مجلة البحوث الاقتصادية المتقدمة: المجلد (10)، العدد (01) / 2025
PISSN : 2572-0198 / EISSN : 2676-1572

الهيدروجين الأخضر كخيار استراتيجي لتعزيز مسار الانتقال الطاقوي في الجزائر

The Green hydrogen as a strategic option to strengthen Algeria's energy transition

سفيان عمراني
جامعة الجزائر3 (الجزائر)

تاريخ الاستلام: 2025/01/27 *تاريخ القبول: 07/03/2025* *تاريخ النشر: 31/03/2025*

ملخص:
يهدف البحث إلى استعراض استراتيجية الجزائر في إنتاج الهيدروجين الأخضر، مع الاستعانة بالمنهج الوصفي لتوضيح الإطار العام لماهية الهيدروجين الأخضر ودوره البارز في المجال التنموي. بالإضافة إلى ذلك؛ يعتمد البحث على المنهج التحليلي بما يتماشى مع موضوع الدراسة، بهدف تسليط الضوء على مختلف الجوانب المتعلقة بمساعي الجزائر لتطوير هذا المجال الواعد.
توصل البحث إلى عدّة نتائج أهمها؛ أنّ ما تتبناه الجزائر من سياسات لتنمية استخدامات الهيدروجين الأخضر يظل مرهونًا بمدى قدرتها على تحقيق الأهداف الكمية التي تسعى إليها، ويأتي ذلك في سياق رفع الجزائر رهان الاستثمار في إنتاج مزيج طاقوي خارج نطاق الطاقات الأحفورية، على غرار الهيدروجين الذي تمتلك فيه إمكانيات معتبرة، مما يسهم في تعزيز مسار الانتقال الطاقوي.
الكلمات المفتاحية: استراتيجية ؛ انتقال طاقوي ؛ هيدروجين أخضر ؛ جزائر
تصنيف JEL: Q2 ؛ Q4

Abstract:
The research aims to review Algeria's strategy for producing green hydrogen, using a descriptive approach to clarify the general framework of what green hydrogen is and its prominent role in the developmental field. In addition, the research relies on an analytical method in line with the study's topic, aiming to highlight various aspects related to Algeria's efforts to develop this promising field.
The research reached several results, the most important of which is that the policies adopted by Algeria to develop the uses of green hydrogen remain dependent on its ability to achieve the quantitative goals it seeks. This comes in the context of Algeria raising the stakes in investing in producing an energy mix outside the scope of fossil energies, such as hydrogen, in which it has significant potential, which contributes to strengthening the path of energy transition.
Keywords: *Strategy ; Energy Transition ; Green Hydrogen ; Algeria*
Jel Classification Codes: *Q2 ; Q4*

المؤلف المرسل: سفيان عمراني، amrani.sofiane@univ-alger3.dz

1. مقدمة

لقد سعت الجزائر إلى وضع برامج واستراتيجيات متوسطة وطويلة المدى للتخفيف من حدة التدهور البيئي والتغير المناخي بالاعتماد على نموذج تنموي صديق للبيئة يشجع الانتقال الطاقوي ويحفز الممارسات المستدامة، وهو ما انعكس في تبني الاستراتيجية الوطنية لتطوير شعبة الهيدروجين، التي تندرج في إطار رؤية شاملة تؤسس لنظام طاقوي مرن ومستدام يحقق للجزائر أمنها الطاقوي على المدى البعيد، كما تسمح لها بتعزيز مكانتها ودورها المحوري في مجال الطاقة. كما أنّ تنمية شعبة الهيدروجين، خاصة الهيدروجين الأخضر، ستسمح بتسريع وتيرة إنجاز مشاريع الطاقات المتجددة وتنويع مصادر الطاقة ضمن استراتيجية واضحة المعالم لانتقال طاقوي سلس وتدريجي.

ويأتي هذا التوجه ضمن مساعي الدولة إلى استغلال جميع مواردها وتثمينها، لاسيما الطاقات المتجددة، خاصة أنّ الجزائر تتمتع بإمكانات هائلة من الطاقة الشمسية ومصادر أكيدة من الهيدروجين الأخضر، حيث استحوذ ملف إنتاجه وتصديره في الجزائر على اهتمامات المسؤولين والرأي العام بمختلف اتجاهاته، خاصة أنّ العديد من الدول تعوّل عليه وقودا مستقبليا خاليًا من الانبعاثات في رحلتها لتحقيق حياد الكربون، حيث يمكن أن تكون الجزائر فاعلا أساسيا في مجال الهيدروجين الأخضر، والقيام بدور رئيس في مسار تحول الطاقة خلال السنوات المقبلة.

اشكالية البحث:

تتبلور إشكالية الدراسة في التساؤل الرئيس التالي: هل يمكن أن تراهن الجزائر على إنتاج الهيدروجين الأخضر كخيار استراتيجي لتعزيز مسار الانتقال الطاقوي؟

فرضية البحث:

تنطلق الدراسة من فرضية أساسية مفادها أنّ الجزائر تمتلك مقومات أساسية تؤهلها لتبني استراتيجية إنتاج وتطوير الهيدروجين الأخضر، وبالتالي المراهنة عليه لتعزيز مسارها نحو الانتقال الطاقوي.

أهمية البحث:

تستمدّ الدراسة أهميتها كون الهيدروجين الأخضر يعدّ وقود المستقبل بالنسبة للعديد من دول العالم؛ لدوره الحيوي في تنفيذ مبادئ اتفاقية قمة باريس لمواجهة التغير المناخي، التي تهدف إلى خفض معدلات انبعاثات الكربون المتسببة في ارتفاع درجة حرارة الأرض. والجزائر لم تكن بمعزل عن الحراك العالمي نحو الهيدروجين الأخضر، خاصة أنها تتمتع بإمكانات كبيرة للطاقة المتجددة، ممّا يؤهلها لتقديم دور كبير في سوق الطاقة المستقبلية، مستغلة في ذلك موقعها بالقرب من أسواق الطاقة العالمية في أفريقيا وأوروبا، وتماشيا مع التوجه العالمي في مجال الطاقة المتجددة، والنظرة إلى الهيدروجين الأخضر بوصفه وقود المستقبل.

منهجية البحث:

يستخدم البحث المنهج الوصفي لتوضيح الإطار العام لماهية الهيدروجين الأخضر ودوره البارز في المجال التنموي. بالإضافة إلى ذلك؛ يعتمد البحث على المنهج التحليلي بما يتماشى مع موضوع الدراسة، بهدف تسليط الضوء على مختلف الجوانب المتعلقة بمساعي الجزائر لتطوير هذا المجال الواعد.

أهداف البحث:

يسعى البحث إلى تحقيق الأهداف التالية:

-تسليط الضوء على الإطار المفاهيمي للهيدروجين الأخضر كطاقة متجددة ومستدامة؛

-تبيان فلسفة الانتقال الطاقوي في الجزائر؛

-إبراز دوافع ومبررات إنتاج الهيدروجين الأخضر في الجزائر؛

-التعرف على الاستراتيجية الوطنية لتطوير الهيدروجين الأخضر في الجزائر؛

-تشخيص تحديات قطاع الهيدروجين الأخضر في الجزائر واستعراض آفاقه المستقبلية.

2. إضاءات على الهيدروجين الأخضر

1.2. ماهية الهيدروجين الأخضر:

الهيدروجين الأخضر يُنتج بأسلوب يراعي البيئة، حيث يعتمد على مصادر الطاقة المتجددة والنظيفة. يتم ذلك من خلال فصل جزيئات الهيدروجين عن الأوكسجين في الماء باستخدام عملية التحليل الكهربائي، التي تتطلب طاقة كهربائية كبيرة يتم توفيرها عبر مصادر نظيفة ومتجددة، هذه الطريقة تُعد من أكثر الأساليب الواعدة لتأمين طاقة نظيفة خالية من الكربون، حيث يتم إنتاجها باستخدام التقنيات الشمسية والرياحية. الجدير بالذكر؛ أن إنتاج الطاقة من هذه المصادر يختلف باختلاف العوامل الطبيعية المؤثرة على توليد كل من الطاقة الشمسية والرياحية. (مكتب مزيج للاستشارات الإدارية والتسويقية، 2020، الصفحات 8-9)

يمكن إنتاج الهيدروجين باستخدام طرق متنوعة ومن مصادر مختلفة، والتفاوت الأساسي يكمن في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أثناء عملية إنتاجه. بناءً على ذلك، يتم تصنيف الهيدروجين إلى أربعة أنواع رئيسية: الهيدروجين الأخضر، الهيدروجين الأزرق، الهيدروجين الرمادي، والهيدروجين الأصفر. **(انظر الملحق 1)**

الهيدروجين الأخضر، على عكس الأنواع الأخرى، يمثل عنصراً أساسياً في عملية نقل الطاقة وتقليل انبعاثات الكربون، خاصة في القطاعات التي يصعب تحقيق ذلك فيها. ومن أبرز الأمثلة على استخداماته مجال صناعة الفولاذ، حيث يمكن أن يحل محل فحم الكوك في عمليات الاختزال المباشر. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يُوظف في المصافي تدريجياً ليصبح بديلًا للهيدروجين الرمادي.

وفي مجال النقل والتنقل؛ يمكن أن يشكل الهيدروجين حلاً جذريًا لمشكلات تخزين الطاقة في الحافلات التي تعمل بخلايا الوقود، والقطارات، وحتى السفن. بالإضافة إلى ذلك، يُمكن لتطبيقات الحرارة الصناعية أن تلعب دورًا محوريًا، حيث تتوافق استخداماته طويلة الأمد مع احتياجات قطاعات التدفئة والتبريد سواءً للاستخدام السكني أو لتوليد الطاقة. هذا الأمر يمكن تحقيقه أيضاً من خلال مزجه مع الغاز في التوربينات ذات الدورة المركبة، مما يتيح لها العمل بنسبة 100 بالمائة باستخدام الهيدروجين. (ماتيس، أروفو، و برادو، 2020، صفحة 6) (أنظر الملحق 2)

وتعود أسباب الاهتمام المتزايد بإنتاج الهيدروجين الأخضر إلى مجموعة من العوامل المحفزة، منها: (حسن، 2025)

-**خطط تقليل الانبعاثات الكربونية:** تسعى العديد من الدول إلى تقليص انبعاثات الغازات الدفيئة بهدف مكافحة تغير المناخ. في هذا السياق؛ يمثل الهيدروجين الأخضر حلاً واعداً لتقليل البصمة الكربونية في قطاعات مثل الصناعات الثقيلة والنقل.

-**التحول في مصادر الطاقة:** مع الاتجاه المستمر نحو الابتعاد عن الوقود الأحفوري، يُعتبر الهيدروجين الأخضر عنصراً رئيسياً في التحولات الطاقوية، حيث يقدم بديلاً نظيفاً لتخزين ونقل الطاقة.

-**تعزيز الاقتصاد:** يمكن لتطوير تقنيات الهيدروجين الأخضر أن يسهم في خلق فرص عمل جديدة، تحفيز النمو الاقتصادي، وتشجيع الاستثمارات في مجال الطاقة المتجددة.

-**تحقيق أمن الطاقة:** يساهم إنتاج الهيدروجين من الموارد المتجددة المحلية في تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري المستورد، مما يدعم استقرار وأمان إمدادات الطاقة.

–التنافسية العالمية: تعمل الدول على تعزيز وجودها في سوق الهيدروجين الأخضر المتوقع نموه الكبير مستقبلاً، ما يدعم الابتكار التكنولوجي ويوفر فرصاً استراتيجية للتصدير.

–تكامل استخدام الطاقة المتجددة: يساعد الهيدروجين الأخضر في موازنة إمدادات الطاقة من خلال تخزين الفائض من الإنتاج المتجدد لاستخدامه في أوقات انخفاض التوليد، مما يعزز استقرار الشبكات الكهربائية ويزيد من كفاءتها.

يُعتبر الهيدروجين اليوم ناقلًا للطاقة النظيفة المعتمد على نطاق عالمي، كونه مصدرًا مستقلًا يتميز بارتفاع كثافة الطاقة بالنسبة إلى كتلته مقارنة بالوقود التقليدي. حاليًا، يُستخدم حوالي 55 بالمائة من إجمالي الهيدروجين المنتج عالميًا في صناعة الأمونيا، و25 بالمائة في عمليات التكرير، ونحو 10 بالمائة في إنتاج الميثانول، بينما تُستخدم النسبة المتبقية أي 10 بالمائة في تطبيقات أخرى حول العالم. ومن اللافت أنّ ما يقرب من ثلثي إنتاج الهيدروجين يتم في مواقع الاستهلاك نفسها، مما يلغي الحاجة لنقله، وبالتالي لا توجد سوق واضحة أو شفافية فيما يخص أسعاره. إضافة إلى ذلك، يمكن الاستفادة من الهيدروجين بطرق متعددة، حيث يوفر الهيدروجين الأخضر إمكانيات واسعة لدعم جهود إزالة الكربون عبر تلك الاستخدامات المتنوعة. (ماتيس، أروفو، و برادو، 2020، الصفحات 6-7)

2.2. مكانة الهيدروجين الأخضر في تحول الطاقة العالمي:

تتفق جميع الدراسات على حقيقة واحدة وهي أنّ تغير المناخ في العالم هو نتيجة مباشرة لإطلاق الكربون في الجو، والمتهم الأول في ذلك المنتجات المشتقة من المحروقات، بدليل أنّ العصر الذهبي للنفط الذي يمتد على نصف القرن الأخير شهد زيادة في انبعاثات الكربون بنسبة تلامس 80 بالمائة. (مصيطفى، نهاية الريع: الأزمة والحل، 2016، صفحة 58)

في هذا السياق؛ يجري الحديث عن البدائل ذات المحتوى التكنولوجي والفني فائق التركيز، ومع تلك البدائل هناك البديل الاقتصادي حيث يجري الحديث عن الاقتصاد الأخضر. فهناك مشهد بدأ في التشكل نحو خارطة طاقوية عالمية جديدة العام 2030 تجسدها سوق أخرى للطاقة يحتل فيها الطلب على الطاقات الأحفورية نسبة أقل أي 49 بالمائة والطاقات المتجددة نسبة 51 بالمائة. حقيقة ستبدل وسائل الإنتاج ويصير الاستثمار في الطاقات النظيفة على رأس أولويات الدول، وربما ستنقلب قوى العرض والطلب رأسا على عقب، وستصبح منطقة النفط والغاز مسرحا لتجارب طاقوية جديدة فيها فرص كما فيها مخاطر، والحديث الآن عن أنواع الطاقات المستقبلية ومدى تأثيرها على أنماط الإنتاج والتكاليف والأسعار في الاقتصاد، فضلا عن حدود تأثير منطقة النفط ومنها دول الأوبك وبعض الدول العربية بالغد الجديد. (مصيطفى، صناعة الغد: مقالات في الإستشراف، 2013، الصفحات 52-53)

مع تزايد الضغوط لمواجهة تغير المناخ، تسعى العديد من الدول إلى إيجاد حلول بديلة، من أبرزها الاعتماد على الهيدروجين الأخضر. وتعد أستراليا، الصين، الاتحاد الأوروبي، واليابان من أكثر الدول نشاطًا في تطوير اقتصادات الهيدروجين؛ إذ تتميز أستراليا بتركيزها على جانب الإنتاج، بينما يركز كل من الاتحاد الأوروبي واليابان على جانب الاستهلاك. ومن المتوقع أن تتصاعد الجهود لتسريع تطوير اقتصادات الهيدروجين الأخضر، ولتحقيق ذلك تحتاج السياسات إلى تعزيز هذه الصناعة عبر تشجيع الاستثمار وتنمية هذا المجال الواعد، مما يجعله السباق التكنولوجي المقبل.

في الوقت الحالي؛ تبرز كبرى الدول الرائدة في اقتصاد الهيدروجين أهمية الهيدروجين كمصدر طاقة متجددة وفعّال يمكن الاعتماد عليه. (مكتب مزيج للاستشارات الإدارية والتسويقية، 2020، صفحة 13)

وفي إطار خطة الأمم المتحدة للتنمية المستدامة لعام 2030 واتفاق باريس بشأن تغيّر المناخ، تبذل العديد من الدول جهودًا لوضع برامج تنفيذية تهدف إلى تحقيق انتقال عادل يتماشى مع أهداف التنمية المستدامة. يشمل ذلك الهدف السابع المتمثل في ضمان حصول الجميع على خدمات طاقة حديثة، موثوقة، ومستدامة بتكلفة ميسورة، إلى جانب الهدف الثالث عشر الذي يدعو إلى اتخاذ إجراءات عاجلة

لمواجهة تغيّر المناخ. يمثل تنويع مزيج الطاقة المستهلكة عنصرًا أساسيًا في عملية الانتقال بمجال الطاقة، إلى جانب تسريع اعتماد مصادر الطاقة المتجددة وزيادة كهربة القطاعات المرتبطة. كما ينبغي استكشاف حلول جديدة لنقل الطاقة، مثل مشتقات الهيدروجين، لضمان تحقيق انتقال عادل ومستدام في مجال الطاقة. (لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا)، 2022، صفحة 9)

وفي جانب آخر؛ يُعدّ إدخال الهيدروجين منخفض الكربون إلى اقتصادات العالم جزءًا أساسيًا من مجموعة حلول الطاقة المستدامة والإجراءات الضرورية لتحقيق الحياد الكربوني بحلول عام 2050، وهو الهدف الذي تبنته العديد من الدول والمؤسسات والكيانات المعنوية كخطة طويلة الأمد.

كما أنّ أهداف الأمم المتحدة للتنمية المستدامة توفر إطارًا يساهم في تحديد وتصنيف الفوائد المتنوعة للتنمية المستدامة لهذا النوع من الهيدروجين، وذلك بفضل ارتباطه الوثيق بهذه الأهداف على النحو المبين في (الملحق 3). ويمكن استنتاج أن تحقيق التأثير الكامل لاستخدام الهيدروجين منخفض الكربون من المرجح أن يتم على مدى فترة زمنية طويلة، حيث يتوقع أن تنخفض تكاليفه بشكل كبير خلال العقود المقبلة. ومن المتوقع أن تختلف مساهمة إنتاج الهيدروجين الأخضر بين الدول، وذلك ليس فقط بسبب محدودية توفر مصادر الطاقة المتجددة منخفضة التكلفة والبنية التحتية اللازمة لها، بل أيضاً بسبب الحاجة المحتملة في بعض الدول إلى توجيه تلك المصادر نحو تعزيز كهربة نظيفة كمجال ذي أولوية. في المقابل؛ يمكن أن يشكل إنتاج الهيدروجين الأزرق خياراً أكثر سرعة لتقليل انبعاثات غازات الدفيئة، مع توفير أساس يساهم في دعم النمو المستدام لقدرات إنتاج الهيدروجين الأخضر على المدى الطويل. ورغم ذلك ستظل تكلفة إنتاج الهيدروجين الأزرق مرتفعة، لكنها تبقى أقل نسبياً من تكلفة إنتاج الهيدروجين الأخضر. (لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا)، 2022، صفحة 24)

3. استراتيجية الجزائر في التحول الطاقوي نحو الهيدروجين الأخضر

1.3 فلسفة الانتقال الطاقوي في الجزائر:

يشكّل تنويع مصادر الطاقة أحد أبرز تحديات الانتقال الطاقوي في الجزائر، بما سيسمح بمرونة أكثر لإدارة الموارد الطاقوية غير المتجددة، والتحكم في الطلب الداخلي على الطاقة، إذ يُعنى هذا الملف بمساعي الحكومة لتطوير الطاقات المتجددة بشكل مستدام، لتوفير احتياجات البلاد وتوليد ديناميكية للتنمية الاقتصادية. (عمراني، 2023، صفحة 3)

ويحتل الانتقال الطاقوي مكانة هامة في عمل الحكومة الذي يرمي –فضلا عن مضاعفة جهود التنقيب وإنتاج المحروقات– إلى تنويع الموارد الطاقوية من خلال تطوير الطاقات المتجددة وترقية الفعالية الطاقوية. (الوزارة الأولى، 2020، صفحة 28)

وفقًا لهذا المنظور، وضع مخطط عمل الحكومة لتنفيذ برنامج رئيس الجمهورية الانتقال الطاقوي في جوهر سياسات تنمية البلاد. يستند هذا المخطط إلى ثلاثية محورية تشمل "التجديد الاقتصادي القائم على الأمن الغذائي، والانتقال الطاقوي، والاقتصاد الرقمي". وفي ضوء الوضع الاقتصادي الراهن، الذي اعتمد حتى الآن على مورد غير متجدد ويتأثر بشدة بتقلبات البيئة الخارجية، فإن أي برنامج يسعى إلى تجاوز هذه الظروف يستلزم بشكل ضروري إجراء إصلاح شامل للسياسة الطاقوية. لذلك، يجب توظيف أي عملية انتقال طاقوي شامل كدافع أساسي لتحقيق انطلاقة فعلية نحو التنمية المستدامة والمستمرة بما يخدم جميع القطاعات ذات الصلة. (المحافظة للطاقات المتجددة والفعالية الطاقوية، 2020)

وضعت الجزائر خطة استراتيجية واضحة لتحقيق التحول الطاقوي من خلال تعزيز الاستثمارات في الطاقات التقليدية الأحفورية، بما يشمل زيادة عمليات البحث والإنتاج والتصدير. تهدف هذه الجهود إلى ضمان التزام البلاد بتلبية احتياجاتها الطاقوية الحالية والمستقبلية تجاه

شركائها، لا سيما في أوروبا. وقد شهدت صادرات الجزائر من الطاقة، وخاصة الغاز الطبيعي، ارتفاعاً ملحوظاً باتجاه القارة الأوروبية، لتصبح ثالث أكبر مورد للغاز الطبيعي للدول الأوروبية. كما تسعى شركة سوناطراك الوطنية إلى رفع حجم صادراتها إلى 100 مليار متر مكعب سنوياً، مقارنة بما تصدره حالياً والذي يقدر بنحو نصف هذه الكمية. بالتزامن مع استمرار التركيز على الطاقات الأحفورية لضمان التزاماتها مع الشركاء الأوروبيين، وضعت الجزائر أيضاً خطة للتحول الطاقوي تشمل الاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة، إذ تتضمن هذه الخطة استغلال الإمكانات الكبيرة للطاقة الشمسية في الصحراء الجزائرية الواسعة، التي تتميز بواحد من أعلى معدلات الإشعاع الشمسي على مستوى العالم، مما يجعلها موقعاً واعداً لتطوير مشاريع الطاقة الشمسية. (سكاي نيوز عربية، 2023)

إنّ هذا الانتقال من شأنه أن يمكن البلاد من التحرر بشكل تدريجي من التبعية للموارد التقليدية وإطلاق ديناميكية لبروز طاقة خضراء ومستدامة تعتمد على تثمين موارد لا تنضب.

ويركز هذا المسعى على الجوانب التالية: (الوزارة الأولى، 2020، صفحة 28)

- الحفاظ على الموارد الأحفورية واستثمارها بشكل أفضل؛
- تعديل أساليب إنتاج واستهلاك الطاقة؛
- تعزيز التنمية المستدامة وصون البيئة؛
- تحسين إدارة تكاليف بناء مرافق الطاقات المتجددة.

2.3 دوافع ومبررات إنتاج الهيدروجين الأخضر في الجزائر:

يُعتبر قطاع الهيدروجين من أبرز الخيارات الواعدة في مجال الطاقة على المستوى العالمي، وفقًا لتصريحات وزير الطاقة الجزائري خلال افتتاح ورشة العمل الخاصة بالإستراتيجية الوطنية لتطوير الهيدروجين في الجزائر التي عُقدت في 23 مارس 2023. وأكد الوزير على أهمية مواكبة التوجهات العالمية في هذا المجال، مع تلبية الاحتياجات المتزايدة للطاقة محليًا. كما أشار إلى دور هذا القطاع في تعزيز التنمية الاجتماعية والاقتصادية للبلاد من خلال تطوير بدائل جديدة نظيفة وبأسعار معقولة للطاقة، والمساهمة في الجهود الدولية لحماية البيئة، يأتي ذلك ضمن إطار التزامات الجزائر باتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ واتفاق باريس. (شريف، 2023)

وعلى هذا الأساس؛ تولي الجزائر اهتماما لهذا القطاع لثلاثة أسباب أساسية: (وزارة الطاقة والمناجم، 2022، صفحة 1)

-تصدير طاقة أنظف: تعتزم الجزائر التموقع على الساحة الطاقوية الدولية كمورّد أساسي وموثوق للهيدروجين النظيف؛

-الفرص الاقتصادية المحلية التي يجب اغتنامها: يمكن استخدام الهيدروجين في النقل، التدفئة وإنتاج الكهرباء، بالإضافة إلى استخداماته العديدة في القطاع الصناعي، كما أنّ تطوير هذه الاستخدامات سيجعل من الممكن إطلاق وتطوير قطاعات صناعية وتكنولوجية جديدة.

-تطوير الطاقات المتجددة: إنّ تطوير الهيدروجين الأخضر سيجعل من الممكن زيادة حصة الطاقات المتجددة في مزيج الطاقة.

وفي ذات السياق؛ هناك العديد من الحوافز التي تساعد على تطوير قطاع الهيدروجين في الجزائر، أهمها: (وزارة الطاقة والمناجم، 2022، صفحة 1)

-موقع جغرافي متميز؛

-إمكانيات كبيرة في مجال الطاقات المتجددة، حيث تعدّ الجزائر بحكم موقعها الجغرافي وامتدادها، واحدة من أكبر من موارد الطاقة الشمسية في العالم (مدة سطوع الشمس على كامل التراب الوطني تلامس 2000 ساعة في السنة، ويمكن أن تصل 3900 ساعة في الهضاب العليا والصحراء، بينما يقدر الإشعاع الأفقي الشامل (الكلي) (**GHI**) بحوالي 1700 كيلوواط ساعة / متر المربع / سنة في الشمال و2263 كيلوواط ساعة/ متر مربع/ سنة في جنوب البلاد)؛

-شبكة واسعة من الكهرباء (شبكة الكهرباء الوطنية الواسعة والمرنة بطول 367576 كيلومتر لشبكة التوزيع) ؛

-شبكة واسعة من خطوط أنابيب الغاز الوطنية والعابرة للحدود، والتي تربط الجزائر بأوروبا؛

-احتياطات مائية كبيرة خصوصا جوفية هامة (القرب من السوق الأوروبية، وتوفر المنشآت المينائية إلى جانب الشريط الساحلي الذي يمتد لأكثر من 1200 كيلومتر، يعزز موقع الجزائر ويؤهلها لتصبح مركزًا رائدًا للهيدروجين المتجدد والنظيف في منطقة البحر المتوسط)؛

-عدد معتبر من مراكز البحث والجامعات الناشطة والفعالة؛

-نسيج صناعي متنامي؛

-تكلفة إنتاج الهيدروجين تنافسية.

ويعتمد إنتاج الهيدروجين باستخدام الطاقات المتجددة بشكل رئيسي على الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، فضلاً عن الكهرباء الناتجة من كلا المصدرين، مع إمكانية إضافية لإنتاجه من مصادر أخرى مثل الطاقة المائية أو حرارة باطن الأرض. وبالتالي توجد علاقة طردية بين إنتاج الهيدروجين المحتمل والكهرباء المتجددة. ومع ذلك؛ يختلف توزيع إنتاج الهيدروجين المحتمل من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح داخل الجزائر بشكل ملحوظ، وهو اختلاف يرتبط بالطبيعة المتنوعة للبلاد. ويعود ذلك إلى عدة عوامل تشمل الموقع الجغرافي، الظروف المناخية، والتحديات التكنولوجية التي تتباين بشكل كبير عبر مختلف مناطق الأراضي الجزائرية. (بدري، 2019، الصفحات 105-106)

وأشار وزير الطاقة الجزائري بهذا الخصوص، أنّه سيكون قطاع الطاقات الصناعات التحويلية أحد أهم المجالات لاستهلاك الهيدروجين في الجزائر، بالإضافة إلى تحويل الأمونيا والميثانول أو صناعة الحديد والصلب. (شريف، 2023)

وتؤكد دراسات أجراها مركز تنمية الطاقات المتجددة وهيئات بحثية على الصعيدين الوطني والدولي أن الجزائر تمتلك مقومات قوية تؤهلها للتحول نحو استغلال الهيدروجين-لا سيما الأخضر- كوسيط للطاقة النظيفة. وتشير تقارير متخصصة إلى إمكانية أن تصبح الجزائر منتجًا موثوقًا للهيدروجين "الأخضر" مستقبلًا، إلى جانب الهيدروجين "الأزرق"، سواء للاستخدامات المحلية أو للتصدير نحو الأسواق الأوروبية، ومن المتوقع أن يشكل هذا المصدر النظيف مكونًا رئيسيًا في مزيج الطاقة العالمي إذا تمكنت الحكومات من تحقيق أهدافها المتمثلة في إنتاج أكثر من 10 ملايين طن من الهيدروجين بحلول عام 2030، مع تخفيض التكاليف إلى 1.5 دولار لكل كيلوغرام. في حين تتوقع التقارير زيادة الإنتاج العالمي للهيدروجين الأخضر بما يفوق عتبة واحد جيغاواط، مدعومًا بانخفاض تكلفة الإنتاج إلى 4 دولارات لكل كيلوغرام، كما يشير الخبراء إلى أن تكلفة الإنتاج في الجزائر قد تُقدر بين دولارين و2.5 دولار لكل كيلوغرام، مما يمنح البلاد ميزة تنافسية واضحة.

وفي ذات الشأن؛ تشير التقارير الصادرة عن هيئات مختصة إلى أنّ دول إفريقيا تمتلك إمكانات كبيرة لإنتاج الهيدروجين الأخضر بتكلفة منخفضة، لا تتجاوز دولارين لكل كيلوغرام، هذا الأمر يضع القارة في موقع مميز يمكنها من لعب دور رئيسي في هيكلة إنتاج الطاقة الجديدة. ومن المتوقع أن تتيح هذه الفرص للعديد من الدول الإفريقية-بما في ذلك الجزائر- التحول إلى مصدر رئيسي لهذه المادة الحيوية عبر استغلال مواردها من الطاقة المتجددة لتصدير الهيدروجين إلى شمال أوروبا بأسعار تنافسية على المستوى الدولي بحلول عام 2030. وجدير بالذكر؛ أن احتياجات الجزائر من الهيدروجين كطاقة بديلة تُقدّر بحوالي 80 ألف جيغاواط بحلول العام ذاته، مع تطلعات لتكرار دعمها لأوروبا بالهيدروجين كما دعمتها سابقاً بإمدادات الغاز الطبيعي. (صواليلي، 2023)

ومما سبق؛ فإنّ الجزائر تتمتع بالعديد من المزايا التنافسية، التي تسمح لها بتطوير الهيدروجين القادر على إطلاق ديناميكية اقتصادية، من حيث خلق فرص عمل مستدامة جديدة وتحقيق دخل إضافي بالعملة الصعبة خارج المحروقات، في إطار حوكمة بيئية تمكن من تحقيق التنمية المستدامة.

3.3 الاستراتيجية الوطنية لإنتاج الهيدروجين الأخضر في الجزائر:

وضعت الجزائر الخطوة الفعلية الميدانية لتطوير قطاع الهيدروجين، من خلال طرح خريطة طريق لاستراتيجية وطنية، وفتح النقاش مع الفاعلين لتحديد الإمكانات والأطر القانونية والأهداف المراد بلوغها، حيث تهدف خريطة الطريق الوطنية لتطوير الهيدروجين في الجزائر إلى تحقيق الأهداف الاستراتيجية التالية: (وزارة الطاقة والمناجم، 2022، صفحة 2)

-تنويع الإمدادات وتسريع الانتقال الطاقوي، بالإضافة إلى تعزيز أمن الطاقة في البلاد على المديين المتوسط والطويل، والحد من البصمة الكربونية لمختلف القطاعات؛

-تخفيض الاستهلاك المحلي للوقود الأحفوري خاصة الغاز الطبيعي والحفاظ على موارد الطاقة للبلاد؛

-إنشاء نظام بيئي ملائم ومناسب لتطوير الهيدروجين المتجدد والنظيف، بما في ذلك التكامل الصناعي؛

-التحكم التكنولوجي والتقني لسلسلة قيمة الهيدروجين بأكملها، لا سيما تنمية رأس المال البشري (البحث والتطوير والتدريب – إنشاء مراكز الامتياز)؛

-التأسيس التدريجي للاقتصاد الوطني الهيدروجين ومشتقاته (الأمونيا والميثانول والوقود الاصطناعي)؛

-إنشاء مركز لإنتاج الهيدروجين وتصديره.

وفي هذا الشأن؛ تمّ تحديد ثلاث مراحل أساسية لتطوير الهيدروجين الأخضر المتجدد والنظيف في الجزائر، وذلك على النحو الآتي: (وزارة الطاقة والمناجم، 2022، صفحة 2)

-مرحلة البداية والتكوين (2023-2030): وهي تعدّ مرحلة أولى للمشاريع التجريبية قصيرة الأجل، وتخص تطوير مشاريع نموذجية للهيدروجين الأخضر والهيدروجين الأزرق؛

-مرحلة التوسيع (2030-2040): وهي بمثابة مرحلة ثانية للتوسع وإنشاء السوق، حيث ستسمح بإقامة مشاريع صناعية للهيدروجين؛

-مرحلة التصنيع والتصدير (2040-2050): وتشكّل مرحلة ثالثة من تنافسية السوق، إذ تستهدف استخدام الهيدروجين في المشاريع التي يصعب استعمال الكهرباء فيها.

وعلى هذا الأساس؛ تمّ وضع خطة عمل لتنفيذ خارطة الطريق المتعلقة بالاستراتيجية الوطنية لتطوير الهيدروجين في الجزائر. والجدول الموالي يوضح مختلف الإجراءات التي يتعين القيام بها كجزء من تنفيذ خارطة الطريق:

الجدول (1) : خارطة الطريق لتنفيذ الاستراتيجية الوطنية لتطوير الهيدروجين في الجزائر

المحور الاستراتيجي	الإجراء	المواعيد النهائية
أطر تنظيمية معيارية ومؤسساتية مكيفة	إنشاء الترسانة التنظيمية والمعيارية والمؤسساتية	2023 - 2025
تنمية رأس المال البشري	-إعداد المهارات والتكييف مع احتياجات القطاع؛ -إنشاء مناهج متخصصة للتكوين؛ -التوسع في برامج البحوث الوطنية؛ -التعاون العلمي والتكنولوجي الدولي.	2023 - عمل مستمر
التكامل الصناعي	-تصنيع في مجالي الطاقة المتجددة والهيدروجين؛ -إنتاج المعدات واللوازم لهذا المجال؛ -إتقان الخدمات (الدراسات، الهندسة، الصيانة، التشغيل...)	2025 - 2030
آلية التمويل والحوافز	-الحصول على فوائد النظم التفضيلية والمشتركة؛ -الحصول على التمويل المحلي والأجنبي؛ -الاستفادة من مساعدات الدولة والمنظمات الحكومية الدولية.	2023 - عمل مستمر
التعاون الدولي	-المشاركة في التحالفات الاستراتيجية؛ -تعزيز التعاون الثنائي ومتعدد الأطراف.	2023 - عمل مستمر

المشاريع التجريبية ونشر قطاع الهيدروجين	-المشاركة في المشاريع التجريبية؛ -النشر الصناعي لهذا المجال.	2030 - 2023 2045 - 2030
النشر والتصدير	-الإنتاج الكبير للهيدروجين الأخضر؛ -تصدير الهيدروجين الأخضر.	2040 - 2030 2050 - 2040

المصدر: وزارة الطاقة والمناجم، ملخص الاستراتيجية الوطنية لتطوير الهيدروجين-خارطة طريق، وثيقة حكومية، ديسمبر 2022، ص3.

وتأخذ خريطة الطريق الوطنية لتطوير الهيدروجين المتجدد والنظيف في الاعتبار نوعين من الهيدروجين، هما: (وزارة الطاقة والمناجم، 2022، صفحة 3)

-الهيدروجين الأزرق: الذي يتم الحصول عليه من عملية تحويل الميثان، إذ يجري التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه أو التقاطه واستعماله؛

-الهيدروجين الأخضر: الذي يجري إنتاجه عن طريق التحليل الكهربائي للمياه باستعمال الكهرباء من مصادر متجددة.

ولتحقيق هذه الاستراتيجية، ستعتمد الجزائر في المرحلة الأولى على تنفيذ مشاريع نموذجية تتراوح قدرتها الإنتاجية بين 2 إلى 50 ميغاواط باستخدام تقنية التحليل الكهربائي، تهدف هذه المشاريع إلى اختبار تقنيات متنوعة لإنتاج واستخدام الهيدروجين ومشتقاته، بالإضافة إلى تقييم نماذج الأعمال المختلفة المرتبطة بها.

وسترتكز الاستراتيجية الوطنية لتطوير هذا القطاع حصريًا على استخدام محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية والطاقة المنتجة من الرياح لتوليد الكهرباء اللازمة لتحليل المياه. هذا النهج من شأنه أن يمكن الجزائر من إنتاج حوالي مليون طن من الهيدروجين الأخضر بحلول عام 2040، حيث سيأتي نحو 70 بالمائة من هذه الكمية من كهرباء المحطات الشمسية و30 بالمائة من كهرباء محطات الرياح. أما بخصوص تقنية التحليل الكهربائي المعتمدة لدعم هذه الاستراتيجية، فتم اختيار محللات كهربائية من نوع PEM التي أثبتت كفاءتها ونضجها من الناحية التكنولوجية. (حويشة، 2024)

وفقًا للهيئات المختصة، ستشكل هذه الاستراتيجية مرجعًا جوهريًا للجهات الفاعلة، سواء على الصعيد الوطني أو الدولي، حيث توفر لهم رؤية واضحة وشاملة عن الإجراءات والتدابير التي ستتخذها السلطات العمومية لتطوير قطاع الهيدروجين في البلاد. هذا يعكس التزام السلطات العليا وإصرارها على تبني رؤية مستقبلية طموحة لتطوير إنتاج الهيدروجين النظيف واستثمار فوائده بشكل مستدام على المديين المتوسط والبعيد، سواء من الناحية الاقتصادية أو البيئية. بالإضافة إلى ذلك؛ تُعد خارطة الطريق المشتقة من الاستراتيجية الوطنية لتطوير الهيدروجين أداة فعالة لتمكين الجزائر من تحويل هذه الرؤية إلى واقع ملموس، مما يُسهم في تحقيق مستقبل مزدهر للبلاد وضمان رفاهية الأجيال القادمة. (عوني قطيشات، 2023). فهي بذلك تدعم تصور رؤية أعلى السلطات في البلاد لتطوير اقتصاد متنوع ومستدام.

وفي السياق ذاته؛ يمكن رصد أهم المحطات لتفعيل استراتيجية إنتاج الهيدروجين الأخضر في الجزائر على النحو الآتي:

- انعقاد اجتماع تنصيب اللجنة الوطنية المكلفة بوضع استراتيجية وطنية للهيدروجين بمقر وزارة الطاقة والمناجم في 28 نوفمبر 2021، جرى الاجتماع برئاسة وزير الطاقة والمناجم وبحضور محافظ الطاقات المتجددة والنجاعة الطاقوية. تضم اللجنة ممثلين من عدة جهات، منها محافظة الطاقات المتجددة والنجاعة الطاقوية، وزارة الانتقال الطاقوي والطاقات المتجددة، مجمع سوناطراك، ومجمع سونلغاز، تحت إشراف وزارة الطاقة والمناجم. تم خلال اللقاء بحث سبل تطوير خارطة طريق لتنفيذ استراتيجية شاملة تهدف إلى تعزيز تطور قطاع الهيدروجين في الجزائر؛ (وزارة الطاقة والمناجم، 2021)

-تم تشكيل لجنة وزارية في مايو 2022 بهدف إعداد استراتيجية وطنية لتطوير الهيدروجين، وضمت هذه اللجنة عدة قطاعات حيوية، منها: الطاقة، والانتقال الطاقوي، والتعليم العالي والبحث العلمي، إلى جانب الشركات الناشئة والقطاع المالي والمحافظة على الطاقات المتجددة والفعالية الطاقية. جرى خلال الاجتماعات مناقشة النقاط الرئيسية التي يجب التركيز عليها لوضع خارطة طريق تسهم في تنفيذ هذه

الاستراتيجية الوطنية، وشمل ذلك التحضير لإنشاء نظام بيئي ملائم يتيح تطوير هذا المجال الواعد. أولى الخطوات التي تم التأكيد عليها كانت الترويج للإستراتيجية بما يتماشى مع خطة الطريق المقرّرة، حيث ركزت النقاشات في هذا اللقاء على استكشاف الفرص المتاحة لتطوير الهيدروجين الأخضر؛

– تم افتتاح أعمال الورشة المخصصة لعرض الاستراتيجية الوطنية لتطوير الهيدروجين في الجزائر بتاريخ 23 مارس 2023، بحضور محافظ الطاقات المتجددة والفعالية الطاقوية إلى جانب كبار المسؤولين من وزارة الطاقة والهيئات التابعة لها. تم خلال الورشة فتح باب النقاش مع مختلف الفاعلين بهدف تحديد الإمكانات المتوفرة، وضع الأطر القانونية المناسبة، وتحديد الأهداف المستقبلية. الورشة أولت اهتماماً كبيراً للإمكانات الكبيرة التي تمتلكها الجزائر في مجال الهيدروجين الأخضر، مما يمنحها القدرة على أن تصبح واحدة من الدول الرائدة في السوق العالمي لهذا المورد الحيوي، كما تم التأكيد على ضرورة تعزيز البحث العلمي في هذا المجال وتبادل الخبرات، بالإضافة إلى تسليط الضوء على دور القطاع الصناعي في تطوير استخدام الهيدروجين ودفع عجلة التنمية المستدامة. (وزارة الصناعة والإنتاج الصيدلاني، 2023)

–تم في 13 جوان 2023 افتتاح فعاليات "ورشة الخبراء حول تطوير قطاع الهيدروجين الأخضر" تحت إشراف الأمين العام لوزارة الطاقة الجزائرية. تهدف الورشة إلى مناقشة ووضع الأسس المؤسسية الضرورية لتطوير هذا المجال الطاقوي، مع التركيز على إعداد الكوادر البشرية، نقل التكنولوجيا، تأمين التمويل، والعمل على إنشاء سوق تتسم بالشفافية والتنافسية. (حنان، 2023)

4. التحديات والآفاق المستقبلية لقطاع الهيدروجين الأخضر في الجزائر:

1.4 تحديات قطاع الهيدروجين الأخضر في الجزائر:

الهشاشة في قطاع الطاقة تمثل قضية شديدة الأهمية، تتطلب نقاشًا معمقًا يشمل الجوانب الاجتماعية والاقتصادية والبيئية والحكومية. فهي تعتبر من أبرز التحديات التي تعيق تحقيق التقدم المنشود في مجال الطاقة المستدامة في الجزائر. ونذكر منها: (سداوي، 2021، صفحة 3)

– ضعف في تطبيق الضوابط الحالية والأطر التنظيمية والمؤسسية؛

– تشوه في هيكل السوق مع تحديات في التحكم بأسعار الطاقة؛

– الاعتماد الكبير على مصادر الوقود الأحفوري؛

– الارتفاع السريع في الطلب المحلي على الطاقة وارتفاع كثافة الانبعاثات الكربونية؛

– انخفاض مستوى الوعي المجتمعي بأهمية الحفاظ على الطاقة وحماية البيئة؛

– نقص تطور البنية التحتية للنقل العام وزيادة معدلات تلوث الهواء.

وفي سياق آخر؛ يواجه قطاع الهيدروجين عددا من التحديات والفرص، في مقدمتها التحكم التكنولوجي، وإزالة الكربون تدريجيا من نظام إنتاج واستهلاك الطاقة، والتصدير، والتطوير التدريجي لنسيج صناعي فعال، والتمويل. (وزارة الطاقة والمناجم، 2022، صفحة 2)

وهناك تحديات رئيسة أمام بناء قطاع الهيدروجين حسب الاستراتيجية الوطنية لتطوير الهيدروجين الأخضر، وهي: (وزارة الطاقة والمناجم، 2022، صفحة 2)

–التمكين الصناعي والإتقان التكنولوجي وبأقل تكلفة؛

–العمل على تأمين سوق للمشاريع المستقبلية خاصة الموجهة للتصدير.

ومن التحديات التي ستواجه الجزائر في هذا الشأن؛ لا بد لها من الحصول على فرص للتمويل والمنح الدولية، من أجل تجسيد هذه المشروعات في الواقع، التي ستكون فوائدها ملموسة اقتصاديًا، اجتماعيًا وبيئيًا. ومع ذلك؛ فإنّ تطوير الهيدروجين سيعتمد على عدة عوامل،

لا سيما انخفاض تكلفة إنتاج الطاقات المتجددة (الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح) وتعزيز الشبكة الكهربائية لزيادة معدل إدماج الطاقات المتجددة، وأيضًا انخفاض تكلفة إنتاج أجهزة التحليل الكهربائي (1000 دولار/كيلوواط إلى 400 دولار/كيلوواط)، والتي ستتبع تطور تقنيات التحليل الكهربائي. كما سيعتمد على تطوير تقنيات التخزين والنقل والبنى التحتية وتطوير أسواق الهيدروجين التنافسي. (وزارة الطاقة والمناجم، 2022، صفحة 2)

والتوسع في إنتاج الهيدروجين الأخضر يواجه العديد من الانتقادات، على الرغم من التراجع السريع في تكاليفه خلال السنوات الأخيرة. إلا أن تكلفته لا تزال بشكل عام أعلى من تكلفة الوقود الأحفوري وفقًا للدراسات المتوفرة. وتُقدر تكلفة إنتاج الهيدروجين الأخضر العام 2023 بما يتراوح بين 3 إلى 6 دولارات للكيلوغرام، مع توقعات بانخفاضها إلى ما بين 1 و2 دولار للكيلوغرام بحلول عام 2030. في المقابل، تتراوح تكلفة إنتاج الهيدروجين الرمادي الناتج عن الوقود الأحفوري عادة بين 1 و2 دولار للكيلوغرام، وذلك بناءً على أسعار الغاز الطبيعي والتقدم في تقنيات احتجاز الكربون. (حسن، 2025)

وتعتبر تكلفة انتاج الهيدروجين الاخضر حاليا مكلفة جدا بسبب مساحة الارض المطلوبة والمياة المستخدمة، ولكن بنفس الوقت هناك توجه كبير بصناعة الهيدروجين لتقليل الكلفة وخصوصا استخدام الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة لانتاج الهدروجين الاخضر. (الهيئة العربية للطاقة المتجددة، 2021)

ومن التحديات والحواجز التقنية كذلك لاستغلال وتطوير الهيدروجين الأخضر ما يلي: (سداوي، 2021، صفحة 7)

-الطريق نحو تطوير تكنولوجيات هيدروجينية منخفضة الكربون وتوسيع نطاقها لجعلها مجدية من الناحية التجارية يعتبر طويلاً ومليئًا بالتحديات، فضلاً عن كونه مكلفًا. هناك عدد من العوامل المؤثرة والصعوبات الرئيسية التي تواجه هذا المجال؛

– عملية اختيار التقنيات المناسبة لإنتاج الهيدروجين النظيف تتأثر بعوامل مثل التكلفة والآثار البيئية وغياب السياسات التنظيمية واللوائح الملائمة؛

– التقدم التكنولوجي ما زال محدودًا، حيث لم تصل تقنيات التحليل الكهربائي بعد إلى المرحلة التجارية الكاملة، مما يتطلب فترات طويلة واستثمارات كبيرة لتحقيق هذا الهدف؛

– الكفاءة في استهلاك الطاقة تمثل تحديًا ملحوظًا، إذ تفقد أنظمة إنتاج الهيدروجين الأخضر حوالي 30% إلى 35% من الطاقة أثناء عملية التحليل الكهربائي؛

– استراتيجيات احتجاز وتخزين الكربون تواجه عقبات كبيرة، من بينها قلة عدد المشاريع الموجودة عالميًا، إضافة إلى التحديات المتعلقة بتكاليف التكنولوجيا وإمكانية الوصول إلى مواقع التخزين الجيولوجي المناسبة؛

– ضعف البنية التحتية للنقل يمثل تحديًا آخر، مع محدودية خطوط أنابيب الهيدروجين الحالية لتلبية الطلب المتوقع المتزايد؛

– قضايا استخدام المياه تُشكّل عائقًا، حيث يمكن أن تصبح مستويات استهلاك المياه من قبل تقنيات إنتاج الهيدروجين المنخفضة الكربون عاملاً يحد من انتشارها؛

– التحديات التقنية الإقليمية مرتبطة بنقص المهارات والخبرات اللازمة وكذلك القدرات التصنيعية لتكنولوجيا الهيدروجين.

مما سبق؛ يمكن القول أنّ جميع هذه العقبات تستلزم مواجهة جماعية ومنهجية لضمان تطور هذه التكنولوجيا بشكل مستدام.

2.4 الآفاق المستقبلية لقطاع الهيدروجين الأخضر في الجزائر:

تهدف الجزائر إلى أن تصبح رائدة إقليميًا ودوليًا في إنتاج وتسويق الهيدروجين ومشتقاته المتجددة والنظيف، والذي تعوّل عليه بصفته وقود المستقبل، حيث تطمح إلى الاستفادة من إمكاناتها التقنية ومزاياها التنافسية لإنتاج وتصدير ما بين 30 و40 تيرواط/ساعة في شكل الهيدروجين الغازي والسائل ومشتقاته وتزويد السوق الأوروبية بنحو 10 % بحلول عام 2040 وبسعر بيع تنافسي للغاية. (وزارة الطاقة والمناجم، 2022، صفحة 2)

إنّ خطط الهيدروجين الأخضر في الجزائر تسير بالتوازي مع جهود تعزيز وتنمية صادرات المحروقات، بما في ذلك النفط والغاز، وذلك ضمن استراتيجية تهدف إلى تنويع موارد البلاد والحفاظ على دورها المحوري كمصدر رئيسي للطاقة للأسواق العالمية. وتسعى الحكومة إلى الاستثمار في تطوير تقنيات الهيدروجين كجزء من التوجه نحو تقديم حلول طاقة مبتكرة، إلى جانب العمل على تخطيط وتطوير تكنولوجيا متقدمة لنقل الغاز الطبيعي. (نصر، 2023)

وتعمل الجزائر حاليًا على التحضير لإطلاق أربعة مشروعات لإنتاج الهيدروجين الأخضر مع حلول عام 2025، وذلك بعد إخضاعها للدراسة من قِبل الجامعات والمراكز البحثية. ويجري تطوير ثلاثة من هذه المشروعات من خلال شركة سوناطراك، بينما سيتم تنفيذ المشروع الرابع في إطار شراكة مع شركات ألمانية. وتهدف شركة سوناطراك من خلال هذه المشروعات إلى إدخال استعمال الهيدروجين الأخضر في تشغيل توربينات الغاز، وكذلك اختباره في النقل عبر الأنابيب، وفي الروابط المستقبلية بين الجزائر وأوروبا (الممر الجنوبي). (منصة الطاقة، 2023)

كما تتجه الجزائر نحو إنتاج الهيدروجين الأخضر عبر استغلال محطات تحلية مياه البحر، إذ تمتلك 14 محطة تحلية بسعة إجمالية تبلغ 3.72 مليون متر مكعب يوميًا، أي ما يعادل 1.3 مليار متر مكعب سنويًا. إضافة إلى ذلك، توجد خمس محطات أخرى قيد الإنشاء. سيتم إنتاج الهيدروجين الأخضر في هذه المحطات باستخدام تقنية التحليل الكهربائي التي تعمل على فصل الأكسجين عن الهيدروجين في الماء، حيث يتم استرجاع الهيدروجين على هيئة غاز لاستخدامه في توليد الطاقة الكهربائية. ومن الجدير بالذكر؛ أن عملية تحلية مياه البحر تُخصص 45 بالمائة من المياه المنتجة للاستهلاك كمياه شرب، بينما يتم تصريف 55 بالمائة المتبقية إلى البحر بعد معالجتها وفقًا للمعايير الدولية. (موقع روسيا اليوم، 2023)

وفي سياق التحضير لوضع إطار مؤسساتي يأخذ بعين الاعتبار المفاوضات الجارية مع شركاء أوروبيين لإنتاج وتسويق الهيدروجين الأخضر، تسعى الجزائر إلى استغلال الميزات العديدة التي تؤهلها للريادة في هذا المجال. كجزء من استراتيجية مستقبلية للطاقة النظيفة، أبرمت الجزائر العديد من الاتفاقيات التي تشمل تطوير واستثمار كامل سلسلة قيمة الهيدروجين. ومن المتوقع أن تصبح الطاقة الشمسية والهيدروجين الأخضر مصدرين هامين للعملة الصعبة في المستقبل. ومن بين هذه الاتفاقيات يمكن الإشارة إلى:

– توقيع مذكرة تفاهم بين شركة النفط والغاز الجزائرية "سوناطراك" وشركة إيني الإيطالية في مارس 2021 لتعزيز التعاون التكنولوجي. ركزت المذكرة على مجالات الإنتاج المشترك للوقود الحيوي والهيدروجين، بالإضافة إلى الطاقة المتجددة، بهدف تكثيف الجهود الرامية إلى تقليل انبعاثات الكربون. كما تم التوصل إلى اتفاق يحدد آليات التعاون في التكوين وتبادل الخبرات، وذلك عبر شراكة بين جامعة إيني والمعهد الجزائري للبترول. يهدف الاتفاق إلى تنفيذ برامج تدريبية متخصصة في التكنولوجيات الحديثة المتعلقة بانتقال الطاقة. وبذلك تم التمهيد لإطلاق خطوات عملية تشمل مشروعًا تجريبيًا لإنتاج الهيدروجين الأخضر؛

– توقيع اتفاقية شراكة بين شركة سوناطراك الجزائرية وشركة إيني الإيطالية في 1 يوليو 2023، تتضمن خريطة طريق لتقييم الجدوى الفنية والتجارية لمشروع تجريبي يهدف إلى إنتاج الهيدروجين باستخدام الكهرباء المولدة من مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. يسعى المشروع إلى الاستفادة من المياه الناتجة عن حقول النفط في عملية التحليل الكهربائي المستخدمة لإنتاج الهيدروجين، مما يساهم

في الحفاظ على الموارد المائية في الجزائر. تأتي هذه الخطوة ضمن جهود إيني المتسارعة للتحول نحو مصادر الطاقة النظيفة، في وقت تواجه فيه شركات النفط العالمية ضغوطًا متزايدة من أنصار البيئة لخفض الاعتماد على النفط والغاز. وقد التزمت الشركة الإيطالية بتحقيق الحياد الكربوني بحلول عام 2050، مع تسريع خططها للانتقال إلى وقود نظيف وإزالة الكربون من جميع منتجاتها وعملياتها بحلول منتصف القرن. (منصة الطاقة، 2021)

-توقيع مذكرة تفاهم واتفاقية بين شركة سوناطراك الجزائرية مع شركة الغاز الألمانية "VNG-AG"، على هامش يوم الطاقة الجزائري الألماني في 20 ديسمبر 2022، للنظر في إمكانية التعاون لتنفيذ مشاريع مشتركة في مجال الهيدروجين الأخضر والأمونيا الخضراء، يبدأ التركيز أولًا على إجراء دراسات جدوى شاملة تغطي سلاسل القيمة المتعلقة بالهيدروجين، بدءًا من الإنتاج مرورًا بوسائل النقل وصولًا إلى التسويق. الهدف من هذه الدراسات هو تقييم الجدوى التجارية لهذه المشاريع، مع إعطاء أولوية لتصدير الهيدروجين والأمونيا الخضراء الناتجة عن المشروع إلى ألمانيا. يشمل الاتفاق إطلاق مشروع نموذجي رائد لإنتاج الهيدروجين الأخضر في الجزائر بطاقة إنتاجية تُقدَّر بنحو 50 ميغاواط، وبدعم مالي يبلغ حوالي 35 مليون يورو على هيئة منحة مقدمة من ألمانيا. يهدف المشروع إلى تعزيز الخبرة في التكنولوجيات ذات الصلة بهذا المجال الحيوي، كما يسهم في نقل التكنولوجيا والمعرفة الألمانية إلى الكفاءات الجزائرية. يُتوقع أن يوفر ذلك الأساس اللازم للانتقال إلى الإنتاج التجاري على نطاق أوسع اعتبارًا من عام 2030. علاوة على ذلك؛ سيتولى الجانبان تمويل هذا المشروع النموذجي بشكل مشترك. ويغطي التعاون أيضًا إجراء دراسات متعلقة بإمكانات تخزين ونقل الهيدروجين الأخضر، مع التركيز على استخدام تقنيات متطورة مثل نقل الأمونيا الخضراء كأحد الحلول الأولية المهمة لتحقيق الهدف المنشود. (سارة، 2022)

-تخطط شركة سوناطراك بالتعاون مع شركة ساسول الجنوب أفريقية لإطلاق مشروع "وادي الهيدروجين" في جزيرة صقلية الإيطالية، بهدف إنتاج الهيدروجين والغاز الطبيعي الاصطناعي منخفض الكربون، إلى جانب تطبيق تقنيات احتجاز واستعمال الكربون. يأتي هذا المشروع نظراً لامتلاك شركة ساسول مصنعاً للمواد الكيميائية في مدينة أوغوستا، في حين تدير سوناطراك مصفاة في نفس المنطقة. تشير الشركتان إلى أن المشروع قد يصبح واحداً من أكبر المشاريع من نوعه في إيطاليا، إذ يُتوقع أن ينتج 7,800 طن من الهيدروجين منخفض الكربون و25 ألف طن من الغاز الطبيعي الاصطناعي سنوياً. كما يُرتقب أن يُساهم المشروع في خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري بحوالي 120 ألف طن سنوياً بفضل تقنيات احتجاز وتخزين الكربون المستخدمة فيه. (حواسني، 2024، صفحة 57)

وفي سياق آخر، تخطط الجزائر لدخول سوق الهيدروجين الأخضر بتوفير 10% من احتياجات أوروبا بحلول عام 2040. وقد أعربت كل من إيطاليا وألمانيا والنمسا عن اهتمامها بهذا المشروع، خاصة أن الجزائر تمتلك البنية التحتية اللازمة لنقل الهيدروجين لمسافات طويلة. كما أعلنت إيطاليا استعدادها لشراء الطاقة الخضراء من الجزائر، على أن يتم نقل الهيدروجين عبر أنبوب الغاز الطبيعي الذي يربط البلدين بشكل مباشر، مع إمكانية تمديد الأنبوب ليصل إلى النمسا وألمانيا في المستقبل.

ولتنفيذ برنامج يهدف إلى توفير 10% من احتياجات أوروبا من غاز الهيدروجين، تم الإعلان عن استثمارات تقدر بنحو 25 مليار دولار لاستغلال هذا المورد. يُتوقع أن تولّد هذه الاستثمارات إيرادات تصل إلى حوالي 10 مليارات دولار سنوياً بحلول عام 2040. بالإضافة إلى ذلك، تسعى خطة إنتاج 15 ألف ميغاواط من الطاقة الشمسية بحلول عام 2035 إلى دعم مشاريع إنتاج الهيدروجين الأخضر. علاوة على ذلك، سيعتمد الهيدروجين المصدّر على مزيج من الهيدروجين الأزرق والأخضر. حيث يُنتج الهيدروجين الأزرق من الغاز الطبيعي، في حين يُستخرج الهيدروجين الأخضر باستخدام الطاقة الشمسية عبر تقنيات متطورة. (مجموعة الاقتصاد والأعمال، 2023)

5. الخلاصة:

تناولت الدراسة استراتيجية إنتاج الهيدروجين الأخضر كخيار لتعزيز مسار الإنتقال الطاقوي في الجزائر، وخلصت إلى أنّ ما تتبناه الجزائر من سياسات لتنمية استخدامات الهيدروجين الأخضر يظل مرهونًا بمدى قدرتها على تحقيق الأهداف الكمية التي تسعى إليها، ويأتي ذلك في سياق رفع الجزائر رهان الاستثمار في إنتاج مزيج طاقوي خارج نطاق الطاقات الأحفورية، على غرار الهيدروجين الأخضر الذي تمتلك فيه إمكانيات معتبرة، مما يسهم في تعزيز مسار الانتقال الطاقوي.

وتوصلت الدراسة إلى النتائج التالية:

-يعدّ الهيدروجين الأخضر حلا واعدا للاقتصاد الأخضر، إذ يمثل فرصة حقيقية لتعزيز مسار الانتقال الطاقوي في الجزائر، وخاصّة أنّه دخل السباق العالمي، في مجال البحث عن بدائل نظيفة، سرعت منه الأحداث الجيوسياسية الأخيرة؛

-تمتلك الجزائر إمكانات كبيرة تؤهلها لتؤدي دورًا إقليميًا بارزًا في مجال الهيدروجين، لا سيما الإمكانات الشمسية الهائلة، والشبكة الكهربائية الواسعة، والبنى التحتية الوطنية والدولية لنقل الغاز الطبيعي، والتي يمكن استغلالها مستقبلا لتصدير الهيدروجين؛

-تعكس خارطة الطريق لتطوير الهيدروجين المتجدد (الأخضر) والنظيف (الأزرق) في الجزائر الإرادة القوية لتسريع الانتقال الطاقوي، وهي تدعم تصور رؤية البلاد لتطوير اقتصاد متنوع ومستدام؛

-إنّ الاستيراتيجية الوطنية لتطوير الهيدروجين تهدف إلى تقليص انبعاثات غازات الدفيئة، بالإضافة إلى اقتصاد الوقود الأحفوري بهدف تثمينها للتصدير وترك متسع للأجيال المقبلة، وهو ما يؤكّد التزامات الجزائر على المستويين الوطني والدولي، فيما يتعلق بالتنمية المستدامة وتغير المناخ، وتطوير أنماط جديدة للاستهلاك.

بناءً على النتائج المتوصل إليها؛ يمكن وضع التوصيات التالية:

-التحدي الأبرز في مجال الطاقة يرتبط بشكل مباشر بقضية التغيرات المناخية، مما يستدعي من قطاع البيئة والطاقات المتجددة في الجزائر تعزيز التنسيق مع قطاع الطاقة والجهات الوزارية المختلفة، بهدف الحد من الآثار السلبية لهذه التغيرات وتسريع عملية الانتقال الطاقوي لتحقيق التقدم ومواكبة التطورات العالمية في هذا المجال؛

-تنفيذ برامج تكوين وبحث وتطوير واسعة النطاق تهدف إلى تأسيس بنية قوية لقطاع صناعة الهيدروجين، بما يضمن المساهمة الفعالة في مواجهة ظاهرة التغير المناخي، ويساعد على تحقيق الحوكمة البيئية والتنمية المستدامة؛

-ينبغي التركيز على تطوير الهيدروجين ليكون حلا انتقاليا على المدى القصير والمتوسط، وحلا دائما على المدى البعيد. يُنظر إلى الهيدروجين باعتباره أداة واعدة لتعزيز الطاقات المتجددة، خاصة تلك ذات الطبيعة المتقطعة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، فضلاً عن كونه وقودًا نظيفًا يخدم القطاعين الصناعي والثقيل؛

-هناك حاجة ملحة للبحث عن فرص تمويل ومنح دولية لتجسيد هذه المشاريع على أرض الواقع، نظرا للفوائد الاقتصادية والاجتماعية والبيئية التي ستنعكس منها. تحقيق ذلك يتطلب التغلب على تحديات التمويل وتهيئة الظروف المناسبة لضمان نجاح مشاريع تطوير الهيدروجين؛

-إقامة شراكات استراتيجية طويلة الأمد مع الجهات المهتمة بالاندماج ضمن السوق العالمية للهيدروجين تشكل ضرورة قصوى. يتم تعزيز ذلك عبر الميزات التي يتيحها قانون الاستثمار الجديد والذي يسهل الإجراءات للاستثمارات الأجنبية ويحفز إقامة شراكات فعالة ومشاريع تعاون متبادل.

6. الإحالات والمراجع:

منصة الطاقة. (7 جويلية, 2021). تاريخ الاسترداد 25 نوفمبر, 2023، من مشروع عملاق لإنتاج الهيدروجين الأخضر في الجزائر:

https://attaqa.net/2021/07/07/%d9%85%d8%b4%d8%b1%d9%88%d8%b9-%d8%b9%d9%85%d9%84%d8%a7%d9%82-%d9%84%d8%a5%d9%86%d8%aa%d8%a7%d8%ac-%d8%a7%d9%84%d9%87%d9%8a%d8%af%d8%b1%d9%88%d8%ac%d9%8a%d9%86-%d8%a7%d9%84%d8%a3%d8%ae%d8%b6%d8%b1/

اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا. (2022). *الهيدروجين الأزرق والأخضر: تطورات محتملة في المنطقة العربية*. بيروت: اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا.

المحافظة للطاقات المتجددة والفعالية الطاقوية. (نوفمبر, 2020). *الإنتقال الطاقوي في الجزائر*. تاريخ الاسترداد 21 نوفمبر, 2023، من المحافظة للطاقات المتجددة والفعالية الطاقوية:

https://www.cerefe.gov.dz/2020/11/29/%d8%a7%d9%84%d8%a7%d9%86%d8%aa%d9%82%d8%a7%d9%84-%d8%a7%d9%84%d8%b7%d8%a7%d9%82%d9%88%d9%8a-%d9%81%d9%8a-%d8%a7%d9%84%d8%ac%d8%b2%d8%a7%d8%a6%d8%b1/

المركز الإحصائي لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية. (أفريل, 2022). الهيدروجين كمصدر وناقل للطاقة النظيفة المستدامة في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية. *سلسلة أبعاد معلوماتية ومعرفية*(1).

الهيئة العربية للطاقة المتجددة. (24 أكتوبر, 2021). الاجتماع الدوري الرابع والخمسين للإتحادات العربية النوعية المتخصصة العاملة في نطاق مجلس الوحدة الاقتصادية العربية. *الاستراتيجية الشاملة للطاقة المتجددة والهيدروجين الاخضر في الوطن العربي*. مصر.

الوزارة الأولى. (2020). *مخطط عمل الحكومة من أجل تنفيذ برنامج رئيس الجمهورية*. الجزائر: الوزارة الأولى.

ب سارة. (20 ديسمبر, 2022). *هذه تفاصيل مشروع انتاج الهيدروجين الأخضر بالشراكة مع ألمانيا*. تاريخ الاسترداد 25 نوفمبر, 2023، من موقع المصدر:

https://almasdar-dz.com/147494-%D9%87%D8%B0%D9%87-%D8%AA%D9%81%D8%A7%D8%B5%D9%8A%D9%84-%D9%85%D8%B4%D8%B1%D9%88%D8%B9-%D8%A7%D9%86%D8%AA%D8%A7%D8%AC-%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%8A%D8%AF%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86-%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%AE%D8%B6%D8%B1-%D8%A8%D

بشير مصيطفى. (2013). *صناعة الغد: مقالات في الإستشراف* (الإصدار 1). الجزائر، الجزائر: جسور للنشر والتوزيع.

بشير مصيطفى. (2016). *نهاية الريع: الأزمة والحل* (الإصدار 2). الجزائر: جسور للنشر والتوزيع.

ح حنان. (14 جوان, 2023). *الجزائر والاتحاد الأوروبي يكثفان التعاون لاستغلاله وتسويقه: الهيدروجين الأخضر على 3 مراحل.. والتحوّل الطاقوي "هدف استراتيجي"*. تاريخ الاسترداد 24 نوفمبر, 2023، من جريدة المساء:

https://www.el-massa.com/dz/%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D8%AB/%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%8A%D8%AF%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86-%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%AE%D8%B6%D8%B1-%D8%B9%D9%84%D9%89-3-

%D9%85%D8%B1%D8%A7%D8%AD%D9%84-
%D9%88%D8%A7%D9%84%D8%AA%D8%AD%D9%88%D9%91%D9%

حسان حويشة. (4 فيفري, 2024). *هذه استراتيجية الجزائر لتطوير الهيدروجين*. تاريخ الاسترداد 4 جانفي, 2024، من جريدة الشروق:
https://www.echoroukonline.com/%D9%87%D8%B0%D9%87-
%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D8%B1%D8%A7%D8%AA%D9%8A%D8%AC%D9%8A%D8%A9-
%D8%A7%D9%84%D8%AC%D8%B2%D8%A7%D8%A6%D8%B1-
%D9%84%D8%AA%D8%B7%D9%88%D9%8A%D8%B1-
%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%8A%D8%AF%D8%B1

حفيظ صواليلي. (6 أكتوبر, 2023). *الهيدروجين الأخضر.. خيار الجزائر*. تاريخ الاسترداد 21 نوفمبر, 2023، من جريدة الخبر:
https://www.elkhabar.com/press/article/235121/%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%8A%D8%AF%D8
%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86-
%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%AE%D8%B6%D8%B1-%D8%AE%D9%8A%D8%A7%D8%B1-
%D8%A7%D9%84%D8%AC%D8%B2%D8%A7%D8%A6%D8%B1/#google_vignette

راضية سداوي. (12 جويلية, 2021). ندوة حول الهيدروجين ودوره في عملية تحول الطاقة. *الهيدروجين الأزرق والأخضر في المنطقة العربية: الإمكانيات والتحديات والفرص*. الأمم المتحدة: لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا).

سارة عوني قطيشات. (28 مارس, 2023). *الجزائر: خارطة الطريق للهيدروجين الأخضر في الجزائر*. تاريخ الاسترداد 22 نوفمبر, 2023، من منصة سولارابيك:
https://solarabic.com/%D8%A3%D8%AE%D8%A8%D8%A7%D8%B1-
%D8%A7%D9%84%D8%B7%D8%A7%D9%82%D8%A9-
%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%AA%D8%AC%D8%AF%D8%AF%D8%A9/hydrogen-
storage/2023/03/%D8%A7%D9%84%D8%AC%D8%B2%D8%A7%D8%A6%D8%B1-
%D8%AE%D8%A7%D8%B1%D8%B7%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D9%8

سفيان عمراني. (18 ماي, 2023). الملتقى الوطني حول الطاقات المتجددة في الجزائر:الإطار القانوني والمؤسساتي ودورها في حماية البيئة. *مساعي الجزائر في مجال الطاقات المتجددة بين الواقع والمأمول:البرنامج الوطني للطاقات المتجدد (2011-2030) نموذجا*. جيجل، كلية الحقوق والعلوم السياسية/جامعة جيجل، الجزائر.

سكاي نيوز عربية. (26 أكتوبر, 2023). *تعويل جزائري على الهيدروجين الأخضر:عوائد مليارية مرتقبة*. تاريخ الاسترداد 21 نوفمبر, 2023، من موقع سكاي نيوز عربية:
https://www.skynewsarabia.com/business/1665082-%D8%AA%D8%B9%D9%88%D9%8A%D9%84-
%D8%AC%D8%B2%D8%A7%D9%8A%D9%94%D8%B1%D9%8A-
%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%8A%D8%AF%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86-
%D8%A7%D9%84%D8%A7%D9%94%D8%AE%D8%B6%D8%B1-
%D8%B9%D9%88%D8%A7%D9%8A%D9%94

صليحة حواسني. (19 جويلية, 2024). الاتجاهات الحديثة في تحقيق الأمن الطاقوي المستدام في الجزائر: الهيدروجين الأخضر بين الرؤية المستقبلية وتحديات الو اقع. *مجلة معهد العلوم الاقتصادية، 27*(1)، الصفحات 41-61.

عبد العزيز بدري. (2019). دكتوراه علوم في العلوم الاقتصادية-تخصص تحليل اقتصادي. *طاقة الهيدروجين كبديل طاقوي جديد في العالم وامكانية استخدامه كوقود في الجزائر*. ورقلة، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، الجزائر: جامعة ورقلة.

عماد الدين شريف. (23 مارس, 2023). *الهيدروجين في الجزائر يشهد الإنطلاقة الأولى نحو الريادة عالميا*. تاريخ الاسترداد 22 نوفمبر, 2023،

من منصة الطاقة:
https://attaqa.net/2023/03/23/%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%8A%D8%AF%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86-%D9%81%D9%8A%D8%A7%D9%84%D8%AC%D8%B2%D8%A7%D8%A6%D8%B1-%D9%8A%D8%B4%D9%87%D8%AF-%D8%A7%D9%84%D8%A7%D9%86%D8%B7%D9%84%D8%A7%D9%82%D8%A9/

عماد حسن. (6 جانفي, 2025). *الهيدروجين الأخضر.. قطاع واعد للاقتصادات العربية*. تاريخ الاسترداد 27 جانفي, 2025، من Deutsche Welle:
https://www.dw.com/ar/%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%8A%D8%AF%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86-%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%AE%D8%B6%D8%B1-%D9%82%D8%B7%D8%A7%D8%B9-%D9%88%D8%A7%D8%B9%D8%AF-%D9%84%D9%84%D8%A7%D9%82%D8%AA%D8%B5%D8%A7%D8%AF%D8%A7%D8%AA-%D8%A7%D9%84%D8%B9%D8%B1

كورنيليوس ماتيس، فالير أروفو، و لويس برادو. (2020). *تحديات وفرص إنتاج الهيدروجين الأخضر وتصديره من منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا إلى أوروبا*. مؤسسة فريديريش إبرت، الأردن.

لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا). (2022). *الهيدروجين الأزرق والأخضر: تطورات محتملة في المنطقة العربية*.

مجموعة الاقتصاد والأعمال. (12 ماي, 2023). *الجزائر تدخل سوق الهدروجين لتوفير 10 % من إحتياجات أوروبا*. تاريخ الاسترداد 25 نوفمبر, 2023، من مجموعة الاقتصاد والأعمال:
https://www.iktissadonline.com/news/2023/05/12/%D8%A7%D9%84%D8%AC%D8%B2%D8%A7%D8%A6%D8%B1-%D8%AA%D8%AF%D8%AE%D9%84-%D8%B3%D9%88%D9%82-%D8%A7%D9%84%D9%87%D8%AF%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86-br-%D9%84%D8%AA%D9%88%D9%81%D9%8A%D8%B1-10-%D9%85%D9%86-%D8%A5%D8%

مكتب مزيج للاستشارات الإدارية والتسويقية. (2020). *الهيدروجين الخضر ومستقبل الطاقة النظيفة الواعد*. المملكة العربية السعودية.

منصة الطاقة. (2 أكتوبر, 2023). *الجزائر تترقب 4 مشروعات لإنتاج الهيدروجين الأخضر قبل نهاية 2024*. تاريخ الاسترداد 22 نوفمبر, 2023، من منصة الطاقة:
https://attaqa.net/2023/10/02/%D8%A7%D9%84%D8%AC%D8%B2%D8%A7%D8%A6%D8%B1-%D8%AA%D8%AA%D8%B1%D9%82%D8%A8-4-%D9%85%D8%B4%D8%B1%D9%88%D8%B9%D8%A7%D8%AA-%D9%84%D8%A5%D9%86%D8%AA%D8%A7%D8%AC-%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%8A%D8%AF%D8%B1%D9%88/

موقع روسيا اليوم. (4 أكتوبر, 2023). *الجزائر تتجه نحو إنتاج الهيدروجين الأخضر في محطات تحلية مياه البحر*. تاريخ الاسترداد 24 نوفمبر, 2023، من موقع روسيا اليوم:
https://arabic.rt.com/business/1500400-%D8%A7%D9%84%D8%AC%D8%B2%D8%A7%D8%A6%D8%B1-%D8%AA%D8%AA%D8%AC%D9%87-%D9%86%D8%AD%D9%88-%D8%A5%D9%86%D8%AA%D8%A7%D8%AC-

%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%8A%D8%AF%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86-
%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%AE%D8%B6%D8%B1-

وزارة الصناعة والإنتاج الصيدلاني. (23 مارس, 2023). *افتتاح أشغال الورشة المخصصة لعرض الإستراتيجية الوطنية لتطوير الهيدروجين في الجزائر*. تاريخ الاسترداد 23 نوفمبر, 2023، من وزارة الصناعة والإنتاج الصيدلاني:
https://miph.gov.dz/%D8%A7%D9%81%D8%AA%D8%AA%D8%A7%D8%AD-
%D8%A3%D8%B4%D8%BA%D8%A7%D9%84-
%D8%A7%D9%84%D9%88%D8%B1%D8%B4%D8%A9-
%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%AE%D8%B5%D8%B5%D8%A9-
%D9%84%D8%B9%D8%B1%D8%B6-%D8%A7%D9%84%D8%A5%D8%B3/

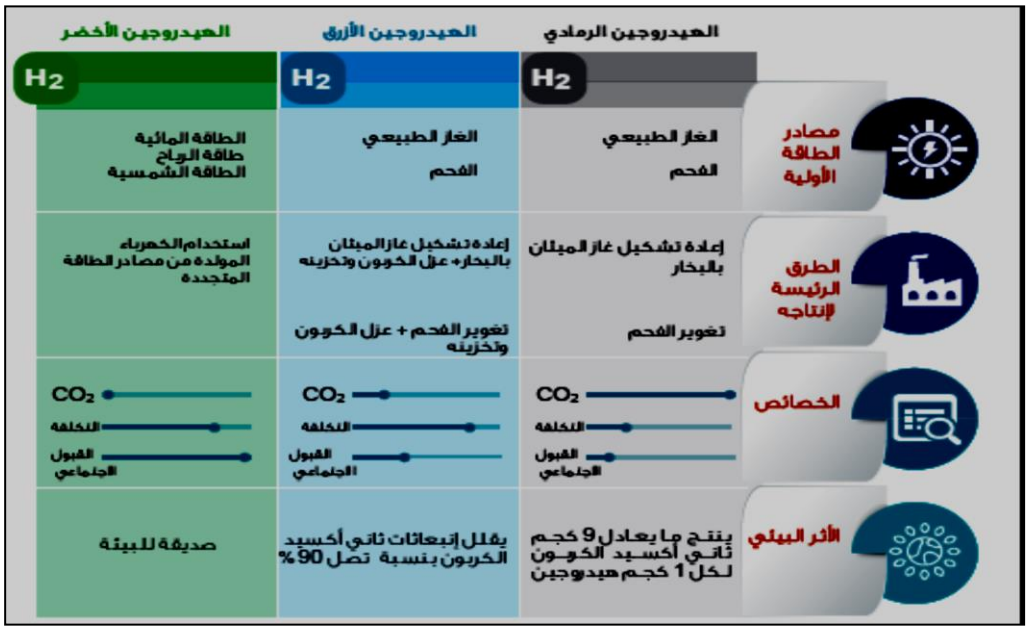
وزارة الطاقة والمناجم. (28 نوفمبر, 2021). *اجتماع تنصيب اللجنة الوطنية المكلفة بإعداد الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين*. تاريخ الاسترداد 23 نوفمبر, 2023، من وزارة الطاقة والمناجم: https://www.energy.gov.dz/?article=-124

وزارة الطاقة والمناجم. (2022). *ملخص الاستراتيجية الوطنية لتطوير الهيدروجين-خارطة طريق-*. الجزائر: وزارة الطاقة والمناجم.

ياسر نصر. (23 فيفري, 2023). *الهيدروجين الأخضر في الجزائر يستحوذ على مخصصات مليارية من الحكومة*. تاريخ الاسترداد 22 نوفمبر, 2023، من منصة الطاقة:
https://attaqa.net/2023/02/23/%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%8A%D8%AF%D8%B1%D9%88%D8
%AC%D9%8A%D9%86-%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%AE%D8%B6%D8%B1-
%D9%81%D9%8A-%D8%A7%D9%84%D8%AC%D8%B2%D8%A7%D8%A6%D8%B1-
%D9%8A%D8%B3%D8%AA%D8%AD%D9%88%D8%B0-%D8%B9/

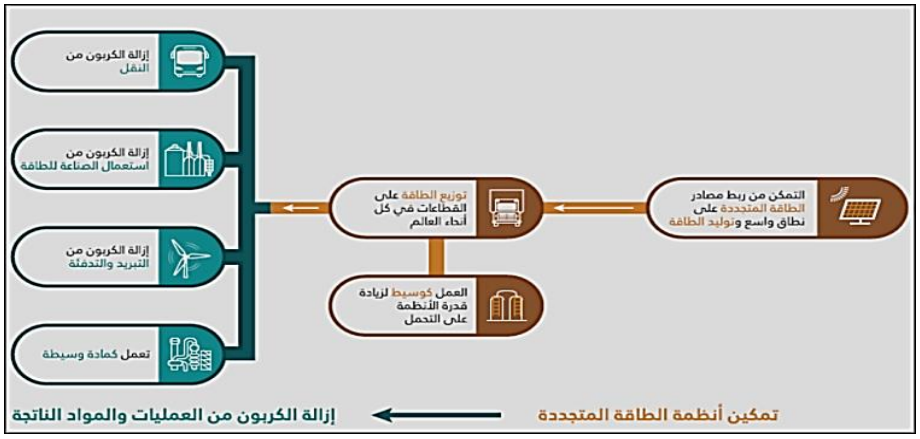
7. ملاحق :

الملحق (1): أنواع الهيدروجين وخصائصه



المصدر: (المركز الإحصائي لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، 2022، صفحة 10)

الملحق (2): دور الهيدروجين الأخضر في انتقال الطاقة



المصدر: (ماتيس، أروفو، و برادو، 2020، صفحة 8)

الملحق (3): الهيدروجين الأخضر وترابطه بأهداف التنمية المستدامة

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

المصدر: (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، 2022، صفحة 25)