

## الهيدروجين الأخضر كبديل استراتيجي لموارد الطاقة غير المتجددة

### Green hydrogen as a strategic alternative to non-renewable energy materials<sup>1</sup>

عبد الغني جغبالة<sup>1\*</sup>، سكيينة حملاوي<sup>2</sup>

1 جامعة الوادي – الجزائر djeghbala-abdelghani@univ-eloued.dz

2 جامعة – الوادي – الجزائر، hamlaoui-sakina@univ-eloued.dz

تاريخ الاستلام 2023/03/11؛ تاريخ المراجعة: 05/03/2023 تاريخ النشر: 2023/06/30

#### ملخص:

تهدف هذه الدراسة لتسليط الضوء على واقع الاستثمار في طاقة الهيدروجين الأخضر على المستوى العربي والدولي، انطلاقا من الطاقات المتجددة بشكل عام، والتوجه العربي والعالمي نحو استغلال طاقة الهيدروجين كرهان مرافق للأمن الطاقوي بشكل خاص، بالإضافة إلى الرؤية الاستراتيجية للهيدروجين الأخضر عربيا وعالميا، من خلال عرض المشاريع والاستثمارات الهيدروجينية التي اتخذتها بعض الدول، والتي من شأنها خلق ثروة وتنمية مستدامة وعوائد مالية معتبرة، وذلك من خلال الاعتماد على المنهج الوصفي والتحليلي، لبعض التقارير والإحصائيات المتعلقة بالموضوع محل الدراسة، كما تم التوصل إلى بعض النتائج أهمها حتمية إجراء تغيير هيكلية بالاعتماد على مصادر طاقوية متجددة كطاقة الهيدروجين، وضرورة تشجيع الدولة للاستثمار في طاقة الهيدروجين من خلال التحفيز الضريبي من طرف الدولة؛ وتقديم الإعانات المادية والبشرية لتطوير الاستثمار في هذا المجال.

الكلمات المفتاحية : موارد الطاقة غير متجددة؛ موارد الطاقة المتجددة؛ الهيدروجين الأخضر؛ تجارب دول عربية؛ تجارب عالمية.

تصنيف JEL : Q420, Q2 , Q3

#### Abstract:

The present study aims at shedding light on the current situation of investment in green hydrogen energy at the Arab and international level based on the renewable energies in general. The Arab and international trend towards exploiting hydrogen energy as a bet accompanying energy security in particular, in addition to the strategic vision of green hydrogen in the Arabic countries and the whole world, throughout a presentation Hydrogen projects and investments undertaken by some countries which would create wealth, sustainable development and significant financial returns by relying on descriptive and analytical approach, for some reports and statistics related to the subject under study.

The results we reached is that the most significant is the inevitability of creating a structural change depending on the renewable energy sources. And provide objective and growing subsidies to develop investment in this field.

**Keywords:** non-renewable energy resources; renewable energy resources; Green hydrogen, experiences of Arab countries, global experiences.

**Jel Classification Codes :** Q420, Q2 , Q3

**I- تمهيد :**

العديد من دول العالم تعتمد في اقتصادها على الموارد الطبيعية، وذلك لأن لديها احتياطي كبير منها خاصة البترول، والغاز الطبيعي، والفحم، وبالرغم من أن اعتماد الدول على الاقتصاد الريعي له العديد من الإيجابيات كزيادة إيراداتها، إلا أن له بعض السلبيات كون أن هذه الموارد غير متجددة من جهة، ولها تأثيرا سلبية على البيئة من جهة أخرى، ومن هذا المنطلق نجد العديد من الدول أصبح توجهها الحديث نحو الاستثمار في الطاقات المتجددة أو ما يعرف بالاقتصاد الأخضر، كون هذه الأخيرة أمما طاقات متجددة وتعتبر طاقات صديقة للبيئة، لهذا تسعى العديد من العالم إلى تشجيع الاستثمار في الطاقات المتجددة والنظيفة، وذلك من خلال منح العديد من التسهيلات، والتحفيزات، التي من شأنها أن تشجع التوجه نحو اختيارها كبديل للطاقات الغير متجددة، مع التركيز على طبيعة المناخ السائد والجوانب القانونية والتنظيمية التي تحكم كل دولة، ومن بين الطاقات المتجددة نجد: الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة المائية والطاقة الحرارية وطاقة الهيدروجين.

لكن مثل هذه الطاقات كالتاقة الشمسية وطاقة الرياح تواجه مشكلة عدم التواجد الدائم وعدم القدرة على التخزين لفترات طويلة، وبالتالي يأتي دور الهيدروجين ليحل المشكلة، فهو العنصر الذي لا ينتج عند احتراقه أي انبعاث ضارة للبيئة، بل يتم استغلال هذا الانبعاث في توليد الطاقة الكهربائية والطاقة الحرارية، ولهذا أصبح التوجه الحديث للعديد من الدول هو الاستغلال والاستثمار في طاقة الهيدروجين.

ومن هذا المنطلق يمكننا طرح السؤال التالي:

ما مدى استخدام طاقة الهيدروجين كبديل استراتيجي للموارد الطاقة غير متجددة؟

وللإجابة على هذا التساؤل تم وضع الفرضيات التالية:

- التوجه الحديث للعديد من الدول للاستثمار في الطاقات المتجددة باعتبارها البديل الأمثل للموارد التقليدية مع ضرورة الاستغلال العقلاني والرشيد فيها،
- تعتبر طاقة الهيدروجين من بين الطاقات المتجددة والبديلة للطاقة الناضبة والذي يمكن أن تعتمد عليه العديد من الدول؛
- سيكون لطاقة الهيدروجين مكانة كبيرة على الصعيد العالمي بصفة عامة والعربي بصفة خاصة.

**1.I.الموارد الطاقوية:****1.1.I- الموارد الطاقوية الغير متجددة:**

أولا: البترول:

النفط أو البترول كلمة مشتقة من الأصل اللاتيني وهي تتكون من جزئين: زيت (Petr) الصخر (Olium) أي تعني زيت الصخر، ويطلق عليها أيضا زيت الخام، كما أن له اسم دارج (الذهب الأسود) فعلميا يعرف البترول بأنه ذلك السائل الكثيف الأخف من الماء يتركب من الفحم ويحترق عند احتراقه طاقة، قابل للاشتعال، بني غامق، أو بني مخضر، يوجد على أعماق مختلفة ضمن صخور مسامية ويسمى: (نفط) في اللغة العربية.

في اللغة الإنجليزية Petroleum .

في اللغة الفرنسية Pétrole .

في اللغتين الإسبانية والبرتغالية Pétrole (نسرين، 2005، 2004)

## ✓ مكوناته:

مع التقدم المستمر وتطور الآليات تمكن الإنسان من التأكد والتعرف على التكوين الكيماوي الدقيق لهذه الموارد ونسبه: الكربون (84-87)% ، الهيدروجين (11\_14) %، الكبريت (4\_0,8) %، النتروجين (1\_0,2) %، الأكسجين (1\_0,2) % . (قريش، 2000 2001)

## ✓ تواجده:

يتواجد البترول في حالة سائلة كالبترول الخام أو حالة غازية، كغازات البترول الغاز الطبيعي، كما قد تكون مختلطة بنسب مختلفة حسب مناطق تواجدها الجغرافي فهناك مناطق يتواجد فيها البترول الخام المختلط مع نسبة قليلة من الغاز الطبيعي، كما هو الحال في الخليج العربي وخليج السويس، كما قد تغلب نسبة الغاز الطبيعي في مناطق أخرى كالجزائر وبحر الشمال.

## ثانيا: الغاز الطبيعي:

يعتبر الغاز الطبيعي مزيج من المواد الهيدروكربونية وغير الهيدروكربونية وغالبا ما يكون متواجدا مع النفط مذابا او طافيا على السطح وفي هذه الحالة يسمى مصاحب، كما توجد حقول تحتوي على الغاز الطبيعي في شكل مستقل ويسمى حر.

كما يعرف النفط في صورته الغازية بالغاز الطبيعي، ويوجد في الطبيعة مستقلا في مكامن خاصة في باطن الأرض، أو مرافقا للزيت الخام في نفس المكامن، حيث ينتشر فوق الطبقة الحاوية للزيت، أو متحدا وذائبا في الزيت الخام.

وقد عرف الإنسان الغاز منذ أمد بعيد، فالنار التي عبدها الفرس كانت مجرد غاز منبعث من باطن الأرض واشتعل لسبب أو آخر وفي بداية القرن التاسع عشر استخرج الغاز الطبيعي من الفحم في الولايات المتحدة حيث تم في مدينة بالتيمور بولاية ماريلاند إنشاء أول شركة لبيع الغاز عام 1816م ومنذ بداية اكتشاف النفط وحتى الثلاثينات من هذا القرن كان الغاز المصاحب للزيت يحرق للتخلص منه لأن الجدوى الاقتصادية لنقله إلى أماكن استخدامه لم تكن مشجعه للشركات المنتجة للزيت، ومع تطور صناعة الأنايب، الخزانات الكروية والأسطوانية، في نفس الوقت الذي تطورت فيه سبل استخدام الغاز زاد الإقبال على الغاز الطبيعي كأحد مصادر الطاقة، فبعد أن كان يمثل 10% من مجموع الطاقة في 1950 ثم أكثر من 18 % في بداية الثمانينات.

من أهم أنواع الغاز الطبيعي الميثان والإيثان، حيث يمكن فصلهما من خلال عملية التكرير، وللميثان والإيثان طاقة حرارية مرتفعة ويستخدمان كوقود في معامل التكرير، ويمكن تسيل الغاز الطبيعي حيث أن الغاز الطبيعي يتكون من عنصري: الكربون والهيدروجين وكلما قلت ذرات الكربون كلما قلت حاجته للحرارة حتى يتحول غالى سائل. (علي، 2004)

## ثالثا: الفحم الحجري:

الفحم الحجري من أهم مصادر الطاقة الأحفورية من حيث حجم احتياطه، فالفحم الحجري يتكون داخل باطن الأرض على مدى ملايين السنين وذلك بسبب تحلل مصادر نباتية بسبب العمليات البيولوجية في أماكن ذات الضغط الشديد والحرارة ومعزولة عن الهواء.

✓ هو عبارة عن صخر أسود أو بني اللون قابل للاشتعال والاحتراق وعند احتراقه يعطي طاقة على شكل حرارة، ويمكن استعمال الحرارة الصادرة عن احتراقه في تدفئة المنازل وإنتاج الكهرباء...، يساهم حاليا حوالي 24% من الاستهلاك العالمي من الطاقة.

## ✓ أهمية الفحم الحجري :

- يمثل أكبر احتياطي عالمي من بين مصادر الطاقة الأولية.
- يستخدم كمصدر أولي للطاقة في المراحل التجارية وتوليد الطاقة.

- يعتبر مادة خام في بعض الصناعات البيتروكيميائية، (رضا، 2010-2011)

## 2.1.I- الموارد الطاقوية المتجددة

تحقق الطاقة المتجددة أهدافا اقتصادية عديدة؛ مما دفع دولا عديدة إلى الاهتمام بتطوير هذا المصدر من الطاقة وتضعه هدفا تسعى لتحقيقه.

### 1.2.1.I- تعريف الطاقة المتجددة:

يمكن تعريفها على أنها الطاقة المستمدة من الموارد الطبيعية التي تتجدد أو التي لا يمكن أن تنفذ ومصادر الطاقة المتجددة، تختلف جوهريا عن الوقود الأحفوري من بترو و فحم والغاز الطبيعي... حيث أن مخلفاتها لا تحتوي على غازات، وملوثات أخرى كما في احتراق الوقود الأحفوري) وتنتج عن الرياح والمياه والشمس، وتستخدم على نطاق واسع في البلدان المتقدمة وبعض البلدان النامية، لكن وسائل إنتاج الكهرباء باستخدام مصادر الطاقة المتجددة أصبح مألوفاً في الآونة الأخيرة، وذلك لتجنب التهديدات الرئيسية لتغير المناخ بسبب التلوث واستفاد الوقود الأحفوري، بالإضافة للمخاطر الاجتماعية والسياسية للوقود الأحفوري والطاقة النووية " (عروس، 2015)

### 1.2.1.I- مصادر الطاقة المتجددة:

يرتبط إنتاج الطاقة المتجددة ارتباطا مباشرا بمصادر الطاقة وهي على عدة أنواع أهمها:

**أولاً: الطاقة الشمسية:** تعد الشمس من أكبر مصادر الضوء والحرارة على وجه الأرض، وتوزع هذه الطاقة المتولدة من تفاعلات الاندماج النووي داخل الشمس على أجزاء الأرض، حسب قربها من خط الاستواء وهذا الخط هو المنطقة التي تحظى بأكبر نصيب من تلك الطاقة، والطاقة الحرارية المتولدة عن أشعة الشمس يستفاد منها عبر تحويلها إلى طاقة كهربائية بواسطة الألواح الشمسية: ولقد قدرت إمكانية الطاقة الشمسية النظرية التي توضح قدرة الإشعاع على سطح كوكب الأرض المتاحة نظريا الأغراض الطاقة بـ:  $3.9 \times 10^6$  اكسغل / السنة.

**ثانياً: طاقة الرياح:** وهي الطاقة المتولدة من تحريك ألواح كبيرة مثبتة بأماكن مرتفعة بفعل الهواء، ويتم إنتاج الطاقة الكهربائية من الرياح بواسطة محركات (توربينات) ذات ثلاثة أذرع دوارة تحمل على عمود وتعمل على تحويل الطاقة الحركية للرياح إلى طاقة كهربائية، فعندما تمر الرياح على الأذرع تنتج دفعة هوائية ديناميكية تتسبب في دورانها وهذا الدوران يشغل التوربينات فتنتج طاقة كهربائية.

**ثالثاً: الطاقة المائية:** تعتبر الطاقة المائية أحد أهم مصادر الطاقة المتجددة، إذ تستمد القدرة من طاقة المياه المتحركة من المرتفعات العليا إلى الأراضي المنخفضة، وقد أثبتت هذه التكنولوجيا جدارتها، كما تعتبر ناضجة ويمكن التنبؤ بها وتكلفتها تنافسية. وتعتبر محطة الطاقة المائية على نهر فوكس بالولايات المتحدة الأمريكية التي تم إنشائها في سنة 1882 أول محطة للطاقة المائية بقدرة 2.5 كيلو واط.

**رابعاً: الطاقة الحيوية:** تكمن الطاقة الحيوية بصورة معقدة في نظم الكتلة الإحيائية العالمية لإنتاج الغذاء والعلف والألياف، وكذلك في إدارة المخلفات والنفايات... الخ وهناك أساليب مختلفة لمعالجة أنواع الوقود الحيوي منها الحرق المباشر وطرق التخمر والحل الحراري.

**خامساً: الطاقة البحرية:** وهي الطاقة المستمدة من التكنولوجيات التي تستخدم مياه البحر كقوة دافعة لها أو تسخر إمكانية الماء الكيميائية أو الحرارية ويستمد مصدر الطاقة المتجددة في المحيط من سنة مصادر مختلفة كل منها له أصول مختلفة ويتطلب تكنولوجيا مختلفة للتحويل، وهذه المصادر هي طاقة الأمواج نطاق المد (ارتفاع المد وهبوطه، تيارات المد والجزر تيارات المحيط، تحويل الطاقة الحرارية للبحار وتتجاوز الإمكانيات النظرية الكامنة في المحيطات 7400 اكسغل / سنويا الاحتياجات البشرية الحالية من الطاقة. إلا أنها لا تزال في مرحلة وليدة من التطور.

**سادسا: الطاقة الحرارية:** الأرضية وهي الطاقة الحرارية الموجودة في مجموعة من الصخور والرواسب أو التربة بما في ذلك السوائل الموجودة، والتي تكون متاحة للاستخراج والتحويل إلى منتجات الطاقة، وينتج مصدر الطاقة الحرارية الأرضية من أي تدفق إلى الخارج أو توليد للطاقة داخل النظام خلال فترة زمنية محددة. (دغموم هشام، 2019).

## 2.I- الجانب النظري للهيدروجين الأخضر:

### 1.2.I- ماهية الهيدروجين:

الهيدروجين في اللغة اليونانية هو اسم مشتق من « هيدرو »، وهي تعني « ماء » « جين »، تعني « تكون »، كما يسمى في الترجمات الحديثة « المؤهن » على وزن فعلن من الماء أي الماء، أما اللغة الفرنسية يعني مكون الماء، بينما في اللغة الإغريقية فيعني « ماء تكون » وبالتالي هو الغاز عديم اللون والرائحة في ظروف الحرارة العادية والضغط القياسية، وهو سريع الاشتعال، وهو أخف الغازات وأكثرها تواجدا في الطبيعة، بحيث يوجد في الماء بدرجة كبيرة وكل المركبات العضوية والكائنات الحية.

وقد تم التعرف عليه كأول مرة كمادة منفصلة تماما في عام 1766 من طرف « هنري كافيندش » من خلال تفاعلات الزئبق مع الأحماض، وقد أعطى « أنطوان لا فوازيه » هذا الاسم للهيدروجين، كما أنه هو من أثبت أن الماء يتكون من هيدروجين والأكسجين، وكان المنطاد من أول استخدامات الهيدروجين كغاز. والهيدروجين الحر متواجد في الجو الشمسي وفي الغازات البركانية، وفي الجو الأرضي بمقدار جزء من مليون (نسبة حجمية)، سرعته الجزيئية عند درجة الحرارة العادية جدا مما يسمح له بالخروج من مجال الجاذبية الأرضية وهو يوجد بمقدار 0.9% من القشرة الأرضية. (العزیز، 2018-2019).

### الشكل 01: يبين ألوان الهيدروجين الأساسية:



المصدر: (لامير، 2022)

من خلال الشكل يوضح ألوان الهيدروجين بحيث يكون الهيدروجين الأزرق عند إنتاجه في عملية صناعية؛ حيث يفصل الكربون الملوث، فيستخدم أو يدفن تحت الأرض ونظرا لانبعاث الكربون، يعدّ الهيدروجين الأزرق منزوع الكربون صديقا للبيئة تحت الأرض، ويشير الهيدروجين التركوازي إلى الهيدروجين الذي ينتج أيضا من الغاز الطبيعي، ولكن بعد تحويل نفايات الكربون إلى مادة صلبة يمكن استخدامها في تطبيقات مختلفة؛ مثل تصنيع الإطارات أو تحسين التربة، ويعد كل من الهيدروجين الأزرق والتركوازي وقودين منخفضي الانبعاثات، وصديقي للبيئة، ولازمين في عملية تحول الطاقة.

## 2.2.I- مفهوم الهيدروجين الأخضر:

الهيدروجين الأخضر العنصر الأكثر وفرة في الكون وما ذلك فإن الهيدروجين ليس مصدرا للطاقة في حد ذاته، ولكنه ناقل للطاقة ويتم إنتاجه عن طريق تفاعل كيميائي من مورد أساسي، وهكذا يستخدم الهيدروجين اليوم بشكل رئيسي في القطاع الصناعي لإنتاج الأمونيا والميثانول وكذلك في عمليات تكرير المنتجات البترولية والوقود الحيوي. (Economics، 2018).

### 2.I. 3- مراحل تخزين الهيدروجين:

مراحل تخزين الهيدروجين تأخذ عدة أشكال وهي في ذاتها ترفع من كفاءته كمصدر للطاقة حيث يتم تخزين الهيدروجين السائل المنتج بكفاءة في خزانات معزولة ويمكن تركيبها عموديا أو أفقيا، ويتم تخزين الهيدروجين الغازي في كهوف الملح تحت الأرض حيث يتم تنقية الغاز وضغطه قبل حقنه في الكهوف. ويتم تخزين الهيدروجين بثلاث طرق الضغط أو التبريد أو الهجين، كذلك يمكن تخزينه في شكل مواد صلبة أو سائلة أو مواد سطحية ويراعى عند تخزينه في صورته السائلة في كهوف الملح والمناجم المهجورة توفير عوامل الأمان، لأنه قد يؤدي التخزين في المناطق الجغرافية مثل كهوف الملح أو المناجم القديمة إلى تلوث الهيدروجين بما يؤدي إلى ضرورة تنقيته قبل استخدامه. والهيدروجين المضغوط قد يواجه بعض الصعوبات كأن تكون البنية التحتية ليست كافية ولا يمكن استخدام الغاز الطبيعي بجانب قدرته على التبخر، كذلك لابد من التحكم في تغيرات درجات الحرارة أثناء نق الهيدروجين المضغوط لتقليل الخسائر مع ضرورة تزويد محطات الوقود بالهيدروجين اللازم. (الرحمن، 2022).

### 2.I. 4- مميزات الهيدروجين الأخضر:

يتم إنتاج الهيدروجين من الماء بطريقة التحلل الكهربائي للماء. إن الطاقة اللازمة لكسر جزيئة الماء وتوليد الهيدروجين هي أكبر من الطاقة المتولدة نتيجة حرق الهيدروجين وإعادة تكوين الماء لان عملية تفكك الماء هي عملية ماصة للحرارة (Endothermic) بينما عملية تكوين الماء من الهيدروجين والأكسجين هي عملية باعثة للحرارة (Exothermic)، أي أن هناك طاقة يتم خسارتها على شكل حرارة عند توليد الطاقة الكهربائية من الهيدروجين. الشكل (2) يبين هذه العملية. هذا يعني إن إنتاج الطاقة الكهربائية من الهيدروجين هي عملية خاسرة للطاقة الكهربائية حيث يتم استهلاك طاقة كهربائية أثناء التحلل الكهربائي للماء لإنتاج الهيدروجين أكبر من الطاقة الكهربائية التي سيرجعها الهيدروجين. بشكل عام فإن لكل مول واحد من الماء تتولد خسارة قدرها  $1.5\text{E}V$  لذلك فإن إنتاج الهيدروجين بالطرق التقليدية ليس ذو جدوى اقتصادية، في الآونة الأخيرة وبعد انتشار مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية، تولدت مشكلة الفائض بالطاقة في أوقات الذروة الشمسية والتي تضيع عادة بسبب عدم إمكانية تخزين هذه الطاقة، لذلك اتجهت الأنظار نحو الاستفادة من هذه الطاقة الفائضة في توليد الهيدروجين من الماء أثناء أوقات الذروة الشمسية ومن ثم الاستفادة من هذه الطاقة لاحقا. إن الهيدروجين المتولد بهذه الطريقة يسمى الهيدروجين الأخضر إذ يتم توليده من طاقة نظيفة فائضة فلا يكون لخسائر الطاقة المذكورة أنفا ذو تأثير. (خليفة، ماي 2022).

### 2.I. 5- الهيدروجين: نقله؛ صناعته؛ تخزينه

**أولا: النقل:** عبر دمج الهيدروجين مع الأكسجين في خلية وقود، يمكن إنتاج الكهرباء، والمنتجات الثانوية الناجمة عن هذه العملية هي الماء والحرارة، يمكن أن تشغل الكهرباء، المنتجة المحركات الكهربائية وأن تستبدل محركات الاحتراق الداخلي التي تعمل على الوقود الأحفوري لتشكيل بديل تنقل منخفض انبعاثات الكربون، ولهذا البديل بعض من الحسنة مقارنة بالمركبات الكهربائية الحالية، بما أنه يتيح السير لمسافات أطول ولا يستغرق تزويده بالوقود سوى بعض دقائق.

**ثانيا: الصناعة:** سيكون الهيدروجين مهم جدا كمادة تسهم من التخلص من انبعاثات الكربون في الصناعات التي تولد كميات عالية منها مثل قطاعات الفولاذ والإسمنت والكيماويات، ففي قطاع الفولاذ مثلا: يتسبب معالجة خام الحديد إلى حديد نقي عن إنتاج ثاني أكسيد الكربون، وفي حال تمت معالجة الحديد إلى حديد نقي باستخدام الهيدروجين، لن تحدث أي انبعاثات كربونية مباشرة.

ثالثاً: التخزين: يمكن استخدام الهيدروجين لتخزين الكهرباء لفترات طويلة، فمن الممكن استخدامه على سبيل المثال للاستفادة من ذروة إنتاج الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة من أجل تشغيل عملية التحليل الكهربائي لإنتاج الهيدروجين من الماء ومن ثم يمكن نقله في السفن أو الأنابيب لمسافات طويلة واستخدامه في مكان آخر. (-العراق)

الشكل 02: يبين أنواع الهيدروجين وخصائصه

الهيدروجين الأزرق	الهيدروجين الرمادي	الهيدروجين الأخضر
H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>
الغاز الطبيعي الفحم	الغاز الطبيعي الفحم	الطاقة المائية طاقة الرياح الطاقة الشمسية
إعادة تشكيل غاز الميثان بالبخار + عزل الكربون وتخزينه تغويز الفحم + عزل الكربون وتخزينه	إعادة تشكيل غاز الميثان بالبخار تغويز الفحم	استخدام الكهرباء المولدة من مصادر الطاقة المتجددة
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
التكلفة	التكلفة	التكلفة
القبول الاجتماعي	القبول الاجتماعي	القبول الاجتماعي
يقلل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة تصل 90%	ينتج ما يعادل 9 كجم ثاني أكسيد الكربون لكل 1 كجم هيدروجين	صديقة للبيئة
مصادر الطاقة الأولية	الطرق الرئيسية الإنتاج	الخصائص
الأثر البيئي		

المصدر: (العربية، 2022)

من خلال الشكل يشرح ان الهيدروجين يتحلى بخصائص كيميائية وفيزيائية ممتازة تمنحه صفه المحروق المستقبلي الشامل، كما يتميز بقدرته الحرارية والكتلية العالية ولهذا ينتج عن تفاعل الهيدروجين مع الأكسجين تحرير كمية حرارة كبيرة، ويصاحب هذا التفاعل تشكل الماء، ويعتبر الهيدروجين أكفاً 30 % من البنزين لدى استعماله في المحركات، وبالرغم من أن للهيدروجين مجال واسع للاشتعال في الهواء فإن الخطورة في اشتعاله تلقائياً أو انفجاره محدودتين، وهذا راجع إلى قدرته الكبيرة في الانتشار بسرعة في الهواء، فالهيدروجين يتسرب دائماً في الهواء ويصعد إلى الأعلى ويتقلص تركيزه بسرعة كبيرة، ونظراً لصغر حجم الهيدروجين فإنه يمتاز بقدرة عالية في النفاذ من خلال الأغشية والمواد المسامية، وهذه الخاصية تزيد من تكلفة نقله وتخزينه خاصة عند استعماله كوقود لوسائل النقل.

## 2.I. 6- التكاليف والآثار الاقتصادية للهيدروجين:

إن تكاليف التقاط وتخزين وتوزيع وعزل ثاني أكسيد الكربون من 100 دولار أمريكي إلى 140 دولار أمريكي للطن المتري حتى بعد عقود من التحسين تشهد تخفيضات هائلة في التكلفة مستقبلاً، مقارنةً بالتحليل الكهربائي الذي يعمل بكفاءة 25 % ولكنه أعلى بكثير من الهيدروجين الرمادي المستخدم حالياً.

في حين أن الهيدروجين المصنوع من الغاز الطبيعي باستخدام إعادة تشكيل غاز الميثان بالبخار (SMR) قد يكون له تكلفة تصنيع تبلغ 800 دولار للطن، فإن التفاضل الكربون وعزله سيضيف تكلفة في حدود 800 دولار إلى 1400 دولار، مما يرفع التكلفة إلى متوسط 1900 دولار للطن، هذا أقل من نصف تكلفة الهيدروجين الأخضر لشركة إيني لكنه لا يزال أعلى بخمس مرات من الغاز الطبيعي لكل وحدة طاقة قبل ارتفاع أسعار الغاز الطبيعي، حتى الهيدروجين الرمادي لا يزال أعلى بعدة مرات لكل وحدة طاقة من الغاز الطبيعي المصنوع منه. يعتبر غاز الميثان من مصادر الوقود الأحفوري ويحتوي على إمكانية احتراق عالمية تقدر بـ: 82.5 مرة من ثاني أكسيد الكربون على مدى 20 عاما وفقا لأحداث تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (PCC) بعيدا عن الختم الدقيق للغاية وصيانة جميع البنية التحتية لاستخراج الميثان ومعالجته وتوزيعه. (Observatory، 2020).

## I.2.7 استدامة الطاقة:

التنمية الاقتصادية مستدامة تستلزم الاعتماد على اقتصاد بيئي تحركه مصادر الطاقة المأخوذة من الشمس أو بطاقة الحرارة الجوفية من باطن الأرض الذي تعتمد على الهيدروجين بدلا من الفحم، فإن الاقتصاد المبني على الوقود الأحفوري لا يقدم نموذجا قابلا للبقاء في العالم، وستسير السيارات والحافلات بمحركات خلايا الوقود التي تحركها الكهرباء المولدة عن طريق عملية كهرومائية باستخدام الهيدروجين كوقود. إن جميع القرارات الاقتصادية تعتمد على مؤشرات السوق فالسوق يخفض سعر المنتجات والخدمات بصورة منتظمة لعدم دمج التكاليف البيئية ويمكن المقارنة بين الكهرباء الناتجة من طاقة الرياح التي هي أنظف مصدر للطاقة المتجددة من تلك التي تولدها محطة قوى تدار بالفحم الذي يعد أكثر مصدر طاقتوي أحفوري تلوثا للبيئة.

إن البحث عن وقود بديل للوقود الأحفوري أصبح أمرا حتميا ولذلك عكف العلماء على دراسة دامت سنوات لكي يتم تطوير الطاقة البديلة والبحث عن مصادر جديدة فوصل العلماء في مركز الطاقة المتجددة في الولايات المتحدة الأمريكية إلى ابتكار جهاز واحد يفصل بين الهيدروجين والماء وتحويله إلى طاقة كهربائية في نفس الوقت يستخدم أكثر من 12,5% من الإشعاع الشمسي. (الغني، 2023).

## I.3- أفاق الدول العربية في استثمار الهيدروجين الأخضر

### I.3.1- المشاريع والاستثمارات الهيدروجينية:


-بالنسبة للإمارات: مشروع أول منشأة لإنتاج الهيدروجين الأخضر في مجمع محمد بن راشد آل مكتوم للطاقة الشمسية، وتأسيس مشروع محطة تجريبية في مدينة مصدر لتطوير الهيدروجين الأخضر والوقود المستدام وإنتاج الكيروسين من الكهرباء لأغراض النقل والشحن والطيران وتوير مشروع لإنتاج أمونيا خضراء بقدرة 2 جيجاواط من الهيدروجين الأخضر على مستوى القطاع الصناعي في مدينة خليفة الصناعية في أبو ظبي، وبناء مصنع هيدروجين وأمونيا بقيمة مليار دولار أمريكي يعمل بالطاقة الشمسية يقع في منطقة خليفة الصناعية.

-بالنسبة للسعودية: مشروع نيوم لإنتاج الهيدروجين الأخضر بسعة 4 جيجاواط ويعد أكبر مشروع هيدروجين أخضر في العالم، مصنع إنتاج الأمونيا الزرقاء في الجبيل، ومشروع حقل الجافورة الذي تبلغ قيمته 110 مليار دولار أمريكي لإنتاج الهيدروجين الأزرق عن طريق تحويل الغاز الطبيعي واحتجاز انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

-بالنسبة لعُمان: مصنع لإنتاج الهيدروجين الأخضر من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في ميناء الدقم بقدرة تشغيل تصل إلى 500 ميجاواط، ومشروع لإنتاج الهيدروجين الأخضر من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في المنطقة الحرة بصحار، ومشروع لإنتاج الهيدروجين الأخضر في المنطقة الحرة بصلالة ( جوان 2022).



الجدول 01: إجمالي عدد المشاريع الإستراتيجية المخطط تنفيذها والمعلنة وفقا لنوع إنتاج الهيدروجين في الدول العربية أكتوبر 2021

					
	الأمونيا الزرقاء	الهيدروجين الأزرق	الأمونيا الخضراء	الهيدروجين الأخضر	البيان
محطات إعادة التعبئة بالهيدروجين	-	-	-	-	
مصر	2	1	1	3	
عمان	-	1	3	2	
الإمارات	-	1	1	3	
السعودية	-	1	-	1	
العراق	-	2	-	-	
موريتانيا	-	-	1	1	
الجزائر	-	-	-	1	
المغرب	-	-	-	1	

حصة دول مجلس التعاون من المشاريع المخططة والمعلنة لإنتاج الهيدروجين الأخضر إقليمياً.

50%



حصة دول مجلس التعاون من المشاريع المخططة والمعلنة لإنتاج الهيدروجين الأخضر والأزرق إقليمياً.

50%



حصة دول مجلس التعاون من المشاريع المخططة والمعلنة لإنتاج الأمونيا الخضراء والزرقاء إقليمياً.

50%



المصدر: (العربية، فيفري 2022)

الشكل يوضح ان استراتيجيات الدول العربية لطاقة الهيدروجين الاخضر حيث ان من المقرر أن تبدأ الإمارات العربية المتحدة تشغيل مشروع هيدروجين أخضر يعمل بالطاقة الشمسية في عام 2020، وقد أشعت محطة لتزويد السيارات بالهيدروجين تعمل منذ عام 2017، وهناك مشروع للبحث في إمكانية إنشاء مجتمع قائم على الهيدروجين، بالإضافة إلى أنه توجد محطة لتزويد السيارات بالهيدروجين في المملكة العربية السعودية تعمل منذ عام 2019، كما تم إطلاق مركز جديد للهيدروجين يهدف إلى بناء إقتصاد حول الهيدروجين الأخضر في بداية عام 2020، والخطط جارية لتأسيس منشأة لإنتاج الهيدروجين بسعة 500 ميجاواط في عمان، بالإضافة إلى إطلاق شراكة للبحث في إنتاج الهيدروجين الأخضر في عام 2019، كما توجد هناك خطط إستثمارية لمنشأة لإنتاج الهيدروجين الأخضر في المغرب. (العربية، فيفري 2022).

### I.3.3- أبرز التحالفات الوطنية والدولية في مجال إنتاج الهيدروجين النظيف لدول مجلس التعاون حتى فيفري 2022:

أولاً: الإمارات

-تحالف وطني (جانفي 2021): تحالف أبو ظبي للهيدروجين: يتألف من 3 شركات المتمثلة من شركة بترول أبو ظبي الوطنية \_ أدنوك\_ ومبادلة للاستثمار والشركة القابضة، بهدف التعاون لترسيخ مكانة أبو ظبي كمصدر موثوق للهيدروجين في الأسواق الناشئة، وكذلك توحيد جهود بناء اقتصاد هيدروجين أخضر في الإمارات.

-تحالف وطني ماي 2021: شركة أبو ظبي الوطنية للطاقة وموانئ أبو ظبي: مشروع إنتاج الأمونيا بالإعتماد على الهيدروجين الأخضر.

-تحالف وطني نوفمبر 2021: أدنوك\_وطاقة\_ ترسخ ريادة الإمارات في مجال الطاقة المتجددة والهيدروجين الأخضر.

-تحالف دولي جانفي 2022 : شركة فير تيجلوب وشركة أبو ظبي لطاقة المستقبل (مصدر) وشركة إنجي: سوف تتعاون الشركات لتطوير محطة لإنتاج الهيدروجين الأخضر بتكلفة تنافسية عالمية في الإمارات، وذلك لدعم إنتاج الأمونيا الخضراء.

ثانيا: السعودية تحالف دولي جوان 2020: "نيوم" و"إيربرودكتس" و"أكوابارو": لبناء منشأة تعمل بالطاقة المتجددة لإنتاج وتصدير الهيدروجين إلى الأسواق العالمية، بطريقة صديقة للبيئة لتوفير حلول مستدامة لقطاع النقل العالمي، ولمواجهة تحديات التغير المناخي من خلال حلول عملية لتخفيض الانبعاثات الكربونية.

ثالثا: عمان تحالف وطني: تحالف وطني أوت 2021: "هاي فالي" يتألف من 13 مؤسسة نفطية وبخيرية، ويهدف إلى إرساء مكانة راسخة للسلطنة على خريطة تطوير إنتاج الهيدروجين النظيف واستدامته.

رابعا: تحالف دولي: أكتوبر 2021: صالة 2: مجموعة تتألف من مجموعة "أكيو" وشركة "ماروبيني" وشركة "لندي" وشركة دبي للنقلبات "دوتكو" وقعت على اتفاقية تطوير مشتركة لتطوير مشروع الهيدروجين الأخضر والأمونيا الخضراء في المنطقة الحرة بصلالة. (العربية، فيفري 2022)

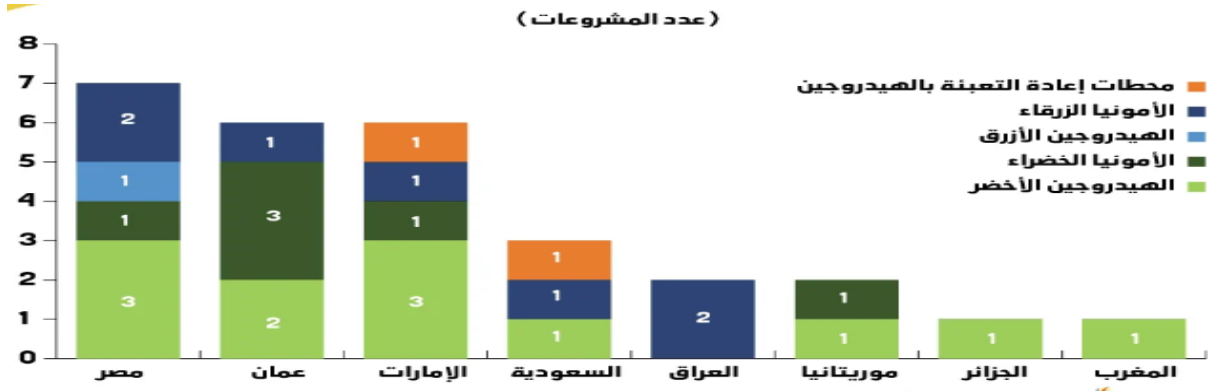
### I.3.4- تصدير الهيدروجين من منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا إلى أوروبا

- إن الموقع الجغرافي لمنطقة الرق الأوسط وشمال إفريقيا كمنطقة مجاورة للاتحاد الأوروبي يجعلها الموقع الأمثل لتلبية الطلب على الهيدروجين الأخضر في الاتحاد الأوروبي والذي يشهد تزايد سريعا؛
- تتمتع المنطقة بوفرة من إمكانات مصادر الطاقة المتجددة نظرا إلى تسجيلها أعلى مستويات الإشعاع الشمسي وطاقه رياح جيدة، ويمكن طرح إنتاج الهيدروجين الأخضر أن يعالج تحديات حالية مثل: ذروات توليد الطاقة في مشاريع الطاقة المتجددة وتخزين الطاقة؛
- يمكن ضخ الهيدروجين في شبكات أنابيب الغاز الطبيعي في دول منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا إذا يمكن استخدام البنية التحتية الموجودة بما يفيد في حلول الطاقة الخضراء بمدف تقليل الغاز الطبيعي وانبعاثات الكربون؛
- يعتبر الهيدروجين فرصة عظيمة لتنويع الاقتصاد خصوصا بالنسبة للدول المصدرة للنفط والغاز، إذا يمكن استخدام الطاقة المنتجة من الهيدروجين في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا للإنتقال من استهلاك النفط والغاز إلى مصادر الطاقة المتجددة والخضراء؛
- بالنسبة إلى منطقة المغرب العربي يمكن استخدام خطوط أنابيب الغاز الموجودة والتي تربط شمال إفريقيا بالاتحاد الأوروبي في نقاط متعددة من أجل تصدير الهيدروجين، سواء من ليبيا وتونس والجزائر إلى إيطاليا أو الو من المغرب والجزائر إلى اسبانيا. (-العراق)

### I.3.5- المشروعات المعلنة لإنتاج الهيدروجين في الدول العربية حتى أكتوبر 2021:

كانت دولة الإمارات السبابة عربيا بإطلاق مشروع للأمونيا الخضراء في ماي 2021، عندما أعلنت عن مشروع لإنشاء مصنع لإنتاج الأمونيا الخضراء باستخدام 40 ألف طن من الهيدروجين الأخضر بتكلفة تصل إلى مليار دولار، بينما أطلقت السعودية مشروعا ضخما ومتكاملا لإنتاج 1.2 مليون طن من الأمونيا الخضراء بقيمة 5 مليار دولار بالشراكة مع مؤسسة أمريكية، ويتضمن المشروع إنتاج 4 ميغاواط من الطاقة الشمسية وطاقه الرياح الكافية لإنتاج الهيدروجين الأخضر والذي يحول بعدها إلى أمونيا خضراء حيث يحتوي الطن الواحد من الأمونيا على 177 كيلوغراما من الهيدروجين، ويوصف هذا المشروع بأنه الأكبر في العالم وسيدخل مرحلة الإنتاج في 2025، ومن شأنه تحويل السعودية إلى أحد أقطاب تصدير الأمونيا الخضراء في المنطقة العربية، وفي مصر التي احتضنت في نوفمبر الماضي قمة المناخ "كوب27" أطلقت مشروع لإنتاج الأمونيا الخضراء في مرحلته الأولى، باستخدام الطاقة الشمسية ونحو 8 آلاف من الهيدروجين الأخضر لإنتاج 42 ألف طن من الأمونيا الخضراء في الأولى التجريبية. فمشاريع إنتاج الأمونيا الخضراء إنطلقت بقوة في الإمارات والسعودية، بينما ما زالت في مرحلة الإنتاج التجريبي في مصر، والإنتاج البحثي في المغرب، والدراسة في الجزائر. (الأناضول، 2022)

الشكل 03: المشروعات المعلنة لإنتاج الهيدروجين في الدول العربية حتى أكتوبر 2021



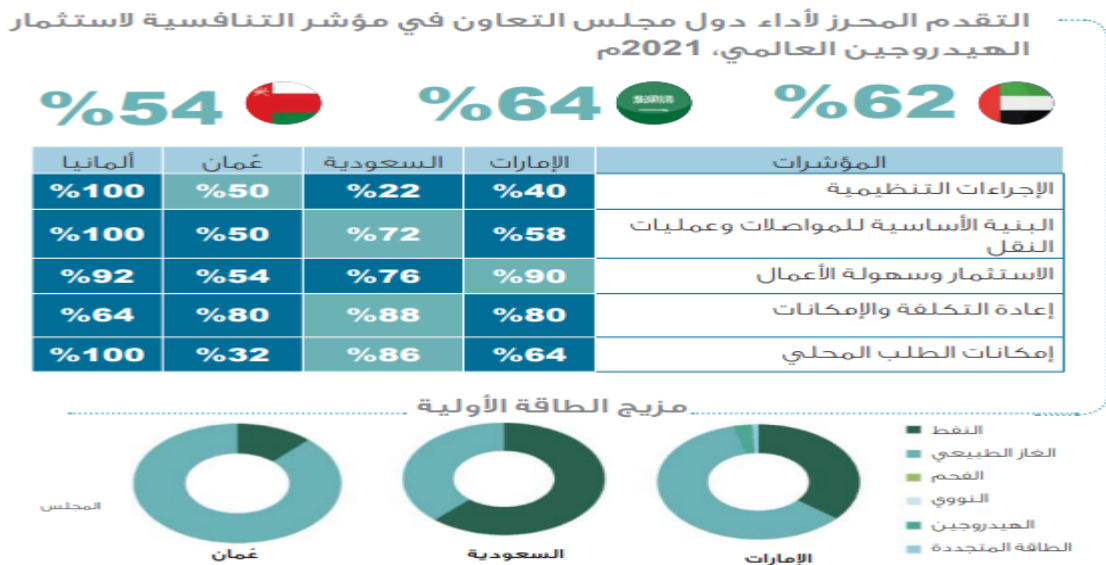
المصدر: (المشري، 2020)

نلاحظ من خلال الشكل السابق أن مصر تصدر الدول العربية في إنتاج الهيدروجين وذلك بثلاثة مشاريع في الهيدروجين الأخضر و مشروعين في الأمونيا الزرقاء ومشروع لكل من الهيدروجين الأزرق والأمونيا الخضراء، في عمان تتمركز في المرتبة الثانية بثلاثة مشاريع في الأمونيا الخضراء ومشروعين في الهيدروجين الأخضر ومشروع في الأمونيا الزرقاء، في حين تأتي الإمارات في المرتبة الثالثة بثلاثة مشاريع في الهيدروجين الأخضر ومشروع واحد لكل من الأمونيا الخضراء والأمونيا الزرقاء ومحطات إعادة التعبئة بالهيدروجين، ومشروع واحد في الهيدروجين الأخضر لكل من الجزائر والمغرب اللذان تعتبران في مرحلة الدراسة بعد.

3.I. 5- التقدم المحرز لأداء مجلس التعاون في مؤشر التنافسية للاستثمار الهيدروجيني العالمي 2021:

يتوقع أن تصل واردات الإتحاد الأوروبي من الهيدروجين إلى 100 مليون طن متري بحلول 2050، مع استيراد كل من ألمانيا وبلجيكا حوالي 25 مليون طن متري، في حين أن شرق آسيا وخاصة اليابان يمكن أن تستورد حوالي 85 مليون طن متري من الأمونيا، كما يمكن أن تغتنم دول المجلس الفرصة كون الهيدروجين ذات تكلفة تنافسية ليكون عامل تمكين رئيسي في إزالة الكربون العالمية.

الشكل 04: يبين التقدم المحرز لأداء مجلس التعاون في مؤشر التنافسية للاستثمار الهيدروجيني العالمي 2021:



المصدر: (العربية، فيفري 2022)

نلاحظ من خلال الشكل 04 أن دولة السعودية تحتل الصدارة فيما يخص مؤشرات التنافسية للاستثمار في طاقة الهيدروجين بنسبة تقدر بـ: 64%، وذلك من خلال الإجراءات التنظيمية المطبقة والبنية الأساسية للمواصلات وعمليات النقل حيث بلغت نسبة على التوالي % 72 % 22، و سهولة مناخ الاستثمار والأعمال المقدمة 76 %، كما بلغت نسبة إعادة التكلفة والإمكانات 88%، وإمكانات الطلب المحلي نسبة 86 %، وتأتي بعدها الإمارات بنسبة 62 % حيث نجد أن مؤشر الاستثمار وسهولة الأعمال بلغ 90 % وهذا ما يشجع على استقطاب الدول المهمة بالاستثمار في طاقة الهيدروجين، وتأتي عمان في المرتبة الثالثة بنسبة 54% حيث تراوح مؤشر إعادة التكلفة والإمكانات فيها 80%.

### 3.I.6- التطور الزمني لعدد مركبات الهيدروجين وعدد السكان والطلب على الهيدروجين السنوي:

بالنسبة لتطور عدد السكان في الجزائر وحسب دراسة (سميرة رحون وآخرون) فسيرتفع من 39.9 مليون نسمة سنة 2015 ليصل إلى 61.3 مليون نسمة بحلول 2045، أما بخصوص إختراق الطلب السنوي للسوق الجزائرية سيرتفع من 22.5 كيلو طن خلال الفترة (2015-2020) إلى ما قيمته 945.5 كيلو طن في الفترة (2040-2045) بنسبة إختراق 100% .

الشكل 05: يبين التطور الزمني لعدد مركبات الهيدروجين وعدد السكان والطلب على الهيدروجين السنوي:



المصدر: (العزیز، 2018-2019)

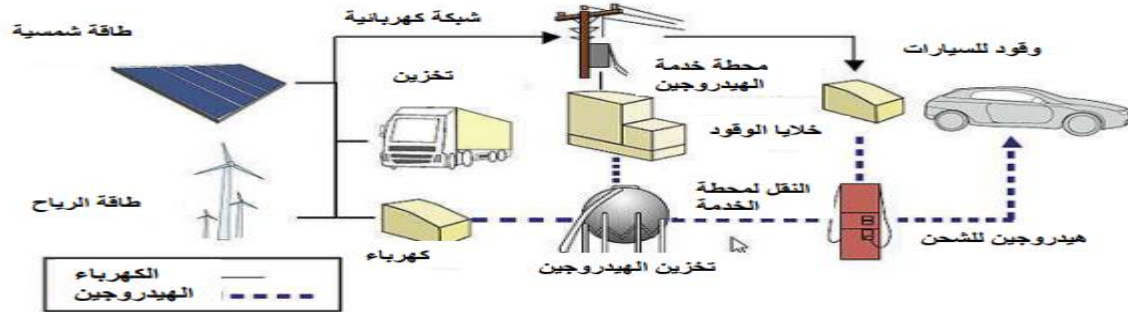
من الشكل نلاحظ ان الجزائر تسعى إلى تكثيف الجهود لتنويع مصادر الطاقة التي تضمن الاستدامة وتحمي البيئة من خلال تنفيذ العديد من السياسات النشيطة وبرامج النجاعة الطاقوية، من أجل دمج الهيدروجين في قطاع النقل البري كوقود، ونتيجة لزيادة عدد السكان مما يؤدي إلى زيادة استهلاك الوقود بسبب زيادة عدد المركبات حيث تعتبر المرحلة الأولى (2015-2020) مرحلة الدراسة للإستثمار في طاقة الهيدروجين حيث نلاحظ من خلال الشكل السابق أن نسبة الزيادة في عدد السكان متزايدة، وهذا التزايد سيرافقه زيادة في الطلب على طاقة الهيدروجين الذي أصبح توجه العديد من الدول العربية منها والعالمية، كما سيكون هناك في المستقبل سيارات تعتمد على مادة الهيدروجين حيث سيبلغ الطلب إلى ما يقارب حوالي 945.5 كيلو طن في الفترة (2040-2045).

### 3.I.7- استخدامات الهيدروجين اقتصاديا:

الواقع تواجه الطاقات المتجددة بالإضافة إلى خصائصها المتقطعة، بعض القيود حيث توجد فجوة بين العرض والطلب على الطاقة، ومن ثم فمن الضروري تخزينها في شكل من أشكال الطاقة مع كثافة عالية، وبالإضافة إلى ذلك يجب أن يوفر هذا الشكل من الطاقة إمكانية التخزين على فترات طويلة والنقل دون خسارة كبيرة، سوف يكون اقتصاد الطاقة المستقبلي يعتمد على العديد من تكنولوجيات الطاقة المتجددة والمتكاملة القائمة على

الخلايا الكهروضوئية، والرياح، والطاقة المائية، والطاقة الحرارية الأرضية، حيث يمكن استخلاص الهيدروجين باعتباره أقوى أنواع الوقود، ويمكن استخدام الهيدروجين إما للتخزين أو لتوليد الكهرباء في أنظمة الطاقة، كما هو موضح في الشكل التالي:

الشكل 06: نظام إنتاج واستخدام وتخزين الهيدروجين



المصدر: (العزير، 2018-2019)

من خلال الشكل يوضح استخدامات المختلفة للهيدروجين الأخضر، لذلك يعتبر الهيدروجين كأفضل مورد طاقي مرشح لتجاوز العقبات فهو واحد من الموارد الحيوية التي تعطي الأمل على المدى القصير من الطاقة من حيث الوفرة من جهة، والعناصر الكيميائية التي يحتويها من جهة أخرى، حيث أصبح مصدرا للعديد من الاستعمالات الحديثة مثل أبراج الهاتف الخليوي والطرق العامة، وهو مصدرا للطاقات المتجددة المتعددة الاستعمالات، فهو وقود عام يمكن حرقه في محرك أو دمج في خلية تعمل بالوقود لتوفير الطاقة للمباني والسيارات أو أي شيء يستخدم الطاقة الكهربائية.

#### I.4-المكانة الدولية في الاستثمار في الهيدروجين الأخضر:

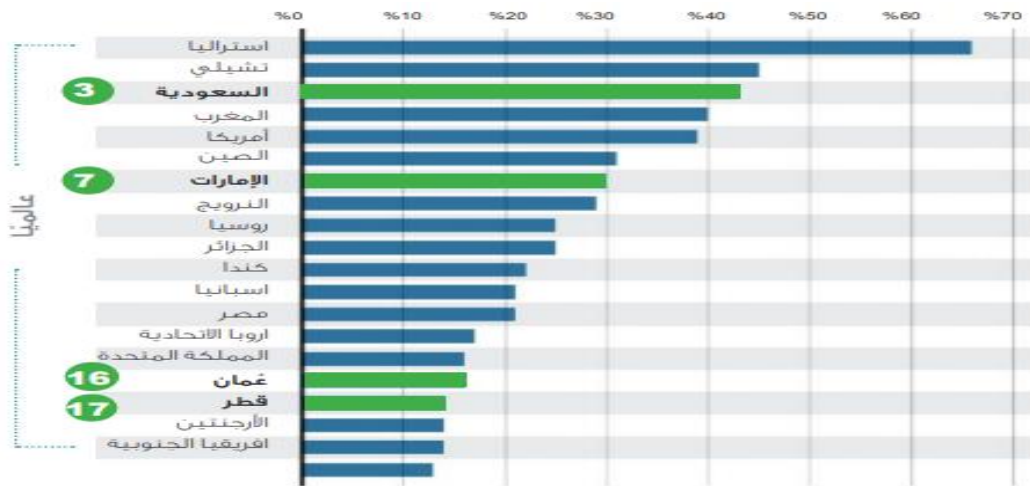
##### I.4.1 برامج الهيدروجين السياسية في بعض الدول الرئيسية:

- في الإتحاد الأوروبي هناك مشروع بقيمة 170 مليون يورو للسيارات التي تعمل بالهيدروجين في مرحلته الثانية حاليا، لإثبات الجدوى العلمية للسيارات التي تسير بخلايا الوقود وتوسيع شبكة محطات وقود الهيدروجين في الإتحاد الأوروبي.
- تسعى الصين بما لديها من عدد متنامي من السيارات إلى تحويل السيارات بعيدا عن تحويل الوقود الأحفوري بسرعة من أجل تقليل التلوث في بيئتها، والذي أصبح أحد التحديات السياسية الرئيسية للحكومة، وبعد التحويل الناجح إلى الكهرباء للمركبات التي تسير مسافات قصيرة ومنها 250 مليون من المركبات ذات العجلتين و0.4 من حافلات المدن الموجودة حاليا على الطرق الصينية، فإن وان جانج وزير العلوم والتكنولوجيا يسعى الآن إلى إدخال الحافلات والشاحنات التي تعمل بخلايا الوقود لاستخدامها في النقل لمسافات طويلة، وتضيف العديد من المدن الصينية المزيد من الحافلات التي تعمل بخلايا الوقود إلى الخدمة على الطرق، وتهدف شنغاي إلى الوصول بهذا العدد إلى 3000 بحلول 2020 في عام 2018 بمفرده استثمرت الصين 12.4 مليار دولار أمريكي في دعم خلايا وقود الهيدروجين للمركبات.
- أعادت اليابان مؤخرا التأكيد على هدفها بأن تصبح اقتصاد الهيدروجين الرائد في العالم، ووضعت إستراتيجية متكاملة للهيدروجين تهدف إلى تحقيق التكافؤ في التكلفة بين الهيدروجين وبين غاز الوقود والغاز الطبيعي المسال، ورغبة في تحقيق هذا الهدف استثمرت اليابان فعلا مبلغا قدره 1,5 مليار دولار أمريكي في أنشطة الأبحاث والتطوير على مدار السنوات الماضية، في ألعاب الأولمبياد في طوكيو 2020،

سيتم إنفاق 380 مليون دولار أمريكي على 35 محطة لوقود الهيدروجين و 6000 مركبة من المركبات التي تعمل بخلايا الوقود، والهدف على الصعيد الوطني لانتشار المركبات التي تعمل بخلايا الوقود لعام 2030 هو 0.8 مليون.

- في فيفري 2019، بدأ إنشاء أول محطة للتحليل الكهربائي للمياه بالطاقة الشمسية في الشرق الأوسط في دبي، والتي تشغيلها هيئة كهرباء ومياه دبي وبطاقة سنوية قدرها 250 طنا، وهي تعتمد على تكنولوجيا من إنتاج شركة سيمنس الألمانية، وسوف يستخدم معرض الأكسبو 2020 مركبات تعمل بخلايا الوقود باستخدام الهيدروجين الناتج من هذه المحطة، وافتتحت أول محطة لتعبئة الهيدروجين في الشرق الأوسط في دبي في أكتوبر 2017، وهناك عدد إجمالي وقدره 55 سيارة تيوتا Mirai من المركبات التي بخلايا الوقود على الطرق في دولة الإمارات، وتشير تقديرات Liquide Air وآخرين إلى 12 محطة لتعبئة الهيدروجين تكفي لتغطية طلب الدولة على وقود الهيدروجين، وكذلك أعلنت شرطة أبو ظبي عن خطط لتحويل أسطول مركباتها إلى المركبات التي تعمل بخلايا الوقود بحلول 2050. (بوتزنجير، 2019)

الشكل 07: قائمة أكثر دول العالم الـ 20 المرشحة لتصبح منتجة رئيسية للهيدروجين على خريطة تجارة الطاقة الدولية وفق استطلاع الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (أيرينا) 2021:



المصدر: (العربية، فيفري 2022)

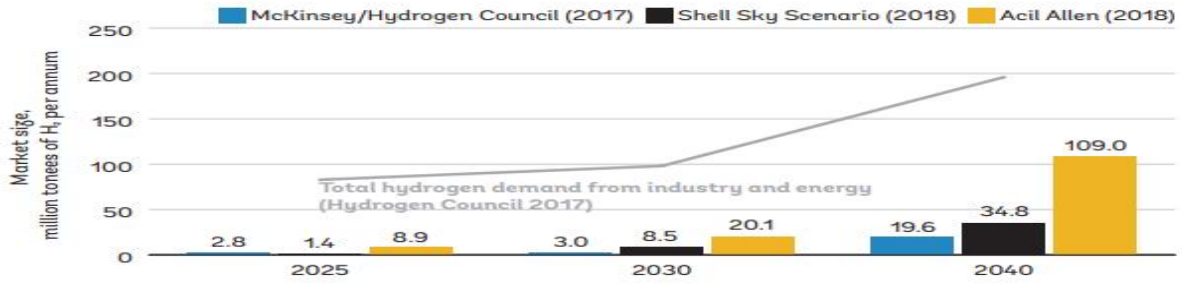
من خلال شكل نلاحظ ان ثلاثة دول من دول مجلس التعاون تصدرت ضمن قائمة أكثر دول العالم الـ 25 جاذبة للاستثمار في الهيدروجين لسنة 2021 وهم السعودية، والامارات، وعمان، حيث صنف ضمن المشاريع والاستثمارات الكبيرة والضخمة للهيدروجين وفقا لمعيارين أساسيين وهما الاستخدام الصناعي على نطاق واسع ( التكرير، الأمونيا، الميثانول، الفولاذ، صناعة اللقيم)، مقياس انتاج الجيجاواط مشاريع الهيدروجين المتجددة < 1 جيجاواط، مشاريع الهيدروجين مخفض الكربون < 200 كيلو طن سنويا.

#### I.4-2 الطلب العالمي على الهيدروجين في سوق الطاقة:

شهدت أسواق الطاقة العالمية في السنوات الأخيرة زيادة في الطلب على طاقة الهيدروجين، خاصة في الدول الصناعية، الأمر الذي سيؤدي في المستقبل بالتركيز والاهتمام بهذا النوع من الطاقة المتجددة خاصة على المستوى الدولي، حيث ستشهد السوق الدولية زيادة في الطلب على طاقة الهيدروجين في الفترة ما بين 2030 و 2040 كما يوضحه الشكل 08:



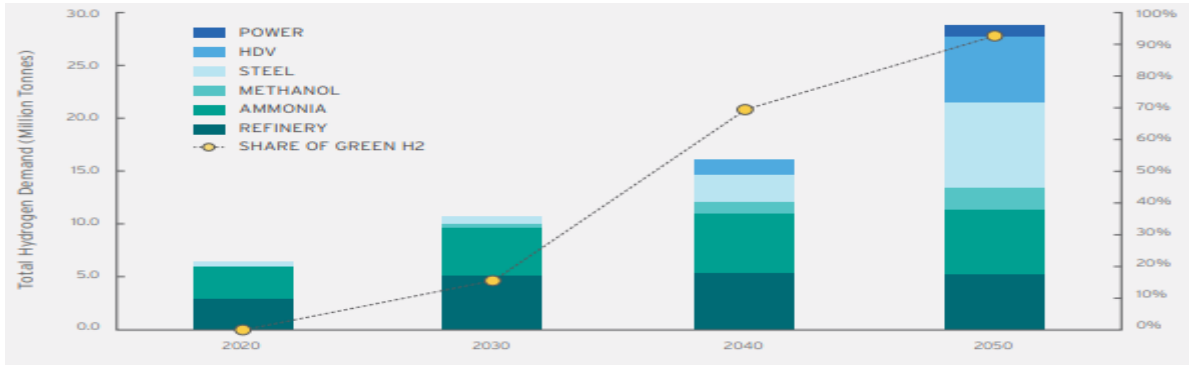
## الشكل 08: الطلب العالمي على الهيدروجين في سوق الطاقة



المصدر: (ESMAP, 2020)

من خلال الشكل يتضح لنا قيمة سوق الهيدروجين تقدر بأكثر من 135.5 مليار دولار بمعدل نمو سنوي مركب يقدر بـ 8 في المائة حتى عام 2023، بينما تختلف الأرقام الدقيقة لحجم الهيدروجين المنتج إلا أنه من 55 مليون طن حتى 70 مليون طن من الهيدروجين يتم إنتاجها سنويا، حيث نلاحظ من خلال الشكل أن الطلب على الهيدروجين في المستقبل سيشهد تزايد كبير يقدر بحوالي 109 مليون طن في سنة 2040، وهذا راجع للاستخدامات المتعددة والمتنوعة للهيدروجين (مثل إنتاج الأمونيا واستخدامها كعامل تصنيع في التكرير)، كما يجب أيضا وضع افتراض لقيمة سوق الهيدروجين العالمي للتطبيقات الكيميائية والعلمية للوصول إلى طلب سوق الهيدروجين العالمي في عام 2050.

## الشكل 09: توقعات الطلب على الهيدروجين وحصّة الهيدروجين الخضراء المحتملة



Source(Aayog, جوان 2022)

من خلال الشكل يتضح لنا انه يمكن أن تنمو حصّة الهيدروجين الأخضر من 16% في عام 2030 إلى ما يقارب 94 % بحلول عام 2050 وهذا يترجم إلى طلب سعة المحلل الكهربائي التراكمي الضمني البالغ 20 جيجاواط بحلول عام 2030 و 226 جيجاواط بحلول عام 2050 مما يعد بمعدلات كبيرة فرصة للتصنيع المحلي لتكنولوجيا الطاقة الناشئة العالمية، كما يمكن أن تبلغ القيمة التراكمية لسوق الهيدروجين الأخضر في الهند 8مليار دولار بحلول عام 2030 و 340 مليار دولار بحلول عام 2050 ويمكن أن يصل حجم المحلل الكهربائي إلى 5 مليار دولار بحلول عام 2030 و 31 مليار دولار بحلول عام 2050، كما سيؤدي اعتماد الهيدروجين الأخضر أيضا إلى 3.6 جيجا طن من تراكم ثاني أكسيد الكربون وتخفيض في الانبعاثات بين عامي 2020 و 2050 ويمكن أن تتراوح صادرات وواردات الطاقة من الهيدروجين الأخضر من 246 مليار دولار إلى 358 مليار دولار خلال نفس الفترة، إلى جانب المدخرات المالية فإن أمن الطاقة الذي يوفره الهيدروجين الأخضر سيوفره على المدى الطويل.

الجدول 02: إجمالي عدد الدول التي بدأت / انتهت من إعداد خطط واستراتيجيات وطنية للهيدروجين عالميا حتى أكتوبر 2021:

البيان	خارطة الطريق للهيدروجين	تم إعداد خارطة الطريق للهيدروجين	جاري إعداد الإستراتيجية الوطنية للهيدروجين	تم إعلان الإستراتيجية الوطنية للهيدروجين
عدد الدول عالميا	2	8	7	16
تصنيف دول مجلس التعاون ضمن الفئة	الإمارات السعودية	-	عمان	-

المصدر: (العربية، فيفري 2022)

من خلال الجدول نلاحظ أثناء اجتماع القادة العالميين في النسخة 23 لمؤتمر الأمم المتحدة لتغير المناخ COP23 بمدينة بون الألمانية لعام 2021، إتقى 18 من القادة الرئيسيين في مختلف قطاعات الصناعة، والذين يجمعهم تحالف "مجلس الهيدروجين" لإطلاق أول رؤية عالمية معززة بالأرقام والكيميات حول دور الهيدروجين، والتي تم إعدادها من قبل شركة "ماكينزي" للإستشارات وبالإضافة إلى كون الهيدروجين ركيزة أساسية في عملية تحول الطاقة، فإن الدراسة تبين أن استخدام الهيدروجين لديه القدرة على تحقيق 2.5 تريليون دولار أمريكي من الأعمال التجارية، وتوفير أكثر من 30 مليون وظيفة بحلول عام 2050.

## II - الطريقة والأدوات :

تم الاعتماد في هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليل، وذلك من خلال تجميع البيانات والمعلومات التي ترتبط بالمقال العلمي من خلال ترتيبها وتجميعها وتبويبها بالاستعانة بالأسلوب الإحصائي وكذلك استخدام الاستنتاج المنطقي وفق لتحليل البيانات والمعطيات المتوفرة لتجارب دولية المتعلقة بالدراسة، بالإضافة إلى المراسيم والقوانين ذات الصلة بالطاقة، كما تم الاستعانة بالتقارير الإحصائية التي تناولت موضوع الهيدروجين.

## III - النتائج ومناقشتها :

إن اعتماد الدول على الموارد الطاقوية الغير متجددة بالرغم من أنها طاقة ناضبة، والتقلبات السعرية التي هي في الحقيقة مرتبطة أصلا بالعوامل الخارجية مما يجعل الاقتصاد الدول المصدرة عرضة لصدمات مختلفة، إضافة إلى المشاكل البيئية التي يسببها استغلال الطاقات التقليدية وعليه يمكن تلخيص النتائج المتوصل إليها في النقاط التالية:

- حتمية إجراء تغيير هيكلي نحو التنوع الاقتصادي بالاعتماد على مصادر طاقوية متجددة كطاقة الهيدروجين من خلال استقلالية الطاقة وزيادة حصة الطاقة الجديدة والمتجددة؛
- تشجيع الدولة للاستثمار في ميدان الطاقات المتجددة وخاصة طاقة الهيدروجين من خلال التحفيز الضريبي من طرف الدولة؛ وتقديم الإعانات المادية والبشرية لتطوير الاستثمار في هذا المجال؛
- مساندة المنظمات العالمية الداعمة للاستثمار في طاقة الهيدروجين من أجل التحول إلى هواء بدون ملوثات، والعمل على تخفيف الانبعاثات الناتجة عن استغلال الطاقات التقليدية؛
- الاهتمام بطاقة الهيدروجين كوقود مستقبلي يتم استعماله في قطاع النقل وتشجيع المؤسسات الناشئة المهتمة بالاستثمار فيه؛
- يجب اتخاذ التدابير اللازمة لمحاولة الاعتماد على الطاقات المتجددة وخاصة الهيدروجين لتحقيق التواصل مع العالم وللإدراك الطريق الصحيح الذي يبشر به المستقبل.



**IV- الخلاصة:**

معظم الطاقة التي يستخدمها العالم اليوم مصدرها الوقود الأحفوري (البترول، الغاز الطبيعي، الفحم...)، والجزء القليل منها مصدره الطاقات المتجددة كالطاقة الشمسية مثلا، غير أن التوجهات الحديثة لبعض الدول تسعى إلى زيادة استخدام الطاقات المتجددة كونها طاقات نظيفة وصديقة للبيئة، وتعتبر كخيار استراتيجي للموارد التقليدية، ومن ضمن التوجهات الحديثة نجد طاقة الهيدروجين الأخضر.

تعتبر دول الشرق الأوسط من بين أكثر الدول الرائدة في الاستثمار في طاقة الهيدروجين الأخضر وذلك لما لها من مقومات أساسية يجعلها تحتل الصدارة في الوطن العربي، وذلك من خلال البرامج والمشاريع المخطط لها والتي تم تنفيذها المتعلقة بالهيدروجين الأخضر، كما تشير توقعات الطلب على الهيدروجين وحصه الهيدروجين الخضراء المحتملة في المستقبل إلى زيادة مستمرة تتراوح بنسبة 16% في عام 2030 إلى ما يقارب 94 % بحلول عام 2050، أي أن هناك تزايد كبير يقدر بحوالي 109 مليون طن في سنة 2040، وبالتالي لكي يكون الهيدروجين جزءا محتملا من رحلة انتقال الطاقة إلى اقتصاد طاقة أكثر استدامة، لا بد من اللجوء إلى طاقة الهيدروجين الأخضر باعتباره الخيار الوحيد والاستراتيجي، إذ لا يكون الهيدروجين مستداما إلا بقدر الطاقة التي نستخدمها لإنتاجه، حيث من المتوقع أن تتراوح صادرات وواردات الطاقة من الهيدروجين الأخضر من 246 مليار دولار إلى 358 مليار دولار خلال الفترة 2020 و2050، ومن المتوقع أن يزداد استخدام طاقة الهيدروجين الأخضر المنتج بالكهرباء المتجددة والطلب عليه بسرعة في السنوات القادمة في جميع أنحاء العالم، فبدون الهيدروجين الأخضر لن يكون من الممكن مثلا تحقيق حياد أثر انبعاثات الكربون بحلول عام 2050 في الاتحاد الأوروبي.

حيث أن نقل الهيدروجين يتبع المبادئ ذاتها لنقل الغاز الطبيعي أي يمكن نقله بواسطة المركبات على شكل غاز أو سائل داخل حاويات خاصة، كما يمكن نقله أيضا عبر خطوط الأنابيب التي تشبه تلك المستعملة في نقل الغاز الطبيعي، وحسب بعض الدراسات التي أجراها بعض الخبراء فإنه يمكن الاستفادة من البنية التحتية القائمة أصلا من أجل نقل الغاز الطبيعي، الأمر الذي سيثجع الدول المصدرة للغاز الطبيعي إلى الخوض في تجربة استغلال طاقة الهيدروجين الأخضر.

**الإحالات والمراجع:**

المذكرات:

1. بدري عبد العزيز، طاقة الهيدروجين كبديل طاقي جديد في العالم وامكانية استخدامه، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة (2018-2019).
2. كتوش عاشور و بلعروز بن علي، الغاز الطبيعي الجزائري ورهانات السوق الغازية، جامعة شلف (2004).
3. الداوي نسيم، الداوي رضا، الطلب على النفط وموقعه من مصادر الطاقة البديلة، جامعة ورقلة (2010-2011).
4. Dr. Atom Mirakyan Tractebel / Engie Étude exploratoire sur le potentiel du Power-to-X ALGER: Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, (2021) .

المجلات:

5. كمال رزيق. (2004)، الجباية البترولية في الجزائر، مجلة أفاق، صفحة 9.
6. د.نعمة اهلل عبد الرحمن. (سبتمبر، 2022). اهليدروجني الأخضر: مصدر. أفاق أسبوعية، الصفحات 92-93.
7. صافية أولدرايح، قولي، و قولي محمد، (16 06، 2022)، الاطار القانوني والمؤسسي للطاقات المتجددة في الجزائر، صوت القانون، صفحة 1406.

المنشآت:

8. جغبالة عبد الغني، الاطار النظري للانتقال الطاقي المستدام أفلو : المركز الجامعي أفلو (2023).

المواقع الالكترونية:

9. داليا الممشري. (21 11، 2020). الهيدروجين قد يشكل 16% من الطلب العالمي على الطاقة بحلول عام 2050. تاريخ الاسترداد 07 03، 2023: <https://shortest.link/j0Mx>
10. الأناضول. (26 12، 2022). الأونيا الخضراء تتفوق على الهيدروجين بتخزين الطاقة ونقلها . تاريخ الاسترداد 07 03، 2023:

<https://shortest.link/j5S>

11. تاريخ الاسترداد 17 فيفري، 2023، L'hydrogène vert, un catalyseur de la transition énergétique، (17 فيفري، 2023). NATIXIS. <https://www.im.natixis.com/images/docs/articles/2021-02---Hydroge--ne---FR---vf.pdf>
12. الجزائر: سونلغاز / المديرية التنفيذية للاستراتيجية و الاستشرف. Solar hydrogen potential production in Algeria. Zatout.ali.
13. NITI Aayog, Harnessing GREEN HYDROGEN .india: Rocky Mountain Institute. (جون 2022).

#### التقارير:

14. واشنطن الولايات المتحدة الأمريكية: البنك الدولي 2021.
15. مؤسسة فريدريش إيبهت - الأردن - العراق، الهيدروجين كمصدر طاقة خضراء في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، الأردن - العراق.
16. لوران لامبير، تحولات سوق الغاز الأوروبية لعام 2022 والخيارات السياسية. ورقة سياسات، (18 أكتوبر، 2022)، صفحة 192.
17. محمد باكو أحمد، قريش، منظمة الدول المصدرة للنفط (2000-2001).
18. الدكتور أكسل مايكلوهوفا، وسونجا بوتزنجيجر، التطورات في تقنيات الهيدروجين حتى 2030 الفرص المتاحة والمخاطر أمام دول الخليج وتداعيات السياسات الدولية. الإمارات: أكاديمية الإمارات الديبلوماسية، (2019).
19. محمد نسرين، تحديات سو نطراك في السوق النفطية، (2004، 2005).
20. المركز الاحصائي لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، الهيدروجين كمصدر وناقل للطاقة النظيفة المستدامة، سلطنة عمان : سلسلة أبعاد معلوماتية ومعرفية (فيفري 2022).
21. BSI Economics, Hydrogène » vert : « fantômes et réalités, (2018) .
22. Corporate Europe Observatory, Morocco, Algeria, Egypt: Assessing EU plans to import hydrogen from North Africa (2020) .
23. ESMAP .(2020) .ESMAP, Green Hydrogen in Developing Countries. Washington, DC: World Bank, 2020.

#### كيفية الاستشهاد بهذا المقال حسب أسلوب APA:

عبد الغني جغبالة، سكينه حملوي (2023)، الهيدروجين الأخضر كبديل استراتيجي لموارد الطاقة غير المتجددة، مجلة التنمية الاقتصادية، المجلد 08 (العدد 1)، الجزائر: جامعة الشهيد حمة لخضر، الوادي، الجزائر ص.ص 320-337.



SCAN ME