E

الأمم المتحدة

Distr
LIMITED

E/ESCWA/C.5/2022/5
5 July 2022
ARABIC
ORIGINAL: ENGLISH

المجلس
الاقتصادي والاجتماعي

اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا)

لجنة النقل واللوجستيات
الدورة الثالثة والعشرون
الإسكندرية، مصر، 20-21 تشرين الأول/أكتوبر 2022

البند 7 من جدول الأعمال المؤقت

استخدام الهيدروجين في قطاع النقل: واقع المنطقة العربية

موجز

يقتصر عمل قطاع النقل اليوم على ناقلات الطاقة الأحفورية لذا لا يمكن اعتبار هذا القطاع مستداماً. وفي عام 2019، كان قطاع النقل مسؤولا عمّا يقرب من 27 في المائة من انبعاثات غازات الدفيئة عالمياً، ومعظمها من قطاع النقل البري. لذا فإنّ فكرة إزالة الكربون من إمدادات الطاقة تكتسب زخما وذلك بهدف توفير طاقة مستدامة ومتجددة وضمان الأمن العالمي.

هذا الواقع استدعى البحث عن حلول بديلة للوقود ورفع من حجم الاهتمام بالهيدروجين. ولكنّ التحول الكامل نحو الطاقة المتجددة دونه تحديات رئيسية تتمثل في التكيف التقني وتحقيق التوازن بين العرض والطلب. وإنّ وجود الهيدروجين، القابل للنقل والتخزين والاستخدام، كمصدر رئيسي للطاقة يمكن أن يعالج هذه التحديات. وفي المنطقة العربية، قدرات إنتاج الهيدروجين متواضعة، غير أنّ دولاً مثل الإمارات العربية المتحدة والمملكة العربية السعودية قد شرعت في تطوير منشآت لإنتاج الهيدروجين، وقد استكشفت بلدان عديدة أخرى قدراتها في هذا المجال. فالتحول إلى اقتصاد قائم على الهيدروجين، لا سيّما في قطاع النقل، لن يعود بالفوائد على البيئة وحدها، بل سيضع البلدان أيضا على قائمة المنتجين الرئيسيين للهيدروجين فيستقطب الاستثمارات والإيرادات الأجنبية. وإنّ لجنة النقل واللوجستيات مدعوّة إلى استعراض المعلومات الواردة في هذه الوثيقة ومناقشة الفرص التي يتيحها استخدام الهيدروجين في قطاع النقل في المنطقة العربية.

المحتويات

	الفقرات	الصفحة
مقدمة	4-1	3
الفصل		
أولاً- لمحة عامة	21-5	3
ألف- انبعاثات ثاني أكسيد الكربون	5	3
باء- الهيدروجين	21-6	5
ثانياً- الاستخدامات المحتملة للهيدروجين في قطاع النقل في المنطقة العربية	39-22	8
ألف- تجارة الهيدروجين	29-24	9
باء- البنية التحتية للوقود والتزود بالوقود	30	12
جيم- محطات التزود بالوقود الهيدروجيني	31	12
دال- الخطط الوطنية لقطاع نقل الهيدروجين	39-32	13
ثالثاً- الحواجز التي تحول دون اعتماد الهيدروجين في قطاع النقل	9-40	14
ألف- استراتيجيات تسعير ودعم قطاع النفط	41-40	14
باء- الحاجة إلى معايير دولية	45-42	15
جيم- تكلفة الهيدروجين	48-46	16
دال- غياب محطات التزود بالوقود	49	17
رابعاً- الخاتمة	53-50	17

مقدمة

1- أصبحت مصادر الوقود مصدر قلق عالمي لما لها من تأثير مباشر على خيارات التكنولوجيا والقوانين الحكومية. فالحاجة إلى توفير الطاقة المستدامة للاقتصادات تدعم توافق الآراء على ضرورة إدارة انبعاثات غازات الدفيئة إدارة كفؤة. فالهيدروكربونات كانت حتى اليوم المصدر الرئيسي للطاقة وهذا أدى إلى استنفادها والحدّ منها بسبب تحديات الاستخراج والتوزيع الجغرافي. وقد تسبّب استخدام الوقود الأحفوري منذ الثورة الصناعية في ارتفاع كبير في مستويات ثاني أكسيد الكربون وغازات الدفيئة الأخرى المنبعثة في الغلاف الجوي فساهم في تغير المناخ. لذا فإن فكرة إزالة الكربون من إمدادات الطاقة تكتسب زخما وذلك من أجل توفير طاقة مستدامة ومتجددة وضمان الأمن العالمي.

2- إنّ النقص المتوقّع في إمدادات النفط، مصحوبا بزيادة الطلب العالمي على الطاقة، يشكّل مصدر قلق بشأن استدامة مصادر الطاقة في المستقبل القريب التي يتوقع أن تؤثر أكثر من غيرها على قطاع النقل بسبب شدّة اعتماده على النفط. وعمل قطاع النقل يقتصر اليوم على ناقلات الطاقة الأحفورية لذا لا يمكن اعتبار هذا القطاع مستداما. ففي عام 2019، كان قطاع النقل مسؤولاً عمّا يقرب من 27 في المائة من انبعاثات غازات الدفيئة العالمية، ومعظمها من قطاع النقل البري. لذا فإن فكرة إزالة الكربون من إمدادات الطاقة تكتسب زخماً وذلك بهدف توفير طاقة مستدامة ومتجددة وضمان الأمن العالمي.

3- هذا الواقع استدعى البحث عن حلول بديلة للوقود ورفع من حجم الاهتمام بالهيدروجين. ولكنّ التحول الكامل نحو الطاقة المتجددة دونه تحديات رئيسية تتمثل في التكيف التقني وتحقيق التوازن بين العرض والطلب. وإنّ وجود الهيدروجين، القابل للنقل والتخزين والاستخدام، كمصدر رئيسي للطاقة يمكن أن يعالج هذه التحديات. ويمكن إنتاج الهيدروجين باستخدام تقنيات وموارد مختلفة، مثل الوقود الأحفوري والطاقة المتجددة والغاز الطبيعي. ويتكوّن نظام الطاقة القائم على الهيدروجين من ثلاث مراحل هي الإنتاج والنقل والتخزين.

4- تعيد المنطقة العربية النظر في مصادر الطاقة لديها، حيث تقوم معظم البلدان العربية بتطوير استراتيجية للطاقة المستدامة لعامي 2030 و2050. ففي عام 2018، كانت مصادر الطاقة الرئيسية في المنطقة تعتمد في معظمها على الوقود الأحفوري ولا تستخدم سوى 4.6 في المائة من الطاقة المتجددة. وفي المنطقة العربية، قدرات إنتاج الهيدروجين متواضعة، غير أنّ دولاً مثل الإمارات العربية المتحدة والمملكة العربية السعودية قد شرعت في تطوير منشآت لإنتاج الهيدروجين، وقد استكشفت بلدان عديدة أخرى قدراتها في هذا المجال. فالتّحوّل إلى اقتصاد قائم على الهيدروجين، لا سيّما في قطاع النقل، لن يعود بالفوائد على البيئة وحدها، بل سيضع البلدان أيضا على قائمة المنتجين الرئيسيين للهيدروجين فيستقطب الاستثمارات والإيرادات الأجنبية.

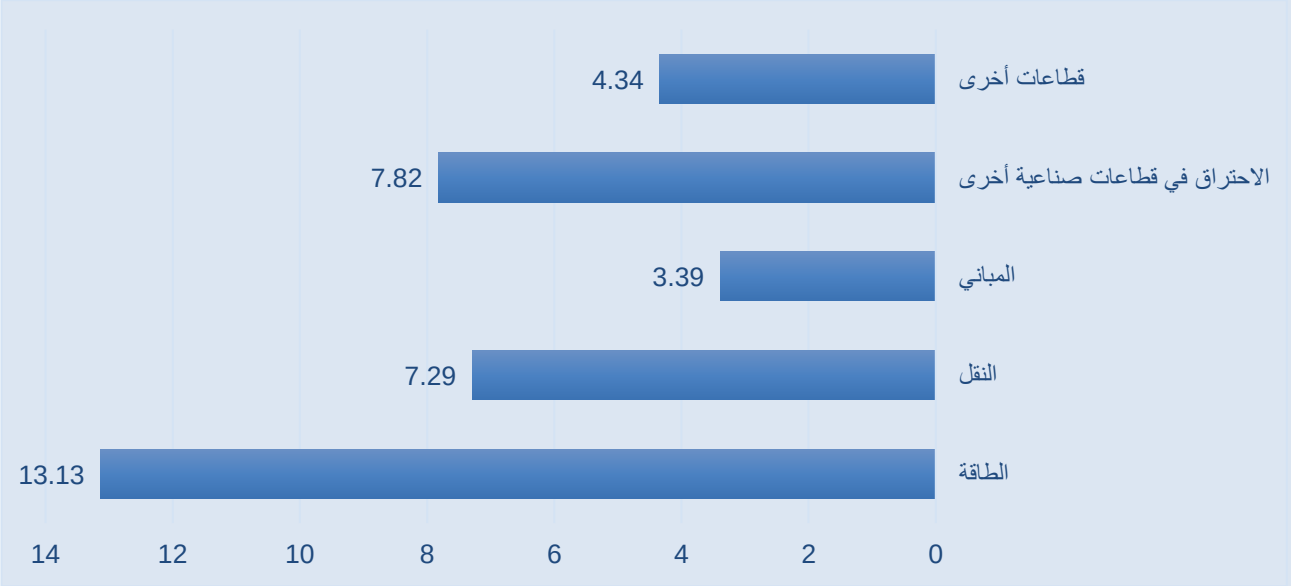
أولاً- لمحة عامة

ألف- انبعاثات ثاني أكسيد الكربون

5- يبرز قطاع النقل كأحد المصادر الرئيسية لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية المرتبطة باحتراق الوقود الأحفوري. فقد كان هذا القطاع مسؤولاً عن 7.29 مليار طن متري من ثاني أكسيد الكربون المنتج عالميا

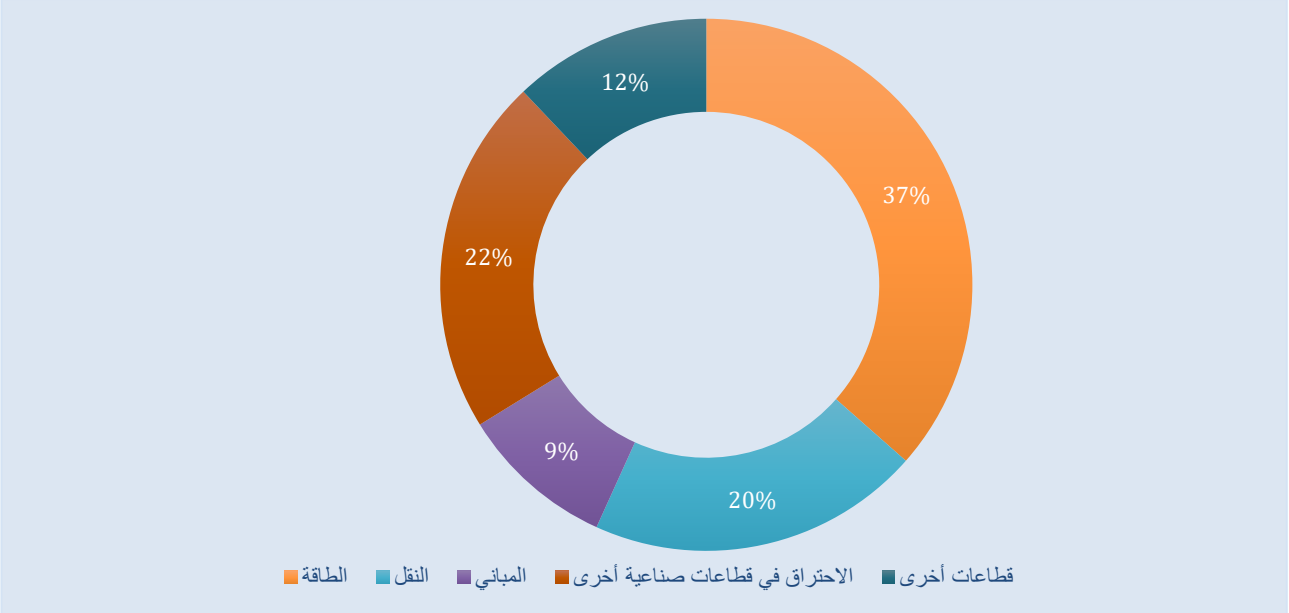
في عام 2020 (الشكل 1)، وترتبت عليه تأثيرات سلبية طالت الصحة العامة، بما فيها الجهاز التنفسي والحساسية، والبيئة حيث تسبَّب بالاحتباس الحراري، وتلوّث الهواء والأمطار الحمضية، وتغير المناخ العالمي الناجم عن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون هو اليوم واحد من أكثر التحديات التي تواجه البشرية.

الشكل 1- انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية بمليار طن متري



المصدر: European Commission, Emission Database for Global Atmospheric Research.

الشكل 2- انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية حسب القطاع، 2020



المصدر: European Commission, Emission Database for Global Atmospheric Research.

باء- الهيدروجين

1- تعريفه

6- لقد حظي الهيدروجين النظيف مؤخراً باهتمام كبير، لا سيّما في قطاع النقل، لأنه مصدر وقود نظيف لا ينبعث منه سوى الماء عند استخدامه. ويمكن إنتاجه باستخدام أي مصدر للطاقة تقريبا، بما في ذلك مصادر الطاقة المتجددة المتاحة محليا، وهو يعمل بشكل جيد مع خلايا الوقود التي يمكن أن تسهم في إمدادات الطاقة المستدامة.

7- الهيدروجين غاز خفيف بلا لون أو رائحة وهو غير سام. ويحتوي على محتوى الطاقة الصريح الأكثر ارتفاعا من بين جميع أنواع الوقود العادية، وهو العنصر الأكثر وفرة من بين العناصر التي تعرفه البشرية. يملك الهيدروجين عائد طاقة مرتفع يبلغ 120 ميغاجول/كلغ أي بما يتخطى الطاقة الهيدروكربونية بحوالي 2.75، غير أنّ كثافة الهيدروجين السائل تبقى أقلّ بكثير من البنزين. وهذا يعني أنّ الهيدروجين يخزّن حوالى 2.6 مرات أكثر من الطاقة لكل وحدة كتلة من البنزين ولديه ارتفاع في درجة الحرارة أو قيمة حرارية أعلى من الغاز، غير أنّ انخفاض كثافة طاقته الحجمية يتطلّب حجما أكبر من البنزين بعدة مرات لتخزين طاقة مماثلة.

8- أكثر أنواع الهيدروجين شيوعا هي التالية:

- **الهيدروجين الأخضر:** في إنتاج الهيدروجين الأخضر تُستخدم مصادر الطاقة النظيفة، مثل الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح، وتسمّى عملية الإنتاج التحليل الكهربائي للماء. وقد صُمِّمت العملية لتقسيم الماء إلى مكونين رئيسيين، الهيدروجين والماء، مع عدم وجود انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في أثناء عملية الإنتاج.
- **الهيدروجين الأزرق:** يتطلب إنتاج الهيدروجين الأزرق بشكل عام استخدام الغاز الطبيعي والماء الساخن في شكل بخار، غير أنّ هذه العملية تتسبّب عادةً بانبعاث ثاني أكسيد الكربون فتُستخدم معداتٌ لالتقاط ثاني أكسيد الكربون والتخفيف من انتشاره في الغلاف الجوي.
- **الهيدروجين الرمادي:** الهيدروجين الرمادي هو الأكثر شيوعا من بين أنواع الهيدروجين المنتجة حالياً. وهو يُشتقُ من الغاز الطبيعي ويُنتج من الوقود الأحفوري وهذا ما يجعله أحد الخيارات الأقلّ نظافة.

2- الهيدروجين في قطاع النقل

9- في قطاع النقل الذي يعمل بالطاقة مكونات مختلفة تتراوح بين الدراجات البخارية الصغيرة وصولاً إلى سفن الحاويات الكبيرة. وهي تعتمد في غالبيتها اعتماداً شديداً على مصادر الوقود التقليدية، مع تحديد الاستهلاك من خلال حمولة المحرك ومداه[1].

(1) Hydrogen Council, Hydrogen scaling up, 2017.

10- الهيدروجين هو ناقل للطاقة والوقود يعمل كمصدر للطاقة في الشاحنات والمركبات، ولا يخلّف أيّ تصريفات ضارة. ويمكن تخزين الهيدروجين كوقود في الخزانات. أمّا السيارات التي تديرها محرّكات تعمل بالهيدروجين فلا تنبعث منها سوى الحرارة والمياه النظيفة من خلال أنابيبها العادمة، وهي بذلك لا تتسبّب بملوّثات أو بانبعاثات غازات الدفيئة.

11- محركات الوقود التقليدية يمكن أن تجعل المركبات ثقيلة وأقل كفاءة. بالمقابل، تحتوي المركبات التي تعمل بالهيدروجين على خلايا وقود الهيدروجين التي تحوّل الطاقة إلى كهرباء أكثر كفاءة بمرتين إلى ثلاث مرات من محركات الاحتراق الداخلي. كذلك تقلّل خلايا الوقود من الضوضاء التي تتسبّب بها السيارات. وللهيدروجين مدى مسافة أطول من الوقود العادي وهو يتطلب عددا أقلّ من محطّات التزود بالوقود وهذا يعني أنّه يمكن أن يكون خيارا أفضل للشاحنات الثقيلة وحافلات النقل العام التي تسافر مئات الأميال.

1 كلغ من الهيدروجين	=	**غالون من البنزين**
هيدروجين		**غاز**
1 كلغ = 60 ميلا		**1 غالون = 25 ميلاً**

12- يباع الهيدروجين عادة بالكيلوغرام. فالطاقة في الكيلوغرام الواحد من الهيدروجين تعادل غالون واحد من البنزين. ومنذ عام 2019، أصبح متوسط تكلفة الهيدروجين في الولايات المتحدة الأميركية حوالى 16 دولار للكيلوغرام الواحد [2]، غير أنّ تقنيات الهيدروجين الجديدة يمكن أن تخفض التكاليف وتجعله متاحاً بأسعار معقولة يمكن تكبّدها. أمّا المركبات التي تستخدم الهيدروجين كمصدر للوقود فهي قادرة على السفر لمسافات طويلة واستهلاك طاقة أقل. فالكيلوغرام الواحد من الهيدروجين يكفي حالياً لاجتياز حوالى 60 ميلاً بينما الغالون الواحد من الغاز يكفي لاجتياز 25 ميلا فقط[3].

3- المركبات الثقيلة

13- اكتسب قطاع المركبات الثقيلة، الذي يشمل أساطيل الشاحنات الكبيرة، أهمية من أجل البحث عن حلول وقود بديلة. فأمام ارتفاع الطلب على الغاز تفيد إزالة الكربون هذا القطاع البيئة والهيدروجين لديه القدرة على أن يصبح عنصراً رئيسياً فيه.

14- استخدام الهيدروجين في تشغيل الشاحنات الثقيلة له الفوائد والقيود التالية:

- الفوائد:
  - الشاحنات الثقيلة لديها القدرة على حمل خزّانات كبيرة أو صغيرة مناسبة لتخزين الهيدروجين.

(2) California Energy Commission, Joint Agency Staff Report on Assembly Bill 8: 2019 Annual Assessment of Time and Cost Needed to Attain 100 Hydrogen Refuelling Stations in California, 2019.

(3) Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Hydrogen's role in transportation, 2022.

- وفقاً للمسافة التي تسلكها الشاحنات الثقيلة، تكون إمكانية توفير محطات التزود بالوقود الهيدروجيني أعلى بكثير من إمكانيّة توفير محطات التزود بالوقود الكهربائية في الممرات والطرق.

- القيود:
  - ينبغي تخفيض سعر الهيدروجين بحيث تكون التكنولوجيا تنافسية من حيث التكلفة.
  - لن تتمكن مركبات البضائع الثقيلة التي تسلك طرقا غير روتينية من الوصول إلى محطات التزود بالوقود الهيدروجيني للحصول على ما يكفيها من الكميات وهذا يجعل استخدام الهيدروجين أقلّ جاذبية إلى أن يتوافر المزيد من خيارات التزود بالوقود.

4- قطاع النقل البحري والموانئ

15- تعد الموانئ مثالية لإنتاج الهيدروجين وتخزينه، واستضافة السفن التي تعمل بخلايا وقود الهيدروجين. وسبق أن شرع هذا القطاع في استخدام الهيدروجين بهدف تخفيف الانبعاثات في العمليات البحرية، كذلك قطاع الشحن الذي يستخدم مصادر طاقة بديلة، مثل الأمونيا والميثانول حيث بلغ عددها حتى اليوم حوالى 15 سفينة تعمل بوقود الميثانول وهي في تزايد مستمر. يمكن إنتاج الأمونيا والميثانول من الهيدروجين، سواء من خلال تفاعل النيتروجين بالأمونيا، أم من خلال تفاعل ثاني أكسيد الكربون بالميثانول.

16- استخدام الهيدروجين في القطاع البحري له الفوائد التالية:

- على المدى القصير، تعد خلايا وقود الهيدروجين خيارا مناسبا للعبّارات المحلّية وأساطيل النقل المائي.
- تتمتع الموانئ بالقدرة على إنشاء مرافق لإنتاج الهيدروجين وتخزينه، وتوفير وقود الهيدروجين المضغوط الخالي من الكربون من خلال خطوط الأنابيب أو النقل الداخلي.
- توفر المواقع الجغرافية المتنوعة للموانئ فرصا لتطوير مراكز إنتاج الهيدروجين.

17- سوف تصبح أستراليا المصدر الأول للهيدروجين المسال، والعمل جارٍ على تطوير ميناء هاستينغز كمرفق للتخزين والتحميل من أجل تحويل الهيدروجين الغازي إلى هيدروجين سائل. ففي كانون الأول/ديسمبر 2021، أبحرت شركة يابانية من كوبي من أجل إحضار شحنتها الأولى من الهيدروجين في فيكتوريا، ونجحت في تحويل هيدروجين الغاز إلى هيدروجين سائل في إطار عملية التسييل التي تبرّد هيدروجين الغاز إلى ما دون 253 درجة مئوية وتقلل من حجمه الغازي[4].

(4) PV Magazine, Australia to make world's-first liquefied hydrogen shipment to Japan (22 January 2022).

5- الطيران

18- تمكن عدد قليل من المحطات الجوية من الاستغناء عن استخدام الكربون في بعض من عملياته، غير أنّ مشروع خفض استعمال الكربون في الطائرات يبقى تحدياً بيئياً شديد الأهمية.

19- تبذل بلدان عديدة جهوداً حثيثة في بحثها عن حلول للاستخدامات الخالية من الكربون، مثل استخدام الوقود الاصطناعي المنتج من الهيدروجين الأخضر وثاني أكسيد الكربون الذي حظي مؤخرا باهتمام كبير.

20- استخدام الهيدروجين في قطاع الطيران له الفوائد والقيود التالية:

- الفوائد:
  - يمكن استخدام الهيدروجين إما بشكل مباشر (الاحتراق أو خلايا الوقود)، أو كمكون من مكونات وقود الطيران.
  - تصنّف الطائرات الهجينة كابتكار مهم.
  - يمكن اعتماد الهيدروجين الأخضر كوقود أساسي وبالتالي الاستغناء عن ثاني أكسيد الكربون.
- القيود:
  - يتطلب التحويل إلى نظام الطيران القائم على الهيدروجين إدخال تعديلات كبيرة على ترتيبات التخزين والإمداد وعلى البنية التحتية في المطارات والطائرات.
  - قد يستغرق اعتماد خصائص الطائرات بعض الوقت من أجل تنفيذ التكنولوجيا الجديدة.
  - قد يتطلب الهيدروجين المبرّد مساحة أكبر على متن الطائرات فيؤثر على المساحة المتاحة.

21- تتولّى GKN aerospace برنامجاً رائداً يسمى H2GEAR يهدف إلى تطوير النظام الأول لدفع للهيدروجين السائل في قطاع الطيران دون الإقليمي في المملكة المتحدة لبريطانيا العظمى وأيرلندا الشمالية[5].

ثانياً- الاستخدامات المحتملة للهيدروجين في قطاع النقل في المنطقة العربية

22- يُعدُّ قطاع النقل أحد المحركات الرئيسية للتنمية الاقتصادية غير أنَّ تأثيره الناجم عن استخدام مصادر الوقود التقليدية يثير القلق حول جودة الهواء والمياه، وحول البيئة بشكل عام. والقطاع مسؤول عن حصة كبيرة من انبعاثات غازات الدفيئة وهذا يؤدي إلى تفاقم آثار الاحترار العالمي فيسلّط الضوء على الحاجة إلى مصادر طاقة أنظف مثل الهيدروجين. وتجربة المنطقة العربية في استخدام الهيدروجين كمصدر للطاقة محدودة حاليا، غير أنّها تمتلك القدرة على إنتاج الطاقة والبنية التحتية التي تعتبر ضرورية لبناء اقتصاد قائم على استخدام الهيدروجين. أمّا التوسع الحضري السريع والزيادات في نصيب الفرد من المركبات فتضع بدورها

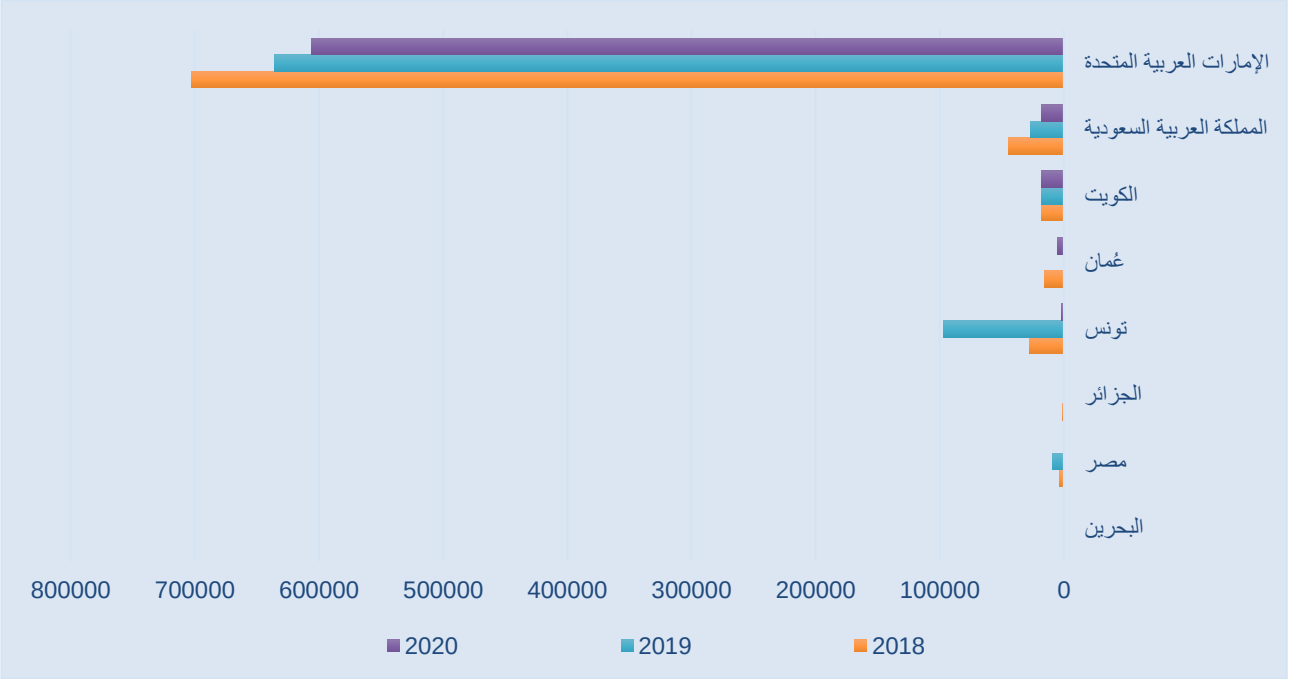
(5) GKN Aerospace, GKN Aerospace leads development of ground-breaking hydrogen propulsion system for aircraft.

ضغوطا إضافية على قدرة البلدان على تلبية الطلب على استهلاك الطاقة وتؤكد الحاجة إلى سياسات واستثمارات حكومية كافية للتحول إلى اقتصاد قائم على استخدام الهيدروجين.

23- تسببت التنمية الاجتماعية والاقتصادية السريعة في المنطقة في زيادة حادة في استهلاك الطاقة فاستدعت وضع خطط جديدة للطاقة هدفها حماية البيئة. فالمنطقة تعتمد اعتمادا شديداً على الوقود الأحفوري، سواء كمصدر لإمدادات الطاقة أو كإيرادات من إنتاج النفط والغاز. فهي تستهلك أكثر من 95 في المائة من الغاز الطبيعي في إنتاج الطاقة وهذا يجعلها واحدة من أكثر المناطق اعتمادا على الوقود في العالم[6]. أضف إلى أنّ النفط والغاز هما المصدران الرئيسيان للإيرادات في المنطقة العربية، حيث يمثلان 65 إلى 90 في المائة من الصادرات، وهذه التبعيات تأتي لتسبّب ضعفاً اقتصادياً ومالياً للمنطقة.

ألف- تجارة الهيدروجين

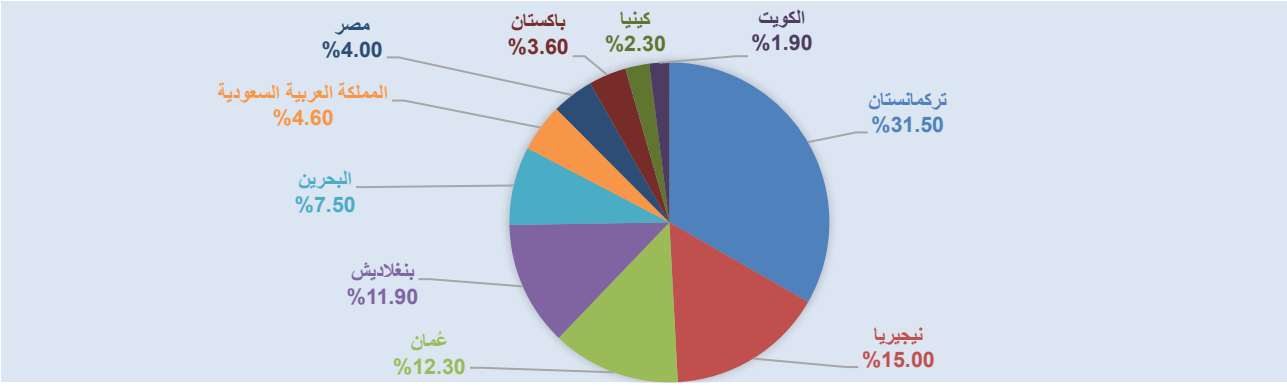
الشكل 3- صادرات الهيدروجين في المنطقة العربية (بالدولار)



المصدر: ESCWA, External Trade Data Platform for the Arab Region, 2020.

(6) E/ESCWA/SDPD/2019/TP.5.

الشكل 4- حصة صادرات الهيدروجين من المنطقة العربية

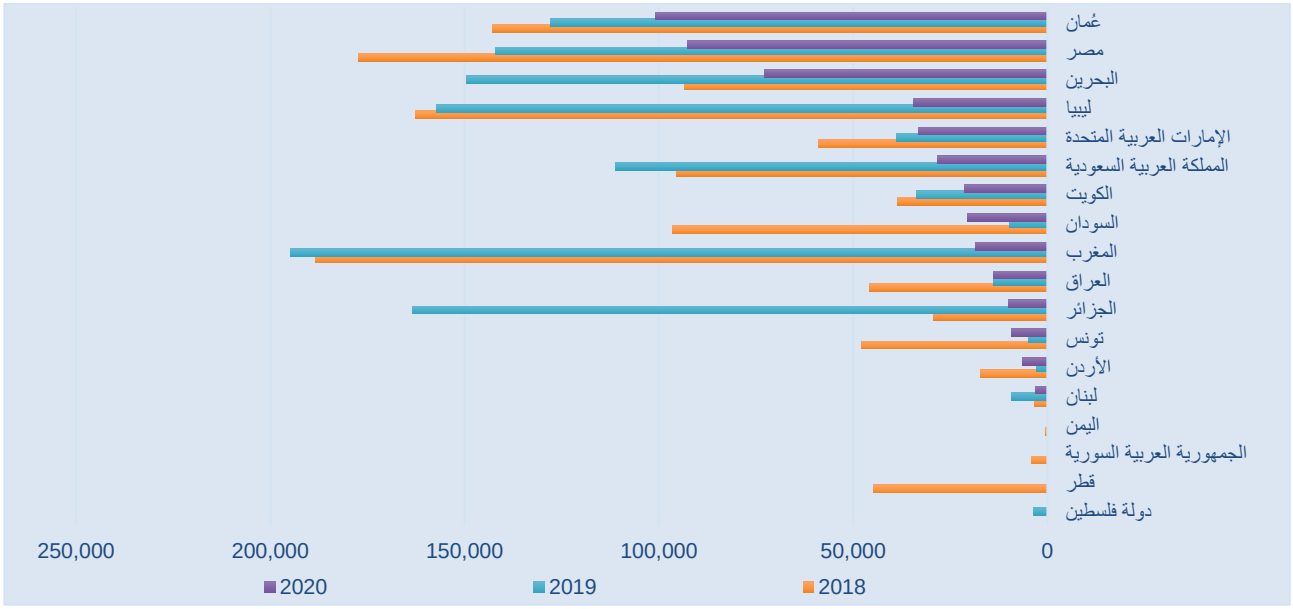


المصدر: ESCWA, External Trade Data Platform for the Arab Region, 2020.

24- يحتلّ الهيدروجين المرتبة 3,755 كالمنتج الأكثر تداولا في العالم. فبين عامي 2018 و2019، زادت صادرات الهيدروجين بنسبة 6 في المائة، وفي عام 2020، بلغ إجمالي صادرات المنطقة العربية من الهيدروجين 649,451 دولار أيّ 0.38 في المائة فقط من تجارة الهيدروجين عالمياً.

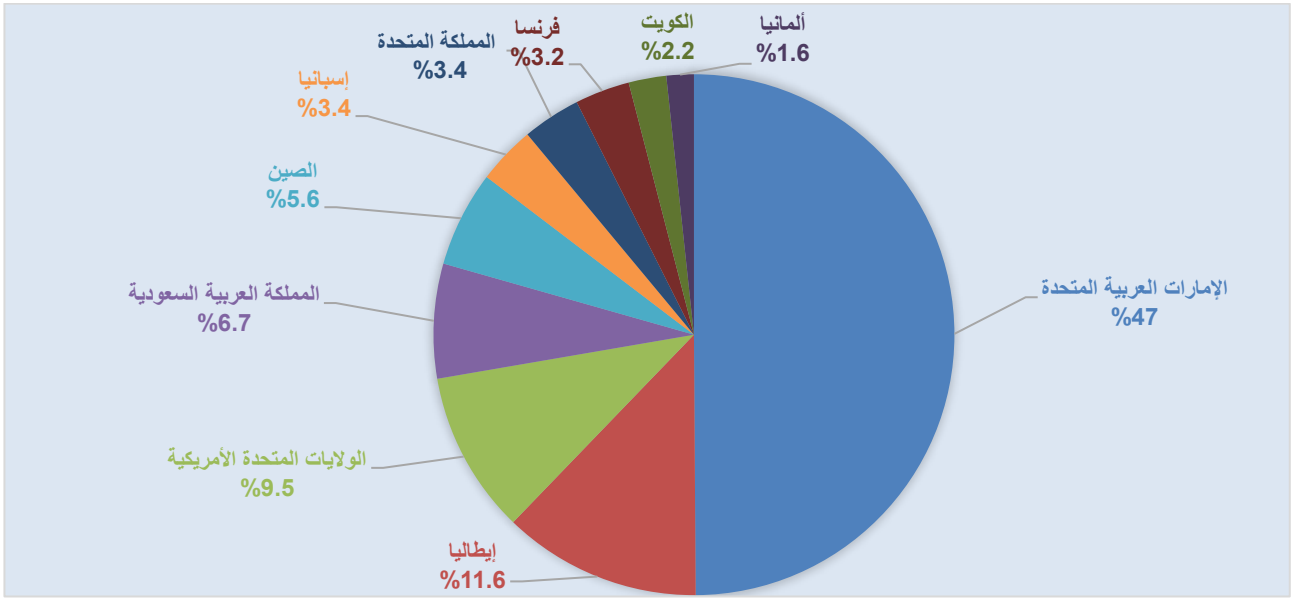
25- يبيّن الشكل 3 أنّ الإمارات العربية المتحدة هي أكبر مصدر للهيدروجين بين البلدان العربية، حيث يبلغ مجموع صادراتها 606,000 دولار أمريكي، أو ما يقرب من 93 في المائة من مجموع صادرات الهيدروجين في المنطقة. وتأتي المملكة العربية السعودية والكويت في المرتبة الثانية والثالثة، بحصص صغيرة تبلغ حوالى 2.8 في المائة من صادرات الهيدروجين في المنطقة وتقدّر قيمتها بنحو 18,000 دولار من صادرات الهيدروجين.

الشكل 5- واردات الهيدروجين إلى المنطقة العربية (بالدولار)



المصدر: ESCWA, External Trade Data Platform for the Arab Region, 2020.

الشكل 6- حصة واردات الهيدروجين في المنطقة العربية



المصدر: ESCWA, External Trade Data Platform for the Arab Region, 2020.

26- في عام 2020، بلغ إجمالي واردات المنطقة من الهيدروجين 465,271 دولار، أي 0.27 في المائة من الهيدروجين المتداول عالميا. وكانت البلدان الرئيسية المستوردة للهيدروجين هي عُمان بنسبة 21.7 في المائة من مجموع تجارة الهيدروجين في المنطقة، ومصر بنسبة 19.9 في المائة، والبحرين بنسبة 15.66 في المائة. ويشير الشكل 6 إلى أنّ 47 في المائة من واردات المنطقة من الهيدروجين تأتي من الإمارات العربية المتحدة وهذا يفسّر إيجابيّة الميزان التجاري للهيدروجين في المنطقة.

27- وتشير البيانات إلى أنّ المنطقة بحاجة إلى استراتيجيات فعالة للهيدروجين تقلل من الواردات وتزيد من الطاقة الإنتاجية للاستخدام الذاتي في القطاعات المحلية مقابل توزيعها على الأسواق الخارجية.

28- يمكن أن يكون إنتاج الهيدروجين مكلفا، لا سيّما إذا تعذّر الوصول إلى المدخلات المستخدمة في الإنتاج في بلد ما. ويمكن إنتاج الهيدروجين في أشكال مختلفة، مثل الطاقة المتجددة للهيدروجين الأخضر، والغاز الطبيعي للهيدروجين الأزرق، والنفط والوقود الأحفوري للهيدروجين الرمادي. وينبغي للبلدان أن تنظر في هباتها المحددة وملاءمتها الاستراتيجية على أفضل وجه، استنادا إلى التكنولوجيات والموارد والقدرات ومراكز الطلب المتاحة، المحلية منها والأجنبية.

29- تملك البلدان العربية مصادر مختلفة للطاقة، حيث تُعدُّ مصر والمغرب مثلاً من أكثر بلدان المنطقة قدرةً من حيث الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، والتي بدورها يمكن استخدامها في إنتاج الهيدروجين الأخضر، بينما العراق وقطر يتمتعان بوفرة من احتياطيات النفط والغاز الطبيعي تجعل الهيدروجين الرمادي والأزرق خيارهما الأفضل.

باء- البنية التحتية للوقود والتزود بالوقود

الشكل 7- مراحل إنتاج الهيدروجين

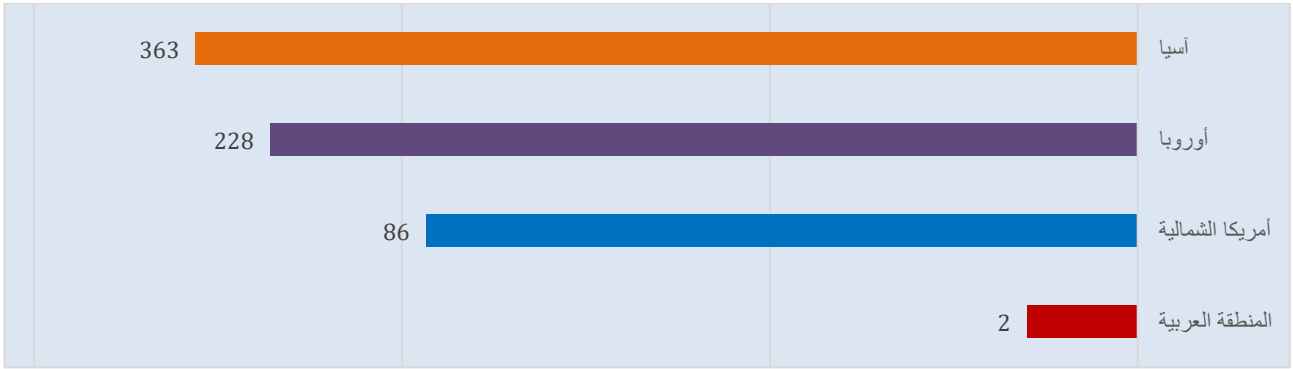
عملية الهيدروجين				
إعداده	**تخزينه**	**نقله**	**ضغطه**	
إعداد الهيدروجين بواسطة سبل عديدة	الهيدروجين المخزّن تحت الضغط قبل توزيعه	الهيدروجين المنقول عبر المركبات أو الأنابيب	الهيدروجين الموضوع تحت ضغط إضافي في محطات الغاز	
مركزي	**مضغوط:** غاز الهيدروجين	**الشاحنات:** إعادة الضغط	**الضغط**	غاز الهيدروجين
التحليل الكهربائي للمياه القلوية أو إصلاح غاز الميثان بالبخار تغويز الفحم بالكربون	**الهدرجة::** الهيدروجين السائل	**أنبوب**	**نزع الهيدروجين والضغط**	غاز الهيدروجين
	التسييل: الهيدروجين السائل	**الشاحنة: ضخ الهيدروجين**	**ضغط البرد**	سائل الهيدروجين

المصدر: Aurecon, Hydrogen for transport report, 2019.

30- تتوفّر طرق عديدة من أجل تزويد الهيدروجين بالوقود (الشكل 7). يعتمد نقل الهيدروجين إلى محطات التزويد بالوقود في جميع أنحاء البلاد على طبيعته. فمواد الغاز والهيدروجين العضوي تُنقل إما باستخدام الشاحنات في شكل مضغوط، أو باستخدام خطوط الأنابيب. أمّا الهيدروجين السائل فيُنقل بواسطة الشاحنات ثم يتمُّ تخزينه في محطة للتزود بالوقود.

جيم- محطات التزود بالوقود الهيدروجيني

الشكل 8- عدد محطات التزود بالوقود الهيدروجيني بحسب القطاع



المصدر: H2stations.org.

31- في عام 2021، بلغ عدد محطات التزود بالوقود الهيدروجيني في العالم[7] حوالى 685 محطة، محطتان منها فقط في المنطقة العربية و363 محطة في آسيا، و228 محطة في أوروبا، و86 محطة في أمريكا الشمالية.

دال- الخطط الوطنية لقطاع نقل الهيدروجين

1- المملكة العربية السعودية

32- في عام 2019، وقّعت شركة أرامكو السعودية وAir Products اتفاقية لبناء أول محطة وقود تعمل بخلايا وقود الهيدروجين الكهربائية (FCEV) في المملكة العربية السعودية. وبدأت محطة التّزود بالوقود عملها في أواخر عام 2019. وسيتّم بناء أسطول تجريبي من المركبات التي تعمل بخلايا وقود الهيدروجين الكهربائية (FCEV) كجزء من الاتفاقية، وتوزيع الهيدروجين المضغوط عالي النقاء في محطة التزود بالوقود الجديدة. كما تنفذ جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية العديد من مبادرات البحث والتطوير في مجال تقنيات الهيدروجين وخلايا الوقود التي ستعود بالنفع على قطاع النقل السعودي.

33- وفي عام 2020، وقّعت ACWA Power اتفاقية بقيمة 5 مليار دولار مع NEOM بهدف بناء منشأة إنتاج في Neom، مدعومة بالطاقة المتجددة، لإنتاج الهيدروجين الأخضر وتصديره إلى الأسواق العالمية. وتُعدُّ هذه المنشأة القائمة على الهيدروجين الأخضر على نطاق عالمي واحدةً من أكبر مرافق إنتاج الهيدروجين في العالم. وستكون مصادر الطاقة الرئيسية المستخدمة هي الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والتخزين، حيث تنتج أكثر من 650 طن من الهيدروجين يوميا باستخدام تقنية Air Products، وحوالي 1.2 مليون طن كل عام باستخدام تقنية Haldor Topsøe. كذلك تُعدُّ Air Products لاعبا رئيسيا في الأمونيا، وتصدّرها عالميا لإنتاج الهيدروجين الأخضر المستخدم في قطاع النقل. وهذه هي الشراكة الدولية الأولى لشركة NEOM وسوف تجعلها مركزا عالميا للطاقة المتجددة والهيدروجين، وستضع المملكة العربية السعودية كمنتج رئيسي للهيدروجين الأخضر والأمونيا على مستوى العالم وتحدث ثورة في قطاع النقل.

34- تشير الوكالة الدولية للطاقة المتجددة إلى أنّ إنتاج الكيلوغرام الواحد من الهيدروجين يكلِّف حالياً أقلّ بقليل من 5 دولار. ومع ذلك، يرجحّ أن تصبح المملكة العربية السعودية بفضل ميزتها التنافسية الشركة الرائدة عالميا من حيث التكاليف لكل كيلوغرام واحد من الهيدروجين الذي يتوقّع أن يصل إلى 1.50 دولار فقط بحلول عام 2030.

2- المغرب

35- يعتبر المغرب رائدا إقليميا في مجال التحول في قطاع الطاقة. فقد أعربت المغرب عن طموحاتها لزيادة حصصها في الطاقة المتجددة بنسبة 52 في المائة في عام 2030، وقد شجعها نجاحها في تحقيق الطاقة المتجددة على استكشاف قدرتها في مجال إنتاج الهيدروجين. وفي عام 2021، اتفقت الوكالة الدولية للطاقة المتجددة ووزارة الطاقة المغربية على تعزيز معرفة المغرب بإنتاج الهيدروجين الأخضر. وسوف يتمّ دعم طموحات البلاد لتصبح منتجا رئيسيا للهيدروجين الأخضر من خلال التعاون الوثيق بين الطرفين في إعداد دراسات حول الهيدروجين،

(7) H2stations.org.

واستكشاف أدوات السياسة العامة التي تهدف إلى إشراك القطاع الخاص على المستوى الوطني في التحوّل نحو الاقتصاد الأخضر.

3- الإمارات العربية المتحدة

36- في عام 2017، نجحت شركة الفطيم للسيارات بالتعاون مع شركة Air Liquide في بناء المحطة الأولى للهيدروجين في دبي لكي تستخدمها الشركات التي تعمل بخلايا وقود الهيدروجين الكهربائية (FCEVs).

37- وأبرمت شركة "مصدر أبوظبي" و"سيمنز للطاقة" و"دائرة الطاقة في أبوظبي" و"الاتحاد للطيران" و"لوفتهانزا" و"شركة ماروبيني" و"جامعة خليفة" شراكة من أجل تطوير منشأة للتحليل الكهربائي لإنتاج الهيدروجين الأخضر في قطاع النقل[8]. وسوف يختبر الهيدروجين في قطاع النقل البري في البداية، مع بناء مصنع هدفه تحويل معظمه إلى وقود طيران مستدام. كذلك تشمل الخطوة الأكثر تقدما الاستغناء عن استخدام الكربون في وقود القطاع البحري.

4- مصر

38- في مصر حاليا أكثر من 330,000 سيارة تستخدم الغاز الطبيعي المضغوط كمصدر رئيسي للوقود، وذلك بهدف التّوسع في استخدام الغاز الطبيعي في قطاع النقل بفضل مزاياه البيئية.

39- وعلى المدى الطويل، يعتبر الهيدروجين الأخضر بديلا أفضل وأنظف من الغاز الطبيعي المضغوط في قطاع النقل. وينبغي اتخاذ خطوات عديدة قبل تحقيق هذا الانتقال، بدءا بمزج الهيدروجين مع الغاز المنقول عبر شبكة الغاز الوطنية، ثم إعادة استخدام البنية التحتية الحالية من أجل استيعاب الهيدروجين الأخضر، وبناء البنية التحتية للتزود بالوقود الهيدروجيني.

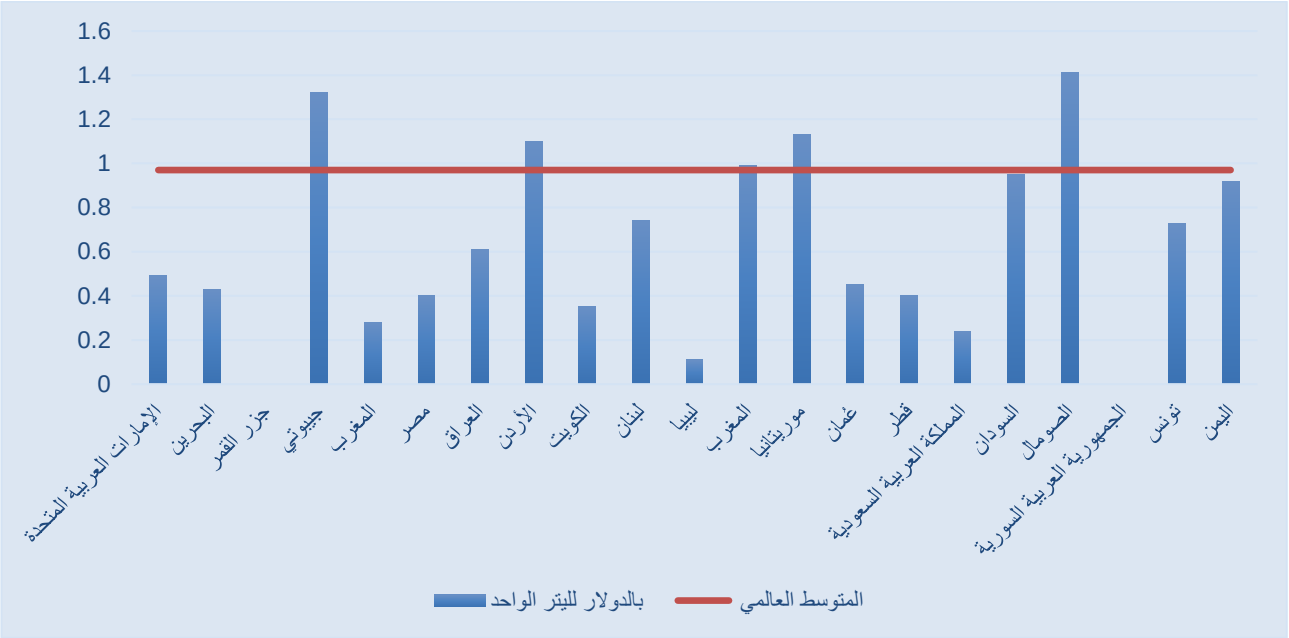
ثالثاً- الحواجز التي تحول دون اعتماد الهيدروجين في قطاع النقل

ألف- استراتيجيات تسعير ودعم قطاع النفط

40- لا يزال استخدام الهيدروجين في قطاع النقل وتطويره غير واضح في المنطقة. فقد أعربت بلدان عربية عديدة عن استعدادها للمساهمة في وقود النقل الأنظف، غير أنّ بعض العوامل، مثل المنتجات النفطية السائلة المدعومة، تؤثر على نمو هذا القطاع. ويؤدي الدعم المحلي لوقود البترول السائل وغياب الأنظمة البيئية حول استخدام أنواع وقود أنظف إلى زيادةٍ في استهلاك الطاقة غير النظيفة بطريقة غير فعالة. وعلى الرغم من الفوائد التي يحققها التحول إلى اقتصاد نقل قائم على الهيدروجين فإنّه يشكل عبئاً على خزائن البلدان العربية، ومع ذلك فقد أجبرت الانخفاضات الأخيرة في أسعار النفط بعض البلدان العربية على إعادة النظر في سياساتها المعتمدة في مجال دعم أسعار الطاقة.

(8) Watson Farley and Williams, Hydrogen in the United Arab Emirates, 2021.

الشكل 9- سعر المضخة على البنزين، 2022 (بالدولار لليتر الواحد)



المصدر: Globalpetrolprices.com.

41- إنّ أسعار مضخات الوقود في المنطقة هي أقل بكثير من المتوسط العالمي البالغ 1.41 دولار أمريكي لليتر الواحد، باستثناء الأردن والمغرب (الشكل 9).

باء- الحاجة إلى معايير دولية

42- يشكّل الافتقار إلى المعايير الدولية حول الهيدروجين أحد العقبات الرئيسية التي تحول دون التحول إلى قطاع النقل القائم على الهيدروجين. وبما أن تكنولوجيا الهيدروجين لا تزال في مراحلها الأولية، فلا وجود لمعايير دولية موحدة حول إنتاجها واستخدامها وهذا الواقع يجعل البلدان والشركات تبحث عن معاييرها الخاصة بها.

43- لذا من الضروري وضع إطار دولي مشترك بهدف تجنب ممارسات المنافسة غير العادلة. فقد اعتمدت بلدان عدّة تعاريف مختلفة للمصطلح نفسه وهذا تسبّب في حدوث ارتباك.

44- كذلك، من أجل تحسين التعاون عبر الحدود عند التعامل مع مادة الهيدروجين، من المهم وضع الأساس لمعايير السلامة الموحدة والقواعد التشغيلية، والتشجيع على تطوير منهجيات مشتركة.

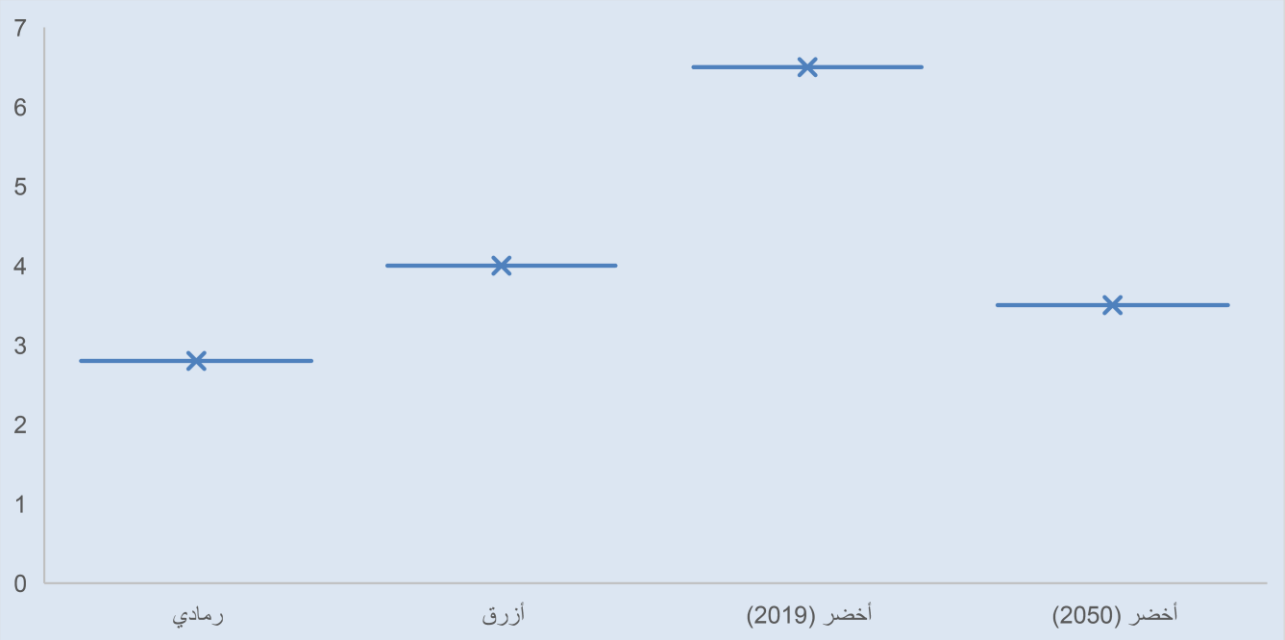
45- فحتى الآن لما تتّضح كيفيّة توسّع سوق الهيدروجين، غير أنّ تنفيذ المعايير الدولية يُعدُّ خطوة كبيرة نحو ضمان سوق عالمية عادلة وسلسة.

جيم- تكلفة الهيدروجين

46- لا تزال تكلفة إنتاج الهيدروجين تشكل عائقاً رئيسياً أمام تطوير سوق هيدروجين نظيف. فالوكالة الدولية للطاقة تشير إلى أنّ إنتاج الهيدروجين من الوقود الأحفوري هو حاليا أرخص بديل على مستوى العالم، حيث تتراوح التكاليف بين 0.5 و1.7 دولار أمريكي لكل كيلوغرام، بالإضافة إلى التقنيات اللازمة للتخفيف من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن عملية الإنتاج والتي ترفع التكاليف إلى حوالى دولارين أميركيين.

47- تتراوح تكلفة إنتاج الهيدروجين من الطاقة المتجددة بين 3 و8 دولار للكيلوغرام الواحد، ويمكن خفض تكاليف الإنتاج باعتماد تقنيات عديدة، حيث يتوقّع أن ينخفض إنتاج الهيدروجين من مصادر الطاقة المتجددة إلى حوالى 1.3 دولار للكيلوغرام الواحد بحلول عام 2030 في المناطق التي تملك وفرة من مصادر الطاقة المتجددة. أمّا على المدى الطويل، فيتوقّع أن تنخفض التكاليف إلى دولار واحد لكل كيلوغرام وهذا يجعل الهيدروجين من مصادر الطاقة المتجددة الأكثر قدرةً على المنافسة.

الشكل 10- تكلفة إنتاج الهيدروجين الأخضر من التحليل الكهربائي للمياه، كلغ/دولار



المصدر: KPMG, The hydrogen trajectory.

48- على المدى القصير، تشير التقارير إلى تكلفة إنتاج الهيدروجين الأخضر من التحليل الكهربائي للمياه تتراوح بين 2.6 و6 دولار للكيلوغرام الواحد. وينبغي أن تكون الابتكارات والتكنولوجيات (الشكل 10) قادرة على خفض سعر الهيدروجين الأخضر في عام 2050 بنحو 50 في المائة لكي يصبح قادراً على منافسة الهيدروجين الرمادي من حيث التكلفة.

دال- غياب محطات التزود بالوقود

49- في العالم حاليا 685 محطة للتزود بالوقود الهيدروجيني، غير أنّ المنطقة العربية لا تضمّ سوى محطتين، أحدهما في المملكة العربية السعودية والأخرى في الإمارات العربية المتحدة. ولذلك سيكون من غير المعقول التحول إلى نظام النقل القائم على الهيدروجين في هذا الوقت، وهذا يشير إلى ضرورة وضع استراتيجية فعالة لنقل الهيدروجين، وضمان بناء عدد محدّد من محطات التزود بالوقود عبر البلدان تكون في متناول المركبات التجارية وشاحنات النقل.

رابعاً- الخاتمة

50- يُعدُّ اعتماد الهيدروجين كمصدر رئيسي للوقود في قطاع النقل خطوة كبيرة نحو الاستغناء عن استخدام الكربون في هذا القطاع، غير أنّ الدعم القوي الذي تقدّمه غالبية حكومات البلدان العربية لقطاعي النفط والغاز، وارتفاع مستويات ندرة المياه (وهي مادة مهمّة في عمليّة إنتاج الهيدروجين الأخضر)، حالت حتى الآن دون تنفيذ الانتقال نحو تكنولوجيا الاقتصاد القائم على الهيدروجين على نطاق واسع وهي ما زالت بحاجة إلى اعتماد استراتيجيات وسياسات حكومية مهمة. ففي المنطقة العربية دول عديدة تمتلك موارد أساسية لإنتاج الهيدروجين، بما فيها العراق وقطر حيث يتوفّر الغاز الطبيعي لإنتاج الهيدروجين الأزرق، ومصر والمغرب حيث تتوفّر الطاقة الشمسية وطاقة الرياح لإنتاج الهيدروجين الأخضر.

51- وقد سبق أن أعلنت بلدان عديدة عن نواياها الانتقال نحو الاقتصاد القائم على الهيدروجين النظيف، ولكنّ التقدم لا يزال في مراحله الأوّلية. لذلك، يجب وضع سياسات وخطط وطنية بغية توفير البنية التحتية المناسبة لتحقيق هذا الانتقال.

52- فإنّ توفير هذه البنية التحتية ضروري من أجل نقل الهيدروجين (الغاز والسائل) وتخزينه وتوزيعه. وخيارات النقل عديدة، ومنها ناقلات الطرق والسفن وخطوط الأنابيب وكلّها يجب أن تكون مصممة بناء على كيفية استخدامها في البلد المعني وبنيته التحتية الحالية وموقعه.

53- وينبغي أن تأخذ الاستثمارات في سلاسل قيمة الهيدروجين لأغراض الإنتاج والتخزين والنقل والتوزيع في الاعتبار جوانب عدة، ومنها التكلفة، وأوقات التسليم، وتأثير الظروف المحلية على استراتيجيات الوقود. ففي حالة النقل لأغراض شخصية، على سبيل المثال، يحتاج الأفراد إلى كميات أصغر نسبيا من الهيدروجين، مقارنة بالشاحنات الثقيلة التي تتطلب عددا كبيرا من محطات التزود بالوقود في جميع أنحاء العالم.