



giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

نحو استراتيجية عربية للهيدروجين الأخضر

تقييم فرص الهيدروجين الأخضر في المنطقة العربية



صدر هذا المنشور نيابة عن وزارة الشؤون الاقتصادية والعمل المتناخي

الطباعة

دويتشه جيسيلشافت فور انترناشيونال زوساميناربيت (جي آي زيد)

جي إم بي إتش

المكاتب المسجلة في بون وإشبورن، ألمانيا

اسم المشروع: تقديم المشورة والدعم لشركات الطاقة الثنائية في البلدان
النامية والناشئة

شارع كوتنر. 2-3

10963 برلين

الهاتف: +49 30 33 84 24 473

الفاكس: +49 30 33 84 22 473

البريد الإلكتروني: energypartnerships@giz.de

الموقع الإلكتروني: www.giz.de

الكاتب:

نيكلاس حايك

بتكليف من:

الوزارة الاتحادية للشؤون الاقتصادية والعمل المناخي

11019 برلين

تاريخ الانتهاء: 28 مايو 2023

تاريخ النشر: يونيو 2023

صدر هذا المنشور نيابة عن الوزارة الاتحادية للشؤون الاقتصادية والعمل المناخي. تساعد الجمعية الألمانية للتعاون الدولي الحكومة الفيدرالية في مختلف مشروعات تنفيذ أهداف الطاقة والمناخ في سياق تحول الطاقة.



جدول المحتويات

1	الملخص التنفيذي
2	المقدمة
2	خلفية
2	حول الوثيقة
4	إطار سياسات الهيدروجين الأخضر و PtX في البلدان الأعضاء في جامعة الدول العربية
8	تقييم إمكانات الهيدروجين الأخضر و PtX في المنطقة العربية
8	إمكانات الطاقة المتجددة
10	إنتاج الهيدروجين الأخضر وإمكانات PtX
13	استخدامات الهيدروجين
15	إمكانات تصدير الهيدروجين: خيارات النقل وتكاليف التوريد
16	الاعتبارات الاقتصادية والاجتماعية والبيئية
17	نحو استراتيجية عربية للهيدروجين الأخضر لجامعة الدول العربية
17	الأساس المنطقي لاستراتيجية عربية شاملة
18	مقترح خارطة طريق إقليمية للهيدروجين الأخضر 2023-2050
21	الظروف الملائمة لتنفيذ الاستراتيجية
22	الخطوات الموصى بها للمضي قدماً

الاختصارات:

:BAU العمل المعتاد

:BMWK الوزارة الاتحادية الألمانية للشؤون الاقتصادية والعمل المناخي

:BF فرن الصهر

:EAF أفران القوس الكهربائي

:EU الاتحاد الأوروبي

:GHG الغازات الدفيئة

:GIZ الوكالة الألمانية للتعاون الدولي

:GW جيجاوات

:LAS جامعة الدول العربية

:LCOH التكلفة الحدية للهيدروجين

:NDC(i): المساهمات المحددة على المستوى الوطني

:NHS الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين

:MW ميجاوات

:NZE صافي الانبعاثات الصفري

:PtX تحويل الكهرباء إلى شكل آخر من أشكال الطاقة أو الوقود أو المواد الكيميائية (وسيتم

التعبير عنها في هذه الوثيقة بمصطلح PtX)

:SDG أهداف التنمية المستدامة

:UAE الإمارات العربية المتحدة

:vRE الطاقة المتجددة المتغيرة

قائمة الأشكال التوضيحية

الجدول 3 خارطة طريق الهيدروجين الأخضر 2023-2050 للمنطقة العربية:	
مراحل التطوير	24
الجدول 4 خارطة طريق التقنيات المستخدمة 2023-2050 لتوسيع نطاق	
اقتصاد الهيدروجين الأخضر في المنطقة العربية، قطاعات السوق.	24
الجدول 5 الظروف الملائمة لتنفيذ خارطة طريق للتقنيات المستخدمة	24
الجدول 6 حالة استراتيجيات وخرائط طرق الهيدروجين الوطنية في المنطقة	
العربية	35

الشكل 1: السعة المركبة - إجمالي الطاقة المتجددة، 2022 [ميجاوات]	
المصدر: التفاصيل الخاصة ببناءً على الوكالة الدولية للطاقة	
المتجددة (2022).....	9
الشكل 2: السعة المركبة – طاقة الرياح والطاقة الشمسية، 2022	
[ميجاوات] المصدر: التفاصيل الخاصة ببناءً على الوكالة الدولية	
للطاقة المتجددة (2022).....	9
الشكل 3: إنتاج الغاز الطبيعي 2020 [مليار متر مكعب] المصدر:	
التفصيل الخاص على أساس بريتيش بتروليوم (2022).....	10
الشكل 4: إمكانات حجم الهيدروجين الأخضر (التحليل الكهربائي	
المضغوط ودرجة الحرارة العالية) للبلدان التي تتوفر لديها بيانات.	
المصدر: التفصيل الخاص على أساس أطلس PtX.....	10
الشكل 5: الإمكانيات الاجتماعية والاقتصادية للبلدان في PtX التي	
لديها بيانات متاحة. المصدر: التفصيل الخاص على أساس أطلس	
PtX.....	11
الشكل 6: أحجام توليد الطاقة المحتملة من PtX (التحليل الكهربائي	
بدرجة حرارة عالية) لبلدان مختارة. المصدر: أطلس PtX.....	12
الشكل 7: استخدامات الهيدروجين. المصدر: مؤسسة	
فريدريش إيبيرت 2022.....	13
الشكل 8: فرص الهيدروجين الأخضر و PtX في تونس. المصدر: الوكالة	
الألمانية للتعاون الدولي (2021).....	14
الشكل 9: تكاليف توريد الهيدروجين الأخضر من شمال إفريقيا إلى	
إسبانيا/إيطاليا في عام 2030، مع الأخذ في الاعتبار كل من خطوط	
الأنابيب والشحن. المصدر Öko - Institut e.V. (2022).....	16
الشكل 10: تكاليف توريد الهيدروجين المسال إلى ألمانيا عبر السفينة،	
2050. المصدر: شرح خاص يستند إلى فراونهوفر (2023).....	16
الشكل 11: المتوسط العالمي للتكلفة الحدية لإنتاج الهيدروجين حسب	
مصدر الطاقة والتقنية، 2019 و 2050. المصدر: الوكالة الدولية	
للطاقة (2020).....	17
الشكل 12: الإجراءات الموصى بها لوضع استراتيجية عربية	
للهدروجين الأخضر.....	24

قائمة الجداول

الجدول 1 الأهداف والطموحات المتعلقة بخفض انبعاثات الغازات الدفيئة	
والطاقة المتجددة ونشر الهيدروجين (الأخضر) في المنطقة العربية	9
الجدول 2 الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر بالمغرب	12

استخدامه العديد من البلدان العربية ذات موارد الغاز الطبيعي الهائلة.

وفي ظل وجود استراتيجيات وطنية يُجرى تطويرها حالياً في عددٍ متزايد من الدول الأعضاء والمشروعات الضخمة الأولى لإنتاج الهيدروجين الأخضر، بُذلت جهود كبيرة لنشر الهيدروجين الأخضر في المنطقة، ولا غنى عن توحيد هذه الجهود للتنمية المستدامة لاقتصاد الهيدروجين الأخضر في المنطقة، كما لن يساعد تكثيف صناعات الهيدروجين الأخضر في البلدان الأعضاء على تحقيق الأهداف الوطنية لانبعثات الغازات الدفينة وفقاً للالتزامات المحددة على المستوى الوطني فحسب، بل سيعمل أيضاً على مواءمة احتياجات الاستثمار مع سياسات جذب القروض الخضراء المحتملة من المؤسسات المالية الدولية والمساهمة في أمن الطاقة وتوافرها.

وفي ضوء ما تقدم، تدعو هذه الدراسة إلى وضع استراتيجية عربية للهيدروجين الأخضر لجامعة الدول العربية. يمكن أن يدعم النهج التنسيقي تبادل المعرفة والبحث والتطوير، ومواءمة الاستراتيجيات والخطط الوطنية، والاستكشاف المشترك للخيارات الممكنة للإنتاج والاستخدام الإقليمي للهيدروجين، بالإضافة إلى الأرضية المشتركة في بدء اتفاقيات التجارة الإقليمية.

تقدم الدراسة مسودة خارطة طريق للهيدروجين الأخضر للمنطقة العربية، والتي ستساعد على تحقيق التزام مشترك بتطوير الهيدروجين الأخضر، وكي تعكس الدراسة تقييم نضج الصناعة والانتشار المتزايد المتوقع للهيدروجين الأخضر، حددت ثلاث مراحل للتطوير: مرحلة التجريب والاختبار (2023-2030)، ومرحلة إنشاء السوق وتوسيع نطاقه (2030-2040)، ومرحلة السوق الشامل أو المنافسة (2040-2050).

وكخطوة أولى نحو وضع استراتيجية إقليمية، يجب تشجيع تطوير ومواءمة الاستراتيجيات الوطنية وخرائط الطريق للهيدروجين الأخضر، ومن خلال تحديد إمكانات إنتاج الهيدروجين الأخضر واستخدامه وتصديره بالإضافة إلى الاحتياجات الاستثمارية ذات الصلة في الدول الأعضاء، يمكن تحديد المصالح والفرص المشتركة وتنسيق الإجراءات المخطط لها في جميع دول المنطقة. يمكن لجامعة الدول العربية أن تضطلع بدورٍ محوري في تيسير تبادل المعرفة، كما يمكن لها تحفيز وتنسيق التطوير المشترك لاستراتيجية عربية للهيدروجين الأخضر.

تضع هذه الدراسة رؤيةً لكيفية تحويل الدول العربية للهيدروجين الأخضر إلى حل يمكن تطبيقه لإزالة الكربون وتعزيز اقتصادات المنطقة على المدى القصير والمتوسط والطويل، وكيفية استخدام استراتيجية مشتركة للدول العربية في سبيل تحقيق هذه الرؤية؛ فهي موجهة إلى واضعي السياسات الحكومية في المنطقة العربية، وهي مناسبة بنفس القدر للخبراء المهتمين بصياغة سياسة وبرامج الهيدروجين الأخضر في المنطقة.

يتمثل الهدف الأساسي في وضع حجر الأساس لاستراتيجية عربية للهيدروجين الأخضر، وتُعد هذه الوثيقة بتحديد (1) الظروف الإطارية الحالية وأهداف السياسة وخطط نشر الهيدروجين الأخضر في المنطقة، (2) إمكانية إنتاج واستخدام الهيدروجين الأخضر ومشتقاته، (3) السيناريوهات المحتملة لتطوير اقتصاد الهيدروجين الأخضر في الدول العربية.

تعكس السياسات التي تتبناها الدول الأعضاء في جامعة الدول العربية التزاماً قوياً بمكافحة تغير المناخ وزيادة حصة الطاقة المتجددة (المتغيرة) في قطاع الطاقة، وقد بدأت العديد من البلدان في تنفيذ استراتيجيات لإنتاج الهيدروجين الأخضر واستخدامه؛ حيث أن البنية التحتية القائمة في البلدان العربية والتكاليف المنخفضة المحتملة للكهرباء المولدة من الطاقة المتجددة المتغيرة (الطاقة الشمسية وطاقة الرياح) - لبلدان مثل الأردن والمغرب والمملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة - تعطي هذه البلدان ميزة نسبية رئيسية في إنتاج الهيدروجين الأخضر، وقد لوحظ تقدماً كبيراً في استخدام مصادر الطاقة المتجددة خلال السنوات الماضية، حيث ارتفع إجمالي قدرات الطاقة المتجددة المركبة من 18.3 جيجاوات في عام 2018 إلى 25.3 جيجاوات في عام 2022 في الدول العربية.

تتعلق التحديات الرئيسية لإنتاج وتصدير الهيدروجين الأخضر بالمخاوف البيئية والاجتماعية، وارتفاع تكاليف الإنتاج والنقل، فضلاً عن الاستقرار السياسي والاقتصادي المحدود في العديد من البلدان، ومع استمرار التقدم التقني والتوسع وانخفاض تكاليف الطاقة المتجددة وأجهزة التحليل الكهربائي، من المتوقع أن يتغير هذا في العقود القادمة، حيث يعتبر الهيدروجين الأزرق - الإنتاج من الغاز الطبيعي مع احتجاز الكربون - حالياً أكثر اقتصادية وتدرس

المتجددة في العقود المقبلة⁵، ومن المستهدف كذلك تطوير القدرات الإنتاجية للهيدروجين الأخضر ومشتقاته في المنطقة، حيث تعمل العديد من البلدان حالياً على إعداد استراتيجيات هيدروجين وطنية أو تخطط لزيادات كبيرة في قدرات المحطات الكهربائية لديها، ومع ذلك ما زالت معظم هذه الطموحات في مرحلة تنميتها المبكرة وتقتصر على بعض الدول فقط⁶.

وفي ضوء ما تقدم، من الأهمية بمكان تضافر الجهود لتمكين التنمية المنسقة والفعالة والمستدامة لاقتصاد الهيدروجين الأخضر في المنطقة، وقد يشمل ذلك، على سبيل المثال لا الحصر، تبادل التقنيات بين الأقاليم، والتشجيع المشترك للاستثمارات الخاصة، وإنشاء شركات دولية لتصدير الهيدروجين الأخضر. تضع هذه الوثيقة رؤية لكيفية تحويل جامعة الدول العربية للهيدروجين الأخضر إلى حل يمكن تطبيقه لإزالة الكربون من القطاعات المختلفة وتعزيز اقتصاد المنطقة العربية على المدى القصير والمتوسط والطويل، وكيف يمكن استخدام استراتيجية مشتركة للدول الأعضاء في تحقيق هذه الرؤية.

حول الوثيقة

تستهدف هذه الوثيقة واضعي السياسات الحكومية في الدول العربية، وهي مناسبة بنفس القدر للخبراء الآخرين المهتمين بصياغة سياسة وبرامج الهيدروجين الأخضر في المنطقة أو ذوي التأثير عليها.

يتمثل الهدف الأساسي من هذه الوثيقة في وضع حجر الأساس لاستراتيجية عربية للهيدروجين الأخضر لجامعة الدول العربية، ومن ثمّ، تحدد الوثيقة (1) الظروف الإطارية الحالية وأهداف السياسة وخطط نشر الهيدروجين الأخضر في المنطقة، (2) إمكانية إنتاج واستخدام الهيدروجين الأخضر ومشتقاته، (3) السيناريوهات المحتملة لتطوير اقتصاد الهيدروجين الأخضر في جامعة الدول العربية. يُكَمّل هذا التحليل توصيات للخطوات التالية في وضع استراتيجية عربية للهيدروجين الأخضر لجامعة الدول العربية على المدى القصير والمتوسط والطويل.

توضح هذه الوثيقة أن إمكانات إنتاج الهيدروجين الأخضر وفرص استغلاله تختلف اختلافاً كبيراً في جميع أنحاء المنطقة، وتتميز الدول الأعضاء في جامعة الدول العربية بالاختلاف في الأنظمة السياسية والاقتصادية، والموارد المالية والطبيعية، والسكان، والظروف الجغرافية والمناخية، ومن ثمّ قد تختلف مسارات إنتاج الهيدروجين الأخضر ونقله وتخزينه من بلدٍ إلى آخر. يتطلب تحقيق هدف التنمية المستدامة رقم 7 - ضمان حصول الجميع بتكلفة

المقدمة

خلفية

يفرض تغير المناخ والصراعات العالمية مخاطر على أمن الطاقة العالمي، مما يهدد الإمداد الموثوق بالوقود والموارد¹. تتطلب مكافحة تغير المناخ وآثاره الضارة على البشرية والبيئة تحولاً عالمياً في مجال الطاقة، مما يقلل من الاعتماد على الوقود الأحفوري، ومن أهم جوانب الانتقال الطاقى تنوع مزيج الطاقة، وبالإضافة إلى تسريع نشر الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة، يجب التحقيق في نواقل الطاقة البديلة، بما في ذلك الهيدروجين ومشتقاته.

يعتمد اقتصاد معظم الدول العربية اعتماداً كبيراً على الوقود الأحفوري، وقد أدى ذلك إلى زيادة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري على مدى العقود الماضية مع تصنيف بعض الدول العربية من بين أعلى الدول من حيث نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون²، ولتمكين إزالة الكربون من قطاع الطاقة وفتح فرص للتنوع الاقتصادي في المنطقة، يلزم اتخاذ تدابير لتسريع انتقال الطاقة نحو إمدادات طاقة حديثة ومستدامة.

وتشمل هذه التدابير زيادة استخدام مصادر الطاقة المتجددة وتحسين كفاءة الطاقة في جميع القطاعات، ويمكن أن يساهم نشر الهيدروجين الأخضر، وهو الهيدروجين الناتج عن مصادر الطاقة المتجددة، مساهمةً رئيسية في التخفيف من تغير المناخ، والاستفادة من إمكانات الطاقة المتجددة الهائلة في المنطقة وتعزيز التجارة الدولية وشراكات الطاقة، كما يمكن للهيدروجين أن يؤدي الدور كناقل لتخزين الطاقة المتجددة، إلى جانب البطاريات، والنقل، مما يضمن وجود احتياطي للتغيرات الموسمية وربط مواقع الإنتاج بمراكز الطلب البعيدة، يمكن أن يحل الهيدروجين ومشتقاته محل الوقود الأحفوري في الصناعات كثيفة الكربون، كما هو الحال في قطاعات الصلب أو المواد الكيميائية، وقطاع النقل³. يُنظر إلى الهيدروجين الأخضر أيضاً على أنه محرك لإتاحة فرص العمل، حيث تُقدّر الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (2021) أن الاستثمار في المحطات الكهربائية وغيرها من البنية التحتية للهيدروجين الأخضر يمكن أن يتيح حوالي مليوني وظيفة في جميع أنحاء العالم بين عامي 2030 و2050⁴.

وتُبذل الجهود بالفعل في الدول العربية لمكافحة تغير المناخ وتعزيز الانتقال الطاقى، وقد صادقت معظم الدول الأعضاء على اتفاق باريس، والعديد منها لديه أهداف واضحة نحو تسريع الطاقة

ميسورة على خدمات الطاقة الحديثة الموثوقة والمستدامة، وهدف التنمية المستدامة رقم 13 - اتخاذ إجراءات عاجلة للتصدي لتغير المناخ وأثاره، وضع سياسات طموحة ومنسقة تنسيقاً جيداً على الصعيدين الوطني والعربي، واتباع نهج موحد في التواصل مع الشركاء الدوليين المحتملين. تُعنى هذه الوثيقة بإرساء الأساس لوضع استراتيجية عربية للهيدروجين الأخضر لجامعة الدول العربية، من أجل المساهمة في تنسيق الجهود نحو تطوير الاقتصاد القائم على الهيدروجين الأخضر في المنطقة.

أُعدت هذه الوثيقة بناءً على تحليل استخلاصي للدراسات والتوقعات الحالية بشأن الهيدروجين الأخضر في المنطقة، بالإضافة إلى توحيد السياسات والخطط والأهداف الحالية على المستويين الوطني والإقليمي. وُضعت الوثيقة بشكل مشترك من قبل إدارة الطاقة بجامعة الدول العربية وبرنامج شراكات الطاقة الثنائية بتكليف من الوزارة الاتحادية الألمانية للشؤون الاقتصادية والعمل المناخي. تنقسم الوثيقة إلى ثلاثة أجزاء:

- 1- إطار السياسة العامة للهيدروجين الأخضر في الدول الأعضاء، وتحديد أوجه التقدم والأهداف في جميع أنحاء المنطقة
- 2- تقييم إمكانات الهيدروجين الأخضر في الدول العربية، وتحليل فرص إنتاج واستخدام الهيدروجين الأخضر ومشتقاته
- 3- نحو استراتيجية عربية للهيدروجين الأخضر لجامعة الدول العربية – بما في ذلك توصيات بذل جهود متضافرة لتطوير اقتصاد إقليمي للهيدروجين الأخضر على المدى القصير والمتوسط والطويل.

إطار سياسات الهيدروجين الأخضر و PtX

يلخص الجدول أدناه أهداف وطموحات خفض انبعاثات الغازات الدفيئة والطاقة المتجددة والهيدروجين (الأخضر) من قبل الدول الأعضاء في جامعة الدول العربية.

الجدول 1 الأهداف والطموحات المتعلقة بخفض انبعاثات الغازات الدفيئة والطاقة المتجددة ونشر الهيدروجين (الأخضر) في المنطقة العربية

البلد	أهداف المساهمة المحددة على المستوى الوطني (1) ⁷	أهداف وطموحات الطاقة المتجددة	أهداف وطموحات الهيدروجين
الجزائر	قدمت الجزائر مساهمتها الأولى المحددة على المستوى الوطني في سبتمبر 2015. تستهدف الجزائر تخفيض الانبعاثات بنسبة 7٪ بحلول عام 2030 (غير مشروط): 22% بحلول عام 2030 (مشروط) ⁸	أهداف الطاقة المتجددة وفقاً للمساهمات المحددة على المستوى الوطني: الوصول إلى 27% من الكهرباء المولدة من مصادر الطاقة المتجددة بحلول عام 2030 ⁹ برنامج تنمية الطاقة المتجددة: 22 جيجاوات من الطاقة المتجددة المركبة بحلول عام 2030، بما في ذلك 13.6 جيجاوات من الطاقة الشمسية، 5 جيجاوات من الرياح، 2 جيجاوات من الطاقة الشمسية المركزة، 1 جيجاوات من الكتلة الحيوية، 0.4 جيجاوات من التوليد المشترك. ¹⁰	دراسة استكشافية حول إمكانات PtX والهيدروجين الأخضر نشرتها الشراكة الجزائرية الألمانية للطاقة في نوفمبر 2021. ¹¹ وضعت الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين منذ أواخر عام 2021. ¹² وقعت الجزائر وألمانيا مذكرة تفاهم لتطوير محطة هيدروجين خضراء بقدرة 50 ميجاوات في ديسمبر 2022. ¹³
البحرين	قدمت البحرين مساهمتها المحددة على المستوى الوطني المنقحة في أكتوبر 2021. هدف خفض الانبعاثات: غير محدد. ¹⁴	أهداف الطاقة المتجددة وفقاً للمساهمات المحددة على المستوى الوطني: 5% من قدرة الذروة بحلول عام 2025 و 10% بحلول عام 2035 ¹⁵ خطة العمل الوطنية للطاقة المتجددة: 255 ميجاوات من الطاقة المتجددة المركبة بحلول عام 2025 (بما في ذلك 50 ميجاوات من الرياح و 200 ميجاوات من الطاقة الشمسية)، و 710 ميجاوات بحلول عام 2035 (بما في ذلك 300 ميجاوات من الرياح و 400 ميجاوات من الطاقة الشمسية). ¹⁶	خطط لإنشاء مصنع بقدرة 4 ميجاوات لإنتاج الهيدروجين الأخضر. ¹⁷
جزر القمر	قدم اتحاد جزر القمر مساهمته المحددة على المستوى الوطني المنقحة في نوفمبر 2021. تستهدف جزر القمر تخفيض الانبعاثات بنسبة 23% (باستثناء استخدام الأراضي وتغيير استخدام الأراضي والحراجة) وزيادة امتصاص ثاني أكسيد الكربون بنسبة 47% بحلول عام 2030.	غير منطبق	غير منطبق
جيبوتي	قدمت جيبوتي مساهمتها المحددة على المستوى الوطني الأولي في نوفمبر 2016. تستهدف جيبوتي تخفيض الانبعاثات بنسبة 40% بحلول عام 2030 ¹⁸	أهداف الطاقة المتجددة وفقاً للمساهمات المحددة على المستوى الوطني: 60 ميجاوات من الرياح البرية، 250 ميجاوات من الطاقة الشمسية الكهروضوئية بحلول عام 2025: استغلال إمكانات الطاقة الحرارية الأرضية 1200 ميجاوات بحلول عام 2030 ¹⁹	مذكرة تفاهم بين وزارة الطاقة والموارد الطبيعية في جيبوتي، وشركة طاقة متجددة لتنفيذ مشروع طاقة متجددة 5 وهيدروجين أخضر بقدرة 10 جيجاوات (ديسمبر 2022). ²⁰
مصر	قدمت مصر مساهمتها المحددة على المستوى الوطني المنقحة في يونيو 2022. تستهدف مصر تخفيض الانبعاثات بنسبة 33% في قطاع الكهرباء، و65% في قطاع النفط والغاز، و7% في قطاع النقل بحلول عام 2030 مقارنة بالعمل المعتاد (مشروط بالدعم الخارجي) ²¹	استراتيجية الطاقة المستدامة المتكاملة 2035: تركيب قدرات إضافية للطاقة المتجددة للوصول إلى هدف المساهمة في الطاقة الكهربائية بنسبة 42% بحلول عام 2035. ²²	أهداف الهيدروجين في المساهمات المحددة على المستوى الوطني: "استبدال المواد الأولية بالهيدروجين الأخضر لإنتاج الأمونيا الخضراء والانتقال نحو إنتاج الأسمدة النيتروجينية منخفضة الكربون". إطار استراتيجية مصر للهيدروجين منخفض الكربون التي أعلنت عنها خلال الدورة السابعة والعشرين لمؤتمر الأطراف في نوفمبر 2022، ²³ وقعت المفوضية الأوروبية مذكرة تفاهم مع وزير البترول المصري ووزير الكهرباء والطاقة المتجددة بشأن شراكة استراتيجية بشأن الهيدروجين المتجدد. ²⁴ البنك الأوروبي للإنشاء والتعمير يمول منشأة محلل كهربائي بقدرة 100 ميجاوات تعمل بالطاقة المتجددة ²⁵
العراق	قدم العراق مساهمته المحددة على المستوى الوطني المنقحة في أكتوبر 2021.	أهداف الطاقة المتجددة وفقاً للمساهمات المحددة على	غير منطبق

	المستوى الوطني: 5% من قدرة التوليد من الطاقة المتجددة بحلول عام 2030؛ حصة 2000 ميغاوات من الطاقة المتجددة على مدى السنوات الأربع المقبلة. ²⁶	يستهدف العراق تخفيض الانبعاثات بنسبة 15% بحلول عام 2030 (مشروط)؛ 2% بحلول عام 2030 (غير مشروط).	
الأردن	تم تطوير خارطة طريق الهيدروجين الأخضر في أكتوبر 2022؛ وجار إعداد استراتيجية الهيدروجين الأخضر. ²⁹	قدم الأردن مساهمته المحددة على المستوى الوطني المنقحة في أكتوبر 2021. يستهدف الأردن تخفيض الانبعاثات بنسبة 31% بحلول عام 2030 (مشروط)؛ 5% بحلول عام 2030 (غير مشروط).	
الكويت	الاستراتيجية الرئيسية لقطاع الطاقة 2020-2030: 31% من حصة الطاقة المتجددة في إجمالي قدرة توليد الطاقة و 14% من إجمالي مزيج الطاقة بحلول عام 2030. ²⁸	قدمت الكويت مساهمتها المحددة على المستوى الوطني المنقحة في أكتوبر 2021. تستهدف الكويت تخفيض الانبعاثات بنسبة انخفاض بنسبة 7.4% في عام 2035 مقارنة بالعمل المعتاد. ³⁰	
لبنان	ورقة بيضاء عن استراتيجية الهيدروجين نشرت في يناير 2021. ³²	قدم لبنان مساهمته المحددة على المستوى الوطني المنقحة في مارس 2021. يستهدف لبنان تخفيض الانبعاثات بنسبة 31% بحلول عام 2030 مقارنة مع العمل المعتاد (مشروط)؛ 20% بحلول عام 2030 (غير مشروط). ³³	
ليبيا	أهداف الطاقة المتجددة وفقاً للمساهمات المحددة على المستوى الوطني: 18% من الطلب على الطاقة و 11% من الطلب على الحرارة (في قطاع البناء) من مصادر الطاقة المتجددة في عام 2030 (غير مشروط). 30% من الطلب على الطاقة و 16.5% من الطلب على الحرارة (في قطاع البناء) من مصادر الطاقة المتجددة في عام 2030 (غير مشروط).	غير متاح	
موريتانيا	رؤية 2030 للهيئة العامة للكهرباء والطاقة المتجددة: 22% من حصة الطاقة المتجددة بحلول عام 2030. ³⁴	قدمت موريتانيا مساهمتها المحددة على المستوى الوطني المنقحة في أكتوبر 2021. تستهدف موريتانيا تخفيض الانبعاثات بنسبة 11% بحلول عام 2030 مقارنة مع العمل المعتاد (غير المشروط). 92% بحلول عام 2030 مقارنة مع العمل المعتاد (المشروط).	
المغرب	برنامج تطوير الهيدروجين الأخضر "أمان": تخطط 18 جيجاوات من طاقة الرياح و 12 جيجاوات من الطاقة الشمسية لإنتاج ما يقدر بنحو 1.7 مليون طن من الهيدروجين الأخضر أو 10 ملايين طن من الأمونيا الخضراء سنوياً. ³⁸	قدم المغرب مساهمته المحددة على المستوى الوطني المنقحة في يونيو 2021. يستهدف المغرب تخفيض الانبعاثات بنسبة 18.3% بحلول عام 2030 (غير مشروط) مقارنة بالعمل المعتاد. تخفيض بنسبة 45.5% بحلول عام 2030 (مشروط) مقارنة بالعمل المعتاد.	
سلطنة عُمان	أهداف الطاقة المتجددة وفقاً للمساهمات المحددة على المستوى الوطني: تحقيق 20% (2660 ميغاوات من الطاقة المركبة) و 30% من الكهرباء من مصادر متجددة بحلول عامي 2027 و 2030، على التوالي. ⁴²	قدمت عُمان مساهمتها المحددة على المستوى الوطني المنقحة في يوليو 2021. تستهدف سلطنة عُمان تخفيض الانبعاثات بنسبة 4% أقل من مستوى العمل المعتاد خلال الفترة 2020-2030 (غير مشروط)؛ 7% أقل من مستوى العمل المعتاد خلال الفترة 2020-2030 (مشروط).	
فلسطين	توسعة محطة طاقة الرياح في نواكشوط من 300 ميغاوات إلى 50 ميغاوات. ³⁷	قدمت دولة فلسطين مساهمتها المحددة على المستوى الوطني المنقحة في أكتوبر 2021. تستهدف فلسطين تخفيض الانبعاثات بنسبة 26.6% في السيناريو المستقل و 17.5% في سيناريو الوضع الراهن (مشروط) بحلول عام 2040، مقارنة مع العمل المعتاد.	
	وضعت وزارة الانتقال الطاقوي والتنمية المستدامة المغربية خارطة طريق بشأن الهيدروجين الأخضر في عام 2021 في إطار اللجنة الوطنية للهيدروجين (التي أنشئت في عام 2019). تتوقع البلاد طلباً يصل إلى 30 تيراوات ساعة بحلول عام 2030 و 307 تيراوات ساعة بحلول عام 2050، مما يتطلب 2 جيجاوات في مصادر الطاقة المتجددة. ⁴¹		
	تخطط عُمان لإنتاج مليون طن من الهيدروجين الأخضر سنوياً بحلول عام 2030. الهدف هو من 32,500 إلى 5 6 مليون طن سنوياً بحلول عام 2040 ومن 3.5 إلى 8.5 مليون طن سنوياً بحلول عام 2050. ⁴³		
	الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين المخطط لها. ⁴⁴		

<p>يدير جهاز قطر للاستثمار الاستثمار في مشروع للهيدروجين الأخضر والأمنيا بقيمة مليار دولار في مصر.⁴⁸</p>	<p>الشمسية الكهروضوئية (مشروطة)⁴⁵</p> <p>رؤية قطر الوطنية 2030: توليد 20% من الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة بحلول عام 2030.⁴⁷</p>	<p>قطر</p> <p>قدمت قطر مساهمتها المحددة على المستوى الوطني المنقحة في أغسطس 2021. تستهدف قطر تخفيض الانبعاثات بنسبة 25% بحلول عام 2030، مقارنة بسيناريو العمل المعتاد⁴⁶</p>	
<p>طموحات الهيدروجين في المساهمات المحددة على المستوى الوطني: من المتوقع أن ينتج مشروع نيوم العملاق الرئيسي الذي سيتم تشغيله بواسطة 4 جيغاوات من الطاقة المتجددة من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح 650 طنًا في اليوم من الهيدروجين الأخضر عن طريق التحليل الكهربائي و 1.2 مليون طن في السنة من الأمونيا الخضراء اعتباراً من عام 2025 فصاعداً. وجار الآن إعداد استراتيجية وطنية للهيدروجين.⁵¹</p>	<p>أهداف الطاقة المتجددة وفقاً للمساهمات المحددة على المستوى الوطني: ستصل حصة الطاقة المتجددة إلى حوالي 50% من مزيج الطاقة بحلول عام 2030.⁴⁹</p> <p>رؤية 2030 58.7 جيغاوات من الطاقة المتجددة المركبة في عام 2030 (40 جيغاوات من الطاقة الكهروضوئية و 16 جيغاوات من الرياح و 2.7 جيغاوات من الطاقة الشمسية المركزة)⁵⁰</p>	<p>المملكة العربية السعودية</p> <p>قدمت المملكة العربية السعودية مساهمتها المحددة على المستوى الوطني المنقحة في أكتوبر 2021. تستهدف المملكة العربية السعودية تخفيض الانبعاثات بمقدار 278 مليون طن مكافئ من ثاني أكسيد الكربون سنوياً بحلول عام 2030 (بناءً على عام 2019)</p>	
<p>غير منطبق</p>	<p>أهداف التوعية بالمخاطر: تطوير كهرباء الطاقة المتجددة (الطاقة الشمسية وطاقة الرياح) - غير محدد أكثر⁵²</p>	<p>الصومال</p> <p>قدمت الصومال مساهمتها المحددة على المستوى الوطني المنقحة في يوليو 2021. تستهدف الصومال تخفيض الانبعاثات بنسبة 30% أقل من المعتاد بحلول عام 2030 (مشروط بالدعم الدولي العام والخاص)</p>	
<p>غير منطبق</p>	<p>أهداف الطاقة المتجددة وفقاً للمساهمات المحددة على المستوى الوطني: 20% من نظام الطاقة بحلول عام 2030. 5,056 جيغاوات ساعة من الكهرباء التي تعمل بالوقود الأحفوري سيتم استبدالها بمحطات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح المتصلة بالشبكة في عام 2030.⁵³</p>	<p>السودان</p> <p>قدم السودان مساهمته المحددة على المستوى الوطني المنقحة في سبتمبر 2022. يستهدف السودان تخفيض الانبعاثات بنسبة 38% في قطاع الطاقة، و 45% في قطاع الغابات، و 20% في قطاع النفايات بحلول عام 2030 مقارنة بالعمل المعتاد (المشروط).</p>	
<p>غير منطبق</p>	<p>أهداف الطاقة المتجددة وفقاً للمساهمات المحددة على المستوى الوطني: 10% من إمدادات الطاقة بحلول عام 2030 (مشروطة)⁵⁴</p>	<p>سوريا</p> <p>قدمت سوريا مساهمتها المحددة على المستوى الوطني الأولي في نوفمبر 2018. تستهدف سوريا تخفيض الانبعاثات بمقدار: لم تُعَيَّن كميّاً.</p>	
<p>الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر قيد التطوير، وستُطلق في عام 2024⁵⁷</p>	<p>طموحات الطاقة المتجددة وفقاً للمساهمات المحددة على المستوى الوطني: "التطوير الشامل للطاقة المتجددة، والذي يتضمن بشكل أساسي خمسة مجالات رئيسية: محطات الرياح (البحرية و على اليابسة)، والطاقة الكهروضوئية، والطاقة الشمسية المركزة، والغاز الحيوي، والهيدروجين الأخضر."⁵⁵</p> <p>خطة الطاقة الشمسية: سيُنتج نسبة 30% من الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة بحلول عام 2030، بما في ذلك 3.8 جيغاوات من الطاقة الشمسية⁵⁶</p>	<p>تونس</p> <p>قدمت تونس مساهمتها المحددة على المستوى الوطني المنقحة في أكتوبر 2021. تستهدف تونس تخفيض الانبعاثات بنسبة 45% أقل من مستويات عام 2010 بحلول عام 2030 (مشروط). 27% بحلول عام 2030 مقارنة بمستويات عام 2010 (غير مشروطة).</p>	
<p>قدمت وزارة الطاقة والبنية التحتية في الإمارات خارطة طريق لقيادة الهيدروجين في الإمارات العربية المتحدة في نوفمبر 2021.⁵⁹</p> <p>أطلقت دولة الإمارات العربية المتحدة في أوائل يوليو 2023 استراتيجيتها الوطنية للهيدروجين التي تستهدف إنتاج 1.4 مليون طن من الهيدروجين الأخضر سنوياً بحلول عام 2031 و 15 مليون طن بحلول عام 2050، من أجل تحقيق طموحها في أن تصبح واحدة من أكبر منتجي الهيدروجين منخفض الكربون في العالم بحلول عام 2031.</p>	<p>أهداف الطاقة المتجددة وفقاً للمساهمات المحددة على المستوى الوطني: قدرة الطاقة النظيفة المركبة، بما في ذلك الطاقة الشمسية والنووية: 19.8 جيغاوات بحلول عام 2030. حصة 30% من الطاقة النظيفة (الطاقة المتجددة والنووية) في مزيج قدرة الطاقة المركبة بحلول عام 2030، والتي تهدف إلى تحقيق الصافي الصفري في قطاع الطاقة والمياه بحلول عام 2050.⁵⁸</p>	<p>الإمارات العربية المتحدة</p> <p>قدمت الإمارات العربية المتحدة مساهمتها المحددة على المستوى الوطني المحدثة في ديسمبر 2020. تستهدف الإمارات تخفيض الانبعاثات بنسبة 23.5% بحلول عام 2030 بنسبة 23.5%، مقارنة بسيناريو العمل المعتاد.</p>	
<p>غير منطبق</p>	<p>أهداف الطاقة المتجددة وفقاً للمساهمات المحددة على المستوى الوطني: 15% من مزيج التوليد في عام 2025 (400 ميجاوات من مزارع الرياح، 160 ميجاوات من محطات الطاقة الحرارية الأرضية)⁶⁰</p>	<p>اليمن</p> <p>قدمت اليمن مساهمتها المحددة على المستوى الوطني في نوفمبر 2015. تستهدف اليمن تخفيض الانبعاثات بنسبة 14% بحلول عام 2030 أقل من مستوى العمل المعتاد.</p>	

مذكرة تفاهم مع مطورين دوليين كبار بقدرات إجمالية في مجال الطاقة المتجددة تصل إلى 100 جيجاوات. خلال أنشطة الدورة السابعة والعشرون لمؤتمر الأطراف، جرى توقيع 9 اتفاقيات شراكة بسعة 100 ميجاوات مع مطورين دوليين مؤهلين، موريتانيا (30 جيجاوات)، المغرب (2 جيجاوات)، عُمان (1 مليون طن من الهيدروجين الأخضر سنوياً بحلول عام 2030)، المملكة العربية السعودية (4 جيجاوات)، الإمارات العربية المتحدة (1.4 طن سنوياً من الهيدروجين منخفض الكربون بحلول عام 2031)، وتتراوح هذه الخطط بين الإعلانات الأولية عن السياسات وتصل إلى توقيع مذكرات تفاهم أو طرح المناقصات.

تسليط الضوء على المغرب: الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر

يُعتبر المغرب بلداً رائداً في مجال الطاقة المتجددة في المنطقة العربية بأهداف طموحة تبلغ 52% من قدرات الطاقة المتجددة المركبة في عام 2030، وفي عام 2021، أطلق المغرب استراتيجية وطنية لتطوير الهيدروجين الأخضر، ويمكن للمغرب وفقاً لتقديرات الدراسات السانقة تلبية ما يصل إلى 4% من الطلب العالمي على الهيدروجين الأخضر، حيث يتمثل الهدف من الاستراتيجية الوطنية في تلبية الطلب المحلي وتحسين استغلال الإمكانيات الوطنية للهيدروجين الأخضر، وتوقع الاستراتيجية الاستخدامات المحتملة التالية للهيدروجين الأخضر على المدى القصير والمتوسط والطويل:

وبإيجاز، تعكس السياسات التي تتبناها الدول الأعضاء في جامعة الدول العربية التزاماً قوياً بمكافحة تغير المناخ وزيادة حصة الطاقة المتجددة (المتغيرة) في قطاع الطاقة، وقد بدأت العديد من البلدان في تنفيذ استراتيجيات لإنتاج الهيدروجين الأخضر واستخدامه.

وباستثناء العراق وليبيا واليمن، صادقت جميع دول جامعة الدول العربية على اتفاق باريس، في حين وقعت العراق وليبيا واليمن على الاتفاق ولكنها لم تصادق عليه بعد.⁶¹ وبإستثناء جزر القمر، حددت جميع الدول الأعضاء أهدافاً للطاقة المتجددة إما باعتبارها جزءاً من مساهماتها المحددة على المستوى الوطني، أو من خلال استراتيجيات أو خطط وطنية للطاقة، وفقاً للمركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة (2020)، من المتوقع أن تصل قدرة الطاقة المتجددة المركبة في المنطقة العربية إلى حوالي 180 جيجاوات بحلول عام 2030.⁶² أعلنت العديد من البلدان، بما في ذلك الجزائر والمغرب والمملكة العربية السعودية وتونس والإمارات العربية المتحدة، عن تركيب محطات متغيرة للطاقة المتجددة تُقدّر طاقتها بالجيجاوات.

بالنسبة للجزائر ومصر والأردن والكويت والمغرب وسلطنة عُمان والمملكة العربية السعودية وتونس والإمارات العربية المتحدة فإنها إما تستعد حالياً لوضع استراتيجيات أو خرائط طرق وطنية للهيدروجين (الأخضر) أو قيد وضعها في الوقت الحالي أو قد وضعتها بالفعل، حيث وضعت الإمارات العربية المتحدة وأطلقت استراتيجيتها الوطنية للهيدروجين في يوليو 2023.

في الوقت الحالي، يُنتج الهيدروجين ويُستخدم بالفعل في العديد من البلدان العربية، ويرتبط هذا بشكل أساسي بالطلب في صناعات تكرير النفط والبتروكيماويات والصلب، أكثر من 90% من الهيدروجين المنتج في المنطقة هو الهيدروجين الرمادي، أي المعولّد من الغاز الطبيعي الذي له آثار ضارة ذات صلة بتغير المناخ.⁶³ ومع ذلك، تسعى العديد من الدول العربية بنشاط أو تخطط لمشروعات جديدة للهيدروجين الأخضر، وتشمل هذه الدول الجزائر (50 ميجاوات)، والبحرين (4 ميجاوات)، وجيبوتي (10 جيجاوات)، ومصر (وقعت 23

الجدول 2 الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر بالمغرب⁶⁴

المركبة من 18.3 جيجاوات في عام 2018⁶⁷ إلى 25.3 جيجاوات في عام 2022 في الدول العربية⁶⁸. تشمل دول المنطقة التي تمتلك أكبر قدرات الطاقة المتجددة المركبة مصر والمغرب والإمارات العربية المتحدة والأردن والسودان.

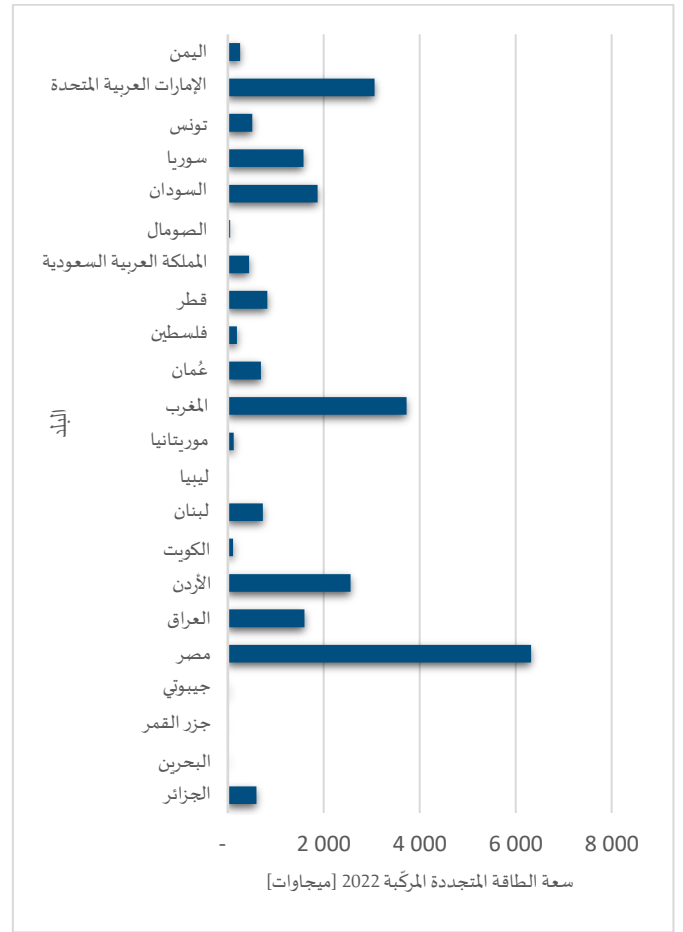
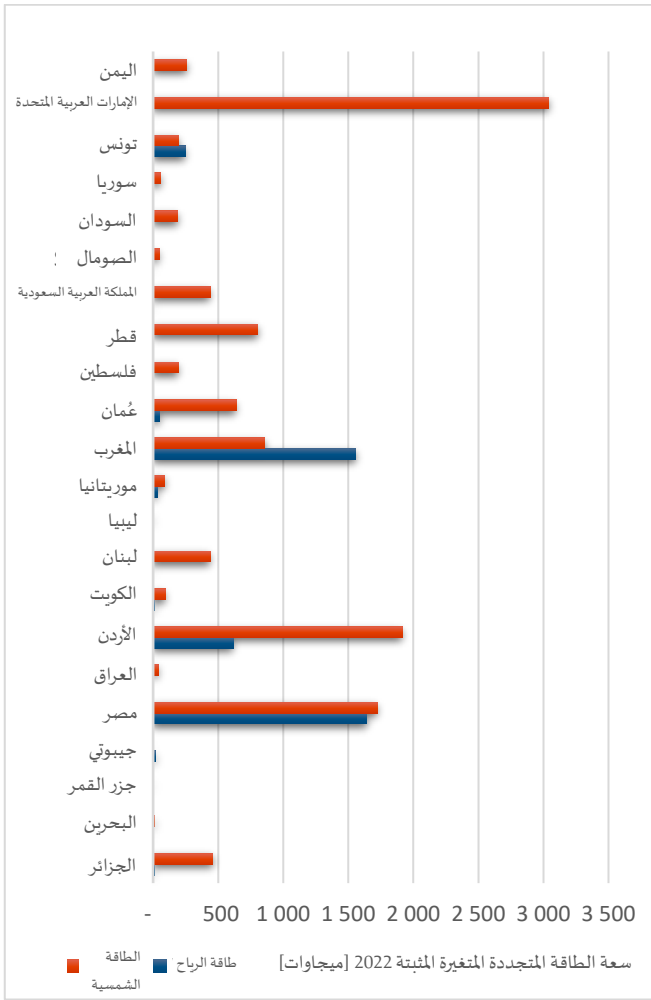
الإطار الزمني	استخدامات الهيدروجين الأخضر
2030 - 2020	<ul style="list-style-type: none"> • الاستخدام المحلي كمادة خام في الصناعات • تصدير منتجات الهيدروجين الأخضر • استكشاف رواسب الهيدروجين الطبيعية
2040 - 2030	<ul style="list-style-type: none"> • تطوير أول مشروعات مجدية اقتصادياً • صادرات الوقود السائل الصناعي • الهيدروجين الأخضر بوصفه وسيلةً لتخزين الطاقة
2050 - 2040	<ul style="list-style-type: none"> • تحسين القدرة على إنتاج الأمونيا والهيدروجين والوقود الاصطناعي للتصدير • الاستخدام المحلي للهيدروجين الأخضر في الصناعة وإنتاج الحرارة والقطاع السكني والتنقل الحضري والنقل الجوي

تقييم إمكانات الهيدروجين الأخضر و PtX في المنطقة

إمكانات الطاقة المتجددة

إن إمكانات المنطقة العربية في مجال الطاقة المتجددة كبيرة للغاية، لا سيما في مجال طاقة الرياح والطاقة الشمسية. تستفيد معظم الدول العربية من مستويات الإشعاع الشمسي في حدود 6.5 كيلو واط ساعة/متر مربع في اليوم.⁶⁵ كذلك فإن ظروف طاقة الرياح مواتية في العديد من المجالات، تعد سرعات الرياح في بلدان مثل المغرب ومصر وتونس من بين أعلى المعدلات في العالم.⁶⁶ ومع ذلك، ما زالت مصفوفة نظام الطاقة في المنطقة العربية تتميز بحصة عالية من مصادر الطاقة الأحفورية. وفقاً للمركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة (2020)، لم تمثل مصادر الطاقة المتجددة سوى 6% من قدرات الطاقة المركبة في عام 2018.

ومع ذلك، كان هناك تقدم كبير في نشر مصادر الطاقة المتجددة خلال السنوات الماضية، حيث ارتفع إجمالي قدرات الطاقة المتجددة



الشكل 1: السعة المركبة - إجمالي الطاقة المتجددة، 2022 [ميغاوات] المصدر:
التفاصيل الخاصة ببناء على الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (2022)⁶⁹

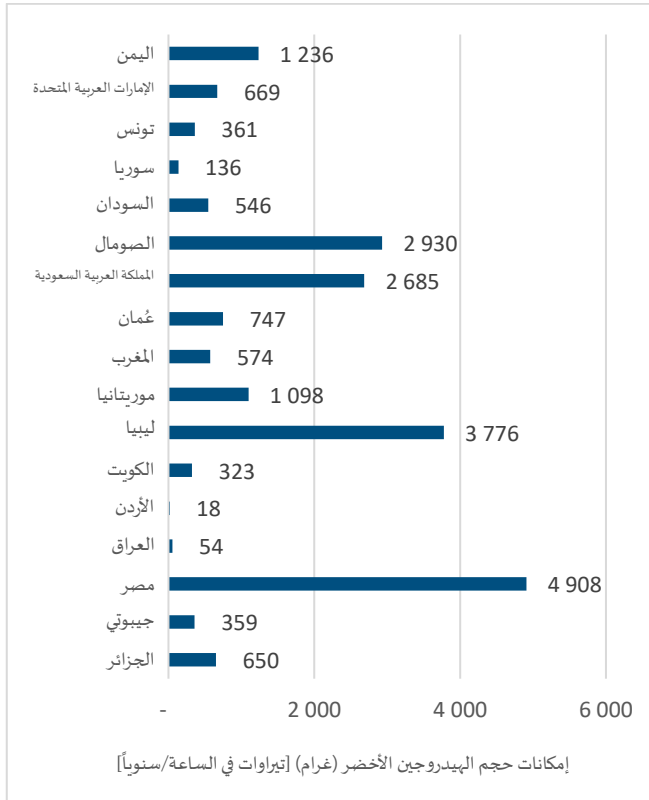
الشكل 2: السعة المركبة - طاقة الرياح والطاقة الشمسية، 2022 [ميغاوات] المصدر:
التفاصيل الخاصة ببناء على الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (2022)

بالنسبة لإمكانات إنتاج الهيدروجين الأزرق، تعد موارد الغاز الطبيعي عاملاً حاسماً، ففي ظل مستويات الإنتاج السنوية التي تزيد عن 100 مليار متر مكعب في عام 2021، تعد كلاً من قطر والمملكة العربية السعودية والجزائر من بين أكبر المنتجين العالميين للغاز الطبيعي، كما تتمتع مصر والإمارات العربية المتحدة وُعمان والبحرين والكويت والعراق وسوريا بقدرات إنتاجية ملحوظة.⁷¹ قطر والجزائر ومصر والكويت وُعمان دول مصدرة صافية للغاز الطبيعي.⁷² وفقاً للجنة الأمم المتحدة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا⁷³، من المرجح أن تُعطى الأولوية لموارد الغاز الطبيعي المتاحة لتوليد الكهرباء. ومع ذلك، ففي عددٍ قليل من البلدان العربية التي لديها فائض من الغاز والبنية التحتية ذات الصلة، مثل قطر والمملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة، يمكن أيضاً استخدام الغاز الطبيعي لإنتاج الهيدروجين الأزرق للتصدير بعد تلبية احتياجات السوق المحلية.

من حيث إجمالي قدرات الطاقة المتجددة المتغيرة المركبة، تتبوأ مصر والإمارات والأردن والمغرب الريادة في الوقت الحالي في المنطقة. في عام 2022، شكلت الطاقة الشمسية 3 جيجاوات من الطاقة المركبة في الإمارات العربية المتحدة، و 1.9 جيجاوات في الأردن، و 1.7 جيجاوات في مصر، وبلغت قدرات طاقة الرياح المركبة 1.6 جيجاوات في مصر، و 1.6 جيجاوات في المغرب، و 0.6 جيجاوات في الأردن، كما تمتلك الجزائر والكويت ولبنان وموريتانيا وُعمان وفلسطين وقطر وتونس واليمن قدرات طاقة متجددة متغيرة مركبة على مقياس الميجاوات الثلاثي.⁷⁰

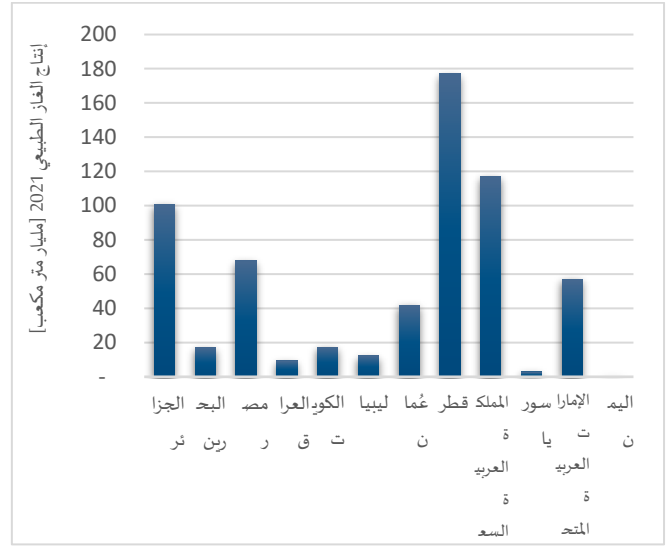
المنطقة الداخلية على مسافة قريبة من المسطحات المائية السطحية لتقدير إمكانات إنتاج الهيدروجين الأخضر. ومن ثم، فإن نسبة كبيرة من مساحة البلدان لا تؤخذ في الاعتبار لإنتاج الهيدروجين الأخضر وستظل متاحة لتركيب قدرات إضافية في مجال الطاقة المتجددة.

وفقاً لأطلس PtX، فإن البلدان التي لديها بيانات متاحة وأعلى إمكانات لإنتاج الهيدروجين الأخضر تشمل مصر وليبيا والصومال والمملكة العربية السعودية، يعتمد هذا على مناطق PtX المحتملة المحددة في البلاد واستخدام تحسينات التوسع والنشر الخاصة بالموقع.



الشكل 4: إمكانات حجم الهيدروجين الأخضر (التحليل الكهربائي المضغوط ودرجة الحرارة العالية) للبلدان التي تتوفر لديها بيانات. المصدر: التفصيل الخاص على أساس أطلس PtX⁷⁸

يوضح الشكل 5 أدناه الإمكانات الاجتماعية والاقتصادية للبلدان لإنتاج PtX وفقاً لأطلس PtX. يقيس هذا التحليل القطري رفيع المستوى الإمكانات الاجتماعية والاقتصادية لإحدى البلدان لإنتاج الهيدروجين الأخضر وتصديره بناءً على مجالات الاقتصاد والسياسة والمجتمع والتقنية والظروف الطبيعية بالقرب من ألمانيا، وفي ضوء خيارات التصدير المستقبلية. يعتمد اختيار هذه الموضوعات على افتراض أنه بالإضافة إلى الموارد الطبيعية (إمكانات الطاقة الشمسية أو الرياح)، فإن العوامل الاجتماعية والاقتصادية مهمة أيضاً لقرارات الاستثمار عندما يتعلق الأمر بتحديد بلد تصدير محتمل ل PtX⁷⁹ وفقاً لأطلس PtX، تتمتع الإمارات العربية المتحدة وقطر



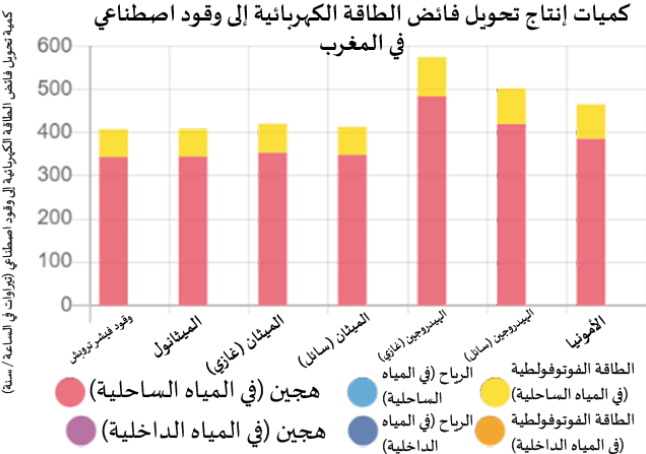
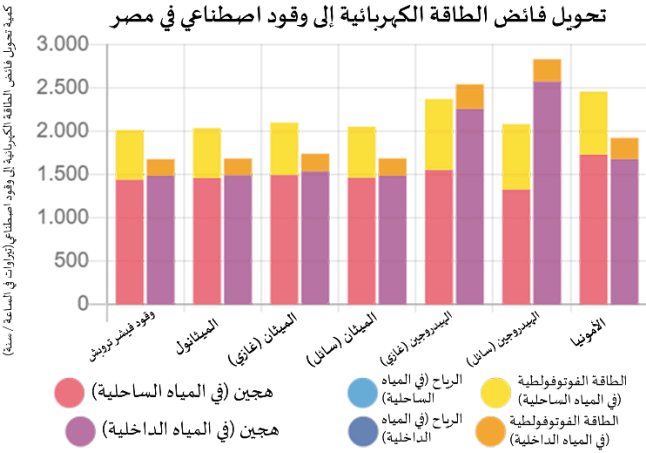
الشكل 3: إنتاج الغاز الطبيعي 2020 [مليار متر مكعب] المصدر: التفصيل الخاص على أساس بريتيش بتروليوم (2022)⁷⁴

إنتاج الهيدروجين الأخضر وإمكانات PtX

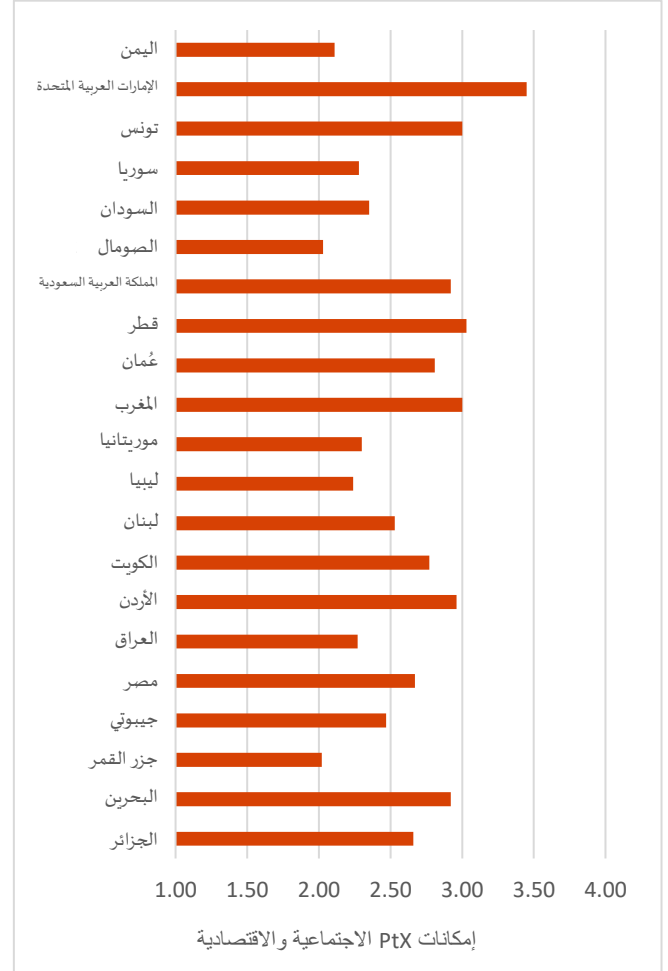
يستمد تقدير إمكانات الهيدروجين الأخضر بياناته من أطلس PtX⁷⁵. تستند المنهجية المعنية إلى تحليل نظم المعلومات الجغرافية، مع مراعاة معايير الأهلية المتعددة لإنتاج الهيدروجين الأخضر، ومن أبرز المعايير الوصول إلى مياه البحر أو موارد المياه السطحية، مما يقيد إمكانات الإنتاج التي جرى تحليلها في المناطق الساحلية والمناطق الداخلية بالقرب من موارد المياه السطحية. تضيف المياه المحلاة حوالي 1% فقط من تكلفة الهيدروجين الأخضر، لذلك مع الآليات المناسبة، يمكن تجنب مشاكل ندرة المياه⁷⁶. ولذلك، لا تُراعى الحصص الرئيسية للمناطق الداخلية بالبلدان حيث إنها لا تستوفي معيار الوصول إلى المياه⁷⁷. في مصدر البيانات المستخدم، لا توجد محطات طاقة رياح مخصصة لإنتاج الهيدروجين في الجزائر والأردن وعُمان والإمارات العربية المتحدة. ومع ذلك، ومع البيانات المتاحة، يمكن أن ترتفع الإمكانات المعروضة بشكل كبير، كما هو الحال بالنسبة للأردن، على سبيل المثال. لذلك، لم تُحلل مسارات إنتاج الهيدروجين القائمة على طاقة الرياح المتجددة لهذه البلدان ولكن سيتعين تقييمها في المستقبل. وعلاوةً على ذلك، لم يوفر المصدر الذي تم استشارته إمكانات الهيدروجين الحجمية للبلدان التالية: البحرين وجزر القمر ولبنان وقطر وفلسطين.

يوضح الشكل 5 إمكانات حجم إنتاج الهيدروجين الأخضر السنوي النظري لكل بلد. جرى تقديره على افتراض التطوير الكامل النظري للطاقة المتجددة في المناطق المحتملة المحددة، ويستند هذا أيضاً إلى قيود استخدام الأراضي وتوافر المياه، دون النظر صراحة في معايير الإضافة لمصادر الطاقة المتجددة، ومع ذلك، وبالنظر إلى النهج الأساسي، لا يُنظر إلا في المناطق الجغرافية التي تصل إلى الساحل أو

ذات الصلة للتحليل الكهربائي. تعتبر منتجات ومشتقات الهيدروجين الأخضر التالية: وقود فيشر-ترويش (ديزل، كبروسين)، ميثانول اصطناعي (الميثانول)، ميثان مضغوط أو سائل (الميثان غازي)، هيدروجين مضغوط أو سائل (الهيدروجين سائل)، وأمونيا اصطناعية (الأمونيا). تؤدي الظروف المناخية والجغرافية المختلفة إلى إمكانات توليد مختلفة: على سبيل المثال، في حين أن إمكانات الهيدروجين السائل المتولد من الموارد الهجينة في نطاق المياه الداخلية في مصر هي الأعلى، إلا أن أطلس PtX يعتبر إنتاج دولة الإمارات العربية المتحدة للهيدروجين المضغوط المتولد من الطاقة الكهروضوئية في المياه الساحلية هو الأكبر.



والمغرب فقط بإمكانات اجتماعية واقتصادية "متوسطة" (درجة 3.0 أو أعلى) لإنتاج الهيدروجين الأخضر ومشتقاته وكذلك تصديره إلى ألمانيا. تعتبر الإمكانيات الاجتماعية والاقتصادية للجزائر والبحرين ومصر والأردن والكويت ولبنان وعمان والمملكة العربية السعودية "صغيرة" (2.5-3.0)، بالنسبة للدول الأعضاء الأخرى التي لديها بيانات متاحة على أنها "صغيرة جداً" (>2.5).⁸⁰

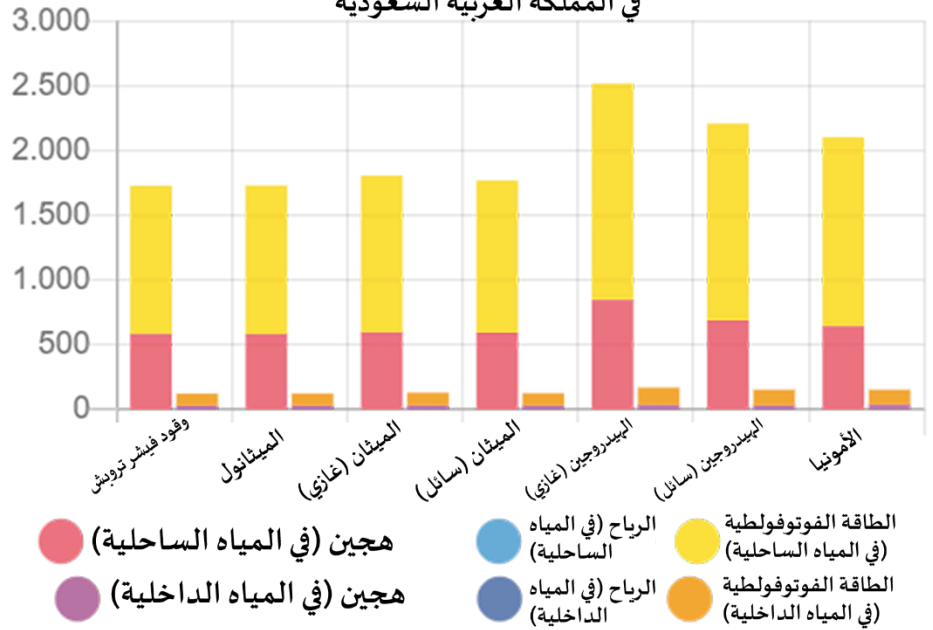


الشكل 5: الإمكانيات الاجتماعية والاقتصادية للبلدان التي لديها إمكانيات متاحة من PtX. المصدر: التفصيل الخاص على أساس أطلس PtX⁸¹

في الأشكال أدناه، تُعرض أحجام التوليد المحتملة للهيدروجين الأخضر ومشتقاته لمصر والمغرب والمملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة، بناءً على إمدادات المياه ومصادر الطاقة

كمية تحويل فائض الطاقة الكهربائية إلى وقود اصطناعي (تيرافوات في الساعة / سنة)

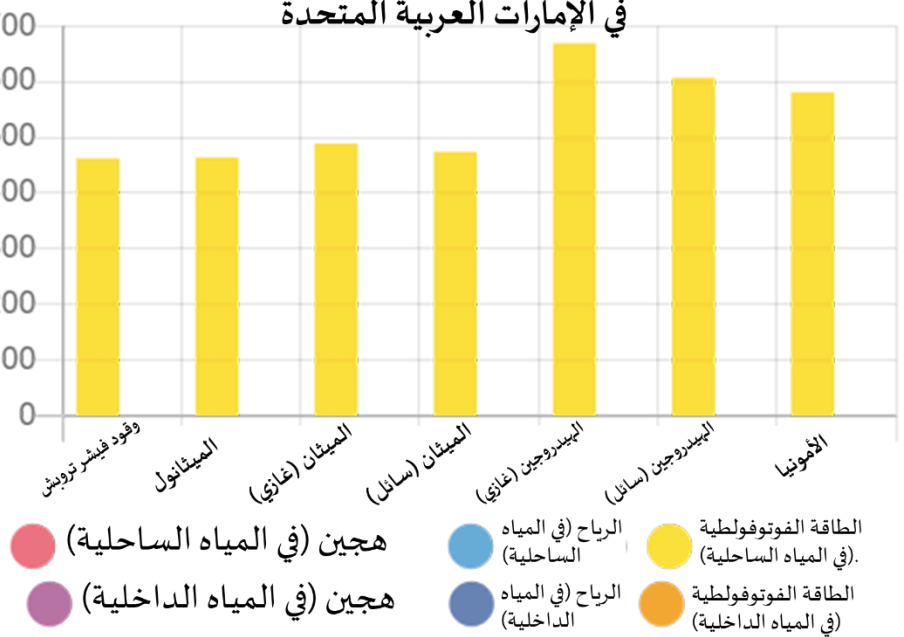
كميات إنتاج تحويل فائض الطاقة الكهربائية إلى وقود اصطناعي في المملكة العربية السعودية



الشكل 6: أحجام توليد الطاقة المحتملة من PtX (التحليل الكهربائي بدرجة حرارة عالية) لبلدان مختارة. المصدر: أطلس PtX⁸²

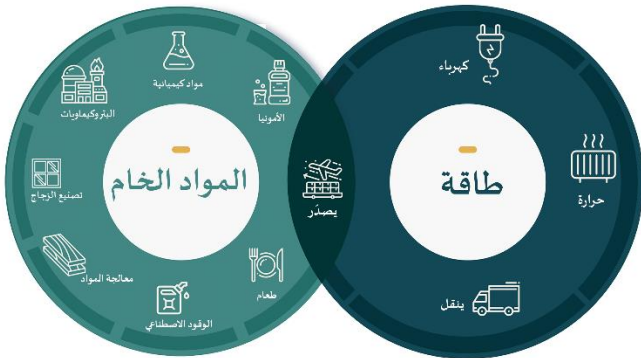
كمية تحويل فائض الطاقة الكهربائية إلى وقود اصطناعي (تيرافوات في الساعة / سنة)

كميات إنتاج تحويل فائض الطاقة الكهربائية إلى وقود اصطناعي في الإمارات العربية المتحدة



استخدامات الهيدروجين

يوضح الشكل أدناه استخدامات الهيدروجين، ويُستخدم الهيدروجين على الصعيد العالمي في الوقت الحالي بشكل أساسي كمادة خام بدلاً من استخدامه كحامل للطاقة، وأبرز استخداماته تقع في المصافي، على سبيل المثال، لإنتاج الأمونيا أو الميثانول، وفي الاستخدامات الأولى في صناعة الحديد والصلب، وتمثل هذه الاستخدامات مجتمعة حوالي 75% من استخدام الهيدروجين الحالي.⁸⁶ وينطبق هذا أيضاً على المنطقة العربية - حيث يستخدم معظم الهيدروجين حالياً في تكرير النفط والبتروكيماويات وصناعة الصلب. تعتمد صناعة الكيماويات القائمة على الغاز، مثل مصانع الأمونيا والميثانول، بشكل رئيسي في البلدان ذات موارد الغاز الطبيعي الهائلة (على سبيل المثال، الجزائر ومصر والمملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة)، بشكل حصري على مصادر الهيدروجين الرمادية. تنتج جميع مصانع الصلب الهيدروجين الرمادي وتستخدمه، يُنتج الهيدروجين المستخدم فقط في مصنع الإمارات للصلب (الإمارات العربية المتحدة) من الغاز الطبيعي.⁸⁷



الشكل 7: استخدامات الهيدروجين. المصدر: مؤسسة فريدريش إيبيرت 2022⁸⁸

لتحقيق أهداف التخفيف من آثار تغير المناخ في البلدان، تفرض هذه الصناعات تحديات على القطاعات التي يجب معالجتها من خلال اقتصاد الهيدروجين الأخضر المتنامي، ويعد استبدال الهيدروجين الرمادي بالهيدروجين المتولد بالكهرباء المتجددة أحد الخيارات للمساهمة في إزالة الكربون من الاستخدامات الصناعية الحالية المذكورة أعلاه، ومع ذلك، تظهر فرص جديدة لاستخدام الهيدروجين الأخضر في قطاع الصناعة. خيارات استخدام الهيدروجين الأخضر محددة لكل قطاع صناعي، بدءاً من استبدال الهيدروجين الأحفوري إلى تغيير عملية الإنتاج الصناعي بأكملها: يمكن أن يحل الهيدروجين، على سبيل المثال، محل الفحم كعامل اختزال في إنتاج الصلب.⁸⁹ أو يُستخدم في المصافي، أو يُستخدم في إنتاج الأمونيا الخضراء. تعتمد

ووفقاً للجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا، فإن البنية التحتية القائمة في البلدان العربية والتكاليف المنخفضة المحتملة للكهرباء المولدة من الطاقة المتجددة المتغيرة (الطاقة الشمسية وطاقة الرياح) - لبلدان مثل الأردن والمغرب والمملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة - تعطي هذه البلدان ميزة نسبية رئيسية في إنتاج الهيدروجين الأخضر. ومع ذلك، لا يمكن الحصول على هذه الميزة إلا عندما يزيد مستوى استخدام المحللات الكهربائية، اعتماداً على توافر الكهرباء المتجددة، في منطقة الخليج وحدها، تقدر دراسة أجراها تحالف الهيدروجين في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا أن هناك حاجة إلى استثمارات سنوية تتراوح بين 16 و 25 مليار دولار على مدى 25 عاماً لتركيبة 150 إلى 210 جيجاوات من قدرة التحليل الكهربائي لتحقيق قدرة إنتاج الهيدروجين الأخضر من 50 إلى 70 مليون طن بحلول عام 2050. وتغطي هذه الاستثمارات نفقات التخزين والتحويل والطاقة المتجددة وأجهزة التحليل الكهربائي.⁸³

تسليط الضوء على المملكة العربية السعودية: مشروع نيوم

للهدروجين الأخضر

وبمجرد بدء التشغيل، ستكون نيوم أكبر منشأة مرافق في العالم، وهو مرفق هيدروجين قائم على أساس تجاري مدعوم بالكامل بالطاقة المتجددة. يُجرى تطوير المشروع الذي تبلغ تكلفته 5 مليارات دولار من خلال مشروع مشترك بين نيوم وأكوا باور في المملكة العربية السعودية وشركة إير برودكتس في الولايات المتحدة. عند الانتهاء في عام 2026، ستشمل المنشأة أكثر من 4 جيجاوات من الطاقة المتجددة، وستنتج 600 طن يومياً من الهيدروجين النظيف عن طريق التحليل الكهربائي وما يصل إلى 1.2 مليون طن سنوياً من الأمونيا الخضراء.⁸⁴ علاوة على ذلك، أُعلنت خطط لتطوير مصنع تجميع في مدينة نيوم لإنتاج ما يصل إلى 10000 سيارة تعمل بخلايا وقود الهيدروجين سنوياً كجزء من مذكرة تفاهم بين هايزون موتورز في الولايات المتحدة ومجموعة الاستثمار الصناعي الحديثة القابضة ونيوم في المملكة العربية السعودية.⁸⁵

احتمالات التطوير طويلة المدى في تونس	صلته بتونس اليوم	استخدامات الهيدروجين الحالية	التكرير
قد يؤدي وجود مصفاة جديدة أو إضافة وحدات المعالجة إلى إتاحة طلب محدود في المستقبل؛ لكن هذه الخيارات تنطوي على مخاطر مثل تأثيرات الانفلاق التقني أو حصر الاستثمارات. قد يؤدي وجود مصفاة جديدة أو إضافة وحدات المعالجة إلى إتاحة طلب محدود في المستقبل؛ لكن هذه الخيارات تنطوي على مخاطر مثل تأثيرات الانفلاق التقني أو حصر الاستثمارات.	يوجد في تونس مصفاة واحدة مع عدم وجود وحدة معالجة أخرى، لذلك لا يوجد حالياً طلب على الهيدروجين الأخضر للتكرير في تونس.	إزالة الكبريت وترقية النفط الخام الثقيل من خلال: • التكسير الهيدروجيني • المعالجة المائية	
من غير المرجح إنشاء صناعة صلب جديدة باستخدام تقنية الاختزال المباشر والطلب على الهيدروجين ذي الصلة، خاصة وأن تونس لا تملك سوى احتياجات محدودة من خام الحديد.	يوجد في تونس مصنع واحد للصلب ينتج الصلب الثانوي من الخردة في فرن القوس الكهربائي. هذه العملية لا تتطلب الهيدروجين.	عملية الاختزال المباشر للحديد في إنتاج الصلب الأولي	
يمكن إنتاج الأمونيا الخضراء والميثانول في تونس من الهيدروجين المولد من مصادر الطاقة المتجددة لتغطية الطلب المحلي والتصدير.	لا يوجد حالياً أي إنتاج للأمونيا أو الميثانول في تونس، وكلتا السلعتين مستوردتان. لا يوجد اليوم سوى طلب غير مباشر للهيدروجين.	• إنتاج الأمونيا • إنتاج الميثانول • العمليات الكيميائية الأخرى	
لا توجد استخدامات محتملة في تونس على المدى القصير إلى المتوسط، ومن الممكن أن يتطور الطلب على المدى الطويل ولكن الاستخدام المباشر للحرارة الشمسية المركزة قد يكون خياراً أكثر جدوى.	لا يوجد استخدام للهيدروجين للحرارة في الصناعة في تونس.	لا يوجد استخدام له اليوم، ولكن من المحتمل استخدامه في المستقبل.	

القدرة على توليد كميات كبيرة من الكهرباء المتجددة منخفضة التكلفة.

الشكل 8: فرص الهيدروجين الأخضر و PtX في تونس. المصدر: الوكالة الألمانية للتعاون الدولي (2021)

تسليط الضوء على تونس: فرص الهيدروجين الأخضر و PtX في الصناعة

بحثت دراسة بتكليف من الوكالة الألمانية للتعاون الدولي (2021) في فرص PtX في تونس. فيما يلي ملخص للنتائج المتعلقة بفرص PtX في قطاع الصناعة:

يمكن أن يضطلع وقود الهيدروجين الأخضر أيضاً بدورٍ معين في إزالة الكربون من قطاع النقل في المنطقة العربية. من الناحية النظرية، يمكن تشغيل النقل الثقيل، بما في ذلك الحافلات والشاحنات والسفن والطائرات، بواسطة الهيدروجين في المستقبل. بالإضافة إلى ذلك، يمكن تحويل الهيدروجين إلى الميثان والميثانول والأمونيا، والتي يمكن استخدامها مباشرة كوقود أو تحويلها وترقيتها إلى ديزل اصطناعي أو بترين أو كيروسين. لا يختلف الوقود الاصطناعي من الناحية الفنية عن نظرائه التقليديين، ومن ثمّ يمكن استخدامه مباشرة في محركات الاحتراق دون الحاجة إلى أي تغيير تقني أو استثمار في بنية تحتية جديدة. هذه التقنيات ليست قادرة على

عملية إنتاج الصلب الخام من خام الحديد في الوقت الحالي على الوقود الأحفوري، إما من خلال عملية فرن الصهر باستخدام الفحم الحجري كعامل اختزال أو من خلال الحديد الإسفنجي مع الميثان كعامل اختزال باستخدام أفران القوس الكهربائي. يمكن استخدام الهيدروجين الأخضر في المستقبل لاستبدال الوقود الأحفوري جزئياً (في عملية فرن الصهر) أو كلياً (في عملية الحديد الإسفنجي). ونظراً لأن مصانع الحديد الإسفنجي شائعة الاستخدام في البلدان ذات موارد الغاز الطبيعي، فإن مصانع الحديد الإسفنجي منتشرة على نطاق واسع في معظم البلدان العربية. يعتبر استبدال الغاز الطبيعي بالهيدروجين الأخضر عن طريق الهيدروجين في عملية الحديد الإسفنجي خياراً ممكناً على المدى المتوسط في المنطقة العربية، ويرتبط بتكلفة استثمارية محدودة فقط. لاستخدام الهيدروجين الأخضر في المصافي، يلزم الاستثمار في وحدات التكسير بالهيدروجين أو المعالجة بالهيدروجين. يمكن لمصافي التكرير القائمة تقليل نسب الكبريت وتحسين رقم الأوكتان لخفض الانبعاثات المباشرة. من شأن التكسير بالهيدروجين أو المعالجة بالهيدروجين أن يولد طلباً إضافياً على الهيدروجين الأخضر. تُنتج الأمونيا حالياً بشكل حصري تقريباً على نطاق واسع من خلال الجمع بين النيتروجين والهيدروجين عبر عملية هابر بوش. تُنتج الأمونيا في الدول العربية من الغاز الطبيعي بنسبة 100%. ويُعد إنتاج الأمونيا هو العملية الأكثر استهلاكاً للطاقة في صناعة الأسمدة. يمكن أن يوفر الطلب العالمي المتزايد المتوقع على الأمونيا فرصة إضافية لإنتاج الأمونيا الخضراء في المواقع التي تملك

المتجددة بشكل كبير، فقد يصبح موازنة عدم التوافق الزمني والمكاني بين العرض والطلب على الكهرباء في المنطقة العربية أمر واراد في المستقبل. يمكن أن يساعد مزج الهيدروجين الأخضر في البنية التحتية الحالية للغاز الطبيعي في تقليل البصمة الكربونية لمزيج الطاقة الحالي لبعض البلدان العربية.^{95,94}

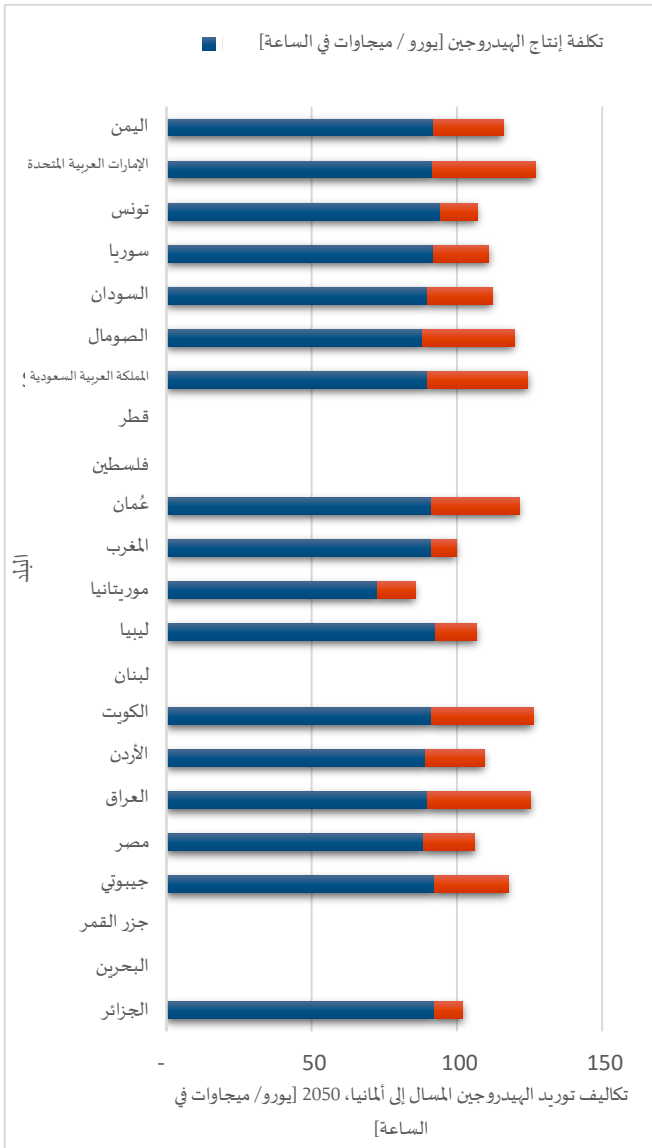
إمكانات تصدير الهيدروجين: خيارات النقل وتكاليف التوريد

تخطط العديد من البلدان خارج المنطقة العربية، وبشكل خاص في الاتحاد الأوروبي، لإدخال الهيدروجين الأخضر في اقتصاداتها، خاصة في القطاعات التي يصعب فيها كهربة الكربون وتخفيفه. بناءً على التوقعات الحالية، لن تكون إمدادات الهيدروجين الأخضر المحلية في أوروبا كافية لتلبية الطلب المتوقع على الهيدروجين على المدى الطويل. ومن ثم، فإن هذا يفتح فرصاً لواردات الهيدروجين منخفض الكربون من الدول الأعضاء في جامعة الدول العربية.⁹⁶ يمكن نقل الهيدروجين إما عبر خطوط الأنابيب، أو عبر السفن - التي تحمل الهيدروجين المسال، أو ناقلات الهيدروجين العضوي المسال، أو الوقود الإلكتروني الاصطناعي مثل الميثانول أو الكيروسين. بالنسبة للنقل في خطوط الأنابيب، يُمزج الهيدروجين في خطوط أنابيب الغاز الطبيعي، ويُنقل في خطوط أنابيب جديدة أو معدلة. يمكن إجراء المزج بنسبة تصل إلى 2%. وتقدر تكاليف خطوط الأنابيب الجديدة بحوالي 20% أعلى من خطوط أنابيب الغاز الطبيعي؛ وتقدر تكاليف التعديل التحديتي بحوالي 10%-15% من تكاليف خطوط الأنابيب الجديدة.⁹⁷

تحدد استراتيجية الاتحاد الأوروبي للهيدروجين شمال إفريقيا بشكل خاص - نظراً لقربها الجغرافي - كمزود محتمل لإمدادات الهيدروجين الأخضر التنافسية من حيث التكلفة. تشير مبادرات العمود الفقري للهيدروجين الأوروبي إلى أن واردات الهيدروجين من شمال إفريقيا، المخطط لها في عام 2040 أو ربما قبل ذلك، ستوجه عبر إيطاليا وإسبانيا.⁹⁸ حلل معهد أوكو (2022) إجمالي تكاليف توريد الهيدروجين الأخضر من دول شمال إفريقيا بما في ذلك النقل إلى الاتحاد الأوروبي (إسبانيا/إيطاليا) في عام 2030. وخلصت الدراسة إلى أنه في حين أن تكاليف الإنتاج تقع في نفس النطاق بالنسبة للبلدان موضع التحليل، فإن تكاليف التوريد تختلف بشكل خاص بسبب تكاليف النقل.⁹⁹ يمكن أن تؤدي إعادة استخدام خطوط أنابيب الغاز الطبيعي لنقل الهيدروجين إلى خفض تكاليف الاستثمار بنسبة 50-80%، مقارنة بتطوير خطوط أنابيب جديدة.¹⁰⁰ من المفترض أن مصر غير قادرة على نقل الهيدروجين عبر خطوط

المنافسة بعد مع أنواع الوقود التقليدية والتقدم التقني، وما زال التوافر يختلف بين مختلف الاستخدامات. وفقاً للوكالة الألمانية للتعاون الدولي (2021)، يجب أن تكون العديد من التقنيات جاهزة للاستخدامات التجارية بحلول عام 2030.⁹⁰ قد تكون الجهة التنظيمية المحتملة للنقل البري في المنطقة العربية هي مؤسسة خدمات الحافلات الوطنية أو أي مؤسسة عامة أخرى تستخدم عدداً كبيراً من الحافلات أو المركبات الثقيلة. بالنسبة لقطاع الشحن البحري، تجذب الأونيا اهتماماً خاصاً. ومع ذلك، فقد اقتصر استخدام الوقود القائم على الهيدروجين، بما في ذلك الأونيا، في الشحن حتى الآن على المشروعات البحثية والتجريبية. كما أن استخدام الهيدروجين لنقل البضائع بالسكك الحديدية في مراحل تطوره المبكرة حيث يُجرى التحقيق في خيارات مجموعة نقل الحركة المختلفة مثل خلايا وقود الهيدروجين أو محركات الغاز أو المفاهيم الهجينة جنباً إلى جنب مع استخدام وقود PtX. تتطلب كهربة قطاع القطارات عبر الخطوط العلوية استثمارات كبيرة في البنية التحتية، والتي عادةً ما تكون قابلة للتطبيق فقط على الطرق ذات الحركة المرورية العالية.⁹¹ بالنسبة للاستخدام في مجال الطيران، تعد التكاليف أيضاً عاملاً حاسماً، حيث إنه من المتوقع أن يكون الكيروسين المتولد من الانتقال الطاقى أعلى مرتين إلى أربع مرات على الأقل من الكيروسين التقليدي⁹²، لذلك يجب أن يكون أي استخدام للكيروسين الأخضر في المنطقة مصحوباً بحوافز مالية أو تدابير داعمة أخرى.

وفقاً للوكالة الألمانية للتعاون الدولي (2021)، توجد إمكانات الاستخدام التالية للهيدروجين الأخضر في قطاع الكهرباء والغاز: مع زيادة حصص مصادر الطاقة المتجددة المتغيرة في مزيج الكهرباء، ستصبح المرونة وخيارات التخزين للطاقة المتولدة في ذروتها ذات أهمية متزايدة لتلبية ذروة الطلب. يمكن لتقنيات PtX دعم إمدادات الطاقة بثلاث طرق: (1) من خلال إدارة فائض الكهرباء المتولد من مصادر الكهرباء المتجددة المتغيرة غير القابلة للتوزيع؛ (2) من خلال توفير خدمات إضافية لتثبيت تردد الشبكة أو (3) (4) كحلول طاقة للأنظمة خارج الشبكة. ومن شأن تحويل فائض الكهرباء المتجددة إلى هيدروجين وإعادة الكهرباء أن يسمح بتخزين الطاقة واستخدامها في الأوقات التي تشتد فيها الحاجة إليها. يمكن أيضاً حقن الهيدروجين في شبكات أنابيب الغاز الطبيعي الحالية، إما مباشرة أو من خلال التحويل إلى غاز طبيعي مُصنَّع أخضر. وفقاً للافتراضات الحالية، لا تتطلب حصة تصل إلى 20% من الهيدروجين أي تعديلات فنية على البنية التحتية الحالية للغاز الطبيعي.⁹³ إذا زادت حصة الطاقة

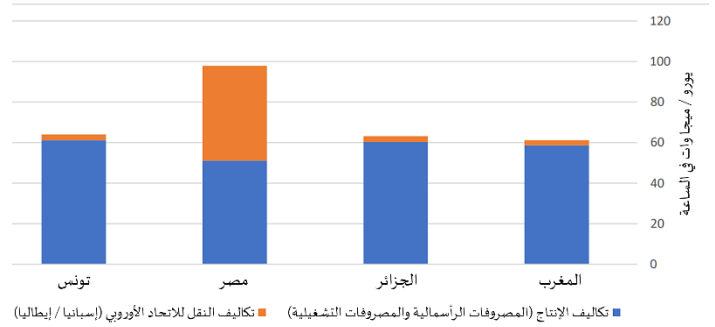


الشكل 9: تكاليف توريد الهيدروجين المسال إلى ألمانيا عبر السفينة، 2050. المصدر: شرح خاص يستند إلى فراونهور (2023)¹⁰⁶

الاعتبارات الاقتصادية والاجتماعية والبيئية

تتمثل إحدى العوائق الرئيسية أمام تطوير الهيدروجين منخفض الكربون في ارتفاع التكلفة مقارنة بالهيدروجين المنتج من الوقود الأحفوري. وحسب أسعار الغاز الإقليمية، تراوحت التكلفة الحدية لإنتاج الهيدروجين من الغاز الطبيعي من 0.5 دولار أمريكي إلى 1.7 دولار أمريكي للكيلوغرام في عام 2019، كما هو موضح في الشكل 11 أدناه. يؤدي استخدام تقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه للحد من انبعاثات الغازات الدفيئة إلى زيادة تكاليف الإنتاج إلى حوالي 1 إلى 2 دولار أمريكي لكل كيلوغرام.¹⁰⁷ من المرجح أن يظل إنتاج الهيدروجين من الوقود الأحفوري باستخدام احتجاز الكربون وتخزينه أرخص طريق منخفض الكربون في المناطق ذات الفحم المحلي منخفض التكلفة والغاز الطبيعي وتخزين ثاني أكسيد الكربون المتاح، مثل الشرق الأوسط.¹⁰⁸ يكلف استخدام الكهرباء المتجددة

الأنابيب، ومن ثمّ من غير المرجح أن تصدر مصر الهيدروجين المسال المتنافس مع الدول المرتبطة بالاتحاد الأوروبي عبر خطوط الأنابيب. بدلاً من ذلك، يمكن أن تكون الأمونيا أو الميثانول أو حتى الوقود الاصطناعي خياراً. كما هو مبين في الشكل 9 أدناه، من المفترض أن تكون تكلفة النقل للجزائر والمغرب وتونس على النقيض من ذلك أقل بكثير.¹⁰¹



الشكل 8: تكاليف توريد الهيدروجين الأخضر من شمال إفريقيا إلى إسبانيا/إيطاليا في عام 2030، مع الأخذ في الاعتبار كل من خطوط الأنابيب والشحن. المصدر: Institut - Öko.e.v. (2022)¹⁰²

من غير المرجح أيضاً أن تتحقق مشروعات خطوط أنابيب الغاز من الشرق الأوسط إلى أوروبا على المدى القصير إلى المتوسط. ومن ثمّ، من المرجح أن تُشحن إمدادات الهيدروجين منخفضة الكربون المحتملة من الشرق الأوسط إلى أوروبا. في الوقت الحالي، لا توجد مشروعات كبيرة لتصدير غاز الهيدروجين من الشرق الأوسط، باستثناء مشروع هيدروجين نيوم المذكور أعلاه في المملكة العربية السعودية.¹⁰³ يوضح الشكل 10 أدناه تكاليف الإمداد المقدرة للهيدروجين المسال من الدول العربية إلى أوروبا (ألمانيا)، بناءً على البيانات المتاحة من أطلس PtX. يفترض أن يتم النقل بالسفن، والذي يتم دفعه بالوقود المراد نقله.¹⁰⁴ أصبح ارتفاع تكاليف النقل للاستيراد من دول الشرق الأوسط إلى أوروبا واضحاً مقارنة بدول شمال إفريقيا. نظراً لتحديات تكلفة نقل الهيدروجين النقي عبر مسافات طويلة، فإن شحن الأمونيا منخفضة الكربون من الشرق الأوسط إلى أوروبا سيقدم خياراً أكثر جدوى.¹⁰⁵

وارتفاع درجات الحرارة وتغيير أنماط هطول الأمطار.¹¹³ حتى لو كان من الممكن الوصول إليها، فإن تحلية مياه البحر هي عملية كثيفة الاستهلاك للطاقة ومكلفة ويجب تقييمها بعناية في السياق المحلي أو الإقليمي المعني. من ناحية أخرى، يمكن لطريقة مستدامة لتطوير قدرة إضافية لتحلية مياه البحر لإنتاج الهيدروجين الأخضر أن توفر أيضاً فرصاً لتوفير المياه العذبة للمجتمعات المحلية.¹¹⁴

كما يجب تقييم المزيد من المخاطر البيئية المرتبطة بنشر الهيدروجين الأخضر. وتتعلق هذه المخاطر على سبيل المثال بتصريف المركبات والمواد الكيميائية في البيئة البحرية، مثل زيادة درجة حرارة مياه البحر والملوحة وتدفق المياه. يجب أيضاً مراعاة متطلبات استخدام الأراضي: تتراوح تقديرات أجهزة التحليل الكهربائي بين 8 متر مربع و 60 متر مربع مساحة الأرض المطلوبة لكل ميغاوات. المجالات المطلوبة لقدرة الطاقة المتجددة المطلوبة أكبر بكثير. في المناطق التي ترتفع فيها مستويات الإشعاع مثل منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، هناك حاجة إلى حوالي 20000 متر مربع لكل تركيب للطاقة الكهروضوئية ميغاوات. تقدر احتياجات مشروعات الرياح حالياً من الأراضي بحوالي 200000 متر مربع لكل ميغاوات.

نحو استراتيجية عربية للهيدروجين الأخضر لجامعة الدول العربية

الأساس المنطقي لاستراتيجية عربية شاملة

يُظهر التحليل في نطاق هذه الدراسة إمكانات عالية لتقنيات الطاقة المتجددة المتغيرة في المنطقة العربية. تعد الإشعاعات الشمسية من بين أعلى المعدلات في العالم؛ كما يمتلك عدد قليل من البلدان إمكانات كبيرة لطاقة الرياح. لدى العديد من الدول الأعضاء خطط توسعية طموحة لتقنيات الطاقة المتجددة في العقود المقبلة كجزء من سياساتها في مجال الطاقة أو استراتيجياتها للتخفيف من آثار تغير المناخ. ومع ذلك، تختلف إمكانات الهيدروجين الأخضر اختلافاً كبيراً بين البلدان بسبب الاختلافات في توافر المياه والبنية التحتية الحالية وكذلك العوامل الجغرافية والاجتماعية والاقتصادية. ومن بين أبرز التحديات، حُددت المخاوف البيئية والاجتماعية، على سبيل المثال، المتعلقة بندرة المياه في البلدان التي تفتقر إلى إمكانية الوصول إلى المحيطات، وارتفاع تكاليف الإنتاج والنقل، فضلاً عن الاستقرار السياسي والاقتصادي المحدود في العديد من البلدان. التكاليف المرتبطة بإنتاج الهيدروجين الأخضر ليست تنافسية بعد مع أشكال التوليد أو مصادر الطاقة الأخرى. مع استمرار التقدم التقني والتوسع وانخفاض تكاليف الطاقة المتجددة وأجهزة التحليل الكهربائي، وقد

لإنتاج الهيدروجين حالياً من 3 إلى 8 دولارات أمريكية للكيلوغرام الواحد.



وفقاً لسيناريو صافي الانبعاثات الصفري لوكالة الطاقة الدولية بحلول عام 2050، يمكن أن تنخفض تكاليف إنتاج الهيدروجين الأخضر إلى 1.3 دولار أمريكي لكل كيلوغرام بحلول عام 2030 في المناطق ذات الموارد المتجددة الممتازة، مثل شمال إفريقيا. على المدى الطويل، تنخفض تكاليف الهيدروجين من الكهرباء المتجددة إلى 1 دولار أمريكي للكيلوغرام (تتراوح بين 1.0-3.0 دولار أمريكي للكيلوغرام) في سيناريو صافي الانبعاثات الصفري، مما يجعل الهيدروجين من الطاقة الشمسية الكهروضوئية منافساً لتكلفة الهيدروجين من الغاز الطبيعي حتى بدون احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه في عدة مناطق.¹¹⁰

تعد متطلبات المياه لمصانع إنتاج الهيدروجين الأخضر من استخداماتها في المناطق النادرة في المياه العذبة في العالم. تتطلب أجهزة التحليل الكهربائي ما بين 10 لترات و 24 لتراً من الماء لكل كيلوغرام من الهيدروجين، اعتماداً على كفاءة العملية.¹¹¹ وفقاً لدراسة أجرتها جامعة ستانفورد و GH₂Lab، فإن المياه المحلاة تزيد فقط من تكاليف إنتاج الهيدروجين الأخضر بنسبة واحد في المائة¹¹²، لذلك مع الآليات المناسبة، يمكن تجنب مشاكل ندرة المياه. ومع ذلك، فإن الآثار البيئية والاجتماعية السلبية لاستخدام المياه العذبة هي اعتبار مهم للغاية في المنطقة العربية، لا سيما في المناطق الداخلية التي لا يمكنها الوصول إلى المصادر المحتملة لمياه البحر المحلاة. يزيد تغير المناخ من تسارع الإجهاد المائي في العديد من المناطق من خلال إطالة فترات الجفاف

يتغير هذا في العقود القادمة. يعتبر الهيدروجين الأزرق - الإنتاج من الغاز الطبيعي مع احتجاز الكربون - حالياً أكثر اقتصادية وتدرس استخدامه العديد من البلدان ذات موارد الغاز الطبيعي الهائلة. فيما يتعلق بالنقل، يجري استكشاف خيارات لتصدير الهيدروجين من دول شمال إفريقيا عبر خطوط الأنابيب إلى أوروبا؛ بالنسبة لدول الخليج العربية، يبدو الشحن حالياً الخيار الوحيد الممكن.

تتميز المنطقة أيضاً بالتقدم المتنوع في استكشاف خيارات إنتاج واستخدام الهيدروجين (الأخضر) في كل بلد على حدا. ولم يطلق سوى عدد قليل من البلدان استراتيجيات أو خططاً وطنية للهيدروجين؛ وتقتصر المحللات الكهربائية الحالية على نطاق تجريبي وبلدان واحدة. ومع ذلك، فإن الاستراتيجيات الوطنية قيد التطوير في عدد متزايد من الدول الأعضاء، ويُعلن الآن عن أول مشروعات عملاقة لإنتاج الهيدروجين الأخضر، على سبيل المثال، في المملكة العربية السعودية. لا غنى عن توحيد هذه الجهود للتنمية المستدامة لاقتصاد الهيدروجين الأخضر في المنطقة. لن يساعد تكثيف صناعات الهيدروجين الأخضر في البلدان الأعضاء على تحقيق الأهداف الوطنية لانبعاثات الغازات الدفيئة وفقاً للالتزامات المحددة على المستوى الوطني فحسب، بل سيعمل أيضاً على مواءمة احتياجات الاستثمار مع سياسات جذب القروض الخضراء المحتملة من المؤسسات المالية الدولية.

وفي ضوء ما تقدم، تدعو هذه الدراسة إلى وضع استراتيجية عربية للهيدروجين الأخضر لجامعة الدول العربية. يمكن أن يدعم النهج المنسق تبادل المعرفة والبحث والتطوير، ومواءمة الاستراتيجيات والخطط الوطنية، والاستكشاف المشترك للخيارات الممكنة للإنتاج والاستخدام الإقليمي للهيدروجين، بالإضافة إلى الأرضية المشتركة في بدء اتفاقيات التجارة بين الأقاليم. يرد وصف المسارات المحتملة والشركاء المحتملين والإجراءات المطلوبة والخطوات التالية لتطوير الفصل المعني في هذا الفصل.

مقترح خارطة طريق إقليمية للهيدروجين الأخضر

2050-2023

يقدم هذا الفصل خارطة طريق للهيدروجين الأخضر للمنطقة العربية. وكي تعكس الدراسة تقييم نضج الصناعة والانتشار المتزايد المتوقع للهيدروجين الأخضر، تم تحديد ثلاث مراحل للتطوير: مرحلة التجريب والاختبار (2023-2030)، ومرحلة إنشاء السوق وتوسيع نطاقه (2030-2040)، ومرحلة السوق الشامل أو المنافسة (2040-2050). ويرد وصف الأهداف والتحديات والمتطلبات الرئيسية المرتبطة بها في الجدول 3 أدناه.

الجدول 3 خارطة طريق الهيدروجين الأخضر 2023-2050 للمنطقة العربية: مراحل التطوير

2030 - 2023	2040 - 2030	2050 - 2040
التجريب والاختبار	إنشاء الأسواق وتوسيع نطاقها	السوق الشامل/المنافسة
الحالة: يقتصر إنتاج الهيدروجين الأخضر على المشروعات الاختبارية أو التجريبية، ويتم إنتاجه في الغالب في الموقع وبشكل لا مركزي مع تطوير محدود للبنية التحتية.	الحالة: زيادة الطلب على الهيدروجين وتحقيق وفورات حجمية للإنتاج والبنية التحتية، وهو ما ينتج في المقام الأول من أوجه التآزر بين الاستخدامات مثل المجموعات الصناعية.	الحالة: أصبح الهيدروجين الأخضر ومشتقاته يستخدم على نطاق واسع وأصبح منافساً على صعيد العرض واستخداماته النهائية.
الهدف الرئيسي: تشجيع وتسريع الاستخدام المتزايد للبنية التحتية المعتمدة على الهيدروجين الأخضر.	الهدف الرئيسي: سد فجوة الربحية من خلال توسيع نطاق التقنيات المثبتة عملياً	الهدف الرئيسي: ضمان كفاءة التكلفة والمزايا المتحصل عليها من جميع تقنيات السياسة العامة للمناخ.
التحدي الرئيسي: تكاليف الإنتاج والنقل	التحدي الرئيسي: إتاحة الطلب والأسواق للمنتجات	التحدي الرئيسي: السماح بتحسين التكلفة عبر القطاعات
المتطلبات الرئيسية: السياسات والإجراءات قصيرة الأجل التي تساعد على سد فجوات التكلفة، مثل تمويل البحث والتطوير وسياسات التخفيف من المخاطر والتمويل المشترك للنماذج الأولية الكبيرة والمشروعات التجريبية.	المتطلبات الرئيسية: ضمان الطلب الموثوق على المدى القصير والمتوسط والطويل، بالإضافة إلى القدرة الكافية على توليد الكهرباء المتجددة.	المتطلبات الرئيسية: قد لا تكون الحوافز التي تم تقديمها سابقاً محايدة من الناحية التقنية وتعيق تحسين التكلفة. يلزم التخلص التدريجي من بعض الحصص أو الالتزامات أو تخفيضها.

بالنسبة لمراحل التطوير المحددة، وُضعت خرائط طرق تقنية لقطاعات السوق المختلفة، ويرد وصف الفرص المحددة للإنتاج والتوزيع والصناعة والنقل والكهرباء والغاز، وكذلك التصدير على المدى القصير والمتوسط والطويل في الجدول غير الشامل 4.

الجدول 4 خارطة طريق التقنيات المستخدمة 2023-2050 لتوسيع نطاق اقتصاد الهيدروجين الأخضر في المنطقة العربية، قطاعات السوق.

2030 - 2023	2040 - 2030	2050 - 2040
مرحلة التجريب والاختبار	مرحلة إنشاء السوق وتوسيع نطاقه	مرحلة السوق الشامل/المنافسة
الإنتاج والتوزيع تصميم وتركيب أنظمة الرياح أو الأنظمة الكهروضوئية للتحليل الكهربائي أو كليهما تركيب قدرات كافية للتحليل الكهربائي، حسب إمكانات البلد والبنية التحتية للطاقة. تحديد أقسام خطوط الأنابيب والممرات التي يمكن تحديثها في المستقبل لنقل الهيدروجين النقي. تقييم السلامة والعمر والقدرة والتكاليف.	الإنتاج والتوزيع التوسع في الطاقة المتجددة وقدرات المحطات الكهربائية. توسيع نطاق نماذج إمدادات الهيدروجين الأخضر مع قدرة المحطات الكهربائية القائمة على الطلب في جميع أنحاء المنطقة. تصميم وتركيب خطوط أنابيب جديدة أو تحديث خطوط الأنابيب الحالية لنقل الهيدروجين حسب حالة البلد.	الإنتاج والتوزيع إنتاج المكونات الرئيسية على نطاق واسع (على سبيل المثال، المحطات الكهربائية) في المنطقة. تجاوز قدرات المحطات الكهربائية المطالب المحلية وتلبية متطلبات التجارة الأقليمية. تعديل خطوط أنابيب الغاز الطبيعي الحالية المختارة للتشغيل بنسبة 100% أو خطوط أنابيب الهيدروجين المخصصة الجديدة.

الصناعة	الصناعة	الصناعة
<p>الصلب: إجراء التحويل اللازم لمنشآت إنتاج الصلب لتكون في كامل استعدادها لإنتاج الهيدروجين.</p> <p>الأمونيا: استخدام الأمونيا الخضراء على نطاق واسع في إنتاج الأسمدة.</p> <p>النفط: إزالة الكبريت من النفط الخام الثقيل وتطويره عن طريق تكسيره أو معالجته بالهيدروجين.</p> <p>الإنتاج: تثبيت قدرات إنتاج الهيدروجين اللامركزية في المجموعات الصناعية.</p>	<p>الصلب: زيادة المزج مع الهيدروجين الأخضر في منشآت إنتاج الصلب.</p> <p>الأمونيا: إجراء تحسينات لمنشآت الأمونيا الحالية لزيادة مرونة الحمل للهيدروجين الأخضر.</p> <p>النفط: التوسع في التكسير بالهيدروجين أو المعالجة بالهيدروجين في المصافي الحالية.</p> <p>النقل: توسيع نطاق أنظمة خطوط أنابيب توزيع الهيدروجين الأخضر للمجموعات الصناعية.</p>	<p>الصلب: اختبار حقن الهيدروجين في مصانع إنتاج الصلب القائمة (على سبيل المثال، في عملية الحديد الإسفنجي وفرن الصهر).</p> <p>الأمونيا: تثبيت منشآت تجريبية باستخدام الهيدروجين الأخضر لإنتاج الأمونيا.</p> <p>التخزين: دراسة خيارات وتوافر تخزين الهيدروجين على نطاق واسع مع الاستخدامات، مثل حقول النفط والغاز المستنفدة.</p>
<p>النقل</p> <p>النقل البري: تركيب قدرات إنتاج الهيدروجين اللامركزية في محطات التزود بالوقود المختارة.</p> <p>إدخال خلايا الوقود لمركبات الركاب الخفيفة حيثما أمكن ذلك.</p> <p>السفن والقطارات: توسيع نطاق خيارات الوقود المتولد من الهيدروجين للنقل البحري والسكك الحديدية.</p> <p>الطيران: إنتاج واسع النطاق لوقود الطيران المستدام في بلدان مختارة ذات مستوى منخفض من هيدروكسيد الكربون العضوي وإمكانات عالية من الهيدروجين الأخضر.</p>	<p>النقل</p> <p>النقل البري: تركيب محطات التزود بالوقود، بما في ذلك شبكات توزيع الهيدروجين على طول طرق النقل الرئيسية والمناطق الحضرية التجريبية.</p> <p>إدخال المركبات الكهربائية التي تعمل بخلايا الوقود في النقل المتوسط أو الثقيل.</p> <p>القطارات: دراسة خيارات استخدامات الهيدروجين في القطارات - على سبيل المثال، عندما تكون خطوط الطاقة العلوية مكلفة للغاية أو يصعب تنفيذها.</p> <p>الطيران: مشروعات تجريبية لاستخدام الوقود الاصطناعي القائم على الهيدروجين في قطاع الطيران.</p>	<p>النقل</p> <p>النقل البري: تطوير وتحسين تصميم وتصنيع محطة إعادة تزويد الهيدروجين بالوقود.</p> <p>دراسة خيارات إنتاج مكونات خلايا الوقود (غشاء الخلية، طبقة المحفز، الصفيحة ثنائية القطب).</p> <p>السفن: دراسة خيارات الوقود منخفض الكربون لسفن الشحن، ولا سيما وقود الأمونيا؛ وتوسعة الموانئ المختارة.</p>
<p>الكهرباء والغاز</p> <p>إجراء تحسينات لمحطات الطاقة القائمة وبناء محطات جديدة لتشغيل الهيدروجين الأخضر بنسبة 100%.</p> <p>استخدام الهيدروجين الأخضر كحل لطاقات احتياطية لمراكز البيانات وخدمات الاتصالات.</p> <p>استخدام الهيدروجين الأخضر كمخزن في البلدان ذات الحصص العالية من الطاقة المتجددة المتغيرة.</p>	<p>الكهرباء والغاز</p> <p>زيادة حصة مزج الهيدروجين الأخضر كوقود حتى 40% في محطات توليد الطاقة بالغاز الطبيعي.</p> <p>تحديث المرافق القائمة باستخدام مولدات الديزل (على سبيل المثال، إنتاج الغذاء والفنادق والمستشفيات ومناطق البناء) مع خلايا الوقود لتوليد الطاقة.</p> <p>موازنة عدم التطابق الزمني والمكاني بين إمدادات الطاقة والطلب مع تشغيل المحلل الكهربائي.</p>	<p>الكهرباء والغاز</p> <p>تحديد محطات العرض التوضيحي لتعديل توربينات الغاز الطبيعي لقبول مزج الهيدروجين المتزايد.</p> <p>مزج ما يصل إلى 5% من الهيدروجين الأخضر مع الغاز الطبيعي في محطات توليد الطاقة الحالية للغاز الطبيعي دون تعديلات تقنية.</p> <p>دراسة الخيارات التقنية لاستخدام الهيدروجين للتخزين والتحليل الكهربائي بغرض موازنة الطاقة في المنطقة.</p>
<p>التصدير</p> <p>تلبية قدرات إنتاج الهيدروجين الأخضر المطالب الإقليمية والتجارة الإقليمية مع المناطق الشريكة، مثل الاتحاد الأوروبي.</p> <p>دراسة خيارات مد خطوط أنابيب الهيدروجين الجديدة إلى المناطق الشريكة.</p>	<p>التصدير</p> <p>تركيب خطوط أنابيب هيدروجين جديدة لربط مواقع الإنتاج بخطوط الأنابيب أو الموانئ الحالية للتصدير.</p> <p>مزج الهيدروجين الأخضر مع الغاز الطبيعي للتصدير عبر خطوط الأنابيب القائمة.</p> <p>استخدام البنية التحتية للموانئ التي تم تعديلها لأغراض التصدير.</p>	<p>التصدير</p> <p>التحقيق في التوافق التقني لمحطات الغاز الطبيعي المسال والأمونيا الحالية للتصدير المستقبلي للهيدروجين السائل والأمونيا الخضراء.</p> <p>دراسة خيارات استخدام خطوط أنابيب الغاز الطبيعي القائمة لتصدير الهيدروجين الأخضر المخلوط.</p>

الظروف الملائمة لتنفيذ الاستراتيجية

يتطلب تنفيذ خارطة الطريق التي تم وضعها في المنطقة العربية سياسة ملائمة وبيئة تنظيمية في الدول الأعضاء. كما هو موضح في الفصول السابقة، تختلف الموارد والإمكانات والظروف لإنتاج الهيدروجين الأخضر واستخدامه اختلافاً كبيراً بين الدول العربية. ومع ذلك، لا يمكن تحقيق نمو أساسي داخلي ومستدام لسوق الهيدروجين الأخضر الإقليمي إلا من خلال رؤية سياسية وأهداف واضحة بما يصحها من تدابير لازمة. في مراجعة الهيدروجين العالمية لعام 2022^{xxv}، تقدم وكالة الطاقة الدولية توصيات السياسة التالية لتسريع إنتاج الهيدروجين منخفض الانبعاثات واستخدامه:

الانتقال من الإعلان عن السياسات إلى تنفيذها: تقنيات الهيدروجين الأخضر و PtX جاهزة للتوسع، لكن السوق لا يزال ناشئاً وتطوره المستقبلي غير مؤكد، مما يثني المبادرين الأوائل عن التوصل إلى القرار الاستثماري النهائي. يجب على الحكومات تنفيذ سياسات للحد من المخاطر وتحسين الجدوى الاقتصادية لمشاريع الهيدروجين منخفضة الانبعاثات.

رفع الطموحات لإتاحة الطلب في الاستخدامات الرئيسية: على الرغم من الزيادات الكبيرة في أسعار الوقود الأحفوري خلال السنوات الماضية، لا تزال أوجه عدم اليقين العام التي تحيط بتطور أسعار الطاقة على المدى الطويل تعيق اتخاذ قرارات الاستثمار. هناك حاجة إلى وضع سياسات لخلق الطلب على الهيدروجين الأخضر، باستخدام أدوات مثل المزادات والالتزامات والحصص والمتطلبات في المشتريات العامة، وينبغي أن يكون ذلك مصحوباً بجهود الابتكار والاختبار، على سبيل المثال، في الصناعات الثقيلة والنقل البري الثقيل والشحن.

التأكد من موائمة الإجراءات قصيرة الأجل مع الخطط طويلة الأجل: يجب تسريع تطوير البنية التحتية للهيدروجين، سواء من حيث الأصول الجديدة أو إعادة تخصيص البنية التحتية الحالية، وعلى الرغم من التحديات التقنية، يلزم النظر بعناية في الكيفية التي يمكن أن تدعم بها البنية التحتية الجديدة المتعلقة بالغاز التطوير المستقبلي للهيدروجين في سياق التطلعات المناخية.

تكثيف التعاون الدولي لتجارة الهيدروجين: سيعتمد تطوير سوق دولية للهيدروجين منخفض الانبعاثات اعتماداً شديداً على التعاون الدولي الفعال. هناك عدد من المجالات التي تحتاج فيها الحكومات إلى العمل معاً: وضع معيار لكثافة انبعاثات إنتاج الهيدروجين ونقله، وتحديد لوائح قوية وقابلة للتطبيق، والتعاون بشأن الشهادات لضمان قابلية التشغيل البيئي وتجنب تقسيم السوق.

إزالة الحواجز التنظيمية: يجب موازنة الإطار التنظيمي الواضح والمستقر من خلال نهج تنظيمي ديناميكي، يُضبط لمراقبة السوق بانتظام. يمكن أن يساعد تحسين العمليات التنظيمية، مثل الترخيص والتصريح، في تقصير مدة إنجاز المشروع. وينبغي للحكومات أن تعمل على زيادة كفاءة هذه العمليات وتنسيقها دون المساس بالمعايير البيئية والمشاورات العامة.

يجب وضع إطار للسياسات واللوائح من خلال دعم البحث والابتكار وبناء القدرات، فضلاً عن إنشاء حوافز السوق لتطوير اقتصاد الهيدروجين الأخضر. يكمل التنسيق والمواءمة الإقليميان هذه الأعمدة الثلاثة من خلال تحسين تبادل المعرفة وكفاءة الموارد وتعزيز المكانة في السوق العالمية. يصف الجدول أدناه النهج المقترح لضمان الظروف الملائمة لتنفيذ خارطة طريق الهيدروجين الأخضر المقترحة:

حوافز السوق	السياسة والتنظيم	البحث والابتكار وتنمية القدرات
تقديم حوافز أو ضرائب الكربون لصالح الهيدروجين الأخضر	دمج الهيدروجين الأخضر وPtX في أهداف سياسة الطاقة وتغير المناخ	إنشاء مراكز كفاءة البحث والتطوير للهيدروجين الأخضر
وضع خطط تداول لانبعاثات الغازات الدفيئة	تنظيم استخدام الهيدروجين في الصناعة والنقل، بما يتماشى مع المعايير الدولية	تعزيز البحوث الإقليمية والدولية وتسهيل التعاون ونقل التقنية/المعرفة بين الأوساط الأكاديمية والسياسات والصناعة والمجتمع المدني
إنشاء برامج دعم لشراء المركبات الكهربائية التي تعمل بخلايا الوقود ومحطات التزود بوقود الهيدروجين.	تنظيم دمج المحطات الكهربائية في أنظمة الطاقة	تنفيذ المشاريع التجريبية والاختبارية التي تدعم سلاسل قيمة الهيدروجين الأخضر
تحديد سعر بيع ثابت للهيدروجين في محطة التزود بالوقود لدعم دخول السوق	إدخال معايير الجودة ومعايير الاستدامة للهيدروجين الأخضر ومشتقاته الإنتاج والنقل والتخزين والاستخدام	إطلاق برامج القوى العاملة لاستخدام الهيدروجين الأخضر في عملياتها الصناعية
تقديم حوافز للتحويل إلى استخدام الأمونيا الخضراء في إنتاج الأسمدة.	وضع إجراءات الترخيص والتصريح لمحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر ومشتقاته، وكذلك البنية التحتية للتزود بالوقود	دمج الهيدروجين الأخضر و PtX كمواضيع شاملة في التعليم العالي والمهني.
إدخال أدوات إزالة المخاطر على كل من الجانب السياسي والتمويل	تنظيم استخدام الهيدروجين الأخضر كوقود في المركبات أو القطارات أو في الطيران	تعزيز القدرات المؤسسية للقطاع العام والجمعيات الصناعية.
الانخراط في شراكات بين القطاعين العام والخاص لنشر البنية التحتية اللازمة.	إدخال الحد الأدنى من معايير مزج الهيدروجين في شبكة الغاز.	
استكشاف تدابير دعم إضافية، مثل خطط التمويل الدولية.	التخلص التدريجي من دعم الوقود الأحفوري	

التنسيق والمواءمة الإقليميان

- وضع تعريف مشترك ومعايير على مستوى المنطقة لإصدار الشهادات للهيدروجين الأخضر ومشتقاته.
- تنظيم منتديات ومنصات إقليمية لتبادل معلومات أصحاب المصلحة حول الهيدروجين الأخضر
- إنشاء مجموعة تنسيق إقليمية من الخبراء مع وزارات الطاقة أو الصناعة في الدول العربية للهيدروجين الأخضر
- إنشاء خط أنابيب هيدروجين إقليمي لجمع المعلومات حول مشاريع الهيدروجين الأخضر و PtX القادمة في الدول العربية
- وضع أجندة استثمار إقليمية لتحفيز إنتاج واستخدام الهيدروجين وبناء خط أنابيب إقليمي للمشروع
- إنشاء مركز تميز إقليمي لتقديم المشورة ومراقبة تطور اقتصاد الهيدروجين الإقليمي
- مواءمة الأطر التنظيمية الوطنية والإقليمية للهيدروجين الأخضر ومشتقاته.
- إنشاء بنية تحتية إقليمية للهيدروجين الأخضر وتجارة المشتقات

المشترك لاستراتيجية عربية للهيدروجين الأخضر. ويبين الشكل 11

أدناه العملية المقترحة ذات الصلة:

الخطوات الموصى بها للمضي قدماً

وكخطوة أولى نحو استراتيجية إقليمية، يجب تشجيع تطوير ومواءمة الاستراتيجيات الوطنية وخرائط الطريق للهيدروجين الأخضر. من خلال تحديد إمكانات إنتاج الهيدروجين الأخضر واستخدامه وتصديره بالإضافة إلى الاحتياجات الاستثمارية ذات الصلة في الدول الأعضاء، يمكن تحديد المصالح والفرص المشتركة وتنسيق الإجراءات المخطط لها في جميع دول المنطقة. يلخص الجدول 6 أدناه الوضع الراهن لاستراتيجيات وخرائط طرق الهيدروجين الوطنية.

ويمكن للدروس المستفادة والمعارف المكتسبة في البلدان التي أحرزت تقدماً كبيراً أن تدعم الدول الأخرى في النهوض بخطط سياساتها وفقاً لذلك. يمكن لجامعة الدول العربية أن تضطلع بدورٍ محوري في تيسير تبادل المعرفة، على سبيل المثال، من خلال تطوير قوالب موحدة وبناء القدرات لوضع استراتيجيات أو خرائط طرق وطنية. وكخطوة ثانية، يمكن لجامعة الدول العربية تحفيز وتنسيق التطوير

الجدول 6 حالة استراتيجيات وخرائط طرق الهيدروجين الوطنية في المنطقة العربية

البلد	الاستراتيجية أو خارطة الطريق الوطنية للهيدروجين
الجزائر	الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين قيد التطوير.
البحرين	غير متاح
جزر القمر	غير متاح
جيبوتي	غير متاح
مصر	استراتيجية الهيدروجين منخفض الكربون قيد التطوير.
العراق	غير متاح
الأردن	نُشِرَت خارطة طريق الهيدروجين الأخضر، واستراتيجية الهيدروجين الأخضر قيد التطوير.
الكويت	استراتيجية الهيدروجين قيد التطوير.
لبنان	غير متاح
ليبيا	غير متاح
موريتانيا	غير متاح
المغرب	نُشِرَت خارطة طريق الهيدروجين الأخضر.
سلطنة عُمان	جرى التخطيط للاستراتيجية الوطنية للهيدروجين.
فلسطين	غير متاح
قطر	غير متاح
المملكة العربية السعودية	الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين قيد التطوير.
الصومال	غير متاح
السودان	غير متاح
سوريا	غير متاح
تونس	الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر قيد التطوير.
الإمارات العربية المتحدة	وُضِعَت خارطة طريق قيادة الهيدروجين، ووُضِعَت الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين.
اليمن	غير متاح



الشكل 11: الإجراءات الموصى بها لوضع استراتيجية عربية للهيدروجين الأخضر

-
- ¹ <https://www.iea.org/reports/energy-security-and-climate-policy-assessing-interactions>
 - ² <https://www.unescwa.org/sites/default/files/pubs/pdf/potential-blue-green-hydrogen-developments-arab-region-english.pdf>
 - ³ https://www.h2dipl.de/fileadmin/user_upload/H2_diplo/Media/European_Hydrogen_Strategy.pdf
 - ⁴ https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Oct/IRENA_RE_Jobs_2021.pdf?rev=98960349dbab4af78777bc49f155d094
 - ⁵ <https://unfccc.int/NDCREG>
 - ⁶ <https://www.unescwa.org/sites/default/files/pubs/pdf/potential-blue-green-hydrogen-developments-arab-region-english.pdf>
 - ⁷ <https://www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/Pages/All.aspx>
 - ⁸ <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Algeria%20-%20INDC%20%28English%20unofficial%20translation%29%20September%2003%2C2015.pdf>
 - ⁹ <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Algeria%20-%20INDC%20%28English%20unofficial%20translation%29%20September%2003%2C2015.pdf>
 - ¹⁰ <https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-lrenergie>
 - ¹¹ https://www.energypartnership-algeria.org/fileadmin/user_upload/algeria/21_12_07_Hydrog/C3/A8ne_vert_en_Alg/C3/A9rie_-_Rapport_PE.pdf
 - ¹² <https://ptx-hub.org/algeria/#:~:text=Recognising%20this%20potential%2C%20Algeria%20set,program%20announced%20in%20September%202021>
 - ¹³ <https://www.arabnews.com/node/2219361/business-economy>
 - ¹⁴ <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/NDC%20of%20the%20Kingdom%20of%20Bahrain%20under%20UNFCCC.pdf>
 - ¹⁵ <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/NDC%20of%20the%20Kingdom%20of%20Bahrain%20under%20UNFCCC.pdf>
 - ¹⁶ https://www.sea.gov.bh/wp-content/uploads/2018/04/02_NREAP-Full-Report.pdf
 - ¹⁷ <https://www.bna.bh/en/Plantoestablishgreenhydrogenplantdiscussed.aspx?cms=q8FmFJgiscL2fwlzON1%2BDgq1Y0Fquym66uT2KTAZidE%3D>
 - ¹⁸ https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/CPDN%20Djibouti_9%20-%20CPDN%20-%20Format%20pour%20soumission%20CCNUCC.pdf
 - ¹⁹ https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/CPDN%20Djibouti_9%20-%20CPDN%20-%20Format%20pour%20soumission%20CCNUCC.pdf
 - ²⁰ <https://www.esi-africa.com/industry-sectors/future-energy/djibouti-aims-to-be-a-green-hydrogen-hub/>
 - ²¹ <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-07/Egypt%20Updated%20NDC.pdf.pdf>
 - ²² <http://nrea.gov.eg/test/en/About/Strategy>
 - ²³ <https://www.sis.gov.eg/Story/172771/Petroleum-minister-announces-framework-of-Egypt%27s-low-carbon-hydrogen-strategy/?lang=en-us>
-

-
- ²⁴ https://ec.europa.eu.translate.goog/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6925?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=de&_x_tr_hl=de&_x_tr_pto=sc&_x_tr_hist=true
- ²⁵ <https://www.ebrd.com/news/2022/ebrd-supports-first-green-hydrogen-facility-in-egypt-.html>
- ²⁶ <https://climatepromise.undp.org/what-we-do/where-we-work/iraq>
- ²⁷ <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/UPDATED%20SUBMISSION%20OF%20JORDANS.pdf>
- ²⁸ https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Feb/IRENA_RRA_Jordan_Summary_2021_EN.pdf?la=en&hash=DE5015E14770A43E9BFF2DFF8FAE684CED6E8EEB
- ²⁹ <https://www.energy-jordan-germany.org/home/221017-hydrogen-roadmap/>
- ³⁰ <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Kuwait%20updating%20the%20first%20NDC-arabic.pdf>
- ³¹ <https://www.iea.org/policies/6106-kuwait-renewable-energy-target>
- ³² <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/GIZ-SPIPA-hydrogen-factsheet-GCC.pdf>
- ³³ <https://climatepromise.undp.org/what-we-do/where-we-work/lebanon>
- ³⁴ <https://energycapitalpower.com/top-renewable-energy-projects-in-libya/>
- ³⁵ https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/CDN-actualis%C3%A9%202021_%20Mauritania.pdf
- ³⁶ <https://eiti.org/blog-post/road-mauritanias-natural-gas-and-green-hydrogen-future#:~:text=%20entry%20into%20the%20green,mix%20to%2060%20%25by%2030>
- ³⁷ https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/CDN-actualis%C3%A9%202021_%20Mauritania.pdf
- ³⁸ <https://energycapitalpower.com/mauritanias-30gw-green-hydrogen-cwp-deal/>
- ³⁹ https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Moroccan%20updated%20NDC_20%202021%Fr.pdf
- ⁴⁰ https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Fact_Sheet_Morocco.pdf
- ⁴¹ <https://gh2.org/countries/morocco>
- ⁴² https://www.ea.gov.om/media/aaslyc3l/oman-net-zero-report-2022_screen.pdf
- ⁴³ <https://gh2.org/countries/oman>
- ⁴⁴ <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/GIZ-SPIPA-hydrogen-factsheet-GCC.pdf>
- ⁴⁵ https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Updated%20NDC_%20State%20of%20Palestine_2021_FINAL.pdf
- ⁴⁶ <https://unfccc.int/NDCREG>
- ⁴⁷ <https://www.global-climatescope.org/markets/qa/>
- ⁴⁸ <https://enterprise.press/stories/2022/11/02/qatar-is-eyeing-a-usd-1-bn-green-hydrogen-and-ammonia-project-85891/>
- ⁴⁹ <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/202203111154---KSA%20NDC%2021.pdf>
- ⁵⁰ <https://oxfordbusinessgroup.com/articles-interviews/the-plan-to-turn-saudi-arabia-into-a-renewable-energy-leader>
- ⁵¹ https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Working_Paper_-_National_Hydrogen_Strategies_-_September_2021.pdf

-
- ⁵² <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Final%20Updated%20NDC%20for%20Somalia%202021.pdf>
- ⁵³ <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-10/Sudan%20Updated%20First%20NDC-12102021.pdf>
- ⁵⁴ <https://www.climatewatchdata.org/ndcs/country/SYR/full>
- ⁵⁵ <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-08/CDN%20-%20Updated%20-english%20version.pdf>
- ⁵⁶ <https://www.giz.de/en/worldwide/107712.html>
- ⁵⁷ <https://www.arab-reform.net/publication/who-benefits-from-tunisia-green-hydrogen-strategy/>
- ⁵⁸ <https://www.uae-embassy.org/discover-uae/climate-and-energy/uae-energy-diversification#:~:text=UAE%202050%20Energy%20Goals,12%20percent%20clean%20coal>
- ⁵⁹ <https://u.ae/-/media/Documents-2022/UAE-Hydrogen-Roadmap-Eng.ashx>
- ⁶⁰ <https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/Yemen/1/Yemen%20INDC%2021%20Nov.%202015.pdf>
- ⁶¹ https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-d&chapter=27&clang=en
- ⁶² <https://www.undp.org/arab-states/publications/2019-arab-future-energy-index-afex-report>
- ⁶³ <https://dii-desertenergy.org/wp-content/uploads/2021/05/The-potential-for-green-hydrogen-in-the-GCC-region.pdf>
- ⁶⁴ <https://www.mem.gov.ma/Pages/actualite.aspx?act=278>
- ⁶⁵ https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Arab_Region_Overview_2016.pdf
- ⁶⁶ <https://web.worldbank.org/archive/website01565/WEB/IMAGES/KNOWLEDG.PDF?MOD=AJPERES&The%20Potential%20of%20Renewable%20Energy%20in%20MENA>
- ⁶⁷ <https://www.undp.org/arab-states/publications/2019-arab-future-energy-index-afex-report>
- ⁶⁸ https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2023.pdf?rev=b357baf054584e589c8ab635140d0596
- ⁶⁹ https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2023.pdf?rev=b357baf054584e589c8ab635140d0596
- ⁷⁰ https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2023.pdf?rev=b357baf054584e589c8ab635140d0596
- ⁷¹ <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>
- ⁷² <https://yearbook.enerdata.net/natural-gas/balance-trade-world-data.html>
- ⁷³ <https://www.unescwa.org/sites/default/files/pubs/pdf/potential-blue-green-hydrogen-developments-arab-region-english.pdf>
- ⁷⁴ <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>
- ⁷⁵ <https://maps.iee.fraunhofer.de/ptx-atlas/>
- ⁷⁶ <https://www.unescwa.org/sites/default/files/pubs/pdf/potential-blue-green-hydrogen-developments-arab-region-english.pdf>
- ⁷⁷ <https://devkopsys.de/ptx-atlas/#methodik>

-
- ⁷⁸ <https://maps.iee.fraunhofer.de/ptx-atlas/>
- ⁷⁹ <https://maps.iee.fraunhofer.de/ptx-atlas/>
- ⁸⁰ <https://maps.iee.fraunhofer.de/ptx-atlas/>
- ⁸¹ <https://maps.iee.fraunhofer.de/ptx-atlas/>
- ⁸² <https://maps.iee.fraunhofer.de/ptx-atlas/>
- ⁸³ <https://www.unescwa.org/sites/default/files/pubs/pdf/potential-blue-green-hydrogen-developments-arab-region-english.pdf>
- ⁸⁴ <https://acwapower.com/en/projects/neom-green-hydrogen-project/>
- ⁸⁵ <https://www.unescwa.org/sites/default/files/pubs/pdf/potential-blue-green-hydrogen-developments-arab-region-english.pdf>
- ⁸⁶ https://www.giz.de/en/downloads_els/GIZ%20PtX%20Tunisia%20report-Web.pdf
- ⁸⁷ <https://www.unescwa.org/sites/default/files/pubs/pdf/potential-blue-green-hydrogen-developments-arab-region-english.pdf>
- ⁸⁸ <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/amman/19061.pdf>
- ⁸⁹ https://www.giz.de/en/downloads_els/GIZ%20PtX%20Tunisia%20report-Web.pdf
- ⁹⁰ https://www.energymagazinedz.com/wp-content/uploads/2021/12/ep-deu-dza_hydrogne-vert-en-algrie-rapport-pe.pdf
- ⁹¹ <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0954409719867495>
- ⁹² <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
- ⁹³ https://www.giz.de/en/downloads_els/GIZ%20PtX%20Tunisia%20report-Web.pdf
- ⁹⁴ <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/amman/19061.pdf>
- ⁹⁵ https://www.giz.de/en/downloads_els/GIZ%20PtX%20Tunisia%20report-Web.pdf
- ⁹⁶ <https://www.unescwa.org/sites/default/files/pubs/pdf/potential-blue-green-hydrogen-developments-arab-region-english.pdf>
- ⁹⁷ https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Downloads/J/joint-study-saudi-german-energy-dialogue.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- ⁹⁸ <https://www.unescwa.org/sites/default/files/pubs/pdf/potential-blue-green-hydrogen-developments-arab-region-english.pdf>
- ⁹⁹ <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/GIZ-SPIPA-hydrogen-factsheet-North-African-Countries.pdf>
- ¹⁰⁰ <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022/executive-summary>
- ¹⁰¹ <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/GIZ-SPIPA-hydrogen-factsheet-North-African-Countries.pdf>
- ¹⁰² <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/GIZ-SPIPA-hydrogen-factsheet-North-African-Countries.pdf>
- ¹⁰³ <https://www.unescwa.org/sites/default/files/pubs/pdf/potential-blue-green-hydrogen-developments-arab-region-english.pdf>
- ¹⁰⁴ <https://maps.iee.fraunhofer.de/ptx-atlas/>
- ¹⁰⁵ <https://www.unescwa.org/sites/default/files/pubs/pdf/potential-blue-green-hydrogen-developments-arab-region-english.pdf>
- ¹⁰⁶ <https://maps.iee.fraunhofer.de/ptx-atlas/>

¹⁰⁷ <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021/executive-summary>

¹⁰⁸ https://iea.blob.core.windows.net/assets/181b48b4-323f-454d-96fb-0bb1889d96a9/CCUS_in_clean_energy_transitions.pdf

¹⁰⁹ https://iea.blob.core.windows.net/assets/181b48b4-323f-454d-96fb-0bb1889d96a9/CCUS_in_clean_energy_transitions.pdf

¹¹⁰ <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021/executive-summary>

¹¹¹ https://www.giz.de/en/downloads_els/GIZ%20PtX%20Tunisia%20report-Web.pdf

¹¹² <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319922055161>

¹¹³ https://www.giz.de/en/downloads_els/GIZ%20PtX%20Tunisia%20report-Web.pdf

¹¹⁴ <https://www.unescwa.org/sites/default/files/pubs/pdf/potential-blue-green-hydrogen-developments-arab-region-english.pdf>

^{cxv} <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022/executive-summary>

