

الاتجاهات الحديثة في تحقيق الأمن الطاقوي المستدام في الجزائر: الهيدروجين الأخضر بين الرؤية المستقبلية وتحديات الواقع

'Recent trends in achieving sustainable energy security in Algeria: green hydrogen between the future vision and the challenges of reality'

صليحة حواسني

جامعة جيلالي بونعامة خميس مليانة، الجزائر *

s.houasni@univ-dbkm.dz

تاريخ القبول: 2023/12/30

تاريخ الاستلام: 2023/11/01

مستخلص:

تتميز الجزائر بقربها جغرافيا من أوروبا وبنى تحتية وبمصادر متنوعة للطاقة المتجددة، وتسعى سلطاتها إلى وضع الاستراتيجية الوطنية لتطوير إنتاج الهيدروجين. تهدف هذه الدراسة إلى إظهار أهمية دمج الهيدروجين الأخضر في مزيج الطاقة. تمحورت الإشكالية حول كيفية الاستفادة من الهيدروجين الأخضر لتحقيق أمن طاقوي مستداما بالجزائر. توصلت أهم النتائج إلى قدرة الجزائر على ضمان أمنها الطاقوي باستغلال الهيدروجين وعلى تحقيق موارد مالية بتصديره، تقترح الدراسة إشراك القطاع الخاص في إنتاج الهيدروجين الأخضر وتوطين صناعة تجهيزاته وتكنولوجياه والتعاون مع الشركات الرائدة.

الكلمات المفتاحية: مزيج الطاقة؛ أمن طاقوي مستدام؛ طاقة متجددة؛ هيدروجين أخضر.

تصنيف JEL: Q42؛ Q49؛ F52

Abstract:

Algeria is characterized by its geographical proximity to Europe, infrastructures and diverse sources of renewable energy, and its authorities develop a national strategy for the development of hydrogen production. This study aims to show the importance of integrating green hydrogen into the energy mix. The research problem revolved around how to benefit from green hydrogen to achieve sustainable energy security in Algeria. The most important results concluded that Algeria is able to ensure its sustainable energy security by exploiting hydrogen and to achieve financial resources by exporting it. The study proposes involving the private sector in hydrogen production, nationalizing the related equipment industry and technology and establishing partnerships with leading companies.

Keywords: energy mix, sustainable energy security, renewable energy, green hydrogen.

Jel Classification Codes: Q42; Q49; F52.

* المؤلف المراسل. صليحة حواسني

مقدمة

لا يمكن الاعتماد المطلق على الطاقة المتجددة في الانتقال نحو مستقبل خالٍ من الكربون، لتعلقها بالطقس وحاجتها إلى التخزين، لذا قد يكون للهيدروجين الأخضر مكانة في استراتيجيات الحياد الكربوني. يرى مصدر الوقود الأحفوري الهيدروجين الأزرق طريقة قيمة لتنويع الاقتصاد في ظل تحول الطاقة وتعزز الدول الرائدة في الطاقة الخضراء إنتاج النوع الأخضر في ظل توتر سوق الطاقة التقليدية المستمر وتتوقع الوكالة الدولية للطاقة المتجددة إسهامه في خفض انبعاث الكربون بنحو 1% في 2050. يشهد الهيدروجين بالجزائر المتميزة بقرنها جغرافيا من أوروبا ويتوفر بنى تحتية لخطوط أنابيب النقل وبقدرة هائلة لإنتاج الطاقة المتجددة، اهتماماً كبيراً لتنضم البلاد إلى السباق العالمي نحو إنتاجه في إطار خطط تنويع مزيج الطاقة وتحقيق أمننا طاقويا وتصدير الطاقة وتحقيق استدامة التنمية. تسعى السلطات منذ ديسمبر 2022 إلى وضع الاستراتيجية الوطنية لتطوير إنتاج الهيدروجين تستهدف جعل البلد رائدا إقليميا ودوليا في إنتاجه وتصدير 30-40 مليار كيلوواط/ساعة بأشكاله وتحقيق 10 مليار \$ كإيراد سنوي. بات لزاما دمج الهيدروجين الأخضر في مزيج الطاقة لضمان أمننا طاقويا مستداما. مما سبق يمكن طرح السؤال التالي: 'كيف يمكن الاستفادة من الهيدروجين الأخضر لتحقيق أمننا طاقويا مستداما في الجزائر؟' تهدف هذه الدراسة إلى إظهار أهمية دمج الهيدروجين الأخضر في مزيج الطاقة المحلي لتنويعه ولضمان أمننا طاقويا مستداما ولتحقيق موارد مالية بتصديره. بينما تتمثل أهدافها في التعريف بالهيدروجين الأخضر؛ تسليط الضوء على أهمية الأمن الطاقوي المستدام وإظهار دور الهيدروجين الأخضر في تحقيق الأمن الطاقوي المستدام بالجزائر. في حين تمثلت محاور البحث في: أساسيات حول الهيدروجين الأخضر؛ ماهية الأمن الطاقوي المستدام؛ دور الهيدروجين الأخضر في تحقيق الأمن الطاقوي المستدام بالجزائر.

1. أساسيات حول الهيدروجين الأخضر

1-1 التعريف بالهيدروجين الأخضر

الهيدروجين غاز عديم اللون والرائحة وغير سام وتقل كثافته عن كثافة الهواء بـ 14 مرة، وهو العنصر الكيميائي الأخف والأبسط والأكثر وفرة بالطبيعة التي لا يوجد حراً بها إلا في حالات نادرة، فغالبا ما يرتبط بجزيئات أخرى، سواء مع الغاز الطبيعي في حالته الغازية أو مع الماء والنفط في حالته السائلة؛ لذا يجب فصله عن العناصر الأخرى للحصول عليه. وقد اكتشفه العالم البريطاني روبرت بويل في 1671 واستكمل العالم البريطاني هنري كافنديش التجارب بعد قرابة 100 عام في 1766. (وحدة أبحاث الطاقة، 2022، الهيدروجين في مزيج الطاقة. 10 تساؤلات عن أنواعه واستخداماته وأهميته، <https://attaqa.net>) للهيدروجين الذي أعطاه أنطوان لا فوازيه 'هذا الاسم، سرعة جزيئية عالية جدا عند الحرارة العادية،

مما يسمح بخروجه من مجال الجاذبية الأرضية. ظهرت فكرة فصله عن الأكسجين بالماء واستغلاله كمصدر للطاقة لتحريك السيارات لأول مرة في 1978 لما قدم عالم الكيمياء الأيسلندي البروفيسور 'براغي أرناسون' أول ورقة علمية عن ذلك، وأخذت الفكرة اهتماما كبيرا في تسعينيات القرن الـ20 وأنتجت أول سيارة تعمل به في 1992، وما يدفع استخدامه كوقود للسيارات مستقبلا، هو تقدير الخبراء لنضوب الطاقة الأحفورية بنحو 230 عاما للفحم و80 عاما للغاز الطبيعي و60 عاما للنفط. يفوق محتوى 1 غ من الهيدروجين من الطاقة مقدار ما يحتويه 1 غ الكيروسين بـ2,8 مرة، ويحتاج الطن من الهيدروجين السائل لخزان سعته 4 مرات حاجة طن الكيروسين السائل لخفة كثافته عن الكيروسين، ويفوق محتوى 1 غ منه من الطاقة مقدار ما يحتويه 1 غ من البنزين بـ4,5 مرة. (بدري، 2019، ص ص 69-71).

2-1 أهمية الهيدروجين الأخضر

ظهر الهيدروجين للإسهام في التوسع بقطاع الطاقة المتجددة وحلحلة مشكل انقطاعها، وكانت الشبكات الأوروبية أول من عانى من مشكل إنتاج الطاقة النظيفة بوتيرة تفوق الطلب المحلي إلى جانب مشكل العجز حال انقطاعها، ما جعل مؤسسات البحث تبحث عن كيفية استغلال وتخزين هذا الفائض لحين الحاجة، ونظرا لمحدودية قدرة البطارية كخيار أول للتخزين على ذلك وتكلفتها العالية، ظهر الهيدروجين كخيار مناسب، وبدأ استغلال فائض الطاقة المتجددة في التحليل الكهربائي للماء لإنتاجه وتخزينه واستخدامه في توليد الكهرباء حال انقطاع تلك الطاقة. استهدف ظهور الهيدروجين مساعدة الشبكات الأوروبية وأعقب ذلك تنفيذ عدة مشاريع للتأكد من إمكانية استغلاله بصفته حاملاً للطاقة وحلاً لطبيعة الطاقة المتجددة المتقطعة، ثم تحول الحديث فجأة لأن يكون له دورا كبيرا في منظومة الطاقة. ثمة 3 عناصر تمثل مجتمعة سر الاهتمام بالهيدروجين: (وحدة أبحاث الطاقة، 2022، الهيدروجين في مزيج الطاقة. 10 تساؤلات عن أنواعه واستخداماته وأهميته، (<https://attaqa.net>)).

- يسهل توسع استخدام الهيدروجين اختراق الطاقة المتجددة لعدة قطاعات، لأنه يوفر حلاً لتقطعها ويسهم في التوسع بإنتاجها واستغلال الفائض منها وتعويضه في أوقات الانقطاعات؛
- تنوع مزيج الطاقة ليرافق الهيدروجين الوقود الأحفوري والطاقة المتجددة تعزiza لأمن الطاقة؛
- يستعمل الهيدروجين وقوداً أو مادة خاماً مباشرة ويكمن مشكل الكهرباء (الكهرباء محل الوقود) في وجود قطاعات صعبة التخلص من بصفة الكربون ولا يعتمد فيها كلية على الكهرباء والتخلي عن بعض أنواع الوقود.

3-1 أسباب استخدام الهيدروجين

تهتم مؤسسات البحث بالهيدروجين جراء: (طارق أحمد ومحمد رسول، 2010، ص ص 3-4).

- تصنف طرق إنتاج الهيدروجين بموارد تشترك في استعمال الماء والإشعاع الشمسي ونوع الوقود، إلى الإنتاج من الوقود التقليدي كإعادة التشكيل بالبخار وإلى الإنتاج من الماء كالتحليل الكهربائي للماء؛
- نواتج أكسدة الهيدروجين أو احتراقه خالية من الملوثات وهي طاقة وبخار ماء؛
- يمكن للهيدروجين أن يكون وسيلة خزن للطاقة المتجددة ذات أمد طويل بديلاً عن الخزانات الحرارية والبطاريات ويجعلها تخرج من تذبذبها ومحدودية استعمالها؛
- استعمال خلية الوقود لتحويل الطاقة الكيميائية المخزنة بالهيدروجين بلا احتراق أو الحاجة إلى محرك وبلا تلوث وبكفاءة تفوق نظيرتها للمحرك الحراري التقليدي لتعوضه بوسائل النقل ومحطات الكهرباء؛
- يمكن استعمال الهيدروجين بالمحركات الحرارية التقليدية بدل الوقود الهيدروكربوني، ويمكن خزنه بشكل غاز أو سائل تحت ضغط أو تركيبه مع عناصر لمواد أخرى لتكوين مركبات سائلة أو صلبة.

4-1 أنواع الهيدروجين

- مصدر 96% من الهيدروجين المنتَج هو الوقود الأحفوري بإعادة تشكيل الميثان أو بتحويل الفحم إلى غاز (توجد +17 تقنية لإنتاجه، قليل منها مستخدم على نطاق تجاري). (ماتيس وآخرون، 2020، ص 6-7). يصنف الهيدروجين لمعيارين: يخص الأول الألوان وفق طرق إنتاجه والتي ثمة خلافاً حولها وقد تتغير تعريفاتها مع الزمن وبين الدول، والآخر يتعلق بمادة الإنتاج: متجدد أو غير ذلك، فيُسمى ذلك المنتج بالوقود الأحفوري غير المتجدد وأما المنتج بالطاقة المتجددة بالمتجدد. يصنف بأنه عالي الكربون إذا أنتج بالوقود الأحفوري، بمنخفض الكربون باحتجاز وتخزين CO_2 وبخالٍ من الكربون بإنتاجه من الماء. تحاول لجنة خبراء الأمم المتحدة إرساء تعريفاً جديداً وموحّداً له يخص سياسات المناخ. (وحدة أبحاث الطاقة، 2022، الهيدروجين في مزيج الطاقة. 10 تساؤلات عن أنواعه واستخداماته وأهميته، <https://attaqa.net>):
- الهيدروجين الأسود أو البني: يُستخرج من الفحم ويوصف بأنه بنيا أو أسودا اعتماداً على نوع الفحم المستخدم في الإنتاج والأسود أكثر تلويثاً للبيئة من البني، وهي أقدم طريقة وأكثرها تلويثاً للبيئة؛
 - الهيدروجين الرمادي: أكثر الطرق شيوعاً والأقل تكلفة ويُستخرج من الغاز الطبيعي بفصل الكربون عن الهيدروجين، ويسبب انبعاث CO_2 ؛ فتعادل كمية الكربون الناتجة 9 أمثال كمية الهيدروجين المنتجة؛
 - الهيدروجين الأزرق: يستخدم الفحم أو الغاز مع تخزين CO_2 لاستعماله أو احتجازه بالأرض. يتم التركيز عليه لسهولة استخراجها ولتوفر تقنية الاحتجاز والتخزين، مما قد يفي بحاجة الاقتصاد والبيئة معاً؛
 - الهيدروجين الأصفر: يُطلق على الهيدروجين المنتج بالتحليل الكهربائي للماء بكهرباء محطات الطاقة النووية بدلاً من الطاقة المتجددة، وهي طريقة صديقة للبيئة لا تطلق انبعاثات CO_2 ؛

- الهيدروجين الأخضر: ينتج بفصل الهيدروجين والأكسجين بالتحليل الكهربائي للماء بالطاقة المتجددة وبلا حدوث الانبعاثات، تفوق كمية الطاقة المستغلة مثيلتها بالهيدروجين ونظرا لانتشار وإنتاج طاقي الرياح والشمسية للكهرباء بأوقات يضعف فيها الطلب، يستغل الفائض بتكلفة متدنية للحصول على الهيدروجين؛
- الهيدروجين الأبيض: متواجد بشكل حر بطبقات الأرض ولا يستخرج لحاجته لطاقة تخلف الانبعاثات؛
- الهيدروجين التركوازي أو الفيروزي: يُنتج عن تفكيك الكتلة الحيوية بالتحلل الحراري الهيدروجين والكربون الصلب بصفته منتجاً ثانوياً ذو عدة استخدامات صناعية. لا تطلق هذه العملية انبعاث الكربون.

5-1 استخدامات الهيدروجين

- وفق سيناريو خفض درجة الحرارة 1.5° IRENAL قد تبلغ حصة الهيدروجين ومشتقاته من الاستهلاك النهائي للطاقة 12% في ½ القرن الـ 21، وتتشابه هذه التوقعات مع سيناريو وكالة الطاقة الدولية لتحقيق الحياد الكربوني افق 2050 وتقل عن نظيرتها لمجلس الهيدروجين (22%). (شوقي، 2022، مساهمة الهيدروجين النظيف في قطاع الطاقة بحلول 2050، <https://attaqa.net>):
- وقودا لسفن الفضاء: في 1958 بداية استخدام الهيدروجين تزامنا مع تأسيس NASA وكالة الفضاء الأميركية التي اعتمدت لدعم البعثات للفضاء على النوع السائل، وكانت الرحلة الواحدة وقتها تستهلك نحو 500 ألف غالون في عملية الاحتراق و239 ألف غالون أخرى جراء الفقد والتبخير أثناء النقل والتخزين؛
 - وقودا للسيارات: يزداد عدد المركبات بخلايا وقود الهيدروجين باستمرار، فشهد 2019 طفرة لتضاعف الأسطول العالمي بـ 25 ألف سيارة مقارنة بـ 13 ألف في 2018؛
 - وقودا للقطارات: شغلت ألمانيا في 2019 قطاري خلايا الوقود وتخطط لـ 14 آخر وتخطط كندا لتطوير أول قطار بأميركا الشمالية وأعلنت إسبانيا، فرنسا، إيطاليا وبريطانيا خطط إدخاله بقطاع سكك الحديد.
 - وقودا للطائرات: تهتم عدة شركات كشركة بوينغ بتنفيذ مشاريع تجريبية لاستخدام الهيدروجين وقوداً للطائرات للفضاء على انبعاثات القطاع في 2050. واتفقت شركة كونكت إيرلاينز الأميركية مع شركة يونيفرسال هيدروجين على شراء 75 طائرة تستعمله كوقود، مع بدأ التسليم في 2025؛
 - وقودا لتوليد الكهرباء: يستعمل الهيدروجين وقوداً للتوربينات بخليط منه والغاز الطبيعي، وتطور الشركات المصنعة للتوربينات توربينات تعمل بالهيدروجين النقي ويرجح دخول العملية التطبيق التجاري في 2030. يحل الهيدروجين مشكل كبير في قطاع الكهرباء بتخزينه بجوار محطات الطاقة المتجددة في حال فائض ثم يُستخدم مجدداً في توليد الكهرباء عند تراجع إنتاج الطاقة النظيفة (محطة ذات التوليد المشترك)

6-1 نقل الهيدروجين

يتم نقل الهيدروجين بالطرق التالية: (بدري، 2019، ص ص 86-92).

- الأنابيب: إذا استخدم الهيدروجين كناقل أو حامل للطاقة، فإنه يتسنى النقل والتوزيع لمسافات طويلة بلا فاقد. تعود أهمية أنابيب نقل الغاز الطبيعي بالقارات أو بالخطوط الداخلية إلى اتفاق جل التصورات المستقبلية حول خلط الهيدروجين في البداية مع الغاز ونقله بالأنابيب ذاتها، وتزايد نسبته بالخليط بتزايد الإنتاج وبعدها سينقل بالأنابيب الخاصة به لما يستدعي حجمه المنقول ومجالات استعماله ذلك؛
- شبكة الكهرباء القارية الفائقة: في 1967 نشر رين وماتسيو من شركة IBM تصميم كابل 1000 كم الذي مرر مقداراً من التيار المستمر بلا مقاومة، ثم تم صنع واختبار كابلين قصيرين فائقين الموصلية لنقل تيار متناوب في بروكهافن بنيويورك وفي كراتن بالنمسا وعمل الكابل عدة أعوام موصلاً بالشبكة المحلية، وفي 2002 و2004 نظم 'أوفري' ورشات عمل وضع فيها عدة خبراء خطة مفصلة لمقطع تجريبي 100 م ليكون سلفاً لوصلة 50 كم بين شبكتين إقليميتين قائمتين، ومنه تحدد ملامح شبكة الكهرباء فائقة الموصلية؛
- المقطورات: الهيدروجين المضغوط مكلفاً جداً، ويسمد الهيدروجين الغازي الذي قد ينقل بمقطورات أنبوبية، بتبريده إلى -253° ثم يُخزّن بخزانات كبيرة معزولة بدرجة عالية. يستهلك التميع بالتكنولوجيا الحالية +30% من محتوى الطاقة بالهيدروجين الذي يفقد بعضه المخزّن بالتبخّر على مسافات طويلة.

7-1 العقبات الفنية والاقتصادية أمام تصنيع الهيدروجين

- يواجه إنتاج الهيدروجين عدة عقبات، أولها التكلفة المرتفعة مقارنة بالوقود الأحفوري ونقص التقنيات والكفاءة وخسائر كبيرة في الطاقة بمراحل سلاسل القيمة، إضافة إلى عدم وفرة الكهرباء المتجددة والشكوك حول السياسات والتنظيم. (شوقي، 2022، مساهمة الهيدروجين النظيف في قطاع الطاقة بحلول 2050، <https://attaqa.net>) يمكن تصنيف هذه العقبات كالآتي: (وحدة أبحاث الطاقة، 2022، الهيدروجين في مزيج الطاقة.. 10 تساؤلات عن أنواعه واستخداماته وأهميته، <https://attaqa.net>)
- المشاكل الفنية: تمثل قابلية الاشتعال بسهولة بالهواء عند تراكيز مختلفة الخطر الأكبر للهيدروجين الذي نما الطلب عليه بـ3 أمثال منذ 1975 وأخذ في الارتفاع، ما يسبب وهجاً صعب الرؤية في ضوء النهار ومدى اشتعاله كبير (4-74%) عكس الغاز (6-16%) ما يعني الافتقار لأحد اعتبارات الأمن والسلامة ومدى الاشتعال عند التسرب أكبر 6 مرات مقارنة بالغاز. ومشكل الهيدروجين الآخر هو قدرته التفجيرية البالغة 2.5 ضعف تلك التي لأي وقود أحفوري، ومن ثم فهو يحتاج لمعايير أمن وسلامة أكثر صرامة. في تحدٍ آخر، لا يزال احتجاز وتخزين الكربون بمراحلها الأولى وبسعة عالمية 45 مليون طن سنوياً والتي قد ترتفع بمساعي إزالة الكربون من الغلاف الجوي إلى +10 مرات أفق 2030 لتبلغ +550 مليون طن سنوياً، وفق شركة أبحاث الطاقة ريستارد إنرجي التي وفقها يوجد +200 مشروع في المجال. كما تعد الأطر التنظيمية والتشريعية من بين العقبات، لأن القطاع مازال في مرحلة مبكرة ويحتاج لسن التشريعات والإجراءات التنظيمية.

■ **المشاكل الاقتصادية:** وفق تقديرات وكالة الطاقة الدولية الصادرة 1/2 عام 2020، ينتج الهيدروجين بالوقود الأحفوري لانخفاض عامل التكلفة مقارنة بالطاقة المتجددة، ويُعد إنتاج الهيدروجين من الفحم الأقل تكلفة فتبلغ 1.2-2.2\$/كغ، وفي حالي الغاز والطاقة المتجددة 0.9-3.2\$/كغ و3-7.5\$/كغ على التوالي، وفق تقرير أوابك قبل أزمة الطاقة العالمية. وفق وكالة بلومبرغ نيو إنرجي فاينانس، تراجعت تكلفة التحليل الكهربائي للهيدروجين بأمريكا الشمالية وأوروبا بـ40% للفترة 2014-2019. وتشير توقعات عام 2040 تدني تكاليف إنتاجه بطريقة صديقة للبيئة لتعادل نظيرتها بالوقود الأحفوري. وتزامنا مع هبوط تكاليف الطاقة المتجددة؛ قلت تكاليف إنتاج الهيدروجين الأخضر بـ40% منذ 2015، كما تتوقع مؤسسة الأبحاث IHS Markit انخفاضها 40% أخرى حتى 2025. وسينافس نظيره الرمادي (دون \$1) إذا قلت التكلفة بـ90% مقارنة بالمستويات الحالية 3-8\$/كغ. حسب Markit، قد تراجع تكاليف النوع الأخضر دون 2\$/كغ أفق 2030 وينافس نظيره الأزرق. بينما سترتفع تكاليف النوع الرمادي (إلا الصين) بـ82% أفق 2040 لزيادة أسعار الغاز المتوقعة والتي بدأت بشكل حاد منذ 2021. قد ترتفع تكاليف النوع الأزرق بـ59% بعد نحو 20 عاما. يرجح تقرير مجلس الطاقة العالمي في مايو 2022 تراجع متوسط تكلفة الهيدروجين قليل الكربون دون 2\$/كغ بدءا من 2040 مقابل 3.5\$/كغ للنوع الأزرق.

إضافة إلى ما سبق، يمكن إضافة العقبات التالية: (سداوي، 2021، ص 07).

- **التكنولوجيا:** تأثر تقنيات إنتاج الهيدروجين النظيف بعوامل عدة كالتكلفة والاثار البيئية، ولم تصل تكنولوجيا التحليل الكهربائي بعد إلى المستوى التجاري، مما يتطلب وقتا طويلا واستثمارات أكبر؛
 - **كفاءة الطاقة:** ضياع نحو 30-35% من الطاقة بالتحليل الكهربائي لإنتاج الهيدروجين الأخضر؛
 - **استراتيجية ومشاريع احتجاز/خزن CO₂/CCUS:** من التحديات تكلفة التكنولوجيا والخزن جيولوجيا؛
 - **البنى التحتية المحدودة للنقل:** بنى أنابيب الهيدروجين الحالية محدودة لمواجهة الطلب المتزايد المتوقع؛
 - **محددات استخدام الماء:** يحد مستوى استهلاك تكنولوجيا الهيدروجين قليل الكربون من استخدام الماء؛
 - **العقبات التقنية الإقليمية:** يشكل عدم توفر المهارات وقدرة تصنيع التكنولوجيا تحديا محتملا.
- كما يحتاج إنتاج الهيدروجين كذلك إلى: (جيلين، بريانك ولوبيز روشا، 2023، إطلاق العنان لقوة

الهيدروجين للتحويل إلى الطاقة النظيفة، <https://blogs.worldbank.org>).

- **الحاجة إلى نظافة أكثر:** يتم إنتاج نحو 98% من الهيدروجين بالغاز والفحم، فينبعث الكربون (3%) من الانبعاثات العالمية)، وللوفاء بأهداف اتفاق باريس، يجب إزالة الكربون من إنتاجه، وذلك المنتج بالطاقة المتجددة هو الخيار الواجب استكماله بالنسخة قليلة الكربون. كما يجب زيادة الطلب على الهيدروجين 5 أضعاف بين الآن و2050 وزيادة القدرة الإنتاجية المركبة للنوع الأخضر بـ75 ضعفا من الآن إلى 2030.

- يعد إنتاج الهيدروجين الأخضر كثيف الاستخدام لرأسمال ويحتاج كمية كبيرة من الطاقة المتجددة. ويتطلب إنتاج مليون طن سنويا 10 جيغاواط من المحطات الكهربائية و20 جيغاواط من الطاقة المتجددة و30 مليار \$ من الاستثمارات. ويمثل فرض تسعيرة على الانبعاثات للنوع الرمادي إحدى طرق جعل نظيره النظيف ميسور التكلفة، كما يساعد الدعم الحكومي في ذلك.
- لم تنفذ إلا بعض المشاريع أو قيد الإنشاء، وهناك عدة مشاريع كبيرة قيد الإعداد و17 مشروعا بأكثر من ميغاطن سنويا يجري التخطيط لها (3 في أفريقيا وأمريكا الجنوبية وآسيا الوسطى). ونحو ½ هذه المشاريع في مرحلة التصور، والـ ½ الآخر في مرحلة دراسة الجدوى، ويهدف +500 مشروع إلى بدء التشغيل أفق 2030. يتمثل الخطر الأول لمشاريع النوع الأخضر في بدءها، لغياب طلب كاف على المنتجات الخضراء، كما يصعب التعرف على الأخضر أو النظيف من الرمادي في ظل غياب أنظمة قياسية واعتمادية.

2. ماهية الأمن الطاقوي المستدام

يعد أمن الطاقة مفهوما جديدا، وكان تشرشل أول من عرفه، فاعتبر أن 'أمن الطاقة يكمن في التنوع والتنوع فقط'، وأكد بذلك على تنوع مصادر الطاقة وعدم الاعتماد على مصدر واحد. (أبو حنيفة، 2017، الأمن الطاقوي وأهمية تحقيقه في السياسة الخارجية: دراسة في المفهوم والأبعاد <https://democraticac.de>)

1-2 مفهوم الأمن الطاقوي

تباين تعريف أمن الطاقة بين الدول، فتعرّفه الولايات المتحدة على أنه 'تنوع مصادر الطاقة الخارجية وطرق امداداتها والاستثمار في بدائل الطاقة والتنقيب والبحث عن النفط والغاز بأمريكا والمناطق التي تسيطر عليها'، وتعرّفه اليابان وكوريا الجنوبية على أنه 'يرتبط بتأمين الكمية الكافية من الطاقة بأسعار مناسبة حفاظا على قدراتها الصناعية'، وتعرّفه الصين والهند على أنه 'قدرة السكان على الحصول على خدمات الطاقة للتنمية المستدامة والاستقرار'، وتعرّفه الوكالة الدولية للطاقة على أنه 'يرتبط بقدرة نظام الطاقة بالمدى القصير للاستجابة الفورية لتغيرات طارئة في ميزان التجارة الدولية وإتاحة مصادر الطاقة على المدى البعيد وبلا انقطاع مع أسعار متوازنة'. ويعرفه البنك الدولي بأنه 'تأكد الدول من ضمان انتاج مستدام للطاقة بتكلفة معقولة لدعم النمو الاقتصادي والحد من الفقر وتحسين حياة المواطنين بالحصول على خدمات الطاقة الحديثة'، وتعرّفه منظمة حلف الناتو على أنه 'يعتمد على 3 مجالات هامة هي: الوعي الاستراتيجي بالتطورات الجارية في الطاقة؛ حماية بنيتها التحتية وتعزيز كفاءة استخدامها بالمجالات العسكرية ذات الصلة'. (بن حمزة، 2022، ص.ص 73-74). يبرز أمن الطاقة عبر: موثوقية الإمدادات باختيار مصادر وموارد الطاقة بشكل متوفر محتمل في إطار تنافسي لتنويعها ضمانا

لأمن الإمدادات؛ موثوقية نقل الإمدادات؛ موثوقية توزيع الإمدادات إلى المستهلك النهائي طبقا لمعيار الوقت والتنوعية بلا تمييز وبأسعار معقولة (أبو حنيفة، 2017، الأمن الطاقوي وأهمية تحقيقه في السياسة الخارجية: دراسة في المفهوم والأبعاد <https://democraticac.de>). تتباين المواقف لمفهوم أمن الطاقة تبعا للمسؤوليات والامكانات والأهداف، فإزاء المجتمع الدولي من أهم الأولويات لصلته بالاستقرار الاقتصادي والاجتماعي والاعتبارات البيئية لكل الأطراف، ويركز مستهلكو الطاقة على ضمان استمرار امداد الطاقة بكلفة معقولة ومقبولة، ويراه منتجو الطاقة ضمان استمرار تدفق عائدات الطاقة لتمويل الموازنات العامة لتنفيذ برامج التنمية واستمرار الاستثمارات لتوظيفها في مشاريع التنقيب عن مصادر الطاقة الأولية وتأمين استخراجها ونقلها إلى الأسواق (اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، 2015، ص3). يتحقق أمن الطاقة لأي بلد بتنوع المصادر، فليس منطقيا بقاء اعتماد الدول المستوردة للنفط في حاجاتها الطاقوية على تلك المتوفرة لديها النفط، ولن يتحقق الأمن الاقتصادي للدول المصدرة للنفط ببيع سلعة ناضبة، فأمن الطاقة يكمن في التنوع والتنوع فقط (طيب وبن عبو، 2018، ص.ص 166-167). لأمن الطاقة الذي يعد توفر الامدادات وبالأسعار المقبولة جوانب مهمة: (بن حمزة، 2022، ص74).

- الأمن الطبيعي الذي يهتم بأمن وحماية الممتلكات والبنية التحتية وسلاسل الإمداد ومسارات التجارة واتخاذ التدابير الاحتياطية لإيجاد البدائل السريعة والتعويض إذا اقتضت الضرورة؛
- أهمية الوصول والحصول على موارد الطاقة، ما يعني قدرة تطوير واكتساب الامداد ماديًا، تعاقديا وتجاريا؛
- أمن الطاقة نظام يتألف من السياسات الوطنية والمنشآت الدولية المصممة والمخطط لها الاستجابة بشكل منسق للاضطرابات والحالات الطارئة وكذا المساعدة في حفظ التدفق الثابت للإمدادات؛
- الاستثمار: يتطلب توفر سياسات ومناخ عمل تشجع الاستثمار والتنمية والبنى التحتية بالوقت الملائم.

2-2 مفهوم أمن الطاقة المستدام

يعرف أمن الطاقة المستدام على أنه 'توفير خدمات الطاقة بلا انقطاع بطريقة ميسورة التكلفة ومنصفة وفعالة وحميدة بيئيًا'، ويتم اقتراحه على أنه الهدف النهائي لسياسة الطاقة لدولة نامية. يضم نظام الطاقة المادي 3 أنظمة فرعية: إمدادات الطاقة، تحويل وتوزيع الطاقة والطلب على الطاقة. يشمل النظام الفرعي لإمدادات الطاقة الاستخراج المحلي للطاقة الأولية على شكل فحم ونفط خام وغاز وغيرها، ثم تُحول إلى أشكال مختلفة من حاملات الطاقة كالكهرباء ومنتجات النفط التي توزع على المستخدمين النهائيين، فيشكل جزءًا من النظام الفرعي لتحويل وتوزيع الطاقة. يتكون النظام الفرعي للطلب على الطاقة من قطاعات اقتصادية وتستهلك الطاقة النهائية بتلك التي يؤدي طلبها على الطاقة إلى توفيرها في نظام الطاقة، فيبلي النظام الفرعي لإمدادات الطاقة هذا الطلب إلى أقصى حد ممكن، ومن ثم، يعد النظام الفرعي للطلب المحرك وهو مهم لتحقيق أمن الطاقة المستدام لبلد ما. يتجاوز مفهوم أمن

الطاقة المستدام توفير الطاقة للمواطنين ليضم كل القطاعات. يمكن خفض نصيب الفرد من استهلاك الطاقة مقارنة بسيناريو العمل المعتاد (BAU) باعتماد برامج إدارة جانب الطلب وتقليل الهدر، ولا تقل إدارة الذروة وخفض الطلب على الكهرباء مباشرة إجمالي استهلاك الطاقة، ولكن تجنب إنشاء بنية تحتية إضافية للطاقة. ثمة عدة مؤشرات لتقييم أمن الطاقة واستدامتها، فقدمنا نارولا وريدي 3 مؤشرات هي: مؤشر استدامة الطاقة، المؤشر الدولي لمخاطر أمن الطاقة ومؤشر أداء هندسة الطاقة، وخلصا إلى عدم تقديم هذه المؤشرات لمعلومات موثوقة للدول النامية والتي بحاجة لمزيد من العمل لتقييم نظامها للطاقة. تقتصر جل الدراسات حول أمن الطاقة على أمن الإمدادات وتتعامل غالبا مع النفط والغاز، وتهمل جانب الطلب، فالنظرة الأكثر شيوعا هي من جانب العرض. (Narula and all, 2017, Sustainable energy security for India: An assessment of energy demand sub-system, PP126-139)

3-2 مكونات الأمن الطاقوي

هي اجراءات وآليات حماية امدادات الطاقة بمصادرها الداخلية والخارجية وحماية سبل إيصالها الى نقاط استهلاكها وتحويلها في كل الظروف والأوقات والمناطق. يركز أمن الطاقة على محددات أساسية: الوفرة، الكفاءة، التكلفة المعقولة، توفر لوازم الانتاج، خطط مواجهة الانقطاعات المحتملة. (بن حمزة، 2022، ص 86)، يظهر الشكل رقم 01 هذه المكونات والمتمثلة في: تأمين مصادر الطاقة؛ الامدادات المحلية الموثوقة؛ تسير الطلب على الطاقة؛ الاستعداد للانقطاعات لإمداد الطاقة والاستدامة البيئية.

الشكل رقم 01: مكونات الأمن الطاقوي



المصدر: (بن حمزة نبيل، 2022، ص 85)

4-2 أبعاد أمن الطاقة

- ثمة أبعاد مترابط فيما بينها وتتفاعل باستمرار هي: (بن حمزة، 2022، ص. ص 88-90).
- **البعد الاقتصادي:** الهدف الأساسي لهذا البعد في أمن الطاقة للدول المستهلكة هو ضمان ألا تؤدي ندرة أو نقص منتجات الطاقة إلى تأخر في النمو الاقتصادي وتوقف التنمية الاقتصادية أو زيادة في

معدل التضخم والبطالة أو في خفض لقيمة العملة الوطنية أو أي آثار ذات البعد الاقتصادي، بينما يخص هذا البعد للدول المنتجة ضمان إيرادات ثابتة من صادرات الطاقة تستخدم في تنمية الاقتصاد الوطني وتحسين المؤشرات الاقتصادية وتحسين ظروف الحياة وتحقيق الرفاه المعيشي؛

▪ **بعد السياسة الخارجية:** غرض البعد هو منع الدول المستوردة للطاقة من اتخاذ قرارات معاكسة لسياستها الخارجية إرضاءً للدول المعتمد عليها لتأمين امداداتها الطاقوية، لذا بإمكان الدول المستهلكة تنويع مصادر امداداتها وبإمكان الدول المنتجة تنويع مصادر الدخل وطرق نقل صادراتها وآليات واستراتيجيات تحول الطاقة وطرق نقل التكنولوجيا من الدول المتقدمة؛

▪ **بعد الأمن القومي:** يهتم هذا البعد بحماية وتأمين المنشآت والبنى التحتية للطاقة من التخريب والأخطار البشرية والكوارث الطبيعية والقرصنة البحرية وضمن توفير موارد الطاقة للقوات المسلحة والأمنية بالدولة، سيما أثناء الحروب أو العنف الداخلي أو الكوارث الطبيعية، فوجود حظر على النفط أو أي حدث سياسي آخر يعد تهديدا مباشرا لبعد السياسات الخارجية للأمن الطاقوي وقد يصير تهديدا صريحا للأمن القومي للدول. يمكن تعزيز هذا البعد بحماية المنشآت والبنى التحتية للطاقة وبناء الاحتياطات الاستراتيجية لموارد الطاقة ومعرفة المناطق المعرضة للكوارث أو لاحتمالية وجود الهجمات المعادية؛

▪ **البعد التقني:** يرمي هذا البعد إلى إيجاد التقنيات التي تعمل على تحسين كفاءة الطاقة وتزيد من إنتاجيتها وتقلل تكاليف الإنتاج والانبعاثات المضرّة للبيئة، وعلى إنتاج أنواع جديدة من الطاقة وإدخالها إلى السوق، وأيضا على ضمان توفر تقنيات جديدة للدول المنتجة والمستهلكة؛

▪ **البعد الاجتماعي:** يرتبط هذا البعد الذي يرمي إلى تقليص الفجوة في الطاقة بين مناطق الدولة الواحدة والدول المنتجة والمستهلكة، بتوفير موارد الطاقة وبقدرة الفقراء على الحصول عليها والنفاذ إليها، فكلما اتسعت تلك الفجوة بين الأفراد والدول صارت الدول أقل أمنا، وكلما زادت نسبة الفقراء غير القادرين على الحصول على موارد الطاقة، كلما تراجع أمن الطاقة بالدولة والمعبّر عنه بنسبة التغطية الوطنية بالطاقة؛

▪ **البعد البيئي:** يندرج هذا البعد في خفض الآثار البيئية للبحث والتنقيب والنقل والاستهلاك لمصادر الطاقة، ولتحسين ذات البعد مع تجنب التدهور في الأبعاد الأخرى، يجب على الدول المنتجة والمستهلكة زيادة كفاءة الطاقة التي تسمح بخفض الانبعاثات السامة من إنتاج ومعالجة ونقل الطاقة، وصارت الدول المستهلكة تبحث عن الطاقة النظيفة المساعدة على تقليل انبعاث الغازات الضارة وفقا لبروتوكول كيوتو.

5-2 خطوات استدامة وأمن الطاقة

أصدرت المجموعة الاستشارية للرؤساء التنفيذيين لمجموعة ال20 التابعة لغرفة التجارة الدولية

في سبتمبر 2016 توصيات لاستدامة وأمن الطاقة: (International chamber of commerce,

2016, Six steps to energy sustainability and security. <https://iccwbo.org>

1. استخدام مزيج طاقوي واسع لدفع التنمية المستدامة: تختلف فرص ومعوقات كل مصدر طاقوي باختلاف الظروف محليا. تشجع المجموعة على إبقاء خيارات المصادر مفتوحة لتقليل اعتماد أي نوع منها؛
2. إنشاء أطر تنظيمية مستقرة لجذب الاستثمار في الطاقة وإدارة التحول الطويل المدى لأنظمة طاقة آمنة ومستدامة: يجب استقرار السياسات والأطر التنظيمية وتصميمها لضمان أمن الطاقة على المدى الطويل؛ جعل الطاقة أكثر كفاءة وبسعر معقول؛ تخفيف تقلب الأسعار؛ تعزيز توصيل واستهلاك الطاقة باستمرار والوصول إلى خدماتها الحديثة والموثوقة؛ توليد تأثير مجتمعي واقتصادي وبيئي إيجابي.
3. زيادة استثمارات البحث والتطوير لتكنولوجيا الطاقة المبتكرة: يعد تطوير ونشر التكنولوجيا من أهداف الطاقة العالمية المستقبلية، وقد انخفض الاستثمار في أبحاث الطاقة على نطاق عالمي بال عقود القليلة الماضية. ويجب أن يكون تسريع البحث والتطوير في مجال الطاقة أولوية عالمية، ويتعين على مجموعة الـ 20 تسريع الاستثمار في المجال وتعزيز وتوسيع أعداد العلماء والفنيين اللازمين؛
4. تعزيز كفاءة استخدام الطاقة وتحديد أولوياتها: تأكيدًا على دعم قطاع الأعمال لكفاءة الطاقة، تدعو التوصيات إلى مواصلة جهود تعزيز ودعم كفاءة الطاقة بالصناعات وتشجيع اعتماد سلوكيات وأجهزة تتسم بكفاءة استخدام الطاقة من قبل مستهلكها بالتعليم والتنظيم والتثقيف والحوافز؛
5. تحسين إدارة الطاقة العالمية وتنسيق الجهود الدولية: تعد النظرة الشاملة المتضمنة لدراسة متأنية لمزيج الطاقة وتنويعه أمرا مهما لمعالجة قضايا ومخاطر الطاقة على المدى الطويل ولتخفيف الآثار لعدة قطاعات لتقلب الأسعار أو العرض. تدعو الخطوة إلى صياغة وتنفيذ سياسات متكاملة في الاقتصاد والطاقة والبيئة على المستوى الوطني وأخذ الحقائق الحالية والاتفاقات الدولية بالاعتبار؛
6. زيادة الوصول العالمي إلى أشكال الطاقة النظيفة والحديثة وفقًا لهدف للتنمية المستدامة رقم 7، مع التركيز على أفريقيا وآسيا والمحيط الهادئ؛ مع وجود 1.1+ مليار فرد يعيشون بلا كهرباء و 2.7 مليار فرد لا يحصلون على الطاقة النظيفة والحديثة للطهي، تدعو التوصيات إلى جعل الوصول إلى الطاقة وأمنها على المدى الطويل أولوية. وتشجع على دعم الخيارات والوصول إلى الطاقة في إطار التعاون الدولي لتنسيق الجهود للوصول إلى الطاقة بالدول النامية وإقامة شراكات مع المنظمات الدولية والقطاع الخاص لتحسين إمكانات التمويل وتنفيذ مبادرات الحصول على الطاقة وكفاءتها.

3. المحور الثالث: دور الهيدروجين الأخضر في تحقيق الأمن الطاقوي المستدام بالجزائر

3-1 تطور خطط واستراتيجيات الهيدروجين

ينبغي مرور الدول بمراحل للوصول إلى الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين، وهي المرحلة الأخيرة في سلسلة متكاملة الخطوات، وهي تعني إعلان الدولة رسميًا سياسة واستراتيجية واضحة المعالم بأهداف

وبأطر زمنية محددة بشأن الهيدروجين، وتكمن أولها في البحث والتطوير لبناء القاعدة المعرفية، تليها مرحلة وثيقة الرؤية أو التصور تجاه الهيدروجين على صعيد السوق المحلي والتصدير، ثم مرحلة خريطة الطريق، وفيها تبدي الدولة اهتمامًا متزايدًا بوضع الأهداف الأولية تخص تحديد الإنتاج أو التواجد بالسوق الدولي أو حصة الهيدروجين بمزيج الطاقة المحلي، وأخيرًا الإعلان الرسمي للاستراتيجية التي جسدها 18 دولة حتى آخر مارس 2022، وتعكف 9 دول على إعدادها من بينها الجزائر وفق التقرير الفصلي لأوابك أواخر 1/4 من 2022. ترى مجموعة أوراسيا أن لدى الدول الممثلة لنحو 1/2 الناتج المحلي العالمي استراتيجيات هيدروجين موثوقة وتوقع بلوغ 70% بأنحاء الولايات المتحدة وكندا وروسيا إعداد خططها. (وحدة أبحاث الطاقة، 2022، الهيدروجين في مزيج الطاقة 10 تساؤلات عن أنواعه واستخداماته وأهميته، <https://attaqa.net>)

2-3 مراحل متابعة الهيدروجين

يساعد مفهوم 'مرحلة السياسة' لIRENA على فهم توقيت تقديم السياسة وفقًا لحالة قطاع الهيدروجين بالبلاد. (IRENA, 2022, PP61-62)

1. الإظهار والحوكمة: فجوة الربح هي الأوسع، ما يوجب حوافز اقتصادية أكبر. تقديم المنح والقروض الجاذبة للرأسمال الخاص. وضع أهداف واستراتيجيات إزالة الكربون من قطاع الصناعة. لم يقيم بعد الفولاذ الأخضر والأمنيا والميثانول لقلّة انبعاثاتهم، الحاجة إلى نظام تتبع الانبعاثات الأولية وإنشاء سوق تقدر ذلك، تقديم سياسات تسعير الكربون، التنسيق الدولي أكثر أهمية من تطبيقات الهيدروجين الأخرى؛
2. تحقيق النطاق التجاري: يتم إنتاج المنتجات الخضراء الأولى ويحل الهيدروجين الأخضر محل الرمادي تدريجيًا. وثمة الحاجة إلى إنشاء سوق للمنتجات الخضراء المدعومة بأدوات اقتصادية محددة؛
3. نحو إزالة الكربون الكاملة: انتشار الهيدروجين الأخضر بنظم الطاقة وتراجع الكلفة وعدم لزوم سياسة الدعم. يسعى واضعو السياسات إلى التخلص تدريجيًا من تكنولوجيا الوقود الأحفوري والاحتفاظ بأدوات الحصول على معلومات المقارنة لكل المواد والسلع ومنع تسرب الكربون بالمناطق التي لا تبذل جهود الإزالة. يبين الشكل رقم 02 خارطة طريق للسياسات. تشير الأشرطة إلى الفترة اللازمة لوضع السياسة وتحديد إجراءات تنفيذها والتي تخص تسعير الكربون، التراخيص التكنولوجية، خطط الدعم وإنشاء السوق.

الشكل رقم 02: خارطة الطريق للسياسات لتعزيز استخدام الهيدروجين في الصناعة

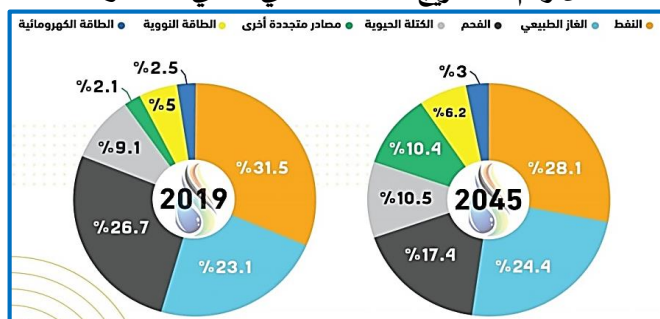


Source: (IRENA, 2022, P62)

3-3 إمكانية إحلال الهيدروجين للغاز الطبيعي

يستحوذ الغاز الطبيعي على حصة كبيرة نسبياً في مزيج الطاقة عالمياً؛ لتوفر وتقديمه لمزايا بيئية في عدة قطاعات. يعد الهيدروجين بمثابة ميزة إضافية للغاز الذي قد يستخدم لإنتاجه وقد تكون هذه الطريقة صديقة للبيئة عند احتجاز وتخزين الكربون، علماً بأن 50% من 522 مشروعاً للهيدروجين بالعالم تستخدم الغاز (الهيدروجين الأزرق) وسيكمل الهيدروجين والغاز بعضهما البعض، إذ توجد دراسات تؤكد أن استخدام خليطاً منهما سيقلل الانبعاثات. (وحدة أبحاث الطاقة، 2022، الهيدروجين في مزيج الطاقة.. 10 تساؤلات عن أنواعه واستخداماته وأهميته، <https://attaqa.net>). يبين الشكل رقم 03 مزيج الطاقة العالمي لعامي 2019 و2045.

الشكل رقم 03: مزيج الطاقة العالمي لعامي 2019 و2045



المصدر: (وحدة أبحاث الطاقة، 2022، الهيدروجين في مزيج الطاقة.. 10 تساؤلات عن أنواعه واستخداماته وأهميته، <https://attaqa.net>).

4-3 دور الهيدروجين في تحول الطاقة العالمي

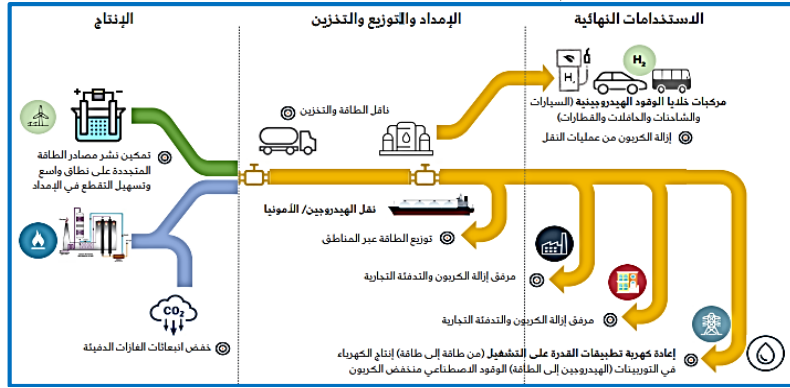
يعد الهيدروجين الأخضر مهما لإزالة الكربون من القطاعات لقدرته على أن يصبح وقوداً جزئياً يوفر الطاقة النظيفة ومادة أولية صناعية نظيفة لا تنتج أي ملوثات أثناء الاستهلاك كبديل للوقود الأحفوري، كونه حاملاً للطاقة خالياً من CO_2 ، ويمكن تخزينه ونقله لمسافات طويلة وباستطاعته حمل كميات كبيرة من الطاقة عند ضغطه أو تحويله إلى سائل، وبذلك ينتج طاقة ووقود نظيفين، وله نفس معايير السلامة التي يحتاجها الغاز والنفط وقد يغطي 24% من حاجة العالم من الطاقة في 2050، ويتوقع السوق العالمي دخول 11,7 تريليون دولار. يعتمد الطريق إلى سوق عالمي للنوع الأخضر على الثورة التكنولوجية والاقتصادية والخيارات السياسية لسلسلة القيم. فثمة فائزون وخاسرون في كل خيار، مما يسبب إعادة توزيع الموارد والقوة عبر تحويل موازين حاجات الدول، ووفقاً لتقرير مركز بلفر، تقاس إمكانات الطاقة المتجددة المنقولة في الهيدروجين بالدول بالأخذ بالاعتبار 3 معايير تصنف بناء على توفر الموارد (الرياح، الشمس، الماء) والبنية التحتية للإنتاج والنقل وتوزيع الهيدروجين. (ماتيس وآخرون، 2020، ص.ص 8-9).

5-3 دور الهيدروجين في إزالة الكربون

يوجد دعم للهيدروجين للعب دوراً عالمياً بصفته ناقلاً للطاقة مستقبلاً. يبين الشكل رقم 04 سلسلة قيمته من الإنتاج إلى التطبيقات الحالية والناشئة للاستخدام النهائي، ويسلط الضوء على أهداف استدامة الطاقة الممكن تحقيقها عند استبدال الطاقة الأحفورية بمثلها الهيدروجينية. تعد عمليات إنتاجه الحالية كثيفة الاستهلاك للطاقة وتطلق انبعاثات الكربون إلى الغلاف الجوي إلى جانب التحليل الكهربائي للمياه المتصلة بالشبكة الذي يعتمد مزيج الطاقة فيه على المواد الهيدروكربونية. بينما تشمل طرق إنتاج الهيدروجين الأنظف احتجاز الانبعاثات المصاحبة. وقد تخفف إعادة تشكيل بخار المواد الهيدروكربونية واحتجاز وعزل أو تخزين الكربون معدل انبعاث CO_2 بالغلاف الجوي إلى أدنى حد،

فينتج النوع الأزرق، ويمكن بدل ذلك، التحليل الكهربائي للمياه بالطاقة المتجددة (الهيدروجين الأخضر) الذي يعد مكلفا حاليا. وقد يقدر على المنافسة على المدى الطويل بانخفاض تكاليف الطاقة المتجددة وتحسين الأداء ووفورات الحجم لأجهزة التحليل الكهربائي. (حسن وشبانة، 2021، ص ص 10-11).

الشكل رقم 04: سلسلة القيمة الناشئة للهيدروجين



المصدر: (حسن وشبانة، 2021، ص 10).

6-3 استراتيجية الهيدروجين بالجزائر

تهتم الجزائر بمشاريع الهيدروجين لتنضم البلاد إلى السباق العالمي لإنتاجه واستهلاكه محليا ولتصديره، في إطار خطط تنوع مزيج الطاقة لزيادة الصادرات والحفاظ على احتياطات النفط والغاز الذي بلغ 4.5 تريليون م³ نهاية 2022، وفق أويل أند غاز جورنال، كما تتميز الدولة بقرنها جغرافيا من أوروبا وبني تحتية ملائمة كخطوط أنابيب وغيرها لاستغلالها في تصدير الهيدروجين، في ظل سعي أوروبا لاستيراد 10 ملايين طن منه في 2030، مما سيجعل الهيدروجين الجزائري إحدى الفرص الواعدة لأوروبا. (عمار، 2023، الهيدروجين في الجزائر رهان كبير بسوق الطاقة العالمية (تقرير)، الدولة توقع مذكرات تفاهم وتخصص مليارات الدولارات"، وحدة أبحاث الطاقة. <https://attaqa.net>). وضعت الحكومة في ديسمبر 2022 الاستراتيجية الوطنية لتطوير إنتاج الهيدروجين في الجزائر (في طور النقاش المجتمعي)، وهي عبارة عن خريطة طريق تستهدف تحويل البلاد إلى رائد إقليمي ودولي في إنتاج الهيدروجين وتصدير 30-40 مليار كيلوواط/ساعة في شكل هيدروجين غازي وسائل ومشتقات، مع توقع تحقيق إيرادات 10 مليار دولار سنويا، وهي تمر ب3 خطوات مهمة تبدأ بمرحلة التكوين بالفترة 2023-2030، وتتبعها مرحلة التوسع وإنشاء السوق بالفترة 2030-2040، فمرحلة التصنيع والتصدير للخارج بالفترة 2040-2050. تستهدف الاستراتيجية المرتكزة على النوعين الأخضر والأزرق، تصدير نحو 10% من النوع الأخضر إلى أوروبا أفق 2040 وبسعر تنافسي، مستفيدة من قربها جغرافيا منها. يعتمد نمو سوق إنتاج الهيدروجين بالجزائر على عدة عوامل

كانخفاض تكلفة إنتاج الطاقة المتجددة وتعزيز شبكة الكهرباء لزيادة معدل إدماج المصادر النظيفة والعمل على خفض تكلفة إنتاج أجهزة التحليل الكهربائي من \$1000/كيلوواط إلى \$400/كيلوواط وتطوير تقنيات التخزين والنقل والبنى التحتية وأسواق الهيدروجين التنافسية (عمار، 2023، الهيدروجين في الجزائر رهان كبير بسوق الطاقة العالمية (تقرير)، الدولة توقع مذكرات تفاهم وتخصص مليارات الدولارات"، وحدة أبحاث الطاقة. <https://attaqa.net>).

7-3 مشروع الجزائر خارج حدودها

تعتزم شركة سوناطراك بالتعاون مع شركة ساسول الجنوب أفريقية إنشاء مشروع 'وادي الهيدروجين' بصقلية الإيطالية لإنتاج الهيدروجين والغاز الطبيعي الاصطناعي منخفض الكربون واحتجاز واستعمال الكربون، ويأتي المشروع في إطار امتلاك ساسول مصنعاً للمواد الكيميائية بمدينة أوغوستا، بينما تمتلك سوناطراك مصفاة، وتؤكد الشركتان بأنه من المحتمل أن يكون مشروع وادي الهيدروجين من بين أكبر المشاريع في إيطاليا؛ ومن المتوقع أن ينتج 7 آلاف و800 طن سنوياً من الهيدروجين منخفض الكربون و25 ألف طن سنوياً من الغاز الطبيعي الاصطناعي، ومن المقرر إسهامه باستعمال احتجاز وتخزين الكربون في خفض انبعاث غازات الاحتباس الحراري بنحو 120 ألف طن سنوياً. (عمار، 2023، الهيدروجين في الجزائر رهان كبير بسوق الطاقة العالمية (تقرير)، الدولة توقع مذكرات تفاهم وتخصص مليارات الدولارات"، وحدة أبحاث الطاقة. <https://attaqa.net>).

8-3 العلاقة بين الهيدروجين الأخضر والأمن الطاقوي المستدام وأهداف التنمية المستدامة بالجزائر

مما سبق، يتضح بأن الهيدروجين الأخضر أحد الأولويات في تحول الطاقة، إذ سيساعد في إزالة الكربون من القطاعات بشكل أسرع، سيما تلك التي يصعب التخلص فيها من بصمة الكربون، إذ له القدرة على أن يصبح وقودا يوفر الطاقة النظيفة. ويمكن أيضا استخدامه كبديل للوقود الأحفوري كمادة أولية صناعية نظيفة، ولا ينتج أي ملوثات أثناء الاستهلاك، كونه حاملاً للطاقة خالياً من CO₂، مما يجعله مصدراً نظيفاً مستداماً ومرناً في الاستعمال، فيمكن تخزينه ونقله لمسافات طويلة وباستطاعته حمل كميات كبيرة من الطاقة عند ضغطه أو تحويله إلى سائل، وبذلك ينتج طاقة ووقود نظيفين، وله نفس معايير السلامة التي يحتاجها الغاز والنفط، فهو يفيد بذلك الاقتصاد بمشتقاته وأشكاله ويساهم في تنوع مزيج الطاقة وبالتالي يساهم في تحقيق الأمن الطاقوي المستدام وكذا أهداف التنمية المستدامة. يلخص الجدول رقم 01 العلاقة بين الهيدروجين الأخضر والأمن الطاقوي والتنمية المستدامين بالجزائر.

الجدول رقم 01: علاقة الهيدروجين الأخضر والأمن الطاقوي المستدام بالتنمية المستدامة بالجزائر

الهيدروجين قليل الكربون	تحقيق أمن الطاقة المستدام	المستخلص من هدف التنمية المستدامة
إيجاد وظائف مستدامة بنقل تكنولوجيا إنتاج الهيدروجين قليل الكربون إلى الدول الفقيرة	التوصيل المستمر لخدمات الطاقة للجميع بما فيهم للفقراء	1: القضاء على الفقر: لا بد من أن يكون النمو الاقتصادي شاملا للجميع بحيث يتيح وظائف مستدامة ويعزز المساواة. (التبرع بالأشياء غير المستخدمة: هناك 836 مليون شخص يعيشون في فقر مدقع)
استخدام الهيدروجين كطاقة ووقود بالزراعة والأمن الغذائي الخضراء في الإنتاج الغذائي المستدام	توصيل خدمات الطاقة إلى المناطق الريفية المعزولة والمخصصة للرعي	2: القضاء التام على الجوع: يتيح قطاع الغذاء والزراعة حلولاً رئيسية للتنمية، وهما قطاعان محوريان في جهود القضاء على الجوع والفقر. (تجنب رمي الطعام الذي يبذر +3/1 بالعام)
نشر استخدام النوعين الأخضر والأزرق قليلا الكربون بدل الوقود الأحفوري يحيي صحة الأفراد	تنوع مزيج الطاقة بمصادر غير ملوثة يحقق استدامة طاقة نظيفة للجميع	3: الصحة الجيدة والرفاه: ضمان أنماط العيش السليم وتعزيز الرفاه للجميع هما أمران ضروريان لتحقيق التنمية المستدامة. (حماية العائلة بالتلقيح وحسن الصحة العامة)
نشر استخدام الهيدروجين كطاقة ووقود في مختلف المرافق وتحفيز البحث العلمي في المجال	توصيل طاقة مستدامة للجميع يحسن نمط حياة ويسهل عملية التعلم	4: التعليم الجيد: الحصول على التعليم الجيد هو الأساس في تحسين معاييش الناس وتحقيق التنمية المستدامة. (مساعدة الأطفال على القراءة)
توزيع وظائف نشر واستخدام الهيدروجين كطاقة ووقود بين فئات المجتمع وفق معيار الكفاءة	تعزيز تنوع مزيج الطاقة بنشر وظائف في الطاقة الخضراء بين الجنسين	5: المساواة بين الجنسين: المساواة بين الجنسين حق أصيل من حقوق الإنسان، وأيضا ضرورة من ضروريات وجود عالم مستدام ينعم بالازدهار والسلام. (اعلان ورفض اللغة وسلوكيات التحيز الجنسي)
استخدام الهيدروجين كوقود بمحطات تحلية مياه البحر	انتاج النوع الأخضر من محطات تحلية مياه البحر للتغلب على ندرة الماء لإنتاجه	6: المياه النظيفة والنظافة الصحية: إمكانية حصول الجميع على المياه النظيفة هي مكون أساسي من مكونات العالم المراد. (تجنب هدر المياه، التي تؤثر ندرتها على +40% من سكان العالم)
يوفر الهيدروجين قليل الكربون على المدى الطويل مصادر جديدة للطاقة النظيفة	تنوع المزيج الطاقوي بعيدا عن أنواع الوقود أحفوري	7: طاقة نظيفة وبأسعار معقولة: الطاقة هي مسألة مركزية في كل التحديات الماثلة والفرص المتاحة. (استخدام الأجهزة والمصابيح الموفرة للطاقة ذات مستوى الكفاءة عالية)
أثر تطوير صناعات قليلة الكربون طويل الأجل على نمو الاقتصاد وتوفير فرص العمل	توفر طاقة نظيفة ومستدامة وكفاءة استخدامها يعزز النشاط الاقتصادي	8: العمل اللائق ونمو الاقتصاد: يجب إعادة النظر في الأفكار السائدة في اقتصادنا وأدواته والسياسات الاجتماعية الرامية إلى القضاء على الفقر (الشراء من الشركات الصديقة للبيئة التي توفر فرص عمل متساوية)
يشجع تطوير الهيدروجين قليل الكربون الابتكار على امتداد سلسلته والهيكل الأساسية	الاسهام في تطوير وتنوع مصادر الطاقة الخضراء والمستدامة	9: الصناعة والابتكار والهياكل الأساسية: الاستثمار في الهياكل هو شأن حاسم في تحقيق التنمية المستدامة. (التفكير في طرق مبتكرة وجديدة لإعادة لاستخدام المواد القديمة).
التعاون الدولي لنشر تقنيات إنتاج واستخدام الهيدروجين	تكافؤ فرص توفير طاقة نظيفة ومستدامة للجميع	10: الحد من أوجه عدم المساواة: الحد من التفاوت داخل البلدان وفيما بينها. (الدعوة ضد التمييز).
سيسهم الهيدروجين النظيف في الحد من تلوث الهواء جراء وسائل النقل الحالي	تسهل مركبات خلايا الوقود والنقل المستدام في عدم اعتماد نوع واحد من الوقود	11: مدن ومجتمعات محلية مستدامة: التغلب على التحديات التي تواجهها المدن بطرق تتيح لتلك المدن مواصلة الانتعاش والنمو. (استخدام الدراجة الهوائية أو المشي أو وسائل النقل العامة للحفاظ على هواء المدن)

تطوير وامتداد سلسلة قيمة الهيدروجين قليل الكربون	كفاءة وترشيد استخدام أشكال الطاقة لضمان الإنتاج المستدام	12: الاستهلاك والإنتاج المسؤولان: تستهدف أنماط الاستهلاك والإنتاج المستدامة إنتاج المزيد بشكل أفضل وبتكلفة أقل. (إعادة تدوير الورق والبلاستيك والزجاج والالمنيوم)
استخدام النوعين الأخضر والأزرق يقلل من الانبعاثات ويسهم في مواجهة تغير المناخ	تحقيق أمن الطاقة المستدام يحقق الرفاه ويحمي البيئة من تغيرات المناخ	13: العمل المناخي: يضمن التوصل إلى حلول لتغير المناخ عدم تعثر التقدم المحرز جراء تلك الظاهرة، وتمتع اقتصادات الدول بالصحة وقدرة التكيف (تثقيف الشباب عن تغير المناخ لوضعهم مبكراً في مسار مستدام)
إمكانية إنتاج النوع الأخضر من مياه البحر دون الإضرار ببيئة البحار والمحيطات	تنوع مصادر الطاقة واستخدامها يلزم حماية البيئة من كل تلوث أو ضرر	14: الحياة تحت الماء: تقف محيطات العالم وراء النظم العالمية التي تجعل كوكب الأرض صالحاً لسكنى البشرية. (تجنب استخدام أكياس البلاستيك للحفاظ على سلامة المحيطات ونظافتها)
إنتاج واستخدام النوع الأخضر يجنب اللجوء إلى الحطب كوقود وإزالة الغابات والتصحّر	ترتبط استدامة أمن الطاقة بتنوع مصادر طاوقية نظيفة لا تضر البيئة كالهيدروجين	15: الحياة في البر: تشكل إزالة الغابات والتصحّر تحديين رئيسيين يؤثران في معاش ملايين الناس. وتُبدل الجهود الحثيثة في إدارة الغابات ومكافحة التصحر. (التشجير للإسهام في حماية البيئة)
حكومة الطاقة وجود مؤسسات ذات الصلة مهمة لنجاح عملية إنتاج الهيدروجين	حوكمة الطاقة تعزز ضمان أمن طاوق مستدام	16: السلام والعدل والمؤسسات القوية: تشجيع وجود المجتمعات السلمية الشاملة للجميع وتوفير إمكانية اللجوء إلى القضاء وبناء مؤسسات فعالة خاضعة للمساءلة. (حق انتخاب قادة البلد والمجتمع المحلي)
إقامة الشراكات بين الحكومة والقطاع الخاص والجهات المعنية لإنتاج الهيدروجين	دور الحكومة والقطاع الخاص والمجتمع المدني في تنوع مصادر الطاقة	17: عقد الشراكات لتحقيق الأهداف: يتطلب تحقيق التنمية المستدامة تكوين شراكات بين الحكومات والقطاع الخاص والمجتمع المدني بُني على أهداف ورؤى مشتركة

المصدر: من إعداد الباحثة بالاعتماد على:

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/ar/sustainable-development-goals/>

و(حسن وشبانه، 2021، ص10) و(بن حمزة، 2022، ص74) و(طارق أحمد ومحمد رسول، 2010، ص.ص3-4)

الخلاصة

إن تطوير مشاريع إنتاج الهيدروجين بالجزائر يضمن ويساهم في الأمن الطاوق المستدام ويحقق غايات الأطراف المهتمة به (السلطات، المجتمع، مستهلكو ومنتجو الطاقة)، كما يحقق كفاءة وترشيد الطاقة باستخدام المصادر المتجددة، سيما الطاقة الشمسية للتعويض التدريجي لجزء من الوقود الأحفوري في المزيج الطاوق المحلي، إضافة إلى استغلال مشتقاته في مختلف الصناعات والمجالات المهمة سيما الفلاحة والملاحة البحرية والنقل الجماعي المستدام، مما يسهم في تنفيذ البرامج التنموية والولوج إلى السوق الدولي بتصديره بمختلف أشكاله ومشتقاته، وبالتالي تحقيق نسباً مستقرة للنمو الاقتصادي المستدام ووثبة اقتصادية واجتماعية وبيئية وتجسيد أبعاد التنمية المستدامة.

نتائج البحث

توصلت هذه الورقة البحثية إلى عدة النتائج أهمها الآتي:

- يرى مصدر الوقود الأحفوري الهيدروجين الأزرق طريقة قيمة لتنويع اقتصاداتهم في ظل تحول الطاقة وتعزز الدول الرائدة في الطاقة المتجددة إنتاج النوع الأخضر في ظل توتر سوق الطاقة التقليدية المستمر؛
- إسهام الهيدروجين النظيف في خفض انبعاث الكربون بـ10% في 2050 واعتباره لاعباً مهماً في تحول الطاقة؛
- بإمكان إنتاج الهيدروجين الأزرق تسهيل الانتقال إلى مرحلة إنتاج الهيدروجين الأخضر بتكلفة أقل؛
- تكون طريقة إنتاج الهيدروجين الأزرق صديقة للبيئة عند احتجاز وتخزين الكربون؛
- بإمكان الجزائر تحقيق 10 مليار \$ سنوياً بتصدير الهيدروجين وكذا استغلاله ومشتقاته في مناحي الحياة؛
- يعد خفض التكاليف والاستثمار بالبنى التحتية والتكنولوجيا ذات الصلة وتكوين الكوادر البشرية في المجال أهم تحديات نجاح إنتاج ونشر استخدامات الهيدروجين الأخضر ومنخفض الكربون بالجزائر.

اقتراحات البحث

- تفترح هذه الورقة البحثية لتطوير صناعة الهيدروجين منخفض الكربون في الجزائر ما يلي:
- صياغة استراتيجيات للهيدروجين النظيف بما يعكس أهداف والتزامات الدولة بقضايا تغير المناخ؛
 - إشراك القطاع الخاص وجميع أصحاب المصلحة في إنتاج الهيدروجين الأخضر وكذا النوع الأزرق؛
 - توطين الصناعة والتكنولوجيا ذات الصلة وتذليل الصعاب للاستثمار والبحث والتطوير كسن القوانين؛
 - خفض التكاليف ودعم السياسات من الحكومة المتطلعة للتحول نحو اقتصادات الهيدروجين؛
 - إقامة الشراكات مع الشركات الرائدة وتعزيز التعاون مع هيئات الطاقة المتجددة والمجالات ذات الصلة؛
 - تحويل الهيدروجين الأخضر إلى أمونيا خضراء كخيار أكثر فاعلية وإمكانية نقله سائلاً بكميات كبيرة.

قائمة المراجع باللغة العربية

مذكرات الدكتوراة

1. بدري، عبد العزيز. (2019). طاقة الهيدروجين كبديل طاقي جديد في العالم وإمكانية استخدامه كوقود في الجزائر. مذكرة الدكتوراه. التحليل الاقتصادي. قسم العلوم الاقتصادية. كلية العلوم الاقتصادية والتسيير والعلوم التجارية. جامعة قاصدي مرباح. ورقلة.
2. بن حمزة، نبيل، (2022)، الأمن الطاقوي الجزائري بين التحديات والبدائل، مذكرة الدكتوراه. الدراسات الاستراتيجية، قسم الدراسات الدولية، كلية العلوم السياسية والعلاقات الدولية، الجزائر3.
3. المقالات، الدراسات والتقارير العلمية
4. أبو حنيفة، الوليد. (2017). الأمن الطاقوي وأهمية تحقيقه في السياسة الخارجية: دراسة في المفهوم والأبعاد <https://democraticac.de>
5. اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا)، (2015)، التعاون الإقليمي وأمن الطاقة في المنطقة العربية. <https://archive.unescwa.org>

6. جيلين، دolf وآخرون، (2023)، إطلاق العنان لقوة الهيدروجين للتحويل إلى الطاقة النظيفة. مدونات البنك الدولي، <https://blogs.worldbank.org>.
7. حسن، شاهد وشبانة، رامي. (2021). الاقتصاديات والموارد المحتملة لإنتاج الهيدروجين في المملكة العربية السعودية. مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية.
8. سداوي، راضية. (2021). ندوة حول الهيدروجين ودوره في عملية تحول الطاقة الهيدروجين الأزرق والأخضر في المنطقة العربية: الإمكانيات والتحديات والفرص. لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا.
9. شوقي، أحمد، (2022)، مساهمة الهيدروجين النظيف في قطاع الطاقة بحلول 2050 <https://attaqa.net>
10. طارق أحمد، صباح ومحمد رسول، حسن فخري، (2010)، دراسة نظرية وتجريبية لإنتاج الهيدروجين باستخدام الطاقة الشمسية في مدينة بغداد. العراق، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، 28(19): 953-967.
11. طيب، سعيدة وبن عبو، سنوسي، (2018) استراتيجية طاقوية وطنية لتحقيق الانتقال الطاقوي على مدى 2030. مجلة المفكر للدراسات القانونية والسياسية، 1(3): 163-179.
12. عمار، أحمد. (2023). الهيدروجين في الجزائر رهان كبير بسوق الطاقة العالمية (تقرير)، الدولة توقع مذكرات تفاهم وتخصص مليارات الدولارات. <https://attaqa.net>
13. ماتيس، كورنيليوس وآخرون، (2020)، تحديات وفرص إنتاج الهيدروجين الأخضر وتصديره من منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا إلى أوروبا، تقرير موجه إلى مؤسسة فريدريش إيبتر، مكتب عمان، الأردن.
14. وحدة أبحاث الطاقة، (2022)، الهيدروجين في مزيج الطاقة.. 10 تساؤلات عن أنواعه واستخداماته وأهميته <https://attaqa.net>

Ouvrages en langues étrangères et sites électroniques

1. Commission Européenne, (2016), **Des mesures pour une sécurité énergétique durable**, <https://ec.europa.eu>
2. International chamber of commerce, (2016), **Six steps to energy sustainability and security**. <https://iccwbo.org>
3. IRENA, (2022), **Green hydrogen for industry a guide to policy making**, <https://www.irena.org>
4. Kapil Narula and all, (2017), **Sustainable Energy Security for India: An assessment of energy demand sub-system**, Applied Energy, 186(2): 126-139.
5. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ar/>