



تحدي الهيدروجين الأخضر

تقييم المخاطر والحقائق المتعلقة :
بالإنتاج على نطاق واسع في شمال أفريقيا

نبذة عن المؤلفة

د. إيمان اللواتي حاصلة على درجة الدكتوراه في علم البيئة والتطور من جامعة السوربون عام 2015. منذ ذلك الحين، عملت كباحثة ومديرة للبرامج في المنظمات الوطنية والدولية. تركز أبحاثها على قضايا السيادة الغذائية، وسبل الولوج إلى المياه والطاقة والموارد الطبيعية، والاتفاقيات التجارية وتأثير المؤسسات المالية على السياسات العامة، والتحولت في مجال الطاقة والانتقال العادل. تعمل حاليًا باحثة ومديرة إقليمية لبرنامج السياسات الإيكولوجية في مكتب مؤسسة روزا لوكسمبورغ لشمال أفريقيا في تونس العاصمة. وهي تعمل على دعم الجهات الفاعلة في شمال أفريقيا التي تسعى جاهدة لتطوير بدائل اجتماعية-بيئية تحويلية.

ترجمة **ألفه دربال** من الإنجليزية إلى الفرنسية والعربية
تصميم: **أحمد الشتيوي**

شكر: تود المؤلفة أن تشكر **مالو دو هيدوفيل** على مساعدته في جمع المعلومات اللازمة لإكمال هذا العمل.

المحتويات

المقدمة

كشف الوهم : نظرة واقعية على دور الهيدروجين في تغير المناخ
السعي وراء الهيدروجين الأخضر في أوروبا: محقّق للمنافسة بين دول شمال إفريقيا

الهيدروجين الأخضر: سراب يخفي الديون والتبادل غير المتكافئ؟

التهديد الوشيك لأزمة الديون
الواقع غير المستدام للهيدروجين الأخضر

تطوير الهيدروجين الأخضر في شمال إفريقيا: تضارب المصالح؟

الخاتمة

المقدمة

تهدف العديد من الاتفاقيات الدولية، بما في ذلك اتفاقية باريس، إلى مواجهة أزمة المناخ، ويركز الاتفاق الأخضر الأوروبي، الذي يستهدف تحقيق الحياد المناخي بحلول عام 2050، على إزالة الكربون من القطاعات الحيوية مثل الطاقة والصناعة والنقل. ومع تزايد هيمنة مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية والرياح، يبرز الهيدروجين كحل واعد لإزالة الكربون من القطاعات التي يصعب تقليص انبعاثاتها. وإدراكًا لهذه الإمكانيات، منح الاتفاق الأخضر الأوروبي لعام 2020 الأولوية لتطوير الهيدروجين، وهو توجه تعزز بفعل الحرب الروسية الأوكرانية. وتسعى الاتحاد الأوروبي حاليًا إلى إنتاج 10 ملايين طن من الهيدروجين الأخضر والأزرق محليًا، واستيراد كمية مماثلة بحلول عام 2030.

ونظرًا للوفرة الكبيرة لموارد الطاقة الشمسية والرياح في إفريقيا، يخطط الاتحاد الأوروبي للاعتماد على المنطقة كمورد رئيسي لواردات الهيدروجين. وتُعتبر دول مثل ناميبيا، السنغال، الجزائر، مصر، المغرب، موريتانيا، وتونس، دولًا ذات "إمكانيات غير مستغلة" لإنتاج الهيدروجين الأخضر بتكاليف تنافسية وفي هذا السياق يتطرق هذا المقال إلى مدى جدوة إنتاج الهيدروجين الأخضر كمصدر مستدام للطاقة في شمال إفريقيا، من خلال استكشاف المبادرات الحالية، وتحديد العقبات الرئيسية والفوائد المحتملة، وتحليل طبيعة الشراكات بين دول شمال إفريقيا والاتحاد الأوروبي في سياق التحول نحو الهيدروجين.



كشف الوهم : نظرة واقعية على دور الهيدروجين في تغير المناخ

ومع ذلك، رغم أن التحول الطاقى الحالي يضع الهيدروجين في موقع ريادي عبر جميع القطاعات ضمن المشهد الطاقى، إلا أن هذه ليست المرة الأولى التي يُطرح فيها مثل هذا الخطاب. فقد ظهر مفهوم "اقتصاد الهيدروجين" لأول مرة عام 1972 باعتباره تقنية واعدة قادرة على إزالة الكربون في قطاعات النقل والسكن والتجارة والصناعة في آن واحد. ومنذ ذلك الحين، شهد الهيدروجين موجات من الترويج، لا سيما في السبعينيات والعقد الأول من القرن الحادي والعشرين، مدفوعة بعوامل مثل أزمة النفط والتطورات في تكنولوجيا خلايا الوقود. ومع ذلك، لم يكتسب "اقتصاد الهيدروجين" زخمًا حقيقيًا ويرجع السبب الرئيسي لهذه الانطلاقة المتعثرة نحو اقتصاد عالمي يعتمد على الهيدروجين إلى الحاجة إلى استثمارات ضخمة في البنية التحتية. بالإضافة إلى ذلك، فإن التحديات المتعلقة بالإنتاج والتخزين والنقل والتوزيع والدعم السياسي أعاقت الانتشار الواسع للهيدروجين.²

الهيدروجين هو حامل طاقة متعدد الاستخدامات ويمكن إنتاجه من مصادر متنوعة، بما في ذلك الغاز الطبيعي، والطاقة النووية، والكتلة الحيوية، ومصادر الطاقة المتجددة. يشير كل لون مرتبط بالهيدروجين إلى طريقة إنتاجه: فالهيدروجين الأخضر يُنتج من تحليل الماء كهربائيًا باستخدام الطاقة المتجددة، بينما يُشتق الهيدروجين الرمادي من الغاز الطبيعي ويتميز بصمة كربونية أعلى. أما الهيدروجين الأزرق، المشابه للهيدروجين الرمادي، فيشمل تقنية احتجاز الكربون وتخزينه للحد من الانبعاثات.

يلعب الهيدروجين دورًا محوريًا في التحول الطاقى بصفته حاملًا للطاقة من خلال معالجة الطبيعة المتقطعة لمصادر الطاقة المتجددة، فهو يعمل كوسيلة لتخزين الطاقة، حيث يلتقط فائض الطاقة المتجددة خلال فترات الإنتاج المرتفع ويطلقها عند الحاجة لضمان إمداد مستدام للطاقة. علاوة على ذلك، يتيح الهيدروجين نقل الطاقة المتجددة بكفاءة لمسافات طويلة، مما يفتح المجال أمام استغلال المصادر المتجددة النائية وتوصيلها إلى المناطق ذات الطلب المرتفع على الطاقة. وبالتالي، فإن تطبيقات الهيدروجين واسعة النطاق، وتشمل قطاع النقل، وتوليد الكهرباء، والطاقة المحمولة. كما أنه يقدم حلًا واعدًا للقطاعات التي يصعب كهربتها، مثل الطيران والشحن البحري، حيث قد لا تكون البطاريات الكهربائية كافية لتلبية احتياجاتها من الطاقة.



¹Brandon NP, Kurban Z. (2017) Clean energy and the hydrogen economy. Phil. Trans. R. Soc. A 20160400: 375. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2016.0400>

²Yap, J., McLellan, B. A (2023) Historical Analysis of Hydrogen Economy Research, Development, and Expectations, 1972 to 2020. Environments 10, no. 11: 1. <https://doi.org/10.3390/environments10010011>

ومع ذلك، فإن قلة الدراسات التي تحلل مسارات التوسع المحتملة للهيدروجين الأخضر من خلال التحليل الكهربائي يلقي بظلال من الشك على هذا الافتراض. في الواقع، لا يزال استخدام الهيدروجين الأخضر كتقنية في البيئات الصناعية في مراحله الأولية ويتطلب تسريع الابتكار ونشره على نطاق واسع لـ "إطلاق" إمكاناته الكاملة في الحد من تغير المناخ.¹¹ وحتى مع التوسع السريع في قدرة التحليل الكهربائي على غرار الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، فمن المتوقع ألا يمثل الهيدروجين الأخضر أكثر من 1٪ من الاستهلاك النهائي للطاقة حتى عام 2030 داخل الاتحاد الأوروبي، وحتى عام 2035 على المستوى العالمي. أما بعد عام 2030 رغم إمكانية النمو الإضافي، فإن شكوك كبيرة تظل قائمة. و تُقدر التوقعات أن تتراوح مساهمة الهيدروجين الأخضر بين 3,2٪ و 11,2٪ داخل الاتحاد الأوروبي، وبين 0,7٪ و 3,3٪ عالميًا بحلول عام 2040.¹²

بالتالي، فإن التحديات المرتبطة بتحقيق مستويات كبيرة من إنتاج الهيدروجين الأخضر تتجاوز مسألة العرض وحدها. فقد تؤدي ندرة الإمدادات على المدى القصير وحالة عدم اليقين على المدى الطويل إلى إعاقة الاستثمارات في استخدامات الهيدروجين والبنية التحتية الخاصة به، مما يحد من إمكاناته ويهدد تحقيق الأهداف المناخية. علاوة على ذلك، فإن إنشاء اقتصاد واسع النطاق للهيدروجين يتطلب التحول نحو عوامل الهيدروجين وتطوير شبكة نقل مخصصة. ولا تزال إمكانية إنتاج كميات ضخمة من الهيدروجين الأخضر مسألة نظرية إلى حد كبير، مما يثير تساؤلات جوهرية حول كيفية ومكان حدوث هذا الإنتاج.



لكن الموجة الحالية من الاهتمام، التي تحركها الجهود العالمية للحد من انبعاثات الكربون، تُطرح باعتبارها مختلفة عن المحاولات السابقة. ففي عام 2020، توقع مجلس الهيدروجين أن يمثل الهيدروجين 18٪ من إجمالي الاستهلاك النهائي للطاقة بحلول عام 2050.³ أما سيناريو التنمية المستدامة الذي وضعته الوكالة الدولية للطاقة، فيقدر هذه الحصة بـ 13٪ بحلول عام 2070،⁴ في حين يتوقع الاتحاد الدولي للغاز نسبة تتراوح بين 7٪ و 24٪ بحلول عام 2050،⁵ وذلك اعتمادًا على السياسات المعتمدة. وبالمثل، تتصور لجنة تحولات الطاقة أن يشكل الهيدروجين ما بين 15٪ و 20٪ من استهلاك الطاقة بحلول عام 2050.⁶ وبحلول أوائل عام 2020، نشرت 18 دولة خرائط طريق للهيدروجين،⁷ كما أن العديد من الدول أدرجت الاستثمارات في الهيدروجين ضمن حزم التحفيز الاقتصادي التي تهدف إلى دعم التعافي الاقتصادي من جائحة كوفيد-19 العالمية.⁸

لسوء الحظ، فإن مجرد الإقرار بالدور المحتمل للهيدروجين في تحقيق الأهداف المناخية الطموحة لا يعد كافيًا. فلا يزال اقتصاد الهيدروجين الخالي من الانبعاثات غير موجود فعليًا.⁹ إذ يعتمد الاستخدام الصناعي الحالي للهيدروجين بشكل كبير على الوقود الأحفوري، ولا سيما في تكرير النفط وإنتاج المواد الكيميائية، ويتطلب الانتقال إلى اعتماد صناعي منخفض الكربون أو خالي من الكربون طرق إنتاج جديدة، ينبغي لها إما تجنب الانبعاثات بطبيعتها أو دمج تقنيات احتجاز الكربون. ومن بين هذه الطرق، يُعد الهيدروجين المستمد من مصادر متجددة الحل الأكثر جدوى للاقتصادات الساعية إلى تحقيق الحياد الكربوني.

ولقد أدت التكاليف المتراجعة لمصادر الطاقة المتجددة والتطورات في تقنيات المحطات الكهربائية إلى تعزيز إمكانية تحقيق إنتاج تجاري للهيدروجين "الأخضر" بحلول عام 2030.¹⁰

³ Hydrogen Council, Path to Hydrogen Competitiveness: A Cost Perspective, Hydrogen Council, Belgium, 2020.

⁴ IEA (2020), Energy Technology Perspectives 2020, International Energy Agency, Paris.

<https://doi.org/10.1787/d07136f-0en>

⁵ SNAM, IGU, BloombergNEF, Global Gas Report 2020, BloombergNEF, 2020.

⁶ Energy Transitions Commission, Making Mission Possible – Delivering a Net-Zero Economy, Energy Transitions Commission, 2020.

⁷ Hydrogen Council, Path to Hydrogen Competitiveness: A Cost Perspective, Hydrogen Council, Belgium, 2020.

⁸ Hydrogen Europe, Clean Hydrogen Monitor 2020, Hydrogen Europe, Brussels, 2020.

⁹ Terlouw, T., Rosa, L., Bauer, C. et al. (2024) Future hydrogen economies imply environmental trade-offs and a supply-demand mismatch. Nat Commun 7043 .15.

<https://doi.org/10.1038/s7-51251-024-41467>

¹⁰ Griffiths, S.; Sovacool, B.K.; Kim, J.; Bazilian, M.; Uratani, J.M. (2021) Industrial decarbonization via hydrogen: A critical and systematic review of developments, socio-technical systems and policy options. Energy Res. Soc. Sci., 102208 .80. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102208>

¹¹ IRENA (2020), Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

¹² Odenweller, A., Ueckerdt, F., Nemet, G.F. et al. (2022) Probabilistic feasibility space of scaling up green hydrogen supply. Nat Energy 865-854 .7.

<https://doi.org/10.1038/s4-01097-022-41560>

السعي وراء الهيدروجين الأخضر في أوروبا: محفز للمنافسة بين دول شمال إفريقيا

إلى جانب النقاشات الدائرة حول إمكانات الهيدروجين الحقيقية في إزالة الكربون من مختلف القطاعات، تم تحديد فجوة كبيرة بين الدول المنتجة والدول المستهلكة.¹³ ففي حين تتمتع مناطق مثل غرب آسيا، وأمريكا الجنوبية، وشمال إفريقيا بوفرة في الموارد المتجددة القادرة على إنتاج الهيدروجين بتكلفة تنافسية (حوالي 1,00-1,20 دولار أمريكي لكل كيلوغرام)، فإنها تفتقر إلى طلب محلي كبير عليه. وعلى العكس من ذلك، تواجه مناطق مثل أوروبا، واليابان، وكوريا الجنوبية، حيث الطلب على الهيدروجين مرتفع، تحديات كبيرة في إنتاجه بتكلفة منخفضة (تتراوح بين 1,80 دولار أمريكي وأكثر من 2,50 دولار أمريكي لكل كيلوغرام)، وذلك بسبب محدودية الأراضي والحاجة إلى إزالة الكربون من أنظمة الطاقة الحالية.¹⁴ ويخلق هذا التباين فرصةً لتجارة الهيدروجين، لا سيما بين شمال إفريقيا وأوروبا. فمن الناحية النظرية على الأقل، يمكن لشمال إفريقيا، من خلال استغلال مواردها الوفيرة من الطاقة الشمسية والرياح، إنتاج الهيدروجين بأسعار تنافسية وتصديره إلى أوروبا عبر الشحن البحري أو خطوط الأنابيب.

لذلك، ورغم أن دول شمال إفريقيا لم تكن في البداية مهتمة بالموجة الترويجية للهيدروجين، فقد تبنت استراتيجيات إنتاج سريعة، خاصة بعد بيان **RePowerEU** الذي أعلن عن مضاعفة هدف استيراد الهيدروجين من الدول المجاورة. وتعمل كل من المغرب، والجزائر، وتونس، وموريتانيا، ومصر حاليًا على جذب الاستثمارات الأجنبية المباشرة لتطوير صناعاتها الناشئة الموجهة نحو تصدير الهيدروجين. وبينما تشارك تونس، والمغرب، والجزائر، ومصر في الطموح ذاته لتطوير قدراتها في مجال الهيدروجين الأخضر، فإن استراتيجياتها تختلف بشكل كبير، وذلك وفقًا لخصائصها الاقتصادية والجغرافية والسياسية.

الجزائر ومصر، بفضل بنيتهم التحتية الحالية للغاز الطبيعي، في موقع مثالي للاستفادة من فرصة الهيدروجين. تُعد الجزائر من أكبر منتجي الغاز الطبيعي، وهي تعمل بنشاط على استكشاف إمكانات إنتاج كل من الهيدروجين الأخضر والهيدروجين الأزرق. بفضل مواردها الوفيرة من الغاز الطبيعي، تمتلك الجزائر القدرة على إنتاج الهيدروجين الأزرق¹⁵، إلا أن البلاد بحاجة إلى الاستثمار في تقنيات الطاقة المتجددة لتقليل بصمتها الكربونية. ومن الجدير بالذكر أن أكثر من 43,55% من أراضيها تتمتع بمؤهلات عالية لإنتاج الهيدروجين، حيث يُعد الهيدروجين المستخرج من الطاقة الشمسية الخيار الأكثر كفاءة من حيث التكلفة. أما مصر، فتكمن ميزتها التنافسية في إطارها التنظيمي الداعم، الذي يعزز الاستثمارات في الطاقة المتجددة، وهي عنصر أساسي في إنتاج الهيدروجين الأخضر¹⁶. وقد اعتمدت مصر استراتيجية طموحة لترسيخ مكانتها كمركز إقليمي للطاقة، حيث تركز على المشاريع الضخمة والاستثمارات الأجنبية. غير أن كلاً من مصر والجزائر تواجهان تحديات كبيرة تتعلق بضعف إنتاج الطاقة المتجددة، وهو ما يعيق حاليًا تطوير البنية التحتية اللازمة لتصدير الهيدروجين الأخضر على نطاق واسع. فاعتبارًا من عام 2023، لم تتجاوز مساهمة مصادر الطاقة المتجددة في إنتاج الطاقة الأولية 4% في مصر و3% في الجزائر.¹⁷

في المقابل، يتمتع المغرب بميزة تنافسية من حيث تكلفة الطاقة المتجددة، مدعومًا ببنيتهم التحتية المتطورة في هذا المجال. فقد شهد إنتاج الطاقة من المصادر المتجددة نموًا ملحوظًا في السنوات الأخيرة، مما جعل المغرب من بين أكبر خمس دول إفريقية في هذا القطاع¹⁸. واستثمرت البلاد بكثافة في مشاريع الطاقة المتجددة، بما في ذلك مجمع نور ورزازات، وهو محطة للطاقة الشمسية المركزة (CSP) بقدرة إنتاجية تبلغ 580 ميغاواط، مما يجعله من بين الأكبر عالميًا.¹⁹

¹³ Ibid.

¹⁴ Hydrogen Council and McKinsey & Company (2022). Global Hydrogen Flows: Hydrogen trade as a key enabler for efficient decarbonization.

¹⁵ Tiar B., Fadlallah S. O., Benhadji, S. D. E., Graham P., Aagela H.; (2024). Navigating Algeria towards a sustainable green hydrogen future to empower North Africa and Europe's clean hydrogen transition. International Journal of Hydrogen Energy, Volume 783:802-81, ISSN 3199-0360. doi: 10.1016/j.ijhydene.2024.02.328

¹⁶ Roberto C., (2023). From natural gas to green hydrogen: Developing and repurposing transnational energy infrastructure connecting North Africa to Europe. Energy Policy, Volume 113:623-181. ISSN 4215-0301. doi: 10.1016/j.enpol.2023.113623

¹⁷ International Trade Administration – Countries Commercial Guide

¹⁸ Ibid.

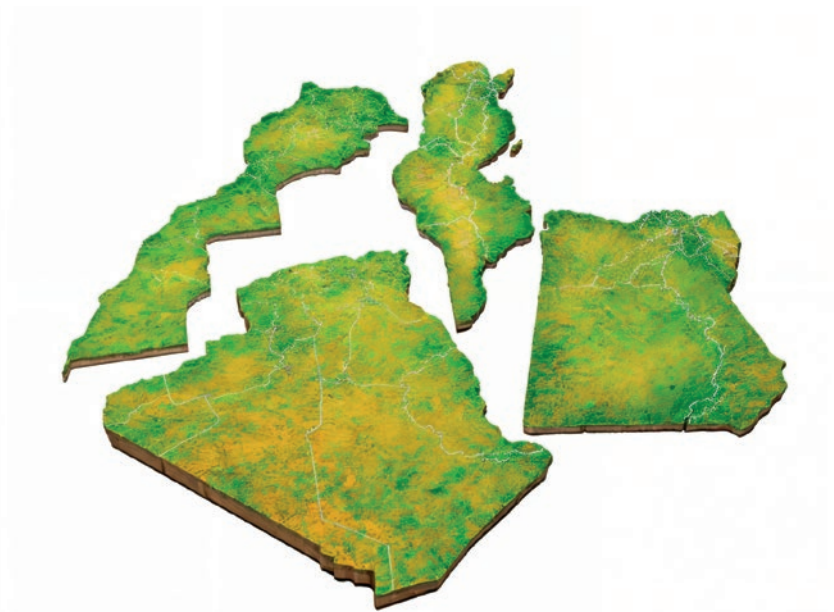
¹⁹ Benbba, R., Barhdadi, M., Ficarella, A., Manente, G., Romano, M.P., El Hachemi, N., Barhdadi, A., Al-Salaymeh, A., Outzourhit, (2024) A. Solar Energy Resource and Power Generation in Morocco: Current Situation, Potential, and Future Perspective. Resources, 140-13.

<https://doi.org/10.3390/resources13100140>

وأصبح قطاع الطاقة المتجددة محورًا أساسيًا للاستثمارات الاستراتيجية والنقاشات السياسية في المغرب، حيث تم تعزيز هذه الجهود بفضل تسريع عملية التحول الطاقوي، المدعومة بنشر تقنيات موثوقة وتنافسية. وبفضل موارد الوفيرة من الطاقة الشمسية والرياح وقربه الجغرافي من أوروبا، فإن المغرب في موقع مثالي ليصبح موردًا رئيسيًا للهيدروجين الأخضر إلى أوروبا²⁰. من جهة أخرى، تركز تونس على المشاريع الموجهة للتصدير، مستفيدة من موقعها الاستراتيجي لتزويد السوق الأوروبية. فمن خلال دمج الهيدروجين الأخضر في شبكة الغاز الطبيعي²¹، تسعى تونس إلى الاستفادة من بنيتها التحتية الحالية لخطوط أنابيب الغاز الطبيعي، مما يمكنها من لعب دور محوري في تطوير شبكة توزيع الهيدروجين للاتحاد الأوروبي.

من حيث الأطر التنظيمية، قامت المغرب وتونس بإنشاء هيئات متخصصة لتعزيز تطوير الطاقة المتجددة والهيدروجين، بينما لا تزال الجزائر ومصر في طور تحسين بيئتهما التنظيمية. ويتم استكشاف مشاريع تجريبية وشراكات ثنائية تقدر قيمتها بمليارات الدولارات في جميع أنحاء شمال إفريقيا. فعلى سبيل المثال، وقّع مطور ألماني وموريتانيا مذكرة تفاهم (MoU) مع كونسورتيوم لتنفيذ مشروع بقيمة 34 مليار دولار، يهدف إلى إنتاج 8 ملايين طن من الهيدروجين الأخضر والمنتجات ذات الصلة سنويًا²². وفي نفس المنوال، أطلقت مصر استراتيجيتها للهيدروجين الأخضر بقيمة 40 مليار دولار من خلال عدة اتفاقيات، من بينها مشروع بقيمة 549 مليون دولار، معول جزئيًا من ألمانيا، والصندوق السيادي المصري، والشركة المصرية لنقل الكهرباء، بهدف إنتاج 13,000 طن من الهيدروجين الأخضر سنويًا²³. أما الجزائر، فقد وقّعت مذكرات تفاهم مع شركاء نمساويين وألمان وإيطاليين وإسبان لإجراء دراسات جدوى لمشروعين للهيدروجين الأخضر²⁴. وفي الوقت نفسه، وقّعت تونس ست مذكرات تفاهم مع شركات أوروبية لإنتاج الهيدروجين الأخضر، كما أطلقت واحدة من أكثر المبادرات طموحًا في إفريقيا في هذا المجال، بهدف دمج إنتاج الهيدروجين مع مخططات تصدير الطاقة الكهربائية القائمة²⁵. من ناحية أخرى، تبنت المغرب دبلوماسية اقتصادية نشطة، حيث وقّعت اتفاقيات كبرى تتعلق بالهيدروجين والطاقة المتجددة بقيمة تتجاوز 10 مليارات دولار مع شركات فرنسية للطاقة والبنية التحتية، وذلك بعد إعادة تأكيد فرنسا علنًا دعمها لموقف المغرب بشأن الصحراء الغربية. في الواقع، توشك الجولة الأولى من تخصيص الأراضي في إطار استثمارات الهيدروجين الأخضر بالمغرب على الانتهاء، وقد تشمل مساحات شاسعة داخل الأراضي المتنازع عليها في الصحراء الغربية²⁶.

وقد أدى صعود اقتصاد الهيدروجين إلى تكثيف المنافسة الجيو-اقتصادية فلم تعطى دول شمال إفريقيا الأولوية لبناء تحالفات أو تنسيق الجهود بشكل مستمر لتعزيز الوصول إلى التمويل أو التفاوض على اتفاقيات تجارية مفضلة لإنتاج الهيدروجين الأخضر أو الأزرق وتصديره بل على العكس، تصاعدت المنافسة لجذب الاستثمارات الأجنبية مع تسليط كل دولة الضوء على مزاياها الخاصة. فمصر تبرز إطارها القانوني الداعم للمستثمرين الأجانب، والجزائر تؤكد على مواردها الطبيعية، بينما تستفيد تونس من موقعها الاستراتيجي، ويعرض المغرب بنيته التحتية المتقدمة للطاقة المتجددة.



20 Nousson, M., Raimondi, P. P., Scita, R., & Hafner, M. (2021). The Role of Green and Blue Hydrogen in the Energy Transition—A Technological and Geopolitical Perspective. *Sustainability*, 298, (1)13. <https://doi.org/10.3390/su13010298>

21 Bdioui, H., Touati, H., Ben Chiekh, M., Agüera, A. L., Ben Amor, O., Ennine, G., & Nietsch, T. (2023). Feasibility Study on Hydrogen Blending into Tunisian Natural Gas Distributing System. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202312.0662.v1>

22 Reuters – Consortium signs 34\$ billion MoU for hydrogen project in Mauritania

23 Energy Capital & Power – Egypt's 40\$B Green Hydrogen Strategy: Major Projects to Watch

24 Hydrogen Europe – Six hydrogen production deals concluded in Tunisia

25 African Energy – Tunisia pins its hopes on green energy export schemes

26 African Energy – Morocco gears up for green hydrogen push in disputed Western Sahara

بالنسبة للجزائر ومصر، يعد الهيدروجين الأخضر فرصة حاسمة لتنويع اقتصادهما وتقليل الاعتماد على صادرات النفط والغاز. بينما يبدو أن المغرب يسعى إلى دور إقليمي أكثر استراتيجية، وتركز تونس على الاستفادة من موقعها ضمن الممرات الطاقية الحالية التي تربط بين أوروبا وإفريقيا، وتأمين ميزان مدفوعاتها من خلال تقليل المخاطر المرتبطة بتقلبات أسعار النفط والغاز.

في النهاية، ستعتمد مسارات التوسع في إنتاج الهيدروجين على عوامل عدة، منها الجدوى الاقتصادية والكفاءة التكنولوجية، إضافة إلى الاعتبارات الجيوسياسية.²⁷ ومع وفرة الموارد المتجددة في شمال إفريقيا، يبرز سؤال حاسم: هل من الممكن حقًا إنتاج الهيدروجين الأخضر على نطاق واسع؟ على الرغم من الضجة الكبيرة حول هذا الموضوع، تفتقر المنطقة إلى أدلة ملموسة على وجود مشاريع ضخمة قابلة للتطبيق تجاريًا. ورغم وجود مشروع تجريبي صغير عالميًا، فإن نجاحه لا يضمن إمكانية تمويل مشاريع كبيرة على نطاق الجيجاوات. ويمثل هذا الغموض خطرًا كبيرًا نظرًا إلى الاستثمارات الضخمة التي قام بها أصحاب المصلحة العالميون الرئيسيون و إذا ثبت أن هذه الطموحات غير قابلة للتحقيق، فإن العواقب قد تكون خطيرة.

الهيدروجين الأخضر: سراب يخفي الديون والتبادل غير المتكافئ؟ التهدد الوشيك لئزمة الديون

تختلف القدرة التنافسية من حيث التكلفة بين دول شمال إفريقيا تبعًا لعوامل عدة كتوفر مصادر الطاقة المتجددة وتطور البنية التحتية، إلا أن الوصول إلى التمويل يظل عاملًا حاسمًا. والجدير بالذكر أن جميع الآليات التمويلية المخططة لاستراتيجيات الهيدروجين في شمال إفريقيا تعتمد بشكل كبير على الاستثمار الأجنبي والتعاون الدولي. ورغم الإعلان عن العديد من مذكرات التفاهم، وتشكيل تحالفات، واعتماد أطر تشريعية جديدة تهدف إلى تسهيل تنفيذ مشاريع إنتاج الهيدروجين، لا يزال التمويل يشكل عائقًا رئيسيًا. وعلى الرغم من تقديم اقتصاد الهيدروجين الأخضر على أنه فرصة مربحة للنظام المالي العالمي، إلا أن تحديات كبيرة لا تزال قائمة، من بينها الحاجة إلى استثمارات ضخمة في البنية التحتية، والشكوك على المستوى التكنولوجي، وضبابية العوائد الاقتصادية. كما أن الجهات المالكة الخاصة، التي تدرك حجم المخاطر الاستثمارية الكبيرة، تسعى إلى نقل هذه المخاطر إلى الحكومات المضيفة من خلال آليات الدعم المالي العام، وذلك بالتعاون مع الحكومات والمنظمات في الشمال العالمي. فعلى سبيل المثال، لعبت ألمانيا في يونيو 2021 دورًا محوريًا في إطلاق مبادرة [H2Global](#)، وهي أداة مالية تهدف إلى دعم إنتاج الهيدروجين داخل الاتحاد الأوروبي وتعزيز شراكات الاستيراد مع الدول المنتجة المستقبلية. وتهدف هذه المبادرة إلى الحد من المخاطر الاستثمارية وضمان الجدوى الاقتصادية لمشاريع الهيدروجين.

إن التخفيف من هذه المخاطر عن طريق نقلها إلى الحكومات المضيفة من خلال الدعم المالي العام ليس مفهومًا جديدًا؛ فقد أصبح أكثر منهجية من خلال مبادرات الحد من المخاطر *de-risking*، وقد برز مفهوم الحد من المخاطر كركيزة أساسية للتمويل المناخي، وتم التأكيد عليه في توصيات السياسات من قبل المؤسسات الرئيسية مثل البنك الدولي وصندوق النقد الدولي والأمم المتحدة. وتسلب هذه المؤسسات الضوء على أهمية الحد من المخاطر. وينظر بشكل متزايد إلى مشاريع البنية التحتية واسعة النطاق ومشاريع الطاقة المتجددة التي تتماشى مع أهداف التنمية المستدامة (SDGs) وأجندة 2030 على أنها فرص استثمارية جذابة لرؤوس الأموال الدولية التي تبحث عن مشاريع مربحة²⁸. وفي حين أن تمويل البنية التحتية العامة ينطوي دائمًا على مزيج من التمويل الخاص والعام، فإن إزالة المخاطر، التي تهدف إلى إعادة تنظيم اقتصادات الطاقة، توصف بأنها الحل الأمثل لتعبئة الموارد اللازمة، لا سيما في بلدان الجنوب²⁹.

²⁷ Van de Graaf T., Overland I., Scholten D., Westphal K. (2020). The new oil? The geopolitics and international governance of hydrogen. Energy research and social science. -70:101667. doi: 10.1016/J.ERSS.2020.101667

²⁸ Haag, S., Tunn, J., Kalt, T., Müller, F., and Simon, J. (2024) Who profits from the green energy rush? Derisking and power relations in Africa's renewable energy finance." Transnational Institute.

²⁹ Gabor, D. and Sylla, N.S. (2023), Derisking Developmentalism: A Tale of Green Hydrogen. Dev Change, 1196-1169 :54. <https://doi.org/10.1111/dech.12779>

وتواجه الاقتصادات الناشئة خطر أن تصبح مجرد مستهلكين لتكنولوجيا الهيدروجين الأخضر ومستفيدين أساسيين للمستثمرين الدوليين في ظل الإطار الحالي للوائح الطاقة الخضراء التي يشكلها في الغالب مستثمرون أقوياء وحكومات من الدول المتقدمة. ويمكن أن تؤدي هذه الديناميكية إلى تفاقم مواطن الضعف الحالية للديون الخارجية في هذه البلدان. وقد أفاد البنك الدولي أنه بحلول عام 2023، سيواجه ثلثا البلدان المتوسطة والمنخفضة الدخل مخاطر متزايدة من ضائقة الديون، مما يؤكد الحاجة الملحة لمعالجة هذه المخاوف³⁰. يمكن أن تؤدي الاستثمارات الكبيرة المطلوبة لإنتاج الهيدروجين الأخضر إلى زيادة كبيرة في الدين العام، والتي قد تصبح غير محتملة إذا فشلت إيرادات المشروع في تلبية التوقعات

بالإضافة إلى ذلك، تؤدي أسعار الفائدة المرتفعة والقروض المقومة بالعملات الأجنبية إلى زيادة تكلفة المشاريع وتعرض الدول الإفريقية لمخاطر تقلبات أسعار الصرف. فعلى سبيل المثال، يسعى تحالف **Hyphen**، وهو كونسورتيوم تقوده ألمانيا، إلى إنشاء منشأة واسعة النطاق لإنتاج الهيدروجين الأخضر في ناميبيا، تمتد على مساحة تعادل ثلاثة أضعاف مساحة مدينة نيويورك. ورغم تقديمه كمشروع تعاوني، فإن هذا المشروع، الذي يعتمد بشكل كبير على الديون لتمويله، ينطوي على مخاطر كبيرة قد تؤدي إلى تفاقم عبء الديون العامة في ناميبيا³¹

ويعتمد هذا النموذج التمويلي التنموي، القائم بشكل أساسي على آليات السوق والذي يضع مصالح رأس المال الخاص في مقدمة أولوياته، على وعود بتحقيق أرباح طويلة الأجل للمستثمرين. ومع ذلك، فإنه يعرض الدول المضيفة لمخاطر تجارية كبيرة. فمن خلال تقديم ضمانات سيادية للاستثمارات الخاصة، تتحمل هذه الدول مسؤولية أي خسائر محتملة، مما قد يؤدي إلى تفاقم أعبائها من الديون الخارجية

الواقع غير المستدام للهيدروجين الأخضر

غالبًا ما يتم الترويج لاستخدام مجموعة محددة من أدوات تقليل المخاطر (de-risking) ضمن سردية مشتركة، حيث يتم تصوير دول الجنوب العالمي كموثدين للهيدروجين الأخضر إلى دول الشمال العالمي، مقابل توقعات بالحصول على استثمارات، وفرص عمل، وتكنولوجيا متقدمة. ويُعرض هذا الترتيب عادةً على أنه سيناريو "رابح-رابح". ومع ذلك، فمن المعروف على نطاق واسع أن المشاريع "الخضراء" توفر وظائف مؤقتة فقط خلال مرحلة البناء، بينما تنخفض معدلات التوظيف بشكل حاد بعد ذلك. علاوة على ذلك³²، فإن السياسات الفائمة على السوق، كما ظهر جليًا في مفاوضات المناخ، لا تضمن نقل التكنولوجيا بطريقة تضمن الاستدامة البيئية والعدالة الاجتماعية للدول النامية، مما يؤدي في نهاية المطاف إلى تعزيز تبعيتها للتكنولوجيا الأجنبية³³. ونتيجة لذلك، قد تصبح دول شمال إفريقيا معتمدة بشكل مفرط على السوق الأوروبية للهيدروجين، مما يعرضها لمخاطر تقلبات السوق والتحديات الجيوسياسية.

ورغم أن الهيدروجين الأخضر يسهم بشكل كبير في خفض انبعاثات الغازات الدفيئة مقارنة بالطرق التقليدية، فقد سلطت دراسة حديثة³⁴ الضوء على بعض العوائق المحتملة لتطبيقه على نطاق واسع. فبينما ينتج الهيدروجين الأخضر انبعاثات أقل بنسبة تتراوح بين 50% و90% مقارنة بالهيدروجين المنتج عبر إصلاح الميثان بالبخار من الغاز الطبيعي، فإنه لا يزال يشكل مصدرًا لانبعاثات كبيرة وأعباء بيئية ضمن اقتصاد الهيدروجين واسع النطاق، نظرًا للانبعاثات المترتبة على تصنيع تقنيات الطاقة والتأثير المناخي المحتمل الناتج عن تسرب الهيدروجين. علاوة على ذلك، فإن التكاليف المرتفعة لنقل الهيدروجين لمسافات طويلة—من مواقع الإنتاج إلى مناطق الاستهلاك—قد تقوّض جدواه الاقتصادية وتزيد من مخاطره البيئية. وبالتالي، من المرجح أن تواجه الدول الإفريقية ليس فقط تصاعدًا في الديون الخارجية، ولكن أيضًا تكاليف بيئية كبيرة.

30 Ibid.

31 Haag, S., Tunn, J., Kalt, T., Müller, F., and Simon, J. (2024) Who profits from the green energy rush? Derisking and power relations in Africa's renewable energy finance." Transnational Institute.

32 Winter, J., & Michal C. M. (2013) The 'Green Jobs' Fantasy: Why the Economic and Environmental Reality Can Never Live Up to the Political Promise." The School of Public Policy, Publications 6. doi: <http://dx.doi.org/10.11575/sppp.v6i0.42444>

33 Amroune, A., & Dib, K. (2024). clean technology transfer for climate change mitigation: mechanisms and barriers -with reference to Algeria-. les cahiers du cread. <https://doi.org/10.4314/cread.v39i4.2>

34 Terlouw, T., Rosa, L., Bauer, C. et al. (2024) Future hydrogen economies imply environmental trade-offs and a supply-demand mismatch. Nat Commun 7043. <https://doi.org/10.1038/s7-51251-024-41467>

وتضيف القيود الإقليمية طبقة أخرى من التعقيد، حيث تتداخل المناطق التي تتمتع بإمكانات عالية لإنتاج الهيدروجين الأخضر غالبًا مع المناطق التي تعاني من ندرة المياه. وينطبق ذلك بشكل خاص على شمال إفريقيا، حيث تواجه دول مثل تونس والجزائر والمغرب إجهادًا مائيًا حادًا نتيجة محدودية موارد المياه العذبة المتجددة والمناخ الحار والجاف. ويؤدي التغير المناخي إلى تفاقم هذه المشكلة من خلال ارتفاع درجات الحرارة، وزيادة فترات الجفاف، واختلال أنماط هطول الأمطار، مما يجعل ندرة المياه عاملًا حاسمًا له تداعيات اجتماعية واقتصادية وبيئية عميقة³⁵. وبالتالي، فإن تخصيص كميات كبيرة من المياه العذبة لإنتاج الهيدروجين في هذه المناطق التي تعاني بالفعل من الإجهاد المائي سيؤدي إلى تفاقم أزمات المياه القائمة، مما قد يؤثر سلبًا على الزراعة والاستهلاك البشري والنظم البيئية في شمال إفريقيا.

ويجب أن تأخذ عمليات التوسع في الإنتاج بعين الاعتبار ليس فقط توفر المياه، بل أيضًا الموارد الهائلة للطاقة المتجددة والمساحات الشاسعة من الأراضي المطلوبة. فعلى سبيل المثال، يغطي مشروع Aman في موريتانيا، وهو أحد أكبر مشاريع الهيدروجين الأخضر المخطط لها عالميًا، مساحة 8,500 كم²، أي أكثر من مساحة العديد من المدن الضخمة مثل طوكيو أو موسكو أو بكين³⁶. علاوة على ذلك، فإن الخطابات التي تصور الهيدروجين الأخضر على أنه حل مستدام منخفض الكربون، وتروج لسرديات شرعته من خلال مزاعم التخفيف من تغير المناخ، والفوائد التنموية، وزيادة الإنتاجية في الأراضي "الفارغة"، "المتدهورة"، أو "غير المستغلة"، تعدّ مضللة تمامًا³⁷، إذ تعيد إنتاج أنماط تاريخية من التبادل غير المتكافئ للموارد³⁸. ويتجلى هذا الأمر في مشروع [H2Atlas-Africa](#)، الممول من الحكومة الألمانية، والذي يقيّم إمكانات إنتاج الهيدروجين في غرب إفريقيا باستخدام تصنيفات تقنية يفترض أنها "موضوعية". ومع ذلك، فإن هذا المشروع يفشل في معالجة أوجه عدم المساواة القائمة، سواء على المستوى العالمي أو المحلي، كما لا يأخذ بعين الاعتبار بشكل كافٍ الظروف الاجتماعية والاقتصادية والبيئية المحلية³⁹.

علاوة على ذلك، تعكس بعض المبادرات المشتركة للهيدروجين، مثل برنامج "Go Green Go Africa" الألماني، نماذج تنمية ذات طابع أوروبي مركزي. تركز هذه الأطر السردية التي تفترض أن انتقال الطاقة في إفريقيا يتطلب الخبرة والنماذج الأوروبية، متجاهلةً قدرة القارة على تحقيق تنمية مستقلة⁴⁰.

بالنظر إلى غياب الأدلة الملموسة حول فعالية هذه المشاريع والمخاطر المحتملة المرتبطة بها، فإن الاعتماد على تقنيات افتراضية قد تكون غير مستدامة من شأنه أن يفاقم الأزمات الاجتماعية والاقتصادية والبيئية في دول شمال إفريقيا. تركز الأبحاث الحالية بشكل أساسي على الإمكانية التقنية والاقتصادية لإنتاج الهيدروجين الأخضر في بلدان الجنوب العالمي. ومع ذلك، توجد فجوة معرفية حرجة فيما يتعلق بفهم المخاطر الاجتماعية والبيئية المحتملة، إلى جانب اختلال موازين القوى المترسخة ضمن تدفقات الموارد بين الجنوب والشمال. ورغم أن الأبحاث في العلوم الاجتماعية بدأت في تناول التحديات المتعلقة بالحوكمة والجيوسياسية المرتبطة بالهيدروجين الأخضر⁴¹، إلا أن الفجوات المعرفية لا تزال قائمة فيما يتعلق بإمكانية حدوث أضرار اجتماعية وبيئية⁴².

ومن الجوانب الأساسية الأخرى لتقييم إنتاج الهيدروجين الأخضر في شمال إفريقيا دراسة قدرته على تلبية الاحتياجات المحلية للطاقة. إذ تمتلك هذه الدول موارد وافرة من الطاقة المتجددة، يمكن استغلالها بشكل فعال لاستبدال إنتاج الكهرباء القائم على الوقود الأحفوري. علاوة على ذلك، يمكن أن تسهم الروابط الإقليمية مع الدول المجاورة، ومن ثم مع الاتحاد الأوروبي، في تعزيز استقرار الشبكة وتسهيل تبادل الطاقة.

35 Mahmoud M., (2024) The Looming Climate and Water Crisis in the Middle East and North Africa. Carnegie endowment for international peace.

36 Recharge - Wind and solar powered 30GW green hydrogen giant on horizon for Mauritania

37 Hamza H., (2022) The energy transition in North Africa: Neocolonialism again! Transnational Institute

38 Hickel J., Dorninger C., Wieland H., Suwandi I., (2022) Imperialist appropriation in the world economy: drain from the global south through unequal exchange. 2015-1990. Glob. Environ. Change. 102467.73.

39 Kalt T., & Tunn J. (2022) Shipping the sunshine? A critical research agenda on the global hydrogen transition. GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society. 6-31:72. <https://doi.org/10.14512/gaia.31.2.2>

40 Ibid.

41 Van de Graaf T., Overland I., Scholten D., Westphal K., (2020). The new oil? The geopolitics and international governance of hydrogen. Energy research and social science, -70:101667. doi: 10.1016/J.ERSS.2020.101667

42 Kalt T., Tunn J. (2022) Shipping the sunshine? A critical research agenda on the global hydrogen transition. GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society. 6-31:72. <https://doi.org/10.14512/gaia.31.2.2>

ومع ذلك، فإن تصدير كميات كبيرة من الكهرباء المتجددة على شكل هيدروجين إلى أوروبا ينطوي على تكلفة كبيرة. إذ أن إعطاء الأولوية لاستخدام الطاقة المتجددة محلياً سيكون أكثر فعالية في إزالة الكربون من أنظمة الطاقة الوطنية ودعم الأهداف المناخية للدول المعنية. كما أن تصدير الهيدروجين إلى أوروبا لتحقيق أهدافها المناخية، في حين يتم إهمال احتياجات الطاقة المحلية، يبدو أمراً غير منطقي وقد يكون ضاراً بالتنمية المستدامة لهذه الدول⁴³.

وبالتالي، يكشف التقييم النقدي لإنتاج الهيدروجين الأخضر في دول شمال إفريقيا عن مخاوف جوهريّة، من بينها إمكانية أن يؤدي الإنتاج واسع النطاق إلى تفاقم أوجه عدم المساواة البيئية والاجتماعية القائمة، فضلاً عن خطر تكرار أنماط تاريخية من "استخراج الموارد، مما يثير المخاوف بشأن ما يُعرف بـ "الاستعمار الأخضر".

تطوير الهيدروجين الأخضر في شمال إفريقيا: تضارب المصالح؟

في حين أن الهيدروجين الأخضر يوفر مسازاً واعداً لإزالة الكربون في الاتحاد الأوروبي، إلا أن تطويره يتطلب مقاربة متوازنة ودقيقة تُولي الأولوية للاستدامة والإنصاف. فلا يمكن للعوامل التقنية والاقتصادية وحدهما أن تحدد مدى جدوى مشاريع الهيدروجين الأخضر، بل يجب دمج الاعتبارات الاجتماعية والبيئية في جميع مراحل سلسلة القيمة، وذلك من الإنتاج وصولاً إلى التوزيع. ومن خلال إعطاء الأولوية للرفاه الاجتماعي والبيئي، يمكن لمطوري المشاريع التخفيف من المخاطر المحتملة وضمان توزيع منصف لمنافع اقتصاد الهيدروجين⁴⁴.

وعلاوة على ذلك، يجب مراعاة الأثر البيئي لإنتاج الهيدروجين. إذ تُعد ندرة المياه إحدى القضايا الرئيسية في شمال إفريقيا، ويمكن أن يؤدي توجيه كميات كبيرة من المياه العذبة لإنتاج الهيدروجين إلى تفاقم الأزمات المائية القائمة. ورغم أن تحلية المياه تُطرح غالباً كحل مثالي ضمن استراتيجيات الدول لإنتاج الهيدروجين الأخضر، إلا أنها عملية تستهلك كميات كبيرة من الطاقة وتنتج على تكاليف بيئية خاصة بها. لذلك، يعد استكشاف تقنيات مبتكرة لترشيد استهلاك المياه أمراً ضرورياً للتخفيف من هذه المخاطر. كما من المهم تجنب إعطاء الأولوية لصناعات الهيدروجين واسعة النطاق إلى أوروبا على حساب الاحتياجات المائية المحلية في شمال إفريقيا .

وعلى نفس المنوال، يجب أن تُمنح موارد الطاقة المتجددة الأولوية للاستهلاك المحلي والتنمية الداخلية، وألا تُخصّص فقط للأسواق التصديرية. وكما ورد في "[إعلان الشعوب الإفريقية بشأن المناخ والتنمية](#)"، يجب ألا يأتي الهيدروجين الأخضر للتصدير على حساب وصول ملايين الأفارقة إلى الطاقة المحلية. إذ يمكن استغلال موارد الطاقة المتجددة في شمال إفريقيا بشكل أكثر فاعلية لاستبدال الوقود الأحفوري محلياً، وبالتالي تعزيز أمن الطاقة والنهوض بالتنمية المستدامة. وعلى العكس من ذلك، و بدلاً من إدانة نموذج الطاقة الاستعماري الجديد القائم على استغلال دول الجنوب ، ينبغي على الاتحاد الأوروبي أن يعيد النظر في استراتيجيته RePowerEU ، وأن يتخلى عن أهدافه غير الواقعية المتعلقة بإنتاج واستيراد الهيدروجين، مع التركيز على زيادة الاستثمار في كفاءة الطاقة ومصادر الطاقة المتجددة للحد من اعتماده على الغاز⁴⁵.

في نهاية المطاف، يتطلب تحقيق انتقال عادل ومستدام نحو الهيدروجين الأخضر الابتعاد عن نموذج يعتمد فقط على التصدير. إذ أن إعطاء الأولوية للاحتياجات المحلية من الطاقة والمياه والأراضي وتعزيز الشراكات العادلة وضمان الاستدامة البيئية، تعدّ أموراً حاسمة لتحقيق الفوائد المحتملة لهذه التكنولوجيا الناشئة، إن وُجدت .

43 Michael Barnard (2022) Morocco, Algeria, Egypt: Assessing EU plans to import hydrogen from North Africa. Corporate Europe Observatory and Transnational Institute.

44 Blohm M., Dettner F., (2023) Green hydrogen production: integrating environmental and social criteria to ensure sustainability. Smart Energy, 100112, 10.1016/j.segy.2023.100112

45 Michael Barnard (2022) Morocco, Algeria, Egypt: Assessing EU plans to import hydrogen from North Africa. Corporate Europe Observatory and Transnational Institute.

رغم العوائق المحتملة، لا يزال الهوس بالهيدروجين يتصاعد، مستقطبًا طائفي السياسات والمستثمرين باعتباره الحل النهائي لمعضلتي تغير المناخ وأمن الطاقة. غير أن تبنيّه على نطاق واسع لا يخلو من المخاطر، بما في ذلك استمرار الاستعمار الأخضر وتعميق التبعية لاستخراج الموارد في دول الجنوب العالمي .

في نهاية المطاف، يعتمد نجاح الهيدروجين الأخضر على مجموعة من العوامل، بما في ذلك الابتكار التكنولوجي، والدعم السياسي القوي، واستمرار الطلب في الأسواق. وإذا توافقت هذه العوامل، فقد يسهم الهيدروجين الأخضر بشكل ملموس في التحول نحو اقتصاد قائم على الطاقة النظيفة⁴⁶. ومع ذلك، من الضروري التعامل مع هذه التكنولوجيا بتوقعات واقعية والنظر بعناية في التداعيات البيئية والاقتصادية والاجتماعية لاعتمادها الواسع .

على سبيل المثال، يسلط برنامج [CertifHy](#) التجريبي التابع للاتحاد الأوروبي، الذي يصنّف الهيدروجين على أنه "منخفض الكربون" أو "نظيف"⁴⁷، الضوء على إحدى الإشكاليات الرئيسية: شهادة الكربون وحدها لن تكون كافية لمعالجة النزاعات حول العدالة في توزيع الأراضي والمياه والطاقة. لذلك، ثمة حاجة إلى مقارنة أكثر شمولية تأخذ بعين الاعتبار الشروط البيئية التي يقوم عليها الاقتصاد البشري، من أجل فهم أعمق للآليات التي تؤدي إلى تفاقم التفاوتات في توزيع الموارد .

بالإضافة إلى ذلك، فإن التركيز على مشاريع الهيدروجين الأخضر واسعة النطاق قد يشتت الانتباه عن تدابير أكثر إلحاحًا وفعالية لمواجهة تغير المناخ، مثل الاستثمار في مشاريع الطاقة المتجددة الملائمة محليًا، وتعزيز كفاءة استخدام الطاقة⁴⁸.

46 Yap, J.; McLellan, B. A (2023) Historical Analysis of Hydrogen Economy Research, Development, and Expectations, 1972 to 2020. *Environments* 10, no. 11 .i. <https://doi.org/10.3390/environments10010011>

47 Cheng W, Lee S. (2022) How Green Are the National Hydrogen Strategies? *Sustainability*. 1930.(3)14. <https://doi.org/10.3390/su14031930>

48 Michael Barnard (2022) Morocco, Algeria, Egypt: Assessing EU plans to import hydrogen from North Africa. *Corporate Europe Observatory and Transnational Institute*.

- Amroune, A., & Dib, K., (2024) Clean technology transfer for climate change mitigation: mechanisms and barriers -with reference to Algeria-. *les cahiers du cread*. <https://doi.org/10.4314/cread.v39i4.2>
- Barnard M., (2022) Morocco, Algeria, Egypt: Assessing EU plans to import hydrogen from North Africa. Corporate Europe Observatory and Transnational Institute.
- Bdioui, H., Touati, H., Ben Chiekh, M., Agüera, A. L., Ben Amor, O., Ennine, G., & Nietsch, T. (2023). Feasibility Study on Hydrogen Blending into Tunisian Natural Gas Distributing System. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202312.0662.v1>
- Benbba, R., Barhdadi, M., Ficarella, A., Manente, G., Romano, M.P., El Hachemi, N., Barhdadi, A., Al-Salaymeh, A., Outzourhit, (2024) A. Solar Energy Resource and Power Generation in Morocco: Current Situation, Potential, and Future Perspective. *Resources*, 140 ,13. <https://doi.org/10.3390/resources13100140>
- Blohm M., Dettner F., (2023) Green hydrogen production: integrating environmental and social criteria to ensure sustainability. *Smart Energy*, 100112 ,11. <https://doi.org/10.1016/j.segy.2023.10011>
- Brandon NP, Kurban Z. (2017) Clean energy and the hydrogen economy. *Phil. Trans. R. Soc. A* 20160400 :375. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2016.0400>
- Cheng W, Lee S. (2022) How Green Are the National Hydrogen Strategies? *Sustainability*. 1930:(3)14. <https://doi.org/10.3390/su14031930>
- Gabor, D. and Sylla, N.S. (2023), Derisking Developmentalism: A Tale of Green Hydrogen. *Dev Change*, 1196-1169 :54. <https://doi.org/10.1111/dech.12779>
- Griffiths, S.; Sovacool, B.K.; Kim, J.; Bazilian, M.; Uratani, J.M. (2021) Industrial decarbonization via hydrogen: A critical and systematic review of developments, socio-technical systems and policy options. *Energy Res. Soc. Sci.*, 102208 ,80. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102208>
- Hamza H., (2022) The energy transition in North Africa: Neocolonialism again! Transnational institution
- Hickel J., Dorninger C., Wieland H., Suwandi I., (2022) Imperialist appropriation in the world economy: drain from the global south through unequal exchange, 2015-1990. *Glob. Environ. Change*, 102467 ,73. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102467>
- Hydrogen Council and McKinsey & Company (2022). *Global Hydrogen Flows: Hydrogen trade as a key enabler for efficient decarbonization*.
- IEA (2020), *Energy Technology Perspectives 2020*, International Energy Agency. Paris <https://doi.org/10.1787/d07136f-Oen>
- IRENA (2020), *Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Kalt T, Tunn J. (2022) Shipping the sunshine? A critical research agenda on the global hydrogen transition. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*. 6-31:72. <https://doi.org/10.14512/gaia.31.2.2>
- Mahmoud M., (2024) The Looming Climate and Water Crisis in the Middle East and North Africa. Carnegie endowment for international peace.
- Noussan, M., Raimondi, P. P., Scita, R., & Hafner, M. (2021) The Role of Green and Blue Hydrogen in the Energy Transition – A Technological and Geopolitical Perspective. *Sustainability*, 298 ,(1)13. <https://doi.org/10.3390/su13010298>
- Odenweller, A., Ueckerdt, F., Nemet, G.F. et al. (2022) Probabilistic feasibility space of scaling up green hydrogen supply. *Nat Energy* 865-854 ,7. <https://doi.org/10.1038/s4-01097-022-41560>
- Roberto C., (2023). From natural gas to green hydrogen: Developing and repurposing transnational energy infrastructure connecting North Africa to Europe. *Energy Policy*, Volume 113623 ,181, ISSN 4215-0301. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113623>
- Terlouw, T., Rosa, L., Bauer, C. et al. (2024) Future hydrogen economies imply environmental trade-offs and a supply-demand mismatch. *Nat Commun* 7043 ,15. <https://doi.org/10.1038/s7-51251-024-41467>
- Tiar B., Fadlallah S. O., Benhadji, S. D. E., Graham P., Aogela H.; (2024). Navigating Algeria towards a sustainable green hydrogen future to empower North Africa and Europe's clean hydrogen transition. *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 783:802 ,61, ISSN 3199-0360. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.02.328>
- Van de Graaf T., Overland I., Scholten D., Westphal K.; (2020). The new oil? The geopolitics and international governance of hydrogen. *Energy research and social science*, -70:101667. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2020.101667>
- Winter, J., & Michal C. M., (2013) The 'Green Jobs' Fantasy: Why the Economic and Environmental Reality Can Never Live Up to the Political Promise." *The School of Public Policy. Publications* 6. <http://dx.doi.org/10.11575/sppp.v6i0.42444>
- Yap, J.; McLellan, B. A (2023) Historical Analysis of Hydrogen Economy Research, Development, and Expectations, 1972 to 2020. *Environments* 10, no. 11 :1. <https://doi.org/10.3390/environments10010011>

