اقتصاديات طاقة الهيدروجين بين الطاقة المتجددة والتقليدية وإمكانية استخدامه كوقود في دول العربية (مع التطبيق على حالة الجزائر)

The economics of hydrogen energy between renewable and traditional energy and the possibility of using it as a fuel in the Arab countries (with application to the case of Algeria)

خالد أحميمة*

جامعة الشهيد حمه لخضر- الوادي - الجزائر

ahmima-khaled@univ-eloued.dz

تاريخ الإستلام: 2025/02/25 تاريخ القبول: 2025/03/24 تاريخ النشر: 2025/04/17

ملخص:

يعتبر قطاع النقل من بين القطاعات الذي يترتب عليه تأثيرات سلبية كبيرة على البيئة كالاحتباس الحراري، وتغير المناخ العالمي وتلوث الهواء، وذلك من خلال انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبط بإحتراق الوقود الأحفوري، فهناك اهتمام كبير في المنطقة العربية والجزائر لإزالة ثاني أكسيد الكربون من إمدادات الطاقة، وذلك من أجل توفير طاقة مستدامة ومتجددة وضمان الأمن الطاقوي العربي والعالمي، تهدف هذه الدراسة في كيفية الانتقال من الطاقة التقليدية إلى الطاقات المتجددة والبديلة كإستخدام طاقة الهيدروجين كوقود المستقبل للقطاع النقل، ويعتبر الهيدروجين من طاقات النظيفة وصديقة للبيئة. وتسعى الجزائر إلى الانتقال نحو الاقتصاد القائم على طاقة الهيدروجين النظيف من أجل تنويع مصادر الطاقة التي تضمن الاستدامة في التنمية الاقتصادية وتحمي البيئة.

كلمات مفتاحية: طاقة الهيدروجين؛ طاقة المتجددة؛ الوقود؛ دول العربية؛ الجزائر.

تصنيفات jel: Q42؛ Q48؛ Q49.

Abstract:

The transport sector is among the sectors that have significant negative effects on the environment such as global warming, global climate change and air pollution, through carbon dioxide emissions associated with the combustion of fossil fuels, there is great interest in the Arab region and Algeria to remove carbon dioxide from energy supplies, in order to provide sustainable and renewable energy and ensure Arab and global energy security, this study aims at how to transition from traditional energy to renewable and alternative energies such as the use of hydrogen energy as fuel The future of the transport sector, hydrogen is considered a clean and environmentally friendly energies. Algeria seeks to move towards a clean hydrogen energy economy in order to diversify energy sources that ensure sustainability in economic development and protect the environment.

Keywords: Hydrogen energy, renewable energy, fuel, Arab countries, Algeria.

JELClassification : Q42, Q48, Q49.

* المؤلف المراسل.

1. مقدمة:

الطاقة هي عصب الحياة وشريانها وبدونها لا يستطيع الفرد أن يتعايش مع الحياة بكل راحة ويواجه المجتمع بشتى صوره ويطلق على طاقة الهيدروجين بطاقة البديلة أو طاقة القرن الواحد والعشرون هي إحدى أنواع الطاقات الجديدة، والتي تتمثل في الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة المائية والطاقة الحيوية...، ويعود التوجه نحو استخدام هذه الأنواع من الطاقات إلا أنها طاقات نظيفة غير ملوثة للبيئة، كما أن استخدامها يعمل على تقليل الاعتماد على طاقة المصادر الطبيعية غير المتجددة من الوقود الأحفوري والفحم والبترول والغاز الذي يتسبب في تلوث الهواء الجوي ورفع درجة حرارة الأرض وتغيير المناخ العالمي.

أصبح توجه الدول العربية للاستثمار في الطاقات المتجددة خيارا استراتيجي في ظل فرضية نفاذ مصادر الطاقة التقليدية وكذا التذبذب الحاصل في أسعار الطاقة على المستوى العالمي، وفي الجزائر فإن التحول نحو الطاقات المتجددة والتكنولوجيا المرافقة لها يعد ضرورة حتمية نتيجة لحتمية نضوب الطاقة الأحفورية، حيث يعتبر هذا التحول في الجزائر تجربة حديثة تسلط الضوء على القيمة المضافة التي تتحصل عليها الجزائر نتيجة تطوير مصادر الطاقة المتجددة بما يتوافق وأهداف التنمية المستدامة.

1.1. إشكالية البحثية

إذن تتمحور الإشكالية الرئيسية التي تطرحها الدراسة في السؤال التالي:

كيف يمكن استخدام طاقة الهيدروجين كوقود للقطاع النقل في الدول العربية والجزائر ؟

2.1. أهمية البحث

تكمن أهمية الدراسة في محاولة الإجابة على الإشكالية الرئيسية، التي جاءت لتسلط الضوء على طاقة الهيدروجين وكيفية استخدامها كوقود للقطاع النقل في الدول العربية والجزائر، وتسعى العديد من الدول العربية ومنها الجزائر الانتقال نحو الاقتصاد القائم على طاقة الهيدروجين النظيف من أجل تنويع مصادر الطاقة التي تضمن الاستدامة في التنمية الاقتصادية وتحمي البيئة من انبعاث ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن استخدام الطاقة التقليدية.

3.1. أهداف الدراسة

يتمثل الهدف الرئيسي للدراسة في كيفية الانتقال من الطاقة التقليدية إلى الطاقات المتحددة البديلة كإستخدام طاقة الهيدروجين كوقود المستقبل للقطاع النقل، ويعتبر الهيدروجين من طاقات النظيفة وصديقة للبيئة.

وللإجابة على الإشكالية الرئيسية قسمنا الدراسة إلى المحاور التالية:

أولا: المفاهيم النظرية لطاقة الهيدروجين.

ثانيا: التكاليف والمنافع البيئية لتوليد طاقة الهيدروجين من الطاقات المتجددة والتقليدية.

ثالثا: إمكانية استخدام الهيدروجين كوقود في الدول العربية مع التطبيق على حالة الجزائر.

2. المفاهيم النظرية للطاقة الهيدروجين:

تتميز طاقة الهيدروجين بسهولة استخراجه وكمية الطاقة الكبيرة التي ينتجها من عملية الإنفصال وقابليته للتخزين لفترات طويلة بالإضافة إلى أنه نظيف عند الاحتراق، ويمكن إنتاج من مصادر طاقة نظيفة كالرياح والطاقة الشمسية..، وعلى ذلك فإننا على أعتاب ثورة اقتصادية قوامها الهيدروجين (مزيج ، 2020).

1.2. الاكتشاف وأصل الكلمة

أول من اكتشاف الهيدروجين العالم "هنري كافيندش" وذلك عام 1766 حيث عرف الهيدروجين لأول مرة كمادة متميزة عن غيرها من الغازات القابلة للاشتعال (The Columbia, 2012) .

وفي عام 1783، قام العالم "أنطوان لافوازييه" بمنح العنصر المكتشف اسم "الهيدروجين"، وذلك باشتقاق التسمية من الإغريقية، حيث أن لفظة هيدرو "ὕδρω" تعني "ماء"، ولفظة جين "γενῆς" تعني " مكون أو مولد أو مشكل" (Albert, 1996)، وذلك عندما قام هو و "بيير لابلاس" بإعادة تجربة "كافنديش" بتشكيل الماء عند حرق الهيدروجين.

2.2. مفهوم طاقة الهيدروجين

الهيدروجين أو الإيدروجين هو عنصر كيميائي أي مادة كيميائية لا يمكن تجزئتها، خاصة متكون من ذرة وحيدة فريدة من نوعها. ويقع في الجدول الدوري للعناصر تحتوي الدورة الأولى من الجدول الدوري أقل عدد من العناصر مقارنة مع الدورات الأخرى، حيث يحتوي الصف الأول عنصرين فقط وهما "الهيدروجين" و"الهيليوم" (ويكبيديا، 2023).

يقصد بالطاقة الهيدروجينية الطاقة المتولدة من الهيدروجين التي تتصف بقابلية تخزينها بالحالة الغازية ونقلها عبر أنابيب الغاز الطبيعي، مع إمكانية تحويلها إلى حالة سائلة أو أي شكل آخر حسب الحاجة ونقلها بر أو بحر (أكاديمية الطاقة الألمانية الأردنية، 2019).

3.2. أنواع طاقة الهيدروجين

يتميز الهيدروجين بألوان وأنواع متعددة، ويمكن توضيح كل نوع حسب لونه خلال الجدول التالي:

الجدول رقم (01): أنواع طاقة الهيدروجين حسب الألوان

أنواع الهيدروجين حسب الألوان	تعريفه
الهيدروجين الأخضر	يعتبر الأفضل من الناحية البيئية، تتضمن عملية إنتاجه استخدام الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح، ويشكل الهيدروجين الأخضر نسبة صغيرة من إجمالي الهيدروجين بسبب ارتفاع كلفته الرأسمالية والتشغيلية.
الهيدروجين الأزرق	يتم استخدام الغاز الطبيعي والماء الساخن في شكل بخار من أجل إنتاجيه، كما تؤدي هذه العملية بانبعاث ثاني أكسيد الكربون فتستخدم معدات لالتقاط ثاني أكسيد الكربون والتخفيف من انتشاره في الغلاف الجوي.
الهيدروجين الأسود والرمادي	تنتج عنها انبعاثات كربونية وهو الأكثر ضررا بيئيا. يستخدم النوع الأسود في عملية صنع الهيدروجين الفحم الأسود أو (الفحم البني). أما **الرمادي**، وينتج باستخدام الطاقة المنتجة من الوقود الأحفوري والتي تضم مستويات عالية من انبعاثات كربون مرتفعة. يتم مثل استخدام الهيدروجين المنتج من الغاز الطبيعي على نطاق واسع في الكثير من العمليات الصناعية المختلفة. ويمثل الهيدروجين المنتج من الوقود الأحفوري حاليا بـ 94 % من إنتاج الهيدروجين حول العالم
الهيدروجين الفيروزي (تركواز)	يعتبر جديدا نسبيا على مخطط الألوان ولم يتم إثبات جدواه عمليا بعد. يستخدم الانحلال الحراري للميثان لإنتاج الهيدروجين الفيروزي، ويتم إنتاجه بواسطة العمليات الحرارية التي تعمل بالطاقة المتجددة، هذا النوع من الهيدروجين قيمته كبيرة باعتباره منخفض الانبعاثات.
الهيدروجين الأحمر أو الوردي	يتم إنتاج من خلال التحليل الكهربائي المدعوم بالطاقة النووية.

المصدر: من إعداد الباحث بالإعتماد على:

- راشد مناع، وعمر صفوري، الطاقة إلى –X– فرص استخدام الهيدروجين الأخضر في الأردن، مؤسسة فريدريش ايبرت، الأردن، يناير 2022، ص11.
- المجلس الاقتصادي والاجتماعي للأمم المتحدة، استخدام الهيدروجين في قطاع النقل: واقع المنطقة العربية، اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا (الإسكوا)، لجنة النقل واللوجستيات الدورة الثالثة والعشرون، الاسكندرية، مصر، 20-21 أكتوبر 2022، ص: 5.
- مؤسسة فريدريش ايبرت، الهيدروجين كمصدر طاقة خضراء في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، مشروع الطاقة والمناخ الأردن والعراق.

4.2. كيفية إنتاج الهيدروجين

لا يمكن استخدام الهيدروجين في حالته الطبيعية مباشرة لأنه يكون مرتبط مع جزيئات أخرى، و سنوضح أهم الطرق المستعملة في إنتاج الهيدروجين، وهي:

1.4.2. طريقة التفكيك

تتكون هذه الطريقة من طريقتين (يايسي وغنام، 2018، الصفحات 4-5)، وهي:

- **طريقة التفكيك الحراري**: وهذه الطريقة تعتمد على تفكيك الروابط بين الذرات من خلال توجيهها إلى منبع حراري. ولكن من عيوب هذه الطريقة هو زيادة ارتفاع درجة حرارة الأرض.
- **طريقة التحليل الكهربائي**: تعتمد على تيار كهربائي لإحداث تفاعل كيميائي وهذا من خلال التحليل الكهربائي للماء، وهذه الطريقة تعتبر أقل تكلفة نسبي كما أنها غير ملوثة للبيئة، كما أن الطاقة الكهربائية المستخدمة في التحليل الكهربائي يمكن أن تكون من مصادر متجددة مثل الرياح أو الطاقة الشمسية.

2.4.2. طريقة الإزاحة

ويتم باستخراج الهيدروجين وإزاحته من خلال تفاعل كيميائي من مركباته بعناصر تسبقه في السلسلة الكهرو كيماوية. وتعتبر من الطاقات غير المتجددة. ومن عيوب هذه الطريقة أنها مكلفة نوع ما من ناحية الأحماض المستعملة في التفاعل الكيميائي ولكنها لا تلحق أضرار بالبيئة (يايسي وغنام، 2018، صفحة 5).

3. التكاليف والمنافع البيئية والتنمية المستدامة لتوليد طاقة الهيدروجين

1.3. القيمة الاقتصادية لإنتاج طاقة الهيدروجين

هناك توجه عالمي كبير لصناعة الهيدروجينية لتخفيض القيمة الإنتاجية خاصة أنها باهظة، وفي نفس الوقت إيجاد الحلول وخصوصا لإستخدام الطاقة البديلة مثل الكهرباء لإنتاج الهيدروجين الأخضر. وقبل الإنتاج يجب التفكير في مايلي : (الهيئة العربية للطاقة المتجددة، 2021)

- حيث يبلغ سعر الهيدروجين الرمادي واحد دولار/كجم، أما الهيدروجين الأخضر تبلغ حوالي 7.8 دولار/كجم.
- المحلل الكهربائي نوع (PEM) يحتاج الى حوالي من ثمانية إلى ثلاثة عشر هكتار لـ واحد جيجاوات.
- المحلل الكهربي الأرضي القلوي يحتاج الى حوالي من عشر إلى سبعة عشر هكتار 1جيجاوات.
- متطلبات المياه تسعة مئة وستون لتر لكل واحد كلغ من الهيدروجين.
- الصحراء عائق كبير لإنتاج الهيدروجين الاخضر بسبب قلة مصادر المياه المحلاة.

2.3. المنافع البيئية والتنمية المستدامة لتوليد طاقة الهيدروجين

1.2.3. الهيدروجين الأفضل للبيئة

أدى تفاقم مشكلة التلوث البيئي في العالم إلى السعي الدول نحو إيجاد حلول من خلال أبحاث علمية يمكنها من إنتاج طاقة بديلة ونظيفة ومستدامة وقابلة للتخزين والنقل ومتوفرة في العالم ورخيصة، ولكن وبالرغم من كل هذه الصعوبات فإن خلايا الوقود الهيدروجينية وبعد جهود العلماء المستمرة قد تخطتها لتكون وقود المستقبل وبديل عن النفط (مخيبر، عباس، ونصيف، 2022، الصفحات 7-8).

2.2.3. طاقة الهيدروجين وترابطها مع أهداف التنمية المستدامة

يعتبر الهيدروجين المنخفض الكربون من الأهداف طويل الأجل اعتمدته دول ومؤسسات وكيانات معنوية. وأهداف الأمم المتحدة للتنمية المستدامة تشكل إطار لتحديد وتصنيف مختلف مزايا التنمية المستدامة للهيدروجين المنخفض الكربون من خلال ترابطه مع هذه الأهداف (الأمم المتحدة، اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا، 2022)، على النحو المبين في الجدول الموالي، ويمكننا أن نستخلص الملاحظات التالية:

أولا إن تحقيق التأثير الكامل للهيدروجين المنخفض الكربون مرجح الحدوث ، وستكون هناك فروقات في إنتاج الهيدروجين الأخضر من بلد إلى آخر. ولا يعزى ذلك إلى محدودية توافر إمكانات الطاقة المتجددة المنخفضة التكلفة والبنى التحتية المرتبطة بها فحسب بل إلى احتمال الحاجة إلى إعطاء الأولوية لاستخدام مصادر البديلة لأغراض كهربة نظيفة في بعض الدول.

الجدول رقم (02): علاقة الهيدروجين بأهداف التنمية المستدامة

تأثير الهيدروجين المنخفض الكربون	أهداف التنمية المستدامة
اعتمد على الطاقة النظيفة في جميع القطاعات، لها أثر إيجابي واضح على صحة المجتمعات المحلية ورفاهيتها.	تمتع الجميع بالعيش والصحة والرفاهية لجميع السكان.
هناك نقص كبير للمياه لعديد من مناطق في العالم، غير أن تطوير مصادر مجدية ومستدامة تجاريا لقدرات إضافية لتحلية مياه البحر لإنتاج الهيدروجين يمكن أن يزود المجتمعات المحلية أيضا بإمدادات المياه.	ضمان توافر المياه وخدمات الصرف الصحي للجميع وإدارتها إدارة مستدامة.
يتمثل التحدي في زيادة القدرة على إنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون مع مرور الوقت وإنشاء أسواق مستدامة وبأسعار معقولة للجميع.	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	تعزيز النمو الاقتصادي المطرد والشامل للجميع والمستدام، والعمالة الكاملة والمنتجة، وتوفير العمل اللائق للجميع.
سبق أن سمح تطوير الهيدروجين المنخفض الكربون بتعزيز الابتكار على طول سلسلة الهيدروجين المنخفض الكربون، وعلى المدى الطويل، يرجح أن يطور بنية تحتية مرنة للهيدروجين المنخفض الكربون، أقله في المراكز الرائدة في إنتاج الهيدروجين واستهلاكه.	الصناعة والابتكار.
يساهم الاستخدام الطويل الأجل للهيدروجين المنخفض الكربون في قطاع التنقل أو النقل في الحد من التلوث الناجم عن حركة المرور على الطرق ويساعد على تحسين البيئات المحلية في المدن والمجتمعات المحلية. ولكن استخدام الهيدروجين المنخفض الكربون سيكون أساسا لنقل الأحمال الثقيلة عبر مسافات طويلة.	جعل المدن والمستوطنات البشرية شاملة للجميع وآمنة وقادرة على الصمود ومستدامة.
الهيدروجين المنخفض الكربون هو جزء من مزيج من الحلول والتدابير النظيفة لمعالجة مسألة التخفيف من آثار تغير المناخ، لا سيما في القطاعات التي يصعب التخفيف من حدة الآثار المترتبة عليها. لكن عند النظر في خيار استخدام الطاقة المتجددة في إنتاج الهيدروجين الأخضر، تبرز الحاجة إلى تحقيق توازن مقبول بين الكهربة النظيفة وإنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون.	اتخاذ إجراءات عاجلة للتصدي لتغير المناخ وآثاره.

المصدر: الأمم المتحدة، الهيدروجين الأزرق والأخضر: التطورات المحتملة في المنطقة العربي، اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا ، بيروت، لبنان، 2022، ص: 25.

4. إمكانية استخدام الهيدروجين كوقود في الدول العربية مع التطبيق على حالة الجزائر

وضعت مجموعة من الخبراء في الهيئة واللجنة الاستشارية الدولية استراتيجية من أجل العمل بها في جميع الدول العربية (الهيئة العربية للطاقة المتجددة، 2021، صفحة 2)، ولها أهداف تتمثل فيما يلي:

- مركبات كهربائية أربعون في مئة؛ المدن الذكية أربعون في مئة؛ كفاءة الطاقة ثلاثون في مئة، طاقة متجددة كذلك ثلاثون في مئة.
- التحول التدريجي إلى الطاقة النظيفة والهيدروجين الأخضر ليكون المصدر الأساسي في توليد الطاقة في عام 2050؛ إلزمية وضع بنية تحتية للسيارات الكهربائية والهدروجينية بما يتماشى مع المدن الذكية؛ تجهيز البنية التحتية للشبكات الذكية؛ الوصول إلى صفر كربون بالعام 2050.

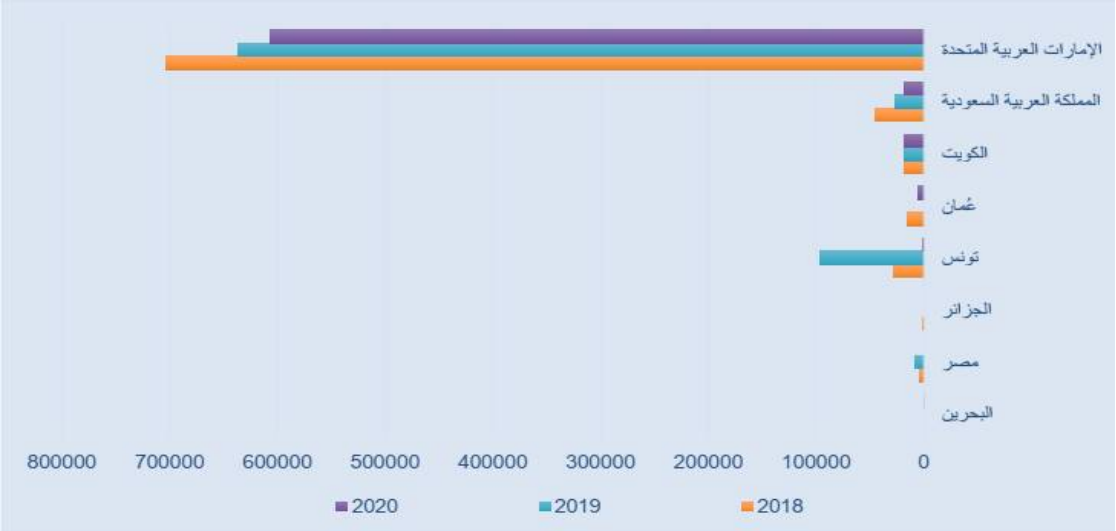
1.4. الاستخدامات المحتملة للهيدروجين في قطاع النقل في المنطقة العربية

1.1.4. تجارة الهيدرجين في منطقة العربية

❖ **صادرات الهيدروجين:** زادت بنسبة ستة في مئة خلال 2018 و2019، أما في عام 2020 بلغ إجمالي صادرات العربية 649,451 دولار أي 0.38 في المائة فقط من تجارة الهيدروجين عالميا.

وتحتل الإمارات المرتبة الأولى عربيا في تصدير الهيدروجين، حيث تقدر النسبة بـ 93% من مجموع الصادرات العربية. وتأتي السعودية في المرتبة الثانية والكويت في المرتبة الثالثة بنسبة 2.8% ((الإسكوا)، 2022، صفحة 10). كما هو موضح في الشكل التالي:

الشكل رقم (01) : صادرات الهيدروجين في المنطقة العربية (الوحدة: بالدولار)



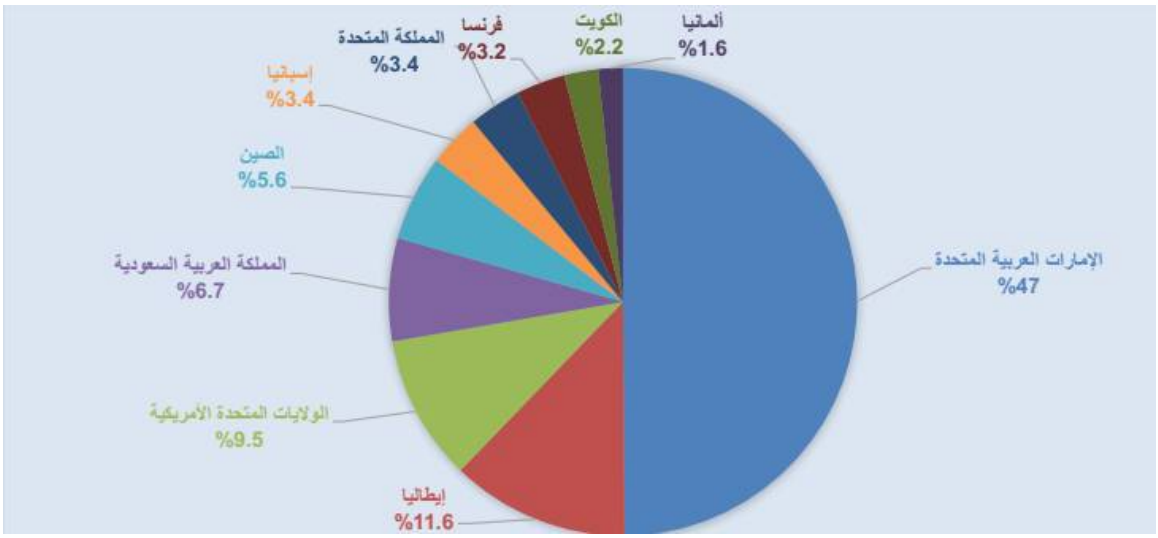
Source ESCWA, External Trade Data Platform for the Arab Region, 2020

❖ **واردات الهيدروجين**

ومن خلال الشكل أدناه نلاحظ أن سبعة وأربعون في المائة من واردات المنطقة من الهيدروجين تأتي من الإمارات العربية المتحدة وهذا يفسر إيجابية الميزان التجاري للهيدروجين في المنطقة.

فإن الدول العربية بحاجة إلى سياسة وخطط فعالة من أجل تخفيض من قيمة الواردات، وزيادة الصادرات للاستخدام الذاتي في القطاعات المحلية مقابل توزيعها على الأسواق الخارجية. ((الإسكوا)، 2022، صفحة 11).

الشكل رقم (02): حصة واردات الهيدروجين في المنطقة العربية

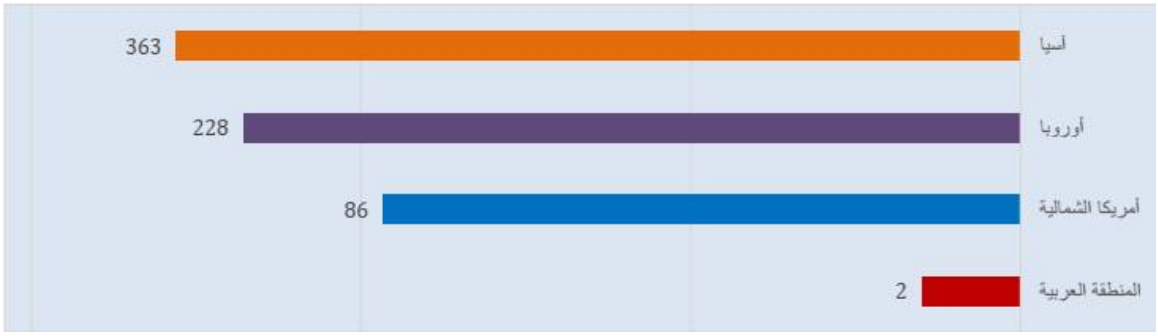


المصدر: اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا (الإسكوا)، استخدام الهيدروجين في قطاع النقل: واقع المنطقة العربية، المجلس الاقتصادي والاجتماعي للأمم المتحدة، الاسكندرية، مصر ، 21/20 أكتوبر 2022، ص: 11.

2.1.4. محطات التزود بالوقود الهيدروجيني

نلاحظ من خلال الشكل أدناه عدد محطات التزود بالوقود الهيدروجيني في العالم.

الشكل رقم (03): عدد محطات التزود بالوقود الهيدروجيني بحسب القطاع.



المصدر: اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا (الإسكوا)، استخدام الهيدروجين في قطاع النقل: واقع المنطقة العربية، المجلس الاقتصادي والاجتماعي للأمم المتحدة، الاسكندرية، مصر ، 21/20 أكتوبر 2022، ص: 12.

3.1.4. خطط بعض الدول العربية لاستخدام الهيدروجين في قطاع النقل

- **السعودية:** تعتبر السعودية من بين الدول العربية التي كانت الرائدة بتوقيع اتفاقيات من أجل بناء محطات تعمل بخلايا وقود الهيدروجين الكهربائية، وبدأ العمل بهذه المحطات في أواخر 2019، ووقعت المملكة عقد بـ خمسة مليار دولار في سنة 2020، من أجل بناء منشأة لإنتاج الهيدروجين الأخضر وتصديره إلى الأسواق العالمية. وتسعى المملكة بأن تصبح رائدة في مجال إستخدام الطاقة الهيدروجين في قطاع النقل. ((الإسكوا)، 2022، صفحة 13).
- **المملكة المغربية:** وقعت المغرب اتفاقية في عام 2021 مع الوكالة الدولية للطاقة المتجددة من أجل تعزيز إنتاج الهيدروجين وتحول نجو الاقتصاد الأخضر، وتسعى المملكة المغربية بأن تصل حصتها من الطاقة المتجددة إلى 52% في عام 2030ت وتصبح من الدول الرائدة في مجال الطاقة النظيفة. ((الإسكوا)، 2022، الصفحات 13-14).
- **الإمارات:** انشأت الامارات أول محطة في المنطقة العربية تعمل خلايا وقود الهيدروجين الكهربائية في عام 2017، من طرف مؤسسة "الفطيم للسيارات" مع مؤسسة "آير ليكيد". وبدأت تجربة الامارات باستخدام الهيدروجين الأخضر في

قطاع النقل البري، وتسعى إلى بناء مصنع لوقود الطيران، وكذلك الاستعناء عن الكربون في وقود القطاع البحري (Williams, 2021).

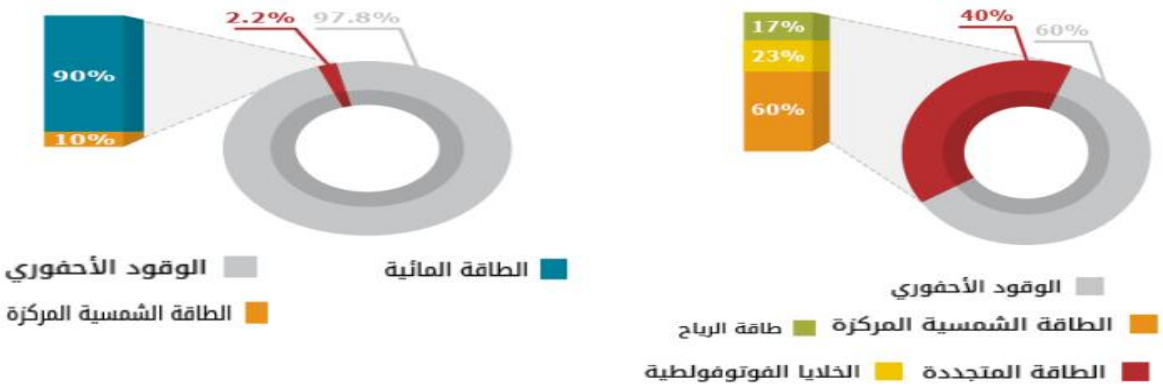
- **جمهورية مصر:** تسعى مصر إلى الاستغناء عن الوقود التقليدي وإستبداله بالغاز الطبيعي المضغوط كوقود رئيسي للقطاع النقل، حيث وصلت إلى أكثر من ثلث مليون سيارة بهدف استخدام الطاقة النظيفة لحماية البيئة، وأما في المستقبل تسعى إلى الاعتماد على الهيدروجين الأخضر كبديل للغاز الطبيعي المضغوط، وذلك ببناء البنية التحتية للتزود بالوقود الهيدروجيني ((الإسكوا)، 2022، صفحة 14).

2.4. مستقبل استخدام طاقة الهيدروجين كوقود في الجزائر

تسعى الجزائر من أجل الانتقال إلى طاقة البديلة ودفع عجلة التنمية الاقتصادية، حيث صادق مجلس الوزراء في ثالث من شهر فيفري عام 2011 على برنامج الوطني للطاقات المتجددة والذي يمتد إلى غاية 2030 ويهدف البرنامج لإنتاج 22 ألف ميغاواط بحلول عام 2030 (بدري، 2019/2018، صفحة 122).

وتعتبر الاستراتيجية الطاقوية للجزائر هي المحرك الاساسي لتطوير اقتصادي مستدام حتى سنة 2030 ، ولقد تم برمجة مجموعة من المشاريع المستقبلية للطاقات المتجددة، ولعل أهمها البرنامج الوطني للطاقة المتجددة 2011-2030، والشكل الموالي يوضح القدرات الحالية والأهداف المسطرة في سنة 2030 (مدحي، 2015، صفحة 119).

الشكل رقم (04): القدرات الطاقوية الحالية والأهداف المستقبلية حتى سنة 2030.



المصدر: مدحي محمد، فعالية الاستثمارات في الطاقات المتجددة كإستراتيجية لما بعد المحروقات في تحقيق التنمية المستدامة في الجزائر، مجلة الباحث الاقتصادية، العدد 04/ ديسمبر 2015، ص:119.

1.2.4. الطاقات المتجددة للجزائر في إطار البرنامج الوطني لتحقيق التنمية المستدامة

لقد وضعت الجزائر في 03 فيفري 2011 مخطط اقتصاديا يتضمن ويهدف إلى تنمية الطاقة الجديدة والمتجددة وكفاءتها خلال الفترة (2011-2030)، حيث يأتي هذا البرنامج لزيادة استغلال التكنولوجيا الحديثة لإنتاج الطاقة النظيفة في الجزائر خلال المستقبل، وفي خضم هذا البرنامج تم إنشاء صندوق للطاقة المتجددة بموجب قرار تنفيذي رقم 11-423 في ديسمبر 2011، وذلك لدعم وتمويل الاستثمار في مجال الطاقات المتجددة. (بختي وبهياني، 2018).

يشمل البرنامج على إنجاز 60 مشروع منها محطات شمسية كهروضوئية وشمسية حرارية ومزارع لطاقة الرياح ومحطات مختلطة، ويسمح هذا البرنامج، بخلق آلاف مناصب الشغل المباشر والغير مباشر.

وتتوزع القدرات المركبة حسب التكنولوجيا المستعملة، كما يلي:

- **الأنظمة الشمسية الكهروضوئية (PV):** سيتم تركيب قدرة إجمالية تبلغ 2800 ميغاواط.
- **الأنظمة الشمسية المركزة (CSP):** سوف يتم تكريب قدرة كهربائية إجمالية تبلغ 7200 ميغاواط.
- **طاقة الرياح:** سوف يتم تركيب قدرة كهربائية إجمالية تبلغ 2000 ميغاواط.
- كما أن وسائل وأنواع الطاقات المتجددة سيتم تركيبها حسب خصوصيات كل منطقة.

2.2.4. الهيدروجين كوقود بديل لقطاع النقل في الجزائر

يعد وقود الهيدروجين متعدد الاستخدامات، وهو أفضل أنواع الوقود ومنافسا للوقود التقليدي، ويتميز بالاستدامة وخالي من الكربون، ويستخدم في سيارة الاحتراق الداخلي كوقود وحيد أو مختلطة مع البنزين، أو الغاز الطبيعي. كما هو موضح فالجدول التالي:

الجدول رقم (04): مميزات انواع الوقود في قطاع النقل في الجزائر.

الوحدة: (كيلو واط ساعة/كغ كثافة الكتلة (كلغ/م3)

أنواع الوقود	كثافة الطاقة	كثافة الكتلة
البنزين	12.7	720
غاز البترول المسال	11.6	417
الديزل	13.9	348
الهيدروجين	39.5	0.084

المصدر: بدري، عبد العزيز، طاقة الهيدروجين كبديل طاقوي جديد في العالم وامكانية استخدامه كوقود في الجزائر، أطروحة مقدمة لنيل شهادة دكتوراة علوم في العلوم الاقتصادية، تخصص: تحليل اقتصادي، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير جامعة ورقلة، الجزائر، 2019/2018، ص: 134.

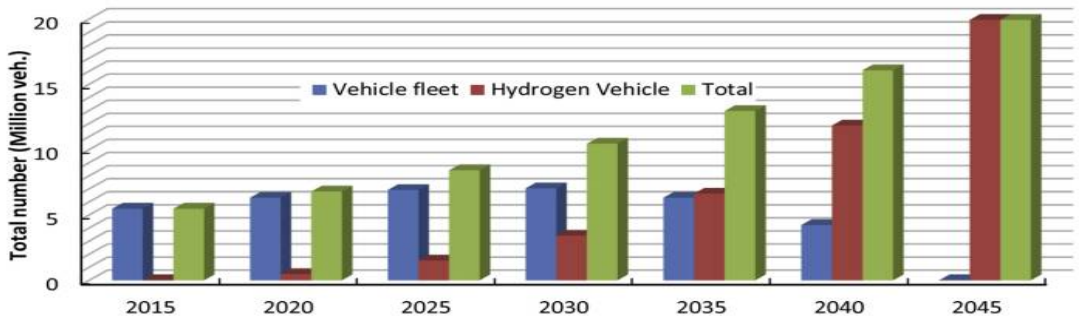
ولتوضيح أكثر، من خلال الحالات التالية:

- **أولا:** هناك كفاءة متساوية بين سيارة الهيدروجين وسيارة التي تعمل الوقود التقليدي.
- **ثانيا:** تتحسن سيارة الهيدروجين من كفاءتها بنسبة خمسة وثلاثون بالمئة اكثر من السيارة التي تعمل بالوقود التقليدي.
- **ثالثا:** سيارة تعمل بخلايا الوقود الهيدروجينية، والتي لديها على الأقل 100بالمئة تحسين في الكفاءة.

3.2.4. تطور الاستهلاك السنوي للمركبات الهيدروجينية في الجزائر بحلول عام 2045

وباعتبار أن متوسط المسافة السنوية المقطوعة من قبل المركبة هي 38 ألف كم، وتستهلك 1 كغ من الهيدروجين لكل 80 كلم، فان متوسط الاستهلاك السنوي للهيدروجين المتوقع للمركبة هو 483 كغ من الهيدروجين في السنة. وأن عدد المركبات في الجزائر سيتطور من 5.5 مليون مركبة عام 2015 إلى 19.92 مليون مركبة منها 11.8 مليون مركبة هيدروجينية بحلول عام 2045، كما هو موضح في الشكل الموالي:

الشكل رقم (05): تطور أعداد المركبات في الجزائر بما فيها مركبات الهيدروجين.

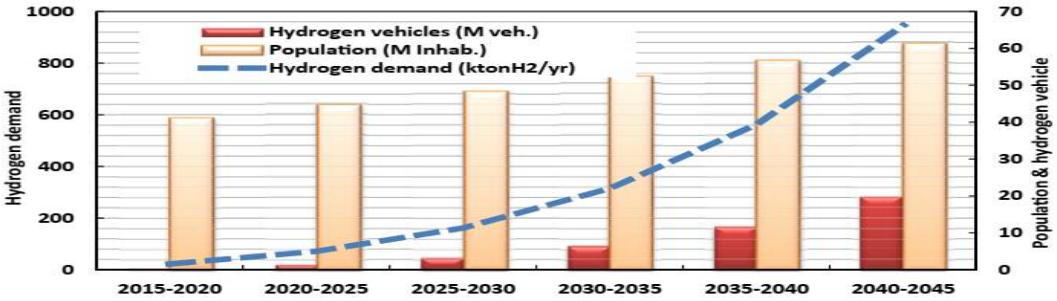


Source: Rahmouni S, et al. **GIS-based method for future prospect of hydrogen demand in the Algerian road transport sector**. Int J Hydrogen Energy 41. 2016 p 2135.

5.2.4. تطور الكثافة السكانية وزيادة اختراق الطلب على الهيدروجين السنوي في الجزائر بحلول عام 2045

سيرتفع عدد السكان في الجزائر من 39.9 مليون نسمة سنة 2015 ليصل الى 61.3 مليون نسمة بحلول 2045، أما الاختراق السنوي سيرتفع من 22.5 كيلو طن خلال الفترة (2015-2020) الى ما قيمته 945.5 كيلو طن في الفترة (2040-2045) بنسبة اختراق 100%، كما هو موضح في الشكل التالي:

الشكل رقم (06): التطور الزمني لعدد مركبات الهيدروجين وعدد السكان والطلب على الهيدروجين السنوي.



Source: Rahmouni S, et al. **GIS-based method for future prospect of hydrogen demand in the Algerian road transport sector**. Int J Hydrogen Energy 41. 2016 p 2135

6.2.4. التوزيع السنوي للطلب على طاقة الهيدروجين حسب المناطق في الجزائر بحلول عام 2045

اعتمدت الدراسة على نظام المعلومات الجغرافية لتوزيع الطلب على الهيدروجين في كل المناطق في الجزائر، حيث تناقض كبير في هذا التوزيع بين المناطق الشمالية والجنوبية ،لاستحواذ الشمال على اكبر النسب للطلب على الهيدروجين وخاصة الجزائر العاصمة، بطلب أكثر من 5000 طن/سنة، بسبب كبر اسطول السيارات ،عكس الجنوب والذي ينحسر الطلب فيها بين 16 طن/ سنة، و1000 طن/ سنة في منطقة تندوف (Rahmouni، Settou، Negrou، و Gouareh، 2016، صفحة 2134).

3.4. التحديات التي تواجه اعتماد الهيدروجين في قطاع النقل في المنطقة العربية:

- أدى الدعم المحلي لوقود البترول السائل وغياب الأنظمة لحماية البيئية، ودعم قطاع النفط أدى إلى عرقلة الجهود نحو الانتقال وتطوير قطاع الطاقات المتجددة والنظيفة.
- غياب الحاجة إلى معايير دولية لتنظيم وخلق مشاريع استثمارية في مجال الطاقات المتجددة وخاصة طاقة الهيدروجين.
- تعتبر تكلفة إنتاج الهيدروجين باهظ جدا، وتسعى الدول في تطوير الأبحاث العلمية من أجل إيجاد حلول لخفض التكاليف إنتاجها.
- غياب محطات التزود بالوقود، حيث توجد في المنطقة العربية محطتين فقط، ويعتبر من أكبر التحديات التي تواجه الانتقال إلى الطاقة البديلة ((الإسكوا)، 2022، صفحة 17).

5. الخاتمة:

تسعى العديد من الدول العربية ومنها الجزائر الانتقال نحو الاقتصاد القائم على طاقة الهيدروجين النظيف من أجل تنويع مصادر الطاقة التي تضمن الاستدامة وتحمي البيئة، ويعد قطاع النقل من بين القطاعات التي سوف يعتمد على طاقة الهيدروجين كمصدر رئيسي للوقود في مجال النقل كمرحلة أولية، ولكن هناك تحديات كبيرة تواجه هذا الانتقال خاصة في المنطقة العربية والجزائر التي لاتزال تقدم الدعم الكبير لقطاع النفط والغاز، بالإضافة إلى زيادة الكثافة السكانية مما تنتج عنها زيادة في طلب على طاقة الهيدروجين للمركبات ، وكذلك ضعف البنية التحتية الضرورية من أجل إنتاج وتطوير طاقة الهيدروجين، ولهذا يجب على الجزائر والدول العربية وضع استراتيجيات وسياسات وبرامج ناجعة من أجل التوجه نحو الطاقات المتجددة وخاصة طاقة الهيدروجين في جميع المجالات.

1.5. النتائج: من أهم النتائج التي توصلت إليها الدراسة، هي:

- يعتبر الهيدروجين من طاقات النظيفة وصديقة للبيئة، وعلى الدول العربية والجزائر ضرورة الاستثمار وتطوير البنية التحتية للطاقات المتجددة وخاصة الهيدروجين من أجل تحقيق التنمية المستدامة.
- يجب على الجزائر المحافظ على احتياطات الطاقة المتجددة، وترشيد استغلالها من أجل أن تكون رائدة وأكبر مصدر في مجال الطاقة البديلة.
- يعد وقود الهيدروجين منافسا قويا للوقود التقليدي، وتسعى الدول العربية والجزائر باستخدام الهيدروجين كوقود للقطاع النقل، بالرغم من وجود عوائق تحول دون اعتمادها.

2.5. التوصيات: من خلال النتائج التي توصلت إليها الدراسة، نستنتج التوصيات التالية:

- ضرورة وضع استراتيجيات وسياسات وبرامج من أجل التوجه نحو الاستثمار في مجال الطاقات المتجددة والنظيفة.
- ازاحة جميع العوائق التي تعيق التطور في مجال طاقة الهيدروجين كوقود في قطاع النقل.
- تشجيع والتطوير البحث العلمي ودعمه في مجال الطاقات المتجددة من أجل الانتقال إلى تنوع في مصادر الطاقة النظيفة وحد من انبعاث ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن استخدام الطاقة التقليدية.
- تمويل المشاريع والاستثمارات الخاصة بالطاقات النظيفة وطاقة الهيدروجينية، من أجل زيادة توسعها في جميع المجالات والقطاعات.

6. قائمة المراجع:

1. الأمم المتحدة، اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا. (2022). الهيدروجين الأزرق والأخضر: تطورات محتملة في المنطقة العربية. لهيدروجين الأزرق والأخضر: تطورات محتملة في المنطقة العربية. بيروت: اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا الاسكوا.
2. اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا (الإسكوا). (2022). استخدام الهيدروجين في قطاع النقل: واقع المنطقة العربية. تأليف لجنة النقل واللوجيستيات (المحرر). الدورة الثالثة والعشرون، صفحة 8. الاسكندرية، مصر: المجلس الاقتصادي والاجتماعي للأمم المتحدة.
3. الهيئة العربية للطاقة المتجددة. (2021). الاستراتيجة الشاملة للطاقة المتجددة والهيدروجين الاخضر في الوطن العربي. الاستراتيجة الشاملة للطاقة المتجددة والهيدروجين الاخضر في الوطن العربي. هيئة العربية للطاقة المتجددة.
4. إلياس يايسي، و آسية غنام. (2018). الهيدروجين كأنظف طاقة في المستقبل – عرض التجربة اليابانية-. استراتيجيات الطاقة المتجددة و دورها في تحقيق التنمية المستدامة. البليدة: جامعة لونيسي علي – البليدة -.
5. إيبرت فريدريش . (بلا تاريخ). الهيدروجين كمصدر طاقة خضراء في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. الأردن: مؤسسة فريدريش إيبرت.
6. راشد مناع، و عمر صفوري. (2022). الطاقة - إلى- x فرص استخدام الهيدروجين الأخضر في الأردن. الأردن: مؤسسة فريدريش إيبرت.
7. عبد العزيز بدري. (2019/2018). طاقة الهيدروجين كبديل طاقوي جديد في العالم وامكانية استخدامه كوقود في الجزائر (الإصدار كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير). الجزائر: أطروحة مقدمة لنيل شهادة دكتوراه علوم في العلوم الاقتصادية ، تخصص تحليل اقتصادي جامعة ورقلة.

8. فريد بختي، و رضا بهياني. (2018). صناعة الطاقات المتجددة ودورها في تجسيد التنمية المستدامة في الجزائر مع الإشارة إلى البرنامج الوطني للطاقات المتجددة (2011-2030). مجلة الاقتصاد والبيئة، الصفحات 52-53.
9. للأمم المتحدة المجلس الاقتصادي والاجتماعي. (2022). استخدام الهيدروجين في قطاع النقل: واقع المنطقة العربية. الاسكندارية، مصر: اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا (الإسكوا).
10. محمد مدحي. (1 ديسمبر، 2015). فعالية الاستثمارات في الطاقات المتجددة كإستراتيجية لما بعد المحروقات في تحقيق التنمية المستدامة في الجزائر. مجلة الباحث الاقتصادية، العدد 04.
11. أحمد فاضل مخيبر ، علاء عزيز عباس، و فراس كاظم نصيف. (27 1، 2022). كلية التربية للعلوم الصرفة. تاريخ الاسترداد 18 11، 2023، من كلية التربية للعلوم الصرفة (ابن الهيثم):
https://ihcoedu.uobaghdad.edu.iq/wp-content/uploads/sites/27/2022/01/%D8%A7%D9%84%D8%B7%D8%A7%D9%82%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%8A%D8%AF%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86%D9%8A%D8%A9.pdf
12. الأردن أكاديمية الطاقة الألمانية الأردنية. (افريل، 2019). الطاقة الهيدروجينية بديل للوقود الاحفوري. تاريخ الاسترداد 18 11، 2023، من أكاديمية الطاقة الألمانية في الأردن: https://www.gea-jordan.academy/ar/%D8%A7%D9%84%D8%B7%D8%A7%D9%82%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%8A%D8%AF%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86%D9%8A%D8%A9-%D8%A8%D8%AF%D9%8A%D9%84%D8%A7%D9%8B-%D9%84%D9%84%D9%88%D9%82%D9%88%D8%AF-%D8%A7%D9%84
13. موسوعة ويكبيديا. (23 09، 2023). هيدروجين. تاريخ الاسترداد 10 11، 2023، من ويكبيديا الموسوعة الحرة:
https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%87%D9%8A%D8%AF%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86
14. للاستشارات مزيج . (2020). الهيدروجين الأخضر ومستقبل الطاقة النظيفة الواعد. تاريخ الاسترداد 10 11، 2023، من مزيج:
https://mazeej.com.sa/resources/greenh.pdf
15. -bloomberg. (2021, 08 20). Consulté le 08 20, 2021, sur www.bloomberg.com.
16. Encyclopedia The Columbia .(2012 ،10 2) .Discovery of Hydrogen and Its Isotopes ،Columbia University من ،2023 11 10 تاريخ الاسترداد- infoplease: http://www.infoplease.com/ce6/sci/A0858723.html
17. Soumia Rahmouni ،Noureddine Settou ،Belkhir Negrou و ،Abderrahmane Gouareh) .January, 2016 .(-GIS-based method for future prospect of hydrogen .International Journal of Hydrogen Energy.،
18. Stwertka Albert .(1996) .A guide to the Elements من ،2023 تاريخ الاسترداد .-INTERNET ARCHIVE: https://archive.org/details/guidetoelements00stwe/page/16/mode/2up
19. Watson Farley and Williams .(2021 ،6 2) .Hydrogen in the United Arab Emirates من الاسترداد تم .-Watson Farley and Williams: https://www.wfw.com/articles/hydrogen-in-the-uae
20. ESCWA, External Trade Data Platform for the Arab Region, 2020