إستراتيجية الهيدروجين الأخضر لتعزيز مكانة الاقتصاد البيئي دراسة حالة بعض الدول الأوربية

The green hydrogen strategy to strengthen the position of the Environmental economy Case Study of some European countries

ط.د تابتي إحسان

النقود والمؤسسات الملية في المغرب العربي MIFMA،

جامعة ابي بكر بلقايد تلمسان، الجزائر

tabti.ihssane@univ-tlemcen.dz

د. بن أحمد دحو رشيدة*

النقود والمؤسسات الملية في المغرب العربي MIFMA،

جامعة ابي بكر بلقايد تلمسان، الجزائر

rachidadaho46@gmail.com

تاريخ الإرسال: 2024/03/15 تاريخ القبول: 2024/04/11 تاريخ النشر: 2024/06/19

ملخص:

يعتبر الهيدروجين الأخضر مصدرا من مصادر الطاقة النظيفة والمتجددة التي يمكنها أن تساعد في تقليل انبعاثات الكربون وخفض الاعتماد على الوقود الأحفوري. تهدف الورقة البحثية إلى تحديد المراحل الإستراتيجية للهيدروجين الأخضر من أجل تحقيق الاستدامة البيئية ،حيث استعملنا المنهج الوصفي من خلال عرض عموميات حول الهيدروجين الأخضر وفرص تصدير الهيدروجين من منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا إلى أوروبا إضافة إلى المنهج التحليلي في تفسير تجارب بعض الدول الأوربية في مجال الهيدروجين الأخضر ،حيث قمنا بدراسة لمؤشرات تتمثل في القدرة على إنتاج الهيدروجين، مؤشر الطلب على الهيدروجين ، مؤشر البنية التحتية لنقل وتخزين الهيدروجين لسنتي 2022 مقارنة بسنة 2020 بالإضافة إلى رأى مستقبلية حتى سنة 2050، وتم التوصل إلى أن إنتاج الهيدروجين الأخضر، الاستثمار في البنية التحتية وكذا ا الزيادة في الطلب عليه يساعد في الانتقال إلى نظام مستدام ويخفض الانبعاثات الضارة ويعزز الابتكار والنمو الاقتصادي المستدام.

الكلمات المفتاحية: هيدروجين أخضر؛ استدامة؛ بيئة؛ طاقات متجددة؛ مؤشرات الهيدروجين.

Abstract :

Green hydrogen is a clean and renewable energy source that can help reduce carbon emissions and reduce dependence on fossil fuels. This research paper aims to determine the strategic phases of green hydrogen for environmental sustainability, where we used the descriptive approach by presenting generalities about green hydrogen and the opportunities for exporting hydrogen from the Middle East and North Africa to Europe in addition to the analytical approach in interpreting the experiences of some European countries in the field of green hydrogen, where we 2022 compared to 2020, in addition to a futuristic view until 2050, it was concluded that the production of green hydrogen, investment in infrastructure and the increase in demand for it help in the transition to a sustainable system, reduce harmful emissions and promote innovation and sustainable economic growth.

Key Words: green hydrogen; Sustainability; Environment; Renewable Energies; hydrogen indicators.

JEL Classification: Q42

* مرسل المقال: د.بن أحمد دحو رشيدة (*rachidadaho46@gmail.com*)

المقدمة:

يحظى قطاع الطاقات النظيفة والمستدامة اهتمام الباحثين في الآونة الأخيرة نظير التغيرات التي شهدها ومنه برز السعي لتحقيق التنمية المستدامة كتحد عالمي بارز في تقاطع الضرورات البيئية والاقتصادية والاجتماعية. حيث يشكل تغير المناخ الناجم عن الإنسان، المدفوع بشكل أساسي بانبعاثات غازات الاحتباس الحراري من احتراق الوقود الأحفوري، تهديدًا وجوديًا للنظم البيئية ورفاهية الإنسان. وهدا يستلزم تحولًا جذريًا في أنظمة الطاقة نحو مصادر متجددة للحد من الانبعاثات بشكل كبير ودعم النمو الاقتصادي. وقد حققت تقنيات الطاقة المتجددة مثل الخلايا الشمسية الكهروضوئية وتوربينات الرياح والسدود الكهرومائية وغيرها تقدمًا كبيرًا من حيث القدرة على التوسع والكفاءة والقدرة التنافسية من حيث التكلفة. ومع ذلك، فإن تقلبها المتأصل يخلق الحاجة إلى حلول تخزين طاقة مكملة وموازنة الأحمال. من هنا برز الهيدروجين الأخضر كأحد الحلول الواعدة في مواجهة التحديات البيئية والمناخية التي يشهدها عالمنا المعاصر. فبينما تكافح دول العالم للحد من انبعاثات الغازات الدفيئة وتقليل آثار التغير المناخي، يلقى الهيدروجين الأخضر اهتماماً متزايداً باعتباره مصدراً للطاقة النظيفة والمتجددة. وعليه فيعتبر العنصر الأقدم والأخف وزناً والأكثر وفرة فيه. مما يجعله خياراً مثالياً للحد من الانبعاثات الكربونية ودعم جهود الاستدامة البيئية. وتكمن أهمية الهيدروجين الأخضر في كونه وقوداً نظيفاً يحترق دون إنتاج أي انبعاثات كربونية، حيث يكون بخار الماء هو المنتج الثانوي الوحيد من عملية احتراقه .هذه الميزة الفريدة تجعله حلاً مثالياً لقطاعات صناعية كانت من الصعب تنظيفها في الماضي، مثل قطاعات الكيماويات والحديد والصلب، فضلاً عن قطاع النقل، خاصة على المسافات الطويلة. علاوة على ذلك، يمكن استخدام الهيدروجين في توليد الكهرباء أو مباشرة كوقود للتدفئة والحرارة، كما يمكن استغلاله في تخزين الطاقة المتجددة التي قد تضيع بدونه. ومع ذلك، فإن عملية إنتاج الهيدروجين تتطلب استخلاصه من مركبات طبيعية مثل الماء عبر عملية تعرف باسم "التحليل الكهربائي"، حيث يتم تفكيك الماء إلى أكسجين وهيدروجين باستخدام تيار كهربائي مستمد من مصادر متجددة مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية والطاقة الكهرومائية. ويتطلب معالجة هذه التحديات المتعددة الجوانب للاستدامة حلولًا شاملة ومتعددة التخصصات تمتد لتشمل الابتكار العلمي والتكنولوجي، وهياكل الحوافز الاقتصادية، وأطر الحوكمة، والمشاركة المجتمعية من خلال تحقيق تآزرات بين القطاعات، والتفكير النظمي، والتعاون بين أصحاب المصلحة في الحكومة والأوساط الأكاديمية والصناعة والمجتمع المدني. سعيا للحفاظ على رفاهية الأجيال الحالية والمقبلة. على ضوء ما سبق نطرح الإشكال التالي: **ما هي المراحل الاستراتيجية للهيدروجين الأخضر من أجل تحقيق الاستدامة البيئية؟**

منهج الدراسة: استعملنا المنهج الوصفي من خلال عرض عموميات حول الهيدروجين الأخضر وفرص تصدير الهيدروجين من منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا إلى أوروبا إضافة إلى المنهج التحليلي من خلال التطرق إلى تجارب بعض الدول الأوربية في مجال الهيدروجين الأخضر لعينة من الدول المتمثلة في ألمانيا هولندا إسبانيا إيطاليا الدنمارك الجمهورية التشيكية النمسا بلجيكا بحيث قمنا بدراسة لمؤشرات تتمثل في القدرة على إنتاج الهيدروجين، مؤشر الطلب

على الهيدروجين ، مؤشر البنية التحتية لنقل وتخزين الهيدروجين لسنتي 2022 مقارنة بسنة 2020 بالإظافة إلى رأى مستقبلية حتى سنة 2050.

I. الإطار النظري :

1. تعريف الهيدروجين الأخضر:

الهيدروجين هو العنصر الأقدم والأخف وزنا والأكثر وفرة في الكون. يوجد بشكل طبيعي في العديد من المركبات ، بما في ذلك الماء والوقود الأحفوري(الفحم والنفط والغاز) الهيدروجين الأخضر هو هيدروجين تم إنتاجه حصريًا من الطاقة المتجددة. ميزة الهيدروجين الأخضر هي أنها جزيء يحترق بنظافة كون المنتج الثانوي الوحيد هو بخار الماء ، مما يعني أنه يمكن أن يساعدنا في تحقيق إزالة الكربون في مجموعة من القطاعات التي كان من الصعب تنظيفها في الماضي، ويشمل ذلك صناعات الكيماويات والحديد والصلب، بالإضافة إلى وسائل النقل، خاصة النقل على مسافات طويلة. (مصطفى وآخرون، 2011). الهيدروجين يمكن أيضًا استخدامه لتوليد الكهرباء أو مباشرة كوقود للحرارة ولتدفئة منازلنا وتخزين الكهرباء المتجددة التي قد تضيع بدونه. المشكلة تكمن في أن الهيدروجين هو عنصر ذو نشاط كيميائي عالٍ، ولا يوجد بشكل حر في الطبيعة، بل يوجد فقط متحدًا مع عناصر أخرى، للحصول عليه يجب أن يتم إنتاجه عن طريق استخلاصه من مركبات طبيعية مثل الماء ،عبر طريقة تعرف باسم التحليل الكهربائي، حيث يقوم جهاز يعرف باسم المحلل الكهربائي بتفكيك الماء إلى أكسجين وهيدروجين باستخدام تيار كهربائي من مصادر متجددة مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية والطاقة الكهرومائية حيث تحوله الطاقة المتجددة إلى حامل للطاقة يسهل توظيفه في إستخدامات متنوعة (حرقه مباشرة كوقود دون أن ينتج أي إنبعاثات كربونية، وقود مشتق من الهيدروجين مثل الأمونيا الخضراء والميثانول الأخضر وإنتاج الصلب). (Agency, 2022)

2. أنواع الهيدروجين:

الشكل 01: أنواع الهيدروجين

المصدر: من إعداد الباحثتين بالإعتماد على (IRENA, making the breakthrough green hydrogen policies and technology costs, 2021)

3. الهيدروجين المنخفض الكربون وترابطه بأهداف التنمية المستدامة

الهيدروجين المنخفض الكربون له صلة وثيقة بأهداف التنمية المستدامة، وفيما يلي جدول يوضح بعض النقاط الرئيسية حول ذلك:

الجدول 01: الهيدروجين المنخفض الكربون وترابطه بأهداف التنمية المستدامة

تأثير الهيدروجين المنخفض الكربون	أهداف التنمية المستدامة
إدخال مصادر نظيفة للهيدروجين في القطاعات الاقتصادية الصعبة التخفيف يحسن بشكل واضح من صحة المجتمعات المحلية ورفاهيتها،	الهدف 3 من أهداف التنمية المستدامة :ضمان تمتّع الجميع بأنماط عيش صحية وبالرفاهية في جميع الأعمار.
في المناطق التي تعاني من شح المياه، قد يكون استخدام المياه العذبة في إنتاج الهيدروجين الأخضر مثيرًا للقلق. لكن تطوير تقنيات تحلية مياه البحر المستدامة تجاريًا لإنتاج الهيدروجين يمكن أن يوفر إمدادات مياه أيضًا للمجتمعات المحلية	الهدف 6 من أهداف التنمية المستدامة :ضمان توافر المياه وخدمات الصرف الصحي للجميع وإدارتها إدارة مستدامة.
إنتاج واستخدام الهيدروجين المنخفض الكربون يوفر مصدرًا جديدًا لتخزين الطاقة النظيفة. التحدي هو زيادة قدرة إنتاجه وإنشاء أسواق مستدامة وميسورة التكلفة	الهدف 7 من أهداف التنمية المستدامة :ضمان حصول الجميع بتكلفة ميسورة على خدمات الطاقة الحديثة الموثوقة والمستدامة.
تطوير صناعة منخفضة الكربون للهيدروجين بقيمة مليارات الدولارات في البلدان المنتجة والمستهلكة له سيدعم على المدى البعيد النمو الاقتصادي ويخلق فرص عمل جديدة.	الهدف 8 من أهداف التنمية المستدامة :تعزيز النمو الاقتصادي المطرد والشامل للجميع والمستدام، والعمالة الكاملة والمنتجة، وتوفير العمل اللائق للجميع.
لقد عزز تطوير الهيدروجين المنخفض الكربون الابتكار في سلسلته، ومن المرجح أن يؤدي على المدى الطويل إلى تطوير بنية تحتية مرنة له، خاصة في مراكز إنتاجه واستهلاكه الرائدة	الهدف 9 من أهداف التنمية المستدامة: الصناعة والابتكار.

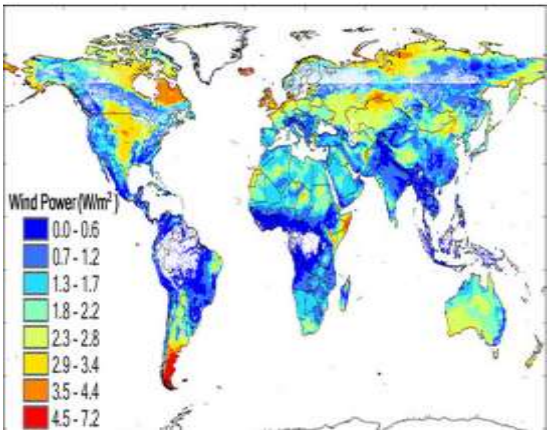
الاستخدام الطويل الأمد للهيدروجين المنخفض الكربون في قطاع النقل سيحد من تلوث المرور ويحسن البيئات المحلية في المدن، ولكن سيكون أساساً لنقل الأحمال الثقيلة عبر مسافات طويلة.	الهدف 11 من أهداف التنمية المستدامة :جعل المدن والمستوطنات البشرية شاملة للجميع وآمنة وقادرة على الصمود ومستدامة.
الهيدروجين المنخفض الكربون جزء من حلول نظيفة للتخفيف من آثار تغير المناخ، خاصة في القطاعات الصعبة التخفيف. ولكن عند استخدام الطاقة المتجددة لإنتاجه، يجب تحقيق توازن بين الكهربة النظيفة وإنتاج الهيدروجين المنخفض الكربون.	الهدف 13 من أهداف التنمية المستدامة: اتخاذ إجراءات عاجلة للتصدي لتغيّر المناخ وآثاره.

المصدر: من إعداد الباحثتين بالإعتماد على: (IRENA، Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor,، 2022)

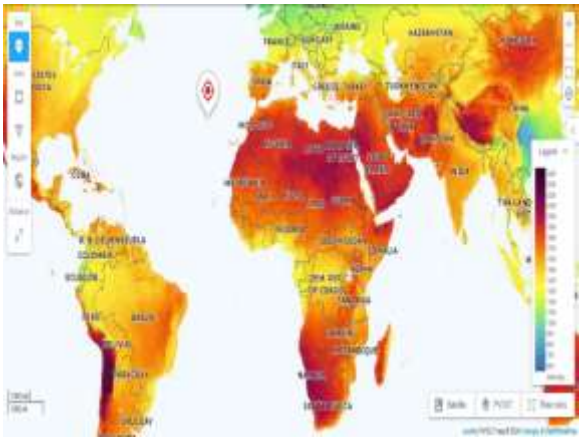
4. موارد الطاقة المتجددة بالنسبة للدول العربية:

تتمتع الدول العربية بإمكانات كبيرة لتطوير موارد الطاقة المتجددة، إذا تم استخدامها بشكل مناسب تعتبر حصة الطاقة المتجددة من مزيج الطاقة في المنطقة العربية واحدة من أدنى النسب في العالم) المتجددة(IRENA, 2020

الشكل 05:إمكانيات طاقة الرياح العالمية،2022



الشكل 06: إمكانيات طاقة الشمسية العالمية،2022



المصدر: من إعداد الباحثتين بالإعتماد على ,GCC-STAT)الهيدروجين كمصدر وناقل للطاقة الظيفة المستدامة في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية (2022 ,

تحضى المنطقة بإشعاع شمسي عالي و أراضي صحراوية كبيرة وشبه مسطحة وغالبا غير مأهولة بالإظافة مشاريع تجريبية وتجارية وإمكانات صناعية. كما تتميز بسرعة رياح مناسبة لتوليد الكهرباء في مواقع مختلفة في العديد من البلدان بالإظافة لعناصر تقنية وقوى عاملة

5. تصدير الهيدروجين من منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا إلى أوروبا

1.5 فرص تصدير الهيدروجين المتمثلة في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا

تتمثل الفرص في: (IRENA, 2022)

- إنّ الموقع الجغرافي لمنطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا كمنطقة مجاورة للإتحاد الأوروبي يجعلها الموقع الأمثل لتلبية الطلب على الهيدروجين الأخضر في الاتحاد الأوروبي والذي يشهد تزايدًا سريعًا.
- تتمتع المنطقة بوفرة من إمكانات مصادر الطاقة المتجددة نظرًا إلى تسجيلها أعلى مستويات الإشعاع الشمسي وطاقة رياح جيدة .
- يمكن ضخ الهيدروجين في شبكات أنابيب الغاز الطبيعي في دول منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا.إذ يمكن استخدام البنية التحتية الموجودة أصلً بما يفيد مزيدًا من حلول الطاقة الخضراء بهدف تقليل استهلاك الغاز الطبيعي وانبعاثات الكربون .

2.5 تحديات تصدير الهيدروجين في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا

نلخص التحديات فيما يلي: (ماتيس، فاليريا، و لويس، 2020)

- تُعدّ منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا واحدةً من أكثر المناطق التي تعاني من شحّ المياه، وقد يشكّل تأمين المياه لإنتاج الهيدروجين الأخضر و تغطية احتياجات المنطقة من المياه أمرًا صعبًا.وستتطلب تحلية مياه البحر من أجل الحفاظ على المياه الجوفية استخدام كميات هائلة جدًا من الطاقة.
- يُعتبر الهيدروجين موضوعًا جديدًا في المنطقة .وقد تتعرقل الطموحات العالية التي تضعها بعض البلدان مثل ألمانيا والتي تطمح إلى إنتاج 5 جيجاوات من طاقة الهيدروجين بحلول العام 2030 أمام النقص في الخبرات والمعرفة وقلة مشاركة القطاع الخاص والمستثمرين.
- تعاني أجزاء كثيرة من منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا من عدم الاستقرار السياسي والصراعات والنزاعات المختلفة التي يمكن أن تهدد البنى التحتية وخطط تطوير الهيدروجين الأخضر.

I. الدراسات السابقة

- دراسة (Makhsoos، 2023) قام بتحليل مقارن بين خلايا تحليل كهربائي أحادية ومدمجة لأغشية التبادل البروتوني لإنتاج الهيدروجين الأخضر والتي هدفت إلى دراسة كفاءة إنتاج الهيدروجين من مصادر الطاقة المتجددة باستخدام نماذج مختلفة من خلايا تحليل المياه. وتمثلت عينتها في خلايا التحليل الكهربائي أحادية والمدمجة. وتم استخدام النمذجة والمحاكاة الحاسوبية لجمع البيانات وفق المنهج التجريبي. وكان من أبرز نتائجها أن التصميم المدمج لخلايا التحليل يمكن أن يزيد إنتاج الهيدروجين بنسبة 33% سنويا مع الحد من تدهور النظام.

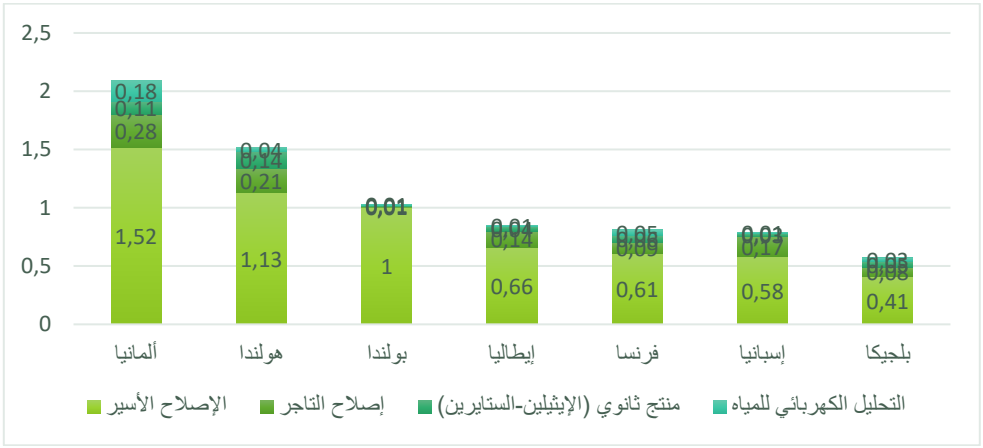
- دراسة (Bairrão، João Soares، Almeida José، John F. Franco، و and Zita Vale، 2023) هدفت إلى دراسة إمكانية إنتاج الهيدروجين الأخضر في البرتغال لدعم جهود التحول الطاقي. وتمثلت عينتها في قطاعي الطاقة والنقل في البرتغال. واستخدمت المحاكاة والنمذجة لجمع البيانات وفق المنهج الوصفي التحليلي. وكان من أبرز نتائجها أن لدى البرتغال مصفوفة طاقة متجددة جيدة تدعم إنتاج الهيدروجين الأخضر وتتيح لها تحقيق أهداف الاتحاد الأوروبي بحلول 2030-2050. كما أشارت النتائج إلى أن تحويل الحافلات والشاحنات للعمل بالهيدروجين أفضل لخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.
- دراسة (Rezk, A. G. Olabi, Mohammad Ali Abdelkareem, Ali Alahmer, & Enas Taha Sayed, 2023) هدفت إلى تحديد المعايير المثلى لعملية تحليل الماء الكهربائي لزيادة إنتاج الهيدروجين الأخضر. وتمثلت عينتها في عملية تحليل الماء الكهربائي باستخدام الطاقة الشمسية. واستخدمت النمذجة باستخدام نظام استنتاج الشبكات العصبية الضبابية التكيفية وخوارزمية التحسين لجمع البيانات وفق المنهج التجريبي. وكان من أبرز نتائجها تحديد المعايير المثلى لزمن التحليل الكهربائي والفولتية الكهربائية وكمية المحفز لتعظيم إنتاج الهيدروجين من تحليل الماء باستخدام الطاقة الشمسية.
- دراسة (Zheng, Ming Ma, & Huaiyu Shao, 2023) والتي هدفت إلى مراجعة التطورات الأخيرة في مجال إنتاج الهيدروجين الأخضر من تحليل الماء باستخدام الطاقة الشمسية مع التركيز على كفاءة العملية وإمكانية توسعتها. وتمثلت عينتها في الأبحاث والدراسات الحديثة في هذا المجال. واستخدمت مراجعة الأدبيات العلمية لجمع وتحليل البيانات وفق المنهج الوصفي التحليلي. وكان من أبرز نتائجها تسليط الضوء على التحديات التي تواجه تصنيع وتطبيق هذه التقنية في إنتاج الهيدروجين الأخضر، وتقديم رؤى حول تسريع الانتقال من الأبحاث الأساسية إلى التطبيقات العملية.
- دراسة (Hassan, Sameer Algburi, & Aws Zuhair Sameen, 2023) mitigation,أبرزت دور الهيدروجين الأخضر في جهود التحول الطاقي للمملكة العربية السعودية من خلال التعرف على إمكانات الهيدروجين الأخضر في المملكة وأهميته في مكافحة تغير المناخ. وتمثلت عينتها في قطاع الطاقة بالمملكة. واستخدمت مراجعة الأدبيات والتقارير لجمع البيانات وفق المنهج الوصفي التحليلي. وكان من أبرز نتائجها أن الهيدروجين الأخضر سيلعب دوراً حاسماً في تحول الطاقة بالمملكة، كما أن هناك علاقة معقدة بين التكنولوجيا والسياسات في تحديد مسار الهيدروجين الأخضر.

II. الدراسة التطبيقية:

من خلال ما سبق حاولنا في هدا الجانب التطرق إلى تجارب بعض الدول الأوربية في مجال الهيدروجين الأخضر لعينة من الدول المثمتلة في ألمانيا هولندا إسبانيا إيطاليا الدنمارك الجمهورية التشيكية النمسا بلجيكا من خلال إتباع المنهج التحليلي لمؤشرات تتمثل في القدرة على إنتاج الهيدروجين، مؤشر الطلب على الهيدروجين، مؤشر البنية التحتية لنقل وتخزين الهيدروجين لسنتي 2022 مقارنة بسنة 2020 بالإظافة إلى رأى مستقبلية حتى سنة 2050.

1. القدرة على إنتاج الهيدروجين:

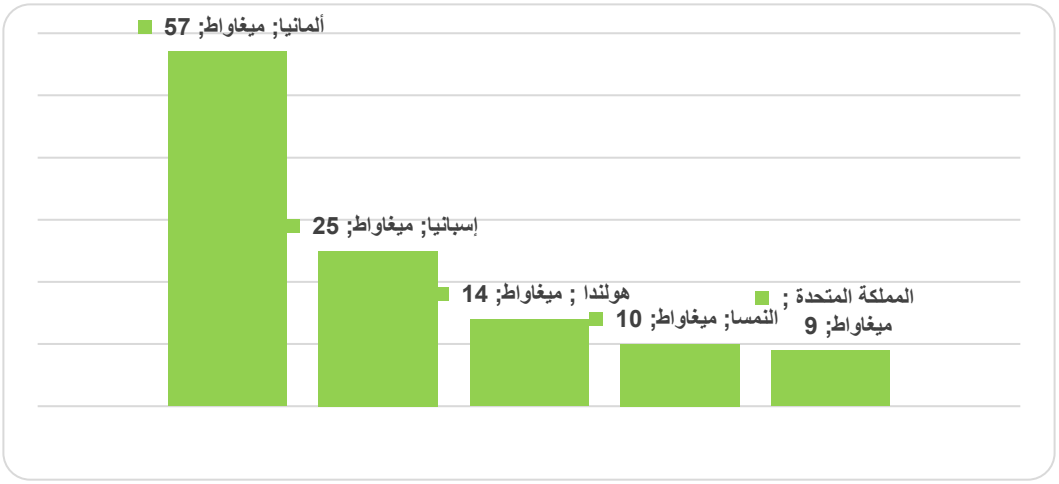
الشكل 07: إجمالي الطاقة الإنتاجية للهيدروجين لأكبر 7 منتجين للهيدروجين في أوروبا



المصدر: من إعداد الباحثتين بالإعتماد على(Bortolotti, 2022)

توجد فروق كبيرة في طاقة إنتاج الهيدروجين بين الدول تبعاً لقاعدتهم الصناعية. الدول السبعة التي تمتلك أكبر طاقة إنتاج تشكل 74% من إجمالي طاقة إنتاج الهيدروجين في الاتحاد الأوروبي. الدول الأخرى الثمانية عشر تبلغ طاقات إنتاج الهيدروجين لديها فقط 26% من الطاقة المثبتة الإجمالية في الاتحاد الأوروبي. تعتمد تركيبة هذه القدرة على الصناعات في كل دولة ولكن تظل مهيمنة على قدرة التكسير الخاصة في قطاعات التكرير والأمونيا. (EUROPE, 2022)

الشكل08: البلدان التي تتمتع بأعلى قدرة تراكمية مثبتة من الطاقة إلى هيدروجينMW



المصدر: من إعداد الباحثتين بالإعتماد على (Europe, Green Hydrogen Monitor, 2022)

تحتل ألمانيا 36٪ من السعة المحددة و28٪ من المشاريع التشغيلية في الاتحاد الأوروبي والمجلس الأوروبي للتجارة الحرة والمملكة المتحدة. البلدان الأخرى ذات السعة المثبتة الكبيرة هي إسبانيا بـ 25 ميغاواط، وسويسرا بـ 14 ميغاواط،

والنمسا بـ 10 ميغاواط. نظرًا للسعة الصغيرة المنتشرة في كل بلد، فإن أي إضافة كبيرة يمكن أن تدفع ببلد إلى قائمة الخمس دول الأولى، كما حدث مع إسبانيا في عام 2022.

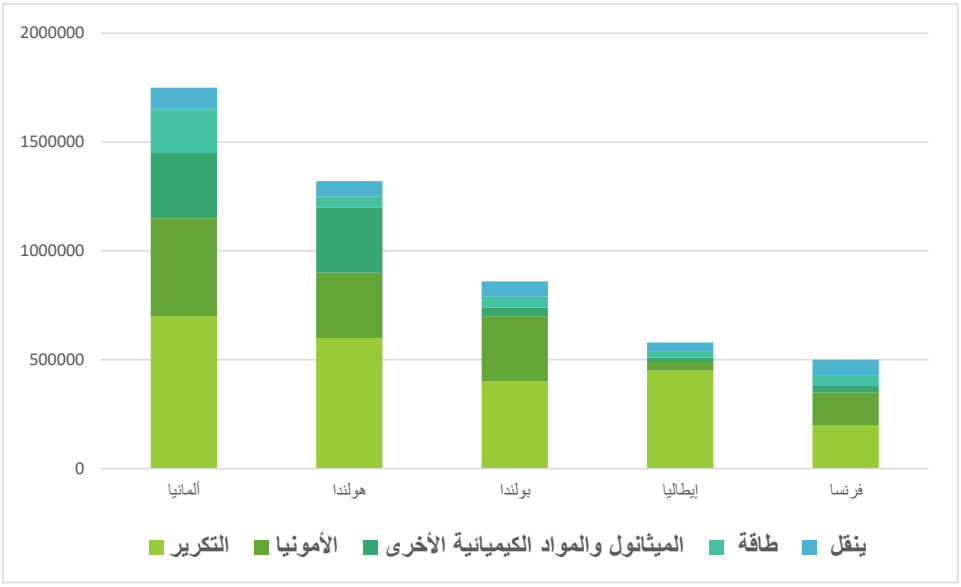
2. الطلب على الهيدروجين:

إن الطلب الإجمالي على الهيدروجين في عام 2022 قدر بحوالي 8.7 مليون طن في الاتحاد الأوروبي ، بزيادة طفيفة عن العام السابق البالغ 8.4 مليون طن. أكبر مستهلك للهيدروجين هو قطاع المصافي بنسبة 50% ، يليه قطاع صناعة الأمونيا بنسبة 29% ، حيث استهلك هذان القطاعان معًا 79% من إجمالي استهلاك الهيدروجين. حوالي 13% من الهيدروجين يستخدم في إنتاج الميثانول والاستخدامات الأخرى في صناعة الكيماويات. تطبيقات الهيدروجين النظيفة الناشئة مثل قطاع النقل لا تمثل سوى جزءًا صغيرًا من سوق الهيدروجين. وتشكل حصة الاتحاد الأوروبي فقط 8.7% من الطلب العالمي على الهيدروجين في 2020.

الشكل 09: الطلب على الهيدروجين حسب الإستخدام النهائي في أوروبا في عام 2020 و 2022

المصدر: من إعداد الباحثتين (Fonseca, Cleen Hydrogen Monitor, 2023)

الشكل 10: إجمالي الطلب على الهيدروجين في عام 2020 حسب البلد



المصدر: من إعداد الباحثتين (Fonseca, Cleen Hydrogen Monitor, 2023)

أكثر من نصف استهلاك الهيدروجين في الاتحاد الأوروبي يحدث في أربع دول فقط: ألمانيا (21%)، هولندا (12%)، بولندا (10%)، وإسبانيا (8%). في معظم الدول، يستخدم الهيدروجين بشكل رئيسي في عمليات التكرير، باستثناء النرويج وليتوانيا والنمسا حيث يستخدم بشكل أساسي لإنتاج الأمونيا. ألمانيا وبولندا وهولندا هي أكبر منتجي الأمونيا في أوروبا، ومن المتوقع أن تتأثر بشدة بهدف الاتحاد الأوروبي لتحقيق 42% من استهلاك الهيدروجين المتجدد في التطبيقات الصناعية بحلول 2030.في بولندا، كان إنتاج الأمونيا المستهلك الرئيسي للهيدروجين، لكن عمليات التكرير أصبحت مساوية لاستهلاك الأمونيا بسبب الزيادة وإغلاقات مؤقتة.في كرواتيا، أدى إغلاق مصنع الأمونيا الوحيد إلى انخفاض الاستهلاك الإجمالي للهيدروجين بنسبة 50%.

3. البنية التحتية لنقل وتخزين الهيدروجين:

تعتبر البنية التحتية لنقل وتخزين الهيدروجين أمرًا حيويًا لربط مناطق الإنتاج والطلب داخل أوروبا. ونظرًا لوجود أهداف أوروبية واضحة، بدأت الجهات الفاعلة على المستويين الوطني والمحلي في تطوير خططها لنقل وتخزين الهيدروجين على نطاق واسع،، ويغطي هذا العنصر تطورات البنية التحتية لنقل الهيدروجين في 6 دول أعضاء، متعلقة بالتخطيط والأطر القانونية وبناء البنى التحتية الوطنية.

1.3 الشبكة النمساوية للهيدروجين:

تتناول خطة تطوير الشبكة المنسقة لعام 2022 من قبل إدارة شبكة الغاز النمساوية، تطوير البنية التحتية لهيدروجين بما يتماشى مع أهداف الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين. وتهدف الخطة إلى نقله مبدئيا عبر خطوط أنابيب مباشرة من مراكز الإنتاج إلى مراكز الإستهلاك .

تحدد TYNDP خمسة مشاريع للهيدروجين من مشغلي البنية التحتية.:

- H2الجاهزية: يقوم المشروع بإعداد خارطة طريق لشبكة هيدروجين مخصصة من خلال إعادة استخدام شبكة الغاز الحالية. سيتم إنشاء شبكات الهيدروجين والميثان بالتوازي ، لضمان الاستخدام الأمثل للبنية التحتية، كما هو الحال مع الميثان الحيوي ومن المتوقع أن تلعب دورا هاما في إزالة الكربون.
- H2EU: يهدف المشروع إلى إنتاج الهيدروجين المتجدد في أوكرانيا، و نقلها عبر مركز الغاز في بومغارتر وتخزينها في النمسا لتوزيعها في أوروبا.
- حلقة WAG: يهدف المشروع إلى إغلاق الـ 100 كيلومتر المتبقية من خط الأنابيب الجاري بالتوازي مع خط أنابيب WAG. عند اكتماله، سيوفر خط الأنابيب المرونة الكاملة لنقل الميثان والهيدروجين النقي إلى النمسا وألمانيا من أوروبا الشرقية.
- مشروع SOL H2: تم افتتاح المشروع بالتنسيق مع مشغلي نظام النقلTSOS السلوفينيين والكرواتيين إمكانية استيراد الهيدروجين من محطة الغاز الطبيعي المسال في كرك بكرواتيا.
- الممر الجنوبي الشمالي: ضمن مشروع جاهزية H2 لنظام خطوط أنابيب TAG يقترح تحويل فعال من حيث التكلفة للبنية التحتية القائمة لتمكين واردات الهيدروجين اعتبارًا من عام 2030 ، من تدفق الهيدروجين بين الحدود النمساوية الإيطالية و الحدود النمساوية السلوفاكية. (Yovchev, 2023)

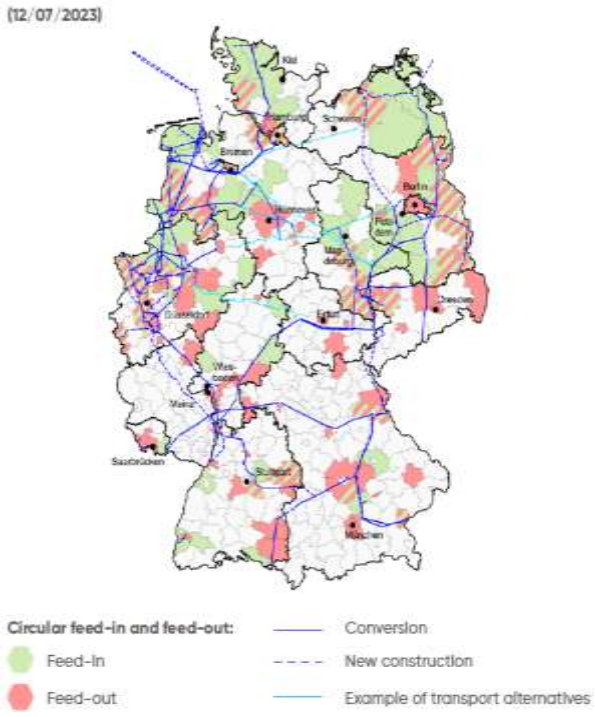
2.3 الشبكة البلجيكية:

وتخطط شركة TSO Fluxys البلجيكية لإعادة تشكيل أجزاء من شبكة الغاز الطبيعي تدريجيًا لتطوير أنظمة لنقل الميثان والهيدروجين وثاني أكسيد الكربون.وتماشيا مع إستراتيجية الهيدروجين الوطنية البلجيكية ينبغي إنشاء عمود فقري للهيدروجين مفتوح للوصل بين Zeebrugge وGhent وAntwerp ، لربط المناطق الصناعية بالدول المجاورة. في يوليو 2023، اعتمدت بلجيكا قانون نقل الهيدروجين عبر خطوط الأنابيب والذي سيوفر الإطار

القانوني حتى نقل حزمة سوق الهيدروجين والغاز منزوع الكربون .يحدد القانون نظام تفكيك الملكية لمشغل شبكة الهيدروجين (HNO)، وينظم وصول الطرف الثالث إلى الشبكة (TPA)، وإجراءات وضع معايير الجودة بالتشاور مع HNOSوالصناعة المجاورة. في حين أنه يمكن تشغيل الشبكات الحالية من قبل أصحابها، فإن القانون يحدد أيضًا إجراءً لتعيين HNOكمشغل مستقل" للشبكات الحالية

وأخيرًا، فإن خط الأنابيب ثنائي الغرض بين Zeebrugge وBrussels قيد الإنشاء بالفعل ومن المفترض أن يصبح جاهزًا للعمل بحلول نهاية عام 2023. والاتصال حاليًا عبارة عن خط أنابيب غاز وسيتم تحويله لاحقًا إلى خط أنابيب هيدروجين نقي. (Fonseca, CLEEN HYDROGEN MONITOR, 2023)

3.3 الشبكة الألمانية للهيدروجين :



ألمانيا هي واحدة من أكثر الدول الأعضاء طموحًا بخصوص تطوير البنية التحتية للهيدروجين. في مايو 2023، قدمت الحكومة الألمانية مشروع إطار قانوني لتطوير الشبكة الأساسية الوطنية للهيدروجين (واسرتوف–كيرنتز) في إطار القسم الجديد 28(r) من قانون صناعة الطاقة (NWG). لم يتم اعتماد القانون بعد. ووفقًا لمشروع القانون، سيكون على مشغلي النظام النقل الكهربائي (TSOs) تقديم خطة مشتركة للشبكة الأساسية ثلاثة أسابيع بعد دخول القانون حيز التنفيذ، تشير إلى الأصول التي ستكون جزءًا من الشبكة، والتكاليف التشغيلية والرأسمالية المتوقعة، ودرجة فعالية هذه الحلول على المدى الطويل. سيتم إعطاء الأولوية لتحويل خطوط الغاز الطبيعي. على المشغلين أن يثبتوا أن باقي الشبكة يمكنها تلبية الطلب المتوقع على الغاز الطبيعي. إذا لم يقدم مشغلو النظام النقل الكهربائي طلبًا مشتركًا، فسوف تحدد Bundesnetzagentur شبكة أساسية خلال أربعة أشهر بعد الموعد النهائي. في هذه الحالة، قد يكون من الإلزام فقط على الشركات التي توافق على تضمينها في الخطة تنفيذ مشاريعها. يجب أن تكون المشاريع جاهزة للتشغيل بحلول نهاية عام 2032. بمجرد الموافقة عليها، ستمنح الشبكة الأولوية في المصلحة العامة.

بحلول سبتمبر 2023، بدأ مشغلو النظام النقل الكهربائي في تصميم شبكة الهيدروجين الأساسية بينما يوفرون أيضًا للأطراف المعنية فرصة التعليق على العمل. سيتم تقييم وتحسين الطول الإجمالي الحالي البالغ 11,200 كم في الخطوات التالية. تم اعتبار مجموع 309 مشاريع هيدروجين.

الخطوة التالية هي إنشاء "شبكة أساسية محسنة" لتقديمها إلى Bundesnetzagentur. سيتم تقييم المشاريع المقدمة لمعرفة ما إذا كانت تلبي المتطلبات القانونية والتقنية للدمج في شبكة الهيدروجين الأساسية. بالإضافة إلى ذلك، سيتم التحقق من البنية التحتية لضمان تلبيتها لمتطلبات النقل. يجب ملاحظة عنصرين، أولاً، الظروف الخاصة لنظام نقل الغاز الطبيعي الألماني. في المستوى التنقلي، غالبًا ما تكون هناك خطوط أنابيب متعددة تعمل بشكل متوازي. هذا يمكن تحويل أحد الخطوط إلى هيدروجين، بينما يمكن للآخرين تلبية الطلب على الغاز الطبيعي، مما يسهل الانتقال إلى الهيدروجين مع ضمان أمان الإمداد بالغاز الطبيعي في المدى القريب. ثانيًا، لم يتم تضمين مشغلي نظام التوزيع (DSOs) بشكل كبير في العملية المذكورة أعلاه، على الرغم من أن المشغلين الألمان يمتلكون خطوط أنابيب عالية الضغط مع العديد من المستخدمين النهائيين في قطاعات صناعية صعبة التخلص منها.

كجزء من استراتيجيتها الأوسع لإنشاء تواصل هيدروجيني مع الدول المجاورة تتعاون ألمانيا مع النرويج لتقييم الجدوى الفنية والاقتصادية لأنبوب ضخم لاستيراد الهيدروجين من النرويج وآخر لنقل ثاني أكسيد الكربون من ألمانيا إلى النرويج. يشارك في هذا المشروع Gassco و Dena وعدد من الشركاء الصناعيين الآخرين (Fonseca, Cleen Hydrogen Monitor, 2023)

4.3 الشبكة الإسبانية للهيدروجين:

الدافع الرئيسي وراء تطوير البنية التحتية للهيدروجين في إسبانيا هو قدرة إنتاج الهيدروجين المتجدد، الذي سيحتاج إلى توصيله إلى المستهلكين الصناعيين الكبار، بالإضافة إلى نقاط التوصيل للتصدير نحو أوروبا. ولتحقيق هذا، في عام 2022، أنشأت الشركة الناقلة الإسبانية TSO Enagas الشركة التابعة the subsidiary Enagás Infraestructuras de Hidrógeno، لفصل عمليات الغاز الطبيعي الحالية عن العمليات المستقبلية للهيدروجين في استعداد لتصبح مشغل شبكة الهيدروجين.

كجزء من التخطيط الاستراتيجي، تم نشر خريطتي رؤية لتطوير الشبكة الهيدروجينية، واحدة لعام 2030 وأخرى لعام 2040. تركز رؤية عام 2030 على الاتصالات للتصدير وتلبية الطلب المحلي المضمون، مع ارتباط وثيق لاتصالات التصدير بممر H2Med.

أما بالنسبة لعام 2040، فسوف تتوسع الشبكة بمزيد من الاتصالات مع شمال إفريقيا وفرنسا، بالإضافة إلى الاتصالات بمرافق التخزين في Cantabria وBasque Country وYela.

تطوير البنية التحتية يتماشى مع مسودة الخطة الوطنية المتكاملة للطاقة والمناخ، التي ترفع الهدف الوطني لسعة

التحليل الكهربائي إلى 11 جيجاوات بحلول عام 2030، مما يجعل إسبانيا مصدرًا مهمًا للهيدروجين المتجدد نحو باقي أوروبا. أما بالنسبة لجدول تطوير المشروع، فحتى عام 2025، ستركز الشركة الناقلة على جمع الدعم اللازم. تُنظر إلى بدء البناء بحلول نهاية عام 2025، مع توقع بدء العمليات في عام 2030.

من خلال المرسوم الملكي الصادر في 29 مارس 2022، أنشأت الحكومة الإسبانية نظامًا قانونيًا مؤقتًا لتشغيل خطوط الغاز المتجددة، حتى اعتماد حزمة السوق للهيدروجين والغاز المختنقة. (Fonseca, CLEEN HYDROGEN MONITOR, 2023)

5.3 الشبكة الإيطالية للهيدروجين

تعد خطط شبكة الهيدروجين الإيطالية جزء من " Schede di intervento" لشركة الناقل الرئيسية TSOsو SNAMs. الهدف هو إنشاء شبكة قادرة على نقل الهيدروجين من جنوب إيطاليا وشمال إفريقيا إلى مناطق الاستهلاك الرئيسية في البلاد وأوروبا. وتعطى الأولوية لإعادة استخدام معظم البنية التحتية الحالية القائمة للغاز الطبيعي لتمكين تلبية الطلب المتوقع حتى عام 2040، مع السماح أيضًا بالواردات من شمال إفريقيا والتصدير إلى دول شمال أوروبا. (Fonseca, Cleen Hydrogen Monitor, 2023)

6.3 الشبكة الهولندية للهيدروجين:

كانت هولندا في طليعة نشر نقل الهيدروجين، مع حدوث ثلاث تطورات رئيسية في العام الماضي. أولاً، قام وزير المناخ والطاقة بتغيير الخطط للمرحلة الأولى في ديسمبر 2022، بسبب التدفقات الجديدة للغاز الناتجة عن الحرب في أوكرانيا. سابقاً، كان الغاز يتحرك باتجاه الشرق إلى الغرب. الآن يتحرك باتجاه الغرب إلى الشرق بسبب زيادة استخدام غاز البترول المسال. لذلك، سيحتاج مسار الأنابيب من Wieringermeer إلى شمال هولندا يحتاج إلى إعادة تخصيصه في مرحلة لاحقة، ويتم تطوير مسار بديل حاليًا. ومع ذلك، فإن الاتصالات بألمانيا وبلجيكا، التي تعتبر جزءًا من المرحلة الأولى، ستستمر كما كان مخططًا لها.

التطور الثاني المتعلق بالشبكة الهولندية يتعلق بنقاء الهيدروجين. بعد سلسلة من استشارات الصناعة، تم اتخاذ قرار برفع متطلبات النقاء في الشبكة إلى 99.5% بدلاً من النسبة المقترحة في البداية وهي 98%. ستقلل هذه التعديلات من مصاريف التنقية للمستخدمين، حيث ينوي معظم المنتجين حقن الهيدروجين عند مستوى نقاء أعلى، مما يتماشى مع متطلبات النقاء العالية لمعظم العملاء.

ثالثاً، في يونيو 2023، قام الناقل الرئيسي الهولندي Gasunie باتخاذ قرار نهائي بشأن الاستثمار في الجزء الأول من الشبكة الوطنية للهيدروجين. بدأ بناء أول 30 كيلومترًا بين روتردام من Tweede Maasvlakte إلى Pernis في نهاية أكتوبر. ومن المقرر أن يتم تشغيل الجدول الزمني المؤقت لخط الأنابيب عام 2025. (Fonseca, Cleen Hydrogen Monitor, 2023)

الجدول رقم 02: جدول موجز لتطوير البنية التحتية للهيدروجين عبر مجموعة مختارة من الدول الأعضاء

	اعتماد الخطة الوطنية للبنية التحتية	اعتماد التشريع الوطني	بداية بناء العمود الفقري الوطني
النمسا			
بلجيكا			
ألمانيا			
إيطاليا			
هولندا			
إسبانيا			

لم بدأ بالعمل — أ عمال جارية — تحقق

المصدر: من إعداد الباحثتين بالإعتماد على (Fonseca، CLEEN HYDROGEN MONITOR، 2023)

الخاتمة:

بدأت أنشطة قطاع الهيدروجين في الازدهار في أوروبا والعالم، حيث تنمو المشاريع بشكل خاص في أوروبا. ومع ذلك، فقط 4% من هذه المشاريع وصلت إلى قرار الاستثمار النهائي، مما يظهر أهمية فهم الترابط بين التقنيات وقطاعات الطاقة لتقليل مخاطر الاستثمار. لقد نجحت أوروبا في وضع الأسس التنظيمية التي ستحدد تقدم قطاع الهيدروجين لديها. تم وضع معظم القواعد، والآن حان وقت العمل. سيؤثر الهيدروجين على أجزاء كبيرة من الاقتصاد، من النقل إلى الصناعة والطاقة والبنية التحتية، مما يساعد على إزالة الكربون من المجتمع وضمان أمن الطاقة واستقرارها.

النتائج

- إن إنتاج الهيدروجين الأخضر يدعم العديد من أهداف التنمية المستدامة (الهدف السابع، التاسع، التالث عشر) خاصة فيما يخص الطاقات النظيفة والحد من الإنبعاثات الغازات الدفيئة وتشجيع الإبتكار والبنية التحتية
- الاستثمار في البنية التحتية للهيدروجين الأخضر وكدا ا الزيادة في الطلب عليه يساعد على الإنتقال إلى نظام مستدام ويخفض الانبعاثات الضارة ويعزز الابتكار والنمو الاقتصادي
- تشهد خطوط أنابيب مشاريع إنتاج الهيدروجين النظيف نموًا ونضجًا بإجمالي قدرة معلنة تبلغ 15.7 مليون طن سنويًا من 813 مشروعًا بحلول عام 2030، مع 4.4 مليون طن سنويًا في مرحلة متقدمة و0.2 مليون طن سنويًا قيد الإنشاء.
- توجد مشاريع الطاقة إلى الهيدروجين الأكثر تقدمًا في بلدان الشمال الأوروبي وشبه الجزيرة الأيبيرية وبعض دول أوروبا الغربية بسبب توافر مصادر متجددة جديدة وشبكة كهرباء رخيصة منخفضة الكربون وطموحات دعم حكومي ومشترين راغبين.

- إن الاستخدامات النهائية الأكثر شيوعا لمشاريع إنتاج الهيدروجين النظيف هي الأمونيا، والصلب، والتكرير، والميثانول، والوقود الإلكتروني، ولكن 49٪ من الحجم المعلن بحلول عام 2030 لم يحدد بعد استخداما نهائيا
- إن المحركات الرئيسية لمشاريع البنية التحتية على المستوى الوطني هي مشغلي أنظمة النقل، الذين يقدمون خططهم لإنشاء شبكات هيدروجينية وطنية.
- لا تزال هولندا وبلجيكا أكثر الدول تقدمًا، حيث تمتلكان خططًا وطنية وتشريعات قائمة، فضلاً عن البدء في بناء أول خطوط أنابيب الهيدروجين.
- هناك 29مشروعًا واسع النطاق لتخزين الهيدروجين في المراحل الأولى من التطوير، مع توقع وجود مشاريع أخرى في القائمة السادسة القادمة للمشاريع ذات الاهتمام المشترك.
- على الرغم من زيادة استخدام الهيدروجين النظيف في جميع أنحاء أوروبا، فإن القدرة الإنتاجية التقليدية للهيدروجين شكلت 99.3٪ من المجموع في عام 2020.
- منشآت توليد الهيدروجين شهدت تضاعفًا تقريبيًا في القدرة من 85 ميجاوات في عام 2019 إلى 162 ميجاوات في أغسطس 2022، ومع ذلك، ما زالت تواجه تحديات من النواحي التنظيمية والمالية، مما يؤدي إلى تأخير في تنفيذ المشاريع المستقبلية

التوصيات:

- ينبغي تطوير الطاقات المتجددة بالإضافة إلى الهيدروجين. وكدا تطوير البنية التحتية للنقل والتخزين بالإظافة إلى تحسين التكنولوجيا اللازمة للتحويل الطاقة المتجددة إلى الهيدروجين .
- ينبغي تفغيل جميع المشاريع المعلن عنها بحلول 2030 تفاديا لأكثر من 86 مليون طن من إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون السنوية

قائمة المراجع:

- Amy Allsop and Michela Bortolotti .(2022) .Clean Hydrogen Monitor .
- Ashkan Makhsoos .(2023) .A comparative analysis of single and modular proton exchange membranewater electrolyzers for green hydrogen production- a case study inTrois-Rivi`eres .Energy.
- Delia Villagrasa .(2022) .Green hydrogen:Key success criteria forsustainable trade & production .
- Diego Bairrão ،João Soares ،José Almeida ،John F. Franco و ،and Zita Vale . .(2023)Green Hydrogen and Energy Transition: Current State andProspects in Portugal .energies.
- Erina International Renewable Energy Agency .(2022) .Geopolitics of the energy transformation the hydrogen factor .
- Hegazy Rezk ،A. G. Olabi ،Mohammad Ali Abdelkareem ،Ali Alahmer و ،Enas Taha Sayed .(2023) .Maximizing Green Hydrogen Production fromWater Electrocatalysis: Modeling and Optimization .Journal of Journal Marine Science and Engineering.
- Hydrogen Europe .(2022) .Clean Hydrogen Monitor . Amy Allsop and Michela Bortolotti.
- IRENA .(2021) .Making the breakthrough green hydrogen policies and technology costs .Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- IRENA .(2022) .Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor .,Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- IRENA .(2022) .Green hydrogen key success criteria for sustainable trade and production .
- Joana Fonseca .(2023) .Cleen Hydrogen Monitor . Michela Bortolotti, Peter Collins,Matthijs Timmermans.
- Qusay Hassan ،Sameer Algburi و ،Aws Zuhair Sameen .(2023) .Saudi Arabia energy transition: Assessing the future of green hydrogen in climate change mitigation .International Journal of Hydrogen Energy.
- Van Petar Yovchev .(2023) .Clean Hydrogen Monitor .Michela Bortolotti, Peter Collins,Matthijs Timmermans.
- Yihao Zheng ،Ming Ma و ،Huaiyu Shao .(2023) .Recent advances in efficient and scalable solar hydrogen production through water splitting .SPRINGER.
- أكسل مايكلوهوفا،، و سونجا بوتزنجيجر. (2019). التطورات في تقنيات الهيدروجين حتى 2030 :الفرص المتاحة والمخاطر أمام دول الخليج، وتداعيات السياسات الدولية. أكاديمية الإمارات الديبلوماسية .
- اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا. (2022). الهيدروجين الأزرق والأخضر:تطورات محتملة في المنطقة العربية.

- المركز الإحصائي GCC-STAT. (2022). الهيدروجين كمصدر وناقل للطاقة الظيفة المستدامة في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية .
- المركز الإحصائي GCC-STAT. (2022). الهيدروجين كمصدر وناقل للطاقة النظيفة المستدامة في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية .
- المركز الإحصائي GCC-STAT. (2022). الهيدروجين كمصدر وناقل للطاقة النظيفة المستدامة في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية .
- الوكالة الدولية للطاقة المتجددةIRENA. (2020). •تقرير الهيدروجين الأخضر: دليل لصنع السياسات.
- جون ر.فانشي. (2011). الطاقة التقنية والتوجهات للمستقبل . بيروت: المنظمة العربية للترجمة،الطبعة الأولى.
- سمير سعدون مصطفى، بلال عبد الله ناصر، و محمود خضر سلمان. (2011). الطلقة البديلة. عمان: دار اليازوري.
- كورنيليوس ماتيس، أروفو فاليريا، و ريتبي فرادو لويس. (2020). تحديات وفرص إنتاج الهيدروجين الأخضر وتصديره من منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا.