



COP28
UAE

المستقبل
للأبحاث والدراسات المتقدمة



دور التكنولوجيا في خفض الكربون بقطاع الطاقة العالمي

HIGH
EMISSIONS

LOW
EMISSIONS

CO₂

تحرير: إبراهيم الغيطاني

الفصل الرابع

محددات النجاح:

الهيدروجين الأخضر كمصدر واعد في نظام الطاقة العالمي

د. محمد الخياط.. الرئيس التنفيذي لهيئة الطاقة الجديدة والمتجددة - مصر

يسعى العالم جاهداً لتأمين بدائل للطاقة بعد قرون استهلك فيها من المصادر الأحفورية، نجم عنها أضرار بيئية شديدة، فارتفعت معدلات التلوث في الغلاف الجوي إلى 416 جُزئ لكل مليون ثاني أكسيد كربون، وكذلك متوسط درجة حرارة الأرض بنحو 0,89 درجة مئوية في أكتوبر 2022 مقارنة بنظيرتها في القرن العشرين.

يضاف لما سبق، أن محور تأمين إمدادات الطاقة يحتل مكانة رئيسية في تنمية الحاضر، ورسم سياسات المستقبل. وتأثراً بتوترات حرب شبه عالمية طرفاها الظاهران روسيا وأوكرانيا، ومن خلفهما العالم، صارت إمدادات الغاز الروسي على المحك، واضطرت معها الدول الأوروبية لاعتماد سياسات ترشيد للحد من استهلاك الغاز بعد انخفاض الصادرات الروسية بنسبة 45% نهاية عام 2022 مسجلة 101 مليار متر مكعب، مقارنة بنحو 185 مليار متر مكعب عام 2021⁽¹⁾.

وتاريخياً، تأسست الوكالة الدولية للطاقة عام 1974 بعضوية 28 دولة أوروبية بالإضافة إلى أمريكا وأستراليا، بغرض تأمين إمدادات الطاقة فضلاً عن امتلاك حصة استراتيجية من النفط تمكنها من مجابهة أية أزمات طاقة مماثلة في المستقبل.

أعقب هذا التاريخ، وضع برامج وطنية وإقليمية لتطوير تكنولوجيات الطاقة المتجددة؛ أثمرت في دفع تقنيات طاقة الرياح والخلايا الشمسية إلى واجهة الطلب، لتتجاوز استثماراتهما السنوية حالياً حاجز 300 مليار دولار

أمريكي، فضلاً عن تدني كلفة انتاجهما للكهرباء مقارنة بغيرهما من المصادر الأحفورية، لتجاوز إجمالي القدرات المضافة سنوياً من المصادر المتجددة نظيرتها الأحفورية.

والياً، تتحول الطاقة المتجددة إلى محفز للاستثمار في وقود المستقبل، الهيدروجين الأخضر، سواء استخدم بذاته، كناقل للطاقة، أو كعنصر وسيط لإنتاج الأمونيا أو الميثانول أو منتجات أخرى. وفي هذا السياق، يتناول هذا التحليل الجهود الدولية لإدماج الهيدروجين الأخضر ضمن مزيج الطاقة العالمي، والتحديات الماثلة أمام ذلك.

الهيدروجين الأخضر: ما هو؟

يعتمد إنتاج الهيدروجين الأخضر على فك ارتباط ذرة الأكسجين عن ذرتي الهيدروجين المكونين معاً لجزيء الماء عن طريق أجهزة التحليل الكهربائي "Electrolyzer"، مكتسباً لقب "أخضر" لكون الطاقة الكهربائية المستخدمة في تشغيل أجهزة التحليل تنتج من مصادر متجددة، عدا ذلك يمنح ألقاباً أخرى، من قبيل الرمادي والأزرق والبني، بحسب المصدر المستخلص منه.

من هنا تثار أسئلة عن آليات ضمان استدامة إمدادات طاقة كهربائية نظيفة لإنتاج الهيدروجين الأخضر، حيث أنها تعتمد على مصادر تتغير وتيرتها تبعاً للظواهر الجوية كتباين سرعات الرياح وتفاوت الإشعاع الشمسي على مدار الساعة.

ويعمل المصممون- عند إنتاج الهيدروجين الأخضر- على توليف خليط من المصادر المتجددة تختلف قدرات تكنولوجياته بحسب طبيعة الموقع وقدرة أجهزة التحليل الكهربائي (المحولات الكهربائية)، وإن دارت متوسطاتها حول نسبة 1:2.4، بمعنى أن كل 1 ميغاوات منتجة بواسطة محلل كهربائي، تتطلب قدرة متجددة إجمالية بقيمة 2.4 ميغاوات (طاقة رياح أو طاقة شمسية، أو كليهما).

جهود النشر العالمي:

تتنافس العديد من الدول لاقتطاع نصيبها من سوق الهيدروجين الأخضر في إطار انتقال الطاقة والتحول نحو الطاقة النظيفة في المستقبل. تتعدد عوامل جذب المستثمرين بالأسواق المحتملة لإنتاج الهيدروجين، ولعل في مقدمتها توافر الموارد الطبيعية مما دفع بدول شمال أفريقيا ودول الخليج الغنية

بتلك الموارد لتصبح واجهة أساسية للمستثمرين في مجال إنتاج الهيدروجين الأخضر، خاصة مع انخفاض كلفة إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح بتلك المناطق.

وتتراوح معدلات الإشعاع الشمسي في المنطقة من 1700 كيلو واط ساعة / متر مربع / سنة في أقصى الغرب، حيث المملكة المغربية إلى 2300 كيلو واط ساعة / متر مربع / سنة في الوسط والشرق، حيث مصر والمملكة العربية السعودية، على الترتيب. وكذلك متوسط سرعات رياح أعلى من 8 متر / ث في العديد من المناطق الساحلية ببلدان المنطقة.

فضلاً عن ذلك، تتمتع العديد من هذه الدول بمواقع ساحلية استراتيجية، يفصلها عن المراكز الواعدة لاستهلاك الهيدروجين الأخضر في آسيا وأوروبا، كما في عُمان والسعودية، ومصر والمغرب، في حين يحرم عدم الاستقرار السياسي والأمني اليمن من المنافسة رغم تمتعها بموقع مفصلي على مضيق باب المندب.

وقد شهدت الشهور الماضية العديد من المبادرات والإجراءات ذات الصلة، ففي نوفمبر 2022 وعلى هامش مؤتمر الأطراف السابع والعشرين في شرم الشيخ، أطلقت مصر استراتيجيتها للهيدروجين الأخضر ووقعت 9 اتفاقيات مع تحالفات عالمية يتجاوز إجمالي استثماراتها -بالإضافة إلى ما وُقِعَ من مذكرات تفاهم- الثمانين مليار دولار.

كما تستهدف الإمارات الاستحواذ على ربع سوق الهيدروجين عالمياً في العقد المقبل. وأطلقت مبادرات وشراكات وأعدة بين الشركات المحلية والأجنبية لحفز إنتاج الهيدروجين الأخضر والأمنيا الخضراء في السنوات المقبلة⁽²⁾. وكذلك ترافق سعي السعودية في بلورة مشروع "نيوم" كمدينة عابرة للحدود ونموذج اقتصادي عالمي، وأطلقت مبادرة "السعودية الخضراء - رؤية 2030"، مع الإعلان عن مشروعات هيدروجين بزيادة شركات مثل "أكواباور" و"الفنار" اللذان تتجاوز استثماراتها حدود المملكة إلى العديد من الدول العربية⁽³⁾.

وبلا شك، سوف تسهم الفترة القادمة في تنقيح السوق العالمي للهيدروجين الأخضر اعتماداً على ما ستشهده تقنيات التحليل الكهربائي من تطور وسبل تعظيم إنتاج مشروعات الطاقة المتجددة، وكذلك تشريعات جاذبة في ظل استقرار أمني وسياسي يستقطب الاستثمارات الأجنبية المباشرة.

تذليل العقبات:

يبلغ الإنتاج العالمي للهيدروجين حالياً حوالي 100 مليون طن، 75% منها مستخلصة من الغاز الطبيعي، والنسبة الباقية من الفحم. ويمثل الاستهلاك العالمي من كلا الموردين لإنتاج الهيدروجين حوالي 6%، 2%، على الترتيب. وتركز استخدامات ومشتقات الهيدروجين في العديد من الصناعات، 55% في تصنيع الأمونيا، 25% في معامل التكرير، و10% لإنتاج الميثانول. على صعيد آخر، ينتظر نمو استخداماته في قطاعات الاستهلاك الحالية لتقفز عائداته من حوالي 200 مليار دولار العام السابق، إلى أكثر من 700 مليار دولار بحلول عام 2040، بمتوسط نمو 7.5%⁽⁴⁾.

ومع ذلك، تأتي هذه التوقعات في ظل أجواء تسيطر عليها غيوم تحديات تشمل -كما سبق ذكره- استدامة مصدر الكهرباء المتجدد، حيث ستلعب منهجيات التحقق والمراجعة دوراً كبيراً يقارب ما سبق وقامت به في إصدار شهادات الكربون ضمن آلية التنمية النظيفة "Clean Development Mechanism, CDM" التي أقرها بروتوكول كيوتو عام 1997⁽⁵⁾.

في هذا الإطار، يعمل الاتحاد الأوروبي على إصدار آلية لضمان إنتاج الهيدروجين الأخضر من مصادر متجددة، حيث تتضمن المادة (8) من التوجيه المعروض على البرلمان الأوروبي والمعنون بـ "Certification of Renewable and Low Carbon Fuels" آليات تشترط ألا تقل نسبة مساهمة الطاقة المتجددة في إنتاج الهيدروجين الأخضر عن 70%، مع إعادة النظر بشكل دوري في تلك النسبة، وذلك في ضوء ما أصدره الاتحاد الأوروبي من معايير منتصف فبراير الماضي⁽⁶⁾.

إلى جانب ذلك تضم تحديات دمج الهيدروجين في نظام الطاقة العالمي إجراءات التخزين والنقل الآمن للهيدروجين، حيث يصنف على قمة هرم الغازات القابلة للاشتعال بمجرد خلطه بالهواء الجوي، علاوة على سهولة تسربه. لذا، يستخدم ثلثي الهيدروجين المنتج حالياً بالقرب من مواقع إنتاجه، وذلك بخلاف الغاز الطبيعي المستخدم على نطاقات واسعة تشمل خطوط أنابيب عابرة للدول، ووحدات إسالة، وشبكات تمتد داخل المدن.

ويتضح حجم تحديات تخزين ونقل الهيدروجين الأخضر في مؤشرات توجه استثماراته نحو إنتاجه في دول منطقة شمال أفريقيا وتصديره إلى الأسواق الأوروبية، وعلى رأسها ألمانيا، والأسواق الآسيوية وفي مقدمتها اليابان، حيث الأسعار العالية.

وتكشف بعض الأبحاث، إمكانية خلط الهيدروجين مع الغاز الطبيعي في محطات الكهرباء الحرارية بنسبة تصل إلى 20%، ومع أن النسب العملية لم تتجاوز 10% -نفذت في ظل احتياطات وتدابير تأمين فائقة- إلا أن نجاح هذه الآلية يفتح الباب أمام استخدام الهيدروجين في إنتاج الطاقة الكهربائية وخفض الطلب على الغاز الطبيعي الذي تحول إلى تحدي أساسي لدى الساسة الأوروبيين بعد استخدامه مؤخراً كورقة ضغط من جانب روسيا.

ويمكن التحدي التالي في ارتفاع كلاً من التكاليف الرأسمالية لأجهزة التحليل الكهربائي -تتراوح من 750 إلى 1200 يورو لكل كيلو وات- وكذلك تكاليف تشغيلها. تجارياً، وتتوافر ثلاثة أنواع لأجهزة التحليل الكهربائي؛ القلوي "Alkaline"، الغشاء البريتوني "Proton Exchange Membrane"، والأكاسيد الصلبة "Solid Oxide"، يتراوح استهلاكها من الكهرباء لإنتاج واحد كيلوجرام من الهيدروجين من 50 إلى 58 كيلو وات ساعة، مع متوسط كفاءة 60%.

الهيدروجين والنفوذ الدولي:

يلاحظ المتتبع للأحداث العالمية التي غيرت مسارات التاريخ ارتباطها الوثيق بالطاقة؛ بنهاية الحرب العالمية الأولى، أدرك قطبي العالم آنذاك، فرنسا وبريطانيا أهمية ضمان واستدامة إمدادات النفط في حسم نتائج الحرب. وعلى الرغم من الأسباب السياسية للحرب العالمية الثانية، إلا أن توزيع مكاسبها ارتبط بمواقع الثروة النفطية.

تاريخياً، احتل النفط مكانة أساسية في نظام الطاقة العالمي معتمداً على التنوع الواسع لمشتقاته بخلاف غيره من المصادر، مما جعله عاملاً حاسماً في العديد من الأحداث العالمية، فقد عرف العصر الحديث أربع أزمات كبرى في مجال النفط، وقعت أولاها في عام 1973 كنتيجة مباشرة لحرب أكتوبر بين مصر وإسرائيل، والثانية عام 1980 كرد فعل لنشوب الحرب العراقية الإيرانية، ووقعت الثالثة في أغسطس 1990 بسبب حرب الخليج الثانية، أما الرابعة فكانت بسبب أحداث 11 سبتمبر⁽⁷⁾ 2001. كذلك، دفع كلاً من فيروس كورونا المستجد والحرب الروسية العالم تجاه تعظيم الاعتماد على المصادر المتجددة والعمل على إنتاج مصدر جديد للطاقة تمثل في الهيدروجين الأخضر.

وتشمل محركات الأسواق الحالية للاستثمار في الهيدروجين الأخضر الحاجة إلى استشراف السوق العالمي من جهة، والاستحواذ المبكر على منتج مستقبلي ذو مكانة استراتيجية يمنح صاحبه قوة ناعمة استثنائية، وإن ظلت مرهونة

بعدة عوامل يأتي في مقدمتها ما ستفرزه معامل الأبحاث وبرامج التطوير سواء في سبل رفع قدرات أجهزة التحليل الكهربائي وخفض كلفتها وكذلك تقليل استهلاكاتها من الكهرباء مع تعظيم إنتاجيتها من الهيدروجين، وأيضاً تقدم تقنيات تخزين الطاقة وأهمها البطاريات التي انخفضت أسعارها بنحو 90% خلال العشر سنوات الماضية، حيث ستتكفل بضمان استدامة التغذية الكهربائية وتحولها من مصادر متجددة متغيرة الناتج إلى مصادر مستقرة توفر الطاقة عند الطلب.

وكما أسهمت مصادر الطاقة كافة في فرض هيمنتها على سلوكيات البشر وغيّرت من عاداتهم، ينتظر أن تسهم تقنيات تخزين الطاقة في تغيير هيكلية محطات إنتاج الكهرباء في التحول من محطات عملاقة تتجاوز قدراتها آلاف الميجاوات إلى محطات عنقودية لامركزية متوسطة القدرة مع رفع معدلات الاعتماد المباشر على المصادر المتجددة دون حاجة للارتباط بالشبكة الكهربائية.

من هذا المنطلق، تعمل الدول الكبرى على الاستحواذ على النصيب الأكبر من سوق الهيدروجين الأخضر، حيث أسست الصين "تحالف الصين للهيدروجين" "China Hydrogen Alliance" في عام 2018، ولتعزيز استحقاقها على لقب المنتج الأول للهيدروجين، حوالي 25 مليون طن سنوياً، أنشأت بدعم حكومي مركز صناعي تحت اسم "وادي الهيدروجين" Hydrogen "Valley"، حيث تشير التوقعات إلى تجاوز الطلب الصيني سقف 35 مليون طن عام 2030، ثم إلى 60 مليون طن بحلول عام 2050⁽⁸⁾.

في المقابل، ومع تبنيه برنامجاً طموحاً للطاقة المتجددة خلال فترة منافسته في الانتخابات الرئاسية، وقع الرئيس الأمريكي جو بايدن في أغسطس 2022 قانوناً لخفض التضخم (Inflation Reduction Act of 2022) مستهدفاً ثلاث قطاعات رئيسية: تغير المناخ، والطاقة، والرعاية الصحية⁽⁹⁾.

ويمنح القانون منتجي الهيدروجين الأخضر إعفاء ضريبياً يصل إلى 3 دولارات لكل كيلو جرام منتج من الهيدروجين خلال السنوات العشر الأولى من التشغيل⁽¹⁰⁾، وهو ما يمنح هذه المشروعات ميزة تنافسية تغري الكثيرين من المستثمرين لإنشاء مشروعاتهم في أمريكا، بعيداً عن الأسواق المنافسة في أوروبا والصين المعنيتان بتسريع وتيرة تطور أجهزة التحليل الكهربائي في ظل تعهد الاتحاد الأوروبي في خطته للطاقة المتجددة "REPowerEU" تبني إنشاء بنك الهيدروجين الأوروبي في خريف 2023⁽¹¹⁾.

ويهدف الاتحاد الأوروبي في استراتيجيته إلى رفع مساهمة الطاقة المتجددة إلى 45% بحلول عام 2030، وإنتاج 20 مليون طن هيدروجين أخضر، منها 25% في شكل أمونيا خضراء و30% في صناعة الحديد والصلب، مما يجعله أحد أكثر الأسواق اهتماماً بالهيدروجين الأخضر، خاصة بعد تداعيات الحرب الروسية الأوكرانية، وتأثر أوروبا بالعقوبات الروسية مما حدا بدولها إلى اتخاذ إجراءات قاسية لخفض معدلات استهلاك الوقود في القطاعات المختلفة، وخاصة المنزلية والنقل⁽¹²⁾.

وبلا شك، تعزز هذه الجهود ارتفاع مستوى التنافسية عالمياً لتحويل الهيدروجين الأخضر ومشتقاته إلى منتج تجاري يشارك بنسب ملموسة في مزيج الطاقة العالمي، مع تجنب الاحتكار -قدر الإمكان- سواء على مستوى التكنولوجيا، وتحديدًا المحلات الكهربائية أو إنتاج الهيدروجين وتصديره كمنتج مستقل أو ضمن سلع استراتيجية خضراء مثل الأمونيا، والميثانول والصلب وغيرها.

التكنولوجيا وآفاق التطوير:

يمكن أن يصبح تطوير مشروعات الهيدروجين الأخضر قاطرة للعديد من التقنيات ذات الصلة بتحلية المياه، حيث يتطلب إنتاج كل واحد كيلو جرام من الهيدروجين الأخضر 9 لترات مياه عذبة، وعليه تخطط العديد من البلدان -وخاصة الواقعة تحت خط الفقر المائي- لتحلية مياه البحر واستخدامها كمدخل رئيسي لإنتاج الهيدروجين الأمر الذي سيزيد عليه تكلفة إضافية تحد من تنافسية الهيدروجين الأخضر.

من هنا، نعول على الدور الإيجابي الكبير الذي يمكن أن تلعبه معامل البحث والتطوير على المستوي الأفقي لمراحل إنتاج الهيدروجين، بداية من خفض كلفة تقنيات تحلية المياه، وتصنيع محلات كهربائية ذات ساعات كبيرة وتكلفة منافسة، وأيضاً في دمج الهيدروجين في المزيد من التطبيقات لتيسير تداوله كغاز خام عبر خطوط أنابيب عابرة للحدود أو ضمناً داخل العديد من المنتجات.

ختاماً، يمكن القول إن هناك زخماً كبيراً وعوامل عدة يتحدد عليها مستقبل الهيدروجين الأخضر، المثير في الأمر أن بعض العوامل ما زالت في طور التطوير؛ كالمحلات الكهربائية، وأخري محل جدال؛ هل نستخدم المياه العذبة أم المَحلاة، وثالثة يجري صياغتها؛ مثل معايير واشتراطات استحقاق صفة (هيدروجين أخضر)، وبلا شك سوف يكون

لكل من هذه العوامل دور بارز في حسم مستقبل الهيدروجين الأخضر ومدى تحوله إلى منتج تجاري يُعول عليه في رسم سياسات الطاقة وخفض الطلب على الغاز الطبيعي، وهذا هو الهدف الأهم للكثير من الأسواق، وخاصة الأوروبية المتأثرة بتراجع واردات الغاز الروسي.

المراجع

- 1- Russian gas exports outside former Soviet states fell 45.5% in 2022: Gazprom, **Ahramonline**, January 2, 2023, accessible at: <https://bit.ly/3yAOIJv>
- 2- عمر المر، الإمارات تستهدف 25% من السوق العالمية لوقود الهيدروجين بحلول 2030، **فوربس الشرق الأوسط**، 4 نوفمبر 2021، متاح على الرابط التالي: <https://bit.ly/3GodD77>
- 3- Giampaolo Cantini, Hydrogen in the MENA region: Priorities and steps forward, **Atlantic Council** February 14, 2023, accessible at: <https://bit.ly/3zsQAnO>
- 4- Hydrogen Market – Industry Dynamics, Market Size, and Opportunity Forecast to 2040, **Astute Analytica**, February 10, 2023, accessible at: <https://bit.ly/3SR4EAB>
- 5- بروتوكول كيوتو: أعتد بروتوكول كيوتو الملحق باتفاقية الأمم المتحدة الإطارية لتغير المناخ في الدورة الثالثة لمؤتمر الأطراف الذي عقد في مدينة كيوتو باليابان في العام 1997، ويشتمل البروتوكول على تعهدات ملزمة قانوناً بالإضافة إلى تلك التعهدات الواردة في اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية لتغير المناخ. ووافقت معظم بلدان منظمة التعاون والتنمية الاقتصادية OECD والبلدان التي تمر اقتصاداتها بمرحلة انتقالية على تخفيض انبعاثاتها من غازات الدفيئة البشرية المنشأ بخمسة في المائة على الأقل دون مستويات العام 1990 خلال فترة الالتزام الممتدة من 2008 – 2012.
- 6- supplementing Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council by establishing a Union methodology setting out detailed rules for the production of renewable liquid and gaseous transport fuels of nonbiological origin, **European Commission**, 2023, accessible at: <https://bit.ly/3GnBkwu>
- 7- محمد مصطفى الخياط، "الطاقة لعبة الكبار.. ما بعد الحضارة الكربونية"، دار سطور الجديدة، 2021
- 8- Op.cit, Hydrogen Market – Industry Dynamics, Market Size, and Opportunity Forecast to 2040, accessible at: <https://bit.ly/3SR4EAB>
- 9- Analysis and observations: Tax Law Changes in the "Inflation Reduction Act, **KPMG**, August 2022, accessible at: <https://bit.ly/3IV99FB>
- 10- كيف يمكن لمصر أن تحجز مكانها كأحد مصدري الهيدروجين الأخضر الرئيسيين إلى أوروبا؟، **أنتربرايز**، 7 فبراير 2023، متاح على الرابط التالي: <https://bit.ly/3ZpDT8Q>
- 11- Hydrogen, **European Commission**, accessible at: <https://bit.ly/3Jz7X04>
- 12- "Implementing The Repower EU Action Plan: Investment Needs, Hydrogen Accelerator And Achieving The Bio-Methane Targets", **European Commission**, May 18, 2022, accessible at: <https://bit.ly/3L1Q3jC>

