الهيدروجين الأخضر: طاقة المستقبل أم وهمٌ سياسي؟

1 .المقدمة

في عالمٍ يتسابق نحو "صفر انبعاثات"، يبرز الهيدروجين الأخضر كرمزٍ لطموحٍ بيئيٍ لا يخلو من التسييس. بين الخطابات التي تصفه بوقود المستقبل المنقذ للبشرية، والحقائق الرقمية التي تكشف تواضع إنجازه حتى الآن، يتكشف مشهدٌ معقد تتقاطع فيه السياسة بالتقنية، والمناخ بالاقتصاد. فبينما تتحدث الدول الكبرى عن ثورات طاقوية خضراء، لا يزال إنتاج الهيدروجين النظيف لا يتجاوز كسورًا من المئة من الإنتاج العالمي، ومعظم المشروعات تعيش بين الوعود والانتظار.

الهيدروجين الأخضر ليس مجرد مسألة علمية أو بيئية، بل مرآة لتحولات أعمق في النظام الدولي للطاقة. فالصراع لم يعد على النفط والغاز، بل على من يضع القواعد ويملك التكنولوجيا ويحتكر "المستقبل النظيف". في هذا السياق، تتحول مشاريع الطاقة إلى أدوات نفوذ ودبلوماسية، وتتحول "الاستدامة" إلى لغة جديدة للهيمنة والتنافس الجيوسياسي. وفي حين تَعِدُ أوروبا وأمريكا بثورات خضراء، تدخل الصين والخليج وأستراليا وبلدان الجنوب سباقًا محمومًا لتثبيت مواقعها على خريطة الطاقة الجديدة. بين المشاريع العملاقة في نيوم، وشبكات الأنابيب الأوروبية، والدبلوماسية الهيدروجينية الألمانية، والعقود الأميركية السخية، يتشكل عالمٌ طاقويّ جديد مفعم بالوعود... لكنه أيضًا محفوفٌ بالأسئلة.

هل نحن أمام ثورة طاقة حقيقية ستغيّر وجه الكوكب؟ أم أمام مرحلة رمزية من "التحول الأخضر المُؤجّل"، تُدار بالأرقام والشعارات أكثر مما تُبنى على واقع الإنتاج والقدرة؟ هذا البحث يحاول أن يقترب من الإجابة، عبر قراءة دقيقة لتوازن القوى، ومراحل التنفيذ، وديناميكيات السوق والسياسات التي ترسم مستقبل "الهيدروجين الأخضر" بين العلم والسياسة.

2 .صورة السوق اليوم: بين الطموح والواقع

على الرغم من الضجة السياسية والإعلامية حول الهيدروجين الأخضر في السنوات الأخيرة، تكشف الأرقام أن الوضع الحالي للسوق لا يزال خجولًا مقارنة بالطموحات. يبلغ إجمالي الطلب العالمي على الهيدروجين (بجميع أنواعه) حوالي 100 مليون طن سنويًا (2024)، ولم يزد إلا بنسبة 2% سنويًا مؤخرًا تماشيًا مع نمو الطلب على الطاقة. هذا الهيدروجين يُستهلك بشكل رئيسي في القطاعات التقليدية التي استخدمته لعقود – مثل تكرير النفط وصناعة الأسمدة والبتروكيماويات – بينما الاستخدامات الجديدة "الواعدة" (كالنقل الثقيل أو تخزين الطاقة) لا تزال هامشية جدًا وتشكل أقل من 1% من الطلب. الأهم أن أكثر من 99% من إنتاج الهيدروجين اليوم لا يزال معتمدًا على الوقود الأحفوري عالي الانبعاثات.(IEA, 2024)

في عام 2024، قُدِّر أن إنتاج الهيدروجين عالميًا استهلك نحو 290 مليار متر مكعب من الغاز الطبيعي و90 مليون طن من الفحم – وهذا ما يُعرف بالهيدروجين "الرمادي" (أو "البني" عند استخدام الفحم). أما الهيدروجين منخفض الانبعاثات (الأخضر أو الأزرق) فلا يزال إنتاجه محدودًا للغاية؛ إذ نما إنتاجه بنحو 10% في 2024 ليصل إلى معدل سنوي يناهز 1 مليون طن فقط بحلول 2025.

وبذلك يبقى أقل من 1% من إنتاج الهيدروجين العالمي "نظيفًا" من حيث انبعاثات الكربون – نسبة ضئيلة تظهر الفجوة الكبيرة بين الواقع والطموحات المناخية المعلنة.(IEA, 2024; S&P Global, 2024)

لقد أعلنت الحكومات وشركات الطاقة عن مئات المشاريع الجديدة للهيدروجين الأخضر والمنخفض الكربون حول العالم خلال السنوات القليلة الماضية. إلا أن معدل تحويل هذه الإعلانات إلى مشاريع حقيقية) استثمارات فعلية وقرارات نهائية بالاستثمار (FID ما زال متواضعًا. وفقًا لوكالة الطاقة الدولية، يتخلف عدد القرارات الاستثمارية النهائية كثيرًا عن سيل الإعلانات. فمنذ 2020 حتى منتصف 2025، تلقى أكثر من 200 مشروع لإنتاج الهيدروجين منخفض الانبعاثات قرارات استثمارية نهائية – بعد أن كان العدد لا يتجاوز أصابع اليد الواحدة من مشاريع الاستعراض التجريبي قبل 2020. ورغم أن هذا تحسّن مهم، فهو ضئيل مقارنة بعدد المشاريع المعلنة. إذ يُقدَّر أن المشاريع التي وصلت لمرحلة الإنشاء أو الاستثمار النهائي تشكل حوالي 9% فقط من إجمالي خط الأنابيب العالمي لمشاريع الهيدروجين المخططة حتى 2030. بمعنى آخر، لا يزال نحو 90% من المشاريع في مرحلة الدراسات أو إعلانات النوايا دون تأمين الاستثمارات أو العقود اللازمة .(IEA, 2024)

يُضاف إلى ذلك أن القطاع شهد مؤخرًا موجة من التأجيلات والإلغاءات لبعض المشاريع، خاصة تلك في المراحل المبكرة، بسبب تحديات التمويل أو غموض السياسات أو ارتفاع التكاليف. هذا أدى مثلًا إلى انخفاض إجمالي القدرة الإنتاجية المحتملة من المشاريع المعلنة لعام 2030 من 49 مليون طن سنويًا (توقعات 2024) إلى حوالي 37 مليون طن فقط في توقعات 2025 (IEA, 2024) –أي تقلص بنحو الربع نتيجة الإلغاءات والتأجيلات. معظم هذا التراجع كان في مشاريع التحليل الكهربائي (الهيدروجين الأخضر)، والتي شكلت أكثر من 80% من الانخفاض في التوقعات(IEA, 2024) ، مما يشير إلى أن مشاريع عديدة في مناطق كأفريقيا والأميركيتين وأوروبا وأستراليا لم تتقدم بالسرعة المرجوة.

مع ذلك، ورغم هذه الواقعية القاتمة نسبيًا، هناك مؤشرات نمو تدعو للتفاؤل الحذر بأن قطاع الهيدروجين النظيف بدأ بالنضوج تدريجيًا. فعدد المشاريع التي تم تنفيذها فعليًا آخذ بالازدياد، والإنتاج المنخفض الكربون سيرتفع عدة أضعاف في السنوات القادمة حتى لو تحقق فقط ما هو قيد التنفيذ حاليًا. تشير بيانات وكالة الطاقة الدولية إلى أنه بحلول 2030 من المتوقع أن يصل الإنتاج من المشاريع العاملة أو التي وصلت لمرحلة الاستثمار النهائي إلى حوالي 4.2 مليون طن سنويًا من الهيدروجين منخفض الانبعاثات. هذا الرقم يظل أقل بكثير من الطموحات الحكومية والصناعية المعلنة (والتي كانت تتطلع لعشرات الملايين من الأطنان بحلول 2030)، ولكنه يمثل نموًا بحوالي خمسة أضعاف مقارنة بإنتاج 2024 .(IEA, 2024)

جانب آخر من صورة السوق الراهنة هو توزيع المشاريع والمساهمين جغرافيًا وتقنيًا. تشير البيانات إلى هيمنة عدد من الدول والمناطق على مشهد الاستثمار في الهيدروجين النظيف. فبحسب تقرير "بوصلة الهيدروجين" لعام 2025 الصادر عن مجلس الهيدروجين (وهو ائتلاف صناعي عالمي)، تجاوز إجمالي الاستثمارات الملتزم بها عالميًا 110 مليارات دولار موزعة على أكثر من 500 مشروع قيد التطوير. تتصدر الصين دول العالم في حجم الاستثمارات المعلنة بحوالي 33 مليار دولار، كما تقود في نشر قدرة التحليل الكهربائي حيث أنها مسؤولة بمفردها عن نحو 65% من السعة العالمية للمحللات الكهربائية المركبة أو التي بلغت مرحلة الاستثمار النهائي. وتستأثر الصين أيضًا بحصة كبيرة من التصنيع العالمي لمعدات التحليل الكهربائي (>60% من القدرة التصنيعية السنوية عالميًا)، مما جعلها لاعبًا تقنيًا محوريًا في سلسلة الإمداد الناشئة.(S&P Global, 2025)

تأتي أمريكا الشمالية (الولايات المتحدة وكندا) في المرتبة الثانية باستثمارات حوالي 23 مليار دولار. وقد عزز قانون خفض التضخم الأمريكي لعام 2022 هذا الاتجاه عبر حوافز سخية (مثل ائتمان ضريبي يصل إلى 3 دولار لكل كجم هيدروجين نظيف) مما جذب العديد من المشاريع في الولايات المتحدة. أما أوروبا فتأتي ثالثًا بحوالي 19 مليار دولار من الاستثمارات الملتزمة، بيد أنها تمثل سوق الطلب الأكبر المتوقع: إذ يُتوقع أن تشكل حوالي ثلثي الطلب العالمي على الهيدروجين النظيف بحلول 2030 وفق بعض التقديرات، نظرًا لسياسات الاتحاد الأوروبي الطموحة في هذا المجال .(Ammonia Energy Association, 2024)

إلى جانب هذه المراكز الثلاثة، برزت منطقة الشرق الأوسط وأوقيانوسيا وأمريكا اللاتينية كمناطق واعدة تستقطب مشاريع كبرى بفضل وفرة موارد الطاقة المتجددة بها ورغبة الدول والشركات هناك في دخول هذا السباق العالمي.

3 .البنية التحتية والسياسات التنظيمية

يتطلب تطوير اقتصاد للهيدروجين الأخضر تهيئة بنية تحتية جديدة ووضع أطر تنظيمية داعمة. فعلى صعيد البنية التحتية، كما ذكرنا، هناك حاجة لشبكات أنابيب مخصصة أو تعديل القائم منها، ومحطات ضخ وتخزين، وموانئ قادرة على شحن واستقبال الهيدروجين (أو حوامل الهيدروجين) بكميات كبيرة. هذه المشروعات طويلة الأمد وتتطلب تنسيقًا بين دول وشركات عدة، لاسيما إذا أخذنا بالاعتبار سيناريوهات تجارة عالمية للهيدروجين حيث يتم إنتاجه في مناطق ذات موارد متجددة وافرة وتصديره إلى مراكز الطلب الصناعي البعيدة. على سبيل المثال، في أوروبا تُناقش خطط لإنشاء شبكة أنابيب هيدروجين أوروبية تربط مصادر الإنتاج (مثل شمال أفريقيا أو بحر الشمال) بمراكز الاستهلاك في ألمانيا وفرنسا وغيرها .

بعض شركات البنية التحتية للغاز) مثل شركة ENTSOG الأوروبية (وضعت خرائط أولية لما يسمى بـ "عمود فقري للهيدروجين " (Hydrogen Backbone)يمتد لآلاف الكيلومترات بحلول 2040. جزء كبير من هذه الشبكة يمكن أن يكون عبر إعادة توظيف أنابيب الغاز الطبيعي القائمة، مما يوفر تكلفة مقارنة ببناء خطوط جديدة. لكن إعادة التوظيف تتطلب فحصًا وتأهيلاً تقنيًا لضمان ملاءمة تلك الخطوط للهيدروجين (من حيث المواد، الضغوط، الصمامات... إلخ). على المستوى العالمي، بدأت موانئ كبرى (مثل روتردام في هولندا) بالتخطيط لتكون مراكز لتجارة الهيدروجين ومشتقاته، عبر إنشاء مرافق استقبال للأمونيا الخضراء أو الهيدروجين السائل المستورد من مناطق بعيدة.(International Renewable Energy Agency [IRENA], 2023)

من زاوية السياسات والتنظيم، يلعب دعم الحكومات ووضع معايير واضحة دورًا حاسمًا في تسريع الاستثمار في الهيدروجين النظيف. أحد العناصر الأساسية هو وضع تعريفات وتصنيفات رسمية لما يعتبر "هيدروجين أخضر" أو "منخفض الكربون". على سبيل المثال، أصدر الاتحاد الأوروبي في مطلع 2023 لوائح تنفيذية تُحدد منهجية احتساب انبعاثات الهيدروجين المنتج من مصادر غير متجددة مع تقنية CCS (تسمية "الهيدروجين منخفض الكربون"). واشترط الاتحاد الأوروبي لتحقيق تصنيف "منخفض الكربون" أن يحقق الهيدروجين المنتج خفضًا في انبعاثات غازات الدفيئة بنسبة 70% على الأقل مقارنة بخط الأساس الأحفوري. هذه المعايير التنظيمية مهمة لأنها تدخل في آليات الدعم وحساب أهداف الطاقة المتجددة. فوفق توجيه الطاقة المتجددة الأوروبي(RED II/III) ، سيُحسب استخدام الهيدروجين الأخضر أو الوقود الاصطناعي (RFNBOs) ضمن أهداف الطاقة الخضراء فقط إذا استوفى تلك المعايير (مثلًا وجوب تحقيق 70% خفض انبعاثات للنقل مقارنة بالوقود الأحفوري) ;(European Commission, 2023 CertifHy, 2023).

المنح والحوافز المالية تمثل ركيزة أخرى للسياسات. فبسبب ارتفاع تكلفة الهيدروجين النظيف، تتدخل الحكومات لسد فجوة التكلفة بينه وبين البدائل. إحدى أبرز المبادرات على هذا الصعيد "مصرف الهيدروجين الأوروبي" الذي أطلقه الاتحاد الأوروبي عام 2023. هذا المصرف ليس بنكًا بالمعنى التقليدي بل آلية لتمويل دعم إنتاج الهيدروجين المتجدد عبر مزادات تنافسية. في أول مزاد تجريبي للمصرف (تابع لصندوق الابتكار الأوروبي)، تم تخصيص حوالي 800 مليون يورو لدعم منتجي الهيدروجين الأخضر في أوروبا. تنافست المشاريع من مختلف الدول عبر تقديم عروض على شكل علاوة سعرية لكل كيلوجرام هيدروجين يحتاجونه كدعم. وتم اختيار 6 مشاريع في مختلف البلدان بقدرة إجمالية ~0.15 مليون طن سنويًا لمدة 10 سنوات، بإجمالي دعم حوالي 700 مليون يورو .(European Commission, 2023; Hydrogen Europe, 2023)

ويُنتظر أن تُقام مزادات إضافية بمبالغ أكبر (المزادات المقبلة ستشمل 2 مليار يورو أخرى) لتعزيز الثقة لدى المستثمرين بأن هناك جهة شارٍ مؤكدة للهيدروجين المنتج بسعر مضمون (نوع من عقود الفارق السعرية). هذا النموذج – على غرار عقود الفروقات – يقلل المخاطر التجارية ويثبت سعرًا أدنى للهيدروجين النظيف، مما يشجع البنوك والممولين على تمويل هذه المشاريع (Zabala Innovation, 2024).

على صعيد السياسات الوطنية، تبنّت أكثر من 30 دولة حتى 2025 استراتيجيات وطنية للهيدروجين تشمل أهدافًا كمية وبرامج دعم مختلفة. الاتحاد الأوروبي وضع هدفًا رياديًا هو إنتاج 10 ملايين طن من الهيدروجين المتجدد سنويًا محليًا بحلول 2030، بالإضافة إلى استيراد 10 ملايين طن أخرى) هذا الهدف جاء ضمن خطة REPowerEU لتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري الروسي .(لتحقيق ذلك، رُصدت أموال للبحث والتطوير، وتسريع منح التراخيص للبنية التحتية، ودعم جانب الطلب (مثلاً عبر تفويض استخدام نسب من الهيدروجين الأخضر في صناعات معينة كصناعة الأسمدة والوقود).(CertifHy, 2023)

في جانب آخر، تنظيم جانب الطلب والاستخدامات النهائية سيكون مؤثرًا على وتيرة تبني الهيدروجين. على سبيل المثال، وضعت بعض الدول سياسات لقطاع النقل الثقيل تدعم خلايا وقود الهيدروجين (كإعانات لشراء الشاحنات أو تطوير محطات التزويد). في صناعة الصلب، يجري بحث آليات مثل عقود الكربون الفارقة (CCfD) لضمان سعر للصلب الأخضر يحفز الشركات على الاستثمار في مسارات الاختزال بالهيدروجين. كما يجري النظر في معايير للمزج في شبكات الغاز: فبعض الدول حددت نسب مزج إلزامية صغيرة (≥10%) كهدف مرحلي ريثما تتضح الجدوى. إلا أن عددًا من الخبراء يشيرون إلى أن استخدام الهيدروجين يجب أن يوجه بالأولوية نحو التطبيقات الأكثر حاجة وضرورة (ما يسمى "تدرج الاستخدامات") بدلًا من تشتيته في كل الاستخدامات بشكل غير فعال. لذا تصمم مصفوفات قرار لدى صناع السياسات تربط بين نوع القطاع وكفاءة استخدام الهيدروجين فيه وتكلفة البدائل ومدى توفر خيارات أخرى. مثل هذه المقاربة تضمن أن يذهب الهيدروجين الثمين (حاليًا) إلى حيث لا بديل كهربائي أو أقل كلفة، كالصناعة الثقيلة أو بعض النقل، وليس لإنتاج الكهرباء أو تدفئة المباني التي يتوفر لها بدائل أكثر كفاءة (كالطاقة الشمسية المباشرة أو المضخات الحرارية) .

هذا النقاش السياسي–الفني حول "أين نستخدم الهيدروجين بأفضل صورة" يحتدم في أوروبا وأماكن أخرى، لضمان عدم هدر الموارد على تطبيقات غير مجدية ولمنع ما يسمى أحيانًا "وهم الهيدروجين" حين يُطرح كحل سحري لكل شيء.

4 .الجغرافيا السياسية للهيدروجين الأخضر

لا يقل مشهد الجغرافيا السياسية (الجيوبوليتيك) للهيدروجين تعقيدًا وإثارة للاهتمام عن الجوانب التقنية والاقتصادية. فمع انتقال العالم إلى الطاقة النظيفة، يُتوقع أن تتغير خارطة تدفقات الطاقة والتجارة الدولية بشكل جذري، والهيدروجين أحد العوامل الرئيسية في هذا التغيير. كثيرًا ما يُطرح السؤال: هل سيعيد الهيدروجين تشكيل النفوذ العالمي والديناميكيات بين الدول كما فعل النفط والغاز في القرن العشرين؟

حاليًا، هناك سباق عالمي معلن لتطوير سلاسل إمداد الهيدروجين، تتصدره قوى اقتصادية كبرى إلى جانب دول موارد. ألمانيا – أكبر اقتصاد أوروبي – ترى في الهيدروجين الأخضر مسارًا استراتيجيًا لتعويض الغاز الطبيعي الروسي الذي كانت تعتمد عليه بشكل كبير قبل أزمة أوكرانيا 2022. فبعد اندلاع الحرب والعقوبات، تسارعت جهود ألمانيا لتنويع مصادر الطاقة وتسريع التحول الأخضر، بما في ذلك إبرام اتفاقيات شراكة لاستيراد الهيدروجين أو مشتقاته من دول بديلة. وقعت ألمانيا مذكرات تفاهم مع بلدان عديدة مثل المملكة العربية السعودية والإمارات وناميبيا وغيرها لتأمين إمدادات مستقبلية من الأمونيا الخضراء أو الميثانول وغيرها من حوامل الهيدروجين. كما استثمرت في موانئ ومشاريع أوروبية (في هولندا والنرويج) لتضمن منافذ استيراد .

ينظر صناع القرار في برلين للهيدروجين على أنه ليس مجرد وقود نظيف، بل عنصر أمن طاقي يقلل ارتهان البلاد لمصدر وحيد. وقد عيّنت ألمانيا مبعوثًا خاصًا بـ"دبلوماسية الهيدروجين" يجوب الدول سعيًا لعقد الشراكات – وهو توجه انعكس أيضًا في الاتحاد الأوروبي ككل حيث أصبحت الدبلوماسية الهيدروجينية جزءًا من العلاقات الخارجية (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2023).

على الجانب الآخر من المعادلة، ترى الدول المصدّرة التقليدية للنفط والغاز فرصة كبيرة في أن يصبح الهيدروجين "نفطًا أخضر" جديدًا يعيد صياغة دورها في الاقتصاد العالمي منخفض الكربون. من أبرز هذه الدول دول مجلس التعاون الخليجي (السعودية، الإمارات، قطر، عُمان...) التي تمتلك موارد هائلة من الطاقة الشمسية ومساحات أراضٍ وإمكانات مالية. هذه الدول شرعت في خطط طموحة لتصدير الهيدروجين الأخضر أو الأزرق بكميات كبيرة. على سبيل المثال، أعلنت المملكة العربية السعودية عن هدف لتصبح أكبر مصدّر للهيدروجين على المدى الطويل. وبدأت بالفعل مشاريع عملاقة لتحقيق ذلك: مشروع نيوم للهيدروجين الأخضر شمال غرب البلاد يُعد من أكبر المشاريع المعلنة عالميًا، بطاقة كهربائية 4 غيغاواط من الطاقة المتجددة لإنتاج ما يقارب 600 طن من الهيدروجين يوميًا (سيحوّل إلى أمونيا تعادل ~1.2 مليون طن سنويًا) بدءًا من 2026 (Energies Media, 2024; Ammonia Energy Association, 2024).

هذا المشروع الذي تجاوز الآن 80% في الإنجاز سيجعل السعودية من أوائل اللاعبين الكبار في تصدير الأمونيا الخضراء إلى الأسواق العالمية (وتمت بالفعل شحنات تجريبية إلى أوروبا وآسيا من الأمونيا الزرقاء تمهيدًا لذلك). أيضًا أعلنت السعودية عن مشروع آخر في مدينة ينبع الصناعية على البحر الأحمر بقدرة تحليل كهربائي حوالي 4 غيغاواط لإنتاج نحو 400 ألف طن من الهيدروجين الأخضر سنويًا (ما يعادل أكثر من 2.2 مليون طن أمونيا خضراء سنويًا)، أي ضعف إنتاج مشروع نيوم تقريبًا. الإمارات هي الأخرى استثمرت في عدد من مشاريع الهيدروجين والأمونيا وتصبو لتكون مركزًا للتزويد بالوقود النظيف للسفن (ميناء جبل علي وغيره). عُمان وضعت استراتيجية للهيدروجين تستهدف إنتاج ملايين الأطنان بحلول 2040 اعتمادًا على طاقتها الشمسية والرياحية المتميزة ومساحتها الشاسعة. إن موقع الخليج العربي ودوله على مقربة من أسواق آسيا وأوروبا مع إمكاناتهم

التمويلية يجعلهم مرشحين ليكونوا ما يشبه "الخليج الأخضر" للطاقة النظيفة في العقود المقبلة، مواصلين دورهم كمورّدي طاقة لكن بلون جديد.(Saudi Energy Consulting, 2024; Energy Reporters, 2024)

أما في منطقة آسيا والمحيط الهادئ، فتبرز أستراليا كقطب أساسي محتمل لإنتاج وتصدير الهيدروجين الأخضر. تمتلك أستراليا موارد شمسية ومواقع رياح ممتازة ومساحات واسعة ساحلية قليلة السكان، وقد أعلنت الحكومة هناك عن رؤية لتصبح أستراليا "القوة العظمى للهيدروجين" مستقبلاً. هناك عدة مشاريع ضخمة مخطط لها في غرب وجنوب أستراليا تجمع مئات التوربينات وملايين الألواح لتصدير الأمونيا الخضراء إلى كل من اليابان وكوريا الجنوبية وربما أوروبا. من هذه المشاريع مثلاً مشروع Asian Renewable Energy Hubالذي استهدف إنتاج أكثر من 1 مليون طن هيدروجين (على شكل أمونيا) سنويًا في المدى الطويل، ومشروع Sun Cable الذي كان يطمح لتصدير كهرباء شمسية مباشرة إلى سنغافورة وربما تحويلها لهيدروجين (رغم أن هذا المشروع واجه انتكاسات مالية مؤخراً). اليابان وكوريا كمستوردين يتحركان كذلك لعقد شراكات مع أستراليا ودول شرق أوسط لضمان الإمدادات مستقبلاً. كما أن الصين وإن كانت تركز حاليًا على تلبية طلبها المحلي الضخم المتوقع على الهيدروجين النظيف، لكنها قد تتحول أيضًا لمستورد على المدى الطويل في حال وجدت أسعارًا منافسة من الخارج، أو مصدّر لمعدات الإنتاج كما تفعل الآن.(Ammonia Energy Association, 2024)

في شمال أفريقيا، يبرز المغرب ومصر كمواقع محتملة لإنتاج الهيدروجين الأخضر وتصديره إلى أوروبا نظرًا لقربهما الجغرافي ووفرة الشمس والرياح. المغرب كان من أوائل الدول التي صاغت استراتيجية هيدروجين وطنية (2021) ويعمل على مشاريع بالتعاون مع ألمانيا) كمشروع Power-to-X في شمال المغرب لإنتاج الأمونيا الخضراء .(مصر استقطبت استثمارات أجنبية متعددة خلال 2022–2023 لإقامة مشروعات أمونيا وهيدروجين في منطقة قناة السويس والعين السخنة، وتطمح لتكون لاعبًا إقليميًا أيضًا. في أمريكا اللاتينية، تشيلي لديها طموح كبير لتصبح مصدرًا للهيدروجين الأخضر مستندة إلى موارد طاقة متجددة هائلة في صحراء أتاكاما للشمسي وباتاغونيا للرياح. وقد أعلنت تشيلي عن أهداف كمية (تخطيط 5 غيغاواط من المحللات بحلول 2025 كمرحلة أولى)، واجتذبت مشروعات مثل Haru Oni لإنتاج الوقود الاصطناعي. كل هذه التحركات في دول الجنوب العالمي تعكس فرصة لتنويع الاقتصادات عبر "السلعة الخضراء" الجديدة.

بالطبع، هذا الحراك الجغرافي السياسي يصحبه تغيير في أنماط التحالفات والعلاقات الاقتصادية. يُتوقع نشوء طرق تجارية جديدة للهيدروجين تماثل طرق النفط والغاز سابقًا ولكن ربما بأشكال مختلفة (مثلاً شحنات أمونيا عبر البحار، خطوط أنابيب إقليمية جديدة). كما يُلاحظ تأسيس تكتلات تعاون: على سبيل المثال، شراكات ثنائية مثل شراكة ألمانيا مع كل من السعودية والإمارات وناميبيا، أو شراكة اليابان وأستراليا، أو تحالفات إقليمية كمنصة "منظمة الهيدروجين" التي اقترحتها بعض الدول على غرار أوبك للطاقة المتجددة. حتى الآن لا يوجد "كارتل" للهيدروجين الأخضر، ولكن إن أصبح سلعة استراتيجية فقد تسعى الدول المصدرة للتنسيق فيما بينها. من جهة أخرى، قد يؤدي انتشار الهيدروجين إلى تقليل الاعتماد الجيوسياسي على بعض الممرات أو النقاط الحرجة. فلو أصبح بالإمكان إنتاج الطاقة محليًا من الشمس والرياح وتخزينها كهيدروجين، ستقل هيمنة بعض مضائق النفط أو خطوط الأنابيب العابرة للحدود، إذ يمكن نظريًا لكل دولة امتلاك قدرة ما على إنتاج الطاقة المتجددة وتحويلها. لهذا يرى بعض المحللين أن الهيدروجين قد يساهم في "إقليمية" علاقات الطاقة بدل العولمة المفرطة؛ أي أن التجارة ستتركز أكثر بين الجيران إقليميًا (كأوروبا مع شمال أفريقيا، أو آسيا مع أستراليا).(IRENA, 2023)

على صعيد القوة التقنية، نلاحظ سباقًا تقنيًا بين دول صناعية لقيادة تقنيات الهيدروجين (كالمحللات الكهربائية وخلايا الوقود وتطبيقاتها). اليابان تاريخيًا من أوائل من استثمر في اقتصاد الهيدروجين (استراتيجية وطنية منذ 2017) وراهن على استخدام الهيدروجين في النقل (سيارات تويوتا ميراي مثلا) وفي توليد الكهرباء (تجربة خلايا وقود محطات). كما أنها تقود تطوير تقنيات الأمونيا كوقود مشترك في محطات توليد الكهرباء.

الصين بدورها تضخ موارد هائلة في جميع حلقات سلسلة القيمة: بناء مصانع محللات (وصلت قدرتها التصنيعية لأكثر من 20 غيغاواط سنويًا) وبناء مشاريع ريادية (180 ألف طن/سنة إنتاج متجدد حالياً) وتطوير أسطول من الحافلات والشاحنات العاملة بخلايا الوقود، وحتى في قطاع براءات الاختراع أصبحت الصين من أكبر المقدمين لبراءات تقنيات الهيدروجين في الأعوام الأخيرة (Ammonia Energy Association, 2024).

الولايات المتحدة وإن تأخرت نسبيًا سياسيًا، إلا أن حوافزها الأخيرة (كالتمان 3$/كجم) تقلب الموازين وتجذب شركات عالمية للاستثمار هناك، وفضلًا عن ذلك تملك أمريكا خبرة كبيرة في تكنولوجيا خلايا الوقود (بداية من برامج ناسا سابقًا) واحتياطيات كبيرة من الغاز يمكن أن تستغل في الهيدروجين الأزرق مرحليًا. دول أوروبا مثل ألمانيا وفرنسا وبريطانيا تستثمر في الأبحاث (مثلاً ألمانيا لديها "مشروعات الريادة" للهيدروجين بتمويل اتحادي، وفرنسا رصدت 7 مليارات يورو لتطوير القطاع محليًا)، آملة في إنشاء صناعة أوروبية للمحللات والمعدات بدل الاعتماد على الصين .

هذا كله يعني أن هناك تسابقًا اقتصاديًا وصناعيًا على نيل الحصة الأكبر من سوق الهيدروجين العالمية المستقبلية والتي يُتوقع أن تكون ضخمة (تقدر إيرينا أن يصل الطلب لـ12% من الاستهلاك النهائي للطاقة بحلول 2050 في سيناريو 1.5 درجة) (IRENA, 2023). وللمفارقة، رغم أن الهيدروجين عنصر متوفر في كل مكان (في الماء)، فإن الصناعة نفسها ستكون حكرًا على من يملك التكنولوجيا والبنية التحتية والتكلفة التنافسية.

إن وصف الهيدروجين بأنه "نفط أخضر" أو "النفط الجديد" ليس مجرد مجاز لغوي، بل يعكس نظرة البعض إلى أنه قد يكون مصدر نفوذ استراتيجي مستقبلاً. فقد قيل مثلًا إن "الهيدروجين هو النفط الأخضر للقرن الواحد والعشرين"، نظراً لإمكاناته لإحلال الوقود الأحفوري. لكن مع فارق جوهري: الهيدروجين لا يوجد في الطبيعة بحرية كالنفط، بل ينبغي صناعته. وهذا قد يجعل اقتصاده أكثر تنافسية وأقل ريعًا مما كان النفط، لأن العديد من الدول تستطيع إنتاجه متى توفر لديها كهرباء رخيصة. بعبارة أخرى، قد لا نشهد احتكارات أو استغلال سياسي للهيدروجين كما حدث مع النفط (حيث حفنة دول تحكمت بالسوق)، بل من المحتمل أن يكون سوقًا مفتوحًا بمنافسة شديدة وهوامش ربح أقل. ومع ذلك، في المدى الانتقالي القريب (العقدين القادمين) سنرى حتمًا محاولات لإعادة إنتاج أنماط الهيمنة: فالدول المصدرة للنفط اليوم تحاول ضمان موقع في خارطة الهيدروجين حتى لا تُهمّش اقتصاديًا، والدول الصناعية الكبرى تحاول تأمين الإمدادات بشكل لا يعيد خلق "اعتماد" جديد على مستوردين قلائل. لذا من المرجح أن تتسم الجغرافيا السياسية للهيدروجين بتعدد اللاعبين وتوازنات جديدة، لكنها أيضًا ستكون استمرارًا لبعض ديناميكيات الطاقة المعهودة – فقط بألوان مختلفة (IRENA, 2023).

5 .من الإعلانات إلى الاستثمارات الفعلية

على أرض الواقع، يظهر تباين بين سيل الإعلانات النظرية عن مشاريع واستراتيجيات هيدروجين طموحة وبين الاستثمارات الفعلية المنفذة على الأرض. خلال 2024–2025 شهدنا انبثاق بوادر صحوة في السوق: فبعد فترة من الحماس غير المقيد، بدأت بعض المشاريع المعلنة تتعرض لمراجعات واقعية وتأجيلات. في أوروبا مثلاً، عدة مشاريع كبرى أُعلن عنها في 2020–2021 (خاصة في بحر الشمال لإنتاج الهيدروجين أو في إسبانيا وفرنسا) لم تصل إلى قرارات استثمارية ضمن الجدول المخطط بسبب تحديات في نماذج الأعمال أو انتظارًا لوضوح الدعم التنظيمي .

في أستراليا، كما أشرنا، تقلّصت طموحات بعض المبادرات الضخمة: مشروع Asian Renewable Energy Hub الذي كان في الأصل يستهدف إنتاج هيدروجين/أمونيا بكميات هائلة واجه صعوبات في الحصول على الموافقات البيئية والتمويل الملائم، وتم تخفيض نطاقه أو إعادة هيكلته. مشروع Sun Cable الطموح كذلك دخل مرحلة إعادة التنظيم بعد مشاكل تمويلية. في الولايات المتحدة، رغم طفرة الإعلانات في أعقاب قانون الدعم(IRA) ، هناك فجوة زمنية قبل ترجمة هذه الفرص إلى مصانع ومرافق حقيقية – حيث يجب بناء سلاسل توريد لمعدات التحليل الكهربائي وتجاوز عقبات التصاريح. بعبارة موجزة، باتت الصناعة في 2025 أكثر حذرًا: فالمستثمرون يطالبون برؤية سياسات مستقرة وعقود شراء مضمونة قبل المضي قدمًا في ضخ مليارات الدولارات في مشروعات الهيدروجين. وأدت حالة عدم اليقين هذه إلى تأجيل كثير من قرارات الاستثمار إلى 2025 وما بعدها ريثما تتضح الأمور، حتى مع وجود دعم حكومي.

مع ذلك، لا يمكن إنكار أن وتيرة الاستثمار الإجمالية ارتفعت بشكل كبير مقارنة بما كانت عليه قبل سنوات قليلة. فكما أسلفنا، قفز حجم الاستثمارات الملتزم بها عالميًا إلى أكثر من 110 مليار دولار. ويُقدّر تقرير مجلس الهيدروجين 2025 أنه منذ 2020 ارتفع الاستثمار في القطاع بمعدل 50% سنويًا في المتوسط. اللافت أن الصين والولايات المتحدة تقودان حاليًا موجة الإنفاق: الصين عبر مشاريعها العديدة المدعومة إقليميًا (بلغت قدرة الإنتاج التي دخلت التشغيل حديثًا في الصين حوالي 180 ألف طن/سنة من الهيدروجين المتجدد مما يشكل 56% من الإنتاج العالمي الحالي)، والولايات المتحدة عبر تعبئة القطاع الخاص تحت مظلة حوافز IRA (حيث أعلنت شركات كبرى خططًا لبناء مصانع محللات وشبكات شاحنات تعمل بخلايا وقود). أوروبا أيضًا لديها استثمارات معتبرة لكن طبيعة السوق المجزأة بين دول الاتحاد وتعدد الإجراءات يُبطئ قليلاً تنفيذ المشاريع رغم رصد التمويل (Ammonia Energy Association, 2024).

تُظهر البيانات أيضًا تغيرًا في طبيعة هذه الاستثمارات: فبينما تركزت المرحلة السابقة على مشاريع تجريبية صغيرة واختبارات تقنية، أصبحت المشاريع الحالية تتجه نحو مرافق كبيرة الحجم نسبيًا أو مجمعات صناعية تدمج الإنتاج مع الاستخدام (على سبيل المثال: مجمعات لإنتاج الهيدروجين الأخضر واستخدامه لإنتاج الأمونيا الخضراء في الموقع). هذا التحول إلى نطاق أوسع يشير إلى ثقة متزايدة بأن التكنولوجيا قابلة للتوسعة .(scalable) لكنه يعني أيضًا زيادات ضخمة في رأس المال المطلوب لكل مشروع (مشروع بحجم غيغاواط قد يكلف 2–5 مليارات دولار بسهولة). هنا تتجلى أهمية أدوات خفض المخاطر المالية التي تبنتها الحكومات: مثل عقود الدعم الثابت (كما في أوروبا) أو الاعتمادات الضريبية (كما في أمريكا) أو ضمانات القروض وأسعار الكربون الحدية. هذه الأدوات تهدف لجعل العائد المتوقع للمشروع أكثر يقينًا وأقرب للمشاريع التقليدية، وبالتالي جلب البنوك وشركات الاستثمار لتمويلها.

على سبيل المثال، تجربة "مصرف الهيدروجين" الأوروبي المذكورة سابقًا تُعتبر نموذجًا في خفض المخاطر: فعندما يعرف المستثمر أنه سيحصل على علاوة ثابتة (مثلاً 0.4 €/كجم) طوال 10 سنوات لكل كيلو هيدروجين ينتجه (European Commission, 2023)، يصبح بإمكانه تقدير التدفقات النقدية والتأكد من تغطية تكاليفه بغض النظر عن تقلبات الأسعار. هذا أشبه بعقد فروقات (CfD)يضمن سعراً أدنى للهيدروجين. كذلك في الولايات المتحدة، ائتمان ضريبي 3$/كجم (لمدة 10 سنوات) يعني أن المنتج سيحصل على دعم كبير عن كل كيلو ينتجه، مما قد يجعل الهيدروجين الأخضر مربحًا حتى لو كان سعر بيعه التجاري صفرًا تقريبًا – أي أنه كفيل بتغطية معظم التكلفة الحالية. بالفعل، تشير تقديرات أن ائتمان 3$ قد يخفض تكلفة الهيدروجين الأخضر في أمريكا من 5–6 $/كجم إلى ما يقارب 2–3 $/كجم فقط، وهو مستوى تنافسي مع الهيدروجين الأحفوري في بعض المناطق (The International Council on Clean Transportation [ICCT], 2024).

رغم هذه الحوافز، يبقى التحدي في تحديد السعر الحقيقي طويل المدى للهيدروجين في غياب الدعم. ما هو "سعر التوازن" الذي يمكن أن يصل له الهيدروجين النظيف إذا انتشرت التقنية بشكل كامل وزالت التشوهات؟ الإجابة تختلف حسب المنطقة والتطبيق. لكن الإجماع التقريبي أنه مع التقنيات الحالية، من الصعب النزول تحت 1.5–2 $/كجم دون دعم قبل 2030 في معظم المناطق. ومع ذلك، مع استمرار تطور التقنيات (الجيل القادم من التحليل الكهربائي، طاقة متجددة أرخص، ربما اندماج نووي مستقبلاً) قد نرى في العقود التالية أسعارًا أقل من 1$/كجم بحلول 2050 كما تتوقع بعض الدراسات التفاؤلية .(Maintworld, 2024) لذلك فإن سياسات الدعم الحالية هي جسور للوصول إلى اقتصاديات الحجم والتعلم، وبعدها قد يصبح الهيدروجين قادرًا على المنافسة بحد ذاته دون إعانات. التحدي هو من يدفع هذه الفجوة في العقد القادم: هل الحكومات عبر أموال دافعي الضرائب، أم مستهلكو المنتجات عبر تحمل تكلفة أعلى (كشراء فولاذ أخضر بسعر أغلى)، أم الشركات عبر تحمل هوامش ربح أقل ريثما تنخفض التكاليف. يبدو أن مزيجًا من كل ذلك يحدث الآن بشكل ما.

6. الخاتمة

تُظهر الورقة أن واقع الهيدروجين الأخضر في منتصف العقد الثالث من القرن الحادي والعشرين يختلف كثيرًا عن الصورة الطموحة التي تُروَّج في الخطابات السياسية والإعلامية. فرغم الوعود الكبرى بمرحلة "ثورة هيدروجينية"، تكشف البيانات أن الصناعة لا تزال في طور التشكّل، وأنّ الفجوة بين المشاريع المعلَنة وتلك المنفَّذة فعلًا ما زالت واسعة. إذ لا تتجاوز المشاريع التي وصلت إلى مرحلة الاستثمار الفعلي 9% من إجمالي الخطط المعلنة، بينما ما يقارب 90% منها لا يزال في مراحل الدراسات أو النوايا غير الممولة. هذا التناقض بين الطموح والإنجاز يبرهن أن العالم يعيش مرحلة انتقالية طويلة أكثر منها تحوّلًا مكتملًا نحو اقتصاد الهيدروجين.

كما برز من خلال التحليل أنّ الديناميكيات الجيوسياسية هي المحرك الأبرز لمشهد الهيدروجين أكثر من الاعتبارات المناخية البحتة. فقد تبنّت الدول الصناعية الكبرى – وفي مقدمتها ألمانيا والولايات المتحدة والصين – استراتيجيات للهيدروجين الأخضر بوصفه أداة لأمن الطاقة وإعادة رسم خرائط النفوذ، في حين تسعى الدول الغنية بالموارد المتجددة، مثل دول الخليج وأستراليا والمغرب، لتثبيت موقعها كمصدّرين رئيسيين في "اقتصاد ما بعد النفط". وهكذا يتضح أن الهيدروجين الأخضر لا يُعيد فقط تشكيل أسواق الطاقة، بل يُعيد أيضًا تشكيل تحالفات وممرات جديدة للتجارة والسلطة.

من جهة أخرى، أبرزت الورقة الدور الحاسم للسياسات الحكومية والحوافز الاقتصادية في تحريك هذا القطاع. فبدون آليات دعم مستقرة – مثل "مصرف الهيدروجين الأوروبي" أو الاعتمادات الضريبية الأمريكية – لن تتمكّن المشاريع من تجاوز تكلفتها العالية أو جذب التمويل المطلوب. كما أن وضع تعريفات ومعايير دقيقة للهيدروجين "الأخضر" أو "منخفض الكربون" بات ضرورة لتنظيم الأسواق وتجنّب "الغسل الأخضر" في الاستثمارات المقبلة.

إنّ مسار الهيدروجين الأخضر حتى عام 2025 يُجسّد بوضوح معادلة التقدّم البطيء لكن الثابت: قطاع ناشئ يواجه تحديات ضخمة، لكنه يكتسب شرعية واقعية تدريجيًا. وإذا كانت المرحلة الحالية تُظهر بطئًا في التنفيذ، فإنّها تؤسس في الوقت ذاته لبنية تحتية وسياسية قد تجعل العقد المقبل نقطة انطلاق فعلية نحو إنتاج واسع النطاق. يبقى التحدي الأساسي في تحويل الهيدروجين من "أجندة سياسية طموحة" إلى صناعة طاقة مستدامة قابلة للحياة، تتكامل مع مزيج الطاقة العالمي بدل أن تكون بديله الشكلي.

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

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