تحت رعاية وزارة البيئة
بجمهورية مصر العربية

المبادرة العربية للتعريف بالهيدروجين الأخضر والمشروعات الخضراء

جائزة خليفة الدولية لنخيل التمر والابتكار الزراعي
KHALIFA INTERNATIONAL AWARD FOR DATE PALM AND AGRICULTURAL INNOVATION

الراعي الذهبي
جائزة خليفة الدولية لنخيل التمر والابتكار الزراعي

ODS DIGITAL BUSINESS SERVICES

شريك تنظيمي

خلال الفترة من ٠١ يوليو حتى ٣٠ اكتوبر ٢٠٢٤

+202 261 102 99 | 01148686466 | www.ainelbeeah.org | info@ainelbeeah.org | @ainelbeeah

إنتاج وتخزين الهيدروجين بالمكامن النفطية المهجورة

اعداد
م/ حاتم الخنجاري

تنظمها جمعية عين البيئة بمصر، بالتعاون مع شبكة بيئة أبوظبي بالإمارات، ومؤسسة مستقبل أخضر مستدام باليمن، وشركة (ODS) لخدمات الأعمال الرقمية بمصر، من ٠١ يوليو حتى ٣٠ أكتوبر ٢٠٢٤

إكتشاف الهيدروجين

- **يعود** أكتشاف الهيدروجين إلى عام ١٦٧١ على يد العالم البريطاني، روبرت بويل، عندما وجد أن وضع قطعة من المعدن داخل حمض يؤدي لحدوث تفاعل وتنتج عنه فقاعات غازية، وسجل "بويل" هذه المشاهدات قبل أكثر من ٣٥٠ عامًا دون تعريف لسبب هذه الفقاعات أو نوع الغاز الناتج، إلا أن التجارب استكملها العالم البريطاني، هنري كافنديش، بعد قرابة ١٠٠ عام وتحديدًا عام ١٧٦٦

الهيدروجين

- **الهيدروجين** هو غاز عديم اللون والرائحة وغير سام وكثافته تقل عن كثافة الهواء بنحو ١٤ مرة، كما أنه العنصر الكيميائي الأخف والأبسط والأكثر وفرة في الطبيعة؛ حيث تشير التقديرات إلى أنه يُشكل نحو ٧٥% من الحجم الكلي للكون، كما أن ٩٠% من الذرات كافة عبارة عن ذرات هيدروجين.

- الهيدروجين لا يوجد حرًا في الطبيعة إلا في حالات نادرة للغاية؛ إذ يكون -في الغالب- مرتبطًا بجزيئات أخرى، سواء مع الغاز الطبيعي في حالته الغازية أو مع الماء والنفط في حالته السائلة؛ لهذا فإن الحصول عليه يتطلب فصله عن العناصر الأخرى

انواع الهيدروجين

- **١- الهيدروجين الأسود أو البني:**

- **يُستخرج من الفحم، عبر تحويل هذا الوقود الأحفوري إلى غاز -أو العملية المعروفة باسم تغويز الفحم- عبر تسخينه في درجات حرارة مرتفعة، وهي أقدم طريقة لاستخراج الهيدروجين وأكثرها تلويثًا للبيئة.**
- **ووصف هذا النوع من الهيدروجين بأنه بني أو أسود اعتمادًا على نوع الفحم المستخدم في عملية إنتاج الهيدروجين، والأسود أكثر تلويثًا للبيئة من البني.**

- **٢- الهيدروجين الرمادي:**

- **يُستخرج من الغاز الطبيعي عن طريق فصل الهيدروجين عن الكربون عبر عملية إصلاح الميثان بالبخار، وهي الطريقة الأكثر شيوعًا والأقل تكلفة.**
- **ومع ذلك، لا تُعَد هذه النسخة مرغوبة في ظل الظروف الحالية؛ بسبب انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون جراء عملية الاستخراج؛ إذ إن كمية الكربون الناتجة عن العملية تساوي ٩ أمثال كمية الهيدروجين المنتجة.**

- **٣- الهيدروجين الأزرق:**

- **يكون الفحم أو الغاز الطبيعي هو المادة الخام المستخدمة لإنتاج الهيدروجين، لكن ما يفرق هذه الطريقة عن الطريقتين السابقتين أنها تكون مصحوبة بعملية تخزين ثاني أكسيد الكربون لاستخدامات أخرى أو احتجازه في باطن الأرض في مغاور ملحية أو في آبار النفط والغاز القديمة.**
- **وهناك تركيز على الهيدروجين الأزرق حاليًا؛ لأنه سهل الاستخراج، وتقنية الاحتجاز والتخزين موجودة أيضًا، وهو بذلك قد يفي بالمتطلبات الاقتصادية والبيئية في الوقت نفسه.**

- **٤- الهيدروجين الأخضر:**

- **ينتج عن طريق فصل جزيئات الماء إلى هيدروجين وأكسجين عبر التحليل الكهربائي للماء المعتمد على الطاقة المتجددة، ورغم أن هذه الطريقة لا تنتج أي انبعاثات ضارة بالبيئة فإن كمية الطاقة المستخدمة لفصل جزيئات الماء والحصول على الهيدروجين أكبر من كمية الطاقة في الهيدروجين ، لذلك فإنها طريقة غير مجدية اقتصاديًا.**

- **٥- الهيدروجين الأصفر:**

- **يُطلق على الهيدروجين المنتج بالتحليل الكهربائي للماء عبر استخدام الكهرباء المنتجة من محطات الطاقة النووية بدلًا من الطاقة المتجددة، وهي كذلك طريقة صديقة للبيئة ، إذ لا تطلق انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.**
- **وفي حين أن مصدر الطاقة في عملية إنتاج الهيدروجين الأسود والرمادي والأزرق هو الطاقة الحرارية؛ فإن الطاقة المتجددة تكون مصدر الطاقة في حالة الهيدروجين الأخضر، بينما يعتمد الهيدروجين الأصفر على الطاقة النووية.**

- **٦- الهيدروجين التركوازي أو الفيروزي:**

- **يُستخرج الهيدروجين عن طريق التحلل الحراري للكتلة الحيوية؛ إذ يُنتج تفكيكها الهيدروجين والكربون الصلب بصفته منتجًا ثانويًا، وفائدة هذه العملية انعدام انبعاثات الكربون؛ لكنها تطلق الكربون الصلب، وهي مادة لها استخدامات صناعية متعددة ، كإطارات السيارات.**

إستخدامات الهيدروجين

- **وقود لسفن الفضاء**
- في عام ١٩٥٨، كانت بداية استخدام الهيدروجين، وذلك بالتزامن مع تأسيس وكالة الفضاء الاميركية (ناسا) حيث اعتمدت على الهيدروجين السائل لدعم البعثات المرسلة للفضاء.
- **وقود للسيارات**
- يتبع عدد المركبات العاملة باستخدام خلايا وقود الهيدروجين مسارًا صعوديًا بشكل مطرد؛ إذ شهد عام ٢٠١٩ طفرة غير مسبوقة بعدما تضاعف الأسطول العالمي لأكثر من ٢٥ ألف سيارة مقارنة بـ١٣ ألف مركبة تقريبًا في عام ٢٠١٨.
- وتتصدر الولايات المتحدة دول العالم في الاعتماد على الهيدروجين بصفته وقودًا للمركبات، بأسطول يضم ٨٠٣٩ مركبة، تليها الصين (٦١٨٠ مركبة) وكوريا الجنوبية (٥٠٨٣ مركبة) واليابان (٣٦٣٣ مركبة)، بينما على الصعيد العربي تأتي السعودية والإمارات في الصدارة (الإجمالي في البلدين يبلغ ٩ مركبات)، حسب المعلومات التي نقلتها وحدة أبحاث الطاقة عن تقرير منظمة أوابك.
- **وقود للقطارات**
- شهد عام ٢٠١٩ تشغيل قطارين يعملان بخلايا الوقود في ألمانيا، بالإضافة للخطط الرامية لتشغيل ١٤ قطارًا آخر في الدولة نفسها، وتخطط كندا لتطوير أول قطار يعمل بالهيدروجين في أميركا الشمالية، كما أعلنت كل من إسبانيا وفرنسا وإيطاليا والمملكة المتحدة خططًا لإدخال الهيدروجين في قطاع السكك الحديدية.
- **وقود للطائرات**
- رغم عدم وصول الهيدروجين لمرحلة التطبيق التجاري على نطاق واسع بصفته وقودًا في قطاع النقل الجوي؛ فإن العديد من الشركات -مثل شركة بوينغ الأميركية- أبدت اهتمامًا بتنفيذ مشروعات تجريبية من أجل استخدامه وقودًا للطائرات؛ بهدف القضاء على الانبعاثات تمامًا في هذا القطاع بحلول عام ٢٠٥٠.
- **وقود لتوليد الكهرباء**
- يمكن استخدام الهيدروجين وقودًا للتوربينات مباشرة -وهي عملية متاحة في الوقت الحالي تجاريًا، لكنها تعتمد على استخدام خليط الهيدروجين مع الغاز الطبيعي- كما يمكن استخدام الأمونيا المنتجة من الهيدروجين في عمليات توليد الكهرباء المشتركة عبر المحطات العاملة بالفحم.
- وبينما بدأت الشركات المصنعة للتوربينات في تطوير توربينات للعمل على الهيدروجين النقي -أي ١٠٠% هيدروجين- فإنه يُتوقع أن تدخل هذه العملية التطبيق التجاري بحلول عام ٢٠٣٠.

تخزين الهيدروجين

- في السنوات الأخيرة، شهد العالم اهتمامًا متزايدًا بالهيدروجين كوقود نظيف وقابل للتجديد كبديل للوقود الأحفوري ، مع زيادة الطلب على الهيدروجين، فإن الحاجة إلى طرق فعالة وآمنة لتخزينه أصبحت أكثر أهمية.
- واحدة من الحلول هي استخدام المكامن النفطية المهجورة كمواقع لتخزين الهيدروجين.
- هذه المكامن المنتهية أو شبه المنتهية أو المتروكة قد تكون مناسبة نظرًا لتوفر البنية التحتية اللازمة وخصائصها الجيولوجية الملائمة.

- حيث تواجه صناعة حقول النفط والغاز ضغوطًا متزايدة لمعالجة التأثير البيئي والانتقال نحو الممارسات المستدامة - هناك تحديان رئيسيان يمثلان فرصًا للتحسين:
- ١. حرق الغاز الطبيعي
- - يؤدي إلى إطلاق غازات الدفيئة وإهدار موارد قيمة.
- ٢. إدارة المياه المنتجة - المعالجة والتخلص من الطاقة المكثفة.
- - إن إنتاج الهيدروجين من (الغاز المشتعل والمياه المنتجة) يمثل حلاً واعداً.

– يعتبر الهيدروجين ناقلًا للطاقة النظيفة وله العديد من التطبيقات، مما يساهم في تحول الطاقة - يمكن الاستفادة من هذه الموارد غير المستغلة.

– - تقليل البصمة البيئية.

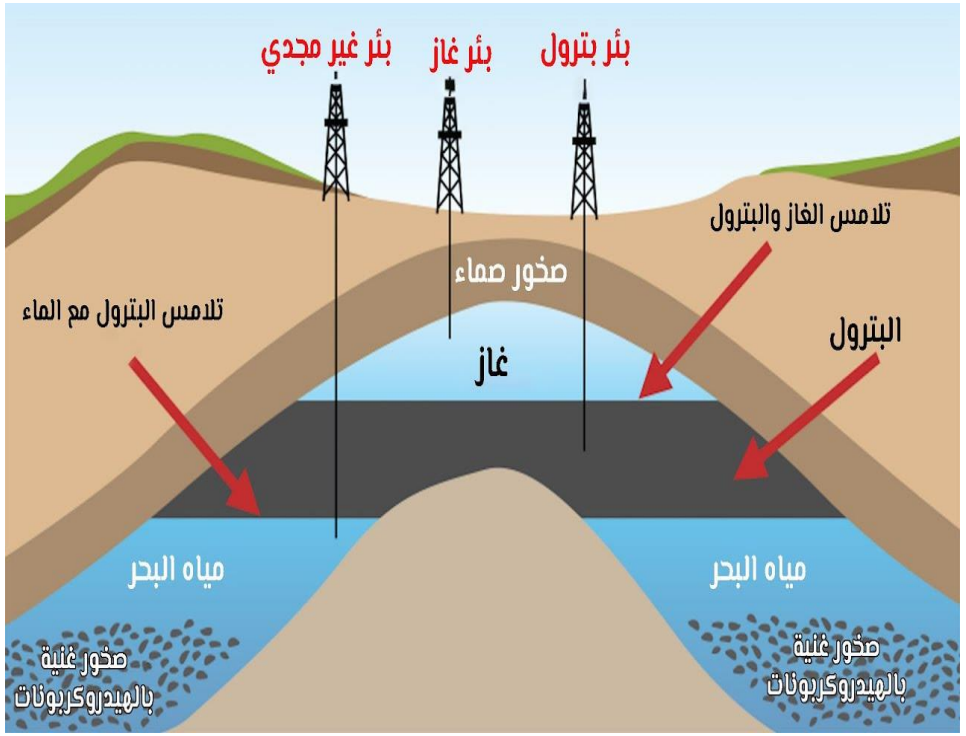
– - توليد مصادر دخل جديدة.

م باليمن، وشركة (ODS) لخدمات الأعمال الرقمية بمصر، من ٠١ يوليو حتى ٣٠ أكتوبر ٢٠٢٤

شريك تنظيمي

المكامن النفطية

- يمكن تعريف المكمن النفطي او المكامن بانها الصخور التي تتجمع فيها الموائع الهيدروكاربونية من نفط وغاز طبيعي او كلاهمها بكميات اقتصادية ويمكن استخراجها بالطرق المتوفرة. وتتصف هذه الصخور بخواص فيزيائية معينة مثل المسامية والنفادية وتغطيتها من الاعلي والجوانب طبقات صماء عديمة النفادية ولاتسمح للموائع بالحركة. ويكون الماء الموجود أسفل النفط كمانع لحركة النفط الي الاسفل.



خواص صخور المكمن

- المسامية.
- نسبة حجم الفراغ في وسط مساميّ إلى الحجم الكُليّ لذلك الوسط، حيث يتمّ التعبير عنها عادةً كنسبة مئوية

- الانضغاطية.

- تُعرَّف الانضغاطية بأنَّها تقلُّص وانكماش وحدة الحجم من المادة لكلّ زيادة في وحدة ضغط، وتُعتبر هذه الخاصية ذات أهمية كبيرة بسبب تأثيرها على المسامية أثناء القياس داخل المختبرات وخلال عمر صخور المكمن.

النفادية.

- تُعدُّ النفاذية مقياساً لقدرة السوائل على المرور عبر وسط مساميّ.

انتاج الهيدروجين من الغاز والمياه المصاحبة للانتاج النفط

- إنتاج الهيدروجين من الغاز الطبيعي والمياه المصاحبة للإنتاج النفطي هو أحد الطرق الواعدة لإنتاج الهيدروجين كوقود نظيف. هناك عدة تقنيات رئيسية لهذه العملية
- ١. التحليل الكهربائي للمياه المصاحبة.
- - المياه المصاحبة المياه المصاحبة للإنتاج النفطي غالبًا ما تحتوي على كميات من أملاح الكلوريد والكبريتات.
- يمكن استخدام هذه المياه في عملية التحليل الكهربائي لإنتاج الهيدروجين بطريقة نظيفة وفعالة
- ٢. تقنية البخار-ميثان
- تتضمن هذه التقنية معالجة الغاز الطبيعي بالبخار لإنتاج غاز الهيدروجين والغاز الكربوني.
- تعد هده التقنية من الطرق الرئيسية لانتاج الهيدروجين النظيف من المصادر الهيدروكربونية.
- ٣. تقنية التحفيز الحراري .
- في هذه التقنية، يتم استخدام الحرارة والعوامل المساعدة لتحفيز تفاعلات كيميائية إنتاج الهيدروجين من الغاز الطبيعي.
- هذه الطريقة تتميز بكفاءة طاقة عالية وانبعاثات كربونية منخفضة
- ٤. تقنية الاصلاح الحراري
- تتضمن هذه التقنية تسخين الغاز الطبيعي لإنتاج غاز الهيدروجين والغاز الكربوني.
- هذه الطريقة تتطلب طاقة حرارية كبيرة، ولكنها تنتج هيدروجين بكميات كبيرة.

المخرجات المتوقعة

- **انخفاض انبعاثات الكربون:**

- يمكن أن يساعد استخدام الهيدروجين كوقود أو مادة خام في تقليل البصمة الكربونية لعمليات النفط والغاز عن طريق الاستغناء عن استخدام الوقود الأحفوري وتقليل الاحتراق المباشر للهيدروكربونات. إن إنتاج الهيدروجين من خلال مسارات منخفضة الكربون، مثل التحليل الكهربائي المدعوم بالطاقة المتجددة أو إصلاح بخار الميثان من خلال احتجاز الكربون وتخزينه، يمكن أن يقلل بشكل كبير من انبعاثات غازات الدفيئة المرتبطة بأنشطة النفط والغاز.

- **تحسين كفاءة الطاقة:**

- يمكن أن يؤدي دمج مرافق إنتاج الهيدروجين مع البنية التحتية الحالية للنفط والغاز إلى تعزيز كفاءة استخدام الطاقة بشكل عام في العمليات. على سبيل المثال، يمكن أن يؤدي الاستفادة من الحرارة المهدرة أو تيارات المنتجات الثانوية من عمليات النفط والغاز لتشغيل إنتاج الهيدروجين إلى تحسين استخدام الطاقة وتقليل صافي استهلاك الطاقة.

- **تنويع مصادر الطاقة:**

- إن إدخال الهيدروجين كحامل للطاقة البديلة يمكن أن يساعد في تنويع مزيج الطاقة في حقل النفط، مما يقلل الاعتماد على الوقود الأحفوري التقليدي. يمكن أن يؤدي هذا التنويع إلى تحسين مرونة نظام الطاقة وقدرته على التكيف، مما يمكّن صناعة النفط والغاز من الاستجابة بشكل أفضل لمتطلبات الطاقة المتطورة والتغيرات التنظيمية.

- **مبادئ الاقتصاد الدائري:**

- تتوافق إعادة استخدام خزانات النفط والغاز المستنفدة لتخزين الهيدروجين على نطاق واسع مع مبادئ الاقتصاد الدائري، حيث يتم استخدام مجاري النفايات والأصول الحالية لخلق قيمة جديدة. يمكن أن يساهم هذا النهج في الاستدامة الشاملة لعمليات النفط والغاز من خلال تقليل الحاجة إلى عمليات الاستحواذ على الأراضي الجديدة وتقليل البصمة البيئية المرتبطة بتطوير مرافق تخزين الحقول الخضراء.

- **الامتثال التنظيمي والترخيص الاجتماعي:**

- يمكن أن يساعد دمج حلول الهيدروجين صناعة النفط والغاز على معالجة المخاوف البيئية المتزايدة والامتثال للمتطلبات التنظيمية الصارمة بشكل متزايد المتعلقة بالانبعاثات وإدارة المياه واستخدام الأراضي. علاوة على ذلك، فإن إظهار الالتزام بالاستدامة والإشراف البيئي من شأنه أن يعزز الرخصة الاجتماعية لهذه الصناعة للعمل وتحسين التصور العام لها.

الدراسات سابقة

- **دراسة في المانيا ٢٠٢٠**
- أجرت جامعة ألمانية دراسة حالة لتقييم إمكانية تخزين الهيدروجين في حقل نفطي مهجور في شمال ألمانيا.
  - خلصت الدراسة إلى أن الحقل المختار له خصائص جيولوجية مناسبة لتخزين الهيدروجين بطريقة آمنة وفعالة. .
  - تم اقتراح خطة تجريبية لتطبيق هذه التقنية على نطاق صغير في الحقل.
  - خلصت الدراسة إلى أن هذه التقنية تُعد أكثر أمانًا بيئيًا من تخزين الهيدروجين في مناطق اخري نظرا لطبيعة التكوينات الجيولوجية. .
- **مشروع تجريبي في كندا (٢٠٢١-٢٠٢٢) .**
  - قامت شركة كندية بالتعاون مع الحكومة بتنفيذ مشروع تجريبي لتخزين الهيدروجين في حقل نفطي مهجور في ألبرتا. .
  - تضمن المشروع حفر بئر تجريبي وإجراء اختبارات مختبرية وميدانية لتقييم جدوى هذه التقني .
  - النتائج الأولية كانت إيجابية وأشارت إلى إمكانية تطبيق هذه التقنية بشكل عملي..
- **دراسة في الولايات المتحدة ٢٠١٩**
- أجرت إحدى الجامعات الأمريكية دراسة نظرية لتحديد المتطلبات والتحديات الفنية لتخزين الهيدروجين في المكامن النفطية المهجورة.
- ركزت الدراسة على الجوانب الجيولوجية والهندسية والاقتصادية لهذه التقنية.
- خلصت إلى إمكانية تطبيقها على نطاق واسع في المستقبل مع المزيد من البحث والتطوير.