دور الهيدروجين الاخضر فى تحقيق التنميه الاقتصاديه
The role of green hydrogen in achieving economic development

جيهان سيد محمد مصطفي

مدرس الاقتصاد – بكليه الاقتصاد والاداره – جامعه ٦ اكتوبر

اولا:الملخص

تعد مشكلة الطاقة واحدة من أكبر التحديات التي تواجه العالم، وخاصة فيما يتعلق بإنتاج الطاقة النظيفة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. تعتبر هذه الأشكال من الطاقة أكثر تكلفة من الطاقة التقليدية، بالإضافة إلى أنها تتطلب تكنولوجيا متقدمة وقد تكون محدودة في الكميات المتاحة. ولحل هذه المشكلة، يتجه العالم نحو إنتاج الهيدروجين، حيث يحتوي على كميات عالية من الطاقة. بالإضافة إلى ذلك، يتميز الهيدروجين بالعديد من الطرق التي يمكن أن يتم إنتاجها بها.

بالإضافة إلي ذلك نجد أن الوصول إلي أمن الطاقة والإنتاج المسؤول لمصادرها المستدامة يشكل أمرا ضروريا تفرضه الظروف الاقتصادية العالمية المعاصرة، خاصة في ظل ما يمر به العالم من أزمات متكررة كجائحة كورونا، والحرب الأوكرانية الروسية واللتا نتجا عنهما الارتفاع الحاد لأسعار الطاقة، وفاقم في الوقت ذاته النقص في إمداداتها والقلق بشأن أمنها، هذا بالإضافة إلى هيمنة الطاقة الاحفورية التقليدية، وما تسببه من تأثيرات سلبية ضخمة على البيئة والمناخ، ولا سيما في الدول النامية التي تعتبر أكثر الدول عرضه لانعدام الأمن في قطاع الطاقة، وأكثر تأثرا بتغير المناخ.

بناء عليه حظيت مصادر الطاقة الخالية من الكربون (الطاقة المتجددة) باهتمام متزايد خلال السنوات الماضية، وذلك باعتبارها بمثابة الحل الأمثل لمعظم التحديات الرئيسية التي تواجه العالم، ولا سيما العالم النامي، خاصة في كيفية تلبية احتياجاته المتزايدة من الطاقة والحفاظ على النمو الاقتصادي دون المساهمة في تغير المناخ. هذا وتعتبر

طاقة الهيدروجين الأخضر واحدة من أهم المنتجات التي تتم من خلال استخدام هذه المصادر والتي تلعب دورا محوريا في التحول العالمي نحو اقتصاد خالي من الكربون، ولا سيما في قطاع النقل الذي يعد ثاني أكبر منتج لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون عالميًا، بعد الكهرباء وتوليد الحرارة وأكبر مستخدم نهائي للطاقة في البلدان المتقدمة النمو وأسرع القطاعات نمواً في معظم البلدان النامية.

ويعتبر الهيدروجين الأخضر نوع من الطاقة المتجددة منخفضة الكربون ، وتأتى أهميته فى قدرته على توفير طاقة هائلة القدرة وقليلة الانبعاثات من أجل حماية البيئة ، لكن ارتفاع تكلفة إنتاجه من الطاقات المتجددة لثلاثة أضعاف المنتج من الوقود الأحفورى بجانب تحديات تخزينه ونقله من أهم التحديات التى تحتاج لتطوير التكنولوجيات للتسريع بالتوسع فى إنتاجه عالمياً.

وانتهجت مصر خطواتها الإنتاجية من خلال إعداد استراتيجية وطنية للهيدروجين الأخضر ، وعقد اتفاقيات دولية مع جهات مختلفة بهدف تنويع مصادر الطاقة وتوطين صناعته بواسطة مشروعات تقام فى المنطقة الاقتصادية لقناة السويس . وأيضاً تعاون مصرى هندى لإقامة منشأة لإنتاج الهيدروجين الأخضر فى المنطقة الاقتصادية لقناة السويس ، باعتبار الهند حققت خطوات ناجحة فى إنتاج الهيدروجين بالإضافة إلى تصنيعها لأول حافلة تعمل بتقنية خلايا وقود الهيدروجين ، بجانب تطويرها لتكنولوجياتها وذلك لتوليد الهيدروجين من المخلفات الزراعية

ويتجه عدد مُتزايد من البلدان والحكومات إلى إنتاج الهيدروجين كوسيلة مُتاحة لإزالة الكربون ووصول إلى هدف صفر كربون ، كُرست لذلك الإستراتيجيات الوطنية لتطوير تقنيات إنتاجه باعتباره مصدر للوقود الخالى من الانبعاثات ، فهو غاز خام للصناعة أو مصدر للحرارة والطاقة للمبانى. لذا يركز البحث على دراسة إمكانات اقتصاديات الهيدروجين الأخضر ودورها في تعزيز التنمية الاقتصادية .

الكلمات المفتاحيه:

الهيدروجين الأخضرGreen Hydrogen - التنمية الاقتصادية Economic development - الوقود الأحفورىFossil fuels - الطاقة المتجددة منخفضة الكربون

- Conventional energyالطاقة التقليدية - Low carbon renewable energy الطاقة النظيفة clean energy - المخلفات الزراعية Agricultural waste

Abstract :

Energy is one of the biggest challenges facing the world, especially in terms of producing clean energy such as solar and wind energy. These forms of energy are more expensive than conventional energy, require advanced technology and may be limited in available quantities. To solve this problem, the world is turning to hydrogen production, which contains high amounts of energy. In addition, hydrogen has many ways in which it can be produced. In addition, we find that achieving energy security and responsible production of its sustainable sources is a necessity imposed by contemporary global economic conditions, especially in light of the recurring crises that the world is going through, such as the Corona pandemic and the Russian-Ukrainian war, which resulted in a sharp rise in energy prices, and at the same time exacerbated the shortage in its supplies and concerns about its security, in addition to the dominance of traditional fossil energy, and the huge negative effects it causes on the environment and climate, especially in developing countries that are considered the most vulnerable to insecurity in the energy sector, and the most affected by climate change. Accordingly, carbon-free energy sources (renewable energy) have received increasing attention in recent years, as they are considered the ideal solution to most of the major challenges facing the world,

especially the developing world, especially in how to meet its growing energy needs and maintain economic growth without contributing to climate change.

Green hydrogen energy is considered one of the most important products that are produced through the use of these sources, which play a pivotal role in the global transition towards a carbon-free economy, especially in the transportation sector, which is the second largest producer of carbon dioxide emissions in the world, after electricity and heat generation, and the largest end-user of energy in developed countries and the fastest growing sector in most developing countries.

Green hydrogen is considered a type of low-carbon renewable energy, and its importance lies in its ability to provide huge energy capacity and low emissions in order to protect the environment. However, the high cost of producing it from renewable energies is three times that of fossil fuels, in addition to the challenges of storing and transporting it, which are among the most important challenges that require the development of technologies to accelerate the expansion of its production globally.

Egypt has taken its production steps by preparing a national strategy for green hydrogen, and concluding international agreements with various parties with the aim of diversifying energy sources and localizing its industry through projects established in the Suez Canal Economic Zone. There is also

Egyptian-Indian cooperation to establish a facility to produce green hydrogen in the Suez Canal Economic Zone, considering that India has achieved successful steps in producing hydrogen in addition to manufacturing the first bus that operates with hydrogen fuel cell technology, in addition to developing its technologies to generate hydrogen from agricultural waste. A growing number of countries and governments are turning to hydrogen production as an available means of decarbonization and achieving the goal of zero carbon. National strategies have been devoted to developing technologies for its production as a source of emission-free fuel, as a raw gas for industry or a source of heat and energy for buildings. Therefore, the research focuses on studying the potential of green hydrogen economies and their role in promoting economic development.

ثانيا : مشكلة البحث:

تتمثل مشكلة الدراسة في محورين أساسيين يتماشيا في اتجاة واحد فالأول هو اتجاة دول العالم حول ضرورة تأمين مسار التحول إلى الطاقة الخضراء، خاصة بعد حدوث كل من أزمتي المناخ والطاقة التي اشتدت حدتهما بالتعافي الاقتصادي الذي ظهر جراء إنهاء الإغلاق العام العالمي الذي فرضته أزمة كوفيد - ١٩، والذي أدى إلى زيادة الاستهلاك العالمي للطاقة وكذا الغزو الأوكراني في فبراير ٢٠٢٢ والعديد من الأزمات الاقتصادية التي مرت بها البلاد جميعا ، وتلك الأمور والأزمات أدت إلي ارتفاع الأسعار في جميع أسواق النفط والفحم والغاز الطبيعي، بسبب النقص في سلاسل الإمداد. إلا أنه لا يزال هناك عوائق تحول دون تحقيق ذلك الانتقال، حيث الافتقار إلى البنية التحتية التمكينية اللازمة لانتشار هذه التقنية بالإضافة إلى ارتفاع

تكاليفها وتتمثل الإشكالية في التساؤل التالي: ما مدى إمكانية مساهمة اقتصاديات الهيدروجين الأخضر في تعزيز تحقيق التنمية الاقتصادية؟

ثالثا:أهمية البحث

تنبثق أهمية الدراسة من أهمية البحث عن بدائل فورية، وآمنة للوقود الأحفوري التقليدي ليس فقط من أجل معالجة أزمة المناخ العالمية والمساهمة في معالجة التدهور البيئي، بل لعدم الوقوع مجددا في دائرة انعدام أمن الطاقة، الذي تسببت به الصراعات الجغرافية - السياسية، والتكاليف المتصاعدة والمستمرة في أسعار الطاقة وذلك لوجود ارتباط وثيق الصلة بين كل من مواجهة أزمة الطاقة، ومعالجة أزمة المناخ، فالاستثمار الكثيف في الطاقة النظيفة ومنتجاتها، هو أفضل ضمان لأمنها في المستقبل، وأبرز الحلول للحد من انبعاثاتها الضارة

رابعا :اهداف البحث

١. تهدف هذه الدراسة لتسليط الضوء على مدي أهمية 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
٢. توضيح الرؤية الاستراتيجية للهيدروجين الأخضر عربيا وعالميا، وضرورة تشجيع الدولة للاستثمار في طاقة الهيدروجين من خلال التحفيز الضريبي من طرف الدولة؛ وتقديم الإعانات المادية والبشرية لتطوير الاستثمار في هذا المجال.
٣. إظهار أهمية دمج الهيدروجين الأخضر في مزيج الطاقة المحلي لتنويعه ولضمان أمنا طاقه مستداما ولتحقيق موارد مالية بتصديره
٤. تسليط الضوء على أهمية الأمن الطاقه المستدام وإظهار دور الهيدروجين الأخضر في تحقيق الأمن الطاقه المستدام بجمهورية مصر العربية

خامسا :فروض البحث:

- يساهم الهيدروجين الأخضر في خفض الانبعاثات الكربونية الضارة في كافة القطاعات الاقتصادية، ولا سيما في القطاعات التي يصعب تخفيف انبعاثاتها (كالصناعة).
- يتوقع أن يكون لاقتصاد الهيدروجين الأخضر دور متعاظم في تعزيز وتحقيق النقل المستدام خلال الأعوام القليلة القادمة.
- تسارع مصر الخطى في تبني الخطط والمقترحات التي من شأنها جذب المزيد من الاستثمارات الأجنبية في مجال إنتاج الهيدروجين الأخضر.

سادسا :منهج البحث

يعتمد البحث على الأسلوب الوصفي التحليلي بالاعتماد على كل من المنهج الاستقرائي والاستنباطي، في عرض الإطار النظري الخاص بالهيدروجين الأخضر، ودوره في تعزيز أمن الطاقة وتحقيق النقل المستدام

سابعا:خطة البحث

المبحث الأول ماهية الهيدروجين الأخضر وأنواعه وأهم عقبات تكوينه

المبحث الثاني دور الهيدروجين الأخضر في التنمية اقتصادية

المبحث الأول

ماهية الهيدروجين الأخضر وأنواعه وأهم عقبات تكوينه

تمهيد

الهيدروجين غاز عديم اللون والرائحة وغير سام وتقل كثافته عن كثافة الهواء ب١٤ مرة، وهو العنصر الكيميائي الأخف والأبسط والأكثر وفرة بالطبيعة التي لا يوجد حرًا 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 ١٦٧١ واستكمل العالم البريطاني هنري كافنديش التجارب بعد قرابة ١٠٠ عام في ١٧٦٦. (وحدة أبحاث الطاقة، ٢٠٢٢، الهيدروجين في مزيج الطاقة. ١٠ تساؤلات

عن أنواعه واستخداماته وأهميته(١) وسوف نتعرض ل ماهية الهيدروجين الأخضر وأنواعه وأهم عقبات تكوينه من خلال :

أولا تعريف الهيدروجين

يعرف الهيدروجين بصفة عامة بأنه أبسط وأخف عنصر كيميائي موجود في الكون يوجد بشكل طبيعي على شكل ذرتين من الهيدروجين (H_2) ومن أهم خصائصه أنه غير سام، عديم اللون، والطعم والرائحة، وعلى الرغم من كونه غاز عديم اللون إلا أنه قد تم تخصيص رموز لونية للهيدروجين تختلف كل منها عن الأخرى باختلاف مصادر الطاقة وعمليات الإنتاج والمواد الأولية المستخدمة لإنتاجه . وكذا الأثر البيئي التي ينتج عنه والمسؤولة في الوقت ذاته عن اللون الذي يتمتع به [٢]،

ويعرف الهيدروجين الأخضر بأنه "الهيدروجين المنتج من مصادر الطاقة المتجددة والتحليل الكهربائي للماء والذي يُطلق عليه غالبًا "الهيدروجين النظيف"، أو "الهيدروجين المتجدد". تم اقتراح مصطلح اقتصاد الهيدروجين لأول مرة في عام ١٩٧٠ من قبل جون بوكريس (John Bockris) خلال محاضرة كان قد ألقاها في المركز الفني لجنرال موتورز، لكنه لم يبدأ في اكتساب الزخم حتى أوائل عام ٢٠١٠، مما تسبب في تشكيل مجلس الهيدروجين عام ٢٠١٧)[٣]، حيث التزمت شركات السيارات والطاقة اليابانية والصينية بتصميم وبناء مركبات الهيدروجين ومحطات الهيدروجين[٤] بناء عليه، يمكن تعريف اقتصاد الهيدروجين بأنه ذلك الاقتصاد الذي يكون فيه الهيدروجين الهيدروجين هو الناقل الأساسي للطاقة جنبًا إلى جنب مع الكهرباء".

ثانيا 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 حاملًا للطاقة وحلا لطبيعة الطاقة المتجددة المتقطعة، ثم تحول الحديث فجأة لأن يكون له دورا كبيرا في منظومة الطاقة ومنها :

- تنويع مزيج الطاقة ليرافق الهيدروجين الوقود الأحفوري والطاقة المتجددة تعزيزا لأمن الطاقة
- يستعمل الهيدروجين وقودًا أو مادة خامًا مباشرة ويكمن مشكل الكهربة (الكهرباء محل الوقود) في وجود قطاعات صعبة التخلص من بصمة الكربون ولا يعتمد فيها كلية على الكهرباء والتخلي عن بعض أنواع الوقود.([1])

ثالثا أسباب استخدام الهيدروجين الأخضر

إذا كان المستهدف هو إزالة الكربون تماما من الاقتصاد، فإن جزىء الهيدروجين سيلعب دورا مهما في تحقيق ذلك، ولا سيما في القطاعات التي يصعب تخفيف انبعاثاتها الكربونية كالقطاعات كثيفة الاستخدام للطاقة (الصناعة والنقل)، حيث أنه جزىء متعدد الاستخدامات متفاعل، قابل للتخزين، قابل للنقل، نظيف الحرق، يمكن إنتاجه بانبعاثات منخفضة (الهيدروجين الأزرق) أو معدومة (الهيدروجين الأخضر). كما يؤدي انتشار تقنيات الهيدروجين الأخضر في القطاعات الاقتصادية المختلفة إنشاء العديد من الوظائف الخضراء، وتقليل كثافة الكربون بها، فعلى سبيل المثال

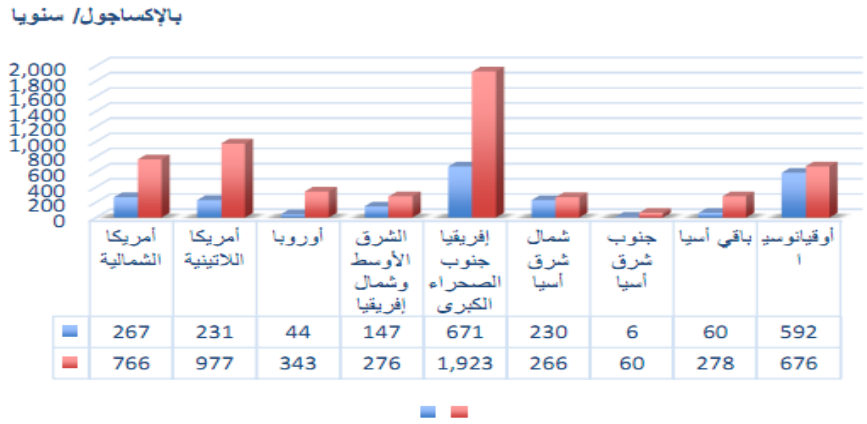
تشير بعض الدراسات أن هذه التقنيات ستقلل ما يصل إلى نحو ربع انبعاثات غازات الاحتباس الحراري
العالمية التي تنتجها الصناعات التي تعتمد على الوقود الأحفوري التقليدي وذلك بحلول عام ٢٠٣٠[١].
هذا وتعد تقنية خلايا الوقود (Fuel Cells) من أبرز التطبيقات الحالية للهيدروجين. تم اختراعها بإنجلترا في منتصف القرن التاسع عشر الميلادي على يد السير وليام روبرت جروف (Grove William Robert) عام ١٨٣٩. وهي عبارة عن أداة تعمل على تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية باستخدام كلا من الهيدروجين والأكسجين دون أن ينتج عنها أي عملية احتراق مع العلم أن هذا الاختراع ظل حبيس الإدراج مدة زمنية ليست بالقصيرة (١٣٠عاما) نظرا لعدم جدوى استخدامه خلال تلك الفترة، إلا أنه وخلال منتصف القرن العشرين تم استخدامها في التطبيقات الفضائية كوقود لمحركاتها، وتأمين الطاقة الرئيسية للأبنية والمصانع (الطاقة الكهربائية)، وتغذية الهواتف النقالة، والحواسيب المحمولة وصناعة السيارات وغيرها . كذلك يُستخدم كمادة خام في بعض الصناعات، حيث ينتج ويستهلك أكثر من ٥٥ مليون طن من الهيدروجين سنويًا في مجموعة واسعة من العمليات الصناعية[٢] مثل صناعة السماد والمواد الكيميائية والتكرير، أو لتوفير الحرارة في الصناعات كثيفة استهلاك الطاقة، مثل صناعة الصلب، الأمونيا[٣].
أما عن التطبيقات المستقبلية، فتشير التوقعات إلى أن مساهمة الهيدروجين في إنتاج صناعة الحديد والصلب ستمثل نحو ٤٠% من إجمالي الطلب على الهيدروجين الصناعي بحلول عام ٢٠٥٠، حيث يعمل كبديل للفحم والغاز الطبيعي كعامل اختزال ومصدر للطاقة. هذا بالإضافة إلى أنه سيساهم في إنتاج الصناعات الثقيلة كالمواد الكيمائية وإنتاج الأسمنت من ٥-١٠% من إجمالي الطلب على الطاقة النهائية

المستخدمة في تلك الصناعة بحلول نفس العام. أما عن استخدامه في قطاع النقل فسيتركز بشكل كبير في إنتاج الوقود المشتق من الهيدروجين المستخدم لازالة الكربون في عمليات النقل البحري لمسافات ليست بالقصيرة، وذلك في صورة أمونيا، وميثانول، وديزل صناعي من ٣٠-٥٥% من إجمالي الطلب النهائي للطاقة في القطاع البحري بحلول عام٢٠٥٠. أما في مجال النقل الجوي فسيمثل الوقود المشتق من الهيدروجين وفي صورة وقود نفاث صناعي ما بين ١٠-٣٠% من إجمالي الطلب النهائي للطاقة في النقل الجوي. أما النقل البري لمسافات طويلة فسيمثل الهيدروجين منخفض الكربون، والوقود المشتق منه ما بين ١٠-٢٠% من إجمالي الطلب النهائي للطاقة في النقل البري بحلول نفس العام[١].

الجدير بالذكر، أنه على الرغم من أن حجم التكاليف اللازمة لإنتاج الهيدروجين الأزرق تتمتع بالانخفاض عن تلك اللازمة لإنتاج الهيدروجين الأخضر في الوقت الحالي، إذ أن التحليل الكهربائي للماء يمثل حاليًا أقل من ٠.١% من إنتاج الهيدروجين العالمي[٢]، إلا انه ونظرا لعدة عوامل من بينها: ارتفاع أسعار الغاز الطبيعي في كل من أوروبا وآسيا نتيجة الحرب الروسية الأوكرانية، ومجموعة القوانين والمبادرات السياسية التي اتخذتها بعض الدول الكبرى، كقانون خفض التضخم في الولايات المتحدة الأمريكية، وما يتضمنه من حوافز وإعانات جيدة تعمل على تشجيع الاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة، كذلك المبادرات الأوروبية المماثلة الأخرى، والتي تستهدف زيادة الطلب على المعادن الضرورية المعروفة بأنها تشكل العناصر الأساسية للطاقة المتجددة، كتوربينات الرياح، والمركبات الكهربائية والألواح الشمسية، وذلك في ظل توقعات الوكالة الدولية للطاقة من أن الاقتصاد العالمي سينتقل من نظام طاقة كثيف الاستهلاك للوقود إلى نظام طاقة كثيف الاستهلاك للمعادن[٣]. ستؤدي جميعها إلى انخفاض هذه التكلفة في المستقبل القريب لبعض المناطق والبلدان،

.

بشرط تطور حجم الكفاءة التكنولوجية التي تعمل على انخفاض تكلفة الطاقة المتجددة، ولا سيما تكنولوجيا المحلل الكهربائي اللازمة لإنتاج الهيدروجين الأخضر.
بناء عليه، ووفقا لما سبق، سيصبح الهيدروجين الأخضر أحد أكثر الخيارات الأقل تكلفة آنذاك، فسيمثل نحو ٦٠%من الهيدروجين منخفض الكربون بحلول عام ٢٠٣٠، مع العلم أنه ستزداد هذه النسبة إلى نحو ٦٥% بحلول عام٢٠٥٠، وستكون النسبة المتبقية ٣٥% من نصيب الهيدروجين الأزرق الذي يعمل كمكمل مهم للهيدروجين الأخضر والتي سيتم توفيره من خلال مصادر إنتاجه. وفي هذا السياق، يمكن القول أن الهيدروجين الأخضر هو الهيدروجين المستدام الوحيد الذي يتوقع أن يكون قادرًا على المنافسة خلال الأعوام القليلة القادمة. فوفقا لبيانات وكالة الطاقة الدولية لعام ٢٠٢٢ أنه بحلول عام ٢٠٣٠ ستصل سعة الهيدروجين منخفضة الكربون في القطاعات الاقتصادية المختلفة ما بين ١٦- ٢٤ مليون طن سنويا، مقسمة ما بين هيدروجين أخضر بما يمثل ما بين ٩-١٤ مليون طن، وهيدروجين أزرق ما بين ٧-١٠ مليون طن بشرط أن يتم تنفيذ كافة مشاريعه المتفق عليها حاليا.
ولعل ما يؤكد ما تم ذكره ما يشير إليه الشكل رقم (١) والذي يبين أن حجم الإمكانات الاقتصادية الكبرى التي ستتمتع بها منطقة جنوب الصحراء الكبرى، وقدرتها من حيث كمية الإنتاج التي يتوقع أن تنتجها من الهيدروجين الأخضر، والتي قدرت ما بين (٦٧١) بناء على السيناريو المتشائم إلى (١٩٢٣) إكساجول بناء على السيناريو المتفائل، وبحجم تكاليف قدرت بأقل من ٢ دولار لواحد كيلوجرام من الهيدروجين المشتق من المحلل الكهربائي. وذلك اعتمادا على التوقعات بشأن اتباع المنطقة للابتكار التكنولوجي الذي سيساعدها في تحقيق ذلك. وذلك مقارنة بأوروبا التي تمتلك عدد كبير من مصانع الهيدروجين الأخضر والتي من المتوقع أن تشهد ما يصل إلى (٣٤٣) إكساجول من الإنتاج السنوي في السيناريو المتفائل.



شكل رقم (١) الإمكانات الاقتصادية لإنتاج الهيدروجين الأخضر بأقل من ٢ دولار للكيلو جرام على مستوى العالم بحلول عام ٢٠٥٠ حسب المنطقة والسيناريو.

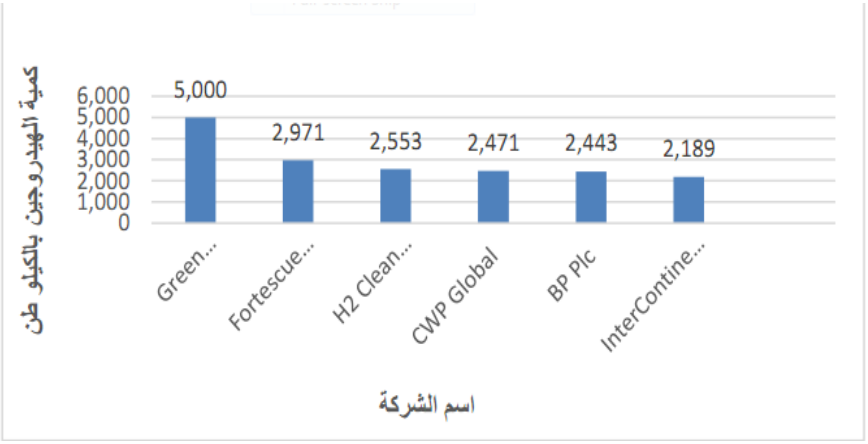
Source: IRENA (2022), "Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal & Green Hydrogen Cost and Potential", p. 32, https://www.irena.org.

تأسيسا على ما سبق، سيحدد كل من القدرة التنافسية لتكاليف الإنتاج، وتطور البنية التحتية التمكينية لانتشار تكنولوجيا إنتاج مصادر إنتاج الهيدروجين الأخضر على نطاق واسع في المستقبل القريب، معدل النمو العالمي للهيدروجين الأخضر، فوفقا لدراسة مجلس الهيدروجين لعام٢٠١٧، إذا كانت تكاليف الهيدروجين الأخضر أكثر ارتفاعا من مرة إلى ثلاث مرات من الهيدروجين المنتج من الوقود الأحفوري في وقتنا الحالي. فبفضل الابتكار التكنولوجي، واقتصاديات الحجم، وسياسات تسعير الكربون، من المتوقع أن تنخفض هذه التكاليف وسيزداد الطلب على الهيدروجين الأخضر بنحو ١٤% من إجمالي الطلب العالمي المتوقع على الطاقة بحلول عام

٢٠٥٠، فضلا عن خلق سوقا بقيمة ٢.٥ تريليون دولار لمعدات الهيدروجين، وخلايا الوقود، وتوفير فرص عمل مستدامة لأكثر من ٣٠ مليون شخص بحلول نفس العام[١].

رابعاالوضع الحالي والتوقعات المستقبلية لإنتاج الهيدروجين الأخضر

بلغ إجمالي الإنتاج العالمي من الهيدروجين المشتق من استخدام الوقود الأحفوري نحو ٩٤ مليون طن خلال عام ٢٠٢١، مصاحبا لانبعاثات كربونية تزيد عن ٩٠٠ مليون طن خلال نفس العالم، في حين بلغ إنتاج الهيدروجين منخفض الانبعاثات الهيدروجين (الأزرق) أقل من١ مليون طن (٠.٧%) خلال نفس العام، بالإضافة إلى نحو ٣٥ كيلو طن فقط من الهيدروجين الأخضر. إلا أنه ونظرا لارتفاع عدد المشروعات المعلنة التي تستهدف إنتاج كل من الهيدروجين الأزرق والأخضر خلال الأعوام القليلة القادمة، يتوقع أن يصل الإنتاج السنوي أكثر من ٢٤ مليون طن بحلول عام ٢٠٣٠، حيث أن ارتفاع السعة المركبة للمحللات الكهربائية المستخدمة في إنتاج الهيدروجين الأخضر، والتي وصلت إلى٥١٠ ميجاوات بنهاية عام ٢٠٢١ وبزيادة قدرت نحو ٢١٠ ميجاوات خلال عام ٢٠٢٠ ستزيد من إنتاج الهيدروجين الأخضر خلال الأعوام القليلة القادمة. مع العلم أن شركة (Green Hydrogen International) تعتبر من أوائل الشركات الرائدة في إنتاج الهيدروجين الأخضر خلال الربع الأول من عام٢٠٢٣، حيث استحوذت على أعلى كمية إنتاج بنحو ٥.٠٠٠ كيلو طن. تليها شركة (Fortescue Future Industries) بكمية إنتاج قدرت بنحو ٢.٩٧١ كيلوطن خلال نفس الفترة. مع العلم أن أقل نسبة إنتاج كانت من نصيب شركة (InterContinental Energy) بإجمالي إنتاج قدر بنحو ٢.١٨٩ كيلو طن خلال نفس الفترة كما يظهر من الشكل رقم (٢)



شكل رقم (٢): الكمية المنتجة من الهيدروجين الأخضر من قبل الشركات الرائدة في هذه الصناعة على مستوى العالم بالكيلو طن خلال الربع الأول من عام٢٠٢٣.

Source: Global Data, Green Hydrogen Leaders- Q1 2023 https://www.globaldata.com/data -Insights/.

هذا وتعتبر كل من أوروبا وأستراليا من أوائل الدول المرشحين في تنفيذ مشاريع إنتاج الهيدروجين الأخضر مستغلان مواردهما المتجددة في تحقيق ذلك، حيث أنه من المتوقع أن يصل إنتاجه في أستراليا وحدها نحو ٣ مليون طن بحلول عام ٢٠٣٠. حيث أنها تعتبر الدولة الأكبر على مستوى العالم من حيث عدد المنشآت التي تقوم بإنتاج الهيدروجين الأخضر وذلك اعتبارًا من عام ٢٠٢٢ حيث بلغت عدد منشآتها نحو ٩٦، حيث يتم توليد نحو١٥.٧ تيراوات/ ساعة من الهيدروجين الأخضر بواسطة محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية صغيرة الحجم، ونحو ٨.١ تيراوات / ساعة من الهيدروجين الأخضر بواسطة محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية كبيرة الحجم. هذا ومن المتوقع أن تشهد أستراليا انخفاض في حجم التكاليف الثابتة بحلول عام٢٠٥٠ بسبب وفرة مواردها من الطاقة المتجددة الطاقة الشمسية ـ طاقة الرياح كما يتبين من الجدول رقم(١).

كما أنه من المتوقع إنتاج كميات كبيرة من الهيدروجين الأخضر في كل من أمريكا اللاتينية، وكل من إفريقيا والشرق الأوسط، حيث يتوقع أن يصل الإنتاج لأكثر من ٤

مليون طن بحلول عام ٢٠٣٠، والتي ستكون غالبا لتصدير الهيدروجين أو الأمونيا إلى أوروبا وآسيا(١).

جدول رقم (١)

عدد منشآت إنتاج الهيدروجين الأخضر في جميع أنحاء العالم اعتبارًا من عام ٢٠٢٢ حسب البلد

البلد	عد المنشآت
أستراليا	٩٦
ألمانيا	٥٠
إسبانيا	٥٠
هولندا	٤٨
المملكة المتحدة	٤٦
الولايات المتحدة الأمريكية	٣٧
روسيا	٣٦
البرتغال	٢٨
الصين	٢٦
تشيلي	٢٢

Source :Global Data - Energy Monitor (2022) https://www.energymonitor.ai/tech/hydrogen/.

خامسا: أهم العقبات الفنية واقتصادية أما تصنيع الهيدروجين الأخضر

يواجه إنتاج الهيدروجين عدة عقبات أوّلها 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، ٢٠٢٢ مساهمة الهيدروجين النظيف في قطاع الطاقة بحلول 2050,https://attaqa.net) يمكن تصنيف هذه العقبات كالآتي:

- **المشاكل الفنية**: تمثل قابلية الاشتعال بسهولة بالهواء عند تراكيز مختلفة الخطر الأكبر للهيدروجين الذي نما الطلب عليه ب+٣ أمثال منذ ١٩٧٥ وأخذ في الارتفاع، ما يسبب وهبًا صعب الرؤية في ضوء النهار ومدى اشتعاله كبير (٤-٧٤%) عكس الغاز (٦-١٦%) ما يعني الافتقار لأحد اعتبارات الأمن والسلامة ومدى الاشتعال عند التسرب أكبر ب٦ مرات مقارنة بالغاز ومشكل الهيدروجين الآخر هو قدرته

التفجيرية البالغة ٢.٥ ضعف تلك التي لأي وقود أحفوري، ومن ثَم فهو يحتاج لمعايير أمن وسلامة أكثر صرامة. في تحدٍ آخر، لا يزال احتجاز وتخزين الكربون بمراحلها الأولى وبسعة عالمية ٤٥ مليون طن سنويًا والتي قد ترتفع بمساعي إزالة الكربون من الغلاف الجوي إلى+١٠ مرات أفق ٢٠٣٠ لتبلغ +٥٥٠ مليون طن سنويا، وفق شركة أبحاث الطاقة ريستارد إنرجي التي وفقها يوجد +٢٠٠ 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 $\frac{1}{2}$ عام ٢٠٢٠، ينتج الهيدروجين بالوقود الأحفوري لانخفاض عامل التكلفة مقارنة بالطاقة المتجددة، ويُعد إنتاج الهيدروجين من الفحم الأقل تكلفة فتبلغ ٢.٢١.٢$/كغ ، وفي حالتي الغاز والطاقة المتجددة ٠.٩-٣.٢$ كغ و٣-٥٧.٥$كغ على التوالي، وفق تقرير أوابك قبل أزمة الطاقة العالمية. وفق وكالة بلومبرغ نيو إنرجي فاينانس تراجعت تكلفة التحليل الكهربائي للهيدروجين بأمريكا الشمالية وأوروبا ب٤٠% للفترة ٢٠١٤-٢٠١٩. وتشير توقعات عام ٢٠٤٠ تدني تكاليف إنتاجه بطريقة صديقة للبيئة لتعادل نظيرتها بالوقود الأحفوري. وتزامنا مع هبوط تكاليف الطاقة المتجددة؛ قلت تكاليف إنتاج الهيدروجين الأخضر ب٤٠% منذ٢٠١٥، كما تتوقع مؤسسة الأبحاث IHS Markit انخفاضها ٤٠% أخرى حتى ٢٠٢٥. وسينافس نظيره الرمادي (دون ١$) إذا قلت التكلفة ب٩٠% مقارنة بالمستويات الحالية ٨٣$/كغ. حسب Markit، قد تتراجع تكاليف النوع الأخضر دون ٢$/كغ أفق ٢٠٣٠ وينافس نظيره الأزرق. بينما سترتفع تكاليف النوع الرمادي (إلا الصين) بـ ٨٢% أفق ٢٠٤٠ لزيادة أسعار الغاز المتوقعة والتي بدأت بشكل حاد منذ٢٠٢١. قد ترتفع تكاليف النوع الأزرق ب ٥٩% بعد نحو ٢٠ عاما. يرجح تقرير لمجلس الطاقة العالمي في مايو ٢٠٢٢ تراجع متوسط تكلفة الهيدروجين قليل الكربون دون ٢$/ كغ بدءا من ٢٠٤٠ مقابل ٣.٥$ للنوع الأزرق إضافة إلى ما سبق، يمكن إضافة العقبات التالية: (سداوي، ٢٠٢١، ص٠٧).

- **التكنولوجيا**: تأثر تقنيات إنتاج الهيدروجين النظيف بعوامل عدة كالتكلفة والآثار البيئية، ولم تصل تكنولوجيا التحليل الكهربائي بعد إلى المستوى التجاري، مما يتطلب وقتا طويلا واستثمارات أكبر؛

- **كفاءة الطاقة**: ضياع نحو ٣٠٠-٣٥% من الطاقة بالتحليل الكهربائي لإنتاج الهيدروجين الأخضر؛

- **استراتيجية ومشاريع احتجاز/خزن $CCUS/CO_2$**: من التحديات تكلفة التكنولوجيا والخزن جيولوجيا؛

- **البنى التحتية المحدودة للنقل**: بني 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، ٢٠٢٣، إطلاق العنان لقوة الهيدروجين للتحول إلى الطاقة النظيفة. ([1])

- **الحاجة إلى نظافة أكثر:** يتم إنتاج نحو ٩٨% من الهيدروجين بالغاز والفحم، فينبعث الكربون (٣% من الانبعاثات العالمية)، وللوفاء بأهداف اتفاق باريس، يجب إزالة الكربون من إنتاجه، وذاك المنتج بالطاقة المتجددة هو الخيار الواجب استكماله بالنسخة قليلة الكربون. كما يجب زيادة الطلب على الهيدروجين ٥ أضعاف بين الآن و٢٠٥٠ وزيادة القدرة الإنتاجية المركبة للنوع الأخضر ب ٧٥ ضعفا من الآن إلى ٢٠٣٠.

- يعد إنتاج الهيدروجين الأخضر كثيف الاستخدام لرأسمال ويحتاج كمية كبيرة من الطاقة المتجددة. ويتطلب إنتاج مليون طن سنويا ١٠ جيغاواط من المحللات الكهربية و٢٠ جيغاواط من الطاقة المتجددة و٣٠ مليار $ من الاستثمارات. ويمثل فرض

[1] (https://blogs.worldbank.org

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 و ١٧ مشروعا بأكثر من ميغاطن سنويا يجري التخطيط لها (٣ في أفريقيا وأمريكا الجنوبية وآسيا الوسطى). ونحو % هذه المشاريع في مرحلة التصور، والـ $\frac{1}{2}$ الآخر في مرحلة دراسة الجدوى، ويهدف +٥٠٠ مشروع إلى بدء التشغيل أفق ٢٠٣٠. يتمثل الخطر الأول لمشاريع النوع الأخضر في بدئها لغياب طلب كاف على المنتجات الخضراء، كما يصعب التعرف على الأخضر أو النظيف من الرمادي في ظل غياب أنظمة قياسية واعتمادية. [١]

سادسا أبرز التجارب الدولية في مشروعات توطين الهيدروجين الأخضر

أ-الولايات المتحدة الأمريكية[٢]

بدأت واشنطن في وضع خطة للتحول نحو الهيدروجين الأخضر عام ٢٠٠٢ ولكن سرعان ما اكتشفت التكلفة الباهظة للتحول نحو الهيدروجين إذ يستدعي ذلك استثمارات ضخمة في مجال التخزين والنقل، ولكن آمنت واشنطن أن فوائد وعوائد الهيدروجين الأخضر البيئية والأمنية والاقتصادية تفوق تحدياته، ولذلك قررت الاتفاق على استراتيجية لتحول الولايات المتحدة لاقتصاد الهيدروجين بحلول عام ٢٠٣٠، وقد أشركت واشنطن الخبراء والأوساط الأكاديمية لرسم هذه الاستراتيجية؛ حيث أرادت إعادة تشكيل النظام واقترحت بدائل لمعالجة إنتاج الهيدروجين وتخزينه وتحويله إلى طاقة.

ولّت واشنطن اهتماماً بالغاً لتعديل بعض السياسات التشريعية لتجعل الاستراتيجية واقعية وقيد التنفيذ، كما ولّت اهتماماً خاصاً إلى التعليم والتوعية بالاقتصاد الأخضر وتحديداً الهيدروجين الأخضر ومجالات استخدامه وتطبيقه.

كما التزمت واشنطن بتقديم الدعم اللازم للأنشطة البحثية لاستكشاف سبل مختلفة لاستخدام الطاقة

وفي المرحلة الثانية من الاستراتيجية، تم إقرار التكامل) حيث تتكامل أجزاء النظام مع بعضها البعض ليعملوا معاً بالتوازي وليس مخالفين لجهود بعضهم البعض بحيث تسهل العراقيل الفنية وذلك من أجل التنسيق بين المنتجين والمستهلكين.

والمرحلة الثالثة لهذه الاستراتيجية تنص على أهمية بناء رؤية قومية لاستخدام وإنتاج الهيدروجين الأخضر بين الأفراد والمجتمع من خلال خطة واضحة طويلة الأمد.

أوروبا[١]

صممت أوروبا خطة للاعتماد على الهيدروجين الأخضر وخلايا الوقود، وتقوم الخطة على عنصرين أساسيين هما: إنتاج وتوزيع الهيدروجين وتطوير خلايا الوقود، ووفقاً للإطار الزمني الذي رسمته الخطة أنه بحلول عام ٢٠٥٠ سيبدأ الإنتاج المباشر؛ لإنتاج الهيدروجين من مصادر الطاقة المتجددة.

ونصت الخطة على تقديم حوافز للقطاع الخاص لتمويل برامج البحث والتطوير من أجل التوسع في إنتاج ونقل الهيدروجين. كما ذكرت الخطة المنافع المتوقعة على القطاع الخاص إثر الاعتماد على الهيدروجين الأخضر من إنتاج وتوزيع الهيدروجين التجاري وعمليات النقل والتخزين.

ب-موريتانيا[٢]

وقعت وزارة البترول والمعادن والطاقة الموريتانية في سبتمبر ٢٠٢١ مذكرة تفاهم مع شركة شاريوت البريطانية المتخصصة في الطاقة الانتقالية، من أجل تنفيذ أحد أهم مشروعات الهيدروجين في أفريقيا.

تبلغ الطاقة الإنتاجية للمشروع الجديد "نور" للهيدروجين الأخضر، نحو ١٠ جيجاوات من مصادر الطاقة النظيفة، باستثمارات تصل إلى نحو ٣.٥ مليار دولار أميركي.

المساحة المخصصة لمشروع "نور" تمتد على منطقة برية وبحرية تبلغ نحو ٨٦٠٠ كيلومتر مربع، إذ ستُجرى دراسات الجدوى المسبقة بهدف تحديد خيار توليد الكهرباء من مصادر الطاقة الشمسية وطاقة الرياح لاستخدامها في التحليل الكهربائي لتقسيم جريئات الماء وإنتاج الهيدروجين والأكسجين والمياه الصالحة للشرب.

ويعد مشروع "نور" ثاني مشروع لإنتاج الهيدروجين الأخضر في موريتانيا بعد المشروع المشترك مع شركة CW Global الذي جرى توقيع مذكرة التفاهم حوله في نهاية مايو ٢٠٢١.

وجدير بالذكر امتلاك موريتانيا موارد هائلة من الطاقة المتجددة مما يساعدها في أداء دور بارز في إنتاج وتطوير الطاقة النظيفة والهيدروجين الأخضر، إذ أطلقت سنة ٢٠٢٠ رؤية وطنية طموحة لتحوّل قطاع الطاقة ترتكز على الاستغلال الأمثل لإمكانات البلاد الهائلة من الغاز والطاقات المتجددة على المدى المتوسط والبعيد.

المبحث الثاني

دور الهيدروجين الأخضر في التنمية اقتصادية

تمهيد

إن الهيدروجين وقود نظيف، وهو يعد من العناصر الخفيفة المتوفرة بكثرة في الطبيعة، وللهدروجين الأخضر أهمية كبيرة باعتباره ناقلًا ومَصدْرًا للطاقة، وما يعنيه هذا هو أنه يحتاج إلى مصدر للطاقة لكي يتم إنتاجه، مثل: الطاقة الشمسية، أو الكهرباء، أو الطاقة المائية، أو الطاقة النووية، أو الغاز، وبالتالي تُحدِّد تفاصيل عملية الإنتاج - بما في ذلك مصدر الطاقة الذي تستخدمه - لون الهيدروجين كما يعد الأكثر فعالية من حيث التكلفة، والأكثر نقاء وبالتالي كان له دور في النمو اقتصادي وسوف نوضح ذلك النوع من خلال علاض مكانته الدولية ودوره علي المستوي الدولي و العربي والمحلي من خلال النقاط التالية

أولا المكانة الدولية للهدروجين الأخضر

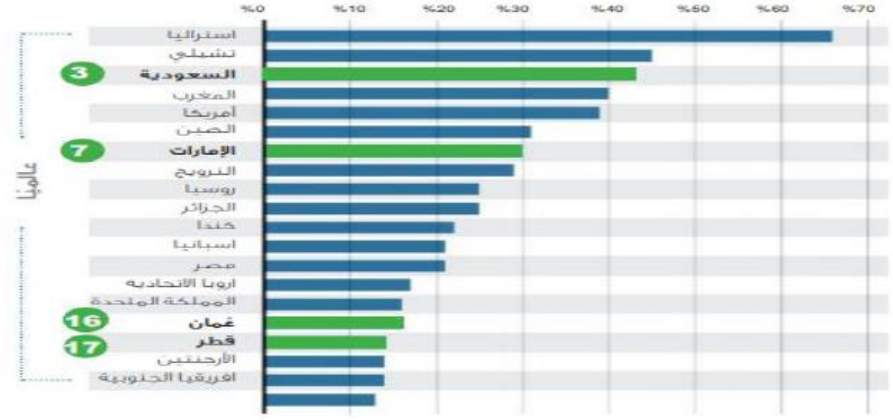
سوف نوضح المكانة الدولية للهدروجين الأخضر من خلال النقاط التالية :

١- برامج الهيدروجين السياسية في بعض الدول الرئيسية:

• في الاتحاد الأوروبي هناك مشروع بقيمة ١٧٠ مليون يورو للسيارات التي تعمل بالهيدروجين في مرحلته الثانية حاليا، لإثبات الجدوى العلمية للسيارات التي تسير بخلايا الوقود وتوسيع شبكة محطات وقود الهيدروجين في الاتحاد 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 ٢٥٠ مليون من المركبات ذات العجلتين و٠.٤ 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 التنقل لمسافات طويلة، وتضيء العديد من المدن الصينية المزيد من الحافلات التي تعمل بخلايا الوقود إلى الخدمة على الطرق، وتهدف شنغاي إلى الوصول بهذا العدد إلى ٣٠٠٠ بحلول ٢٠٢٠ في عام ٢٠١٨ بمفرده استثمرت الصين ١٢.٤ مليار دولار أمريكي في دعم خلايا وقود الهيدروجين للمركبات.
• أعادت اليابان مؤخرا التأكيد على هدفها بأن تصبح اقتصاد الهيدروجين الرائد في العالم، ووضعت استراتيجية 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 ١,٥ مليار دولار أمريكي في أنشطة الأبحاث والتطوير على مدار السنوات الماضية، في ألعاب الأولمبياد في طوكيو ٢٠٢٠، سيتم إنفاق ٣٨٠ مليون دولار أمريكي على ٣٥ محطة لوقود الهيدروجين و٦٠٠٠ مركبة من المركبات التي تعمل بخلايا الوقود، والهدف على الصعيد الوطني لانتشار المركبات التي تعمل بخلايا الوقود لعام ٢٠٣٠ هو ٠.٨ مليون.
• في فيفري ٢٠١٩، بدأ إنشاء أول محطة للتحليل الكهربائي للمياه بالطاقة الشمسية في الشرق الأوسط في دبي، والتي تشغلها هيئة كهرباء ومياه دبي وبطاقة سنوية قدرها ٢٥٠ طنا، وهي تعتمد على تكنولوجيا من إنتاج شركة سيمنس الألمانية، وسوف يستخدم معرض ٢٠٢٠ مركبات تعمل بخلايا الوقود باستخدام الهيدروجين

الناتج من هذه المحطة، وافتتحت أول محطة لتعبئة الهيدروجين في الشرق الأوسط في دبي في أكتوبر ٢٠١٧، وهناك عدد إجمالي وقدره ٥٥ سيارة تيوتا Mirai من المركبات التي بخلايا الوقود على الطرق في دولة الإمارات، وتشير تقديرات Liquide Air وآخرين إلى ١٢ محطة لتعبئة الهيدروجين تكفي لتغطية طلب الدولة على وقود الهيدروجين، وكذلك أعلنت شرطة أبو ظبي عن خطط التحويل أسطول مركباتها إلى المركبات التي تعمل بخلايا الوقود بحلول ٢٠٥٠. ([1])

الشكل٣: قائمة أكثر دول العالم ال٢٠ المرشحة لتصبح منتجة رئيسية للهيدروجين على خريطة تجارة الطاقة الدولية وفق استطلاع الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (آيرينا)٢٠٢١:



المصدر: (- https://attaqa.net/ /)

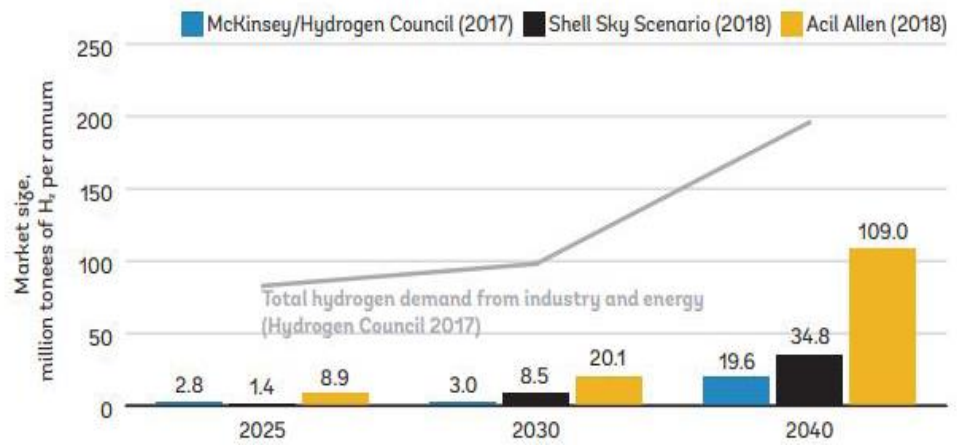
من خلال شكل ٣ نلاحظ ان ثلاثة دول من دول مجلس التعاون تصدرت ضمن قائمة أكثر دول العالم الـ ٢٥ جاذبة للاستثمار في الهيدروجين لسنة ٢٠٢١ وهم السعودية والامارات وعمان، حيث صنفت ضمن المشاريع والاستثمارات الكبيرة والضخمة للهيدروجين وفقا المعيارين أساسيين وهما الاستخدام الصناعي على نطاق واسع في (التكرير، الأمونيا، الميثانول، الفولاذ صناعة اللقيم) ، مقياس إنتاج الجيجاواط

مشاريع الهيدروجين المتجددة>١ جيجاواط، مشاريع الهيدروجين مخفض الكربون>٢٠٠ كيلو طن سنويا.

٢-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 المستوي الدولي، حيث ستشهد السوق الدولية زيادة في الطلب على طاقة الهيدروجين في الفترة ما بين ٢٠٣٠ و ٢٠٤٠ كما يوضحه الشكل(٨):

الشكل: ٤ الطلب العالمي على الهيدروجين في سوق الطاقة

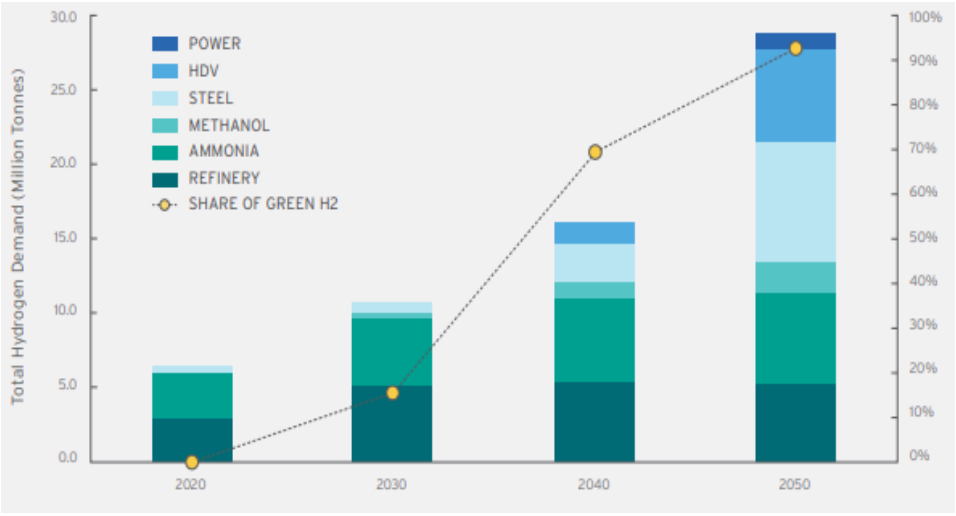


(ESMAP (. 2020 .) ESMAP,Green Hydrogen in Developing Countries. Washington, DC: World Bank,2020)

من خلال الشكل(٤) يتضح لنا قيمة سوق الهيدروجين تقدر بأكثر من ١٣٥.٥ مليار دولار بمعدل نمو سنوي مركب يقدر بـ: ٨ في المائة حتى عام ٢٠٢٣، بينما تختل الأرقام الدقيقة لحجم الهيدروجين المنتج إلا أنه من ٥٥ مليون طن حتى ٧٠ مليون طن من الهيدروجين يتم إنتاجها سنويا، حيث نلاحظ من خلال الشكل أن الطلب على الهيدروجين في المستقبل سيشهد تزايد كبير يقدر بحوالي ١٠٩ مليون طن في سنة

٢٠٤٠ ، وهذا راجع للاستخدامات المتعددة والمتنوعة للهيدروجين(مثل أنتاج 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 ٢٠٥٠.

الشكل ٥: توقعات الطلب على الهيدروجين وحصة الهيدروجين الخضراء المحتملة.



NITI Aayog, Harnessing GREEN HYDROGEN .india: Rocky)
(20جوانMountain Institute)

من خلال الشكل (٥) يتضح لنا انه يمكن أن تنمو حصة الهيد روجين الأخضر من ١٦% في عام ٢٠٣٠ إلى ما يقارب ٩٤ % بحلول عام ٢٠٥٠ وهذا يترجم إلى طلب سعة المحلل الكهربائي التراكمي الضمني البالغ ٢٠ جيجاواط بحلول عام ٢٠٣٠ و٢٢٦ جيجاواط بحلول عام ٢٠٥٠ مما يعد بمعدلات كبيرة فرصة للتصنيع المحلي لتكنولوجيا الطاقة الناشئة العالمية، كما يمكن أن تبلغ القيمة التراكمية لسوق الهيدروجين الأخضر في الهند ٨ مليار دولار بحلول عام ٢٠٣٠ و٣٤٠ مليار دولار بحلول عام ٢٠٥٠ ويمكن أن يصل حجم المحلل الكهربائي إلى ٥ مليار دولار بحلول عام ٢٠٣٠ و٣١ مليار دولار بحلول عام ٢٠٥٠ ، كما سيؤدي اعتماد الهيد روجين

الأخضر أيضا إلى ٣.٦ جيجا طن من تراكم ثاني أكسيد الكربون وتخفيض في الانبعاثات بين عامي ٢٠٢٠ و٢٠٥٠ ويمكن أن تتراوح صادرات وواردات الطاقة من الهيدروجين الأخضر من ٢٤٦ مليار دولار إلى ٣٥٨ مليار دولار خلال نفس الفترة، إلى جانب المدخرات المالية فإن أمن الطاقة الذي يوفره الهيدروجين الأخضر سيوفره على المدى الطويل.

الجدول(٢) : إجمالي عدد الدول التي بدأت / انتهت من إعداد خطط واستراتيجيات وطنية للهيدروجين عالميا حتى أكتوبر ٢٠٢١ :

البيان	جاري إعداد خارطة الطريق للهيدروجين	تم إعداد خارطة الطريق للهيدروجين	جاري إعداد الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين	تم إعلان الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين
عدد الدول عالميًا	٢	٨	٧	١٦
تصنيف دول مجلس التعاون ضمن القائمة	الإمارات السعودية		عمان	

خلال الجدول نلاحظ أثناء اجتماع القادة العالميين في النسخة ٢٣ لمؤتمر الأمم المتحدة لتغير المناخ COP23 بمدينة بون الألمانية لعام ٢٠٢١ ، إلتقى ١٨ من القادة الرئيسيين في مختل قطاعات الصناعة، والذين يجمعهم تحال "مجلس الهيدروجين" لإطلاق أول رؤية عالمية معززة بالأرقام والكميات 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 ٢.٥ تريليون دولار أمريكي من الأعمال التجارية، وتوفير أكثر من ٣٠ مليون وظيفة بحلول عام ٢٠٥٠.

ثانيا : دور الهيدروجين الأخضر في النمو اقتصادي الدول العربية

١ـ أفاق الدول العربية في استثمار الهيدروجين الأخضر

- **بالنسبة للإمارات:**

مشروع أول منشأة لإنتاج الهيدروجين الأخضر في مجمع محمد بن راشد أل مكثوم للطاقة الشمسية، وتأسيس مشروع محطة تجريبية في مدينة مصدر لتطوير الهيدروجين الأخضر والوقود المستدام وإنتاج الكيروسين من الكهرباء لأغراض النقل والشحن والطيرانة وتوير مشروع لإنتاج أمونيا خضراء بقدرة ٢ 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 الشمية يقع في منطقة خليفة الصناعية.

- **بالنسبة للسعودية**: مشروع نيوم لإنتاج الهيدروجين الأخضر بسعة ٤ جيجاواط ويعد أكبر مشروع هيدروجين أخضر في العالم، مصنع إنتاج الأمونيا الزرقاء في الجبيل، ومشروع حقل الجافورة الذي تبلغ قيمته ١١٠ مليار دولار أمريكي لإنتاج الهيد روجين الأزرق عن طريق تحويل الغاز الطبيعي واحتجاز انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.
- **بالنسبة لعمان**: مصنع لإنتاج الهيدروجين الأخضر من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في ميناء الدقم بقدرة تشغيل تصل إلى ٥٠٠ ميجاواط، ومشروع لإنتاج الهيدروجين الأخضر من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في المنطقة الحرة بصحار، ومشروع لإنتاج الهيدروجين الأخضر في المنطقة الحرة بصلالة ([1]).

الجدول (٣): إجمالي عدد المشاريع الاستراتيجية المخطط تنفيذها والمعلنة وفقا لنوع إنتاج الهيدروجين في الدول العربية أكتوبر ٢٠٢١

البيان	H_2 الهيدروجين الأخضر	NH_2 الأمونيا الخضراء	H_2 الهيدروجين الأزرق	NH_2 الأمونيا الزرقاء	محطات إعادة التعبئة بالهيدروجين
مصر	٣	١	١	٢	-
عمان	٢	٣	١	-	-
الإمارات	٣	١	١	-	١
السعودية	١	-	١	-	١
العراق	-	-	٢	-	-
موريتانيا	١	١	-	-	-
الجزائر	١	-	-	-	-
المغرب	١	-	-	-	-

ان استراتيجيات الدول العربية لطاقة الهيدروجين الأخضر حيث ان من المقرر أن تبدأ الإمارات العربية المتحدة تشغيل مشروع هيدروجين أخضر يعمل بالطاقة الشمسية في

عام ٢٠٢٠، وقد أشئت محطة لتزويد السيارات بالهيدروجين تعمل منذ عام ٢٠١٧، 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 ٢٠١٩، كما تم إطلاق مركز جديد للهيدروجين يهدف إلى بناء اقتصاد حول الهيدروجين الأخضر في بداية عام الأخضر في بداية عام ٢٠٢٠، والخطط جارية لتأسيس منشأة لإنتاج الهيدروجين بسعة ٥٠٠ ميجاواط في عمان بالإضافة إلى إطلاق شراكة للبحث في إنتاج الهيدروجين الأخضر في عام ٢٠١٩ ، كما توجد هناك خطط استثمارية لمنشأة لا إنتاج الهيدروجين الأخضر في المغرب..

٢- أبرز التحالفات الوطنية والدولية في مجال إنتاج الهيدروجين النظيف لدول مجلس التعاون حتى فيفري ٢٠٢٢

أولا: الإمارات

- **تحالف وطني ماي (جانفي ٢٠٢١)**: تحالف أبو طبي للهيدروجين: يتألف من ٣ شركات المتمثلة من شركة بترول أبو طبي الوطنية _ أدنوك ومبادلة للاستثمار والشركة القابضة بهدف التعاون لترسيخ مكانة أبو طبي كمصدر موثوق للهيدروجين في الأسواق الناشئة، وكذلك توحيد جهود بناء اقتصاد هيدروجين أخضر في الإمارات.
- **تحالف وطني ماي ٢٠٢١**: شركة أبو ظبي الوطنية للطاقة وموانئ أبو ظبي: مشروع إنتاج الأمونيا بالاعتماد على الهيدروجين الأخضر.
- **تحالف وطني نوفمبر٢٠٢١ - أدنوك وطاقة-** ترسيخ ريادة الإمارات في مجال الطاقة المتجددة والهيدروجين الأخضر.
- **تحالف دولي جانفي ٢٠٢٢:** شركة غير تيجلوب وشركة أبو طبي لطاقة المستقبل (مصدر) وشركة أنجي: سوف تتعاون الشركات لتطوير محطة لإنتاج الهيدروجين الأخضر بتكلفة تنافسية عالمية في الإمارات، وذلك لدعم إنتاج الأمونيا الخضراء.

ثانيا: السعودية تحالف دولي جوان ٢٠٢٠: "نيوم" "و "إير برودكتس " 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 ٢٠٢١ "هاي فالي" يتألف من ١٣ مؤسسة نفطية وبحثية، ويهدف إلى إرساء مكانة راسخة للسلطنة على خريطة تطوير إنتاج الهيدروجين النظيف واستدامه.

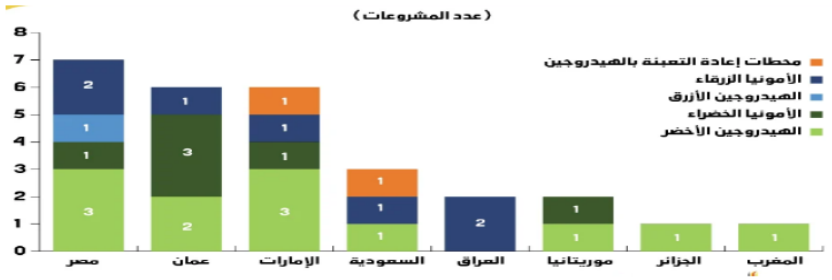
رابعا: تحالف دولي: أكتوبر ٢٠٢١ صالة٢: مجموعة تتألف من مجموعة "أكيو" وشركة "ماروبيني" وشركة "الندي" وشركة دبي للنقليات "دوتكو" وقعت على اتفاقية تطوير مشتركة لتطوير مشروع الهيدروجين الأخضر والأمونيا الخضراء في المنطقة الحرة بصلالة

٣-المشروعات المعلنة لإنتاج الهيدروجين في الدول العربية حتى أكتوبر ٢٠٢١:

كانت دولة الإمارات السباقة عربيا بإطلاق مشروع للأمونيا الخضراء في ماي ،٢٠٢١، عندما أعلنت عن مشروع لإنشاء مصنع لإنتاج الأمونيا الخضراء باستخدام ٤٠ ألف طن من الهيدروجين الأخضر بتكلفة تصل إلى مليار دولار، بينما أطلقت السعودية مشروعا ضخما ومتكاملا لإنتاج ١.٢ مليون طن من الأمونيا الخضراء بقيمة ٥ مليار دولار بالشراكة مع مؤسسة أمريكية، ويتضمن المشروع إنتاج ٤ ميغاواط من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح الكافية لإنتاج الهيدروجين الأخضر والذي يحول بعدها إلى أمونيا خضراء حيث يحتوي الطن الواحد من الأمونيا على ١٧٧ كيلوغراما من الهيدروجين، ويوصف هذا المشروع بأنه الأكبر في العالم وسيدخل مرحلة الإنتاج في ٢٠٢٥، ومن شأنه تحويل السعودية إلى أحد أقطاب ومن تصدير الأمونيا الخضراء في المنطقة العربية، وفي مصر التي احتضنت في نوفمبر الماضي قمة المناخ "كوب ٢٧" أطلقت مشروع لإنتاج الأمونيا الخضراء في مرحلته الأولى، باستخدام الطاقة الشمسية ونحو ٨ ألاف من الهيدروجين الأخضر لإنتاج ٤٢ ألف طن من الأمونيا الخضراء في الأولى التجريبية. فمشاريع إنتاج الأمونيا الخضراء انطلقت

بقوة في الإمارات والسعودية، بينما ما زالت في مرحلة الإنتاج التجريبي في مصر، والإنتاج البحثي في المغرب، والدراسة في الجزائر. ([1])

الشكل:٦ المشروعات المعلنة لإنتاج الهيدروجين في الدول العربية حتى أكتوبر ٢٠٢١



المصدر: (المشري، 2020)

نلاحظ من خلال الشكل السابق أن مصر تتصدر الدول العربية في إنتاج الهيدروجين وذلك بثلاثة مشا ريع في الهيدروجين الأخضر ومشروعين 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

ثانيا : دور الهيدروجين الأخضر في النمو اقتصادي في مصر

١- دور الهيدروجين الأخضر في أمن الطاقة

يعد أمن الطاقة والقدرة على تحمل تكاليفها أحد أهم الأبعاد الأمنية التي تقع ضمن أهداف السياسة الخارجية لأي دولة. حيث تتمثل الأهداف الرئيسية للعديد من سياسات

الطاقة القومية في دولة ما، في ضمان حصول اقتصاد هذه الدولة على إمدادات طاقة كافية موثوقة، وميسورة التكلفة، وذلك وفقًا لمجموعة الشروط والأحكام التي تدعم النمو الاقتصادي والازدهار لتلك الدولة. وعلى الرغم من ذلك، ونظرا لطبيعة أسواق الطاقة العالمية، فإن الأحداث التي تؤثر على أمن الطاقة في دولة ما غالبا ما تؤثر على أمنها في دولة أخرى. لذا يعد الاهتمام بتحقيق امن الطاقة من خلال الانتقال إلى نظام طاقة مرن، ومستقر أمرا ضروريا لتحقيق النمو الاقتصادي المستدام. خاصة مع تزايد حالات التنافس على مصادر الطاقة من جانب، وسياسات الدول المنتجة للطاقة من جانب آخر.

بناء عليه، يعد المفهوم الذي طرحه (ونستون تشرشل) رئيس وزراء بريطانيا، لأمن الطاقة، أحد أهم المفاهيم التي توضح أن أزمات الطاقة المتكررة ترتبط ارتباطاً وثيقا بنقص الإمدادات. الأمر الذي يؤكد على أن تحقيق أمن العرض من شأنه تحقيق أمن الطاقة، الذي يرتكز على تجنب الأزمات، حيث أشار إلي أنه يكمن بالتنوع والتنوع فقط، مركزا بذلك على جانب تنويع مصادر الطاقة من أجل تنويع أمن العرض الذي يتحقق من خلال توفير موارد للطاقة بصورة كافية وآمنة وبأسعار في متناول الجميع[1]. ولعل ما دعم هذا المفهوم (أمن العرض أساس لأمن الطاقة) تلك الأزمات التي شهدها العالم خلال القرن الماضي كأزمات النفط في السبعينيات وأواخر الثمانينيات والتسعينيات. مع العلم أن الاهتمام الأكاديمي بأمن الطاقة كان قد انخفض بعد هذه الفترة، حيث استقرار أسعار النفط، وتراجع التهديد بالحظر السياسي ليعود ويظهر من جديد في العقد الأول من القرن الحالي، مدفوعا بعدة عوامل من بينها الضغط المتزايد لإزالة الكربون من أنظمة الطاقة العالمية.

ومما تجدر الإشارة إليه أنه قد تطور مفهوم أمن الطاقة وأصبح يختلف من دولة إلى أخرى، ويتحدد حسب موقع الدولة منتجة كانت أم مستهلكة، فهناك مفاهيم تعتمد على نطاق مصالح الدولة، حيث يتم تفسير مفهوم أمن الطاقة في هذه الحالة من قبل مجموعات الدول المختلفة بناء على مصالحها. فعلى سبيل المثال : تهتم الدول المنتجة (المصدرة) للطاقة بأمن الطلب

على مصادر الطاقة لديها، مع دعم كفاءة قطاع النفط والغاز في قطاعاتها الاقتصادية المختلفة، بغرض استخدام عوائدها المادية المرتفعة لبناء اقتصاد حديث بينما تهتم الدول المستهلكة (المستوردة) للطاقة بخطر تعرقل الإمدادات، وتنويع مصادر العرض، والوصول الآمن إلى مصادر الطاقة طويلة الأجل وبأسعار منخفضة. كما أن هناك مفاهيم تعتمد على أهداف أمن الطاقة، وهي تلك المفاهيم التي تهتم بكل الأهداف الاقتصادية والاجتماعية والبيئية، حيث التركيز على حماية الدولة والأفراد من حالات نقص الطاقة (العجز) وانقطاع التيار الكهربائي، وتوفير موارد طاقة عالية الجودة[١]. فضلا عن كونه يمثل قدرة نظام الطاقة لدولة ما على تحمل التهديدات الداخلية والخارجية (السياسية، الاقتصادية) والتي قد تكون بسبب عوامل بشرية أو طبيعية، من خلال العمل على نمو موارد الطاقة المتجددة المحلية، وتحسين كفاءتها، مع تقليل الاعتماد على استيراد النفط الأجنبي[٢].

الأمر الذي يؤكد على أن مفهوم أمن الطاقة قد تطور ليشتمل على الجوانب الجيوسياسية (البيئة الجغرافية – السياسية) والاقتصادية والتكنولوجية، والتي تفترض افتراضا ضمنيا، وهو أن الوصول إلى الطاقة المطلوبة يجب أن يكون منيعًا للاضطرابات، وأن الإمدادات البديلة يجب أن تكون متاحة بسهولة وبأسعار معقولة، وكافية فيما يتعلق بكل من الحجم المتاح والوقت المطلوب للتوزيع، بالإضافة إلى البنية التحتية المؤهلة، ومن ثم فإنه يمكن القول أن أمن الطاقة يعد من بين أهم أبعاد أي دولة لتحقيق أمنها القومي المستدام[٣]. وبالنظر إلى أهمية هذا البعد الأمني وتزايد الاهتمام به من قبل الدول سواء كانت منتجة أم مستهلكة فقد انعكس هذا الاهتمام على المنظمات الدولية وأهمها وكالة الطاقة الدولية الذي عرفته بأنه التوافر المستمر لمصادر الطاقة بأسعار في متناول الجميع"[٤]. وكذلك البنك الدولي الذي وضح أن

أمن الطاقة يعني "ضمان إنتاج الدول للطاقة واستخدامها في ضوء توافرها بتكلفة معقولة من أجل تحقيق هدفين أولهما : تسهيل النمو الاقتصادي الذي يقود إلى خفض مستويات الفقر، وثانيهما هو التحقيق المباشر في مستويات معيشة المواطنين للوصول إلى خدمات الطاقة الحديثة[١].

إلى جانب ما تقدم، ترى العديد من الأدبيات الحديثة أن نظام الطاقة يجب أن ينظر إليه في سياق النظام الاقتصادي بأكمله فلم توجد الطاقة من أجل دعم الاقتصاد في تصنيع المنتجات وتقديم الخدمات فحسب، بل وجدت من أجل أن تكون بمثابة محرك لعمليات اقتصادية أوسع، ولا سيما في ظل التحديات التي يواجهها العالم المعاصر، كتحديات إعادة التكيف الاقتصادي أو العزلة الجغرافية، حيث يعرف النمو الاقتصادي القائم على الطاقة بأنه "تلك العملية التي يقوم من خلالها [٢]

صانعي السياسات ومنظمي الطاقة والسلطات العامة ذات الصلة بتنويع موارد الطاقة وزيادة كفاءتها بطريقة تعمل على تلبية احتياجات التنمية الاقتصادية والاجتماعية".[٣]

ولعل ما يعزز الاهتمام بتقنيات الطاقة المتجددة هو أن الآثار الاقتصادية الإيجابية لتطبيق هذه التقنيات تفوق الأثار السلبية لها كما هو موضح في الشكل رقم (٧) حيث يساهم النمو الاقتصادي القائم على تقنيات الطاقة المتجددة (الخضراء) في تحسين عمليات تجارية قائمة وإنشاء أخرى جديدة، من خلال التركيز على عمليات تحسين الابتكار التكنولوجي، التي تشجع على التطور التدريجي للتغيرات التقنية في هياكل السوق الجديدة مما يؤدي إلى تعزيز فرص العمل الجديدة والمؤهلة لمواكبة هذا التطور، مدفوعا بزيادة كفاءة الطاقة وتنويع مواردها، وتحقيق الاكتفاء الذاتي منها، ومن ثم تحسين ،الصناعة وزيادة الإنتاجية، والكفاءة الفنية والاقتصادية، ومن ثم، خفض التكاليف وتحقيق النمو الاقتصادي والتنمية[٤].

شكل رقم (٧) الآثار الاقتصادية الإيجابية والسلبية لتقنيات الطاقة المتجددة

Source: Maradin D., & Cerović L., & Mjeda, T. (2017), op.cit, p. 56.

بناء على مجموعة الفوائد السابق ذكرها، ووفقاً لتقرير وكالة الطاقة الدولية لعام ٢٠٢٣، من المتوقع أن يرتفع حجم الاستثمار السنوي في الطاقة النظيفة بنسبة ٢٤% بين عامي ٢٠٢١و٢٠٢٣، مدفوعا بمصادر الطاقة المتجددة والسيارات الكهربائية، مقارنة بزيادة قدرها ١٥% في الاستثمار الموجه لإنتاج الوقود الأحفوري خلال نفس الفترة المذكورة. مع العلم أن أكثر من ٩٠% من هذه الزيادة تنشأ من الاقتصادات المتقدمة والصين. مما يمثل خطرًا جديدا يتمثل في ظهور خطوط فاصلة جديدة في الطاقة العالمية، إذا لم تنتقل التحولات في مجال الطاقة النظيفة في أي مكان آخر على مستوى العالم. كما يتبين من الجدول رقم (٢)

جدول رقم (٤) حجم الاستثمار في الطاقة النظيفة والوقود الأحفوري في الفترة من (٢٠١٥/٢٠٢٣) على مستوى العالم

السنوات	٢٠١٥	٢٠١٦	٢٠١٧	٢٠١٨	٢٠١٩	٢٠٢٠	٢٠٢١	٢٠٢٢	*٢٠٢٣
الاستثمار في الطاقة النظيفة	١٠٧٤	١١٣٢	١١٢٩	١١٣٧	١٢٢٥	١٢٥٩	١٤٠٨	١٦١٧	١٧٤٠
الاستثمار في الوقود الأحفوري	١٣١٩	١١٠٥	١١١٤	١١٠٩	٠٦٦\١	٨٣٩	٩١٤	١٠٠٢	١٠٥٠

● متوقع

Source: IEA. International Energy Agency (2023), World Energy Investment 2023, p.10.

هذا وعلى الرغم من مجموعة الفوائد المتعددة لتطبيقات تقنيات الطاقة المتجددة السابق الإشارة إليها، إلا أنه يوجد العدد من القيود التي ينبغي تسليط الضوء عليها، كموثوقية إمدادات الطاقة المتجددة، والتي تمثل أحد القيود الرئيسية للاستخدام اليومي لهذه لتقنيات وذلك بسبب خصائصها الطبيعية المتغيرة، فمن المعروف أن مصادر الطاقة المتجددة تعتمد كليا على الانتشار الجغرافي، والظروف الجوية، وعليه فإن التقلبات المناخية وعدم القدرة على التنبؤ بهذه المصادر يمثل قيدًا كبيرًا في إنتاج الطاقة منها. هذا بالإضافة إلى ارتفاع تكاليف البحث والتطوير المتعلقة بتطبيقها، فضلا عن إشكالية نقص الغذاء وارتفاع أسعاره والمرتبطة بزيادة الطلب على استخدام بعض المحاصيل الزراعية الأساسية في إنتاج الوقود الحيوي كمورد من موارد الطاقة المتجددة[١].

من خلال ما تقدم، وبناء على ما تم ذكره، فقد أكدت الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA) خلال عام٢٠١٩، أن الهيدروجين الأخضر يتمتع بالقدرة على تعزيز أمن الطاقة، وتأمين مصادرها بمعدلات كافية من أجل تلبية الطلب المستقبلي على الطاقة، وذلك من خلال زيادة إمدادات الطاقة المحلية وإمكانيات التخزين لفترة طويلة الأجل، ولا سيما، خلال الأوقات التي تتعرض لها الدول للأزمات المرتبطة بنقص الإمدادات. نظرا لتوافر موارد الطاقة المتجددة في جميع أنحاء العالم، وذلك على عكس احتياطيات النفط التي تتركز في مجموعة دول بعينها، حيث يتركز أكثر من ٦٠%

من احتياطات النفط في خمس دول فقط[١]. فضلا عن أن مصادر الطاقة المتجددة التي يتم استخدامها في إنتاج الهيدروجين الأخضر يمكن أن تدمج بسهولة في أنظمة الطاقة. الأمر الذي سيساهم في حل مشكلات انقطاع الكهرباء وتخزينها[٢].

٢- التنمية المستدامة للهيدروجسين الأخضر في مصر:

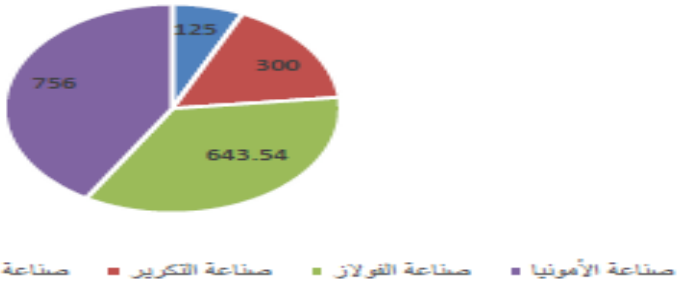
يستند المبدأ الاقتصادي للطاقة[٣] إلى المبدأ الذي يكون به قطاع الطاقة قادراً على تلبية كافة متطلبات التنمية الوطنية المستدامة من موارد الطاقة وتعظيم الاستفادة الكفء من مصادرها المتنوعة، ولا سيما المتجدّدة منها، خاصة وأن هناك ارتباط شديد الصلة بين نجاح التنمية، وما يتم توفيره من طاقة باعتبارها المحرك الرئيسي لها.

هذا وتعد مصر واحدة من بين أكبر دول الشرق الأوسط وشمال إفريقيا امتلاكا لمصادر الطاقة المتجددة. وواحدة من بين الدول الملتزمة بالاتفاقيات الدولية بشأن حماية البيئة وتقليل الانبعاثات الملوثة لها. لذا تسعى الدراسات الاقتصادية والبيئية بالدولة إلى تحديد الآليات المناسبة في مجال إنتاج الطاقة المتجددة بصفة عامة، والهيدروجين الأخضر بصفة خاصة، من خلال تبني مجموعة من الخطط والمقترحات، فضلا عن توقيع عدد من المذكرات والاتفاقيات لتنفيذ مشروعات إنتاج الهيدروجين الأخضر وتصديره، من أجل تحقيق وتفعيل مبادئ الاستدامة في عملية التنمية، والحفاظ على البيئة ومواردها في مجال الطاقة.

ومما تجدر الإشارة إليه أنه على الرغم من أنه يتم استهلاك كافة الهيدروجين الذي يتم إنتاجه حاليا في مصر على المستوى المحلي. إلا أنه لا تتوافر بيانات منتظمة كافية عن الهيدروجين الأخضر التي يمكن الاعتماد عليها في تقييم الوضع الحالي لهذه الصناعة على معدلات النمو الاقتصادي المصري[٤]. ولعل ما قامت به إحدى الدراسات من إجراء تقدير تقريبي لسوق الهيدروجين الحالي في مصر، يساعد

الحكومة في اتباع السياسات الاقتصادية الملائمة لاتخاذ القرارات المناسبة لإنتاج وتسويق هذه الصناعة المهمة في وقتنا الحالي.

هذا وتعتمد مصر كغيرها من الدول المختلفة على الهيدروجين الرمادي في العديد من قطاعاتها الاقتصادية المختلفة فقد أظهرت البيانات التقديرية لإحدى الدراسات الاقتصادية، أن كافة إنتاج مصر من الهيدروجين من الهيدروجين الرمادي، والذي يستخدم في الإنتاج المحلي لبعض الصناعات الاستراتيجية، كصناعة الأمونيا (التصنيع الأسمدة النيتروجينية) والفولاز والميثانول، وتكرير البترول، ومسؤولة في الوقت ذاته في إطلاق نحو ١٦ مليون طن من ثاني أكسيد الكربون، أو ما قدر بنحو ٦% من إجمالي الانبعاثات الكربونية خلال نفس العام (٢٠١٩)، حيث بلغ إجمالي استهلاك/إنتاج الهيدروجين الرمادي خلال عام ٢٠١٩ نحو (١.٨٢٤.٥٤٠) مليون طن مقسمة ما بين (٧٥٦) ألف طن لصناعة الأمونيا أو ما نسبته نحو ٤١%، ونحو (٦٤٣.٥٤٠) ألف طن لصناعة الفولاز أو ما نسبته نحو ٣٥%، ونحو (١٢٥) ألف طن لإنتاج الميثانول أو ما نسبته نحو ٧%، ونحو (٣٠٠) ألف طن لتكرير البترول أو ما نسبته نحو ١٦% كما يظهر من الشكل رقم (٨).



شكل رقم(8): إجمالي الإنتاج والاستهلاك المقدر للهيدروجين الرمادي في مصر خلال عام٢٠١٩.

Source: Habib A., Ouki M. (November 2021), ibid, P. 7.

بناء عليه، يعد الهيدروجين منخفض الانبعاثات الهيدروجين (الأزرق) وكذلك الهيدروجين الأخضر، أحد الحلول المهمة التي ينبغي أن تعتمد عليها الحكومة المصرية من أجل انخفاض الانبعاثات الكربونية من القطاعات الاقتصادية التي من الصعب تخفيف انبعاثاتها كالصناعات السابق ذكرها. وعليه قامت الحكومة المصرية بإنشاء مركز إقليمي للطاقة الخضراء بالمنطقة الصناعية بالعين السخنة التابعة للمنطقة الاقتصادية لقناة السويس، بغرض إقامة مشروعات الهيدروجين الأخضر والأمونيا الخضراء، بميزانية أولية قدرت بنحو١٠ مليار دولار. حيث تم إطلاق التشغيل التجريبي للمرحلة الأولى من مصنع الهيدروجين الأخضر بقدرة (١٠٠) ميجاوات بالمنطقة لإنتاج (١٥.٠٠٠) طن من الهيدروجين الأخضر كمادة وسيطة لإنتاج ما يصل إلى (٩٠.٠٠٠) طن من الأمونيا الخضراء سنويا. هذا بالإضافة إلى أنه تم التوقيع على عدد (٢٣) مذكرة تفاهم مع كبرى الشركات العالمية لإنتاج الهيدروجين الأخضر بإجمالي قدرات طاقة متجددة يصل إلى حوالي(٩٥) جيجاوات، نتيجة لما تملكه مصر من بنية تحتية تدعم تواجد هذه المشروعات.

يضاف إلى ما سبق ما قامت به مصر من تبنيها لاستراتيجية توطين صناعة الهيدروجين الأخضر، مستهدفة بذلك أن تكون مصر من بين المراكز الأساسية لتصدير الهيدروجين الأخضر ومشتقاته لكافة دول العالم، ولا سيما أوروبا من جانب، وأن تكون دولة جاذبة للاستثمارات في هذا المجال من جانب آخر.

تعتمد هذه الاستراتيجية على ثلاث محاور رئيسية وهما ١- تصنيع الوقود الأخضر من (هيدروجين أخضر، أمونيا خضراء، إيميثانول، ٢- توفير الصناعات المكملة لصناعات الهيدروجين الأخضر من (محللات كهربائية - ألواح شمسية - توربينات)،٣- خدمات تموين السفن بالوقود الأخضر عن طريق الموانئ التابعة للهيئة الاقتصادية لقناة السويس[١]. هذا مع العلم أن يتم الانتقال من المرحلة التجريبية والتي بدأت خلال عام ٢٠٢٠ الماضي، حيث وضع الأسس اللازمة لإنتاج سوق لتصدير الهيدروجين منخفض الكربون، فضلا عن تقديم الحوافز اللازمة لتشجيع المشروعات الدولية مع إنشاء هيكل حوكمة مناسب، إلى

المرحلة التوسعية بحلول عام٢٠٣٠، والتي تستهدف زيادة تأمين مكانة السوق في اقتصاد الهيدروجين المتنامي باستخدام التكاليف المنخفضة للهيدروجين لدعم إزالة الكربون على نطاق أوسع في مصر لتحل محل الهيدروجين الرمادي. أيضا زيادة قدرات مشروعات إنتاج الهيدروجين ليصل بالجيجاوات فأكثر . أخيرا مرحلة التنفيذ الكامل وتكون بحلول عام ٢٠٤٠. والتي تستهدف الحفاظ على مكانة السوق في اقتصاد الهيدروجين منخفض الكربون، هذا بالإضافة إلى استخدامه مجتمعيا من أجل دعم وتأمين إزالة الكربون في مصر ولا سيما، على مستوى القطاعات التي يصعب إزالة الكربون عنها كقطاعي الصناعة والنقل.

٣-فرص الدولة المصرية في توطين الهيدروجين الأخضر

تعد مصر بمواردها دولة واعدة في إنتاج الهيدروجين الأخضر والاعتماد على اقتصاد الهيدروجين مستقبلاً؛ إذ تتوافر لديها الإمكانيات والموارد التي تؤهلها لذلك. فمصر تتمتع بوفرة في مصادر (الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح)؛ بالإضافة إلى شروع مصر في تنفيذ مشروعات لتوليد الطاقة من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح المترجم في مشروع بنان ومشروع الكريمات. لذلك مصر تزداد فرصها لإنتاج الهيدروجين الأخضر وتوطينه في كافة المجالات طالما تتوافر المصادر الرئيسية لإنتاجه.

وأكثر من ذلك، تمتلك مصر كفاءة بشرية وعقلية من باحثين واعدين وتنفيذيين كفء لإنتاج الهيدروجين الأخضر واستخدامه كمصدر للوقود لتعزيز الانتقال إلى المركبات الخضراء؛ إذ إن المعضلات والتحديات الرئيسة التي تواجه توطين الهيدروجين الأخضر قد يتم تيسيرها بدعم الباحثين وأصحاب أفكار المشروعات الرائدة في الطاقة.

بخصوص التقنيات الفنية اللازمة لإنتاج الهيدروجين الأخضر تحتاج مصر الاستعانة بخبرات بعض الشركات الرائدة في مجال الطاقة ؛ لتفادي فرص الخطأ ولتقويم البنية التحتية لتكون طويلة الأجل.

والقطاع الزراعي المصري قد يكون واحدا من أكثر القطاعات خضرة عندما يتعلق الأمر باستخدام الأسمدة الناتجة عن إنتاج الهيدروجين، مما يساهم في تطوير القطاع الزراعي وحل مشكلات الأسمدة والمحاصيل الزراعية.

ومن ناحية العوائد الاقتصادية، فيتوقع ازدياد المردود الاقتصادي جراء إنتاج الهيدروجين الأخضر وتوريده إلى الدول الأخرى؛ مما يعزز العائد الاقتصادي ويزيد مصادر الدخل القومي، وينقل مصر إلى مرتبة أكبر من مركز إقليمي للطاقة بل يجعلها مصدر رئيسي وأساسي للطاقة لكل دول العالم؛ إذ تمتلك مصر كافة المقومات المطلوبة لذلك مثل (موقعها الجغرافي المتميز الذي يطل على البحر الأحمر والمتوسط امتلاكها لممرات ملاحية "قناة السويس"- امتلاكها حصص كبرى من الغاز الطبيعي وهكذا). كما سيساهم في المحافظة على الاقتصاد المصري وتخفيف تأثيرات ارتفاع أسعار النفط عالمياً، وحماية الغاز الطبيعي من النفاذ.

تعزيز مكانة مصر السياسية والاستراتيجية، جدير بالذكر انضمام مصر إلى منتدى غاز شرق المتوسط الذي يضم مراكز الغاز الطبيعي الرئيسيين؛ وهذا لامتلاك مصر وفرة في الغاز الطبيعي، وكون مصر مكوناً رئيساً لمنتدى غاز المتوسط يجعلها فاعلاً دولياً مؤثراً في السياسات بين الدول، وبالتالي إذا طوّرت مصر إنتاج الهيدروجين الأخضر في ظل اتجاه كافة دول العالم إلى الطاقة الخضراء والرغبة لتخفيض معدلات الانبعاث الحراري؛ سيجعلها ترتقي إلى مكانة أعلى كمركز ومنتج رئيس للطاقة من المصادر المتجددة. وقد تكون رائدة في الإقليم في قيادة منتدى للطاقة من المصادر المتجددة خاصةً في ظل افتقار العديد من الدول المقومات اللازمة لتنويع مصادر الطاقة.

وبالتوازي مع ما سبق ذكره سيساهم توطين اقتصاد الهيدروجين في مصر في خلق فرص عمل خضراء مما يقضي على مشكلة البطالة ويزيد معدلات الأجور مما يرقى بمستوى المعيشة، سيساهم في تعزيز التوعية بمخاطر الاحتباس الحراري وترسيخ ثقافة جديدة تحترم البيئة وتجعل المواطنين والمؤسسات أكثر حرصاً على حماية البيئة والاعتماد على مصادر الطاقة الخضراء.

إن توطين الاقتصاد الأخضر سيجعل مصر محلاً لجذب الاستثمارات الأجنبية، فمصر قريبة من أسواق مثل الاتحاد الأوروبي والشرق الأوسط مما يزيد من معدلات الدخل القومي.

ولذلك، لابد من إحراز تقدم في عقد الشراكات لتأسيس البنية التحتية للهيدروجين الأخضر والانتفاع من الأبحاث والإسهامات العلمية في هذا المجال لتحقيق الريادة في مجال الطاقة المتجددة.

٤-الجهود المصرية لتوطين الهيدروجين الأخضر

في ظل اهتمام مصر الحقيقي بتخفيف معدلات الانبعاث الحراري التزاماً باتفاقية باريس للمناخ، تقوم الحكومة المصرية بجهود مضنية من أجل تنويع مصادر الطاقة وزيادة الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية والرياح والطاقة الكهرومائية والهيدروجين الأخضر، ونستعرض على وجه التحديد جهود الدولة المصرية في قطاع الهيدروجين الأخضر.

- **إعلان شركة المرافق الفرنسية المملوكة للدولة،EDF، وشركة ZERO WASTE**، توقيع مذكرة تفاهم مع المنطقة الاقتصادية لقناة السويس، لإنتاج ٣٥٠ ألف طن من الأمونيا الخضراء والهيدروجين الأخضر سنويًا في منطقة العين السخنة، ومن المقرر بدء التشغيل في الربع الأول عام ٢٠٢٦.
- **شركة (ميرسك) والهيئة العامة لقناة السويس والشركة المصرية لنقل الكهرباء:** وقع الأطراف الثلاثة بحضور رئيس الوزراء مصطفى مدبولي) مذكرة تفاهم لإنتاج الهيدروجين الأخضر لتزويد السفن بالوقود، ووقع الاتفاق على شركتي "حسن علام للمرافق ومصدر" لتنفيذ المشروع على عدة مراحل لينتهي في ٢٠٣٠، ومن المتوقع أن يتم تركيب المحللات الكهربية اللازمة لإنتاج الهيدروجين بسعة ٤ جيجا وات، وسيجلب هذا المشروع ٤٨٠ ألف طن من الهيدروجين الأخضر. ومن المقرر أن تؤدي المرحلة الأولى من المشروع أيضا إلى إنتاج ١٠ آلاف طن من الميثانول الأخضر سنويا بحلول عام ٢٠٢٦، لتلبية احتياجات سفن الشحن في قناة السويس والموانئ البحرية المصرية على البحر الأبيض المتوسط.

• **شركة أيميا باور الإماراتية:** وقعت شركة Emea Power في أبريل ٢٠٢٢ مذكرة تفاهم إقامة منشأة لتصنيع الهيدروجين والأمونيا الخضراء بطاقة إنتاجية تبلغ ٢٣٥ ألف طن من الأمونيا سنويًا، في المنطقة الاقتصادية لقناة السويس، قابلة للزيادة حتى ٣٩٠ ألف طن سنوياً، ويتم تغذية المنشأة بالهيدروجين الأخضر المنتج من مياه البحر المحلاة والطاقة المتجددة المولدة في المواقع، بحيث يتم النقل على شبكة الكهرباء الوطنية على أن يبدأ التشغيل التجاري لها بنهاية عام ٢٠٢٥[١].

وتصنف مصر ضمن أكبر ثلاثة خطوط أنابيب للهيدروجين الأخضر مع أستراليا وموريتانيا؛ حيث يبلغ خط أنابيب مصر لمشروعات الهيدروجين الأخضر حوالي ١١.٦٢ جيجاوات أي حوالي ١.٥٧ مليون طن، وقد وضعت مصر ميزانية تقديرية لمشاريع الهيدروجين الأخضر دون بنية تحتية وتكلفتها تبلغ ٢٠ مليار دولار، وإثر المشاريع التي أعلنت الدولة عنها في هذا الصدد، تهافت المستثمرين لتمويل هذه المشروعات ويرجع ذلك إلى مقومات مصر المؤهلة لإنشاء مشاريع في قطاع الهيدروجين الأخضر.[٢]

• تخطط الحكومة المصرية لإطلاق مشروعات الهيدروجين الأخضر والتي تبلغ ٨٠% وتنفيذها بالاشتراك مع شركة SCZONE وهي مركز لوجستي عالمي يهدف إلى ربط أوروبا وأفريقيا وآسيا عبر الخليج العربي، ومسئولة عن ٢٠% من تجارة الحاويات الدولية و١٠% من التجارة المنقولة بحراً. وتتمتع منطقة طيران السخنة التابعة للمركز بقربها من محطة تحلية مياه البحر (١٥٠,٠٠٠م٣/يوم)، ومحطة معالجة مياه الصرف الصحي (٣٥,٠٠٠ م٣/يوم)، ومرافق تزويد السفن بالوقود مثل الأمونيا (٨٠,٠٠٠ طن)، مما يجعلها مناسبة جدا لتجارة الهيدروجين ومشتقاته. وتبلغ الطاقة الإنتاجية لهذه المشروعات حوالي مليون ونصف طن.[٣]

• تم اعداد استراتيجية وطنية متكاملة لإنتاج الهيدروجين الأخضر تشكيل لجنة وزارية للبحث عن مختلف البدائل الممكنة لتوليد الهيدروجين الأخضر والاستعانة بالتجارب الدولية.[١]

• بدأت مصر في تعزيز التعاون مع مؤسسات التمويل الدولية والشركاء الدوليين؛ فهناك تعاون مع المفوضية الأوروبية لتحديث الاستراتيجية المصرية للطاقة المستدامة لتشمل الهيدروجين وذلك لدعم التنمية الاقتصادية من خلال ما تم استعراضه من الجهود المصرية المبذولة في قطاع الهيدروجين الأخضر، نستنتج رغبة القيادة المصرية الملحة في إحراز الريادة في مجال الطاقة المتجددة خاصةً المعتمدة على الهيدروجين الأخضر؛ وذلك دليلاً على شعور مصر بالمسئولية لتنويع مصادر الطاقة والانتقال الأخضر لتخفيف حدة التقلبات المناخية وتخفيف معدلات الانبعاث الكربوني التزاماً باتفاقية باريس للمناخ وعلى مشارف استضافة مصر لقمة المناخ Cop27 في شرم الشيخ.

النتائج

ثامنا: النتائج

١- لم يعد الانتقال الأخضر خياراً أمام دول العالم إذ إن العواقب المتوقعة في حال إهمال المخاطر البيئية والاستهانة بها وخيمة على الأفراد والمؤسسات والدول دون تفريق، لذلك يقع على عاتق كل دولة البحث عن حلول وأفكار مبتكرة بما يتناسب مع إمكانياتها ومواردها المتاحة من أجل التحول الأخضر في كافة القطاعات.

٢- وعلى الرغم من استراتيجيات الدول الطموحة في مجال الهيدروجين الأخضر، إلا أن الكثير منهم لا يمتلك مقومات إنتاجه على عكس مصر التي تمتلك فائض من مصادر الطاقة المتجددة لإنتاج الهيدروجين الأخضر ؛ لذا من

الضروري استغلال ذلك والتفوق في تحقيق إنجازات في هذا القطاع ؛ حيث وفقاً لتسارع الدول عالمياً لامتلاك تقنيات الهيدروجين الأخضر، يُتوقع أن تبلغ قيمة تلك الصناعة حوالي ٦٠٠ مليون دولار بحلول ٢٠٥٠ ليتم استخدامه في شتى القطاعات مثل الطاقة النقل الصناعة، و الأغراض المنزلية وأعمال البناء).

٣- الهيدروجين الأخضر يعد من الطاقة النظيفة". إذ تستخدم الكهرباء المولدة من مصادر الطاقة المتجددة في عملية إنتاجه (الطاقة المائية وطاقة الرياح). وعليه، فلا ينتج عنه أي انبعاثات كربونية ضارة (صفر كربون). كما له دور في تخفيف الانبعاثات الكربونية في القطاعات التي يصعب تخفيف انبعاثاتها مثل قطاعي الصناعة والنقل.

٤- يؤدي انتشار تقنيات الهيدروجين الأخضر في القطاعات الاقتصادية المختلفة إنشاء العديد من الوظائف الخضراء المستدامة.

٥- يتمتع الهيدروجين الأخضر بالقدرة على تعزيز أمن الطاقة، وتأمين مصادرها بمعدلات كافية من أجل تلبية الطلب المستقبلي على الطاقة، وذلك من خلال زيادة إمدادات الطاقة المحلية، وإمكانيات التخزين لفترة طويلة الأجل، ولا سيما خلال الأوقات التي تتعرض لها الدول للأزمات المرتبطة بنقص الإمدادت.

٦- يظل الافتقار إلى إنشاء وتطوير البنية التحتية لإستخدام الهيدروجين الأخضر وتقنياته العائق الأكبر لانتشاره.

٧- على الرغم من ارتفاع حجم التكاليف اللازمة لإنتاج تقنيات الهيدروجين الأخضر في الوقت الحالي. إلا أنه ووفقا لعدة عوامل من بينها زيادة القدرة التنافسية لتكاليف الإنتاج، ووفورات الحجم، فضلا عن الابتكار التكنولوجي ومجموعة القوانين والمبادرات السياسية التي إتخذتها بعض الدول الكبرى، يتوقع أن يزداد الطلب على الهيدروجين الأخضر بنحو ١٤% من إجمالي الطلب العالمي المتوقع على الطاقة بحلول عام ٢٠٥٠.

٨- تسير مصر بخطوات متسارعة في تبني الخطط والمقترحات التي من شأنها إنتاج الهيدروجين الأخضر، وجذب المزيد من الاستثمارات الأجنبية في مجال إنتاج الطاقة المتجددة.

تاسعا :التوصيات

١- يتعين على حكومات الدول المختلفة العمل على الحد من مخاطر الاستثمار في إمدادات الهيدروجين النظيف، من خلال توليد طلب مستمر في القطاعات التي يصعب تخفيف انبعاثاتها، ومن ثم تحقيق خفض إضافي في التكاليف وزيادة الإنتاج.

٢- ضرورة الاهتمام بتطوير البنية التحتية للهيدروجين الأخضر، وذلك من خلال إنشاء أصول جديدة تتناسب مع الخصائص المختلفة للهيدروجين، أو من خلال إعادة استخدام البنية التحتية الحالية للغاز الطبيعي.

٣- ضرورة اتخاذ التدابير والإجراءات اللازمة لتسعير الكربون من أجل تحفيز الطلب التجاري على الهيدروجين النظيف.

٤- العمل على تعزيز التعاون في البحث والتطوير، والابتكار، وتبادل المعرفة التي تعد ضرورية لخفض التكاليف، وزيادة القدرة التنافسية لتقنيات الهيدروجين بين كل من القطاعين العام والخاص.

٥- ينبغي أن تحصل الاقتصادات النامية على مساعدات مالية وفنية، حتى يتسنى لها الاستفادة من طفرة الهيدروجين الأخضر.

٦- لابد الأخذ في الاعتبار أثناء رسم استراتيجية الهيدروجين الأخضر، إشراك القطاع الخاص وتحفيزه في سياسات التحول للهيدروجين الأخضر وذلك من أجل الاستثمار فيه مجال تشغيل المصانع.

٧- على الحكومة المصرية، بناء وتوفير عدة محطات شحن للهيدروجين الأخضر فقط وتوزيعها في مناطق مختلفة، لتشجيع المركبات الخضراء وتشجيع المستهلكين للإقبال على وقود الهيدروجين الأخضر.

٨- على الحكومة المصرية مراجعة التجارب الدولية البارزة والاستفادة منها؛ لتفادي إغفال أي عنصر قد يعرقل رسم الاستراتيجية.
٩- يجب تخصيص ميزانية هائلة لتطوير البحث العلمي والمراكز القومية البحثية؛ لتشجيع الباحثين على إيجاد سياسات بديلة وحلول لكافة تحديات الهيدروجين الأخضر.
١٠ - من الضروري تعزيز الشراكات الدولية والاستفادة بمقومات مصر الجذابة في الطاقة المتجددة؛ لضمان الحصول على تمويل وضمان الاستفادة من الخبرات الأجنبية.
١١- ينبغي على الحكومة التخطيط لتكوين منتدى اقتصادي خاص بالطاقة المتجددة بما فيها الهيدروجين الأخضر ؛ لتعزيز وضع مصر الاقتصادي والجيواستراتيجي والأمني. يجب إشراك مؤسسات المجتمع المدني في الدور التوعوي بشأن ماهية الهيدروجين الأخضر وكيفية إنتاجه وفوائده حتى لا يكون مستهجناً من المواطنين، ويتم حشدهم بصدد الاستراتيجية وليس ضدها.
١٢- يجب الترويج للاستراتيجية المصرية بشأن الهيدروجين الأخضر بشكل منظم؛ لجذب كافة الاستثمارات الممكنة لتمويل مشروعات الهيدروجين الأخضر، ولبلورة دور مصر الريادي في الالتزام بخفض معدلات الاحتباس الحراري وتحقيق التنمية المستدامة.

عاشرا :قائمة المراجع

أولا : المراجع باللغه العربيه

١. عبد الغني جغبالة ، سكين ة حملاوي ، الهيدروجين الأخضر كبديل استراتيجي لموارد الطاقة غير المتجددة ، مجلة التنمية الاقتصادية المجلد (٨) العدد (١)جامعة الوادي الجزائر ٢٠٢٣

٢. محمد، خديجة عرفة (٢٠١٤)، امن الطاقة وآثاره الاستراتيجية، جامعة نايف العربية للعلوم الأمنية، الرياض

٣. رشاد، سوزي (٢٠٢٢)، أمن الطاقة ومحاولات روسيا لفرض النفوذ الدولي، مجلة كلية السياسة والاقتصاد، العدد الثالث عشر.

٤. عبد العاطي، عمرو (٢٠١٤)، أمن الطاقة في السياسة الخارجية الأمريكية، المركز العربي للأبحاث ودراسة السياسات، الدوحة،

٥. كتاب مراجعة سياسة النمو الأخضر في مصر لمنظّمة التّعاون الاقتصادي والتّنمية ٢٠٢٤ (نسخة مختصرة)2024المؤلفون OECD الأجنبية

ثانيا: المراجع باللغه الاجنبيه

1. Ballard Power Systems: Hydrogen Facts (2022) P.4. https://www.ballard.com.
2. Hydrogen council (2017), Hydrogen Scaling Up: A Sustainable Pathway for the global Energy Transition
3. Sjoerd B, et al (2020), "Economic feasibility of green hydrogen in transportation sector", University of Groningen
4. JESSE S. (2023), "green hydrogen", University of Hull, P.11. https://www.researchgate.net/
5. Bp Energy Outlook: 2023 edition, p. 71. https://www.bp.com.
6. Pflugmann F., De Blasio N. (2020). "Geopolitical and Market Implications of Renewable Hydrogen": New Dependencies in a Low-Carbon Energy World. Environment and Natural Resources Program,

Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, p.3.
7. IEA:International Energy Agency (2022), Global Hydrogen Review 2022, pp. 69–70.
8. Harris S. (2010) Global and regional orders and the changing geopolitics of energy. "Australian Journal of International Affairs", 64(2), 166 – 185.
9. Babita Srivastava, Quin P. Callahan (2016), ENERGY SECURITY: TODAY AND TOMORROW, Humanities & Social Sciences Reviews, Vol 4, No 3, p. 59-67.
10. Maradin D., & Cerović L., & Mjeda, T. (2017). Economic Effects of Renewable Energy Technologies. Naše gospodarstvo /Our Economy, 63(2), 49–59.
11. IRENA (2015). Renewable energy options for the industry sector: Global and regional potential until 2030 - A background paper to "Renewable energy in manufacturing". IRENA, Abu Dhabi. Retrieved from http://www.irena.org/remap.
12. Zhou p.,jin R.Y, & Fan L.w (2016). Reliability and economic evaluation of power system with renewables: A review: Renewable and sustainable Energy Reviews, 58, 537- 547, http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.344.
13. IRENA. (2019). Hydrogen: A renewable energy perspective. IRENA. https://www.irena.org/
14. Pflugmann F., De Blasio N. (2020). "Geopolitical and Market Implications of Renewable Hydrogen": New Dependencies in a Low-Carbon Energy World. Environment and Natural Resources Program, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School

15. COP27 Host Egypt Commits $40bn to Green Hydrogen Economy to Attract Foreign Investment", Hydrogen central, May2022, available at: https://bit.ly/3ArsGKB
16. International Monetary Fund (December 2022), “The Scramble for Energy: Bumps in the transition energy”, ***Finance & Development***
17. Habib A., Ouki M. (November 2021), "Egypt's Low Carbon Hydrogen Development Prospects" Oxford Institute for Energy Studies, P. 5.
18. Altork L. N. & Busby J. R. (2010 Oct), “Hydrogen fuel cells: part of the solution", Technology& Engineering Teacher, 70 (2), pp. 22-27.
19. 1 NITI Aayog, Harnessing GREEN HYDROGEN .india: Rocky Mountain Institute 2020

ثالثا مواقع الويب والمقالات

١. (https://blogs.worldbank.org
٢. مقال داليا الهمشري ، أبرز تحديات إنتاج الهيدروجين الأخضر تكشفها دراسة مصرية https://attaqa.net/2024//
٣. حزم تحفيزية لتوطين صناعة الهيدروجين اخضر في مصر في ضوء تجارب الدول https://idsc.gov.eg/upload/DocumentLibrary/AttachmentA/8428/%D8%AD%D8%B2%D9%85%20%D8%AA%D8%AD%D9%81%D9%8A%D8%B2%D9%8A%D8%A9%20%D9%84%D8%AA%D9%88%D8%B7%D9%8A%D9%86%20%D8%B5%D9%86%D8%A7%D8%B9%D8%A9%20%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%8A%D8%AF%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86%20%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%AE%D8%B6%D8%B1%20%D9%81%D9%8A%20%D9%85%D8%B5%D8%B1%20%D9%81%D9%8A%20%D8%B6%D9%88%D8%A1%20%D8%AA%D8%AC%D8%A7%D8%B1%D8%A8%20%D8%A7%D9%84%D8%AF%D9%88%D9%84.pdf
٤. أنظر

https://ecss.com.eg/product/the-green-economy-a-promising-investment-opportunity/

٥. موريتانيا توقع اتفاقية تنفيذ أكبر مشروعات إنتاج الهيدروجين الأخضر في أفريقيا، الطاقة، متاح على https://bit.ly/3Arfdm3
٦. أناضول .) 2022 ,.الأمونيا الخضراء تتفوق على الهيدروجين بتخزين الطاقة ونقلها https://shortest.link/j5S
٧. .https://www.ica.org/topics/energysecurity/whatisenergysecurity(١)
٨. وزارة التخطيط والمتابعة والإصلاح الإداري (٢٠١٧)، استراتيجية التنمية المستدامة: رؤية مصر ٢٠٣٠
٩. هيئة الطاقة الجدية والمتجددة (٢٠٢٢)، التقرير السنوي
١٠. إيميا باور" الإماراتية تنتج الأمونيا الخضراء في قناة السويس العين الإخبارية، ٢١ أبريل ٢٠٢٢ متاح على https://bit.ly/3A4GCJm:
١١. السيسي يوجه بإعداد استراتيجية وطنية متكاملة لإنتاج الهيدروجين، روسيا اليوم، متاح على: https://bit.ly/3A28im6
١٢. أنظر https://attaqa.net . تم اطلاع ٢٠٢٤/٩/٢٣ في تمام الساعة ٦.٣٠ مساء