الوقود الذي قد يغيّر العالم: قراءة في أسرار الضجة حول الهيدروجين الأخضر

1 .مدخل علمي: ما هو الهيدروجين الأخضر ولماذا يُعدّ مختلفًا؟

يُعرَّف الهيدروجين الأخضر بأنه الهيدروجين المنتج باستخدام مصادر طاقة متجددة (مثل الكهرباء المولدة من الشمس أو الرياح) عبر عملية تحليل الماء كهربائيًا، مما يؤدي إلى فصل جزيئات الماء إلى عنصري الهيدروجين والأكسجين دون أي انبعاثات كربونية مباشرة. يتم تمييز الهيدروجين بعدة ألوان وفقًا لمصدر إنتاجه: فالهيدروجين الرمادي يُنتج من الوقود الأحفوري) كالغاز الطبيعي عبر إعادة التشكيل البخاري steam reforming أو من الفحم عبر تغويز الفحم (من دون احتجاز للكربون، مما ينجم عنه انبعاثات كربونية كثيفة. فعلى سبيل المثال، يُطلق إنتاج 1 كجم من الهيدروجين الرمادي ما يقارب 11 إلى 13.7 كجم من ثاني أكسيد الكربون المكافئ، ما يجعله غير ملائم لتحقيق أهداف المناخ.(Global Hydrogen Review [GH2], 2024)

أما الهيدروجين الأزرق فهو الهيدروجين نفسه المنتج من الوقود الأحفوري (كالغاز) لكن مع تطبيق تقنية احتجاز وتخزين الكربون (CCS)لالتقاط معظم انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. هذا النهج قد يخفّض الانبعاثات ولكنه لا يلغيها كليًا. كما أن فعالية الاحتجاز لم تصل عمليًا حتى الآن إلى الحد الأعلى النظري (85–95%)، إضافة إلى تسربات الميثان المحتملة خلال إنتاج ونقل الغاز الطبيعي – والميثان غاز دفيئة أقوى بكثير من CO_2. لذا يُنظر إلى الهيدروجين الأزرق كحل مرحلي قصير الأجل لدعم سوق الهيدروجين، مع إدراك محدودياته البيئية. في المقابل، يتم إنتاج الهيدروجين الأخضر من الكهرباء المتجددة والماء فقط، وبالتالي يُعدّ خيارًا شبه منعدم الانبعاثات إذا كان مصدر الكهرباء نظيفًا. لهذا السبب يُوصف بالمسار الأنسب للوصول بصافي الانبعاثات إلى الصفر، إذ لا يُخلّف غازات دفيئة عند الإنتاج أو الاستخدام النهائي.(IRENA, 2023)

تنبع أهمية الهيدروجين الأخضر من قدرته على تخفيف الانبعاثات في القطاعات الصناعية ووسائل النقل "صعبة التخفيض" التي يصعب كهربة عملياتها. في مقدمة هذه القطاعات الصناعة الثقيلة مثل إنتاج الصلب، حيث يستخدم الهيدروجين كعامل مختزل في إنتاج الحديد الإسفنجي بديلًا عن الفحم في الأفران العالية التقليدية، مما يخفض انبعاثات صناعة الحديد التي تُقدَّر عالميًا بحوالي 7% من إجمالي انبعاثات CO_2. بالفعل، أعلنت شركات رائدة عن مشاريع لصلب "أخضر" باستخدام الهيدروجين بدلاً من الفحم) مثل مشروع HYBRIT في السويد.(

أيضًا قطاع إنتاج الأمونيا (للأسمدة والكيماويات) يعتمد اليوم كليًا على الهيدروجين المنتج من الغاز الطبيعي (رمادي). تحويل هذا القطاع إلى الهيدروجين الأخضر يعني إزالة كمٍّ هائلٍ من انبعاثات صناعة الأسمدة، حيث يُستخدم نحو 43% من الهيدروجين العالمي حاليًا لصناعة الأمونيا. ولا يقتصر الأمر على تقليل الانبعاثات؛ بل يمكن استخدام الأمونيا الخضراء ذاتها كوقود للسفن مستقبلًا أو كناقل للهيدروجين.(Ammonia Energy Association, 2023)

أما قطاع الطيران فيمثّل تحديًا فريدًا نظرًا لمتطلبات الطاقة العالية للرحلات الجوية. هناك توجه لاستخدام الهيدروجين إما بشكل مباشر في محركات احتراق معدلة أو بشكل غير مباشر عبر الوقود الاصطناعي (الكيروسين الصناعي) المنتج من الهيدروجين

الأخضر وثاني أكسيد الكربون الملتقط. ورغم ارتفاع تكلفة هذه الحلول اليوم (يُقدَّر أن الوقود الاصطناعي للطيران قد يكون حاليًا أعلى تكلفة بثماني مرات من الوقود التقليدي)، إلا أنه يُنظر إليها كسبيل ضروري لجعل الطيران التجاري محايدًا كربونيًا بحلول منتصف القرن. كذلك قطاع الشحن البحري يُعاني من انبعاثات كبيرة من زيت الوقود الثقيل، ويُتوقع للهيدروجين الأخضر ومشتقاته (كالأمونيا أو الميثانول الأخضر) أن تلعب دور الوقود النظيف للسفن في المستقبل. هذه القطاعات يصعُب تخفيض انبعاثاتها بالاعتماد على البطاريات الكهربائية وحدها بسبب احتياجات الطاقة الكثيفة والطبيعة التشغيلية لها (مثل الرحلات الجوية طويلة المدى أو شحن الحاويات عبر المحيطات)، ومن هنا تبرز أهمية تطوير سلسلة إمداد للهيدروجين الأخضر تلبي تلك الاحتياجات.

إن مقارنة أنواع الهيدروجين المختلفة من حيث البصمة الكربونية والتكلفة تُظهر بوضوح تفوّق الهيدروجين الأخضر بيئيًا، لكنه لا يزال الأعلى تكلفة اقتصاديًا في الوقت الراهن. فبينما يُنتَج الهيدروجين الرمادي بتكلفة منخفضة (حوالي 1 إلى 1.5 دولار لكل كجم H_2) (GH2, 2024) في الظروف الطبيعية) مصحوبة بانبعاثات عالية) نحو 10 كجمCO_2/كجم ، تأتي خيارات الهيدروجين المنخفض الكربون أعلى كلفة: فالهيدروجين الأزرق يكلف إنتاجه أكثر بسبب إضافة تكاليف التقاط الكربون ونقله وتخزينه، ناهيك عن كلفة الطاقة المهدورة في العملية. أما الهيدروجين الأخضر حاليًا فكلفته أعلى بنحو 2 إلى 4 مرات من الهيدروجين الأحفوري التقليدي.(IRENA, 2023; S&P Global, 2025)

على سبيل المثال، قُدِّرَت تكلفة إنتاج الهيدروجين الأخضر في السوق الأوروبية بحوالي 10 يورو لكل كجم في أواخر 2025، مقارنةً بحوالي 2.6 يورو/كجم فقط للهيدروجين المنتج من الغاز الطبيعي دون احتجاز الكربون .(S&P Global, 2025) يرجع هذا الفارق الكبير في التكلفة إلى عدة عوامل، لكن الجدير بالذكر أن أكثر من 60% من تكلفة إنتاج الهيدروجين الأخضر تعود لكلفة الكهرباء اللازمة لتشغيل المحللات الكهربائية. ولهذا فإن انخفاض أسعار الكهرباء المتجددة وتحسن كفاءة تقنيات التحليل الكهربائي هما مفتاح تقليص تلك الفجوة. بالفعل، تشير تحليلات دولية (منها وكالة الطاقة الدولية ووكالة الطاقة المتجددة – إيرينا) إلى أن تكلفة الهيدروجين الأخضر مرشحة للانخفاض السريع خلال العقد القادم. فتحسينات التكنولوجيا وتحقيق وفورات الحجم قد تخفّض كلفة إنتاجه العالمية إلى حوالي 2.0–2.5 دولار لكل كجم بحلول 2030، ما سيجعل الهيدروجين النظيف منافسًا حقيقيًا للهيدروجين الأحفوري في العديد من المناطق والاستخدامات .(Maintworld, 2024; IRENA, 2023)

2 .الجدوى الاقتصادية – حلم الطاقة النظيفة أم فقاعة جديدة؟

يمثل العائق الاقتصادي والتقني الجانب الأكثر إشكالية في قصة الهيدروجين الأخضر اليوم. فرغم زخم الإعلانات الاستراتيجية، لا يزال الهيدروجين النظيف أغلى كلفة بعدة أضعاف من البدائل القائمة على الوقود الأحفوري. وكما أسلفنا، تكلف إنتاج كيلوغرام واحد من الهيدروجين الأخضر حاليًا 2 إلى 4 أضعاف كلفة إنتاج نفس الكمية بالطرق التقليدية (الرمادي). وتعتمد التكلفة الإنتاجية للهيدروجين الأخضر بشكل أساسي على ثلاثة عوامل: سعر الكهرباء المستخدم، كفاءة جهاز التحليل الكهربائي وتكلفته الرأسمالية، وعدد ساعات التشغيل (الاستفادة من قدرة الجهاز على مدار العام). من بين هذه العوامل، تعد كلفة الكهرباء العامل المهيمن – إذ تشكل ما يفوق 60% من كلفة إنتاج الهيدروجين الأخضر في معظم التقديرات.(Transport & Environment, 2024)

العامل الثاني هو كفاءة المحللات الكهربائية وتكاليف تصنيعها. التقنيات الحالية (تحليل كهربائي بالغشاء القلوي أو بغشاء البروتون) تحقق كفاءة تحويل كهربائية إلى هيدروجين تقارب 65–70%، أي أن حوالي 30–35% من الطاقة تضيع خلال عملية تحليل الماء .(IRENA, 2023) هذه الخسائر التقنية تعني حاجة إلى كهرباء إضافية لإنتاج كمية معينة من الهيدروجين، وبالتالي رفع

التكلفة. كما أن المحللات لا تزال في طور التطور التقني – لم تصل بعد إلى اقتصاديات التصنيع واسعة النطاق. ولكن مع زيادة الطلب، يتوقع أن تنخفض تكاليفها بنسب معتبرة عبر منحنى التعلم الصناعي. تُقدر دراسات صناعية (مثل مجلس الهيدروجين) أنه بالإمكان تقليص تكاليف معدات التحليل الكهربائي بحوالي 60–80% بحلول 2030 إذا تحقق النشر الواسع كما هو مخطط (Maintworld, 2024).

وهذا بدوره سيخفض تكلفة الهيدروجين المنتج بشكل جوهري. أضف إلى ذلك أن تحسين كفاءة الأجهزة ولو بعدة نقاط مئوية سيخفض من استهلاك الطاقة لكل كجم. بالفعل، هناك أبحاث لتطوير محللات تعمل عند درجات حرارة أو ضغوط أعلى لتحسين الكفاءة، أو تقنيات جديدة) مثل التحليل الكهربائي بأكسيد صلب (SOEC تعد بكفاءة أعلى. مثل هذه الابتكارات يمكنها تخفيض تكلفة الإنتاج بعدة طرق متزامنة: توفير في استهلاك الكهرباء، وتقليل حجم المعدات المطلوبة، وإطالة عمر التشغيل.

العامل الثالث هو معدل الاستخدام وعدد ساعات التشغيل للمحلل الكهربائي. فالمحلل الكهربائي جهاز ذو تكلفة رأسمالية عالية، ولكي ينعكس الاستثمار إلى تكلفة مخفضة لكل كجم هيدروجين يجب تشغيله لأطول مدة ممكنة سنويًا (على نحو يشبه محطات الكهرباء – حيث التكلفة الثابتة تتوزع على عدد ساعات التشغيل). هنا يظهر أحد التحديات: مصادر الطاقة المتجددة متقطعة بطبيعتها (الشمس تُشرق نصف اليوم والرياح تتقلب). إن تشغيل المحللات باستخدام كهرباء متجددة فقط قد يؤدي إلى عدد ساعات تشغيل منخفض (مثلاً 2000 ساعة/سنة في حالة الاعتماد على الطاقة الشمسية فقط). ولزيادة معدل الاستخدام قد يضطر المنتجون إما إلى الجمع بين مصادر متعددة (شمس + رياح لتحقيق تكامل أفضل) أو إضافة مصادر تخزين كهرباء أو قبول تشغيل المحلل أحيانًا على كهرباء شبكة ليست 100% متجددة.

كل خيار من هذه له اعتبارات تنظيمية وفنية؛ فمثلًا الاتحاد الأوروبي وضع قواعد صارمة لضمان "إضافية" مصادر الطاقة المتجددة للهيدروجين الأخضر وتقيد أوقات التشغيل لتتوافق مع إنتاج المتجدد، تفاديًا لاستخدام كهرباء منشأة من الوقود الأحفوري في تشغيل المحللات. هذه المتطلبات رغم فائدتها البيئية قد تقلل من مرونة التشغيل وتزيد الكلفة إذا لم تتوفر بنية تحتية كافية من طاقات متجددة فائضة.(European Commission, 2023)

إلى جانب التكلفة، تواجه سلسلة قيمة الهيدروجين تحديات تقنية في النقل والتخزين والسلامة. فجزيئات الهيدروجين صغيرة جدًا ويمكنها التسرب بسهولة عبر المواد، كما أنها تجعل بعض الفولاذ هشًا (ظاهرة التقصف الهيدروجيني) مما يطرح تحديات لنقلها في الأنابيب القديمة المصممة للغاز الطبيعي. أيضًا كثافة الطاقة الحجمية للهيدروجين منخفضة جدًا في الظروف العادية: إذ يحتوي الهيدروجين الغازي عند الضغط الجوي على جزء ضئيل جدًا من الطاقة في وحدة الحجم مقارنة بالغاز الطبيعي أو البنزين. لذلك يجب تكثيفه إما بالضغط أو التسييل للتخزين العملي. ضغط الهيدروجين إلى 700 بار (المستخدم في خزانات وقود المركبات مثلًا) يتطلب طاقة ويزيد تكلفة الخزانات بسبب ضرورة صنعها من مواد عالية التحمل. أما تسييل الهيدروجين بتبريده إلى حوالي −253° مئوية فيستهلك طاقة ضخمة أيضًا (قد تصل إلى 30% من محتوى الطاقة في الهيدروجين نفسه لتسييله)(IRENA, 2023) ، ويستلزم تقنيات عزل حراري متقدمة للحد من خسائر الغليان المستمر.

وعلاوة على ذلك، الهيدروجين السائل كثافته حوالي 70–80 كجم/م³ فقط، أي يأخذ حيزًا كبيرًا حتى عند تسييله مقارنة بالوقود السائل التقليدي. هذه الصعوبات جعلت استخدام حوامل الهيدروجين البديلة خيارًا مغريًا لبعض تطبيقات النقل والتخزين. من أبرز هذه الحوامل الأمونيا (NH_3) التي يمكن إنتاجها من الهيدروجين بسهولة، لكن تحويل الهيدروجين إلى أمونيا ثم إعادة استخدامه

يتضمن خطوات تحويل إضافية تؤدي إلى فقدان جزء من الطاقة (حوالي 13–25% تفقد أثناء تحويل الهيدروجين إلى حوامل مثل الأمونيا أو الميثانول)(IRENA, 2023) ، ناهيك عن ضرورة إعادة تكسير الأمونيا إذا أريد استخدام الهيدروجين ذاته في النهاية (وهي عملية عكسية صعبة). ومع ذلك، في بعض التطبيقات يمكن حرق الأمونيا مباشرة كوقود (كما يُخطط في بعض محركات السفن أو في محطات توليد كهرباء مختلطة) مما يتجاوز خطوة تفكيكها لهيدروجين حر .

السلامة والتعامل مع الهيدروجين مسألة تقنية أخرى حاسمة. فالهيدروجين غاز شديد الاشتعال وواسع مدى الاشتعال في الهواء (من تركيز 4% إلى 75% حجمًا)، ويحتاج إلى عناية في التصميم التشغيلي لتجنب الحوادث. كما أن لهب الهيدروجين يكاد يكون غير مرئي بالعين المجردة. هذه الخصائص ليست عوائق مستعصية (الغاز الطبيعي أيضًا قابل للاشتعال وقد تم تطوير معايير أمان له)، لكنها تعني الحاجة لوضع معايير أمان خاصة للهيدروجين في كل مراحل الإنتاج والتخزين والنقل والاستخدام. على سبيل المثال، يجب تجهيز المنشآت بأجهزة استشعار تسرب فائقة الحساسية، ومواد بناء مقاومة لتأثيرات الهيدروجين، وأنظمة تهوية ومنع اشتعال في الأماكن المغلقة حيث يُحتمل تراكمه.الهيئات التنظيمية بدأت بالفعل صياغة معايير أولية، لكن انتشار استخدام الهيدروجين على نطاق واسع يستدعي تحديثًا شاملاً للأكواد الهندسية ومعايير الأمان الصناعية لتشمل هذه الخصوصيات.

أخيرًا، يجدر ذكر التحديات المرتبطة بدمج الهيدروجين في البنية التحتية للطاقة الحالية. فعلى سبيل المثال، هنالك اهتمام بفكرة مزج نسبة من الهيدروجين مع الغاز الطبيعي في شبكات التوزيع كوسيلة لامتصاص الإنتاج الزائد من الهيدروجين تدريجيًا. بيد أن الدراسات تظهر أن القدرة على المزج محدودة فنيًا؛ إذ توصي أغلب التقديرات بألا تزيد نسبة الهيدروجين عن 5% إلى 20% حجماً في خطوط الغاز القائمة لتجنب مشكلات في المواسير أو الأجهزة المنزلية. وحتى عند مزج 20% حجميًا من الهيدروجين، يكون الوفر في انبعاثات CO_2 للتطبيقات النهائية بحدود 7% فقط، نظرًا لانخفاض محتوى الطاقة الحجمي للهيدروجين (ScienceDirect, 2024; American Gas Association [AGA], 2022).

لذا فهذا الحل له أثر محدود وقد يكون مكلفًا بدون مردود كبير. البديل الأكثر نجاعة هو بناء بنية تحتية مخصصة للهيدروجين: شبكات أنابيب لنقل الهيدروجين النقي أو إنشاء محطات للتصدير والاستيراد (مثلاً لمشتقات الهيدروجين كالأمونيا). هذا بالطبع يتطلب استثمارات ضخمة وتخطيطًا طويل المدى. الاتحاد الأوروبي يُقدّر الحاجة إلى آلاف الكيلومترات من خطوط الهيدروجين الجديدة أو المحوّلة بحلول 2030 لنقل الهيدروجين بين مناطق الإنتاج والاستهلاك. وبالمقارنة، اليوم لا يوجد سوى حوالي 5000 كم من أنابيب الهيدروجين في العالم (معظمها في مواقع صناعية محدودة)، مقابل أكثر من 3 ملايين كم من خطوط الغاز الطبيعي القائمة (IRENA, 2023).هذا يعكس مدى العمل المطلوب في جانب البنية التحتية إذا ما أُريد للهيدروجين أن يصبح جزءًا أساسيًا من مزيج الطاقة المستقبلي.

3 .خلاصة تحليلية – بين البديل الواقعي والوهم السياسي

بعد استعراض مفصّل لمختلف جوانب قضية الهيدروجين الأخضر، يتضح أن الهيدروجين ليس حلاً سحريًا بسيطًا ولا وهمًا زائفًا بالكامل؛ بل هو تقنية واعدة لها دور محوري في مجالات محددة، لكنها ليست عصا سحرية يمكن أن تحل كل معضلات الطاقة بسهولة. إن التقييم الواقعي لمكانة الهيدروجين الأخضر يتطلب مصفوفة قرار شاملة تأخذ بالحسبان القطاع المعني، وكفاءة استخدام الهيدروجين فيه، والتكلفة النسبية، وكذلك الدوافع السياسية والاستراتيجية.

على جانب البديل الواقعي: يبدو جليًا من التحليلات أن الهيدروجين الأخضر سيكون بديلًا لا غنى عنه في التطبيقات التي تفتقر لبدائل أخرى عملية لخفض الكربون. في مقدمة هذه التطبيقات الصناعات الثقيلة (مثل تصنيع الحديد والصلب، المواد الكيميائية كالأمونيا والميثانول) حيث يعد الهيدروجين مادة لقيم (feedstock) حاليًا أو وقودًا عالي الحرارة ولا توجد خيارات كهربائية مباشرة فعّالة. كذلك قطاع الشحن البحري لمسافات طويلة يُرجح أن يحتاج إلى وقود قائم على الهيدروجين (أمونيا أو ميثانول) نظرًا لصعوبة استخدام البطاريات على نطاق السفن العابرة للمحيطات. الطيران التجاري لمسافات طويلة أيضًا سيكون من الصعب تشغيله بالكهرباء البطارية، لذا الوقود الاصطناعي أو حتى الهيدروجين السائل للطائرات قد يكونان الحل الوحيد لخفض الانبعاثات بشكل عميق، بالرغم من تكلفتهما المرتفعة الحالية.

في هذه المجالات، يُعد الهيدروجين خيارًا واقعيًا بل وضروريًا لتحقيق الأهداف المناخية، ويتوقع أن تنخفض تكاليفه مع الوقت ليصبح قابلًا للتطبيق تجاريًا. بالفعل، شهدنا أولى البوادر: مصانع تجريبية للحديد القائم على الهيدروجين في أوروبا حققت إنتاجًا فعليًا) مشروع HYBRIT في السويد أنتج أول دفعة من الحديد الإسفنجي الأخضر عام 2021(، وشركات شحن كبرى بدأت بتطوير محركات تعمل بالأمونيا، وشركات طيران تستثمر في أبحاث الوقود الاصطناعي. كل هذا يعزز الاعتقاد أن الهيدروجين الأخضر بديل واقعي عندما يكون الطلب على الطاقة كثيفًا جدًا أو يتطلب كثافة نوعية عالية لا توفرها حلول الكهرباء المباشرة. كما أن الجانب الجيوسياسي كما رأينا يدفع دولًا عديدة للاستثمار فيه بجدية، مما يعني زخمًا سيؤدي في النهاية لتطوره كمصدر طاقة أساسي في مزيج المستقبل.

في المقابل، يظهر الهيدروجين كوهم سياسي حين يتم طرحه كواجهة دعائية أو حل شامل دون مراعاة للجدوى الحقيقية. فقد شهدنا خلال السنوات القليلة الماضية توجه بعض الساسة لإبراز الهيدروجين في كل سياق تقريبًا – حتى في الحالات التي لا يكون فيها منطقيًا أو فعالاً. على سبيل المثال، استخدام الهيدروجين لتدفئة المنازل أو لتوليد الكهرباء في محطات مركزية (وهي تطبيقات يمكن أن تُخدم بكفاءة أعلى عبر الكهرباء مباشرة أو مصادر متجددة أخرى) يبدو غير منطقي اقتصاديًا: فحرق الهيدروجين لأجل توليد كهرباء يضيع معظم محتواه من الطاقة خلال دورة الإنتاج والاستخدام مقارنة باستخدام تلك الكهرباء مباشرة في البداية (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2023).

كذلك وضع آمال على انتشار سيارات الركاب بخلايا الوقود في حين أن السيارات الكهربائية بالبطارية سبقتها بسنوات ضوئية في الانتشار والبنية التحتية، يعتبر رهانًا خاسرًا على الأرجح – في هذه الحالة، المنافس التقني (البطارية) أكثر كفاءة بثلاثة أضعاف في تحويل الكهرباء لحركة. لذا أي خطاب سياسي يُروج للهيدروجين في كل شيء من السيارات إلى التدفئة إلى حتى القطارات الكهربائية (رغم وجود شبكات كهرباء) قد يدخل في نطاق "الوهم" إن لم يدعمه تحليل واقعي.

جانب آخر من الوهم السياسي يظهر حين يُستغل الهيدروجين كذريعة لتأجيل إجراءات أكثر إلحاحًا أو كغطاء أخضر لمشاريع غير نظيفة بالكامل. فبعض شركات الوقود الأحفوري تطرح الهيدروجين الأزرق كحل لتبرير استمرار استخراج الغاز الطبيعي بكميات كبيرة، رغم الشكوك حول إمكانية احتجاز معظم الكربون بكفاءة والتساؤلات حول تسربات الميثان (IRENA, 2023; Global Hydrogen Organisation [GH2], 2024).إن الإفراط في الوعود حول الهيدروجين قد يؤدي إلى إضاعة الوقت والموارد على حساب حلول أخرى متاحة فورًا (مثل الكهربة المباشرة أو كفاءة الطاقة)، فيما يظل الهيدروجين قيد التطوير. وقد حذّر خبراء من مغبة "حمّى الهيدروجين" هذه التي قد تعيد توجيه الانتباه بعيدًا عن خفض الانبعاثات الآن .

ولعل المصفوفة المثلى لاتخاذ القرار حتى عام 2035 هي تلك التي تقيم كل قطاع من حيث جدوى الهيدروجين فيه مقابل البدائل. هذه المصفوفة ستظهر مثلاً: في قطاع الكهرباء (توليد الطاقة)، استخدام الهيدروجين يجب أن يقتصر على التخزين الموسمي أو كميات احتياطية في أنظمة عالية الاختراق من المتجددة، وليس لحرقه باستمرار لتوليد الكهرباء، لأن البدائل (الرياح والشمس والبطاريات) أرخص وأكفأ عادة. في قطاع المباني، ربما يكون من المجدي استخدام الهيدروجين في صناعات التدفئة عالية الحرارة أو في بعض المنشآت الصناعية، لكنه ليس منطقيًا لتسخين منازل فردية حين تتوفر مضخات حرارية كهربائية ذات كفاءة تبلغ 300%. بالمقابل، في القطاعات الصناعية الثقيلة سنضع علامة تفضيل للهيدروجين (خصوصًا الأخضر) كحل رئيس، مع مراعاة التكلفة: مثلاً قد تظهر الخلايا الكهروضوئية المباشرة لإنتاج الحديد (اختزال مباشر بالكهرباء) كمنافس في المستقبل، لكن حاليًا الهيدروجين هو الخيار الأوفر حظًا لإزالة الكربون من الحديد. كذلك الأمر في النقل الثقيل بعيد المدى: سنعتبر الهيدروجين (أو مشتقاته) مرشحًا قويًا للشاحنات الطويلة المدى، ربما بالتنافس مع البطاريات في بعض الحالات، أما للسيارات العادية فسيأخذ مرتبة متأخرة. هذه المقاربة التفاضلية ستساعد في توجيه السياسات والاستثمارات حيث تكون أكثر فعالية، وتجنب جعل الهيدروجين شعارًا سياسيًا فارغًا.

في الخلاصة، الهيدروجين الأخضر يمثل أحد أعمدة انتقال الطاقة، لكن يجب وضعه في موقعه المناسب. هو طاقة المستقبل حقًا عندما يتعلق الأمر بالصناعة الثقيلة والطيران والشحن وبعض أنماط التخزين الموسمي للطاقة – حيث لا حلول أخرى مستدامة بنفس الفعالية. وفي هذه المجالات ينبغي تسريع البحث والاستثمار في سلسلة إمداده والبنية التحتية الداعمة له، مع التعاون الدولي لتخفيض تكاليفه وتعظيم استفادة الجميع. أما كونه وهمًا سياسيًا، فيتجسد حين يُستخدم كشعار لتأجيل التحول أو كحجة لمواصلة أعمال كالمعتاد في استهلاك الوقود الأحفوري، أو حين يتم تعميمه بلا تمييز على قطاعات ليست مجدية له تقنيًا أو اقتصاديًا.

على صناع القرار والمستثمرين إذن التعامل مع الهيدروجين الأخضر بمهنية وواقعية: تحديد الأولويات (قطاعات "لا بديل عنها" أولًا)، سد الفجوات (بالدعم المؤقت والتحفيز لخفض التكلفة)، وبناء التعاون الدولي (بين المنتجين والمستهلكين المحتملين) لتأسيس سوق عالمية شفافة. بهذا النهج، يمكن للهيدروجين الأخضر أن يتحول من ضجيج إعلامي إلى حل مناخي حقيقي يساهم بنسبة معتبرة في الطاقة بحلول 2035 وما بعدها، دون أن يكون فقاعة وعود. وكما هو الحال مع أي تقنية جديدة، الزمن والتجربة العملية كفيلان بكشف الخيط الفاصل بين الطموح المشروع والوهم – والهيدروجين الأخضر الآن على أعتاب تلك المرحلة من الاختبار الواقعي.

المراجع :

Ammonia Energy Association. (2024). Global hydrogen review 2024: FID doubles, low-emission ammonia takes center stage. Retrieved from https://www.ammoniaenergy.org/articles/global-hydrogen-review-2024-fid-doubles-low-emission-ammonia-takes-center-stage/ Ammonia Energy Association+1

Ammonia Energy Association. (2024). Renewable hydrogen and ammonia for Iberian, European and global markets. Retrieved from https://www.ammoniaenergy.org/articles/renewable-hydrogen-and-ammonia-for-iberian-european-and-global-markets/ Ammonia Energy Association

METRO for Knowledge

Arcadis. (2023). Hydrogen: The green oil of the 21st century. https://www.arcadis.com S&P Global

European Commission. (2023). European Hydrogen Bank: Results from the first pilot auction. Retrieved from https://climate.ec.europa.eu IRENA

Global Hydrogen Organisation (GH2). (2024). Blue hydrogen and methane leakage: Myths and realities. https://www.gh2.org h2.pe+1

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2023). Geopolitics of green hydrogen and the global energy transition. Retrieved from https://www.irena.org IRENA+1

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2024). World Energy Transitions Outlook 2024: 1.5 °C pathway. Retrieved from https://www.irena.org IRENA

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2025). Analysis of the potential for green hydrogen and related commodities trade. Abu Dhabi. ISBN 978-92-9260-672-5. IRENA

The International Council on Clean Transportation (ICCT). (2024). Impact of IRA tax credits on green hydrogen economics in the U.S. Retrieved from https://www.theicct.org EFI Foundation

S&P Global Commodity Insights & S&P Global Ratings. (2024). Hydrogen: New ambitions and challenges. February 2024. Retrieved from https://www.spglobal.com/content/dam/spglobal/corporate/en/images/general/special-editorial/hydrogennewambitionsandchallenges.pdf S&P Global+1

METRO for Knowledge