منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول(أوابك)

تقرير حول:

الدورة الثالثة عشرة لمجموعة خبراء الغاز بالأمم المتحدة

28-29 أبريل 2026- جنيف-سويسرا

إعداد المهندس/وائل حامد عبد المعطي-خبير صناعات غازية،إدارة الشؤون الفنية- أوابك

مقدمة

شاركت الأمانة العامة لمنظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك) **عبر الاتصال المرئي** في الدورة الثالثة عشرة لمجموعة خبراء الغاز بالأمم المتحدة التي انعقدت بمقر الأمم المتحدة في جنيف خلال الفترة 28-29 أبريل 2026.

وقد شهدت الدورة حضوراً واسعاً من عشرات الخبراء ممثلين عن الدول الأعضاء في اللجنة الاقتصادية لأوروبا (UNECE) ومن بينها خبراء من ألبانيا، أرمينيا، النمسا، أذربيجان، بلجيكا، البوسنة والهرسك، كندا، قبرص، جمهورية التشيك، الدنمارك، فرنسا، جورجيا، ألمانيا، اليونان، المجر، آيسلندا، إيطاليا، كازاخستان، قيرغيزستان، لاتفيا، مولدوفا، هولندا، النرويج، بولندا، البرتغال، رومانيا، الاتحاد الروسي، صربيا، إسبانيا، السويد، سويسرا، طاجيكستان، تركيا، أوكرانيا، المملكة المتحدة، الولايات المتحدة، وأوزبكستان، بالإضافة إلى ممثلي المفوضية الأوروبية.

كما شارك ممثلو عدد من المنظمات الدولية والعالمية ومن بينها الاتحاد الدولي للغاز، ومنتدى الدول المصدرة للغاز، ومنظمة الهيدروجين في أوروبا، المبادرة العالمية للميثان، وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP).كما قدمت الأمانة العامة لأوابك إلى سكرتارية فريق الخبراء ورقة **عمل أعدها المهندس/ وائل حامد عبد المعطي، خبير صناعات غازية بالمنظمة**، تتضمن مخرجات دراسة نقل وتخزين الهيدروجين: الخيارات والتحديات، والتي كانت مدرجة ضمن جدول أعمال اللجنة ضمن دورتها الثانية عشرة حسب المبادرة التي تقدمت بها كل من أوابك وروسيا الاتحادية، في مارس 2025.

الملاحظات الافتتاحية والتوجهات الاستراتيجية

في كلمته الافتتاحية، **قدم السيد Francisco Dela Flor، رئيس فريق خبراء الغاز بالأمم المتحدة**، تحليلاً شاملاً للمتغيرات السريعة التي طرأت على أسواق الطاقة العالمية منذ انعقاد الدورة السابقة في مارس 2025. حيث أوضح أن قطاع الطاقة العالمي يعمل وسط بيئة معقدة تتسم بالاضطرابات الجيوسياسية المستمرة وعدم اليقين بخصوص الإمدادات والطلب في الأسواق. ومع ذلك، أكد أن هذا الواقع يتزامن مع استمرار تقدم تقني ملحوظ، وتسارع في وتيرة خطط نزع الكربون من القطاعات الاقتصادية المختلفة، الأمر الذي يعكس استمرار الجهود الدولية نحو تحقيق مستقبل مستدام للطاقة.

كما شدد رئيس فريق الخبراء على أن الغاز الطبيعي لم يعد يُنظر إليه بمعزل عن منظومة الطاقة الحديثة، بل إنه يشكل - إلى جانب الغاز الحيوي والميثان الحيوي والهيدروجين - عنصراً أساسياً ومحورياً في تأمين الانتقال السلس للطاقة وتأمين الطلب على الطاقة مستقبلاً.

من جانبه أبلغ **السيد Dario Liguti، مدير إدارة الطاقة المستدامة بالأمم المتحدة،** مجموعة الخبراء بطلب اللجنة الاقتصادية الأوروبية **بتغيير مسمى الفريق من خبراء الغاز (Group of Expert on Gas) إلى خبراء الغازات (Group of Expert on Gases) .** حيث أوضح أن الهدف من هذا التعديل الهيكلي في المسمى هو توسيع نطاق أعمال الفريق، ليشمل صراحةً الغازات منخفضة الكربون (مثل الهيدروجين والميثان الحيوي) التي باتت تلعب دوراً متزايد الأهمية في المشهد البيئي والطاقي، مع وجود آفاق واعدة للطلب عليهما.

محاور الدورة وأبرز الرسائل الاستراتيجية للجلسات

تضمنت الدورة جلسات نقاشية انعقدت على مدار يومين، شارك فيها الخبراء للحديث عن أبرز التطورات والمستجدات في قطاع الغاز العالمي ومن بينها:

- الدور المتنامي للغاز في سياق طاقة مستدامة وأمن الإمدادات.
- فهم التكلفة الحقيقية لأنظمة الطاقة منخفضة الكربون.
- الغاز الطبيعي والغاز الحيوي والهيدروجين كشركاء في التحول الطاقي.
- اتجاهات سوق الغاز العالمية وتأثيراتها على الأسواق.
- إدارة انبعاثات الميثان وثاني أكسيد الكربون في قطاع الغاز.

أولا: الدور المتنامي للغاز في سياق الطاقة المستدامة وأمن الإمدادات

خلص الخبراء إلى أن الغاز سيبقى عنصراً أساسياً لضمان أمن الطاقة واستقرار الشبكات الكهربائية. كما أن الاعتماد على تطبيق نموذج الكهرباء (Electrification Model) وحده لن يكون ممكناً وهو النموذج الذي يعتمد على تطبيق الكهرباء في مختلف القطاعات لتحل محل الوقود الأحفوري، على أن يتم توليدها باستخدام مصادر الطاقة المتجددة مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية. ويعود ذلك إلى عدم إمكانية تطبيقه في التطبيقات الصناعية التي تعتمد على الغاز الطبيعي كمادة أولية. في سياق متصل، فإن استمرار توفر الغاز بأسعار مناسبة للمستهلكين يعد عاملاً حاسماً للتنافسية الصناعية، وضمان توفير فرص عمل في الأسواق المختلفة.

وإدراكاً للدور المتنامي للغاز في منظومة الطاقة المستقبلية، فقد تم التأكيد على ما يلي:

- ضرورة ضخ الاستثمارات في البنية التحتية للغاز على طول سلسلة القيمة بداية من الإنتاج مروراً بالنقل وحتى الوصول إلى مراكز الاستهلاك. فأي وقف للاستثمارات في البنية التحتية وأنظمة الإمداد الحالية سيؤدي إلى حدوث حالات انقطاع كهربائي ونقص في الطاقة. كما أن تطوير البنية التحتية الحالية يمكن البناء عليها كأساس لتوسيع نطاق الهيدروجين والميثان الحيوي مستقبلاً.
- ضرورة حماية منشآت الطاقة الدولية من أية تهديدات، للحفاظ على أمن الإمدادات وضمان وصولها دون قيود إلى الأسواق العالمية.
- تنويع مصادر الإمدادات وعدم الاعتماد على مصدر واحد لتقليل المخاطر الجيوسياسية.

ثانياً: فهم التكلفة الحقيقية لأنظمة الطاقة منخفضة الكربون

أقر فريق الخبراء بأن محطات توليد الكهرباء التي تعمل بالغاز تمثل حالياً الأداة الأكثر فاعلية وتنافسية من حيث التكلفة لموازنة تذبذب الطاقات المتجددة. ويعود ذلك إلى قدرتها على التشغيل والإقلاع السريع (Quick Ramp-up) لتوفير طاقة احتياطية فورية، فضلاً عن قدرتها الفعالة على دعم استقرار الشبكة.

كما تطرق فريق الخبراء إلى المنهجية الحالية المستخدمة في تقييم بناء أنظمة طاقة منخفضة الكربون، والتي تقوم على حساب تكاليف التوليد المباشرة فقط. حيث أوصى الفريق

بضرورة تطوير هذه المنهجية بحيث لا تشتمل فقط على تكاليف التوليد المباشرة بل تمتد لتشمل قيمة وجود سعة طاقة احتياطية موثوقة ودائمة، وهو الدور الذي يمكن للغاز الطبيعي والغازات الأخرى منخفضة الكربون لعبه بكفاءة. وفي هذا الصدد، أوصى الفريق بتطوير منهجية أكثر شمولية وتطوراً من أجل فهم التكاليف الكاملة لنظام الكهرباء بحيث تشمل:

- تخطيط متكامل يربط بين البنية التحتية، وموارد التوليد، وشبكات النقل والتوزيع، ومرونة الطلب.
- دراسة صريحة لخدمات موثوقية الشبكة (التردد، دعم الجهد الكهربائي).
- صياغة بروتوكول موحد يوازن بين أركان "معضلة الطاقة الثلاثية" وهي: القدرة المادية على تحمل التكاليف (Affordability)، والاستدامة البيئية (Sustainability)، وأمن الإمدادات (Security).

ثالثاً: الشراكة الاستراتيجية بين الغاز والميثان الحيوي والهيدروجين

أكدت نقاشات الخبراء على أن الانتقال السلس لتحول الطاقة لن يعتمد على مصدر واحد، بل على تكامل عدة مصادر مثل الغاز الحيوي والميثان الحيوي والهيدروجين.

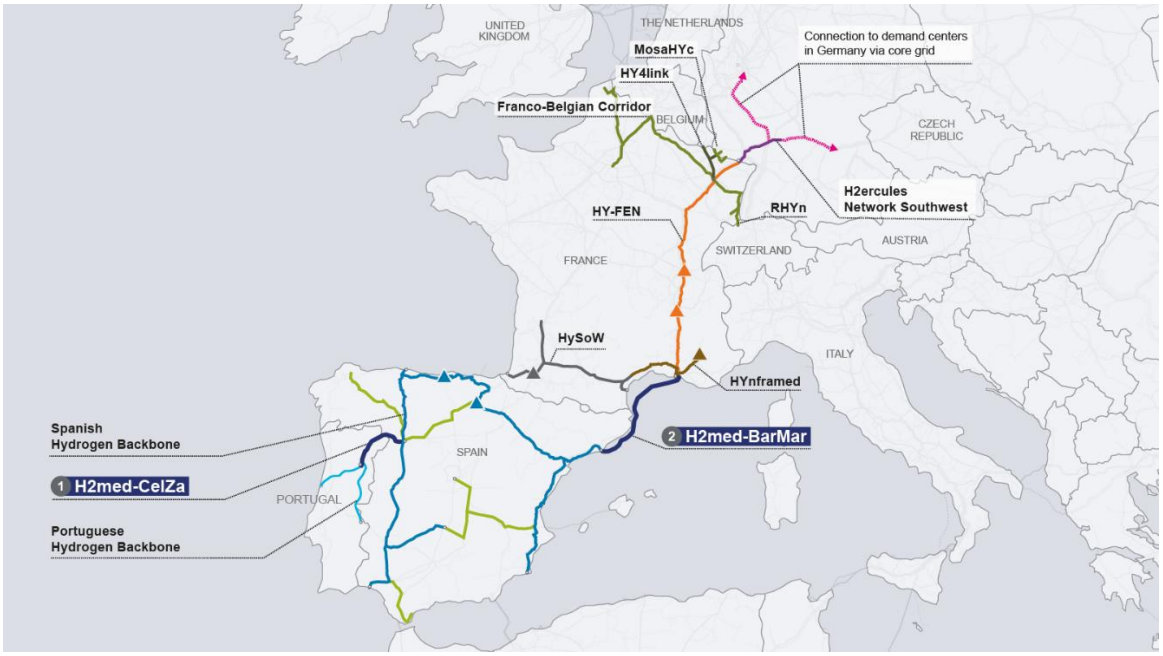
فالميثان الحيوي بات يلعب دوراً محورياً في عدة مناطق خاصة في أوروبا وأمريكا الشمالية وبعض الأسواق الآسيوية. فهو يعزز أمن الإمدادات عبر توفير مصدر طاقة محلي متجدد. كما أنه يقلل الاعتماد على الواردات الخارجية، ويساهم بشكل فعال في تخفيف مخاطر ارتفاع الأسعار والإمدادات الناتجة عن التوترات الجيوسياسية المتصاعدة .كما أن إنتاجه اللامركزي والموزع يدعم قطاعات حيوية كالنقل ويمثل قيمة استراتيجية عالية لمنظومة الطاقة المحلية.

أما الهيدروجين، فقد أوضح الفريق أنه يمر حالياً بمرحلة حاسمة من التطور والانتشار رغم تراجع وتيرة المشروعات المعلنة في السنوات الأخيرة. وأشاد فريق الخبراء بالحوافز التشريعية (خاصة الصادرة من الإتحاد الأوروبي) التي تقدمها بعض الحكومات المهتمة بالاستثمار في الهيدروجين، مع توقعات أن يؤدي التوسع المستمر في مشاريع إنتاج الهيدروجين إلى خفض تكاليف إنتاجه لمستويات تنافسية.

كما رحب فريق الخبراء بتطوير ممرات الهيدروجين الأوروبية العابرة للحدود، ومن أبرزها ممر الهيدروجين المتوسطي H2Med الذي وصل إلى مراحل تحضيرية متقدمة، ومكونه الأساسي ممر BarMar البحري الذي يظهر تقدماً ملموساً لربط مراكز الإنتاج بمناطق الطلب الصناعي.

ويُعد ممر الهيدروجين المتوسطي H2Med أحد أهم مشاريع البنية التحتية للهيدروجين في أوروبا، ويهدف إلى إنشاء شبكة نقل عابرة للحدود تربط مناطق الإنتاج منخفضة التكلفة في شبه الجزيرة الإيبيرية بإسبانيا بأسواق الطلب الصناعي الكبرى في شمال غرب أوروبا، الشكل-1. وقد أطلق المشروع عام 2022 ضمن استراتيجية الاتحاد الأوروبي لتسريع إزالة الكربون وتقليل الاعتماد على واردات الوقود الأحفوري، خصوصاً بعد أزمة الطاقة الأوروبية. ويرتكز الهدف الرئيسي للممر على نقل 2 مليون طن سنوياً من الهيدروجين الأخضر لدعم الصناعات الثقيلة ، وإزالة الكربون من القطاعات كثيفة الانبعاثات، وتعزيز تكامل سوق الهيدروجين الأوروبي ضمن مبادرة REPowerEU الأوروبية.

الشكل-1: ممر الهيدروجين المتوسطي H2Med الرابط بين إسبانيا والبرتغال وفرنسا وألمانيا



المصدر: H2Med

كما شدد الفريق على أهمية صياغة لوائح تنظيمية مُمكّنة، وتطوير أنظمة إصدار شهادات موثوقة (Certification Schemes)، وقواعد للأمن والسلامة كونها تشكل الأساس لبناء الثقة والتعاون التجاري العابر للحدود. ورحب الفريق بمخرجات ندوة فريق عمل الهيدروجين التي عُقدت في 27 أبريل 2026 قبل انطلاق الدورة، تحت عنوان "**من المبالغة إلى الثقة**".

رابعاً: اتجاهات سوق الغاز العالمية وتداعياتها

رصد الفريق مؤشرات الأسواق التي تظهر أن الصين ودول رابطة آسيان (ASEAN) ستكون المحرك الرئيسي للحصة الأكبر من نمو الطلب على الغاز على المدى القريب.كما أنه من المتوقع أن تلعب الهند دوراً مهماً في دعم نمو الطلب على الغاز الطبيعي عالمياً بحلول عام 2035، وبالأخص في القطاع السكني وقطاع النقل.

أما من جانب مستقبل تجارة الغاز الطبيعي المسال، فهناك إمكانية لوجود طلب إضافي مدفوع بتباطؤ وتيرة مشاريع طاقة الرياح البحرية في أوروبا، وبعض المناطق في آسيا. وفي حال وصول أسعار الغاز العالمية إلى مستوى 6 دولار لكل مليون وحدة حرارية بريطانية، فإن الطلب العالمي على الغاز الطبيعي المسال قد يقفز إلى 900 مليار متر مكعب بحلول عام 2030، وهو رقم يتجاوز بكثير مستويات عام 2024 البالغة 550 مليار متر مكعب، ويفوق التوقعات الأساسية السابقة البالغة 820 مليار متر مكعب.

كما تطرق الخبراء إلى مناقشة تداعيات الأزمة في الشرق الأوسط، والتي قد تؤثر اقتصادياً واجتماعياً على أسواق الطاقة، ومن ثم تم التأكيد على ما يلي:

- أهمية تعزيز التعاون الدولي، وضمان عدم التمييز في الوصول إلى مصادر الطاقة .
- ضرورة تنويع الإمدادات وزيادة قدرات التخزين الجوفي للمساهمة في تخفيف التداعيات الناتجة عن اضطراب الإمدادات.
- تسريع الإجراءات الخاصة بدعم كفاءة الطاقة و التوسع في الطاقة المتجددة .
- العمل على إزالة العوائق والحواجز أمام التدفق الحر لإمدادات الغاز التي تقيد المعروض وترفع مستويات الأسعار، بهدف تحقيق أهداف التنمية المستدامة للأمم المتحدة.

خامساً: إدارة انبعاثات الميثان وثاني أكسيد الكربون لدعم قطاع الغاز

أعرب الفريق عن دعمه للأهداف البيئية التي تستهدفها **لائحة الاتحاد الأوروبي للميثان** (EU Methane Regulation)، خاصة فيما يتعلق بخفض الانبعاثات المرتبطة بواردات الطاقة من خارج دول الاتحاد. وفي المقابل، أقرّ الخبراء بوجود تحديات تنفيذية واقعية تواجه المنتجين

والمستوردين داخل الاتحاد الأوروبي، خصوصاً فيما يتعلق بتحديث وتطوير منظومات الرصد والإبلاغ والتحقق (MRV)، خاصة في ظل الإطار الزمني الضيق للغاية المحدد للتنفيذ.

وللتغلب على تلك التحديات، اقترح الفريق أن يتم اعتماد نهج عملي يقوم على التنفيذ المرحلي (عبر مراحل متعاقبة)، على أن تضم كل مرحلة معايير واضحة وآليات تطبيق مناسبة. وتم التوافق على أن يعمل الفريق كمنصة حوارية بهدف التنسيق بين المنتجين والمستوردين لتسهيل تنفيذ اللوائح الأوروبية.

كما تم التأكيد على أن تقنيات احتجاز واستخدام وتخزين الكربون ستكون ضرورية لخفض انبعاثات القطاعات الصناعية الثقيلة ولإنتاج الهيدروجين منخفض الانبعاثات.

ورقة عمل بعنوان "نقل وتخزين الهيدروجين: الخيارات والتحديات"

إعداد المهندس وائل حامد عبد المعطي

خبير صناعات غازية

منظمة أوابك

قدمت الأمانة العامة لأوابك إلى سكرتارية لجنة الخبراء ورقة عمل متخصصة أعدها المهندس وائل حامد عبد المعطي، خبير صناعات غازية بالمنظمة، تتضمن مخرجات دراسة نقل وتخزين الهيدروجين: الخيارات والتحديات، والتي كانت مدرجة ضمن جدول أعمال اللجنة ضمن دورتها الثالثة عشرة حسب المبادرة التي تقدمت بها كل من أوابك وروسيا الاتحادية، في مارس 2025.

تضمنت الورقة عدة محاور للتعريف بأهمية نقل وتخزين الهيدروجين والخيارات الممكنة وإمكانية تطويرها. ففي **المحور الأول**، أوضحت ورقة أوابك أن نجاح اقتصاد الهيدروجين العالمي لا يعتمد على الإنتاج فقط، بل على إنشاء **سلسلة قيمة متكاملة** تشمل النقل والتخزين واسع النطاق. فالهيدروجين يحتاج إلى بنية تحتية مختلفة جذرياً عن الغاز الطبيعي بسبب خصائصه الفيزيائية. وأن أبرز الدوافع لإنشاء منظومات النقل والتخزين تشمل:

- موازنة التفاوت الزمني والموسمي بين الإنتاج والاستهلاك .
- تمكين التجارة الدولية للهيدروجين بين مناطق التصدير والاستيراد .

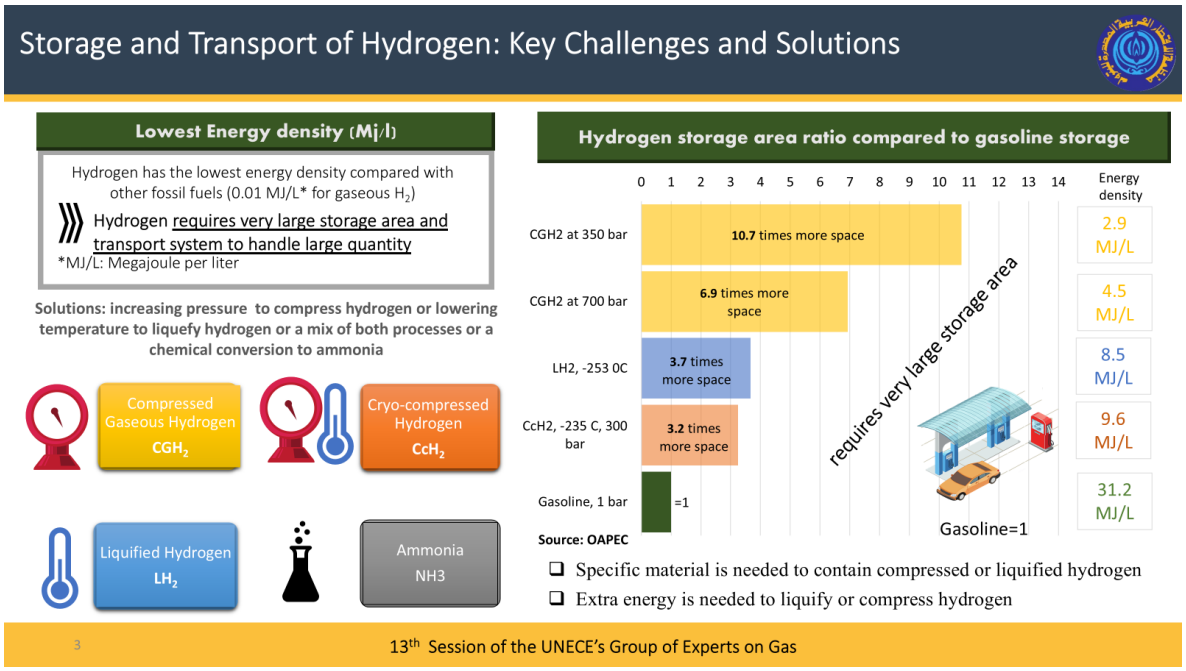
- دعم مراكز الطلب الصناعي الكبرى .
- ضمان أمن الإمدادات ضمن نظام طاقة منخفض الكربون .

لكن يظل نقل وتخزين الهيدروجين تحدياً كبيراً حيث يتسم الهيدروجين بتدني قيمة كثافة الطاقة له التي تعد الأقل مقارنة بباقي أنواع الوقود الأخرى، حيث تبلغ قيمة كثافة الطاقة وهو في حالته الغازية عند ضغط 1 بار نحو 0.01 ميجاجول لكل لتر (10.05 ميجاجول لكل متر مكعب)، وهو ما يعادل نحو 30% من قيمة كثافة الطاقة للغاز الطبيعي (عند ضغط 1 بار) والتي تبلغ 0.03256 ميجاجول لكل لتر (32.56 ميجاجول لكل متر مكعب). أما في حالة ضغط الهيدروجين عند 350 بار (ودرجة حرارة 15 درجة مئوية)، ترتفع قيمة كثافة الطاقة له بنحو 290 ضعف لتصل إلى 2.9 ميجاجول لكل لتر. بينما إذا تم رفع الضغط إلى 700 بار (ودرجة حرارة 15 درجة مئوية)، سترتفع قيمة كثافة الطاقة بنحو 450 ضعف لتصل إلى 4.5 ميجاجول لكل لتر.

ولتغيير درجة الحرارة تأثير أكبر على كثافة الطاقة للهيدروجين، فبتبريد الهيدروجين إلى -253 درجة مئوية، سيتحول إلى الحالة السائلة، وترتفع قيمة كثافة الطاقة بمعدل 850 مرة لتصل إلى 8.5 ميجاجول لكل لتر. وعلى سبيل المقارنة، فعند تبريد الغاز الطبيعي إلى -162 درجة مئوية، سيتحول إلى الحالة السائلة وترتفع قيمة كثافة الطاقة لتبلغ نحو 20.92 ميجاجول لكل لتر. وفي حالة تطبيق مزيج من العمليتين أي ضغط الهيدروجين بعد تبريده إلى -253 درجة مئوية، فسترتفع قيمة كثافة الطاقة إلى 9.6 ميجاجول لكل لتر. كما يمكن الاستمرار بخفض درجة حرارة الهيدروجين إلى درجة تجمده (تبلغ -259 درجة مئوية) والتي يصبح عندها عبارة عن مزيج من الحالة السائلة والحالة الصلبة أشبه بالجيلي (هيدروجين هلامي Slash Hydrogen)، وعندها تصل قيمة كثافة الطاقة إلى 9.8 ميجاجول لكل لتر.

يبين الشكل-2، القيم المختلفة لكثافة الطاقة للهيدروجين عند ظروف مختلفة من الضغط ودرجة الحرارة، وتأثيرها على مساحة التخزين المطلوبة مقارنة مع الجازولين.

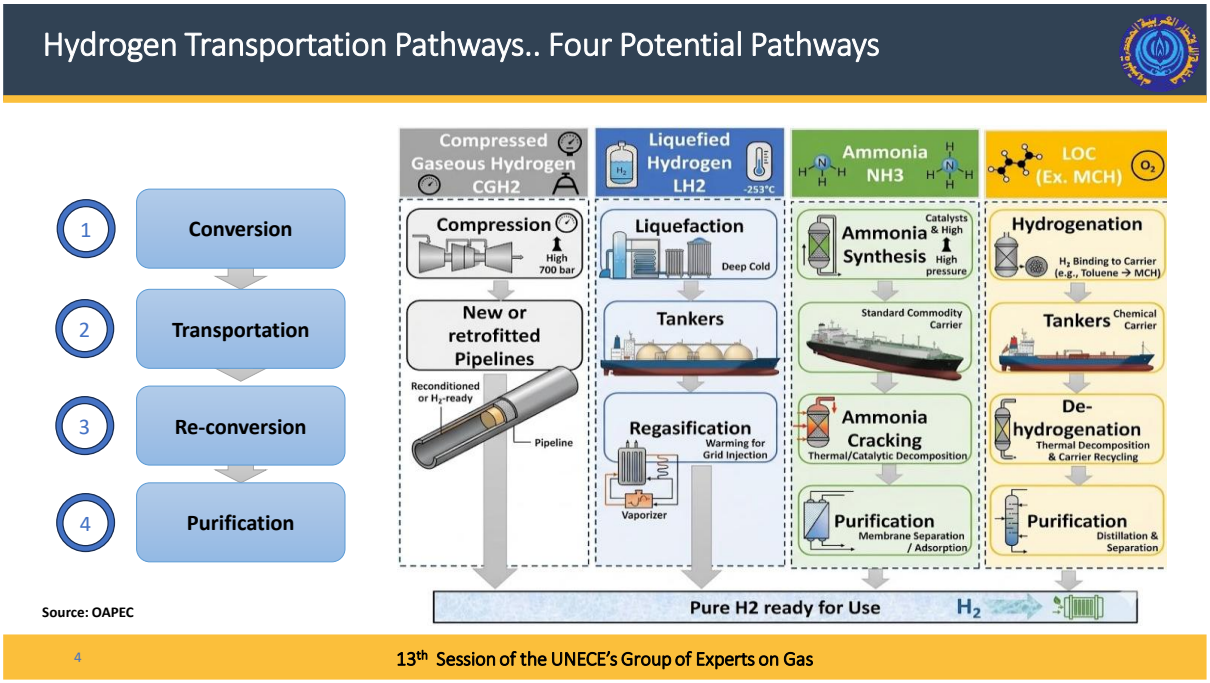
الشكل-2: كثافة الطاقة للهيدروجين عند ظروف مختلفة من الضغط ودرجة الحرارة، وتأثيرها على مساحة التخزين المطلوبة مقارنة مع الجازولين



أما **المحور الثاني** فقد تناول مسارات نقل وتصدير الهيدروجين في التجارة الدولية وهي إما نقل الهيدروجين عبر خطوط الأنابيب بعد ضغطه (هيدروجين مضغوط) كما هو الحال في خطوط نقل الغاز الطبيعي، أو إسالته إلى هيدروجين مسال عند -253 درجة مئوية ونقله عبر الناقلات المخصصة لذلك حتى يصل إلى ميناء الاستقبال في السوق المستورد. كما يمكن تحويل الهيدروجين إلى أمونيا سائلة ونقله بالناقلات أيضاً إلى ميناء الاستقبال. كما يمكن نقل الهيدروجين عبر تحويله إلى مركبات عضوية سائلة (Liquid Organic Hydrogen Carriers, LOHCs) ونقلها بالناقلات ثم نزع الهيدروجين منها في ميناء الاستقبال. ومن أمثلة تلك المواد مادة الميثيل سيكلو هكسان أو MCH.

وبخلاف نقل الهيدروجين عبر خطوط الأنابيب في حالته الغازية، تعد الطرق الثلاث الأخرى بمثابة مواد حاملة له، مما يتطلب إعادة تحويلها مجدداً إلى الهيدروجين في حالته الغازية ليكون جاهزاً للاستخدام، وهو الأمر الذي يستهلك طاقة إضافية ومن ثم تكاليف أعلى في التشغيل. يبين الشكل-3، المسارات المختلفة لنقل الهيدروجين في التجارة الدولية.

الشكل 3: المسارات المختلفة لنقل الهيدروجين في التجارة الدولية



ويجب عند المقارنة بين بدائل نقل الهيدروجين الأخذ بعين الاعتبار الطاقة المستخدمة في عملية التحويل (الإسالة، الهدرجة، تصنيع الأمونيا) وإعادة التحويل (التبخير، نزع الهيدروجين، تكسير الأمونيا)، وعملية التحميل والتفريغ في الموانئ. وحتى تسهل المقارنة، يمكن الأخذ في الاعتبار كمية الطاقة المستخدمة (ميجاجول) لكل كيلوجرام من الهيدروجين المنتج. علماً بأن واحد كيلو جرام من الهيدروجين يحتوي على 119.93 ميجاجول.

ففي حالة نقل واحد كيلوجرام من الهيدروجين في صورة غاز مضغوط باستخدام خطوط الأنابيب، فإن إجمالي الطاقة المطلوبة لضخ الهيدروجين تقدر بنحو 10 ميجاجول لكل كجم هيدروجين، وهي القيمة الأقل مقارنة بباقي بدائل النقل الأخرى. بينما يرتفع إجمالي الطاقة المطلوبة لنقل واحد كيلوجرام في حالة الهيدروجين المسال إلى نحو 59.16-17.26 ميجاجول لكل كيلوجرام من الهيدروجين، ويعود ذلك إلى احتياجات الطاقة المستهلكة في مرحلة إسالة الهيدروجين، وتحميله على الناقلات، وفاقد التبخر أثناء الرحلة، علاوة على الطاقة المطلوبة لإعادة تحويله مجدداً إلى الحالة الغازية في ميناء الاستيراد. بينما يقدر إجمالي الطاقة المبذولة لنقل الهيدروجين بعد تحويله إلى أمونيا سائلة نحو 37.4 ميجاجول لكل كيلوجرام من الهيدروجين، وهي أعلى من

الهيدروجين المضغوط لكنها أقل من نقله على صورة الميثيل سيكلوهكسان، والتي تحتاج إلى 45.17 ميجاجول لكل كجم من الهيدروجين.

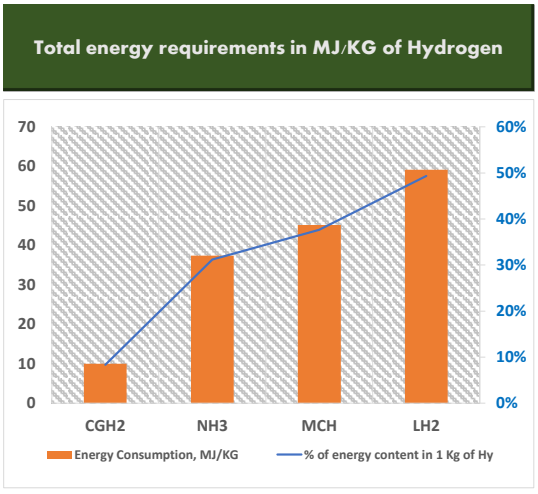
واستناداً إلى ما سبق، تشكل عملية نقل الهيدروجين عاملاً مؤثراً في اعتماد الهيدروجين مصدراً للطاقة في المستقبل بسبب احتياجات الطاقة الكبيرة التي تتطلبها والتي تشكل بالنهاية طاقة مهدرة للحصول على الهيدروجين. فلنقل واحد كجم من الهيدروجين (الذي يحتوي على 119.93 ميجا جول) عبر خطوط الأنابيب، سيتم استهلاك نحو 10 ميجاجول في مرحلة النقل، أي ما يعادل نحو 7% من طاقة الهيدروجين المنقول، وهي الأقل مقارنة بباقي البدائل.

بينما يصل استهلاك الطاقة إلى 31% من طاقة الهيدروجين المنقول في حالة نقله على صورة الأمونيا. أما في حالة الميثيل سيكلو هكسان كأحد أنواع المواد العضوية السائلة الحاملة للهيدروجين، فتبلغ الطاقة المطلوبة نحو 37.6% من طاقة الهيدروجين المنقول. أما في حالة إسالة الهيدروجين للحصول على الهيدروجين المسال، فستصل الطاقة المهدرة إلى أعلى قيمة لها والتي قد تصل إلى 49.3% من طاقة الهيدروجين المنقول، الشكل-4.

الشكل-4: الطاقة المستهلكة في عمليات نقل الهيدروجين وفق مسارات النقل المختلفة

Total Energy Requirements for each Pathway

Parameter	CGH_2 (Compressed Gas Hydrogen)	LH_2 (Liquefied Hydrogen)	NH_3 (Ammonia)	MCH (Methylcyclohexane)
Boiling point at atmospheric pressure (°C)	-252.87	-252.87	-33.34	101
Volumetric hydrogen density (kg H_2/m^3 of carrier)	49.4	70.8	120	47.1
Energy used in hydrogenation / Conversion (MJ/kg H_2)	–	15.1–57	6.73	1.8
Energy used in reconversion (MJ/kg H_2)	N/A	2.16	30.67	43.38
Energy consumption for Loading/Unloading(MJ/kg H_2)	10	0.00196	0.00196	0.00196
Total energy required for transport stage (MJ/kg H_2)	**10**	**17.26–59.16**	**37.40**	**45.17**



Source: OAPEC

5 13th Session of the UNECE's Group of Experts on Gas

أما **المحور الثالث**، فقد تناول تكاليف نقل الهيدروجين عبر المسارات المختلفة. عالمياً، هناك تفاوت كبير في حساب تكلفة نقل الهيدروجين ومشتقاته من منطقة لأخرى بسبب دخول عدة عوامل مؤثرة على التكلفة مثل حجم الكمية المراد نقلها ومدى بعدها عن السوق المستهدف، ومدى وجود بنية تحتية يمكن استغلالها، وطبيعة الاستخدام النهائي هل سيكون للهيدروجين أم لمشتقاته مثل الأمونيا، وبالتالي لا يمكن الحكم بشكل دقيق على الخيار الأنسب لنقل الهيدروجين وتطبيقه على كل المشاريع.

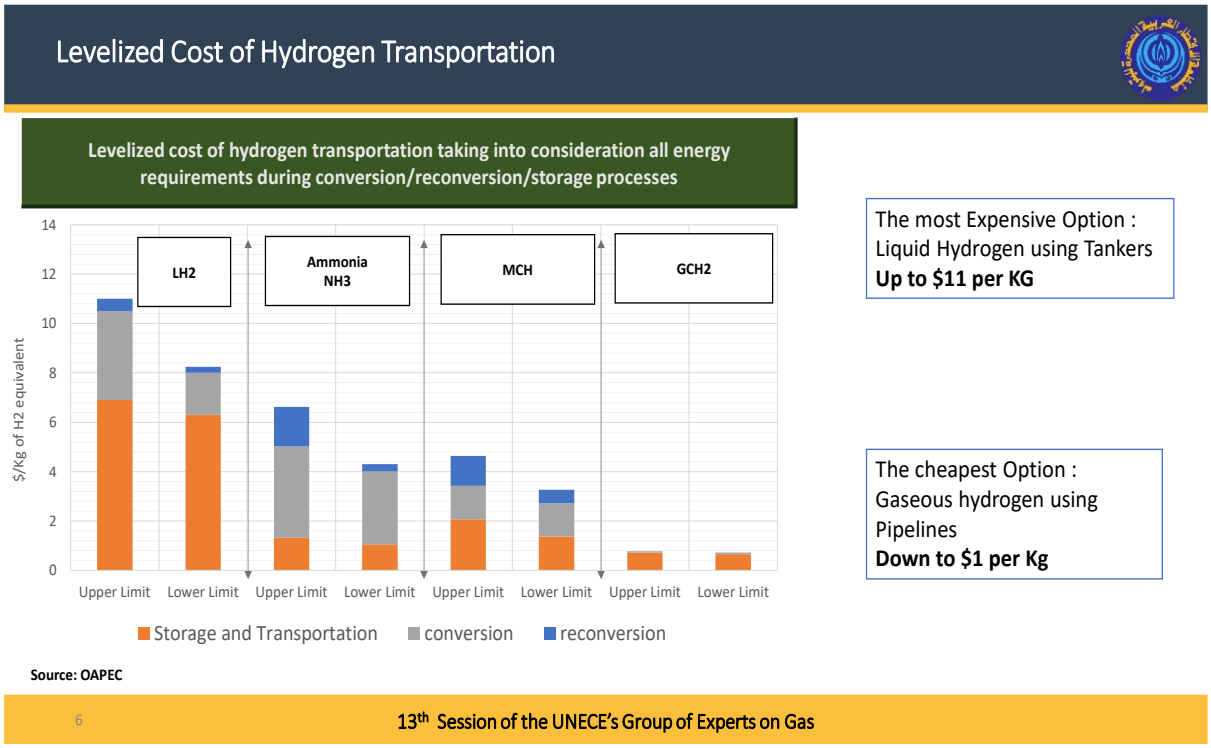
في هذا الصدد، تعد تكلفة نقل (وتخزين) الهيدروجين عبر خطوط الأنابيب الأقل مقارنة بباقي الطرق الأخرى، والتي تتراوح قيمتها بين 0.66 و0.72 دولار لكل كجم من الهيدروجين المراد نقله، يضاف إليها 0.06 دولار لكل كجم من الهيدروجين كتكلفة لعمليات رفع الضغط، لتصل التكلفة الإجمالية لهذا المسار إلى نحو 0.78 دولار لكل كجم من الهيدروجين. بينما في حالة استخدام الهيدروجين المسال، فقد تتراوح تكلفة النقل (والتخزين) بين 6.3 و 6.9 دولار لكل كجم من الهيدروجين، يضاف إليها تكلفة الإسالة التي قد تتراوح بين 1.7 و 3.6 دولار لكل كجم من الهيدروجين، وتكلفة تحويل الهيدروجين المسال إلى الحالة الغازية والتي تم احتسابها على الطاقة المستخدمة في العملية لتبلغ 0.25-0.5 دولار لكل كيلوجرام من الهيدروجين وبذلك تصل التكلفة الإجمالية لنقل الهيدروجين المسال بكافة العمليات المطلوبة إلى 8.25-11 دولار لكل كجم من الهيدروجين.

وفي حالة الأمونيا، ترتفع التكلفة الإجمالية بسبب إضافة تكلفة تصنيع الأمونيا والتي تتراوح بين 2.95-3.7 دولار لكل كجم هيدروجين، وتكلفة تكسير الأمونيا والتي تقدر بنحو 0.3-1.6 دولار لكل كجم، لتصل التكلفة الإجمالية لنقل الأمونيا بكافة عمليات التحويل وإعادة التحويل إلى 4.31-6.62 دولار لكل كجم. وبذلك تكون كلفة عمليات التحويل وإعادة التحويل أعلى من تكلفة نقل الأمونيا نفسها عبر الناقلات، الشكل-5..

أما في حالة استخدام الميثيل سيكلوهكسان (MCH) كمادة عضوية سائلة حاملة للهيدروجين، فتصل تكلفة النقل إلى 1.37-2.07 دولار لكل كجم من الهيدروجين، ويضاف إليها تكلفة عملية الهدرجة حوالي 1.35 دولار لكل كجم، وتكلفة نزع الهيدروجين 0.54-1.22 دولار

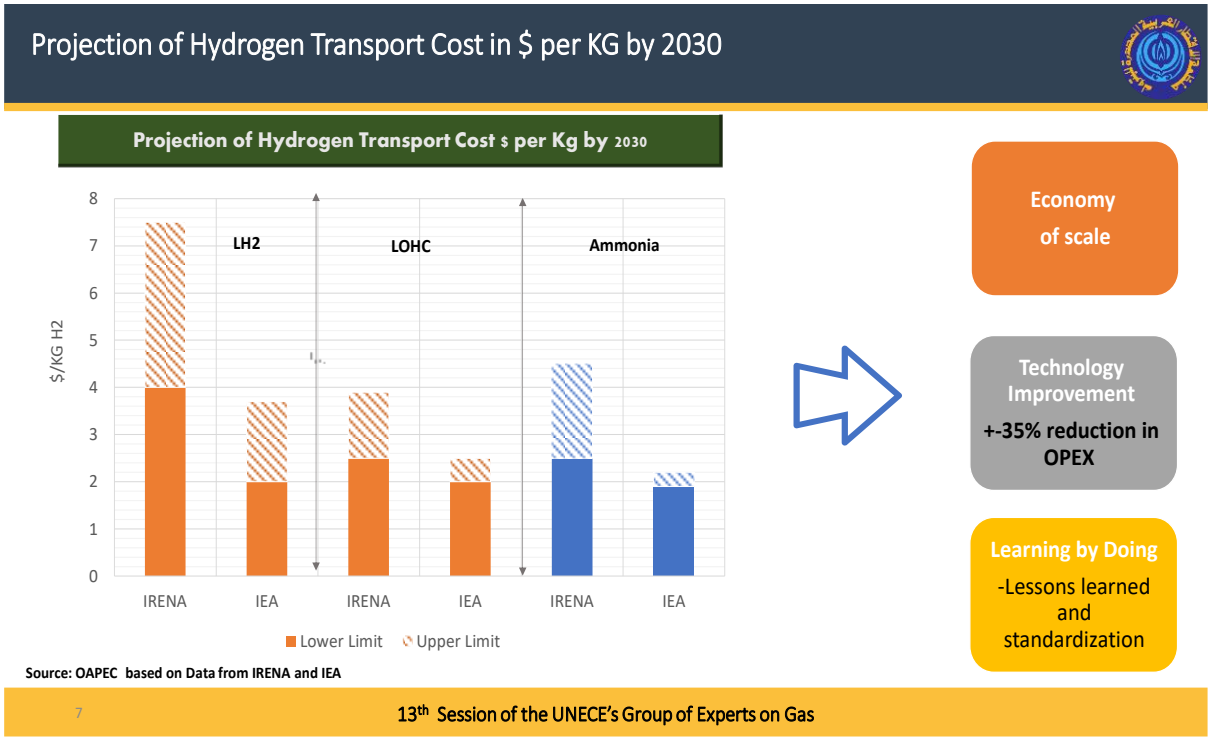
لكل كجم، لتصـــل التكلفة الإجمالية إلى 3.26-4.64 دولار لكل كجم، أي أن عمليات التحويل وإعادة التحويل تشكل أكثر من 50% من تكلفة النقل الإجمالية.

الشكل-5: تكاليف نقل وتخزين الهيدروجين، بالإضافة إلى تكاليف عمليات التحويل وإعادة التحويل حسب مسارات النقل المختلفة



وبالرغم من التكلفة الحالية المرتفعة، تشـــير كافة التوقعات التي توصـــلت إليها الدراســـة إلى إمكانية حدوث تراجع في التكاليف التشغيلية والرأسمالية لنقل الهيدروجين مع انطلاق مرحلة التشغيل التجاري بسعات كبيرة. وهو مسار متوقع، مرت به كافة التقنيات الناضجة اليوم مع خضوعها للتطوير المســـتمر، بعد أن كانت تقنيات وليدة لم تصـــل إلى الحالة التجارية الكاملة. وعلى هذا الأســـاس، تبرز خطوط الأنابيب على قمة الخيارات الأقل في التكلفة لنقل الهيدروجين في المدى المتوسط بحلول عام 2030، تليه الأمونيا بتكلفة قد تصـــل في أفضـــل الحالات إلى حدود 2 دولار لكل كجم من الهيدروجين المكافئ. وسـيظل خيار الهيدروجين المسـال، الخيار الأعلى في التكلفة والذي قد يتخطى 7.5 دولار لكل كجم من الهيدروجين المكافئ، الشكل-6.

الشكل-6: توقعات تكلفة نقل الهيدروجين وفق مسارات النقل المختلفة بحلول عام 2030



وقد اختتمت الورقة بثلاث رسائل رئيسية:

- نقل الهيدروجين — وليس إنتاجه — قد يصبح عنق الزجاجة الحقيقي لاقتصاد الهيدروجين .
- الأسواق الأولى ستنشأ حول مراكز إقليمية مترابطة بالبنية التحتية وليس تجارة عالمية فورية .
- لا يوجد حل تقني واحد عالمي لنقل الهيدروجين، بل ستعتمد عدة مسارات نقل وفق المسافة والحجم ونوع الطلب.

مقترحات أوابك لموضوعات ضمن أعمال اللجنة

قدم ممثل الأمانة العامة في الاجتماع، المهندس وائل حامد عبد المعطي، ثلاثة مقترحات إلى سكرتارية فريق الخبراء بالأمم المتحدة لإدراجها ضمن الموضوعات ذات الأهمية ضمن نطاق أعمال فريق الخبراء وهي:

- **آفاق إمدادات الغاز الطبيعي المسال** من منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، وتأثيراتها على الأسواق العالمية.

- **تحديات نقل وتخزين الهيدروجين**: وذلك عبر استمرار الاهتمام بهذا الجانب المهم في قطاع الهيدروجين لضمان جهوزية البنية التحتية، ودراسة الجوانب الفنية والاقتصادية للمسارات المختلفة في التجارة الدولية، وكيفية دمج الهيدروجين مع البنية التحتية للغاز والغاز الطبيعي المسال.
- **أسواق الهيليوم وأمن الإمدادات:** وذلك عبر دراسة الأهمية الاستراتيجية للهيليوم في الصناعات المختلفة، ومناطق إنتاجه، وطرق نقله، وأسواق استهلاكه.

الرسائل الاستراتيجية الرئيسية للاجتماع

يمكن تلخيص مخرجات الاجتماع في خمس رسائل أساسية:

- ❑ التحول الطاقي يعتمد على **تكامل الغازات منخفضة الكربون** وليس عبر استبدال الغاز الطبيعي.
- ❑ استمرار العمل والتنسيق بين مجموعة خبراء الغاز بالأمم المتحدة مع المبادرة العالمية للميثان (GMI)، ولجانها الفرعية المعنية بالنفط والغاز لدعم الجهود الرامية إلى التخلص من انبعاثات الميثان في صناعة النفط والغاز.
- ❑ التعاون الدولي والتنسيق التنظيمي عنصر حاسم لتجنب أزمات الطاقة المستقبلية .
- ❑ دعم عمليات إدارة انبعاثات الميثان على طول سلسلة القيمة لصناعة الغاز.
- ❑ نقل المعرفة وتبادل الخبرات بين الخبراء فيما يتعلق بعمليات الرصد والمتابعة والإبلاغ لانبعاثات الميثان على طول سلسلة القيمة لصناعة الغاز.
- ❑ أهمية بناء سلاسل توريد جديدة للغاز، وتحديث الشبكات القائمة لضمان استقرار واستدامة ومرونة منظومة الطاقة.
- ❑ أهمية التوازن بين قضايا البيئة، وأمن الطاقة.
- ❑ أهمية تقنية التقاط واستخدام وتخزين الكربون في دعم أهداف الحياد الكربوني، لضمان استغلال موارد النفط والغاز.