افاق توطين صناعة الهيدروجين الأخضر لتعزيز انتاج الطاقة الجديدة والمتجددة في مصر

(الفرص – التحديات)

أستاذ مساعد دكتور/ ماجد محمد يسري الخربوطلي

أستاذ مساعد الاقتصاد والمالية العامة معهد مصر العالي للتجارة والحاسبات

دكتور / محمد محمد إبراهيم محمد عبد اللطيف

مدرس الاقتصاد معهد مصر العالي للتجارة والحاسبات

ملخص : قامت اقتصادات العالم باستغلال الموارد الطبيعية بشكل مفرط منذ بدايات القرن الماضى وكان اعتبارات النمو لها اولوية على اى اعتبارات بيئية، إن التغير المناخى يهدد اهداف التنمية فى العالم ولا يمكن التصدي لمشاكل التغير فى المناخ إلا إذا أصبح النمو الاقتصادي اقل كثافة في انتاج الغازات الدفيئة. يعد التحول نحو انتاج الهيدروجين الأخضر ذو أهمية كبيرة لمصر حيث يساهم هذا التحول في تحقيق اهداف التنمية المستدامة من خلال تقليل الانبعاثات الكربونية والاعتماد على مصادر طاقة نظيفة ومتجددة، مما يحسن من جودة البيئة والصحة العامة، كما يعزز من أمن الطاقة بتنويع مصادرها وتقليل الاعتماد على الواردات البترولية، بالإضافة إلى ذلك، يفتح المجال لابتكارات تكنولوجية جديدة وفرص عمل في قطاع الطاقة المتجددة، مما يدعم النمو الاقتصادي ويعزز من القدرات البحثية والتطويرية. ومن ناحية أخرى، يعزز التحول نحو الهيدروجين الأخضر مكانة مصر على الصعيد الدولي كشريك فاعل في الجهود العالمية لمكافحة التغير المناخي وتعزيز الطاقة المتجددة، هذا وتوصلت الدراسة الي أنه يمكن القول ان الهيدروجين الأخضر يمثل عنصراً حاسماً في تحول الطاقة العالمي نحو مستقبل مستدام ومنخفض الكربون، بينما يواجه هذا القطاع بعض التحديات، فإن الفوائد البيئية والاقتصادية المحتملة تستحق الجهود المبذولة والاستثمارات المستمرة في هذا المجال

الكلمات المفتاحية: الهيدروجين الأخضـــر – الطاقة الجديدة والمتجددة – التنمية المستدامة

Abstract: The world's economies have excessively exploited natural resources since the beginning of the last century, with growth considerations taking precedence over any environmental concerns. Climate change threatens global development goals, and addressing climate change problems cannot be achieved unless economic growth becomes less dependent on greenhouse gas emissions.

The transition to green hydrogen production is of great importance to Egypt, as this shift contributes to achieving sustainable development goals by reducing carbon emissions and relying on clean and renewable energy sources, improving environmental quality and public health. It also enhances energy security by diversifying sources and reducing reliance on petroleum imports. Moreover, this opens the door to new technological innovations and job opportunities in the renewable energy sector, supporting economic growth and boosting research and development capacities.

Furthermore, transitioning to green hydrogen strengthens Egypt's international standing as an active partner in global efforts to combat climate change and promote renewable energy.

The study concludes that green hydrogen can be seen as a crucial element in the global energy transition toward a sustainable, low-carbon future. While this sector faces some challenges, the potential environmental and economic benefits are worth the efforts and continuous investments in this field.

Keywords: Green Hydrogen - New and Renewable Energy - Sustainable Development

مقدمة.

قامت اقتصـــادات العالم باســتغلال الموارد الطبيعية بشــكل مفرط منذ بدايات القرن الماضـــى وكان اعتبارات النمو لها اولوية على اى اعتبارات بيئية , إن التغير المناخى يهدد اهداف التنمية فى العالم ولا يمكن التصدي لمشاكل التغير فى المناخ إلا إذا أصبح النمو الاقتصادي اقل كثافة في انتاج الغازات الدفيئة.

لم يعد النمو الاقتصـادي القائم على استغلال الموارد البيئية ملائما لمعظم دول العالم في القرن الواحد والعشرون، خاصة في ظل أزمات الطاقة والتزايد المطرد في عدد سكان العالم والتوسع والتنوع في الانشطة الاقتصادية؛ مما يدفع إلى تدهور الموارد البيئية ويؤثر بدوره على تلبية الاحتياجات، لذلك اتجه العالم نحو تحقيق نمو اقتصــادي مســتدام لايســبب ضــررا للبيئة ولا يتأثر بنضــوب للموارد الطبيعية، وبناء على ذلك قدمت الامم المتحدة نموذجا مبتكرا أطلق عليه "النمو الاخضـــر" كأحد الحلول لمواجهة الازمات الاقتصـــادية وفشـــل الســـوق؛ حيث يعزز النمو منخفض الكربون، ويعمل على الاســـتخدام الفعال للموارد الطبيعية.

يمثل الهيدروجين الأخضر أحد الحلول الواعدة في السعي نحو تحقيق مستقبل مســتدام ومنخفض الكربون، يُنتج الهيدروجين الأخضــر باســتخدام مصــادر الطاقة المتجددة، مثل الطاقة الشـــمســـية وطاقة الرياح، عبر عملية التحليل الكهربائي للماء، مما يجعله نظيفاً وخالياً من انبعاثات الكربون، مع تزايد الاهتمام العالمي بالتغير المناخي والاحتباس الحراري، تبرز أهمية الهيدروجين الأخضر كبديل للطاقة التقليدية التي تعتمد على الوقود الأحفوري.

يواجه الهيدروجين الأخضر على الرغم من الفوائد الكبيرة عدة تحديات، تشمل التكاليف العالية والبنية التحتية. ومع ذلك، التقدم المستمر في التكنولوجيا وزيادة الاستثمار في هذا المجال يمكن أن يؤدي إلى تخفيض التكاليف وتحسين الجدوى الاقتصادية للهيدروجين الأخضر في المستقبل، حيث يمكن القول ان الهيدروجين الأخضر يمثل عنصراً حاسماً في تحول الطاقة العالمي نحو مستقبل مستدام ومنخفض الكربون، بينما يواجه هذا القطاع بعض التحديات، فإن الفوائد البيئية والاقتصادية المحتملة تستحق الجهود المبذولة والاستثمارات المستمرة في هذا المجال.

يعد التحول نحو انتاج الهيدروجين الأخضر ذو أهمية كبيرة لمصر حيث يساهم هذا التحول في تحقيق اهداف التنمية المستدامة من خلال تقليل الانبعاثات الكربونية والاعتماد على مصادر طاقة نظيفة ومتجددة، مما يحسن من جودة البيئة والصحة العامة، كما يعزز من أمن الطاقة بتنويع مصادرها وتقليل الاعتماد على الواردات البترولية، بالإضافة إلى ذلك، يفتح المجال لابتكارات تكنولوجية جديدة وفرص عمل في قطاع الطاقة المتجددة، مما يدعم النمو الاقتصادي ويعزز من القدرات البحثية والتطويرية. ومن ناحية أخرى، يعزز التحول نحو الهيدروجين الأخضر مكانة مصر على الصعيد الدولي كشريك فاعل في الجهود العالمية لمكافحة التغير المناخي وتعزيز الطاقة المتجددة.

مشكلة الدراسة

يُعَّرف الاقتصاد الاخضر بأنه اقتصاد يقوم على إنتاج كميات منخفضة من الكربون، والنمو في الدخل والعمالة مدفوع بالاستثمارات الخاصة والعامة في الانشطة الاقتصادية والاصول والبنية التحتية التي تعمل على تحسين للموارد والطاقة وتقليل التلوث وكميات الكربون المنبعثة وتجنب ضياع التنوع البيولوجي.

الاقتصاد الاخضر يؤدي إلى تحسين رفاهية الانسان وزيادة العدالة الاجتماعية، مع الحد بشكل كبير من المخاطر البيئية والندرة البيئية ويعزز النمو الاقتصادي والتنمية من خلال وضع استراتيجية لزيادة فرص تحقيق النمو الاخضر والتي تتمثل في تقديم حوافز لزيادة الكفاءة في استخدام الموارد والاصول الطبيعية وخلق افكار جديدة لمعالجة المشاكل البيئية و تحفيز الطلب على التكنولوجيا الخضراء ودعم الابتكار الاخضر الذي (يطور منتجات صديقة للبيئة باستخدام موارد أو طاقة أقل ويعالج المخاوف البيئية للشركات عن طريق تقليل استخدام المكونات الضارة ويقلل من التأثير البيئي للشركات من خلال إعادة تدوير المنتجات).

تتمثل مشكلة الدراسة في أنه على الرغم من توافق الاراء العالمية حول ضرورة تأمين مسار التحول إلى الطاقة الخضراء، خاصة بعد حدوث كل من أزمتي المناخ والطاقة التي اشتدت حدتهما جراء الإغلاق العام العالمي الذي فرضته أزمة كوفيد-١٩ في ٢٠٢٠ والذي أدي الي زيادة الاستهلاك العالمي للطاقة، وكذا الحرب الروسية الأوكرانية ٢٠٢٢، مما نتج عنه ارتفاع الأسعار في جميع أسواق النفط والفحم والغاز الطبيعي بسبب النقص في سلاسل الامداد،

إلا أنه لا يزال هناك عوائق تحول دون تحقيق ذلك الانتقال، حيث الافتقار إلى البنية التحتية اللازمة لإنتشار هذه التقنية بالإضافة إلى ارتفاع تكاليفها، كذلك حالة عدم اليقين التي تحيط بكيفية تعامل دول العالم مع فجوة متطلباتها من الطاقة على المدى القريب، وأهدافها المناخية على المدى البعيد والتوقيت اللازم لحدوث هذا التحول. **وتسعى الدراسة الى الإجابة على التساؤل الاتى:**

"ما مدى جاهزية الدولة المصرية لتوطين صناعة الهيدروجين الأخضر؟"

١- ماهية اقتصاديات الهيدروجين الأخضر؟

٢- هل هناك دور محتمل لتعزيز اقتصاديات الهيدروجين الأخضر عالميا وعربيا؟

٣- ما مدي جاهزية مصر لجذب استثمارات الهيدروجين الأخضر؟

أهمية الدراسة

وضعت العديد من الدول خططاً واستراتيجيات وطنية لدعم التحول نحو الهيدروجين الأخضر كجزء من جهودها لتحقيق أهداف المناخ والطاقة المستدامة، حيث أن للسياسات الحكومية والتحفيزات المالية دوراً مهماً في دعم اقتصاديات الهيدروجين الأخضر، تعد مصر واحدة من الدول التي تمتلك إمكانيات كبيرة في مجال الطاقة المتجددة، مما يجعلها موقعاً مميزاً لاستثمار وتطوير اقتصاديات الهيدروجين الأخضر، حيث يتزايد الاهتمام العالمي بالطاقة النظيفة والمستدامة، ويبرز الهيدروجين الأخضر كأحد الحلول الواعدة لتحقيق هذا الهدف. من هنا، تكمن أهمية دراسة اقتصاديات الهيدروجين

الأخضر في مصر، حيث يمكن أن يلعب دوراً محورياً في التنمية الاقتصادية وتحقيق الاستدامة البيئية.

اهداف الدراسة

تتمثل اهداف الدراسة في النقاط التالية :

١- توضيح مفهوم واستخدامات الهيدروجين الاخضر .

٢- عرض بعض التجارب العالمية التي تبنت مجموعة من الاطر التشريعية التي من شأنها تعزيز مشروعات انتاج الهيدروجين الأخضر لتحديد أوجه الاستفادة من تلك التجارب وكذلك معرفة اهم التحديات التي يمكن ان تكون عائقة وتحديد القدرة التنافسية لانتاج وتصدير وجذب الاستثمارات في هذا المجال الحيوى.

٣- التعرف علي حجم الطلب العالمى على الهيدروجين الاخضر.

٤- بيان مدي جاهزية مصر لجذب استثمارات في مجال الهيدروجين الأخضر، مع تحديد اهم نقاط الفرص والتحديات لانتاج مشروعات الهيدروجين الأخضر بهدف توطين تلك الصناعة في مصر.

فرضية الدراسة

" تمتلك مصـــر فرص حقيقية لانتاج الهيدروجين الأخضـــر بها وبمواجهة التحديات يمكن توطين تلك الصـــناعة المســـتقبلية وتعزيز القدرة التنافسية " .

منهج الدراسة

تعتمد الدراســـة علي الاســـلوب التحليلي بطريقتيه الاســـتقرائية والاستنباطية من خلال التعرف علي ماهية اقتصاديات الهيدروجين الأخضر وبيان مفهومه وأنواعه واســـتخداماته وكذلك تحديد الرؤي والاطر التشـــريعية لانتاج الهيدروجين الأخضـر في العالم، أما الاستنباط يتمثل في التعرف علي المكانة الدولية للاســـتثمار في الهيدروجين الأخضـــر ، وبيان مدي جاهزية مصـر لجذب اسـتثمارات الهيدروجين الأخضـر، و تحديد الفرص والتحديات لانتاج مشروعات الهيدروجين الأخضر في مصر بالإضافة الى الاطلاع على مجموعة من الكتب والبحوث والدراسات العلمية والتقارير العربية والاجنبية التي اهتمت بدراسة وتحليل التراث الفكري المرتبط بموضوع الدراسة.

اولا : الهيدروجين (مفهومه وأنواعه وأهم استخداماته)

١- أنواع / الوان الهيدروجين

يمكن اســتخلاص الهيدروجين من الوقود الأحفوري والكتلة الحيوية، أو المياه، أو من مزيج من الاثنين معا. ويعد المصـدر الأسـاسـي لإنتاج الهيدروجين في الوقت الحالي هو الغاز الطبيعي. وعلى الصــعيد العالمي، ينتج ٦٪ من الغاز

الطبيعي العالمي نحو ٧٥٪، أو ٧٠ مليون طن من إنتاج الهيدروجين السنوي، وفقا لوكالة الطاقة الدولية .ويأتي الفحم بعد الغاز الطبيعي، كما ينتج جزء صغير باستخدام النفط والكهرباء.

وعلى الصعيد العالمي، يجري إنتاج نحو ١٢٠ مليون طن من الهيدروجين سنويا، معظمه باستخدام الغاز والفحم الأحفوري ، وفق تقرير إمدادات الهيدروجين العالمي لعام ٢٠٢١ الصادر عن الوكالة الدولية للطاقة المتجددة.

يمكن تصنيف الهيدروجين عامة إلى عدة أنواع بناءً على طرق الإنتاج ومدى تأثيرها البيئي، تشمل الأنواع الرئيسية للهيدروجين: الهيدروجين الرمادي، الهيدروجين الأزرق، الهيدروجين الأخضر، والهيدروجين الأصفر والتركوازي.

جدول (١)

أنواع الهيدروجين حسب مصدر الطاقة المستخدمة في الإنتاج

النوع	(مصدر الطاقة)	وصف العملية	الأثر علي البيئة
الهيدروجين الرمادي	الغاز الطبيعي – الطاقة الحرارية	فصل الهيدروجين عن الميثان باستخدام عملية اصلاح الميثان بالبخار	تطلق ١٠ كجم CO_2 – كجم H_2
الهيدروجين الأزرق	الفحم – الطاقة الحرارية	تغويز الفحم عبر تسخينه مع الاكسجين وبخار الماء أو بكمية محدودة من الاكسجين الي درجات حرارة وضغوط مرتفعة لانتاج الغاز الصناعي	تطلق ١٩ كجم co2/ كجم هيدروجين
الهيدروجين الأخضر	الماء – مصادر الطاقة المتجددة	نفس عملية انتاج الهيدروجين الرمادي مع تطبيق تقنية اصطياد وتخزين الكربون للانبعاثات المصاحبة	صديقة للبيئة

الهيدروجين الأصفر	الماء – الطاقة النووية	التحليل الكهربائي للماء باستخدام كهرباء مولدة من محطات الطاقة النووية	صديقة للبيئة
الهيدروجين الفيروزي	الغاز الطبيعي أو الكتلة الحيوية	التحلل الحراري للغاز الطبيعي أو الكتلة الحيوية في غياب الاكسجين	ينتج الكربون الصلب في حال استخدام الكتلة الحيوية

المصـــدر: وائل حامد عبد المعطي، انتاج الهيدروجين ودوره في عملية تحول الطاقة، مجلة النفط والتعاون العربي، مج٤٧، ع١٧٩، ٢٠٢١ ص٢٥.

وفقا للجدول السابق يتضح ما يلي:

أ- **الهيدروجين الرمادي:** يُنتج الهيدروجين الرمادي من الوقود الأحفوري مثل الغاز الطبيعي عبر عملية الإصـــلاح البخاري (Steam Methane Reforming – SMR) هذه العملية تطلق كمية كبيرة من ثاني أكسيد الكربون(CO_2).[1]

ينتج بشكل اساسى باستخدام الغاز الطبيعي في حين يحتاج الهيدروجين الاسود للفحم كعنصر أساسي، لكن هذه العملية تتسبب بقدر هائل من التلوث لانها تنتج ما يعادل ١٠ كجم من ثاني أكسيد الكربون(CO_2) لكل ١كجم هيدروجين يتم إنتاجه.

[1] Dufour, J., Serrano, D. P., Galvez, J. L., Moreno, J., & García, C. (2011). "Life cycle assessment of processes for hydrogen production. Environmental feasibility and reduction of greenhouse gases emissions." International Journal of Hydrogen Energy, 36(13), pp7559-7570.

ب الهيدروجين الأزرق: يشـــبه الهيدروجين الرمادي في طريقة الإنتاج (SMR)، ولكن يتم اســـتخدام تقنية احتجاز وتخزين الكربون (Carbon Capture and Storage – CCS) لتقليل انبعاثات(CO_2)[1].

ج الهيدروجين الأخضر : يُنتج باستخدام مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح عبر عملية التحليل الكهربائي للماء، حيث يتم تقسيم الماء إلى هيدروجين وأكسجين باستخدام الطاقة المتجددة[2].

حيث يمكن تصنيف الهيدروجين الأخضر إلى أنواع مختلفة بناءً على تقنيات الإنتاج والموارد المتجددة المستخدمة نوضحها فيما يلي:

- **الهيدروجين الأخضـــر المنتج بالطاقة الشـــمســـية :** يتم عن طريق استخدام الكهرباء المتولدة من الخلايا الشمسية لتشغيل عملية التحليل الكهربائي للماء، تعتبر هذه الطريقة من أكثر الطرق المســـتدامة والنظيفة لإنتاج الهيدروجين[٣].
- **الهيدروجين الأخضـــر المنتج بطاقة الرياح :** هذا النوع يتم إنتاجه باســـتخدام الكهرباء المتولدة من توربينات الرياح، تعتبر طاقة الرياح

[1] IEA. (2020). "The Future of Hydrogen: Seizing today's opportunities." International Energy Agency (IEA).

[2] Glenk, G., & Reichelstein, S. (2019). "Economics of converting renewable power to hydrogen." Nature Energy, 4(3), pp216-222.

[3] Jacobson, M. Z., Delucchi, M. A., Cameron, M. A., & Frew, B. A. (2018). "Low-cost solutions to global warming, air pollution, and energy insecurity for 139 countries." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p80.

مصـدراً مهماً للطاقة المتجددة بسـبب كفاءتها العالية وانخفاض تكلفتها النسبية مقارنة ببعض المصادر الأخرى[١].

- **الهيدروجين الأخضـــر المنتج بالطاقة المائية:** يتم إنتاج هذا النوع باستخدام الكهرباء المتولدة من محطات الطاقة الكهرومائية، يعتمد هذا النوع على تدفق المياه في الســـدود والأنهار لتوليد الكهرباء اللازمة لعملية التحليل الكهربائي[2].
- **الهيـدروجين الأخضـــر المنتج من الكتلـة الحيويـة:** يمكن إنتـاج الهيدروجين الأخضـر من خلال معالجة الكتلة الحيوية (مثل المخلفات الزراعية والنفايات العضوية) بعمليات مثل التحلل الحراري أو التغويز، هذه الطريقة تجمع بين إدارة النفايات وإنتاج الهيدروجين[٣].
- **الهيدروجين الأخضر المنتج من الطاقة الحرارية الأرضية :** هذا النوع يعتمد على استخدام الحرارة المتولدة من باطن الأرض لتوليد الكهرباء، والتي تُســـتخـدم بعـد ذلـك في عمليـة التحليـل الكهربـائي لإنتـاج الهيدروجين[4].

---

[1] Aziz, M., Wijayanta, A. T., & Nandiyanto, A. B. D. (2019). "Hydrogen production from wind energy: a comparative study of efficiency and cost." *International Journal of Hydrogen Energy*, p44.

[2] Hanley, E. S., Deane, J. P., & Gallachóir, B. P. Ó. (2017). "The role of hydrogen in low carbon energy futures–A review of existing perspectives." *Energy Conversion and Management*, 135

[3] Ozturk, M., Yuksel, Y. E., & Atalay, S. (2020). "Hydrogen production from biomass by pyrolysis and gasification." *Bioresource Technology*, p299.

[4] Frick, S., Kaltschmitt, M., & Schröder, G. (2019). "Life cycle assessment of hydrogen production from geothermal energy." *Geothermics*, p82.

د الهيدروجين الأصـــفر : يُنتج باســـتخدام الكهرباء المتولدة من الطاقة النووية لتحليل الماء كهربائياً، يعتبر نظيفًا إذا كانت المحطة النووية لا تطلق انبعاثات كربونية[1].

هـ الهيـدروجيـن التركـوازي: يُنتج من خلال التحلل الحراري للميثان(Methane Pyrolysis)، حيث يتحلل الميثان إلى هيدروجين وكربون صلب، مما يقلل من انبعاثات (CO2)[2].

بالرغم من أن حرق الهيدروجين كوقود لا ينتج عنه أية انبعاثات من غازات الاحتباس الحراري، الا أن عملية انتاجه نفســـها قد ينتج عنها تولد انبعاثات من ثاني أكسيد الكربون حسب المادة الخام المستخدمة ومصدر الطاقة المستخدم، لذا لابد من الاخذ في الاعتبار شدة الكربون (Carbon Intensity) لعملية انتاج الهيدروجين حسب المصدر المستخدم في الإنتاج.

٢-مفهوم الهيدروجين الأخضر

يعرف الهيدروجين الأخضـــر بأنه "الهيدروجين المنتج من مصـــادر الطاقة المتجددة والتحليل الكهربائي للماء"، والذيُ يطلق عليه غالًبا "الهيدروجين النظيف"، أو "الهيدروجين المتجدد"، تم اقتراح مصطلح اقتصاد الهيدروجين لأول مرة في عام ١٩٧٠ من قبل John Bockris خلال

[1] Parra, D., Valverde, L., Pino, F. J., & Patel, M. K. (2019). "A review on the role, cost and value of hydrogen energy systems for deep decarbonization." Renewable and Sustainable Energy Reviews,p101.
[2] Abanades, A., & Florin, N. (2020). "Decarbonising hydrogen production from natural gas via methane pyrolysis." Energy Conversion and Management, p203.

محاضـــرة كان قد ألقاها في المركز الفني لجنرال موتورز، لكنه لم يبدأ في اكتســـاب الزخم حتى أوائل عام ٢٠١٠ مما تســـبب في تشـــكيل مجلس الهيدروجين[١] عام ٢٠١٧ حيث التزمت شـــركات الســـيارات والطاقة اليابانية والصـينية بتصـميم وبناء مركبات الهيدروجين ومحطات الهيدروجين[٢]. من هنا تعددت تعريفات الهيدروجين الأخضر نعرض أبرزها فيما يلي.

الهيدروجين الأخضـــر هو "الهيدروجين المنتج من الماء باســـتخدام التحليل الكهربائي المدعوم بالكامل من مصـــادر الطاقة المتجددة، يتميز هذا النوع من الهيدروجين بكونه خاليًا من انبعاثات ثاني أكســـيد الكربون خلال عملية الإنتاج، مما يجعله خيارًا مستدامًا لتخزين ونقل الطاقة المتجددة"[3].

تعـددت تعريفـات الهيـدروجين الأخضـــر من الوكـالات والهيئـات والمؤسـسـات الدولية فعرفته وكالة الطاقة الدولية (IEA) بأنه "هو الهيدروجين الذي يُنتج من خلال التحليل الكهربائي للماء باســـتخدام الكهرباء المتولدة من

---

[١] تم الإعلان عن مجلس الهيدروجين في أوائل ٢٠١٧ في المنتدي الاقتصـادي العالمي في دافوس، وهو عبارة عن هيئة اســـتشـــارية عالمية يقودها مديرون تنفيذيون، بلغ عددهم منتصـف عام ٢٠١٩ ما يزيد عن ٦٠ مديرا تنفيذيا من كبري الشركات العالمية، يقوم هؤلاء المـديرون بتقديم رؤيـة بعيـدة المـدي عن دور تقنيـات الهيـدروجين في التحول العـالمي في مجال الطاقة، والنقل والكهرباء وكذلك الاستخدامات الصناعية والسكنية، وتتمثل المخرجات الرئيســية للمجلس حتي الان في تنســيق وتمويل الدراســات لدعم مســيرة تطوير صــناعة الهيدروجين. يمكن الرجوع في ذلك الي:

-Hydrogen council (2017), Hydrogen Scaling Up: A Sustainable Pathway for the global Energy Transition.

[2] Sjoerd B, et al (2020), "Economic feasibility of green hydrogen in transportation sector", University of Groningen, p. 2.

[3] Bauer, C., et al. (2017),"Production of Hydrogen." *Energy & Environmental Science*, 10(3), pp.762.

موارد الطاقة المتجددة، مثل الرياح أو الطاقة الشمسية، تضمن هذه الطريقة أن إنتاج الهيدروجين لا ينتج عنه انبعاثات كربونية، مما يجعله خيارًا صديقًا للبيئة"[1].

الوكالة الدولية للطاقة المتجددة(IRENA) [2] عرفت الهيدروجين الأخضر بأنه "الهيدروجين الذي يتم إنتاجه باستخدام التحليل الكهربائي للماء، حيث تأتي الكهرباء المستخدمة في هذه العملية بالكامل من مصادر طاقة متجددة، تساهم هذه الطريقة في تقليل انبعاثات غازات الدفيئة بشكل كبير وتدعم التحول نحو أنظمة طاقة نظيفة ومستدامة".

ذهبت المفوضية الأوروبية الي تعريف الهيدروجين الأخضر بأنه " يُنتج من الماء عبر عملية التحليل الكهربائي التي يتم تشغيلها بواسطة الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة مثل الرياح والطاقة الشمسية، يُعتبر الهيدروجين الأخضر عنصرًا حاسمًا في استراتيجية الاتحاد الأوروبي لتحقيق اقتصاد خالٍ من الكربون بحلول عام ٢٠٥٠" [٣].

يعد الوقود الغني بالكربون مثل البترول والغاز والفحم أحد المسببات الرئيسية للاحتباس الحراري حيث ان الهيدروجين الاخضر يعد من اهم التقنيات الضرورية لتحقيق هدف (اتفاقية باريس للمناخ) المتمثل فى تقليل ما يزيد على ١٠ مليارات طن من انبعاثات غاز ثانى اكسيد الكربون سنويا فى

[1] Ozbilen, A., et al. (2020), "Green Hydrogen Production." Renewable Energy, pp.١٤٥.
[2] IRENA (International Renewable Energy Agency), (2019). "Hydrogen: A renewable energy perspective." IRENA Report.
[3] European Commission. (2020). A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. European Commission, Brussels, p2.

القطاعات الصناعية التى تشكل التحدى الاكبر مثل قطاعات التعدين والتشييد والبناء والصناعات الكيماوية .

أصبحت كلمة الهيدروجين الأخضر تتردد بشكل موسع بين أروقة الحكومات، وخاصة في الآونة الأخيرة التي تشهد تقلبات كبيرة في سوق الطاقة العالمي، بفضل الحرب الروسية الأوكرانية، وبالتالي تشهد جهود الدول تسارع كبير للفوز بوقود المستقبل .

الهيدروجين الاخضر هو افضل انواع عائلة الهيدروجين حيث أن طريقة إنتاجه والغازات الدفيئة الناتجة من العملية هي ما تعطيه لونه الهيدروجين الاخضر: ينتج عن التحليل الكهربائي للماء في محلل كهربي، بمعنى فصل المياة عن طريق التحليل الكهربائى والذى يستلزم تمرير تيار كهربائى خلالها وتفصل الى هيدروجين واكسجين وتزود الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة المائية أو طاقة الرياح أو الطاقة الشمسية . ولا ينتج عن هذه العملية أي من الغازات الدفيئة.

٣- اهم استخدمات الهيدروجين الاخضر

الهيدروجين الاخضر يملك القدرة على أن يصبح وقود جزيئي قادر على توفير طاقة نظيفة لكافة جوانب الاقتصاد العالمي. يمكن استخدامه كبديل للوقود الاحفوري كمادة أولية صناعية نظيفة في مجموعة كبيرة ومتنوعة من التطبيقات – من النقل الثقيل والصناعات الفولاذية. كون الهيدروجين حاملاً خاليا من ثاني أكسيد الكربون للطاقة، فهذا يجعله مصدراً نظيفاً مستداما ومرن في الاستعمال: يمكن أن يخزن وينقل لمسافات طويلة ويستطيع حمل كميات كبيرة من الطاقة إذا تم ضغطه أو تحويله إلى

سائل؛ وبذلك ينتج طاقة ووقود نظيفين، وله نفس معايير السلامة التي يحتاجها الغاز الطبيعي والنفط. من المتوقع أن يستطيع الهيدروجين الاخضر تغطية ٢٤ %من حاجة العالم من الطاقة بحلول عام ٢٠٥٠ .

فيما يلي ملخص وعرض لأهم استخدامات الهيدروجين الأخضر في مختلف القطاعات.

(أ) **قطاع الطاقة:** يستخدم الهيدروجين الأخضر لتوليد الكهرباء عبر خلايا الوقود، والتي تحول الطاقة الكيميائية في الهيدروجين إلى كهرباء مع إنتاج الماء كمنتج ثانوي فقط، يمكن أيضًا حرق الهيدروجين الأخضر في التوربينات الغازية لتوليد الكهرباء بطريقة مماثلة للغاز الطبيعي، هذا ويقلل الهيدروجين الاخضر من الاعتماد على الوقود الأحفوري ويخفض انبعاثات غازات الدفيئة، كما يمكن استخدامه لتخزين الطاقة الزائدة من مصادر الطاقة المتجددة مثل الرياح والشمس[1].

(ب) **قطاع النقل:** يمكن استخدام الهيدروجين الأخضر كوقود للسيارات والشاحنات والحافلات التي تعمل بخلايا الوقود الهيدروجينية، كما يجري تطوير تقنيات لاستخدامه في الطائرات والسفن، حيث يمكن للهيدروجين الأخضر تقليل البصمة الكربونية للنقل البحري والجوي، كما لا ينتج عن استخدامه في خلايا الوقود سوى الماء، مما يقلل من

[1] Staffell, I., Scamman, D., Abad, A. V., Balcombe, P., Dodds, P. E., Ekins, P., ... & Ward, K. R. (2019). "The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system." Energy & Environmental Science, P12.

تلوث الهواء وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون، كما يتيح مدى طويل ووقت تعبئة قصير مقارنة بالسيارات الكهربائية التي تعمل بالبطاريات[1].

(ج) **الصناعة الثقيلة:** يُستخدم الهيدروجين الأخضر في عمليات التصنيع مثل إنتاج الصلب، حيث يحل محل الفحم الحجري في اختزال خام الحديد، مما يقلل من انبعاثات الكربون، كما يساهم في تقليل البصمة الكربونية للصناعات الثقيلة التي تعتبر من أكبر مصادر انبعاثات ثاني أكسيد الكربون[٢].

(د) **القطاع الكيميائي:** يُستخدم الهيدروجين الأخضر في إنتاج الأمونيا الخضراء، والتي تُستخدم كسماد زراعي وأيضًا كوقود للسفن، كما يُستخدم في إنتاج الميثانول والهيدروكربونات الأخرى، هذا بالإضافة الي أنه يقلل من انبعاثات الكربون في الصناعات الكيميائية ويعزز إنتاج منتجات كيميائية خضراء ومستدامة[3].

(هـ) **التدفئة وتوليد الحرارة:** يمكن استخدام الهيدروجين الأخضر لتوليد الحرارة في الأنظمة الصناعية والمباني التجارية والسكنية، إما من خلال خلايا الوقود أو حرق الهيدروجين، فهو يوفر حلاً نظيفًا

---

[1] Samsun, R. C., Antoni, L., & Stolten, D. (2019). "Hydrogen and synthetic fuels for sustainable mobility." Fuel Cells Bulletin, P12.

[2] Vogl, V., Åhman, M., & Nilsson, L. J. (2018). "Assessment of hydrogen direct reduction for fossil-free steelmaking." Journal of Cleaner Production, 203, P.736.

[3] Valente, A., Iribarren, D., & Dufour, J. (2017). "Life cycle assessment of hydrogen and power-to-liquid fuels production and application." Renewable and Sustainable Energy Reviews, 69, P.79.

ومستدامًا لتوليد الحرارة، مما يقلل من الاعتماد على الغاز الطبيعي والفحم[1].

(و) **تخزين الطاقة:** يمكن استخدام الهيدروجين الأخضر كوسيلة لتخزين الطاقة المتجددة، حيث يتم إنتاجه عندما يكون هناك فائض من الكهرباء المتجددة، ويُخزن لاستخدامه في وقت لاحق عندما يكون الطلب على الكهرباء مرتفعًا، كما أنه يساعد في تحقيق استقرار الشبكات الكهربائية التي تعتمد بشكل كبير على مصادر الطاقة المتجددة مثل الشمس والرياح[2].

مما سبق نجد أن استخدام الهيدروجين الأخضر يحمل العديد من الفوائد الاقتصادية والبيئية، أنه يساهم في خفض انبعاثات غازات الدفيئة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري. خلق فرص عمل جديدة في قطاعات التكنولوجيا النظيفة والطاقة المتجددة.

سيصبح الهيدروجين الأخضر أحد أكثر الخيارات الأقل تكلفة فسيمثل نحو ٦٠٪ من الهيدروجين منخفض الكربون بحلول عام ٢٠٣٠، مع العلم أنه ستزداد هذه النسبة الى نحو ٦٥ % بحلول عام ٢٠٥٠، وستكون النسبة المتبقية ٣٥٪ من نصيب الهيدروجين الأزرق الذي يعمل كمكمل مهم للهيدروجين

[1] Dodds, P. E., & McDowall, W. (2013). "The future of the UK gas network." Energy Policy, 60, P.305.

[2] Mergel, J., Müller, M., & Stolten, D. (2013). "A review on the economic and technical optimization of renewable hydrogen production from wind power." Renewable and Sustainable Energy Reviews, 24, P 343.

الأخضر والتي سيتم توفيره من خلال مصادر انتاجه، 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 ٩-١٤مليون طن، وهيدروجين أزرق ما بين ٧-١٠ مليون طن بشرط أن يتم تنفيذ كافة مشاريعه المتفق عليها حاليا .

نشرت المفوضية الاوروبية خطة انتاج الهيدروجين لعام ٢٠٣٠ , التى تدعو فيها الى زيادة قدرات انتاج الهيدروجين لتصل الى ٥٠٠ جيجاوات بحلول عام ٢٠٥٠ (علما بان القدرات الحالية لا تزيد على ٠.١ جيجاوات) وهذا ما دفع مؤسسات الخدمات المالية العالمية الى التنبؤ بان قيمة الاستثمارات السوقية فى انتاج الهيدروجين الاخضر سوف تبلغ ١٢ تريليون دولار عام ٢٠٥٠ .

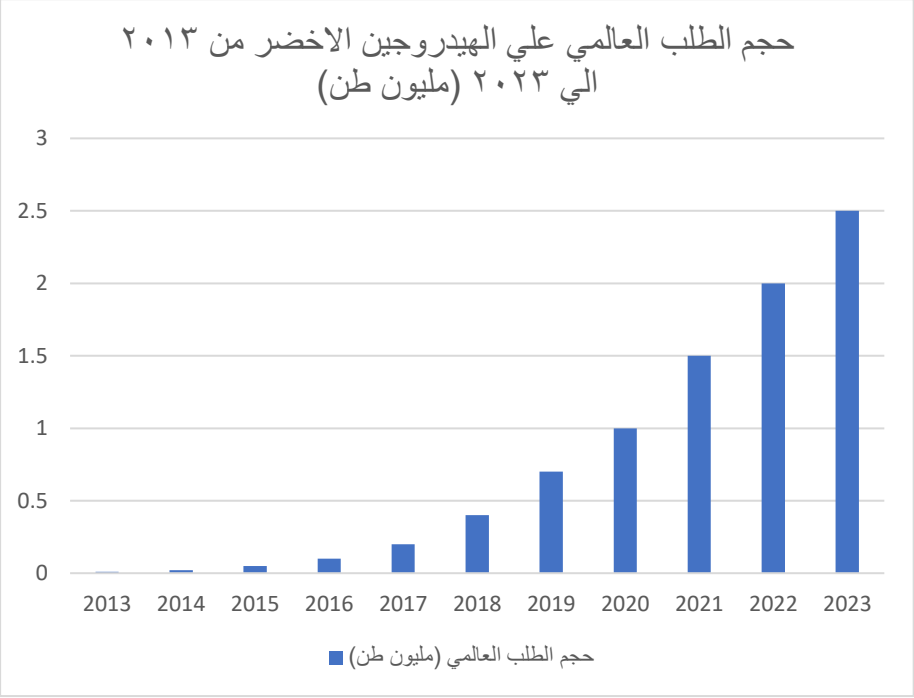
ثانيا : حجم الطلب العالمى على الهيدروجين الاخضر

١- الطلب العالمي علي الهيدروجين الاخضر

شهد الطلب العالمي على الهيدروجين عموما نموًا ملحوظًا من ٢٠١٣ إلى ٢٠٢٣، وفقًا لتقرير الوكالة الدولية للطاقة(IEA) فقد بلغ الطلب العالمي على الهيدروجين مستوى تاريخيًا حيث وصل إلى ٩٥ مليون طن (Mt) في عام ٢٠٢٢، بزيادة تقارب ٣٪ مقارنة بالعام السابق. ومع ذلك، فإن هذه الزيادة مدفوعة أساسًا بالاستخدامات الصناعية التقليدية مثل التكرير وإنتاج

المواد الكيميائية، حيث أن أقل من ٠.١٪ من الطلب جاء من تطبيقات جديدة في الصناعات الثقيلة، والنقل، أو توليد الطاقة، على الرغم من النمو الإجمالي لا يزال استخدام الهيدروجين الأخضر ذو الانبعاثات المنخفضة محدودًا. في عام ٢٠٢٢، تمت تلبية حوالي ٠.٧٪ فقط من إجمالي الطلب على الهيدروجين بواسطة الهيدروجين ذو الانبعاثات المنخفضة، مما يشير إلى فجوة كبيرة بين الاستخدام الحالي وما هو مطلوب لتحقيق الأهداف المناخية العالمية[1].

شكل (١)



المصدر: الوكالة الدولية للطاقة(IEA) ، تقرير مراجعة الهيدروجين العالمي ٢٠٢٢.

[1] IEA. (2022). Global Hydrogen Review 2022. International Energy Agency, pp. 69:70.

يتضـــح من الشـــكل الســـابق أن الطلب العالمي على الهيدروجين الأخضـر شـهد نموًا ملحوظًا من عام ٢٠١٣ إلى عام ٢٠٢٣، حيث ارتفع من ٠.٠١ مليون طن في عام ٢٠١٣ إلى ٢.٥ مليون طن في عام ٢٠٢٣، هذا النمو يعكس تحولًا كبيرًا في استخدامات الهيدروجين وتوجه العالم نحو مصـادر الطاقة النظيفة والمتجددة. ووفقًا لتقرير ديلويت لعام ٢٠٢٣، يمكن للهيدروجين الأخضر أن يسهم بشكل كبير في تحقيق أهداف الوصول إلى الصفر الصافي من الانبعاثات بحلول عام ٢٠٥٠، حيث يوضـــح التقرير أن الســـوق الناشـــئة للهيدروجين الأخضـــر يمكن أن تخلق ســـوقًا بقيمة ١.٤ تريليون دولار ســـنويًا بحلول عام ٢٠٥٠، مدفوعة بالحاجة إلى إزالة الكربون من القطاعات الصـعبة مثل الصناعات الثقيلة والنقل[1].

بشكل عام، على الرغم من أن الطلب على الهيدروجين الأخضر يشهد نموًا، فإن هناك حاجة ماسة إلى جهود واستثمارات كبيرة لتوسيع نطاق الإنتاج والاستخدام لتلبية الأهداف المناخية، هذا وتشير الزيادة الأخيرة في الطلب إلى اتجاهات أوسع في قطاع الطاقة أكثر من كونها نجاحات محددة في السياسات الموجهة لتوسيع استخدام الهيدروجين الأخضر.

٢- انتاج الهيدروجين الأخضر عالميا

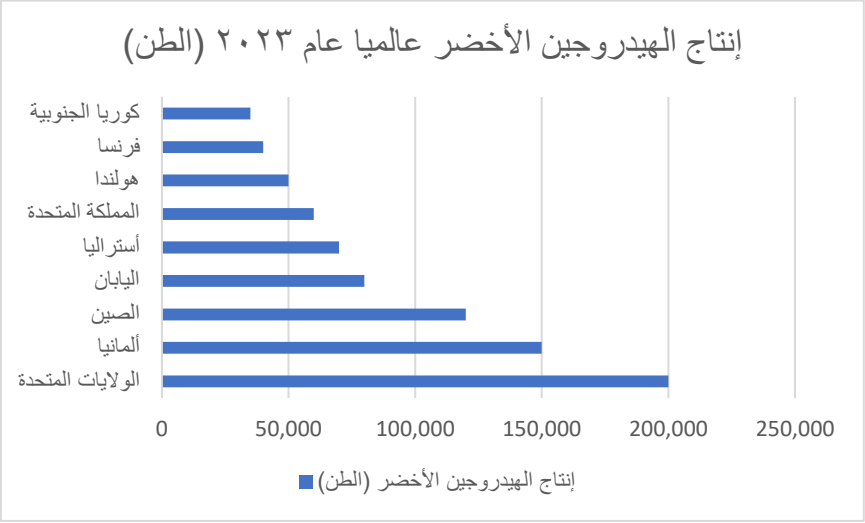
بلغ إجمالي الإنتاج العالمي من الهيدروجين المشـــتق من اســـتخدام الوقود الأحفوري نحو ٩٤ مليون طن خلال عام 2021، مصـــاحبا لإنبعاثات كربونيـة تزيـد عن 900 مليون طن خلال نفس العـام، في حين بلغ انتـاج

[1] Deloitte. (2023). Green Hydrogen: Energizing the path to net zero.

الهيدروجين منخفض الإنبعاثات الهيدروجين (الأزرق) أقل من ١ مليون طن (٠.٧ %) خلال نفس العام، بالإضافة إلى نحو 35 ألف 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 24 مليون طن بحلول عام 2030، حيث أن ارتفاع السعة المركبة للمحللات الكهربائية المستخدمة في انتاج الهيدروجين الأخضر، والتي وصلت إلى ٥١٠ ميجاوات بنهاية عام 2021 وبزيادة قدرت نحو 210 ميجاوات خلال عام 2020 ستزيد من انتاج الهيدروجين الأخضر خلال الأعوام القليلة القادمة[١].

شكل (٣٢)

حجم الإنتاج العالمي من الهيدروجين الأخضر ٢٠٢٣ (الطن)



[١] هدايا عبد الستار عبد المنعم، اقتصاديات الهيدروجين الأخضر ودورها في تعزيز أمن الطاقة وتحقيق النقل المستدام، المجلة العلمية للبحوث التجارية، ص٣٧٣.

المصدر: تقرير وكالة الطاقة الدولية لعام ٢٠٢٣.

يتضح من الشكل السابق أن العالم شهد تحولًا كبيرًا نحو الطاقة النظيفة والمتجددة في العقد الأخير، وكان للهيدروجين الأخضر نصيب كبير من هذا التحول، حيث يعكس الجدول السابق حجم الإنتاج العالمي للهيدروجين الأخضر في عام ٢٠٢٣، موزعًا حسب الدول الرئيسية التي استثمرت بشكل كبير في هذا المجال، تصدرت الولايات المتحدة تتصدر القائمة بإنتاج ٢٠٠,٠٠٠ طن من الهيدروجين الأخضر في عام ٢٠٢٣، هذا يعكس التزامها الكبير بالتحول إلى الطاقة النظيفة من خلال سياسات دعم حكومية واستثمارات ضخمة في البنية التحتية للتكنولوجيا النظيفة، تمول الولايات المتحدة العديد من المشاريع الكبيرة في هذا المجال، مما يساعد على تعزيز الإنتاج المحلي وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري. تأتي ألمانيا في المرتبة الثانية بإنتاج ١٥٠,٠٠٠ طن، تعد ألمانيا من الدول الرائدة في الطاقة المتجددة، وقد استفادت من البنية التحتية المتطورة والسياسات الداعمة للهيدروجين الأخضر لتعزيز إنتاجها، حيث ساهمت برامج الدعم الحكومي والمشاريع البحثية المكثفة بشكل كبير في هذا النمو. هذا وقد احتلت الصين المرتبة الثالثة بإنتاج ١٢٠,٠٠٠ طن فقد استثمرت بكثافة في التقنيات النظيفة لمحاربة التلوث البيئي، ومع زيادة الطلب على الطاقة النظيفة تواصل الصين توسيع قدراتها الإنتاجية في مجال الهيدروجين الأخضر.

مما سبق نري أن هناك توجهًا عالميًا نحو زيادة إنتاج الهيدروجين الأخضر كجزء من الجهود الرامية لمكافحة تغير المناخ وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، وكذلك التقدم في التكنولوجيا، إلى جانب الدعم الحكومي والاستثمارات الكبيرة التي لها دورًا حاسمًا في تحقيق هذه الزيادة في الإنتاج.

جدول (٢)

عدد منشات الهيدروجين الأخضر (بعض الدول والكيانات المختارة) عام ٢٠٢٣

البلد	عدد منشآت الهيدروجين الأخضر
الصين	30
الاتحاد الأوروبي	25
اليابان	20
كوريا الجنوبية	15
الهند	10
الولايات المتحدة	35

Source: International Energy Agency, Global Hydrogen Review 2023.

وفقا للجدول السابق واعتبارًا من عام ٢٠٢٣، هناك العديد من الدول التي تقود سباق إنشاء منشآت الهيدروجين الأخضر في العالم، تتصدر الولايات المتحدة الامريكية و الصين القائمة.

في الولايات المتحدة، تأخذ العديد من الولايات زمام المبادرة في دعم سوق سيارات خلايا الوقود (FCEVs) والهيدروجين الأخضر عبر برامج متعددة مثل برنامج الائتمان الضريبي لإنتاج الهيدروجين. هذا وتركز الهند من خلال مبادرتها الوطنية للهيدروجين على استخدام الهيدروجين الأخضر في الصناعات الثقيلة مثل التكرير وإنتاج الأسمدة. اليابان وكوريا الجنوبية أيضًا تقومان باستثمارات كبيرة في تقنية الهيدروجين وخطط طويلة الأمد لزيادة استخدام الهيدروجين في قطاعات النقل والطاقة، كما أنه من المتوقع إنتاج

كميات كبيرة من الهيدروجين الأخضـــر في كل من أمريكا اللاتينية، وكل من إفريقيا والشرق الأوسط، حيث يتوقع أن يصل الإنتاج لأكثر من ٤ مليون طن بحلول عام ٢٠٣٠، والتي ســـتكون غالبا موجهة لتصـــدير الهيدروجين أو الأمونيا إلى أوروبا وآسيا[1].

ثالثا: الاستراتيجيات الوطنية للهيدروجين الأخضر في العالم

اكتسب الاستثمار في الهيدروجين الأخضر مكانة دولية متزايدة باعتباره جزءاً حيوياً من التحول العالمي نحو الطاقة النظيفة والمستدامة، حيث تتسابق الدول والشركات العالمية للاستثمار في هذه التكنولوجيا الواعدة نظراً لقدرتها على تقليل الانبعاثات الكربونية وتحقيق الأهداف المناخية، كما يشهد السوق الدولي تعاوناً واسعاً بين الحكومات والمؤسسات الخاصة لتطوير البنية التحتية اللازمة وتقديم الدعم المالي والتشريعي للمشاريع المتعلقة بالهيدروجين الأخضر، هذا الاستثمار يتيح فرصاً اقتصادية ضخمة ويعزز من التنافسية العالمية، حيث تسعى الدول إلى أن تكون في طليعة الثورة الخضراء والتكنولوجيا النظيفة كانت اليابان هي الدولة الاولى في عام ٢٠١٧ ، تليها كوريا الجنوبية ونيوزيلندا وأستراليا في عام ٢٠١٩ ،وبدأت اليابان بالفعل بعض الشراكات الدولية بشأن الهيدروجين الاخضر، مع أستراليا و بروناي على سبيل المثال، نتيجة لإقبال عدد كبير من الدول على زيادة قدرات إنتاج الهيدروجين مثل كندا وفرنسا واليابان وأستراليا والنرويج وألمانيا والبرتغال وإسبانيا وتشيلي والصين وفنلندا، فقد أطلق عدد من البلدان والتكتلات استراتيجيات للاستثمار في الهيدروجين، أبرزها خطة الاتحاد الأوروبي للهيدروجين الأخضر في يوليو ٢٠٢٠.وأعلنت هولندا والنمسا والنرويج

[1] IEA: International Energy Agency (2022), Global Hydrogen Review 2022, pp. 69:70.

والبرتغال وألمانيا وفرنسا انضمامها عام ٢٠٢٠ ،تبنت الحكومة الفيدرالية الالمانية فى يونيو ٢٠٢٠ استراتيجية هيدروجين وطنية بقيمة ٩ مليار يورو، منها ٧ مليار يورو مخصصة لتكثيف وجود لتقنيات الهيدروجين في السوق الالمانى وتخصيص ٢ مليار يورو إضافية للشراكات الدولية.

الاتحاد الأوروبي

يهدف الاتحاد الأوروبي لتحقيق الحياد الكربوني بحلول عام ٢٠٥٠، مع اعتبار الهيدروجين الأخضر عنصرًا أساسيًا في "الاتفاق الأخضر الأوروبي" حيث يهدف الاتحاد الأوروبي إلى إنتاج 10 ملايين طن من الهيدروجين المتجدد المحلي و 10 ملايين طن من الهيدروجين المتجدد المستورد بحلول عام 2030 ، يعمل الاتحاد الأوروبي على وضع قواعد مفصلة لتحديد شكل الهيدروجين المتجدد الأخضر في الاتحاد الأوروبي، بالإضافة إلى اعتماد قوانين تشريعية بموجب توجيه الطاقة المتجددة، وذلك كجزء من إطار تنظيمي واسع للهيدروجين في الاتحاد الأوروبي، كما يتضمن هذا الإطار الاستثمار في البنية التحتية للطاقة، وتحديد أهداف تشريعية للهيدروجين المتجدد في قطاعات الصناعة والنقل[١].[٢]:

- **استراتيجية الهيدروجين الأوروبية (2020)** : تهدف إلى إنتاج ٤٠ جيجاواط من الهيدروجين الأخضر بحلول ٢٠٣٠.

---

[١] بوصلة السياسات "الأطر التشريعية لتشجيع مشروعات الهيدروجين الأخضر"، مركز المعلومات واتخاذ القرار، مجلس الوزراء المصري، مرجع سابق، ص١٧.

[2] van Wijk, A., & Chatzimarkakis, J. (2021). Hydrogen: A renewable energy perspective for the European Union. Renewable Energy, 168, p164.

- **التمويل:** تشـــمل برامج مثل Horizon Europe التي تخصص التمويل اللازم لدعم الأبحاث والتطوير في تكنولوجيا الهيدروجين الأخضر.

السـوق الموحد: تطوير سـوق مشـترك للهيدروجين الأخضـر لتعزيز التجارة والتعاون بين الدول الأعضاء.

ألمانيا

تسعى ألمانيا لتكون رائدة عالمية في تكنولوجيا الهيدروجين الأخضر بهدف تحقيق الحياد الكربوني بحلول عام ٢٠٥٠، هذا وتعتمد ألمانيا على الهيدروجين بشكل أساسي في العمليات التصنيعية، وذلك في إنتاج المواد الكيميائية الأساسية مثل الأمونيا والميثانول، وكذلك في قطاع البتروكيماويات، وقد بلغ حجم استهلاك الهيدروجين (55 تيراوات للساعة) وفقًا للاستراتيجية الوطنية للهيدروجين التي تمت الموافقة عليها في 10 يونيو 2020 .

تجدر الإشارة إلى أن غالبية الهيدروجين المستخدم في الصناعة هو الهيدروجين الرمادي المنتج من الغاز الطبيعي، بينما يتم توفير ٧٪ (3.85 تيراواط ساعة) فقط من الطلب الحالي بواسطة الهيدروجين الأخضر الناتج عن التحليل الكهربائي، ومع أهمية الصناعة للدولة الألمانية والتوجه نحو الاعتماد

على الهيدروجين الأخضر بها كانت الحاجة إلى قوانين منظمة للهيدروجين الأخضر، واستراتيجية توضح رؤية الدولة في هذا الصدد[١].[٢]:

- **الاســـتراتيجية الوطنية للهيدروجين(2020)** : تهدف إلى إنتاج ٥ جيجاواط من الهيدروجين الأخضر بحلول ٢٠٣٠.
- **التمويل:** خصصت الحكومة الألمانية ٩ مليارات يورو لدعم تطوير مشاريع الهيدروجين الأخضر.
- **البحث والتطوير:** تدعم مبادرات مثل "H2Giga" لتســـريع تطوير تقنيات الإنتاج الكمي للهيدروجين الأخضر.
- **التعاون الدولي** : تسعى ألمانيا للتعاون مع الدول الأخرى في مجالات إنتاج وتوزيع الهيدروجين الأخضر، مثل الشراكة مع النرويج لاستيراد الهيدروجين الأخضر.

فرنسا

قدمت الحكومة الفرنســـية اســـتراتيجيتها الوطنيةً للهيدروجين في ســـبتمبر ٢٠٢٠ ، حيث قدمت استثمارا بقيمة ٤.٧ مليار يورو فقط مع الاستراتيجيةُ الالمانية والفرنسية معا ، تم تخصيص ١٦ مليار يورو لمشاريع الهيدروجين ،

---

[١] بوصلة السياسات "الأطر التشريعية لتشجيع مشروعات الهيدروجين الأخضر"، مركز المعلومات واتخاذ القرار، مجلس الوزراء المصـــري، الســـنة ١، العدد ٤، يونيو٢٠٢٣، ص١٥.

[2] Wietschel, M., Hasenauer, U., & Arens, M. (2020). The German Hydrogen Strategy: Critical analysis of a state-of-the-art strategy to fuel the energy transition. Energy Research & Social Science, p70.

وينظر كلا البلدين إلى منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا على أنها شريك »طبيعي .»في أوروبا، بدأ بناء اقتصـــاد الهيدروجين من خلال»الصـــفقة الخضـــراء« التي أطلقتها مفوضـــية الاتحاد الاوروبي الجديدة منذ ديســـمبر ٢٠١٩ ،مع هدف أن تصـــبح أول قارة خالية من الكربون بحلول عام ٢٠٥٠ ،وتضـــع الخطةً هدفاً طموحا يجب الوصـــول إليه بالفعل بحلول عام ٢٠٣٠ :خفض انبعاثات الغازات الدفيئة بنســبة ٥٠ ٪على الاقل)من مســتويات عام ١٩٩٠ ،)وتعزيز حصة الطاقة المتجددة ونشر مجموعة واسعة من ممارسات زيـادة كفـاءة الطـاقـة. لتحقيق هـذا الهـدف، يعتمـد الاتحـاد الاوروبي على الشـــراكات القوية مع الدول المجاورة لبناء ســـوق مســـتدام للهيدروجين مع مجموعة واسعة من التطبيقات والمسارات: وضع إطار قانوني، وتوسيع نطاق التكنولوجيا، وإعادة تخصـــيص خطوط أنابيب الغاز الحالية وتطوير البنية التحتية المطلوبة.

تدمج فرنسا الهيدروجين الأخضر في استراتيجيتها الوطنية للطاقة بهدف تحقيق الحياد الكربوني بحلول عام ٢٠٥٠، هذا وتعد فرنسا من الدول الرائدة في اتباع خطة الهيدروجين، حيث تم اعتماد استراتيجية وطنية للهيدروجين في عام 2020 و 2023 ، وذلك بعد اعتماد خطة الهيدروجين في عام ٢٠١٨ ، ويبدو أن هذا الهدف قابل للتحقيق لأن فرنسا تستحوذ على أكبر حصة في العالم من حجم التحليل الكهربائي بنسبة 6%، ومن المتوقع أن يؤدي تطوير قطاع الهيدروجين الأخضر إلى خلق فرص عمل تتراوح بين ٥٠ إلى ١٥٠ ألف فرصة عمل. وإضافة إلى ذلك، تسعى فرنسا إلى تقليل إنتاج الهيدروجين الرمادي إلى 1.07

مليون طن سنويا بحلول عام ٢٠٣٠، وهو ما يشير إلى الالتزام القوي للبلاد بالتحول إلى مستقبل أكثر استدامة ونظافة[1][2]:.

- **خطة الهيدروجين(2020)** : تشمل استثمارات بقيمة ٧.٢ مليار يورو حتى ٢٠٣٠ لدعم تطوير تكنولوجيا الهيدروجين الأخضر والبنية التحتية.
- **الدعم الحكومي** : حوافز مالية للشركات التي تستثمر في تكنولوجيا الهيدروجين وتطوير البنية التحتية.
- **التعاون الأوروبي:** تعزيز التعاون مع الدول الأوروبية الأخرى لتطوير مشاريع مشتركة في مجال الهيدروجين الأخضر.

كوريا الجنوبية

تهدف كوريا الجنوبية إلى أن تصبح من الدول الرائدة في إنتاج واستخدام الهيدروجين الأخضر، مما يساهم في تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، حيث تخطط الدولة لتكون ثلث طاقتها من الهيدروجين بحلول ٢٠٥٠، وخلال السنة المالية لعام ٢٠٢١، بلغ إجمالي الإنفاق على مشروعات الهيدروجين من قبل حكومة كوريا الجنوبية ما يقرب من ٧٠٢ مليون دولار أمريكي، بالإضافة

---

[1] بوصلة السياسات "الأطر التشريعية لتشجيع مشروعات الهيدروجين الأخضر"، مركز المعلومات واتخاذ القرار، مجلس الوزراء المصري، مرجع سابق، ص١٩.

[2] Chevalier, J., & Verger, P. (2020). The Role of Hydrogen in the French Energy Transition: Challenges and Opportunities. Energy Policy, p140.

إلى تعهد الحكومة بإنشاء سوق للسيارات الكهربائية التي تعمل بخلايا الوقود التي تعمل بالهيدروجين (FCEV) بقيمة ٢.٣ مليار دولار أمريكي، وذلك بالمشاركة بين القطاعين العام والخاص بحلول نهاية عام ٢٠٣٠[١] .[٢]:

- **الخطة الهيدروجينية الشـــاملة (2019)** : تشـــمل أهدافًا طموحة لإنتاج وتوزيع الهيدروجين، مثل إنتاج ٦.٢ مليون مركبة هيدروجينية بحلول ٢٠٤٠.
- **الاستثمارات الحكومية:** تخصيص ٢.٦ مليار دولار لتطوير البنية التحتية للهيدروجين، بما في ذلك محطات التزود بالوقود.
- **الشراكات:** تعزيز التعاون مع شركات مثل Hyundai و SK Group لتطوير تكنولوجيا الهيدروجين والبنية التحتية.

الهند

تسعى الهند إلى استخدام الهيدروجين الأخضر كجزء من استراتيجيتها لتحقيق أهدافها البيئية وخفض الانبعاثات الكربونية، هذا وقد أطلقت الهند "استراتيجية الهيدروجين الوطنية " في أغسطس 2021 ، وتخطط الحكومة الهندية من خلال الاستراتيجية لإلزام المصافي ومصانع الأسمدة باستخدام

---

[١] بوصلة السياسات "الأطر التشريعية لتشجيع مشروعات الهيدروجين الأخضر"، مركز المعلومات واتخاذ القرار، مجلس الوزراء المصري، مرجع سابق، ص١٦.

[2] Lee, J., & Lee, D. (2020). Hydrogen Economy in South Korea: Opportunities and Challenges. International Journal of Hydrogen Energy, p45.

كميات من الهيدروجين الأخضر، كما تهدف إلى أن تكون مركزاً عالميًا لإنتاج وتصدير الهيدروجين الأخضر، وتركز أيضًا على أهمية الهيدروجين الأخضر ودوره في استقلال الطاقة في الهند بحلول عام ٢٠٤٧.[١][٢]:

- **مبادرة الهيدروجين الوطنية (2021)** : تهدف إلى تعزيز إنتاج واستخدام الهيدروجين الأخضر وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري.
- **الدعم المالي** : تشمل حوافز للاستثمارات في مشاريع الهيدروجين الأخضر وتقديم تمويلات ميسرة للمشاريع الكبيرة.
- **الشراكات** : تعاون مع القطاع الخاص لتطوير البنية التحتية والتقنيات اللازمة لإنتاج الهيدروجين الأخضر.

الولايات المتحدة الأمريكية

تسعى الولايات المتحدة لتعزيز استخدام الهيدروجين الأخضر لتحقيق أهدافها البيئية واستقلال الطاقة، رغم أن حوالي ٩٥٪ من إنتاج الهيدروجين داخل الولايات المتحدة يأتي من الهيدروجين الرمادي، فإن هناك خططًا لزيادة استخدام الهيدروجين الأخضر لتلبية ١٤ % من الطلب على الطاقة بحلول عام ٢٠٥٠، وتشير التوقعات إلى أنه من الممكن تحقيق إيرادات سنوية من

---

[١] بوصلة السياسات "الأطر التشريعية لتشجيع مشروعات الهيدروجين الأخضر"، مركز المعلومات واتخاذ القرار، مجلس الوزراء المصري، مرجع سابق، ص١٨.

[2] Ghosh, P., & Dey, S. (2021). Hydrogen Economy in India: Prospects and Challenges. Energy Policy, p148.

إنتـاج الهيـدروجين منخفض الكربون تتراوح بين ١٣٠ و ١٧٠ مليـار دولار بحلول عام ٢٠٥٠[١].[٢]:

- **قانون الاســـتثمار في البنية التحتية والوظائف(2021) :** يتضـــمن تمويلات ضـــخمة لتطوير تكنولوجيا الهيدروجين الأخضر والبنية التحتية.
- **الدعم المالي :** حوافز للشـــركات التي تســـتثمر في إنتاج الهيدروجين الأخضر.
- **الأبحاث والتطوير:** تعزيز الأبحاث في تكنولوجيا الهيدروجين الأخضر والتعاون مع الجامعات والمؤسسات البحثية.

مما سبق نصل الي أن العديد من الدول شهدت اهتماماً متزايداً بتطوير استراتيجيات وطنية للهيدروجين الأخضر باعتباره مصدراً نظيفاً للطاقة يساهم في تقليل الانبعاثات الكربونية، وأن أغلب الاســـتراتيجيات الوطنية للهيدروجين الأخضر في العالم تضمنت تعزيز البحث والتطوير، بناء البنية التحتية اللازمة لإنتاج وتوزيع الهيدروجين الأخضـر، وتحفيز الاسـتثمارات الخاصـة والعامة، هذا وقد ســـعت بعض الدول مثل الاتحاد الأوروبي، اليابان، وأســـتراليا إلى تحقيق الريادة في هذا المجال من خلال دعم مشاريع طاقة متجددة تعتمد على الرياح والشـــمس لإنتاج الهيدروجين، وتوســـيع اســـتخداماته في القطاعات

---

[١] بوصـلة السياسـات "الأطر التشـريعية لتشـجيع مشـروعات الهيدروجين الأخضـر"، مركز المعلومات واتخاذ القرار، مجلس الوزراء المصري، مرجع سابق، ص٢١.

[2] Miller, A., & Baxter, L. (2020). The Role of Hydrogen in the US Energy Transition: Policy and Infrastructure. Energy Policy, p144.

الصناعية والنقل، مما يمهد الطريق لتحقيق أهداف الاستدامة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري.

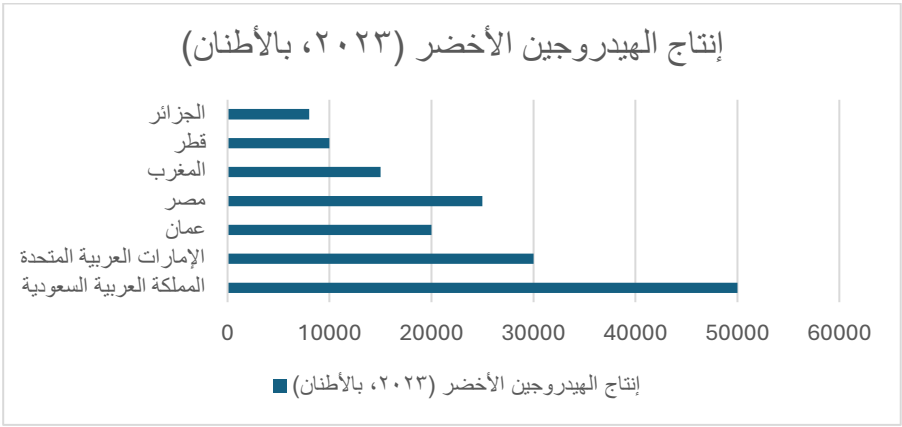
مبادرات الدول العربية في مجال الهيدروجين الاخضر

بدأت دبلوماسية الهيدروجين بالفعل بنجاح حيث أن المغرب وسلطنة عمان بدأوا الشراكة مع الدول الاوروبية في إنتاج الهيدروجين الاخضر. المغرب والمانيا اعلنا عن مشروع شراكة فى هذا المجال وكذلك عمان وبلجيكا , بالاضافة الى الامارات العربية المتحدة والمملكة العربية السعودية والمملكة الاردنية .خاصة كون أوروبا مشترياً محتملا كبيرا للجزيئات الخضراء من منطقة الشرق الاوسط وشمال إفريقياً ، وهو ما يوفر فرصة لمنطقة الشرق الاوسط وشمال إفريقيا للبدء في تطوير مشاريع الهيدروجين الاخضر. إن الفرصة هنا ليست فقط في توليد عائدات تصدير جديدة، ولكن أيضًا بالنسبةً للاسواق المحلية، سيكون الطلب على الجزيئات الخضراء مرتفعا. في حين تم بالفعل خلق العديد من الوظائف لمشاريع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح – وستزداد هذه المشاريع مع الهيدروجين الاخضر – فإن سلسلة القيمً من الانتاج وتخزين وتحويل الهيدروجين الاخضر أطول بكثير وأكثر تعقيدا. بالاضافة إلى ذلك، سيكون هناك في مجموعة متنوعة من التطبيقات، فرصة لخلق العديد من الوظائف الجديدة، مما يؤدي إلى زيادة النمو والازدهار في منطقة الشرق االوسط وشمال إفريقيا.

تشهد الدول العربية اهتمامًا متزايدًا بتطوير الهيدروجين الأخضر كجزء من استراتيجياتها لتحقيق التحول نحو الطاقة النظيفة والمتجددة.

شكل (٣)

حجم انتاج الدول العربية من الهيدروجين الأخضر عام ٢٠٢٣ (الطن)



Source: International Energy Agency, Global Hydrogen Review 2023.

يشير الشكل السابق إلى حجم الإنتاج للهيدروجين الأخضر في الدول العربية لعام ٢٠٢٣، حيث تتصدر المملكة العربية السعودية الإنتاج بكمية تصل إلى ٥٠,٠٠٠ طن، تليها الإمارات العربية المتحدة بإنتاج قدره ٣٠,٠٠٠ طن، يظهر التفاوت في الأرقام بين قدرة الدول حيث تمكنت السعودية والإمارات من استثمار مواردها الطبيعية الهائلة وتكنولوجيا الطاقة المتجددة في إنتاج الهيدروجين الأخضر، يعكس هذا الاتجاه التزايد المستمر في الاهتمام بالطاقة النظيفة كجزء من الاستراتيجيات الوطنية للتنمية المستدامة، حيث أن تطوير الهيدروجين الأخضر يُعد خطوة مهمة نحو تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري وتقليل الانبعاثات الكربونية في المنطقة، نوضح فيما يلي بعض خطط ومبادرات الدول العربية في هذا المجال:

المملكة العربية السعودية: تُعتبر مدينة نيوم أحد أكبر المشاريع التي تركز على الطاقة النظيفة والهيدروجين الأخضر في المملكة العربية السعودية، يهدف هذا المشروع الضخم إلى أن يكون مركزًا عالميًا للطاقة المتجددة، بما في ذلك إنتاج الهيدروجين الأخضر باستخدام الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، كما أعلنت أرامكو عن خطط لتطوير مشاريع الهيدروجين الأخضر كجزء من جهودها للتحول نحو الطاقة النظيفة وتقليل الانبعاثات الكربونية[1].

يمكن أن تنتج نيوم الهيدروجين الاخضر بأسعار قياسية منخفضة تبلغ حوالي ١.٥ دولار أمريكي/ كجم بسبب إمدادات الطاقة المتجددة منخفضة السعر، مع عامل قدرة عالية من الطاقة الشمسية الكهروضوئية وطاقة الرياح . في ٧ يوليو ٢٠٢٠، أعلنت نيوم مع شريكها أكوا للطاقة عن أكبر مشروع هيدروجين أخضر في العالم، وتم الاعلان عن تيسين كروب كمزود للمشروع و(Topsoe Haldor(للتحويل إلى الامونيا. مع إنتاج مستهدف يبلغ 650 طناً من الهيدروجين الاخضر يوميا عام ٢٠٥٠، سيتم إنتاج حوالي ١.٢ مليون طن منً الامونيا سنويا وتصديرها إلى الاسواق العالمية. ستكون كمية الهيدروجين الاخضر كافية لتشغيل ما يقرب من ٧٠٠٠٠٠ سيارة تعمل بخاليا الوقود.

الإمارات العربية المتحدة: أعلنت هيئة كهرباء ومياه دبي عن بدء تشغيل مشروع الهيدروجين الأخضر، وهو الأول من نوعه في المنطقة، يتم

[1] Al-Saleh, Y., & Vidican, G. (2018). Renewable energy transitions in the Gulf Cooperation Council: resources, potential and challenges. "Energy Transitions", 2(1), p.1.

إنتاج الهيدروجين باستخدام الطاقة الشمسية في مجمع محمد بن راشد آل مكتوم للطاقة الشمسية، كما تعمل الإمارات على تطوير استراتيجية وطنية للهيدروجين تهدف إلى تعزيز إنتاج واستخدام الهيدروجين الأخضر في مختلف القطاعات[١].

عمان: أعلنت سلطنة عمان عن خطط لبناء أكبر مصنع لإنتاج الهيدروجين الأخضر في العالم، بالشراكة مع شركات دولية، سيتم استخدام الطاقة الشمسية وطاقة الرياح لإنتاج الهيدروجين وتصديره إلى الأسواق العالمية[٢].

علاوة على ذلك، أبرم اتحاد الامتياز البلجيكي (ُDEME(وميناء أنتويرب شراكة مع عمان لتطوير مصنع هيدروجين أخضر بقدرة ١٠٠ ً ميجاواط في الدقم لتوفير الجزيئات الخضراء محلياً ودولياً . إن المرحلة الاولى قيد التنفيذ حاليا من دراسة الجدوى لقدرة جهاز التحليل الكهربائي المتوقعة بين ٢٥٠ و ٥٠٠ ميجاواط٧٠، وأطلقت إجاد(EJAAD(، الهيدروجين الاقتصاد العماني. المنصة الرائدة في السلطنة لابتكار الطاقة في

[1] Dincer, I., & Acar, C. (2015). Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability. "International Journal of Hydrogen Energy", 40(34), p.11094.

[2] Ulleberg, Ø., Nakken, T., & Eté, A. (2010). The HyNor project: Hydrogen road of Norway—Part II: Assessment of hydrogen storage technologies and life cycle cost analysis. "International Journal of Hydrogen Energy", 35(10), p.5276.

يوليو ،٢٠٢٠ مناقصـــة لاجراء دراســـة جدوى لاطلاق إمكانات الهيدروجين للاقتصاد العمانى .

المغرب: يعتبر المغرب من الرواد في اســـتخدام الطاقة المتجددة، ويعمل على تطوير مشاريع الهيدروجين الأخضر بالتعاون مع شركاء دوليين، حيث يتم استغلال الطاقة الشمسية والرياح لإنتاج الهيدروجين الأخضر كجزء من استراتيجيته للطاقة النظيفة[1]. يتمتع المغرب بسجل حافل في مجال الطاقة المتجددة، بوفرة مصادر طاقة الرياح والطاقة الشمسية في مواقع مميزة، والبنية التحتية القوية، والتوصـــيلات الكهربائية وحتى خط أنابيب ضـــخ الغاز إلى أوروبا. ومع ذلك، فإنها أكبر مســـتورد للطاقة في شـــمال إفريقيا، لذا يعد الهيدروجين الاخضـر فرصـة للمغرب للوصـول إلى اقتصـاد منخفض الكربون وخلق العديد من الوظائف وفي نفس الوقت تعزيز أمن الطاقة لديها، وخفض فاتورة الاســـتيراد. اتخذت الدولة بالفعل بعض الخطوات المهمة لبدء اقتصـــاد الهيدروجين الاخضـــر – للســـوق المحلية وكذلك للتصـــدير إلى أوروبا – من حيث تطوير السياسات والمشاريع التجريبية .المغرب هو البلد الوحيد في شمال إفريقيا الذي لا يمتلك أي موارد نفطية وغازية، وبالتالي، تعتمد المملكة بشـــكل كبير على اســـتيراد الوقود الاحفوري، لذا فإن التحول للاعتماد على واردات الطاقة له آثار مهمة على أمن الطاقة لديها واقتصـادها. بدأ المغرب قبل عشر

[1] Sgouridis, S., & Griffiths, S. (2018). A sustainable energy transition strategy for the UAE: Evaluation of options using an integrated energy model. "Renewable Energy", 125, p. 617.

ســـنوات برنامج متعدد القطاعات للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة لتلبية الطلب المتزايد عليها .

من المقرر أن يزيد المغرب من الطاقة المتجددة من ٤٢٪ إلى ٥٢٪. في إطار استراتيجية طموحة للتحول في مجال الطاقة، و قد نفذ المغرب مشاريع طاقة متجددة بقيمة ٣٠ مليار دولار أمريكي والتزم بتطوير قطاع الطاقة بقيمة ٤٠ مليار دولار أمريكي .هناك حاجة لفرص أكبر وأهم لتسريع انتقال الطاقة وإزالة الكربون من قطاعي الصـــناعة والتنقل، هنا يأتي دور الهيدروجين الاخضر كحل تكنولوجي سيمكن المملكة من إزالة الكربون من إنتاج الاسمدة، لتحل محل الواردات .الحالية التي تبلغ حوالي ٢ مليون طنً من الامونيا الرمادية ســنويا بالامونيا الخضــراء، أو ما يعادل ٥٠٠ مليون دولار امريكى تقريبا من كلفة اســتيراد الامونيا ســنويا . لانتاج ٢ مليون طن من الامونيا، باستخدام الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، سيتطلب الامر قدرة مركبة تبلغ 6 جيجاواط تقريبا . يمكن تطبيق الهيدروجين في قطاع النقل، فقد نما قطاع السيارات في المغرب على مدى السنوات العشر الماضية بشكل كبير ليصبح اليوم أحد أسواق السيارات الرئيسية في إفريقيا، حيث بلغ حجم مبيعاتها حوالي 7مليار يورو. في الواقع، يتم اســتخدام ١٠٪ فقط من الانتاج في الســوق المحلية ويتم تصدير ٩٠٪ إلى أوروبا ومنطقة الشرق الاوسط وشمال إفريقيا، إذ أن أكبر مصنع في القارة والذي يعمل بطاقة ٤٠٠ ألف سيارة تم بناؤه من قبل شركة رينو للسيارات في المغرب وثاني أكبر شركة هناك هي شركة بيجو التي تنشــط في المغرب منذ ٢٠١٨. مثال آخر هو صــناعة الطائرات، التي تطورت من صــفر إلى ما يقرب من ١.٦-١.٥ مليار يورو العام الماضــي

وكان لهذه الاتجاهات تأثير إيجابي من حيث خلق فرص عمل المحلية والتنمية الصـــناعية والنمو الاجتماعي والاقتصـــادي .يتمتع المغرب بظروف مثالية لمشـاركة الطاقة المتجددة من حيث موارد الرياح والطاقة الشـمسـية مع مواقع قريبة من البحر .

تتخذ حكومة المغرب إجراءات لوضـــع خارطة طريق الهيدروجين. وقد بدأت هذه المبادرة من قبل اللجنة الوطنية للهيدروجين الاخضـــر مع وزير الطاقة والمعادن والبيئة، .في إطار هذه اللجنة الوطنية، ستكون هناك جهود ودراسات أخرى لتحسـين الاطار القانوني والتنظيم، والتيً تعتبر شـرطًا مسـبقا من أجل جعـل المغرب أكثر جـاذبيـة للاســـتثمـارات الوطنيـة والاجنبيـة في قطـاع الهيدروجين.

تطمح المغرب إلى أن تصـبح مركزاً رئيسـيا في تصـدير أشـكال مختلفة من الطاقةً الخضـــراء، وذلك بفضـــل موقعه الجغرافي باعتباره مفترق طرق بين أوروبا وإفريقيا والشــرق الاوســط، فضــال عن البنية التحتية القائمة للخدمات اللوجستية والطاقة والتي تربط المغرب بأوروبا

الجزائر: تمتلك الجزائر إمكانيات كبيرة في مجال الطاقة الشـــمســـية وطاقة الريـاح، وتعمـل على اســـتغلال هذه الموارد لتطوير مشـــاريع الهيـدروجين الأخضر[1].

[1] Amine, M., & Merzouk, N. K. (2019). Hydrogen production using renewable energy: An Algerian case study. "Energy Procedia", 157, p.1147.

مما سبق نجد أن الدول العربية تسعى إلى استغلال مواردها الطبيعية الغنية بالطاقة المتجددة لتطوير مشـــاريع الهيدروجين الأخضـــر كجزء من اســـتراتيجياتها للتحول نحو الطاقة النظيفة وتحقيق التنمية المســـتدامة، هذه المبادرات تمثل خطوات هامة نحو تحقيق مستقبل منخفض الكربون والاعتماد على مصادر طاقة متجددة وصديقة للبيئة.

رابعا : جهود الدولة المصرية لانتاج الهيدروجين الاخضر

تعد صـناعة الهيدروجين الأخضـر واحدة من المجالات الواعدة التي يمكن أن تلعب دورًا رئيسيًا في تحقيق أهداف التنمية المستدامة في مصر، تسعى مصر إلى أن تصبح مركزًا إقليميًا لإنتاج وتصدير الهيدروجين الأخضر، مستفيدةً من مواردها الطبيعية الوفيرة والبنية التحتية المتطورة للطاقة، هذا وقد مثل قانون الحزم التحفيزية للهيدروجين الأخضـر لعام ٢٠٢٤ في مصـر خطوة هامة نحو تعزيز الاســـتثمارات في هذا القطاع الواعد، من خلال مجموعة متنوعة من الحوافز المالية والتنظيمية . تعمل مصـــر على تطوير الاســـتراتيجية الوطنية للهيدروجين، مع التركيز على الاســـتفادة من مواردها الطبيعية الغنية للطاقة المتجددة مثل الشمس والرياح لإنتاج الهيدروجين الأخضر، كما تخطط مصر لإنشـاء منشـآت لإنتاج الهيدروجين الأخضـر في المنطقة الاقتصـادية لقناة السـويس، بهدف تعزيز دورها كمركز إقليمي للطاقة النظيفة[1]، هذا وقد جذبت

[1] Fawzy, S., Osman, A. I., Doran, J., & Rooney, D. W. (2020). Strategies for mitigation of climate change: a review. "Environmental Chemistry Letters", 18, p.2069.

مصـــر تعهدات اســـتثمارية تتجاوز ٤٠ مليار دولار لصـــالح مشـــروعات الهيدروجين الأخضر والامونيا الخضراء[١] .

تسـعى مصـر إلى توطين صـناعة الهيدروجين الأخضـر من خلال مجموعة متنوعة من الحزم التحفيزية التي تشـــمل الدعم المالي والإعفاءات الضـــريبية وتطوير البنية التحتية ووضـع التشـريعات المناسـبة وتشـجيع البحث والتطوير وتدريب الكوادر البشـرية وتعزيز التعاون الدولي، هذه الجهود تهدف إلى تعزيز الاقتصـــاد الوطني وتحقيق التنمية المســتدامة من خلال التحول إلى مصـــادر الطـاقـة النظيفـة، نعرض فيمـا يلي اهم الحزم التحفيزيـة لتوطين صـــنـاعـة الهيدروجين الأخضر في مصر.

١. **الاستراتيجية الوطنية:** تتضمن الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر في مصر بالمشاركة مع البنك الأوروبي لإعادة الإعمار والتنمية، إطارًا تنظيميا للإنتاج المحلي للهيدروجين الأخضر، حيث تسعى مصر للوصول إلى ٨٪ من إنتاج العالم، بجانب الاستراتيجية وقعت مصر العديد من الاتفاقيات بخصوص الهيدروجين ومنها: عقد اتفاقيات في المنطقة الاقتصادية لقناة السويس لإنشاء مشروعات لإنتاج الهيدروجين والأمونيا الخضراء بتكلفة استثمارية إجمالية ٨٣ مليار دولار، بالإضافة إلى أنه من المتوقع أن تنتج المشروعات مجتمعة معًا حوالي ٧.٦ ملايين طن من

[١] حصلت مصر علي تلك التعهدات خلال الدورة السابعة والعشرون من مؤتمر الأطراف من اتفاقية الأمم المتحدة الاطارية بشـأن تغير المناخ باعتبار مصـر البلد المضـيف لقمة التغير المناخي Cop 27. **المصدر**: بولقرينات سليمة، الهيدروجين: طاقة متجددة لتخفيض انبعاثات غاز ثاني أكسـيد الكربون (الواقع والافاق)، مجلة اقتصـاديات شـمال أفريقيا، مج٢٠، ع٣٤، ٢٠٢٤، ص١٩١.

الأمونيا الخضراء و ٢.٧ مليون طن من الهيدروجين سنوياً، تجدر الإشارة إلى أن الاتفاقيات جاءت مع عدد من شركات الطاقة الكبرى ومن بينها : (مصدر الإماراتية، وحسن علام المصرية، وإنفينيتي باور وفورتسكيو فيوتشر إنداستريز الأسترالية، وسكاتك النرويجية، وفيرتيجلوب، وأوراسكوم كونستراكشون). وجدير بالذكر أن شركة (China Energy) ستقوم ببناء مصنع للهيدروجين الأخضر بقيمة ٥.١ مليارات دولار في مصر ومن المتوقع أن تبلغ قدرته الإنتاجية حوالي ١٤٠.٠٠٠ طن من الهيدروجين الأخضر سنوياً [١].

٢. **الحوافز المالية والاستثمارية:** تُقدم الحكومات والمؤسسات المالية دعمًا ماليًا مباشرًا أو غير مباشر لتشجيع الشركات والمستثمرين على الدخول في سوق الهيدروجين الأخضر، يشمل هذا الدعم المنح المالية حيث تقدم الدول منحًا للشركات التي تطور مشاريع الهيدروجين الأخضر، على سبيل المثال، برنامج الابتكار في الطاقة النظيفة في الاتحاد الأوروبي يوفر تمويلًا للمشاريع الابتكارية في هذا المجال [2]، كما تتيح البنوك والمؤسسات المالية قروضًا بشروط ميسرة للشركات العاملة في هذا المجال. في مصر، يمكن لبنك التنمية الأفريقي والمؤسسات الدولية الأخرى أن تلعب دورًا محوريًا في تقديم قروض ميسرة [٣].

---

[١] بوصلة السياسات " الأطر التشريعيى لتشجيع مشروعات الهيدروجين الأخضر"، مجلس الوزراء: مركز المعلومات واتخاذ القرار، مرجع سابق، ص٢٣.

[2] European Commission. (2021). "Horizon Europe: The EU Research and Innovation Programme 2021-2027."

[3] African Development Bank. (2020). "Green Hydrogen Development in Africa."

٣. **الإعفاءات الضريبية:** تعمل الحكومة على تخفيف العبء الضريبي عن الشركات لتحفيز الاستثمار في التكنولوجيا الخضراء، يمكن أن تشمل الإعفاءات الضريبية[١]؛ إعفاءات ضريبية على الأرباح من خلال تقليل الضرائب على الأرباح المتولدة من مشاريع الهيدروجين الأخضر لفترة زمنية معينة، والإعفاءات الجمركية من خلال تخفيض أو إلغاء الرسوم الجمركية على استيراد المعدات والتكنولوجيا اللازمة لإنتاج الهيدروجين الأخضر.

٤. **تطوير البنية التحتية:** تمتلك مصر إمكانيات كبيرة في هذا المجال بفضل مواردها الطبيعية من الشمس والرياح، وانه لتوطين صناعة الهيدروجين الأخضر يجب تطوير البنية التحتية اللازمة لتوليد الطاقة المتجددة، حيث يتمثل الدعم في إنشاء محطات توليد الطاقة الشمسية والرياح فعلى سبيل المثال، مشروع بنبان للطاقة الشمسية في أسوان يعد واحدًا من أكبر مشاريع الطاقة الشمسية في العالم[٢]، وكذلك تطوير شبكات نقل وتوزيع الكهرباء من خلال لضمان توفير الكهرباء المتجددة بكفاءة عالية لمواقع إنتاج الهيدروجين[٣].

٥. **التشريعات والسياسات:** وضع إطار تشريعي وتنظيمي واضح ومشجع للاستثمار في الهيدروجين الأخضر يعد أساسيًا، يمكن أن يشمل هذا الإطار قوانين الطاقة المتجددة مثل قانون الطاقة المتجددة المصري الذي يحدد

---

[1] Ministry of Finance, Egypt. (2020). "Tax Incentives for Green Energy Projects."

[2] Ministry of Electricity and Renewable Energy, Egypt. (2020). "Benban Solar Park."

[3] International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). "Renewable Energy Infrastructure Development in Egypt."

إطار العمل لتوليد الطاقة النظيفة ويحفز الاستثمار فيها، ويشمل أيضا السياسات الداعمة للتعاون بين القطاعين العام والخاص من خلال تسهيل الشراكات بين الحكومة والشركات الخاصة لتطوير وتنفيذ مشاريع الهيدروجين الأخضر[١].

٦. **البحث والتطوير:** تشجيع البحث والتطوير في تقنيات الهيدروجين الأخضر من خلال تمويل مراكز الأبحاث حيث يتم تقديم دعم مالي للمؤسسات الأكاديمية ومراكز الأبحاث للابتكار في تقنيات إنتاج وتخزين واستخدام الهيدروجين الأخضر[2]، هذا بالإضافة الي الشراكات البحثية الدولية من خلال التعاون مع الجامعات والمراكز البحثية العالمية لتعزيز تبادل المعرفة والتكنولوجيا[3].

٧. **التدريب والتعليم:** تطوير برامج تعليمية وتدريبية لتأهيل الكوادر البشرية للعمل في صناعة الهيدروجين الأخضر من خلال برامج جامعية متخصصة تتمثل في إدراج تخصصات تتعلق بالطاقة المتجددة والهيدروجين الأخضر في المناهج الدراسية للجامعات والمعاهد الفنية[4]، وأيضا تنظيم ورش عمل ودورات تدريبية لتطوير مهارات العاملين في هذا المجال[٥].

---

[1] World Bank. (2019). "Public-Private Partnerships in Renewable Energy Projects."

[2] National Science Foundation. (2021). "Funding for Hydrogen Research Projects."

[3] International Energy Agency. (2021). "Global Hydrogen Research Collaborations."

[4] National Academy of Sciences. (2021). "The Role of Education in the Energy Transition."

[5] International Renewable Energy Agency (IRENA). (2021). "Training Programs for Green Energy Professionals."

٨. **التعاون الدولي :** تعزيز التعاون الدولي من خلال: اتفاقيات ثنائية ومتعددة الأطراف وتوقيع اتفاقيات مع الدول الرائدة في هذا المجال مثل ألمانيا واليابان للاستفادة من خبراتها وتقنياتها المتقدمة[١]، وكذلك الحصول على تمويل من المؤسسات الدولية مثل البنك الدولي والوكالة الدولية للطاقة المتجددة (إيرينا) لدعم مشاريع الهيدروجين الأخضر في مصر[٢].

خامسا : فرص وتحديات توطين صناعة الهيدروجين الأخضر في مصر

تسعى مصر إلى توطين صناعة الهيدروجين الأخضر مستغلةً مواردها الطبيعية الغنية مثل الشمس والرياح، التي تعد مثالية لإنتاج الطاقة المتجددة. هذه الخطوة تأتي في إطار رؤية مصر ٢٠٣٠ لتحقيق التنمية المستدامة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، مع تعزيز مكانتها كمركز إقليمي للطاقة النظيفة. يمثل الهيدروجين الأخضر فرصة لخلق فرص عمل جديدة، وتحفيز البحث والتطوير، وزيادة الاستثمارات الأجنبية. ومع ذلك، تحتاج مصر إلى تطوير البنية التحتية والتكنولوجيا المحلية، وتأهيل القوى العاملة، بالإضافة إلى وضع سياسات تشجيعية لجذب الاستثمارات اللازمة لتحقيق هذه الأهداف الطموحة.

---

[1] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), (2021). "International Agreements on Green Hydrogen."

[2] World Bank. (2021). "Financing Clean Energy Projects in Developing Countries."

جدول (٣)

توطين صناعة الهيدروجين الأخضر في مصر (الفرص والتحديات)

الفرص	التحديات
• عبقرية الموقع المصرى وخاصة فى المنطقة الاقتصادية لقناة السويس والتى ستساعد فى جذب المزيد من الاستثمارات ويمكن ان تتحول الى مركز اقليمى رائد فى صناعات الهيدروجين الاخضر . • مصر تمتلك أكبر مصادر للطاقات المتجددة من الرياح والشمس في الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، مما يؤهلها لأن تكون واحدة من أكبر منتجي الطاقة النظيفة . • تعظيم نصيب مصر من الاستثمارات الاجنبية المباشرة من خلال التحالفات مع الكيانات العالمية فى هذا المجال وما ينتج عنه من اثار ايجابية اجتماعية واقتصادية وبيئية. • القرب من أسواق مثل الاتحاد الأوروبي والذى سيشهد طلبًا	• **البنية التحتية:** يتطلب إنتاج ونقل وتخزين الهيدروجين الأخضر بنية تحتية متقدمة، هذا يشمل محطات التحليل الكهربائي ومرافق التخزين وخطوط الأنابيب، يعد تطوير بنية تحتية قوية للهيدروجين وفقاً لدراسة نشرتها وكالة الطاقة الدولية أمرًا حاسمًا لتحقيق أهداف الاقتصاد الهيدروجيني[1]، كما أن إنشاء بنية تحتية جديدة للهيدروجين يمكن أن يكون مكلفًا ويتطلب استثمارات ضخمة، يشير التقرير الصادر عن البنك الدولي إلى أن الاستثمارات الأولية في البنية التحتية للهيدروجين قد تكون مرتفعة، ولكنها ضرورية لدعم نمو هذه الصناعة[2]. • **التكنولوجيا:** تكنولوجيا إنتاج الهيدروجين الأخضر لا تزال في مراحل التطوير، مما يعني أن

[1] International Energy Agency (IEA) 2019, "The Future of Hydrogen", p. 45.

[2] World Bank (2020), "Green Hydrogen in Developing Countries", p. 32.

كبيرًا على الهيدروجين في السنوات المقبلة، بالإضافة إلى استفادة السوق المحلية، خاصة قطاع الزراعة . • يمكن أن يكون مصدر طاقة مثالياً، لتشغيل قطاعات صناعية كثيفة الاستهلاك للطاقة، مثل تصنيع الصلب والخرسانة. • الاستفادة من الشراكة الاوروبية: في تحقيق أهداف إزالة الكربون، وتحسين أمن الطاقة ، مع احتمال أن يكون الهيدروجين هو النفطً الجديد، سيظل التنوع في الامدادات والمصادر بالطبع ضروريا من وجهة النظر الجيوسياسية. • زيادة الطلب العالمي على الهيدروجين الأخضر يمثل فرصة حقيقية لمزيد من استثمارات في هذه الصناعة. • فرص و إمكانات كبيرة للتصدير وخاصة للأسواق الأوروبية . • دعم مالي وتقني من المنظمات الدولية والشركاء الأجانب	هناك حاجة إلى الابتكار والبحث المستمر لتحسين الكفاءة وخفض التكاليف، وفقاً لدراسة من جامعة ستانفورد، فإن التقدم التكنولوجي في تقنيات التحليل الكهربائي يمكن أن يقلل من تكاليف الإنتاج بشكل كبير خلال العقد القادم[1]، هذا وتحتاج مصر إلى استيراد بعض المعدات والتقنيات المتقدمة التي قد تكون مكلفة، يؤكد تقرير نشره معهد فراونهوفر للأبحاث على أهمية الحصول على التكنولوجيا المتقدمة لتطوير اقتصاديات الهيدروجين الأخضر[2]. • نقص المعروض من أجهزة التحليل الكهربائي الكبيرة، ولا تزال الإمدادات الوفيرة من الكهرباء المتجددة تأتي بسعر باهظ، وبالمقارنة مع عمليات الإنتاج الأكثر رسوخًا، يعد التحليل الكهربائي مكلفًا للغاية. • تخزين ونقل الغاز القابل للاشتعال ليس بالأمر السهل؛ ويستهلك مساحة كبيرة والأنابيب

[1] Stanford University (2021), "Advances in Electrolysis for Hydrogen Production", p. 67.

[2] Fraunhofer Institute (2020), "Technological Innovations in Hydrogen Production", p. 54.

• إمكانية خلق وظائف جديدة وتعزيز الاقتصاد المحلي. • التوسع في مشروعات طاقة الرياح وخاصة ان مصر تتمتع بميزة نسبية في انخفاض التكاليف مقارنة بتكاليف الرياح البحرية . • ان مصر يمكن ان تبرز كرائد عالمى من حيث التكلفة في انتاج الهيدروجين الأخضر بعد سلسلة من الانخفاض القياسى العالمى لاسعار طاقة الرياح والطاقة الشمسية . • الاستفادة من البنية التحتية الموجودة (خطوط انابيب الغاز تحت البحر المتوسط) .	الفولانية قد لا تكون فعاله في نقله، لهذا السبب، سيتطلب نقل كميات كبيرة من الهيدروجين خطوط أنابيب بمواصفات خاصة. • **التمويل:** يتطلب تطوير صناعة الهيدروجين الأخضر استثمارات ضخمة في البنية التحتية والتكنولوجيا والبحث والتطوير، بحسب تقرير صادر عن منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD)، فإن تأمين التمويل الكافي هو تحدي رئيسي أمام الدول النامية لتطوير صناعات الهيدروجين[1]. • أن إنتاج الهيدروجين الأخضر يتطلب كميات كبيرة من المياه، مما قد يفرض ضغطًا على الموارد المائية وهو يعد احد التحديات البيئية . • يتطلب انتاج الهيدروجين الاخضر تدريب القوى العاملة وتطوير المهارات اللازمة للعمل في هذا المجال الجديد والمتطور. • تواجه مصر تحديات تنظيمية وتشريعية تتطلب تحديث الإطار القانوني وتوفير الحوافز الكافية

[1] OECD (2021), "Investing in Green Hydrogen", p. 29.

	لـدعم الاســـتثمـارات وتحفيز الابتكار في هذا القطاع. • وجود العـديـد من دول الجوار لديهم خطط واستراتيجيات وطنية واصـــبح هنـاك اســـتثمـارات ومشـــروعـات وفرص حقيقيـة تؤهلهم للشـــراكة وبخاصـــة مع الاتحاد الاوروبى .

المصدر: من اعداد الباحثين.

سادسا : النتائج :

١ – تعد صناعة الهيدروجين الأخضر واحدة من المجالات الناشئة التي تحظى باهتمام عالمي وعربي متزايد، نظرًا لدورها المحوري في تحقيق أهداف الطاقة النظيفة وتقليل الانبعاثات الكربونية. تعتمد هذه الصناعة على اسـتخدام مصـادر الطاقة المتجددة، مثل الطاقة الشـمسـية والرياح، لإنتاج الهيدروجين من الماء دون انبعاثات ضـــارة، مما يجعلها خيارًا جذابًا للدول الساعية لتعزيز استدامتها البيئية. في العالم العربي، تتبنى دول مثل مصر، الســـعودية، والإمارات مبادرات وخطط طموحة لتطوير قدراتها في هذا المجال، مستفيدةً من مواردها الطبيعية الغنية ودعمها الحكومي القوي لتعزيز موقعها في سوق الطاقة العالمي الجديد.

٢–يظل الافتقار إلى إنشـــاء وتطوير البنية التحتية لاســـتخدام الهيدروجين الأخضـــر وتقنياته العائق الأكبر لإنتشـــاره، هذا بالإضـــافة الي ارتفاع حجم التكاليف اللازمة لإنتاج تقنيات الهيدروجين الأخضر في الوقت الحالي.

٣- تتمتع مصـــر بفرص كبيرة لتوطين صـــناعة الهيدروجين الأخضـــر نظرًا لمواردها الطبيعية الغنية بالطاقة الشـــمســـية والرياح، وموقعها الجغرافي الاســـتراتيجي القريب من الأســـواق الأوروبية والآســـيوية، الدعم الحكومي والتعاون الدولي يوفران أســـاسًـــا قويًا لجذب الاســـتثمارات وتعزيز التنمية الاقتصادية من خلال خلق فرص عمل جديدة وتخفيف الاعتماد على الوقود الأحفوري.

٤- تسير مصر بخطوات متسارعة في تبني الخطط والمقترحات التي من شأنها إنتاج الهيدروجين الأخضـــر، وجذب المزيد من الإســـتثمارات الأجنبية في مجال إنتاج الطاقة المتجددة.

٥- تواجه مصـــر تحديات كبيرة تشـــمل نقص البنية التحتية اللازمة والتكاليف العالية للمشـــاريع، بالإضـــافة إلى نقص الموارد البشـــرية المدربة في تقنيات الهيدروجين الأخضـــر، تطوير السياسات والتشريعات الداعمة أمر ضـــروري لتسـهيل الاسـتثمار وتحقيق الأهداف البيئية والاقتصـادية، في ظل المنافسـة الشديدة من الدول الأخرى في هذا المجال .

٦- تشكل اقتصاديات الهيدروجين الأخضر جزءاً مهماً من التحول العالمي نحو الطاقة النظيفة والمســـتدامة، من خلال التغلب على التحديات الحالية واستغلال الفرص المتاحة، يمكن للهيدروجين الأخضر أن يلعب دوراً محورياً في مصـــر من أجل تحقيق مســـتقبل طاقي مســـتدام ويعزز من النمو الاقتصادي والتنمية البيئية.

٧- أن مصـــر تتمتع بفرص كبيرة لتوطين صـــناعة الهيدروجين الأخضـــر نظرًا لمواردها الطبيعية الغنية بالطاقة الشـــمســـية والرياح، وموقعها الجغرافي الاســـتراتيجي القريب من الأســـواق الأوروبية والآســـيوية، الدعم الحكومي

والتعاون الدولي يوفران أســـاسًـــا قويًا لجذب الاســـتثمارات وتعزيز التنمية الاقتصادية من خلال خلق فرص عمل جديدة وتخفيف الاعتماد على الوقود الأحفوري.

سابعا : توصيات الدراسة:

١ –**التشـــريعات والســـياســـات:** يحتاج تطوير قطاع الهيدروجين إلى وضـــع سياسات وتشريعات ملائمة تحفز الاستثمار وتضمن التنافسية، وتقديم دعم حكومي مباشر وغير مباشر من خلال الإعفاءات الضريبية والمنح والتمويل الميسر.

–٢**الموارد البشـــرية:** توفير برامج تدريبية وتعليمية متقدمة لإعداد الكوادر البشرية المؤهلة.

٣– **تطوير الأســـواق المحلية والدولية** لترويج اســـتخدام الهيدروجين[1]، هذا بالإضـــافة الي ضـــرورة زيادة الوعي بفوائد الهيدروجين الأخضـــر والترويج له كبديل للطاقة التقليدية .

٤ –**الاهتمام بتطوير البنية التحتية** للهيدروجين الأخضـــــر، وذلك من خلال انشـــاء أصـــول جديدة تتناســـب مع الخصـــائص المختلفة للهيدروجين، أو من خلال إعادة استخدام البنية التحتية الحالية للغاز الطبيعي.

[1] University of Cambridge 2021, "Market Development for Green Hydrogen", p. 61.

٥- الحرص على تطبيق وتوفير كافة الاشتراطات والمعايير الدولية في مراحل انتاج الهيدروجين الأخضر كشرط مسبق لانشاء سوق للجزيئات الخضراء .

٦-العمل على خفض منحنى التكلفة خلال اسرع وقت لتعزيز القدرة التنافسية.

٧-تكثيف التعاون الدولي لتجارة الهيدروجين من خلال تطوير سوق عالمية للهيدروجين منخفض الانبعاثات والتوجه نحو التعاون الدولي الفعال في عدة مجالات تتضمن وضع معيار لكثافة انبعاثات إنتاج الهيدروجين ونقله، وإنشاء أطر تنظيمية، وتحديد معايير ولوائح قابلة للتطبيق وتخفيف الحواجز التجارية وضمان التشغيل البيني وتجنب تجزئة السوق، والعمل على تعزيز التعاون في البحث والتطوير والابتكار وتبادل المعرفة التي تعد ضرورية لخفض التكاليف وزيادة القدرة التنافسية لتقنيات الهيدروجين .

٨-تفعيل دور المجلس الوطني الأخضر للهيدروجين في مصر تحت مظلة وزارة الكهرباء وهيئ الطاقة الجديدة والمتجددة وتخصيص موارد له لدعم برنامج للأعمال المتعلقة بالمهارات والتدريب والمعايير وتطوير السياسة التنظيمية الفنية والترخيص الاجتماعي، ويكون مسؤولا عن مراقبة استراتيجية لتوطين صناعة الهيدروجين الأخضر، والتنسيق وتنفيذ خطة العمل، مع تحديثها عند الحاجة ويتم التنسيق من خلال عمل منصة حوار بين القطاعين العام والخاص لربط الصناعة مع الجهات البحثية ومنظمات المجتمع المدني وشركاء دوليين.

المراجع[1]

أولا: المراجع العربية

أ- مجلات ورسائل العلمية:

١. بولقرينات سـليمة، الهيدروجين: طاقة متجددة لتخفيض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون (الواقع والافاق)، مجلة اقتصاديات شمال أفريقيا، مج٢٠، ع٣٤، ٢٠٢٤.

٢. هدايا عبد الستار عبد المنعم، اقتصاديات الهيدروجين الأخضر ودورها في تعزيز أمن الطاقة وتحقيق النقل المستدام، المجلة العلمية للبحوث التجارية، س١٠، ع٤، ٢٠٢٣.

٣. وائل حامد عبد المعطي، انتاج الهيدروجين ودوره في عملية تحول الطاقة، مجلة النفط والتعاون العربي، مج٤٧، ع١٧٩، ٢٠٢١.

ب- التقارير والمؤتمرات:

١. ابوالعلا عطيفى حسنين دور الذكاء االصطناعي فى دعم الاقتصاد الاخضر لمواجهة التغيرات المناخية , ورشة عمل , يونيو ٢٠٢٢ , جامعة القاهرة .

٢. بفلوجمان، ف. دي بلاسيو، ن. »الاثار الجيوسياسية والسوقية للاعتمادات الجديدة للهيدروجين المتجدد في عالم الطاقة منخفض الكربون ».برنامج البيئة والموارد الطبيعية مركز بيلفر للعلوم والعلاقات الدولية جامعة هارفارد كينيدي. تقرير ٢٠٢٠ .إقرأ هنا-carbon : low-dependenciesnew-hydrogen-renewable-im

٣. بلومبرج لتمويل الطاقة الجديدة)٢٠٢٠ .)آفاق اقتصاد الهيدروجين. إقرأ هنا-Outlook-Economy-Key-Messages-30- :

[1] مع حفظ الألقاب العلمية

Hydrogen-
BNEF/24/sites/professional/com.bloomberglp.data://
https .pdf.2020-M

٤. بوصلة السياسات "الأطر التشريعية لتشجيع مشروعات الهيدروجين الأخضر"، مركز المعلومات واتخاذ القرار، مجلس الوزراء المصري، السنة ١، العدد ٤، يونيو٢٠٢٣، ص١٥.

٥. الخربوطلى , ماجد محمد يسرى : اقتصاديات الهيدروجين الأخضر في مصر (الفرص والتحديات) ورقة بحثية مقدمة ضمن ورشة عمل " البيئة وتغير المناخ بين الواقع والمامول " رؤية مصر ٢٠٣٠ , الأمانة الفنية للجنة العليا للإصلاح التشريعى , رئاسة مجلس الوزراء , ٢٠٢٢/٩ .

٦. دونيا، أ. سمنتتسك، ت.)٢٠٢٠.)هيدروجين الماكينات الولايات المتحدة ١٠١ .بحث عن القيم السوقية في أمريكا الشمالية. مورغان. وفقً ا لمصادر أخرى، يتم إنتاج ١٠-١١ كغم من ثاني أكسيد الكربون لكل كيلوجرام من الهيدروجين

٧. فان دي غراف، ت، أوفر الند، شولتن. د، ويستفال، ك. النفط الجديد ؟ الجغرافيا السياسية والحوكمة الدولية للهيدروجين. بحوث الطاقة والعلوم االجتماعية كانون ألول ٢٠٢٠؛ تم النشر على إلنترنت ٣٠ يونيو, ٢٠٢٠ :١٠١٦.١٠/٢٠٢٠.١٠١٦٦٧.erss.

٨. فان ويك، أ. ووترز، ف. سترارس، ب. شمال إفريقيا – بيان هيدروجين أوروبا. إقرأ هنا-November-study-2019.pdf :
hydrogen-Dii/12/2019/uploads/content-
wp/org.desertenergy-dii://h

٩. كورنيليوس , ماتيس فاليريا اروفو – لويس ريتبى برادو,. "تحديات وفرص انتاج الهيدروجين الاخضر وتصديره من منطقة الشرق الاوسط

وشمال افريقيا الى اوروبا" تقرير موجه الى مؤسسة فردريش ايبرت, نوفمبر ٢٠٢٠ .

١٠. المفوضية الاوروبية)٢٠٢٠ .)لحظة أوروبا: الاصلاح والاستعداد للجيل القادم. بروكسل، بيان صحفي، ٢٧ مايو . 940_20_ip/en/detail/presscorner/commission/eu.eur opa.ec://h

١١. وكالة الطاقة الدولية)٢٠١٩ .)مستقبل الهيدروجين. اغتنام فرص اليوم.

١٢. ير برودكتس« و«أكوا باور ونيوم« توقعان اتفاقية إلنشاء منشأة إنتاج بقيمة ٥ مليارات دوالر أمريكي في نيوم مدعومة بالطاقة المتجددة إلنتاج وتصدير الهيدروجين األلخضر إلى األلسواق العالمية »، أكوا باور ، ٨ تموز ٢٠٢٠ .إقرأ هنا –for–5–billion–– : agreement–sign–neom–and–power–acwa–products–air/news/com.acwapower.www://https /markets–globalto–hydrogen–green–of–export–and–production–for–energy–renewable–by–powered–neom–in–facility–production

ثانيا: المراجع الاجنبية:

1. Abanades, A., & Florin, N. (2020). "Decarbonising hydrogen production from natural gas via methane pyrolysis." Energy Conversion and Management.
2. African Development Bank. (2020). "Green Hydrogen Development in Africa."
3. Al-Saleh, Y., & Vidican, G. (2018). Renewable energy transitions in the Gulf Cooperation Council: resources, potential and challenges. "Energy Transitions", 2(1).

4. Altork L. N. & Busby J. R. (2010 Oct), “Hydrogen fuel cells: part of the solution”, Technology & Engineering Teacher**,** 70 (2).
5. Amine, M., & Merzouk, N. K. (2019). Hydrogen production using renewable energy: An Algerian case study. "Energy Procedia", 157.
6. Aziz, M., Wijayanta, A. T., & Nandiyanto, A. B. D. (2019). "Hydrogen production from wind energy: a comparative study of efficiency and cost." *International Journal of Hydrogen Energy*.
7. Bauer, C., et al. (2017),"Production of Hydrogen." *Energy & Environmental Science*, 10(3).
8. Blasio N.(2021), “The Role of Clean Hydrogen for a Sustainable Mobility” Harvard University, Harvard Kennedy School, Environment and Natural Resources Program, the Belfer Center for Science and International Affairs.
9. Chevalier, J., & Verger, P. (2020). The Role of Hydrogen in the French Energy Transition: Challenges and Opportunities. Energy Policy.
10. Deloitte. (2023). Green Hydrogen: Energizing the path to net zero.
11. Dincer, I., & Acar, C. (2015). Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability. "International Journal of Hydrogen Energy", 40(34).
12. Dodds, P. E., & McDowall, W. (2013). "The future of the UK gas network." Energy Policy, 60.
13. Dufour, J., Serrano, D. P., Galvez, J. L., Moreno, J., & García, C. (2011). "Life cycle assessment of processes for hydrogen production. Environmental feasibility and reduction of greenhouse gases emissions." International Journal of Hydrogen Energy, 36(13).7570.

14. European Commission. (2020). A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. European Commission, Brussels.
15. European Commission. (2021). "Horizon Europe: The EU Research and Innovation Programme 2021-2027."
16. Fawzy, S., Osman, A. I., Doran, J., & Rooney, D. W. (2020). Strategies for mitigation of climate change: a review. "Environmental Chemistry Letters", 18.
17. Fraunhofer Institute (2020), "Technological Innovations in Hydrogen Production".
18. Frick, S., Kaltschmitt, M., & Schröder, G. (2019). "Life cycle assessment of hydrogen production from geothermal energy." *Geothermics*.
19. Ghosh, P., & Dey, S. (2021). Hydrogen Economy in India: Prospects and Challenges. Energy Policy.
20. Glenk, G., & Reichelstein, S. (2019). "Economics of converting renewable power to hydrogen." Nature Energy, 4(3).
21. Gonzalez, M., & Rojas, M. (2021). Chile's Green Hydrogen Strategy: Challenges and Potential. Journal of Cleaner Production.
22. Hanley, E. S., Deane, J. P., & Gallachóir, B. P. Ó. (2017). "The role of hydrogen in low carbon energy futures–A review of existing perspectives." *Energy Conversion and Management*, 135.
23. Harvard University (2020), "Public-Private Partnerships in Renewable Energy".
24. Hydrogen council (2017), Hydrogen Scaling Up: A Sustainable Pathway for the global Energy Transition.
25. IEA. (2020). "The Future of Hydrogen: Seizing today's opportunities." International Energy Agency (IEA).
26. IEA: International Energy Agency (2022), Global Hydrogen Review 2022.

27. International Energy Agency (IEA) 2019, "The Future of Hydrogen".
28. International Energy Agency, Global Hydrogen Review 2023.
29. International Energy Agency. (2021). "Global Hydrogen Research Collaborations."
30. International Renewable Energy Agency (IRENA) 2020, "Promoting Green Hydrogen".
31. International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). "Renewable Energy Infrastructure Development in Egypt."
32. International Renewable Energy Agency (IRENA). (2021). "Training Programs for Green Energy Professionals."
33. IRENA (International Renewable Energy Agency), (2019). "Hydrogen: A renewable energy perspective." IRENA Report.
34. Jacobson, M. Z., Delucchi, M. A., Cameron, M. A., & Frew, B. A. (2018). "Low-cost solutions to global warming, air pollution, and energy insecurity for 139 countries." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
35. JESSE S.(2023), “Green Hydrogen”, University of Hull.
36. Lee, J., & Lee, D. (2020). Hydrogen Economy in South Korea: Opportunities and Challenges. International Journal of Hydrogen Energy.
37. Mergel, J., Müller, M., & Stolten, D. (2013). "A review on the economic and technical optimization of renewable hydrogen production from wind power." Renewable and Sustainable Energy Reviews, 24.
38. Miller, A., & Baxter, L. (2020). The Role of Hydrogen in the US Energy Transition: Policy and Infrastructure. Energy Policy.

39. Ministry of Electricity and Renewable Energy, Egypt. (2020). "Benban Solar Park."
40. Ministry of Finance, Egypt. (2020). "Tax Incentives for Green Energy Projects."
41. Mohamed, E., & Elshazly, M. (2021). Hydrogen Economy in Egypt: Opportunities and Policy Recommendations. Energy Policy.
42. National Academy of Sciences. (2021). "The Role of Education in the Energy Transition."
43. National Science Foundation. (2021). "Funding for Hydrogen Research Projects."
44. OECD (2021), "Investing in Green Hydrogen".
45. Ozbilen, A., et al. (2020), "Green Hydrogen Production." Renewable Energy.
46. Ozturk, M., Yuksel, Y. E., & Atalay, S. (2020). "Hydrogen production from biomass by pyrolysis and gasification." *Bioresource Technology*.
47. Parra, D., Valverde, L., Pino, F. J., & Patel, M. K. (2019). "A review on the role, cost and value of hydrogen energy systems for deep decarbonization." Renewable and Sustainable Energy Reviews.
48. Qadir, M., Bahri, A., Sato, T., & Al-Karadsheh, E. (2009). Wastewater production, treatment, and irrigation in Middle East and North Africa. "Irrigation and Drainage Systems", 24(1).
49. Samsun, R. C., Antoni, L., & Stolten, D. (2019). "Hydrogen and synthetic fuels for sustainable mobility." Fuel Cells Bulletin.
50. Sgouridis, S., & Griffiths, S. (2018). A sustainable energy transition strategy for the UAE: Evaluation of options using an integrated energy model. "Renewable Energy", 125.
51. Sjoerd B, et al (2020), “Economic feasibility of green hydrogen in transportation sector”, University of Groningen.

52. Staffell, I., Scamman, D., Abad, A. V., Balcombe, P., Dodds, P. E., Ekins, P., ... & Ward, K. R. (2019). "The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system." Energy & Environmental Science.
53. Stanford University (2021), "Advances in Electrolysis for Hydrogen Production".
54. Ulleberg, Ø., Nakken, T., & Eté, A. (2010). The HyNor project: Hydrogen road of Norway—Part II: Assessment of hydrogen storage technologies and life cycle cost analysis. "International Journal of Hydrogen Energy", 35(10).
55. UNESCO (2020), "Education and Training in Renewable Energy".
56. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), (2021). "International Agreements on Green Hydrogen."
57. University of California (2021), "Training Workforce for Hydrogen Industry".
58. University of Cambridge (2021), "Market Development for Green Hydrogen".
59. University of Oxford (2020), "Sustainable Hydrogen Production Methods".
60. Valente, A., Iribarren, D., & Dufour, J. (2017). "Life cycle assessment of hydrogen and power-to-liquid fuels production and application." Renewable and Sustainable Energy Reviews, 69.
61. van Wijk, A., & Chatzimarkakis, J. (2021). Hydrogen: A renewable energy perspective for the European Union. Renewable Energy, 168.
62. Vogl, V., Åhman, M., & Nilsson, L. J. (2018). "Assessment of hydrogen direct reduction for fossil-free steelmaking." Journal of Cleaner Production, 203.
63. Wietschel, M., Hasenauer, U., & Arens, M. (2020). The German Hydrogen Strategy: Critical analysis of a

state-of-the-art strategy to fuel the energy transition. Energy Research & Social Science.
64. World Bank (2020), "Green Hydrogen in Developing Countries", p. 32.
65. World Bank (2021), "Regulatory Frameworks for Hydrogen Economy".
66. World Bank. (2019). "Public-Private Partnerships in Renewable Energy Projects."
67. World Bank. (2021). "Financing Clean Energy Projects in Developing Countries."
68. World Resources Institute (WRI) 2020, "Government Support for Green Hydrogen".
69. World Resources Institute (WRI) 2021, "Water Use in Hydrogen Production".