إلى تسريع تطوير الهيدروجين المنخفض الكربون على الصعيدين المحلي والعالمي:

- تسريع مشاريع الطاقة المتجددة المحلية بهدف زيادة حصة الكهرباء المتجددة في نُظُم الطاقة من أجل ضمان تأمين القدرة الكافية لإنتاج الهيدروجين الأخضر.
- استكشاف تدابير المرونة، بما في ذلك الربط البيني للشبكة الإقليمية، من أجل إدارة التباين المتأصّل في توليد الطاقة الشمسية وطاقة الرياح إدارة فعالة.
- وضع مخططات لإصدار الشهادات والتوحيد القياسي للهيدروجين الأخضر والأزرق تتماشى مع المعايير الدولية.
- الحد من المخاطر من خلال صياغة استراتيجيات الهيدروجين المنخفض الكربون التي تعكس أهداف والتزامات كل بلد في مجال الحياد الكربوني، وثرواته من الطاقة المتجددة وغير المتجددة وقوّته المالية و/ أو قدرته على الوصول إلى مصادر التمويل. كذلك يمكن للحكومات أن تقلِّل من المخاطر عن طريق وضع مبادرات محلية للطلب على الهيدروجين المنخفض الكربون.
- زيادة التمويل العام في مجالات البحث والتعليم والابتكار، فضلاً عن البنية التحتية اللازمة لإنتاج ونقل الهيدروجين المنخفض الكربون ومشتقات الهيدروجين والمنتجات الصناعية المنخفضة الكربون؛ توفير دعم قوي للابتكار لضمان وصول المشاريع إلى مرحلة التسويق وتحفيز إنشاء أسواق بالتعاون مع الجامعات ومراكز البحوث المحلية والبحوث الدولية والشراكات الإنمائية.
- تشجيع مشاركة جميع أصحاب الشأن المعنيّين من القطاعين العام والخاص في المراحل الأوّلية من تصميم الاستراتيجيّة الأولية والحصول على موافقتهم. وينبغي أن تستند الاستراتيجيات إلى تقييمات مستفيضة متعددة التخصصات، تشمل دراسات حول الأثر الاجتماعي والبيئي وتقييمات السوق التي تتأثر بالتكلفة/والسعر.

- تعزيز الخبرات في قطاعي النفط والغاز وكذلك الشراكات الدولية مع شركات النفط والغاز؛ كذلك تعزيز البنية التحتية الحالية في مجالي التكرير والشحن من أجل تسريع الانتقال إلى إنتاج وتصدير الوقود المستدام والمواد الصناعية، وبالتالي التخفيف من الاضطرابات في الاقتصادات والوظائف المحلية في مواجهة الاستراتيجيات العالمية الهادفة إلى إزالة الكربون وآليات تعديل حدود الكربون الواردة.
- وضع أطر قانونية وتنظيمية مناسبة لتحفيز المستثمرين المحليين والدوليين على الاستثمار في إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون؛ التركيز على إزالة الكربون من القطاعات التي يصعب كهربتها ولكن تجنُّب دورة الدعم المتطلّبة مالياً والشديدة المخاطر.
- دراسة جميع العقبات التي يمكن أن تنشأ عن تجارة الوقود والمواد المنخفضة الكربون الجديدة المحتملة مع البلدان والمناطق الأخرى والتعمّق في فهمها (مثل تسعير الكربون أو الشهادات أو ضمانات المنشأ) حيث أنّ معظم الهيدروجين المنخفض الكربون الذي يُحتمل إنتاجه في المنطقة العربية يمكن تصديره في البداية.
- التجارة الدولية للهيدروجين المنخفض الكربون ومشتقاته لا تزال في المرحل الأولى وتحتاج إلى وقت لتطويرها، ولا بد من إعداد ترتيبات تعاقدية تنظيم المعاملات في المستقبل.

المراجع

Adnoc (2020). "H.H. Sheikh Mohamed bin Zayed Commends ADNOC's Agility and Resilience at SPC Meeting", 22 November. Available at https://www.adnoc.ae/en/news-and-media/press-releases/2020/hh-sheikh-mohamed-bin-zayed-commends-adnocs-agility-and-resilience-at-spc-meeting.

ADQ (2021). "Mubadala, ADNOC and ADQ form alliance to accelerate Abu Dhabi Hydrogen leadership", press release, 17 January. Available at https://adq.ae/media/news/mubadala-adnoc-and-adq-form-alliance-to-accelerate-abu-dhabi-hydrogen-leadership.

Air Products (2020). "Air Products, ACWA Power and NEOM Sign Agreement for $5 Billion Production Facility in NEOM Powered by Renewable Energy for Production and Export of Green Hydrogen to Global Markets", 7 July. Available at https://www.airproducts.com/news-center/2020/07/0707-air-products-agreement-for-green-ammonia-production-facility-for-export-to-hydrogen-market.

Al Khowaiter, Ahmad O. and Mufti, Yasser M. (2021). "Saudi Aramco's Perspectives on Hydrogen: Opportunities and Challenges", Oxford Energy Forum, Issue 127, May. Available at https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2021/05/OEF-127.pdf.

Al Reyadah CCUS project (2017). Abu Dhabi. Available at https://www.cslforum.org/cslf/sites/default/files/documents/AbuDhabi2017/AbuDhabi17-SiteVisitInformation.pdf.

Alatawi, Hatem and Abdulelah Darandary (2020). "The Saudi Move into Hydrogen: A Paradigm Shift", KAPSARC, 22 December. Available at https://www.kapsarc.org/research/publications/the-saudi-move-into-hydrogen-a-paradigm-shift/.

Alshammari, Hebshi (2021). "Saudi Arabia aims to generate 50 per cent of power from renewables by 2030", Arab News, 20 January. Available at https://www.arabnews.com/node/1795406/saudi-arabia.

Aramco (2020). "World's first blue ammonia shipment opens new route to a sustainable future", 27 September. Available at https://www.aramco.com/en/news-media/news/2020/first-blue-ammonia-shipment#.

Barlow, Adam and McErlane, Caitlin (2021). "Public and Private Finance for Climate Action Takes Center Stage at COP26", Baker McKenzie, 04 November. Available at https://www.bakermckenzie.com/en/insight/publications/2021/11/public-and-private-finance-for-climate-action.

Barrington, Lisa (2021). "Oman sets up hydrogen alliance to develop clean fuel industry", Reuters, 12 August. Available at https://www.nasdaq.com/articles/oman-sets-up-hydrogen-alliance-to-develop-clean-fuel-industry-2021-08-12.

Bellini, Emiliano (2021). "Saudi Arabia's second PV tender draws world record low bid of $0.0104/kWh", PV Magazine, 8 April. https://www.pv-magazine.com/2021/04/08/saudi-arabias-second-pv-tender-draws-world-record-low-bid-of-0104-kwh/.

Bulletin des Energies Renouvelables (2007). Editorial, Centre de Developpement des Energies Renouvelables, Algiers, 11 June. Available at https://www.cder.dz/bulletin/bull11/ber11.pdf.

Cockayne, James (2021). "Mauritania Eyes a Piece of the Hydrogen Pie", MEES, 01 October. Available at https://www.mees.com/2021/10/1/refining-petrochemicals/mauritania-eyes-a-piece-of-the-hydrogen-pie/76a30060-22b5-11ec-acb1-0d7b250fa802.

Council of Australian Governments Energy Council (2019). "Australia's National Hydrogen Strategy." Available at https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2019-11/australias-national-hydrogen-strategy.pdf.

DEME Group (2020). "DEME and Partners Present Hyport®Duqm, A Large-Scale Green Hydrogen Project In Oman", 03 March. Available at https://www.deme-group.com/news/deme-and-partners-present-hyportrduqm-large-scale-green-hydrogen-project-oman-.

Dickel, Ralf (2020). "Blue hydrogen as an enabler of green hydrogen: the case of Germany", Oxford Institute for Energy Studies, May. Available at https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2020/06/Blue-hydrogen-as-an-enabler-of-green-hydrogen-the-case-of-Germany-NG-159.pdf.

Dii & Roland Berger (2021). "The Potential for Green Hydrogen in the GCC Region", May. Available at https://dii-desertenergy.org/wp-content/uploads/2021/05/The-potential-for-green-hydrogen-in-the-GCC-region.pdf.

Dii Desert Energy (2020). "The Risks and Opportunities of Green Hydrogen Production and Export from the MENA region to Europe", Study on behalf of the Friedrich-Ebert Stiftung, Amman, Jordan, November. Available at http://library.fes.de/pdf-files/bueros/amman/16998.pdf.

Dubai Electricity & Water Authority (2020). "HH Sheikh Ahmed bin Saeed Al Maktoum breaks ground for MENA's first solar-powered Green Hydrogen project at Mohammed bin Rashid Al Maktoum Solar Park", press release, 03 February. Available at https://www.dewa.gov.ae/en/about-us/media-publications/latest-news/2019/02/hh-sheikh-ahmed-bin-saeed-al-maktoum-breaks-ground.

Dunkley, Claire (2021). "Saudi Arabia shoots for hydrogen supremacy", Hydrogen Economist, 08 November. Available at https://www.pemedianetwork.com/hydrogen-economist/articles/strategies-trends/2021/saudi-arabia-shoots-for-hydrogen-supremacy.

Dourian, Kate (2021). "Record Gulf Refining Capacity Additions to Enter A Bleak Market", MEES, 7 January. Available at https://www.mees.com.

Ecofin (2021). "CWP Global développera un projet d'hydrogène vert de 40 milliards $ en Mauritanie", 04 June. https://www.agenceecofin.com/hydrocarbures/0406-88872-cwp-global-developpera-un-projet-d-hydrogene-vert-de-40-milliards-en-mauritanie.

El Moudjahid (2021). "Développement de la filière de l'hydrogène vert, Chitour: Un plan sera présenté au gouvernement", 20 April. Available at https://www.elmoudjahid.com/fr/nation/developpement-de-la-filiere-de-l-hydrogene-vert-chitour-un-plan-sera-presente-au-gouvernement-8744.

Emirates Authority for Standardization and Metrology (2019). "The 1st technical regulation of hydrogen vehicles at the regional level from UAE", ESMA website. Available at https://moiat.gov.ae/en/media-center/blogs/2021/10/18/the-1st-technical-regulation-of-hydrogen-vehicles-at-the-regional-level-from-uae/.

Eni (2021). "Eni: Meeting between the CEO of Sonatrach, Toufik Hakkar, and the General Manager of Eni – Natural Resources, Alessandro Puliti", press release, 07 July. Available at https://www.eni.com/en-IT/media/press-release/2021/07/cs-incontro-ad-sonatrach-dg-eni-nr.html.

European Commission (2020). "A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe", 8 July. Available at https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf.

European Commission (2021). "Carbon Boarder Adjustment Mechanism". Available at https://ec.europa.eu/taxation_customs/green-taxation-0/carbon-border-adjustment-mechanism_en.

Ewing, Richard (2021). "Helios Industry to invest $1bn in green ammonia plant in Abu Dhabi", ICIS, 25. Available at https://www.icis.com/explore/resources/news/2021/05/25/10643901/helios-industry-to-invest-1bn-in-green-ammonia-plant-in-abu-dhabi.

Fattouh, B; Heidug, W; and Zakkour, P (2021). "Transitioning to Net-Zero: CCUS and the Role of Oil and Gas Producing Countries", OIES, June. Available at https://www.oxfordenergy.org/publications/transitioning-to-net-zero-ccus-and-the-role-of-oil-and-gas-producing-countries/.

FuelCellsWorks (2021). "UAE has started building 'first green hydrogen plant in Middle East – Minister". Available at https://fuelcellsworks.com/news/uae-has-started-building-first-green-hydrogen-plant-in-middle-east-minister/.

Gas Exporting Countries Forum (GECF) (2021). "2021 Annual Statistical Bulletin". Available at https://www.gecf.org/insights/annual-statistics-bulletin?d=2021&p=1.

Gas for Climate (2020b). "European Hydrogen Backbone plan", 17 July. Available at https://gasforclimate2050.eu/news-item/gas-infrastructure-companies-present-a-european-hydrogen-backbone-plan/.

Global CCS Institute (2021). 'Global Status of CCS 2021 – CCS Accelerating to Net Zero'. Available at https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/10/2021-Global-Status-of-CCS-Global-CCS-Institute-Oct-21.pdf.

Global CCS Institute (2022). Available at https://www.globalccsinstitute.com/.

Gnana, Jennifer (2020). "Saudi Arabia targets a larger share of hydrogen in its energy mix", The National (UAE), 19 November. Available at https://www.thenationalnews.com/business/energy/saudi-arabia-targets-a-larger-share-of-hydrogen-in-its-energy-mix-1.1113879.

Gnana, Jennifer (2021). "Adnoc and Taqa to form global renewables and hydrogen venture", The National, Abu Dhabi, 17 November. Available at https://www.thenationalnews.com/business/energy/2021/11/17/adnoc-and-taqa-to-form-global-renewables-and-hydrogen-venture/.

GUtech (2020). "Founding Ceremony of the "Oman Hydrogen Centre" to shape Oman's role in the global energy transition", 27 January. Available at https://www.gutech.edu.om/founding-ceremony-oman-hydrogen-centre-shape-omans-role-global-energy-transition/.

Habib, Ali and Ouki, Mostefa (2021). "Egypt's low carbon hydrogen development prospects", Oxford Institute for Energy Studies, November. Available at https://www.oxfordenergy.org/publications/egypts-low-carbon-hydrogen-development-prospects/.

Hasan and others (2019). "Abu Dhabi Electricity Sector: Features, Challenges and Opportunities for Market Integration", February 2019. Available at https://www.kapsarc.org/research/publications/abu-dhabi-electricity-sector-features-challenges-and-opportunities-for-market-integration/.

Hasni, Tewfik and others (2021). "L'Algérie 100% Énergies Renouvelables – Recommandations pour une stratégie nationale de transition énergétique", Friedrich-Ebert Stiftung, January. Available at http://library.fes.de/pdf-files/bueros/algerien/17412.pdf.

Hoffman, Christian and others (2020). "Decarbonization Challenge for Steel – Hydrogen as a solution", McKinsey, April. Available at https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Industries/Metals%20and%20Mining/Our%20Insights/Decarbonization%20challenge%20for%20steel/Decarbonization-challenge-for-steel.pdf.

Hydrogen Europe (2021). "Hydrogen Act: Towards the Creation the European Hydrogen Economy", April. Available at https://www.hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2021/04/2021.04_HE_Hydrogen-Act_Final.pdf.

Hydrogen Europe (2022). Website. Available at https://hydrogeneurope.eu.

Hydroma (2021). Website. Available at https://hydroma.ca/en/.

HyLAW Online Database (2022). Available at https://www.hylaw.eu/.

Hyzon (2021). "Hyzon Motors, Neom and Modern Group Plan to Collaborate on Hydrogen-Powered Vehicle Value Chain", press release, 29 April. https://hyzonmotors.com/neom-and-modern-group-plan-to-collaborate-on-hydrogen-powered-vehicle-value-chain/.

Ingram, Jamie (2021). "Abu Dhabi Targets Game-Changing Hydrogen Expansion", MEES, 22 January. Available at https://www.mees.com/2021/1/22/refining-petrochemicals/abu-dhabi-targets-game-changing-hydrogen-expansion/059052f0-5cb4-11eb-ae5c-c96834f90699.

Ingram, Jamie (2021). "Fertiglobe To Develop 1mn t/y Abu Dhabi Blue Ammonia Plant", MEES, 25 June. Available at https://www.mees.com/2021/6/25/refining-petrochemicals/fertiglobe-to-develop-1mn-ty-abu-dhabi-blue-ammonia-plant/492fc760-d5ac-11eb-a784-112dd762c3d8.

International Energy Agency (2019). "The Future of Hydrogen: Seizing today's opportunities". Report prepared by the IEA for the G20, Japan, Paris, June. Available at https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen.

International Energy Agency (2020). "World Energy Outlook 2020", Paris. Available at https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020.

International Energy Agency (2021a). "Financing Clean Energy Transition in Emerging and Developing Economies", June. https://www.iea.org/reports/financing-clean-energy-transitions-in-emerging-and-developing-economies.

International Energy Agency (2021b). "Global Hydrogen Review 2021". Paris, October. Available at https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021.

International Energy Agency (2021c). "Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector", May. https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050.

International Renewable Energy Agency (2020a). "How Falling Costs Make Renewables a Cost-effective Investment", IRENA articles, 02 June. Available at https://www.irena.org/newsroom/articles/2020/Jun/How-Falling-Costs-Make-Renewables-a-Cost-effective-Investment.

International Renewable Energy Agency (2020b). "Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up renewables to meet the 1.5oC climate goal", December. Available at https://irena.org/publications/2020/Dec/Green-hydrogen-cost-reduction.

International Renewable Energy Agency (2020c). "Green Hydrogen: A Guide to Policy Making", November. Available at https://www.irena.org/publications/2020/Nov/Green-hydrogen.

International Renewable Energy Agency (2021a). "Green Hydrogen Supply: A Guide to Policy making", May. https://www.irena.org/publications/2021/May/Green-Hydrogen-Supply-A-Guide-To-Policy-Making.

International Renewable Energy Agency (2021b). "Renewable Capacity Statistics 2021", August. Available at https://www.irena.org/publications/2021/Aug/Renewable-energy-statistics-2021.

Ionomr innovations (2021). "Hydrogen electrolysis". Available at https://ionomr.com/applications/hydrogen-electrolysis/.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2018). "Special Report – Global Warming of 1.5oC: Summary for Policy Makers." Available at https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf.

Kearney Energy Transition Institute (2020). "Hydrogen applications and business models – Going Blue and Green?". Available at https://www.kearney.com/documents/17779499/18269679/Hydrogen+FactBook+Final+-+June+2020.pdf/01ae498b-3d38-deca-2a61-6f107699dde1?t=1592252815706.

Kearney Energy Transition Institute (2021). "Carbon Capture Utilization and Storage", 8 January. Available at https://www.kearney.com/documents/17779499/17781864/CCUS-2021+FactBook.pdf/718e94af-1536-b23e-1ac9-a4de74ffef25?t=1623398953000.

Vision 2030 of the Kingdom of Saudi Arabia (2016). "Saudi Vision 2030." Available at https://www.vision2030.gov.sa/en/themes/2.

Kordvani, Amir and Salah, Fatma (2020). "Hydrogen Law and Regulation in the Middle East", CMS, 8 September. Available at https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-hydrogen/middle-east.

Koyama, Ken (2021). "The Role of Hydrogen in Japan's Energy Transition Towards 2050 Carbon Neutrality", Oxford Energy Forum, Issue 127, May. Available at https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2021/05/OEF-127.pdf.

Linde-gas (2021). "Hydrogen in Refining." Available at https://www.linde-gas.com/en/processes/petrochemical-processing-and-refining/hydrogen_applications_refineries/index.html.

Magoum, Inès (2020). "Maroc: le pays signe un accord avec l'Allemagne pour l'hydrogène vert", Afrik21, 15 June. Available at https://www.afrik21.africa/maroc-le-pays-signe-un-accord-avec-lallemagne-pour-lhydrogene-vert/.

Masdar (2020). "EWEC Announces Partners to Develop the World's Largest Solar Power Plant", 26 July. Available at https://news.masdar.ae/en/news/2020/07/26/07/39/ewec-announces-partners-to-develop-the-worlds-largest-solar-power-plant.

Masen (2020). "Masen Prépare un Méga Projet dans l'hydrogène Vert, une 1ère en Afrique", 20 November. Available at https://www.masen.ma/fr/actualites-masen/masen-prepare-un-mega-projet-dans-lhydrogene-vert-une-1ere-en-afrique.

METI Ministry of Economy, Trade and Industry (2017). "Basic Hydrogen Strategy". Available at https://www.meti.go.jp/english/press/2017/pdf/1226_003a.pdf.

Mills, Robin (2021). "Under a Cloud: The Future of Middle East Gas Demand", Columbia Center on Global Energy Policy, Columbia University, April. Available at https://www.energypolicy.columbia.edu/research/report/under-cloud-future-middle-east-gas-demand.

Ministere de la Transition Energetique et des Energies Renouvelables (2021). Available at https://www.mteer.gov.dz/bilan07/mobile/index.html#p=21.

Ministere de l'Energie, des Mines et de l'Environnement (2021a). "Hydrogène vert vecteur de transition énergétique et de croissance durable", 21 August. Available at https://www.mem.gov.ma/Pages/actualite.aspx?act=278.

Ministere de l'Energie, des Mines et de l'Environnement (2021b). "Principales actions réalisées par le Maroc". Available at https://www.mem.gov.ma/Pages/secteur.aspx?e=2&prj=7.

Ministry of Energy, Government of Chile (2020). "National Green Hydrogen Strategy: Chile, a clean energy provider for a carbon neutral planet", November. Available at https://energia.gob.cl/sites/default/files/national_green_hydrogen_strategy_-_chile.pdf.

Murphy, Joseph (2021). "UAE targets 25% of Global Hydrogen Market", Natural Gas World, 05 November. Available at https://www.naturalgasworld.com/uae-targets-25-of-global-hydrogen-market-93674?utm_medium=email&utm_campaign=Weekly%20Complimentary%20News&utm_content=Weekly%20Complimentary%20News+CID_ed7b6911d9f558bc7a7f6c03f778a5cb&utm_source=Campaign%20Monitor&utm_term=UAE%20TARGETS%2025%20OF%20GLOBAL%20HYDROGEN%20MARKET.

Oman News Agency (2020). "EJAAD Highlights Oman's Hydrogen Economy Strategy", 18 February. Available at https://omannews.gov.om/NewsDescription/ArtMID/392/ArticleID/8555/EJAAD-Highlights-Omans-Hydrogen-Economy-Strategy.

OPEC (2021). "Annual Statistical Bulletin 2021". Available at https://www.opec.org/opec_web/en/publications/202.htm.

Ouki, Mostefa (2020). "MENA – Could intra-regional gas trade be refocused as a result of the ongoing global crises?", Oxford Institute for Energy Studies, May. Available at https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2020/05/MENA-Could-intra-regional-gas-trade-be-refocussed-as-a-result-of-the-ongoing-global-crises-.pdf.

Lambert, Martin (2020). "Hydrogen and decarbonisation of gas: false dawn or silver bullet?", Oxford Institute for Energy Studies, Energy Insight 66, March. Available at https://www.oxfordenergy.org/publications/hydrogen-and-decarbonisation-of-gas-false-dawn-or-silver-bullet/.

Power Technology (2020). "Sohar Port plans hydrogen hub", 05 November. Available at https://www.power-technology.com/comment/sohar-port-plans-hydrogen-hub/.

Poudineh, Rahmatallah and Fattouh, Bassam (2020). "Diversification Strategy Under Deep Uncertainty for MENA Oil Exporting Countries", OIES, May. Available at https://www.oxfordenergy.org/publications/diversification-strategy-under-deep-uncertainty-for-mena-oil-exporting-countries/.

Rami Shabaneh and others (2020). "World's First Blue Ammonia Shipment Signals Prospective New Low-Carbon Energy Trade for Saudi Arabia", KAPSARC, 2 November. Available at https://www.kapsarc.org/research/publications/worlds-first-blue-ammonia-shipment-signals-prospective-new-low-carbon-energy-trade-for-saudi-arabia/.

Regional Center for Renewable Energy and Energy Efficiency (2019). "Arab Future Energy Index (AFEX) – Renewable Energy 2019", Cairo. Available at https://www.rcreee.org/sites/default/files/final_afex_re_2019_final_version-1.pdf.

Reuters (2021). "UAE targets 25% of global hydrogen fuel market by 2030". Available at https://www.reuters.com/business/cop/uae-targets-25-global-hydrogen-fuel-market-by-2030-2021-11-04/.

Rutger Willem Hofste, Paul Reig and Leah Schleifer (2019). "17 Countries, Home to One-Quarter of the World's Population, Face Extremely High Water Stress", World Resources Institute, 6 August. Available at https://www.wri.org/insights/17-countries-home-one-quarter-worlds-population-face-extremely-high-water-stress.

Saudi – Japan Vision 2030 (2017). Available at https://www.mofa.go.jp/files/000237093.pdf.

Siemens (2021). Egypt Megaproject. Website. Available at https://new.siemens.com/eg/en/company/topic-areas/egypt-megaproject.html.

Siemens Energy (2021). "Siemens Energy and partners inaugurate first industrial scale Green Hydrogen Project in the Middle East and North Africa", press release, 19 May. Available at https://press.siemens-energy.com/global/en/pressrelease/siemens-energy-and-partners-inaugurate-first-industrial-scale-green-hydrogen-project.

Smati, Said (2021). "Chitour Évoque une Nouvelle Entité pour Piloter les Appels d'offres: une "Sonelgaz bis" pour le Renouvelable", Liberte, Algiers, 20 January. Available at https://www.liberte-algerie.com/economie/une-sonelgaz-bis-pour-le-renouvelable-352743.

SNAM (2019). "The Hydrogen Challenge: the potential of hydrogen in Italy", October. Available at https://www.snam.it/it/hydrogen_challenge/repository_hy/file/The-H2-challenge-Position-Paper.pdf.

Stevenson, Peter (2021). 'Egypt: Green Hydrogen Plan', MEES, 15 October. Available at https://www.mees.com/2021/10/15/news-in-brief/egypt-green-hydrogen-plan/7faaf8c0-2db1-11ec-a6c6-1febf54ae6ac.

Think 20/G20 (2020). "A Carbon Management System of Innovation: Towards A Circular Carbon Economy", Task Force 2: Climate Change and Environment Policy Brief. Available at https://t20saudiarabia.org.sa/en/briefs/Pages/Policy-Brief.aspx?pb=TF2_PB4.

UAE Energy Strategy 2050 (2021). Available at https://u.ae/en/about-the-uae/strategies-initiatives-and-awards/federal-governments-strategies-and-plans/uae-energy-strategy-2050.

UN Climate Change Conference UK 2021 (2021a). "COP26 THE GLASGOW CLIMATE PACT". Available at https://ukcop26.org/mdb-joint-climate-statement/.

UN Climate Change Conference UK 2021 (2021b). "The Outcomes". Available at https://ukcop26.org/wp-content/uploads/2021/11/COP26-Presidency-Outcomes-The-Climate-Pact.pdf.

Uniper (2021). "HYPORT® Duqm signs cooperation agreement with Uniper to explore green ammonia offtake", press release, 19 July. Available at https://www.uniper.energy/news/hyport-duqm-signs-cooperation-agreement-with-uniper-to-explore-green-ammonia-offtake.

United Nations Framework Convention for Climate Change (2015). "The Paris Agreement". Available at https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement.

United Nations Framework Convention for Climate Change (2020). "Second Nationally Determined Contribution of the United Arab Emirates", December. Available at https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/United%20Arab%20Emirates%20Second/UAE%20Second%20NDC%20-%20UNFCCC%20Submission%20-%20English%20-%20FINAL.pdf.

van Wijk, Ad and Jorgo Chatzimarkakis (2020). "Green Hydrogen for a European Green Deal A 2x40 GW Initiative", Hydrogen Europe, March. Available at https://www.hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2021/05/Hydrogen-Europe_2x40-GW-Green-H2-Initative-Paper.pdf.

World Bank (2021). "CO2 emissions (metric tons per capita)". Available at https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC?name_desc=false.

Zakkour, Paul and Heidug, Wolfgang (2019). "A Mechanism for CCS in the Post-Paris Era: Piloting Results-Based Finance and Supply Side Policy Under Article 6", KAPSARC, April. Available at https://www.kapsarc.org/research/publications/a-mechanism-for-ccs-in-the-post-paris-era/.

الحواشي

1 البنك الدولي، 2021.
2 في هذه الورقة يشمل "الهيدروجين المنخفض الكربون" الهيدروجين الأزرق والأخضر على حد سواء.
3 Kearney Energy Transition Institute, 2020.
4 Hydroma, 2021.
5 "باستثناء حوالى 30 طناً من الهيدروجين الموجود في الغازات المتبقية من العمليات الصناعية المستخدمة للحرارة والكهرباء" (الوكالة الدولية للطاقة، 2021).
6 PCBS, 2021b.
7 International Energy Agency (IEA), 2019.
8 IEA, 2021.
9 IEA, 2019.
10 قد تصل النسب المئوية لحجم الهيدروجين الممزوج إلى 20 في المائة أو أكثر في بعض الحالات، تبعاً للأنظمة المحلية والوطنية، وأنواع أو ظروف البنية التحتية للغاز. والبحوث جارية لرفع هذه النسبة المئوية.
11 Kearney Energy Transition Institute, 2020.
12 IEA, 2019.
13 Linde-gas, 2021.
14 Hoffman, Christian and others, 2020.
15 IEA, 2019.
16 مشروع الريادة لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه، 2017.
17 أنظر القسم المتعلق بإمكانيات الطاقة المتجددة، تحت عنوان "الإضافة إلى الطاقة المتجددة".
18 Zakkour, Paul and Heidug, Wolfgang, 2019.
19 Global CCS Institute, 2022.
20 International Renewable Energy Agency (IRENA), 2021b.
21 المركز الإقليمي لكفاءة الطاقة والطاقة المتجددة، 2019.
22 عند مقارنة القدرات على إنتاج الطاقة المركبة، تجدر الإشارة إلى أن مستوى الكهرباء المولّدة من محطات الطاقة المتجدّدة سيكون أقل من مستوى الكهرباء المنتجة من المحطات الحرارية ذات القدرة المركبة نفسها.
23 Robin Mills, Robin, 2021.
24 ستزيد الطاقة النووية من حصتها من مزيج استهلاك الطاقة طويل الأجل في الإمارات العربية المتحدة مع اكتمال برنامج الطاقة النووية.
25 IRENA, 2020c.
26 van Wijk, Ad and Jorgo Chatzimarkakis, 2020.
27 تصدّر الجزائر ومصر الغاز عبر خطوط أنابيب الغاز العابرة للحدود، لكنّ أيّاً من البلدين لا يملك حالياً فائضاً من الغاز.
28 Ouki, Mostefa, 2020.
29 Dii and Roland Berger, 2021.
30 استراتيجية الطاقة الإماراتية 2050، 2021.
31 هيئة كهرباء ومياه دبي، 2020.
32 Abu Dhabi National Oil Company (Adnoc), 2020.
33 Ingram, Jamie, 2021.
34 FuelCellsWorks، 2021.
35 اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيّر المناخ، 2020.
36 ADQ, 2021.
37 Ingram, Jamie, 2021.
38 Ewing, Richard, 2021.
39 Siemens Energy, 2021.
40 هيئة الإمارات للمواصفات والمقاييس، 2019.
41 Reuters, 2021.
42 Gnana, Jennifer, 2021.
43 Murphy, Joseph, 2021.
44 رؤية المملكة العربية السعودية 2030، 2016.
45 Alshammari, Hebshi, 2021.
46 Think 20/G20, 2020.
47 Alatawi, Hatem and Abdulelah Darandary, 2020.
48 Gnana, Jennifer, 2020.
49 Air Products, 2020.
50 Hyzon, 2021.
51 Shabaneh and others, 2020.
52 Aramco, 2020.

53 Dunkley, Claire, 2021.
54 https://www.ejaad.om.
55 وكالة الأنباء العمانية، 2020.
56 GUtech, 2020.
57 Barrington, Lisa, 2021.
58 وزارة الطاقة، والمناجم والبيئة، 2021b.
59 Magoum, Inès, 2020.
60 Masen, 2020.
61 Dii Desert Energy, 2020.
62 وزارة الطاقة، والمناجم والبيئة، 2021a.
63 Siemens, 2021.
64 Stevenson, Peter, 2021.
65 Ali, Habib and Ouki, Mostefa, 2021.
66 Hasni, Tewfik and others, 2021.
67 نشرة الطاقات المتجددة، 2007.
68 El Moudjahid, 2021.
69 وزارة الانتقال الطاقوي والطاقات المتجددة، 2021.
70 Eni, 2021.
71 Cockayne, James, 2021.
72 Ecofin, 2021.
73 المفوضية الأوروبية، 2020.
74 الغاز من أجل المناخ، 2020b.
75 IRENA, 2020c.
76 الفريق الحكومي الدولي المعني بتغيّر المناخ، 2018.
77 IEA, 2021c.
78 Global CCS Institute, 2021.
79 Rutger Willem Hofste, Paul Reig and Leah Schleifer, 2019.
80 IRENA, 2020b.
81 IRENA, 2021b.
82 IRENA, 2020a.
83 Masdar, 2020.
84 Bellini, Emiliano, 2021.
85 Hasan and others, 2019.
86 van Wijk, Ad and Jorgo Chatzimarkakis, 2020.
87 سوف تضمّ جميع بلدان شمال أفريقيا من المغرب إلى مصر، لكن يُرجَّح أن ينصبَّ التركيز في البداية على المغرب التي سبق لها أن دخلت في شراكة دولية ووضعت برنامجاً موسّعاً للطاقة المتجدِّدة.
88 Dii & Roland Berger, 2021.
89 IEA, 2021a.
90 Al Khowaiter, Ahmad O. and Mufti, Yasser M.,2021.
91 Dii Desert Energy, 2020.
92 المفوضية الأوروبية، 2021.
93 Kordvani, Amir and Salah, Fatma, 2020.
94 Fattouh, B; Heidug, W; and Zakkour, P, 2021.
95 Poudineh, Rahmatallah and Fattouh, Bassam, 2020.
96 IRENA, 2020b.
97 Dickel, Ralf, 2020.

تنويع مزيج استهلاك الطاقة هو جانب رئيسي من جوانب الانتقال في مجال الطاقة. فإلى جانب التسريع في استغلال الطاقة المتجددة وكهربة القطاعات ذات الصلة، ينبغي استكشاف ناقلات الطاقة البديلة، بما في ذلك مشتقات الهيدروجين والهيدروجين بحيث يكون الانتقال عادلاً ومستداماً.

يركز هذا التقرير على التطورات الحالية والمخطط لها في مجال الهيدروجين في المنطقة العربية، ويستكشف التحديات والفرص الرئيسية في مجال إنتاج الهيدروجين واستخدامه لدعم انتقال الطاقة في المنطقة في إطار خطة التنمية المستدامة لعام 2030 .

كما يتناول التقرير القرارات التي اتّخذتها عدة دول مؤخراً بإدخال أهداف انبعاثات غازات الدفيئة الصافية للوصول إلى مستوى الصفر بحلول عام 2050 ، ويناقش الآثار المترتبة على الإنتاج المستدام للهيدروجين.

22-00129