# الدراسة الاقتصادية والبيئية لتحويل المركبات للعمل بوقود الهيدروجين


إعداد

**دكتور/ خلود حسام حسنين حسن**

أستاذ الاقتصاد المساعد – كلية البنات

الإسلامية – الشعبة التجارية

جامعة الأزهر– فرع أسيوط

**دينا ممدوح إسماعيل محمد**

ماجستير اقتصاد

جامعة عين شمس

## أولاً: الإطار العام للبحث

### المقدمة

إن استخدام الهيدروجين في وسائل النقل وخاصة السيارات الكهربائية له فوائد اجتماعية وبيئية كبيرة لتعزيز أمن الطاقة والحد من انبعاثات الغازات الدفيئة المنبعثة من وسائل النقل. حيث أن تكنولوجيا الهيدروجين تساعد في الحد من انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون على المدى الطويل وتساهم في انخفاض درجة الحرارة مما يقلل من ظاهرة الاحتباس الحراري. ويلعب أيدروجين دورا كبيرا عند استخدامه في خلايا الوقود باعتباره ناقلا للطاقة ويتزايد الاهتمام بتصنيع السيارات التي تعمل بخلايا الوقود الهيدروجيني في جميع أنحاء العالم بسبب تقلبات أسعار النفط، وعدم اليقين من أمن النفط في المستقبل، وزيادة الاهتمام بالقضايا البيئية.

### مشكلة الدراسة

١-الوقود التقليدي غير كافي لسد احتياجات مصر من الطاقة: حيث يعتمد محركات السيارة التقليدية على الوقود التقليدي وفى ظل أزمة الطاقة التي تعيشها مصر يصعب مستقبلا الاعتماد على الوقود التقليدي لتشغيل محركات السيارات إلى جانب البعد البيئي السلبي لهذه المحركات وما تسببه من تلوث للبيئة.

٢-الاعتماد على تقنيات الطاقة المتجددة مكلف جدا: على الرغم من توافر مصادر الطاقة المتجددة من شمس ورياح وطاقة مساقط المياه ولكن تكلفة هذه التقنيات مازالت مرتفعة مما يعوق الاستفادة من تلك الطاقات إلى

جانب صعوبة تخزين تلك الطاقات وبالتالي صعوبة تطوعها لتشغيل محركات السيارات بها.

٣- ارتفاع تكاليف تقنيات الطاقة المتجددة ونفاذ الوقود التقليدي أدى إلى البحث عن مصدر متجدد يتصف بالمرونة لاستخدامه لمحاولة سد الفجوة بين الطلب على الطاقة وعرضها وتخفيف أزمة الطاقة وهو الهيدروجين (طاقة المستقبل) واستخدامه في تشغيل محركات السيارات.

## هدف البحث

دراسة إمكانية استخدام المحرك الهيدروجيني كبديل عن المحرك التقليدي في السيارات لما له من منافع من تقليل التكاليف على المدى البعيد وتقليل الانبعاثات الضارة.

## فرضية الدراسة:

محركات السيارة الهيدروجينية أكثر كفاءة اقتصاديا من محركات السيارة التقليدية وعلى المدى البعيد يقدم العلماء وسائط لتقليل التكاليف ولتخفيض التكاليف الإجمالية للمحركات الهيدروجينية.

## منهجية الدراسة

منهجية الدراسة هو المنهج التحليلي، من خلال تحليل اقتصاديات البيانات والمعلومات من مختلف المصادر التي ترتبط بالبحث، وتحليل مشكلة البحث وأبعادها وخصائصها من خلال استخدام المراجع مواقع الانترنت العربية والأجنبية، والبيانات المتوفرة حول الموضوع قيد الدراسة.

## الدراسات السابقة

### الدراسة الأولى:

1- Hydrogen Fuel Cell Vehicle Study June 12, 2003.

**أشارت الدراسة إلى:**

- خلايا الوقود الهيدروجيني تعطى وقود دائم وتصل كفاءتها إلى ٦٠% عندما تعمل بأقصى طاقتها أما في الحالات العادية تصل كفاءتها إلى ٤٥% وتوفر ٣٢٥ / كيلوا جرام/وات من الوقود التقليدي.
- إن تكلفة الخلية الهيدروجينية في عام ٢٠١٠ سجلت حوالي ٤٥ دولار لكل كيلو وات وانفضت بنهاية عام ٢٠١٥ لتصل إلى ٣٠ دولار لكل كيلو وات.
- تكلفة الطاقة المستمدة من الهيدروجين المعادل للبنزين بسعر السوق، تكون ١,٢٥ $ للغالون الواحد.
- كفاءة تحويل الطاقة الهيدروجينية إلى طاقة كهربائية من خلال خلايا الوقود تعطى نسبة كفاءة عالية (٤٥٪) من استخدام الهيدروجين في محرك الاحتراق الداخلي.
- الكفاءة الكلية للمحرك الاحتراق الداخلي التقليدية (IC) حوالي ١٥٪. ومن المتوقع أن تصل إلى ما يقرب من ٢٥٪ في حالة استخدام هجين البنزين الكهربائي. مقارنة باستخدام H2 عن طريق التحليل الكهربائي من مصادر الطاقة المتجددة التي تصل كفاءته إلى حوالي ٥٠٪، وهو ما يعطي كفاءة خلية استهلاك الوقود في السيارة بنسبة ٢٥٪.

**الدراسة الثانية:**

**2**- Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells. international energy agency.2015.

**أشارت الدراسة إلى:**

- الهيدروجين كناقل للطاقة مناسب للاستخدام في خلايا الوقود التي تولد الكهرباء بكفاءة عالية فخلايا الوقود الهيدروجيني لا تنفذ مثل بطاريات السيارة التقليدية.
- خلايا الوقود هي تقنية مهمة لتحويل الهيدروجين إلى طاقة كما يمكن استخدامها مع أنواع أخرى من الوقود مثل الغاز الطبيعي أو المواد الهيدروكربونية السائلة مما يساعد على انتشار استخدامها في وقت مبكر.
- الهيدروجين فتح طرق جديدة لدمج الكهرباء المتجددة في نظام الطاقة وتعويض عن انخفاض استخدام الوقود الأحفوري.
- تقنيات خلايا الوقود زاد الطلب عليها في السوق بمعدل ٤٠٠٪ بين عامي ٢٠٠٨ و٢٠١٣، مع أكثر من ١٧٠ ميجاوات من قدرة خلايا الوقود.
- يتم استخدام أكثر من ٨٠٪ من خلايا الوقود في التطبيقات الثابتة، مثل التوليد المشترك للطاقة وأنظمة الطاقة عن بعد.
- خلايا الوقود الهيدروجينية تساهم في الحد من انبعاثات الغازات الدفيئة وخاصة غاز ثاني أكسيد الكربون حيث تساعد هذه الخلايا على انخفاض

ثاني أكسيد الكربون في الجو بنسبة ١٤٪ ومن المتوقع أن تصل الى٧٪ عام٢٠٥٠.

- استخدام الهيدروجين يسمح بالتكامل بين القطاعات ذات القيمة المنخفضة، حيث يمكن تحويل فائض الكهرباء المتجددة إلى القطاعات ذات الطلب الكثيف على الطاقة مثل النقل والصناعة. وهذا يساعد في خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في هذه القطاعات وذلك لان هيكل الطاقة يتصف بالمرونة.

**الدراسة الثالثة:**

**3**-A review of low-carbon vehicle and hydrogen end-use data for energy system models. UCL Energy Institute, University College London. 2012.

**أشارت الدراسة إلى:**

- هناك عدة سيناريوهات لخفض تكاليف استخدام الهيدروجين في خلايا الوقود السيناريو المتفائل خفض التكاليف بنسبة٢٢٪، أما السيناريو المتشائم خفض فيه التكاليف بنسبة ١٥٪.
- الحد الأدنى لانخفاض التكلفة طبق لبيانات المرجع وصولها الى٤٥$ / كيلو وات لنظام محرك خلية الوقود الهيدروجيني.
- طبقا لبيانات وكالة الطاقة الدولية تم عرض سيارات بمحرك طاقة هيدروجيني عام ٢٠١٥الى الأسواق بسعر شراء ٥٠,٠٠٠ دولار أمريكي.
- تطورت تكنولوجيا إنتاج السيارات التي تعمل بخلايا الوقود بشكل كبير، وذلك منذ عام ٢٠٠٥ على الرغم من أن الانتشار كان محدودة جدا. وقد

وضعت وزارة الطاقة الأميركية برنامج الهيدروجين والاهتمام بالسيارات التي تعمل بالطاقة الهيدروجينية، ونشرت تقارير مفصلة عن تكاليف خلية وقود الهيدروجيني للسيارات.

- يمكن استخدام الهيدروجين في قطاعات النقل وفى المنازل وأيضا في مجالات الصناعة المختلفة وبالتالي يستخدم على نطاق واسع.ولذلك في هذه الورقة تسلط الضوء على إمكانات الهيدروجين لاستخدامه كوقود في وسائل النقل المختلفة.
- خاصة انه طبقا لوكالة الطاقة الدولية (٢٠٠٥) أشارت إلى أن الوقود الهيدروجيني يمكن استخدامه كبديل للغاز الطبيعي في عدد كبير من التطبيقات الصناعية، حيث يتم استخدامه في السيارات والحافلات والمواقد، مع وجود اختلاف في التكلفة صغير (بسبب تعديلات يتم إجرائها على تصميم المحركات والمواقد).

## ثانيا: الإطار النظري للدراسة الاقتصادية والبيئية للوقود الهيدروجيني

للهيدروجين أهمية بالغة في الآونة الأخيرة حيث انه يعتبر الملاذ الآمن خاصة للدول النامية وخاصة مصر. حيث تعتمد مصر في سد احتياجاتها من الطاقة على البترول وهو المصدر الأساسي للطاقة في مصر ويليه الغاز الطبيعي والمصدر الثالث للطاقة هو الطاقة المائية أما الرابع الطاقة الشمس والرياح بالإضافة إلى أن المصادر المتجددة لا تكفى احتياجاتنا من الطاقة لان استخدامنا من تلك الطاقات لا زال في أضيق الحدود.[1] بالتالي الهيدروجين

[1] International energy agency. Hydrogen production and storage.

يعتبر وقود المستقبل حيث وجد أن احتراق جرام من الهيدروجين يولد طاقة اكبر من المتولدة من نفس كمية الوقود التقليدي كما انه يتميز عن المصادر التقليدية للطاقة – حيث انه مصدر للطاقة نظيف وامن كما يتميز عن مصادر الطاقة المتجددة بأنه أكثر العناصر تواجدا في الطبيعة واقل تكلفة من تقنيات الطاقة المتجددة حيث يوجد في الماء ويمكن استخراجه من الطحالب إلى جانب ذلك يمكن الحصول عليه من المصادر المتجددة والتقليدية لأنه مصدر ثانوي للطاقة.

الهيدروجين يمكن استخدامه في خلايا الوقود كمصدر للحصول على الطاقة الكهربائية.[1]حيث تعمل خلايا الوقود على التفاعل بين الهيدروجين والأكسجين لتوليد الكهرباء اللازمة لتشغيل محرك السيارة وينتج عن هذا التفاعل ماء صالح للشرب ولا يؤدى التفاعل إلى أي انبعاثات ضارة ملوثة للبيئة.وبالتالي ثورة المحركات الهيدروجينية الصديقة للبيئة إلى جانب ارتفاع كفاءتها مقارنة بالمحركات التقليدية تلقى رواجا شديد إذا اقترن ذلك بخفض التكلفة.حيث أن تستهلك المحركات الهيدروجينية تقريبا ١ لتر من الوقود لكل 100 كيلو متر وتبلغ القصوى للسيارة 115 حصانا.

لخلايا الوقود مزايا عن الخلايا التقليدية حيث أن وقودها يأتي من مصادر خارجية وبالتالي الطاقة لا تنفذ مثل البطارية التقليدية.كما أن خلايا الوقود عبارة عن رقائق مسطحة تنتج كل واحدة منها فولطا كهربيا واحدا وبالتالي كلما زاد عدد الرقائق المستخدمة زادت قوة الجهد الكهربائي. ولقد استخدمت

[1] FUEL CELL TECHNOLOGIES PROGRAM. energy efficiency renewableenergy.page1

خلايا الوقود الهيدروجينية لتوفير الكهرباء لمكوك الفضاء لمدة عقدين من الزمن وان العادم من الخلية ماء نقى يستخدمه طاقم المكوك.

سنعرض بعض العوامل التي تجعل اللجوء إلى الهيدروجين الملاذ الآمن للحد من الانبعاثات الضارة ولمواجهة أزمة الطاقة.

**١-الطلب على الطاقة**

أن النمو المتزايد للسكان والتطور التكنولوجي قد ساهم في استهلاك الطاقة بشكل كبير وذلك خلال الفترات الزمنية الأخيرة. فمثلا في عام 1960 كان استهلاك العالم من مصادر الطاقة ما يقرب من3.3 مليار طن نفطاً، بينما وصل الاستهلاك في عام 1990 إلى ما يقرب من 8.8 مليار طن نفطاً. [١] وبالطبع ازداد الاستهلاك العالمي للنفط ليصل في عام 2008 إلى ما يقرب من11.6 مليار طن نفطا ويقول خبراء الطاقة أن الطلب العالمي على الطاقة سيزداد حتى عام 2020 بمقدار 4.6 مليار طن نفطا على اقل تقدير أي سيصل الاستهلاك إلى حوالي 17 مليار طن نفطاً. ومن المتوقع أن يرتفع الطلب على الطاقة إلى ما يقرب30% مع حلول العام 2040، مما تسبب في الأزمة العالمية للطاقة والمتمثلة في استنزاف موارد الطاقة المحدودة إلى جانب الأثر السلبي على البيئة المحيطة وهو الأكثر خطورة على الإنسان ويتمثل في الإنبعاثات الناجمة من استخدام تلك المصادر وتلويث الجو، مما تسبب في ظاهرة الاحتباس الحراري والتغير المناخي وتوابعها من الكوارث البيئية الخطيرة. فقد زادت نسبة ثاني أكسيد الكربون في الجو بمعدل 1% سنوياً واستمر ذلك حتى العام 2000م حيث تضاعفت بعد ذلك لتصل إلى نسبة

[1] World Outlook Energy 2015.international energy agency.page3

2.5% سنوياً وبمقدار سبعة مليارات طن سنوياً، وليس ذلك فحسب بل يتوقع أن تصل كميتها إلى ثلاثة وثلاثين مليار طن سنوياً.[1] إذا ظلت الأنماط الحالية لاستهلاك الطاقة فإن الوكالة الدولية للطاقة تقدر أن تشهد انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بنسبة 130% بحلول عام 2050، وارتفاع بهذا الحجم في غاز ثاني أكسيد الكربون سيؤدي إلي ارتفاع درجة حرارة الأرض بمعدل 6 درجات مئوية مما يؤدي إلي حدوث تغير لا رجعة فيه في البيئة الطبيعية. ويؤدي ذلك إلي خسائر اقتصادية سنوياً تصل إلي ما بين 5-10% من الناتج المحلي الإجمالي في الدول المتقدمة وتزيد عن 10% في بعض الدول النامية.وتقدر الوكالة الدولية للطاقة أن من أجل تخفيض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بنسبة 50% بحلول عام 2050 لابد من إحراز استثمارات تراكمية بمقدار 45 تريليون دولار في مجال الاقتصاد الأخضر.

حيث تشير إحدى الدراسات التي نشرتها مجلة العلوم الأمريكية إلى أن السيارة التي تستهلك جالوناً من الوقود لكل 30 ميلاً فإن كمية ثاني أكسيد الكربون المنبعثة من ماسورتها تطرد عادماً يعادل ثلاثة أضعاف كمية الوقود المستخدم. فليتخيل كل منا عدد السيارات في بلده ثم في العالم وكم هي كميات ثاني أكسيد الكربون التي تطرد إلى سقف الأرض وتتركز في الجو بناء على تلك الإحصائية. بالمثل أيضاً، فإن محطة إنتاج الطاقة الكهربائية بقدرة 1000 ميغاوات تنتج من الإنبعاثات الكربونية ما تبعثه مليون سيارة فكم هي محطات إنتاج الطاقة في الأرض؟ وكم من الإنبعاثات ستتجه صوب غلافنا الجوي.

[1] https://www.iaea.org/

ومن العرض السابق نجد أن العالم بحاجة ماسة إلى مصدر نظيف وسهل الحصول عليه ويتصف بالمرونة في استخدامه لسد الفجوة بين العرض والطلب ويساهم في مواجهة أزمة الطاقة العالمية.

**٣- ظاهرة الاحتباس الحراري تأثيرها على الاقتصاد الدولي**

يمكن تعريف ظاهرة الاحتباس الحراري على أنها الزيادة التدريجية في درجة حرارة أدنى طبقات الغلاف الجوي المحيط بالأرض. ونتيجة لزيادة احتراق الوقود الحفري لإنتاج الطاقة نتجت غازات الصوبة الخضراء بكميات كبيرة تفوق ما يحتاجه الغلاف الجوي للحفاظ على درجة حرارة الأرض،[1] وبالتالي أدى وجود تلك الكميات الإضافية من تلك الغازات إلى الاحتفاظ بكمية أكبر من الحرارة في الغلاف الجوي، لذا ازداد ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض مع مرور الوقت. وينج من هذه الظاهرة غازات الاحتباس الحراري (الغازات الدفيئة) ثاني أكسيد الكربون (ناتجة من الطاقة والنقل)، الميثان (ناتجة من الزراعة والمخلفات)، أكسيد النيتروز (ناتجة من صناعات الأسمدة، واستخدامات الأراضي)، مركبات الهيدروفلوروكاربون (ناتجة من غازات التبريد، صناعة الألمونيوم)، مركبات البيروفلوركاربون (ناتجة من غازات التبريد، صناعة الألمونيوم)، سادس فلوريد الكبريت (ناتجة من المواد العازلة في قطاع الكهرباء).

**ويمكن تلخيص آثار ظاهرة الاحتباس الحراري على الاقتصاد الدولي كما يلي:**

[1] www.sis.gov

١- التغيرات المناخية خلال الثلاثين سنة الأخيرة أدت إلى خسائر اقتصادية فادحة على المستوى العالمي[١]، فمثلاً ألحقت موجة الحر التي عمت أوربا سنة 2003 خسائر وصل حجمها إلى 17 مليار يورو. ويتوقع خبراء الاقتصاد ارتفاع حجم الخسائر إلى البليون يورو إذا ارتفعت درجة حرارة الكرة الأرضية درجة مئوية واحدة. ولذا تصر دول الاتحاد الأوربي على التزام كافة الدول باتفاقية كيوتو ولاسيما الدول الصناعية (أمريكا ، الصين والهند)، حيث يشكل سكان أمريكا نسبة 6% من سكان العالم ويستهلك 30% من طاقة العالم.

٢- يقدر خبراء الاقتصاد خسائر شركات التأمين بسبب الكوارث الطبيعية السنوية المحتملة على المدى القريب بحوالي 115 مليار دولار،[٢] منها 65 مليار الخسائر الأمريكية و35 مليار دولار خسائر أوربا وحوالي 15 مليار خسائر اليابان. سجل عام 2004 رابع أشد الأعوام حرارة خلال هذا العقد وقد تسبب في وقوع خسائر فادحة والتي تقدر بحوالي 35 مليار دولار أمريكي،منها تعرض أمريكا وحدها إلى خسائر بسبب الأعاصير إلى حوالي 26 مليار دولار خلال عام 2004.

٣- لظاهرة التغيرات المناخية آثار خطيرة على الاستقرار السياسي والاقتصادي والاجتماعي بعد وقوع أكثر من 400 مليون نسمة تحت

---

[1].page20.2015 .Global Development And Environment Institute Tufts University.The Economics of Global Climate Change

[2].page2.Responding to climate change – THE INSURANCE INDUSTRY PERSPECTIVE

ظروف معيشية متدهورة بسبب الجفاف،[1] ارتفاع درجات الحرارة، زيادة عدد السكان ، وتردي النشاط الاقتصادي. حيث يتوقع خبراء البيئة والمناخ تعرض أوربا إلى الجفاف مما ينعكس في شكل صدامات وصراعات مسلحة بين الدول في الاتحاد الأوربي حول الغذاء ، وموارد المياه ومشاكل الهجرة، النفاذ التجاري مما سيؤدي بدوره إلى تدهور العلاقات الدبلوماسية بينها.

٤- في آسيا تتعمق النزاعات الحدودية بين بعض الدول [2]، لاسيما التي تعاني من مشاكل المياه ومن الهجرات الجماعية(الصين ، الهند)، مما يؤدى إلى مشكلات إقليمية في آسيا مما سيؤدي إلى تطوير الإمكانيات العسكرية في بعض الدول ، تعميق الاتفاقيات حول حماية مصادر الطاقة وامتداداتها (النفط والغاز الطبيعي).

٥- في قارة أمريكا فيتوقع الخبراء حدوث نزاعات سياسية حول المياه بين كل من أمريكا[3]، وكندا والمكسيك، هجرات بشرية من جزر الكاريبي باتجاه أمريكا ، بروز مشاكل الصيد في المياه الإقليمية ، إضافة إلى احتمال تفاقم أزمة النفط إذا ما تصاعدت حدة النزاع بين دول الاتحاد الأوربي والدول المصدرة للنفط (أوبك) حول إصرار أوربا على دفع دول منظمة الأوبك

---

[1] European Commission Copenhagen, 25 June 2014 page3..New study quantifies the effects of climate change in Europe

[2] Page11. June 2014 Assessing the Costs of Climate Change and Adaptation in South Asia

[3]. Page1 Climate Change in the United States The Prohibitive Costs of Inaction

تعويضات للانبعاثات التي تنجم من احتراق النفط والتي تعرف (بضريبة الكربون).

٦-تعاني دول منطقة الشرق الأوسط خاصة من مشاكل مزمنة حيث تعاني اغلب الدول من مشاكل الجفاف والتصحر وتأثيراتها على الزراعة والري ونضوب مصادر المياه وتدهور مصادر المياه (كما ونوعا)[1] ، إضافة إلى التزايد السكاني وتردي الأوضاع الاقتصادية أو الهجرات السكانية وفقدان الحريات والعدالة في اغلب دول منطقة الشرق الأوسط.

٧-بالنسبة لمصر يعتبر موضوع التغيرات المناخية له تأثير سلبي[2] سواء فعلى أو متوقع فالتأثير الفعلي يتلخص في الانقطاعات المتكررة في الكهرباء من عام 2010 حتى الآن ولكن كانت الذروة عام 2014 مما أثرت ظاهرة التغيرات المناخية على قطاع الطاقة تأثيرا بالغا إلى جانب القطاع الزراعي والصناعي وأما التأثير المتوقع يكون على مستوى الاقتصاد الكلى وليس الجزئي مما يزيد المشكلة سوء.

من العرض السابق نجد أن لظاهرة التغيرات المناخية لها آثار اقتصادية سلبية على مستوى العالم وبالتالي دول العالم بحاجة إلى اتفاقية للحد من انبعاثات الغازات الدفيئة وبالتالي سيتم عرض اتفاقية كيوتو بأنها اتفاقية ملزمة للدول التي وقعت عليها للتقليل من الانبعاثات.

---

[1] Page4..Climate Change: Middle East Faces Looming Challenges

[2] The Future Impacts of Climate Change on Egyptian Population.pages1,.2

## ٣- اتفاقية كيوتو

بروتوكول كيوتو هو الاتّفاق الدّولي الوحيد في العالم ذو أهداف ملزمة بخفض انبعاثات الغازات الدفيئة (غازات الدفيئة الخضراء). هو الأداة الرئيسيّة لحكومات العالم لمعالجة تغيّر المناخ. يتطلب البروتوكول 5 ٪ تخفيض لانبعاثات البلدان المتقدمة عالميّا بالنّسبة إلى مستويات عام 1990 وما حدث ما بين أعوام 2008-2012[1]. لتحقيق هذا الهدف على نطاق عالمي، كل بلد ملزم بهدف ما - الاتّحاد الأوروبي بالتخفيض بنسبة ٨%، واليابان بنسبة 6 ٪. وهذه الأهداف الفرديّة مستمدّة من الانبعاثات الغازيّة الدّفيئة. وبدأت فترة الالتزام الثانية في 2013 وتنتهي في عام 2020. يجب على الدول المتقدمة خفض انبعاثاتها من غازات الاحتباس الحراري بنسبة لا تقل عن 40% أقل من مستويات عام 1990 بحلول عام 2020 وما لا يقل عن 80% إلى 95% دون مستويات عام 1990 بحلول عام 2050، من أجل تحقيق أدنى مستوى من استقرار الغلاف الجوى طبقاً لتقييم الفريق الحكومي الدولي في التقرير التجميعي الرابع والذي يطالب بالا تزيد درجة حرارة الأرض عن 2 درجة مئوية وهو ما يتطلب تحقيق نسب الخفض السابقة.

### ١/٣- أهم بنود اتفاقية كيوتو[2]:

١- قيام 38 دولة متقدمة بتخفيض انبعاثات الغازات المسببة لتأثير الدفيئة وذلك بنسب تختلف من دولة لأخرى، على أن يجرى هذا التخفيض خلال فترة زمنيه محددة تبدأ في عام 2008 وتستمر حتى عام

[1] Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change United Nations page1.

[2] نفس المرجع السابق ص٣و٤.

2012. وبلغت نسبة التخفيض المقررة في حالة الاتحاد الأوروبي 8% أقل من مستوى عام1990، وفى حين بلغت هذه النسبة في حالة الولايات المتحدة واليابان 7%، 6% على التوالي. وتشمل هذه الانخفاضات 6 غازات محدده هي: ثاني أكسيد الكربون، الميثان، أكسيد النيتروجين، بالإضافة إلى ثلاثة مركبات فلورية.

٢-العمل على إنتاج وتطوير تقنيات صديقة للبيئة من خلال التركيز على الأنواع الأقل استهلاكا في الوقود، وبالتالي أقل من حيث احتراق الوقود وانبعاثات الغازات الضارة.

٣-تتعهد الدول المتقدمة بتمويل وتسهيل أنشطة نقل التكنولوجيا منها إلى الدول النامية والأقل نموا، خاصة تلك التقنيات صديقة البيئة في مجالات الطاقة والنقل والمواصلات وغيرها.

**٢/٣- آليات بروتوكول كيوتو للمساعدة في خفض الانبعاثات:**

نظم بروتوكول كيوتو ثلاث آليات لمساعدة لتخفيض انبعاثات غازات الدفيئة وهي:

آلية التجارة في الانبعاثات، واليه التنفيذ المشترك، وهما يخصان الدول المتقدمة صناعيا، أما الآلية الثالثة فهي آلية التنمية النظيفة التي تقوم على مساعدة الدول النامية على تنمية اقتصادياتها وفق مشروعات نظيفة من التلوث وتساعد أيضا على خفض الانبعاثات.

وبعد عرض اتفاقية كيوتو وبنودها والياتها نوضح كيفية استفادة مصر من هذه الاتفاقية.

**٤- أهمية اتفاقية كيوتو لمصر**

١- مصر الدولة 133 التي صدقت على بروتوكول كيوتو عام 2005[1]، ودخوله حيز التنفيذ على المستوى الوطني مما يتيح لمصر الاستفادة من مشروعات آلية التنمية النظيفة. وقد أصبح من حق مصر الدخول إلى ما يسمى بورصة الكربون أو " بيع شهادات خفض الانبعاثات والتي تحقق لمصر عائدا ماليا يبلغ 20 مليون دولار سنويا.

٢- أما جمهورية مصر العربية فهي من المناطق الأكثر عرضة لآثار التغير المناخي،[2] حيث أن هناك آثار سلبية على قطاعات عديدة أهمها المياه، الزراعة والغذاء، المناطق الساحلية، والصحة. من المتوقع أن يحدث نقص في إنتاجيه المحاصيل بسبب الحر (انخفاض إنتاجية القمح بنسبة لا تقل عن 15% والذرة 19%)، وأيضًا بسبب تملح التربة والمياه الجوفية، وستزداد احتياجاتنا من المياه وينخفض الإنتاج الحيواني. من المتوقع أيضًا أن تتعرض المناطق الساحلية لخطر ارتفاع منسوب البحر، فارتفاع مستوى البحر نصف متر سيؤدي إلى غرق مليون فدان زراعي إضافة إلى خسائر في الموارد الصناعية والسياحية، وسيؤدي ذلك كله إلى الفقر وهجرة السكان، وستفاقم موجات الطقس المتطرفة من خسائر الأرواح والممتلكات. ومن مصلحة مصر وواجبها وضع وتنفيذ خطط للتأقلم وتقليل

---

[1]. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change United Nations Page6.

[2].pages1,2 Egypt's Position to Climate Change Negotiations Matching with African & Arab group Positions

الخسائر من كل هذه الآثار وغيرها والاستفادة من المساعدات الدولية طبقًا للاتفاقية.

٣- مصر مسئولة عن حوالي 0.6% فقط من غازات الاحتباس الحراري[1]، نجد أن هذه النسبة ليست قليلة إذا ما قورنت بعدد السكان ومستوى النمو، إذ تبلغ الانبعاثات 4 طن كربون لكل فرد، مقارنة بـ 1.6 طن لكل فرد في الدول المماثلة في النمو، كما يمثل الوقود الأحفوري 96% من استهلاك الطاقة، مقارنة بـ 65% في الدول المماثلة، وكانت تكلفة تدهور البيئة في مصر الأعلى في الدول العربية (بلغت 5.6 بليون دولار عام 2008). لهذا من مصلحة مصر وواجبها تخفيف الانبعاثات ليس فقط التزاما بالاتفاقية التي تفرض على كل الدول تخفيف انبعاثاتها ولكن وبالأساس لأن هذا الأداء كثيف الكربون هو في الحقيقة إهدار لثروة البلاد وضرر بالصحة والبيئة. على حكومة مصر اتخاذ ووضع خطط جدية في رفع كفاءة الطاقة والتحول إلى الطاقة المتجددة التي نغتني بمصادرها لتقليل الانبعاثات وتقليل تدهور البيئة والصحة وليس فقط الوقوف عند هذا الحد ولكن البحث عن أنواع أخرى للوقود تعالج مشكلات الطاقات المتجددة .

وبعد العرض السابق لمدى إمكانية استفادة مصر من اتفاقية كيوتو كان لابد من إلقاء الضوء على دور الحكومة المصرية لمواجهة ظاهرة التغيرات المناخية وهو ما يتضح في التالي:-

---

[1] التغير المناخي وأثره على مصر.معهد البحوث والدراسات الإستراتيجية لحوض النيل – الفيوم.

**٥-دور الحكومة المصرية في التأثير على ظاهرة التغيرات المناخية**

يعتبر تطبيق اتفاقية كيوتو الأداة الرئيسيّة لحكومات العالم لمعالجة ظاهرة التغيّر المناخي وخاصة في مصر من خلال الآتي[1]:

١- تعظيم استفادة مصر من آليات بروتوكول كيوتو من خلال تنفيذ مشروعات آلية التنمية النظيفة حيث قامت فور التصديق على البروتوكول ودخوله حيث التنفيذ في عام 2005 بإنشاء اللجنة الوطنية لآلية التنمية النظيفة، والتي حققت نجاحات ملموسة في العديد من القطاعات حيث تمت الموافقة على عدد (36) مشروع في إطار الآلية تشمل قطاعات الطاقة الجديدة والمتجددة، والصناعة، ومعالجة المخلفات، والتشجير، وتحسين كفاءة الطاقة، وتحويل الوقود للغاز الطبيعي، وذلك بتكلفة إجمالية حوالي 1.200 مليون دولار وتمثل هذه المشروعات جذبا للاستثمارات الأجنبية، وتوفير فرص عمل جديدة، والمساهمة في تنفيذ خطط التنمية المستدامة بالدولة.

٢- وقد أدخلت الاتفاقية آليات تهدف لربط التلوث البيئي بمرود اقتصادي مما يساعد الحكومة في التحكم وإدارة الانبعاثات: حيث أن لكل منشأة صناعية الحق بحصة محددة من الغازات المنبعثة، فإذا تعدتها تحتم عليها شراء حصص إضافية من مصانع أخرى أطلقت غازات أقل مما يحق لها. وعليه يمكن للمنشات التي اقتصدت في كمية الغاز المسموح لها إطلاقها

[1] الهيدروجين وخلايا الاحتراق، صيغة مستقبلية لإنتاج الطاقة الكهربائية بكفاءة عالية وتوافق بيئي رشيد بنشريفة، إدريس الزجلي وعبد العزيز بنونة وحدث بحث: تقنيات واقتصاد الطاقات المتجددة المركز الوطني للبحث العلمي والتقني.الرباط

بيع الحصص التي لا تحتاجها وتحقيق أرباح من وراء ذلك(وقد بدأ الاتجار بحصص الانبعاث في دول الإتحاد الأوروبي). ما يؤدي بالتالي إلى عدم إلزام الدولة المشترية بخفض كميات الغازات المنبعثة من أرضها.

٣- سياسات التخفيف: ويُقصد بها الحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من مختلف القطاعات عن طريق استخدام تكنولوجيا نظيفة[١]، استبدال الوقود (حيث يعتبر خطوة مهمة لفتح المجال أمام الحكومة لإدخال استخدام غاز الهيدروجين كوقود نظيف ويتصف بالمرونة)، استخدام الطاقات المتجددة (الرياح – الشمس – المساقط المائية – والحيوية). ويتحقق ذلك عن طريق الاقتصاد الأخضر أو الاستثمارات الخضراء. حيث أيضا يمكن استغلال الطاقة الجديدة في الحصول على غاز الهيدروجين وبذلك لا يكون هناك عقبات أمام الحكومة لاستخدام الهيدروجين كوقود رسمي يمكن الحصول عليه من مصادر متعددة.

٤- سياسات التخفيف [٢]:يتطلب التمتع بميزانية كربون مستدامة من البلدان الغنية وخفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري بنسبة 80% على الأقل بحلول عام 2050، مع خفضها قبل ذلك بنسبة 30% بحلول عام 2020. يجب على حكومة المصرية وضع خريطة لمسار الانتقال القائم على انخفاض استهلاك الكربون، وإن يكن على معدل يعكس مواردها المحدودة ودوافعها في تحقيق النمو الاقتصادي المُستدام والحد من الفقر.

---

[1] Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change United Nations Page6

[2] نفس المرجع السابق ص٦

٥- التخفيف هو تغير السلوك بأوسع معانيه، فالتخفيف الناجح يتطلب من المستهلكين والمستثمرين تحويل الطلب إلى مصادر الطاقة منخفضة الكربون، وبإمكان حوافز الأسعار التشجيع على تطبيق مثل هذا التغير السلوكي حيث أن الأسعار وحدها لن تحقق الانخفاضات على النطاق أو على الوتيرة المرغوبة وللحكومات دور حيوي يمكن أن تلعبه في تشجيع التغير السلوكي لدعم الانتقال إلى اقتصاد منخفض الإنتاج للكربون حيث تشكل وضع المعايير وتوفير المعلومات وتشجيع الأبحاث والتنمية وكذلك تقييد الخيارات التي تضر بالجهود الرامية لمعالجة قضية تغير المناخ جميعها مكونات أساسية من آلية التنظيم.

٦- هناك ثلاث ركائز أساسية تكفل نجاح سياسات التخفيف[1] ويمكن للحكومة المصرية الاستفادة منها للحد من الانبعاثات وهي تسعير الانبعاثات الكربونية وتتمثل الخيارات المتاحة لتسعير هذه الانبعاثات في فرض الضرائب وفرض نظام الالتزام بحد أعلي من الانبعاثات.تغير السلوك، فالتخفيف الناجح يتطلب من المستهلكين والمستثمرين تحويل الطلب إلى مصادر الطاقة منخفضة الكربون، وبإمكان حوافز الأسعار التشجيع على تطبيق مثل هذا التغير السلوكي حيث أن الأسعار وحدها لن تحقق الانخفاضات على النطاق أو على الوتيرة المرغوبة وللحكومات دور حيوي يمكن أن تلعبه في تشجيع التغير السلوكي لدعم الانتقال إلى اقتصاد منخفض الإنتاج للكربون حيث تشكل وضع المعايير وتوفير المعلومات

[1] التغير المناخي وأثره على مصر.معهد البحوث والدراسات الإستراتيجية لحوض النيل – الفيوم.

وتشجيع الأبحاث والابتكار وتقييد الخيارات التي تضر بالجهود الرامية لمعالجة قضية تغير المناخ جميعها مكونات أساسية لتحقيق سياسة التخفيف.

٧-التكيف: يُقصد به الاستجابة لمردودات التغيرات المناخية والتعايش مع الظروف الناتجة عن تلك الظروف مثل استنباط سلالات جديدة من المحاصيل التي تتحمل الملوحة ودرجة الحرارة العالية، الاستخدام الأمثل للموارد المائية من خلال تطبيق سياسات المقننات المائية وترشيد الاستهلاك. للحكومة دور فعال من خلال السياسات المختلفة لدعم الابتكار والأفكار الجديدة للمحاولة التكييف مع هذه التغيرات.

٨- والتكيف يحتم على جميع البلدان اللحاق بركب التكيّف مع تغير المناخ. وفي البلدان الغنية، تقوم الحكومات بوضع الاستثمارات ورسم الإستراتيجيات من أجل حماية مواطنيها. أما في البلدان النامية،[1] فجهود التكيّف تتخذ شكلاً مختلفاً. ذلك أننا نجد أن أكثر البشر في العالم عرضة لمخاطر الجفاف والفيضانات والأعاصير المدارية ممن ينتمون لدول العالم النامي قد تم التخلي عن تحمل مسؤوليتهم وتركهم يواجهون مصيرهم ويتكيفون معها بالاستعانة فقط بمواردهم المحدودة.فعلى الحكومة المصرية أن تقوم بدور اجتماعي لحماية هؤلاء الناس من تلك الآثار.

٩-التعاون الدولي وهو ركيزة مهمة من الركائز الأساسية للتخفيف، لأن ظاهرة التغير المناخي ظاهرة عالمية ومن ثم فإن جهود مواجهتها يجب

[1] pages1,2 Egypt's Position to Climate Change Negotiations Matching with African & Arab group Positions

أن تكون عالمية أيضاً، حيث ينبغي أن تأخذ البلدان الغنية بزمام القيادة في التعامل مع تغير المناخ باعتبارها المسئول الأول عن تلك الظاهرة كما أنها الأكثر قدرة على مواجهتها في حين أن الدول النامية هي الأكثر عرضة لظاهرة التغير المناخي هي نفسها الأقل قدرة على مواجهتها. وبالتالي على الحكومة المصرية أن تجاهد من اجل تطبيق أو الالتزام ببنود الاتفاقيات الدولية وخاصة اتفاقية كيوتو للحد من آثار التغيرات المناخية سواء الاجتماعية أو الاقتصادية.

١٠- يرى بعض الخبراء الاقتصاديين الحاصلين على جائزة نوبل أن من أكثر التحركات فاعلية في مواجهة تغير المناخ هي توفير تمويل عام أكبر بصورة هائلة للبحوث والتطوير في مجال الطاقة غير المستندة للكربون في حدود 100 مليار دولار سنوياً ويعادل ذلك خمسين ضعف ما تنفقه الحكومات حالياً، ورتب فريق الخبراء أن ضرائب الكربون تعتبر الخيار الأقل جاذبية.وبالتالي على الحكومة المصرية أن تواكب ما يحدث في العالم من تطور وتعطى اهتمام بالبحث عن بدائل أخرى للحد من الانبعاثات الكربون.

١١- تشير تقديرات الوكالة الدولية للطاقة إلي أن إلغاء دعم الطاقة الذي يتجاوز حالياً 300 مليار دولار حول العالم يمكن أن يؤدي إلي تخفيض الغازات المسببة للاحتباس الحراري بمقدار 12% بحلول عام 2050.[1]ومن هذا المنطلق تستطيع الحكومة المصرية إلغاء دعم الطاقة خاصة على بعض الصناعات الملوثة للبيئة مثل صناعة الاسمنت.

[1] https://www.iaea.org/

١٢- تغيير الطريقة التي نصمم بها المدن وشبكات النقل وإصلاح المؤسسات المطلوبة للتصدي لتغير المناخ والحفاظ على الدعم السياسي للعمل المناخي وليس لما من خيار سوى العمل فورا والعمل معا والعمل على نحو مختلف بشأن المناخ والتنمية.أي تعمل الحكومة على إنشاء بنية تحتية مرنة لاستيعاب تغيير مصادر الطاقة واستبدالها حيث تعتبر البينية الأساسية عائق من المعوقات يقف أمام استبدال الوقود والتحول إلى اقتصاديات الهيدروجين.

١٣- تمويل خفض انبعاثات الكربون في البنك الدولي[1]:كان البنك الدولي من بين الرواد في مجال سوق الكربون. وبدأت عمليات البنك في تمويل خفض انبعاثات الكربون بإنشاء صندوق الكربون النموذجي (PCF) عام 1999 والذي بلغ حجمه 180 مليون دولار أمريكي. وفي أثره، أُنشئت على وجه السرعة صناديق وبرامج تسهيلات أخرى مع التصديق على بروتوكول كيوتو. ويدير البنك حاليا عشرة صناديق وتسهيلات يزيد حجمها على بليوني دولار أمريكي. وقدمت 16 حكومة و65 شركة خاصة من مختلف القطاعات مساهمات مالية في هذه الصناديق. وبعد أن كان الدور الأول للبنك هو تحفيز السوق العالمية لتخفيضات انبعاث الكربون، أصبح تمويل هذه التخفيضات يندرج بصورة متزايدة في برنامج الإقراض الخاص بالبنك. وفي ديسمبر 2005، تم اعتماد نهج البنك المعني بزيادة نشاطه في تمويل خفض انبعاثات الكربون.وإن تحرير نظام التبادل التجاري العالمي سيكون عاملا رئيسيا في مساعدة البلدان النامية

[1] http://www.worldbank.org/

على الحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري لديها والتكيف مع تغير المناخ.حيث يساعد البنك الدولي مصر في هذا المجال وبالتالي على الحكومة المصرية تكثيف التعامل مع البنك لاستفادة بخبراته في هذا المجال.

ومن العرض السابق للعوامل الاقتصادية والبيئية والاجتماعية والدولية نجد انه حتما ولابد من البحث عن مصدر جديد يستخدم كوقود وأيضا كحامل للطاقة ويسهل تخزينه فيكون الخيار الأمثل لذلك وهو الهيدروجين.

## ٦-لماذا الاتجاه إلى الهيدروجين كوقود

١- من المنتظر أن يلعب الهيدروجين دورا رياديا في مجال الطاقة في المستقبل [١]، ولاسيما وأن المواد الأولية لإنتاجه غزيرة، ودائرة إنتاجه واستعماله تمتاز بتوافق عالي مع شروط التنمية المستدامة. وبإمكان نظام طاقي يعتمد على الهيدروجين كحامل طاقي أن يجعل المصادر الطاقية المتجددة في متناول المستهلك. والتطور التكنولوجي المتزايد الذي نتابعه في مجالات إنتاج الهيدروجين وأساليب تخزينه وطرق نقله وميادين استعماله سيفرضه حتما على نطاق واسع. ويتحلى الهيدروجين بخصائص فيزيائية وكيميائية ممتازة تمنحه صفة المحروق المستقبلي الشامل.

٢- فهو العنصر الرئيسي في تركيبة الكون بحيث تصل نسبته إلى 90 في المائة[٢]، و66 في المائة من مياه البحار مُتكوِّنة من ذرات الهيدروجين و63 في المائة من جسم الإنسان يتكون من ذرات الهيدروجين.

---

[1] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY.page6,7,8,9,10 HYDROGEN PRODUCTION AND STORAGE.

[2] http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo_en.html

٣- تحتل المصادر الاحفورية الصدارة من بين المصادر المستعملة في إنتاجه، [1]يُنتج 96 في المائة من الهيدروجين عن طريق الكيمياء الحرارية، ومنها 48 في المائة في الغاز الطبيعي و30 في المائة عن طريق روفرماج للمواد الكربوهيدراتية، و18 في المائة عن طريق تحويل الفحم إلى غاز أي ما يسمى بتغويز الفحم. و4 في المائة الباقية من إنتاج الهيدروجين يتم عن طريق التحليل الكهربائي للماء.

٤-تُعرف المصادر الاحفورية بالمحدودية في مخزونها.[2] واستعمالها المفرط له عواقب خطيرة على الإنسانية، والعودة للمصادر المتجددة لا تقاوم. في حين أغلب هذه المصادر الأخيرة غير متوفرة زمنيا بانتظام ويمكن وصفها بالمصادر الطاقية المتوقعة أي لا يمكن نقلها ولا تقييمها إلا في موقع توفرها، كما هو الحال للأشعة الشمسية، والرياح وطاقة الأمواج.

تحويل هذه المصادر إلى كهرباء يُمكِّن من تقليص الفارق الزمني والمكاني بين العرض والطلب، ولكن يبقى اللجوء إلى نظام خزن كيماوي لازما ولا يمكن الاستغناء عليه. والحامل الطاقي المرشح من طرف العلميين والصناعيين لهذه المهمة الحيوية هو الهيدروجين.

٥- بدأ التسويق التجاري للسيارات العاملة بخلايا الوقود،[3] إضافةً إلى إنتاج الهيدروجين، وإقامة البنية التحتية لعملية تزويد الوقود، عام 2015، كما

---

[1] Hydrogen Implementing Agreement Page30..Hydrogen Production And Storage

[2] نفس المصدر السابق ص٢٠.

[3] . page1 .FUEL CELL TECHNOLOGIES PROGRAM

انه من المزمع للشركات العالمية إطلاق عرض السيارات العاملة بالهيدروجين بحلول سنة 2020. وقد يحل الهيدروجين سنة 2040 محل 11 مليون برميل من النفط في اليوم، أي ما يساوي تقريباً واردات الولايات المتحدة الحالية من النفط.

٦- إن تطوير تكنولوجيا الجيل القادم للطاقة مثل الهيدروجين من شأنه أن يجعل الهيدروجين يستخدم في دفع محركات الاحتراق الداخلي النظيفة للغاية،[1] الأمر الذي سيخفض الانبعاثات من السيارات بنسبة تزيد عن 99 بالمائة. وعندما يُستخدم الهيدروجين لتشغيل السيارات العاملة على خلايا الوقود، فإن فعاليته ستتضاعف عن فعالية المحركات التي تعمل في اليوم على البنزين، وبدون أي من انبعاثات الهواء المؤذية. الواقع أن المنتجات الثانوية الوحيدة لخلايا الوقود هي المياه الصافية وبعض الحرارة المهدرة الزائدة. ويمكن أيضاً استخدام خلايا وقود الهيدروجين في المنشآت الثابتة مثل تأمين الكهرباء للمنازل والمكاتب ومراكز التسوّق والمباني الأخرى.

ومن العرض السابق يجعل الهيدروجين وقود المستقبل يمكن استخدامه في خلايا الوقود المستخدمة في السيارات والأجهزة الكهربائية وأيضا استخدامه في المنازل والمصانع.

[1] نفس المرجع السابق ص ٢.

## ثالثا: الإطار العملي للدراسة الاقتصادية والبيئية لتحويل المحركات للعمل بالهيدروجين

الهيدروجين لديه القدرة على أن يكون وقود المستقبل[١] حيث انه له تطبيقات محتملة عبر نظم الطاقة كما أن الهيدروجين يتصف بالوفرة والتنوع حيث يمكن إنتاجه من المصادر التقليدية وغير التقليدية بما في ذلك المياه.[٢] وبالتالي يساعد في الحفاظ على امن الطاقة لان يمكن الحصول عليه من مصادر متعددة. [٣]فالهيدروجين (H2) هو الناقل للطاقة التي يمكن أن يخزن ويوفر الطاقة الصالحة للاستخدام على نطاق واسع. ومع تزايد الاستهلاك العالمي للطاقة وأيضا زيادة الاستهلاك المحلى يتطلب ذلك الاعتماد على نظام طاقة مستدام ليلبى الطلب المتزايد على الطاقة وأيضا تحقيق المعادلة الصعبة وهى انخفاض التكلفة وارتفاع الكفاءة الاقتصادية من الاستخدام وتقليل الغازات المنبعثة للجو.ويعتبر الهيدروجين الوقود الأنسب للاستخدام في خلية الوقود المستخدمة في السيارات والقطارات والطائرات والمنازل كما انه يمكن تخزينه سواء في حالة سائلة أو مضغوطة أو مواد كيميائية.بالإضافة إلى انه يخفض انبعاثات الغازات الضارة المسببة للاحتباس الحراري وبالتالي يحافظ على البعد البيئي ويحسن نوعية الهواء المحلي والبيئة العالمية. ومع ذلك، فإن المركبات التي تعمل بواسطة خلية الوقود الهيدروجينية تقدم مزايا أكثر من

---

[1] Hydrogen – Untapped Energy. The institution of Gas Engineers, 2012.page5

[2] Hydrogen Fuel Cell Vehicle Study A Report Prepared for the Panel on Public Affairs (POPA), American Physical Society , June 12, 2003.pag7

European commission.page1 [3] .Fuel Cells and Hydrogen

محرك الاحتراق الداخلي الذي يعمل بواسطة البنزين. [1]فسيارات الوقود البديل هي سيارات تعمل بوقود غير تقليدي وهنا نخص بالذكر سيارات التي تعمل بالوقود الهيدروجيني.فخلية الوقود هي عبارة عن وحدة كهرو- كيميائية تغذى بالهيدروجين، والتي تنتج كهرباء لتشغيل الموتور الكهربائي للسيارة الكهربائية. الميزة الأساسية لها إنها كفاءتها ضعف كفاءة محرك الاحتراق الداخلي في تحويل الطاقة، وإنها تقوم بذلك بدون عملية احتراق. وهي الانبعاث من العادم هو حرارة وبخار ماء فقط، بدون الغازات المكونة لظاهرة الصوبات الزجاجية.ويتوقع أن يتم إنتاج السيارات المسيرة بالهيدروجين بشكل اقتصادي بإعداد كبير في سنة 2020[٣٤].

**١- أنظمة الهيدروجين**

إن المركبات التي تعمل بخلايا الوقود لا تنبعث منها أية أنواع من التلوث، ومن أجل تحقيق هذه التكنولوجيا المتقدمة هناك حاجة لعمل محطات للتزود بوقود الهيدروجين.حيث تعتبر اليابان رائدة في هذا المجال والتي افتتحت 23 محطة، مع التخطيط لافتتاح مئات المحطات الأخرى.هذا وتحظى هذه المحطات بدعم من الحكومة اليابانية بالفعل، إلا أن كلفة بناءها وصيانتها مكلفة جدا، وتحاول اليابان أن تسبق بقية العالم في مساعيها لـــ "مجتمع الهيدروجين"[٢]، الأمر الذي يتطلب تعاونا من شركات الطاقة وشركات صناعة السيارات والحكومة للعمل معا، وتريد اليابان عرض مركبات خلايا وقود

[1] pag7.European commission.Hydrogen energy and fuel cells

[2] New Energy and Industrial Technology Development Organization(NEDO), June 19, 2014.pages.Hydrogen Infrastructure in Japan

الهيدروجين بحلول موعد أولمبياد طوكيو عام 2020. إن إجمالي الدعم المخطط لتقديمه لبناء وصيانة هذه المحطات يبلغ حوالي 5 مليارات ين ياباني، أو ما يعادل 40 مليون دولار أمريكي.الجدول 1 يوضح أداء أنظمة الهيدروجين في قطاع النقل.[٣٥]

**جدول (١) أداء أنظمة الهيدروجين في قطاع النقل**

| التطبيق | السعة | كفاءة الطاقة | التكاليف الاستثمارية |
|---|---|---|---|
| المركبات التي تعمل بخلايا الوقود | 80-120كيلو وات | 43-60% | 60-100ألف دولار |
| محطات الهيدروجين | 200 كيلو جرام/يوم | 80% | 1.5-2.5 مليون دولار |

مصدر: international energy

Hydrogen and Fuel Cells..agency,2015.page13

بين الجدول رقم١ السابق أداء أنظمة الهيدروجين في قطاع النقل حيث يوضح التكاليف الاستثمارية لكل من المركبات التي تعمل بخلايا الوقود الهيدروجينية وهى(٦٠-١٠٠ ألف دولار) ومحطات الهيدروجين وهى(١,٥-٢,٥ مليون دولار).كما يوضح الجدول كفاءة استخدام الطاقة وهى (٤٣-٦٠%) للمركبات التي تعمل بخلايا الوقود و٨٠% بالنسبة لمحطات الهيدروجين.وسعة المركبات التي تعمل بخلايا الوقود الهيدروجينية تكون ٨٠-١٢٠ كيلو وات أما محطات الهيدروجين سعتها ٢٠٠ كيلو جرام/يوم. بالمقارنة بين التكاليف الاستثمارية لكل من المركبات التي تعمل بالوقود الهيدروجينية (٦٠-١٠٠ ألف دولار) ومحطات الهيدروجين (١,٥-٢,٥

مليون دولار) نجد أن خلايا الوقود الهيدروجيني يكون من المتوقع أن تنتشر أكثر من المحطات الهيدروجينية لانخفاض تكلفتها بالنسبة تكلفة المحطة وأيضا لسهولة [1] استخدامها سواء في المركبات أو أجهزة الكمبيوتر والآلات والمعدات. حيث إن الهيدروجين ينتج من الماء، وبالأكسدة يعود إلى ماء مره أخرى، ولا توجد أي عوادم جانبية ضارة على صحة الإنسان والبيئة وبالتالي لا يوجد استهلاك لمصادر الوقود. حيث إن تكنولوجيا الهيدروجين لا تحتوي على أية عناصر تسبب أية أخطار ممكنة فهو آمن للغاية. فخلايا الوقود تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية بشكل مباشر مما لا يسبب أي فقد في الطاقة في أي صورة من الصور وبالتالي تتحقق كفاءة تشغيل عالية جدًّا.إلى جانب أنها هادئة في التشغيل حيث لا يمكن أن تسمع لخلية الوقود أي صوت أثناء عملها. عمرها أطول وصيانتها أقل يمكن التحكم في حجمها حسب الطاقة الكهربائية التي تحتاجها للتشغيل وتنصب الأبحاث حالياً على إيجاد تطبيقات جديدة لخلايا الوقود؛ حتى تصبح بديلًا لكل صور الطاقة الأخرى، وتكون بحق وقود المستقبل.

وبعد التعرف على أنظمة الوقود الهيدروجيني ويمكن عرض تكاليف محرك الاحتراق الداخلي لأنواع المركبات المختلفة.

**٣- تكاليف محرك الاحتراق الداخلي للمركبات في الحالات المختلفة**

المحرك هو آله تعمل على تحويل الطاقة الموجود في الوقود إلى قوة وحركة.وبالتالي لابد من معرفة تكلفة محرك الاحتراق الداخلي بأنواعه المختلفة للمفاضلة بينهم لاختيار الأنسب حسب التكلفة.جدول 2 يعرض ذلك.

[1] international energy agency,2015.pages13,14,15..Hydrogen and Fuel Cells

**جدول (٢) تكاليف محرك الاحتراق الداخلي في حالات متعددة**

| المحرك | 2010 | 2030 | 2050 | الوحدة |
|---|---|---|---|---|
| محرك احتراق داخلي يعمل بالبنزين | 28600 | 30900 | 32300 | دولار |
| محرك احتراق داخلي يعمل بالديزل | 29300 | 31700 | 33100 | دولار |
| سيارة تعمل ببطارية كهربائية | 35400 | 32800 | 34000 | دولار |
| سيارة تعمل بخلية وقود هيدروجينية | 60000 | 33600 | 33400 | دولار |

***مصدر: Hydrogen and Fuel ..international energy agency,2015.page38 Cells***

بين الجدول رقم ٢ السابق تكاليف محركات الاحتراق الداخلي في حالات متعددة خلال الأعوام (2010-2030-2050).فنجد أن تكاليف محرك الاحتراق الداخلي الذي يعمل بالبنزين تكلفته على التوالي كالتالي (28600-30900- 32300) دولار في الأعوام (2010-2030-2050) على الترتيب.من العرض السابق نجد أن تكاليف محرك الاحتراق الداخلي الذي يعمل بالبنزين ارتفعت في عام ٢٠١٠ ومن المتوقع أن أسعارها ترتفع في المستقبل خلال الأعوام الموضحة في الجدول رقم 2.أما بالنسبة لتكاليف محرك الاحتراق الداخلي الذي يعمل بالديزل هي(29300-31700-33100) دولار في الأعوام (2010-2030-2050). وبالتالي نجد أن التكاليف ارتفعت عن محرك البنزين في عام ٢٠١٠ ولكن المتوقع أن تنخفض بين أعوام ٢٠٣٠-٢٠٥٠ أي عبر السنوات المذكورة سابقا.أما تكاليف سيارة تعمل بخلية وقود هيدروجينية تكاليفها هي (60000-33600-33400) دولار في الأعوام

(2010-2030-2050).نجد أن تكاليف ترتفع في عام 2010 ثم تنخفض في عام 2030 ثم تنخفض أكثر عام 2050.وبالمقارنة بين تكاليف أنواع المحركات المختلفة نجد أن كوقود مستقبلي اقل في التكلفة وقود الخلية الهيدروجينية [1].

من العرض السابق نجد أن هناك ارتفاع في تكلفة السيارة التي تعمل بالوقود الهيدروجيني مقارنةً بمحرك الاحتراق الداخلي حيث تعتبر تكلفة إنتاج الوقود الهيدروجيني أحد معوقات التحول نحو مجتمع هيدروجيني. ويقدر الباحثون تكلفة الكيلوجرام الواحد من الهيدروجين وفقاً لحجم المخزون وطرق الإنتاج والتوزيع ما بين أربع وستة أضعاف تكلفة الجالون الواحد من البنزين ووقود الديزل (الكيلوجرام الواحد من الهيدروجين يحوي كمية من الطاقة تكافئ خمس جالونات من الوقود المعتمد على البنزين) غير أنه نظراً لكفاءة مركبة خلايا الوقود في حالتها المثلى قد تصل إلى ضعف كفاءة المركبة ذات الاحتراق الداخلي على الأقل، فإنها سوف تستهلك هذا الكيلوجرام من الوقود لتقطع ثلاث أضعاف المسافة. لذا من المفترض أن يلاقي الهيدروجين رواجاً تجارياً متزايداً إذا كان سعر التجزئة لكل كيلوجرام يساوي ضعف سعر التجزئة للجالون الواحد من البنزين. فكلما تحقق تقدم في تقنيات تخزين الهيدروجين ومعالجة الوقود والتحليل الكهربائي، كلما زاد الطلب على الهيدروجين، اتجه سعر الهيدروجين ليقترب من مستوى الأسعار المنشودة.

[1] international energy agency,2015.page38,39..Hydrogen and Fuel Cells

ومؤخراً أعلن فريق من الباحثين في جامعة مينسوتا الأمريكية عن نجاحهم في إنتاج الهيدروجين من الكحول الايثيلي باستخدام مفاعل لديه القدرة على توليد طاقة كافية لتدفئة منزل ولتسيير سيارة. ويقدر هؤلاء الباحثون أن 140 لتر وقود توضع في سيارة من طراز بي إم دبليو750 إتش يكفي للسير 350 كيلومتراً باستخدام الهيدروجين. وفي الواقع تشير الدراسات الحديثة إلى أن التقنيات الحالية تحقق سعراً في نطاق معامل قدره 1.3 مما نرغب في أن يكون كذلك لأنه سوف يشكل تحويل كافة وسائل النقل في العالم لتعمل بالهيدروجين تحدياً كبيراً وإن كان هناك من يقدر بأن عشرة أعوام كافية لإنجاز هذا التحويل.

من العرض السابق للتكلفة لأنواع محركات الاحتراق الداخلي لابد من التطرق بالتفاصيل إلى تحليل تكاليف خلية الوقود الهيدروجينية.

### ٣- تكلفة الخلية الهيدروجينية

لأهمية خلية الوقود الهيدروجيني في التطبيق العملي حيث يمكن استخدامها في الأجهزة والمنازل وغيرها.وخاصة استخدامها في السيارات وأنواع المركبات الأخرى وبالتالي يمكن تحليل تكاليف نظام خلية الوقود الهيدروجينية.وهو ما يوضحه الجدول رقم3 التالي.

**جدول (٣) تحليل تكاليف خلية الوقود الهيدروجينية**

| | 2010 | 2030 | 2050 | الوحدة |
|---|---|---|---|---|
| تكلفة خلية الوقود الهيدروجيني | 60000 | 33600 | 33400 | دولار |
| بيانها كالآتي | | | | |
| تكلفة جليدر | 23100 | 24100 | 25600 | دولار |
| تكلفة نظام خلية الوقود | 30200 | 4300 | 3200 | دولار |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| تكلفة خزان الهيدروجين | 4300 | 3100 | 2800 | دولار |
| تكلفة البطارية | 600 | 460 | 260 | دولار |
| تكلفة المحرك الكهربائي والتحكم في الطاقة | 1800 | 1600 | 1400 | دولار |
| تكاليف خلية الوقود الهيدروجيني بشكل محدد | | | | |
| بيانها كالآتي | | | | |
| تكلفة نظام خلية الوقود(80 كيلو/واط) | 380 | 54 | 40 | دولار/كيلو وات |
| تكلفة خزان الهيدروجين(6.5 كجم) | 20 | 14 | 13 | دولار/كيلو وات |
| تكلفة البطارية(1.5 كيلو/واط ساعة) | 460 | 350 | 200 | دولار/كيلو وات |
| الاقتصاد في استهلاك الوقود | 1 | 0.8 | 0.6 | كجم هيدروجين/ 100 كيلو متر |
| العمر الإنتاجي | 12 | 12 | 12 | سنوات |

***المصدر: Hydrogen and Fuel ..international energy agency,2015.page38 Cells***

الجدول رقم ٣ السابق بين تكاليف خلية الوقود الهيدروجينية وتحليل التكاليف المتصلة بها حيث تشكل تكلفة نظام خلية الوقود وهي (30200-4300-3200) دولار خلال السنوات (2010-2030-2050). ومن العرض السابق للتكاليف نجد أن التكاليف تنخفض مع مرور الوقت وهذا مشجع لتطبيق هذه التقنية على نطاق واسع سواء في السيارات أو الأجهزة الالكترونية أو المنازل.أما تكاليف خزان الهيدروجين هي (4300-3100-2800) دولار خلال السنوات (2010-2030-2050).نجد أن تكاليف التخزين تقل مع مرور الوقت وبالتالي سهولة تخزين الهيدروجين يجعل من هذه التقنية سهلة التطبيق وتتصف بالمرونة.ويعرض الجدول 3 تكلفة البطارية وهي كالتالي (600-460-260) دولار خلال السنوات (2010-2030-2050).وتكاليف

المحرك الكهربائي والتحكم في الطاقة كالتالي (1800-1600-1400) دولار خلال السنوات (2010-2030-2050).بالمقارنة بين تكاليف السابقة نجد أن التكاليف تنخفض مع مرور الوقت تصل إلى أدنى تكاليف في عام 2050.وتعد عملية تخفيض التكلفة هي أكبر هذه التحديات. فمهما كان الهيدروجين مصدراً رائعاً للطاقة، لن يتم اعتماده على نطاق واسع إذا ظلت تكاليفه باهظة بهذا الشكل. ومع أن الأمل الرئيسي في خفض التكلفة يكمن في العمل على المزيد من الابتكارات في المستقبل،[1] إلا أن هناك عدد من الاستراتيجيات المساعدة التي يمكن اتخاذها. أحد هذه الاستراتيجيات، هي أن يتم الجمع بين الطاقة الهيدروجينية مع غيرها من وسائل إنتاج الطاقة الأقل تكلفة وبذلك يمكن الاستفادة من مميزات الطاقة الهيدروجينية مع تحسين الأداء العام من حيث التكلفة. أمر آخر مهم، هو التركيز بشكل مؤقت على تحسين البنية التحية المتعلقة بالطاقة الهيدروجينية. وذلك أثناء استخدام الهيدروجين الناتج كعنصر ثانوي من وسائل إنتاج الطاقة الأخرى والتي تعتبر أقل تكلفة بالمقارنة، وخاصة حرق الوقود الحفري. إن توسع البنية التحتية للهيدروجين والإنتاج الضخم سيخفض من تكاليف مع تطور التكنولوجيا الخاص بخلايا الوقود، ويمكن إجراء عملية تبديل تدريجية لإنتاج الهيدروجين "النظيف "من مصادر الطاقة المتجددة.

وبعد عرض تكاليف نظام خلية الهيدروجين نستعرض مقارنة بين خلايا الهيدروجين والبطارية الكهربائية المستخدمة في السيارات.

[1] international energy agency,2015.page38..Hydrogen and Fuel Cells

## ٤- المركبات التي تعمل بخلايا الهيدروجين والمركبات التي تعمل بالبطارية الكهربائية

تختلف تكلفة الوقود المستخدم في المركبات التقليدية عن المركبات الحديثة التي تعتمد على خلايا الهيدروجين.الجدول ٤ يوضح ذلك.

**جدول (٤) مقارنة بين المركبات التي تعمل بخلايا الهيدروجين والمركبات التي تعمل بالبطارية الكهربائية**

| | المركبات التي تعمل بخلايا الوقود | مركبات تعمل ببطارية كهربائية |
|---|---|---|
| الوقت اللازم للتزويد بالوقود | اقل من(3-5) دقائق | أكثر من 20 دقيقة وقد تصل للساعات |
| أحجام المركبات | صغيرة وكبيرة | صغيرة ومتوسطة |
| نطاق المركبات | اكتر من 300 ميل | 10-200ميل |
| تكلفة الوقود لكل ميل | 0.13دولار/ميل إلى 8 دولار / جرام هيدروجين<br>0.08 دولار/ميل إلى5 دولار /جرام هيدروجين | 0.04 دولار/ميل إلى 0.12 كيلو/وات |

***المصدر Institute of Transportation Studies, July 29, The HYDROGEN TRANSITION.2014.page22***

الجدول٤ السابق عرض مقارنة بين المركبات التي تعمل بخلايا الهيدروجين والمركبات التي تعمل بالبطارية الكهربائية.حيث نجد أن الوقت اللازم للتزويد بالوقود للمركبات التي تعمل بخلايا الوقود الهيدروجيني اقل من(3-5) دقائق أما مركبات تعمل ببطارية كهربائية تستغرق أكثر من 20 دقيقة وقد تصل للساعات.وبالتالي تكون للمركبات التي تعمل بخلايا الوقود

ميزة في الوقت المستغرق حيث يكون اقل بالمقارنة بالمركبات التي تعمل بالبطارية كهربائية. وباختلاف أحجام المركبات حيث خلايا الوقود تصلح للمركبات الصغيرة والكبيرة أما المركبات الصغيرة والمتوسطة تصلح لها البطاريات الكهربائية.[1]أما العنصر الأهم في الجدول السابق تكلفة الوقود لكل ميل بالنسبة للمركبات التي تعمل بخلية الوقود الهيدروجيني وهى 0.13دولار/ميل إلى 8 دولار /جرام هيدروجين و0.08 دولار/ميل إلى5 دولار /جرام هيدروجين أما مركبات تعمل ببطارية كهربائية تكون 0.04 دولار/ميل إلى 0.12 كيلو/وات. يذكر أن السيارة الكهربائية تعتمد على بطارية الليثيوم المؤين التي تقوم بتخزين الطاقة أثناء عملية الشحن، ليتم استخدام الطاقة فيما بعد لتشغيل محرك السيارة. وفي بعض الحالات فإن فترة عمل البطارية تمثل قيداً على المسافة التي يمكن أن تقطعها السيارة قبل الحاجة إلى إعادة شحن البطارية.أما خلايا الوقود التي تستخدم الهيدروجين فتعتمد على التفاعل الكيميائي بين الهيدروجين والأوكسجين للحصول على الطاقة اللازمة لتشغيل المحرك، إذ يكون العادم الناتج عن العملية مجرد بخار ماء غير ملوث للبيئة.يعتبر الخبراء سيارات الهيدروجين بديلا أكثر جدوى من الناحية الاقتصادية مقارنة بالسيارات الكهربائية التي تعمل بالبطارية، نظرا لأن السيارات التي تستخدم خلايا وقود الهيدروجين تستطيع قطع مسافات أطول قبل الحاجة لإعادة التزود بالهيدروجين ولا تحتاج إلى إعادة شحن.

[1] Institute of Transportation Studies, July 29, 2014. page22, 23. HYDROGEN TRANSITION The

وتعمل محركات خلايا الوقود على أساس احتراق الهيدروجين بالأوكسجين حيث يكون العادم مجرد بخار ماء فقط.

ويعتبر الوقود الهيدروجيني وقود "نظيف "لأن استخدام الهيدروجين كوقود لا ينتج عنه إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون أو غيره من الغازات الدّفيئة الأخرى (المنتوج الثانوي الوحيد هو الماء النقي). ولكن تقتصر ميزته كونه وقود نظيف صديق للبيئة على الاستخدام الفعلي للهيدروجين فقط، وليس على مرحلة إنتاجه الأولية. لأن استخدام الوقود الحفري في إنتاج الهيدروجين يبطل هذه الميزة. لذا فإن إنتاج الهيدروجين باستخدام مصادر الطاقة المتجددة هو الخيار الأفضل من أجل جني الفوائد البيئية كاملة.

**٥- البعد البيئي من استخدام خلايا الوقود**

يعتبر الوقود الهيدروجيني وقودا "نظيفا "لأن استخدام الهيدروجين كوقود لا تنتج عنه انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أو غيره من الغازات الدفيئة الأخرى.وبالتالي استخدام خلايا الوقود الهيدروجيني يكون له اثر ايجابي على البيئة المحيطة ويعرض ذلك جدول (٥)

**جدول (٥) نسبة السيارات التي تعمل بوقود الهيدروجين والحد من الانبعاثات co2 لكل سنة خلال الفترة من 2020 إلى 2040**

| السنة | نسبة السيارات التي تعمل بالهيدروجين(co2=0)% | الحد من انبعاث co2 لكل سنة (مليون طن) |
|---|---|---|
| 2020 | 5 | 15 |
| 2030 | 25 | 112 |
| 2040 | 35 | 240 |

*المصدر: page14.European commission. Hydrogen energy and fuel cells*

الجدول رقم 5 عرض نسبة السيارات التي تعمل بالوقود الهيدروجيني والتي يظهرها العمود الثاني حيث نجد انه في الأعوام (2020-2030-2040) نسبة السيارات التي تعمل بالوقود الهيدروجيني تزداد من5% في عام 2020 إلى25% سيارة في عام 2030 وتزداد إلى 35%سيارة في عام 2040.[1] وبالتالي نسبة السيارات تزداد مع مرور الزمن وأيضا يظهر العمود الأخير الانبعاثات التي يمكن تجنبها من CO2 في الأعوام (2020-2030-2040). حيث أن تنخفض الانبعاثات من 15مليون طن إلى 112 مليون طن ثم تنخفض إلى 240 مليون طن خلال السنوات (2020-2030-2040). وبالتالي، يمكن استخدام الهيدروجين للقضاء في نهاية المطاف على انبعاثات الغازات الدفيئة من قطاع الطاقة. وبالتالي استخدام السيارات التي تعمل بالهيدروجين لها فوائد مناخية على البيئة المحيطة. ومع زيادة استخدام هذه السيارات تصبح مصادر الطاقة منخفضة الكربون منتشرة على نطاق واسع.وبالتالي لخلايا الهيدروجين فوائد عند استخدامها على نطاق واسع[2]. مع استخدام الهيدروجين في أنظمة خلايا الوقود تنخفض انبعاثات الكربون الملوثة للهواء إلى جانب أن استخدام هذه الخلايا يسبب انخفاض مستوى الضجيج وتحقق جودة عالية من الطاقة المستخدمة.

وأنظمة خلايا الوقود هي مثالية للاستخدام في المستشفيات أو مراكز تكنولوجيا المعلومات، أو لتطبيقات الهاتف المحمول. أنها توفر الكفاءة العالية التي تكون مستقلة عن حجمها.وبالتالي خلايا الوقود الهيدروجينية تحد من

[1] page14.European commission.Hydrogen energy and fuel cells
[2] Fuel Cells and Hydrogen, European commission.page18.

تلوث الهواء، وخصوصا في حركة المرور في المدن المزدحمة. وبالتالي الهيدروجين والكهرباء تمثل معا واحدة من الطرق الواعدة لتحقيق الطاقة المستدامة، بينما توفر خلايا الوقود جهاز أكثر كفاءة لتحويل الهيدروجين وربما أنواع أخرى من الوقود إلى كهرباء. خلايا الهيدروجين والوقود فتح الطريق إلى "أنظمة الطاقة مفتوحة" المتكاملة التي تعالج في وقت واحد كل من تحديات الطاقة والبيئة الكبرى، ولها مرونة للتكيف مع مصادر الطاقة المتجددة المتنوعة والمتقطعة التي ستكون متاحة في المستقبل.

## الخلاصة

- الهيدروجين لديه القدرة على أن يكون وقود المستقبل حيث انه له تطبيقات محتملة عبر نظم الطاقة كما أن الهيدروجين يتصف بالوفرة والتنوع حيث يمكن إنتاجه من المصادر التقليدية وغير التقليدية بما في ذلك المياه وبالتالي يساعد في الحفاظ على امن الطاقة.
- يوجد نظامين لاستغلال الطاقة الهيدروجينية وهى محطات الهيدروجين وخلايا الوقود الهيدروجيني نجد أن خلايا الوقود الهيدروجيني يكون من المتوقع أن تنتشر أكثر من المحطات الهيدروجينية لانخفاض تكلفتها بالنسبة لتكلفة المحطة وأيضا لسهولة استخدامها سواء في المركبات أو أجهزة الكمبيوتر والآلات والمعدات. حيث إن الهيدروجين ينتج من الماء
- وبالمقارنة بين تكاليف أنواع المحركات المختلفة نجد أن الهيدروجين كوقود مستقبلي اقل في التكلفة (أي وقود الخلية الهيدروجينية) من محرك البنزين على الرغم من ارتفاع تكلفة السيارة التي تعمل بالوقود الهيدروجيني مقارنةً بمحرك الاحتراق الداخلي. ويقدر الباحثون تكلفة

الكيلوجرام الواحد من الهيدروجين وفقاً لحجم المخزون وطرق الإنتاج والتوزيع ما بين أربع وستة أضعاف تكلفة الجالون الواحد من البنزين ووقود الديزل (الكيلوجرام الواحد من الهيدروجين يحوي كمية من الطاقة تكافئ ثلاث جالونات من الوقود المعتمد على البنزين) غير أنه نظراً لكفاءة مركبة خلايا الوقود في حالتها المثلى قد تصل إلى ضعف كفاءة المركبة ذات الاحتراق الداخلي على الأقل.

- خفض تكلفة الهيدروجين كوقود يكمن في العمل على المزيد من الابتكارات في المستقبل، إلا أن هناك عدد من الاستراتيجيات المساعدة التي يمكن اتخاذها. أحد هذه الاستراتيجيات، هي أن يتم الجمع بين الطاقة الهيدروجينية مع غيرها من وسائل إنتاج الطاقة الأقل تكلفة وبذلك يمكن الاستفادة من مميزات الطاقة الهيدروجينية مع تحسين الأداء العام من حيث التكلفة.
- يعتبر الخبراء سيارات الهيدروجين بديلا أكثر جدوى من الناحية الاقتصادية مقارنة بالسيارات الكهربائية التي تعمل بالبطارية، نظرا لأن السيارات التي تستخدم خلايا وقود الهيدروجين تستطيع قطع مسافات أطول قبل الحاجة لإعادة التزود بالهيدروجين ولا تحتاج إلى إعادة شحن. غير أنه عند عمل واستخدام هذه السيارات تصبح ذات مصادر الطاقة منخفضة الكربون منتشرة على نطاق واسع محركات خلايا الوقود على أساس احتراق الهيدروجين بالأوكسجين حيث يكون العادم مجرد بخار ماء فقط.

- الأثر البيئي: يمكن استخدام الهيدروجين للقضاء في نهاية المطاف على انبعاثات الغازات الدفيئة في قطاع الطاقة ومع زيادة استخدام السيارات الهيدروجينية تصبح مصادر الطاقة منخفضة الكربون ومنتشرة على نطاق واسع. ومن ثم خلايا الوقود الهيدروجيني تعمل على فتح الطريق إلى "أنظمة الطاقة المفتوحة" المتكاملة التي تعالج في وقت واحد كل من تحديات الطاقة والبيئة الكبرى، خلايا الوقود الهيدروجينية تحد من تلوث الهواء، وخصوصا في حركة المرور في المدن المزدحمة ولها مرونة للتكيف مع مصادر الطاقة المتجددة المتنوعة والمتقطعة التي ستكون متاحة في المستقبل.

## النتائج

١- احتراق جرام من الهيدروجين يولد طاقة اكبر من المتولدة من نفس كمية الوقود التقليدي للاستخدام في خلايا الوقود كمصدر للحصول على الطاقة الكهربائية.وأيضا محركات الهيدروجين لها مزايا متعددة حيث أن تستهلك المحركات الهيدروجينية تقريبا 2.9 لتر من الوقود لكل 100 كيلو متر ويبلغ المدى التشغيلي لهذه المحركات حوالي 400 كيلو متر وتبلغ القوة القصوى للسيارة 115 حصانا. كما أن استخدام الهيدروجين في دفع محركات الاحتراق الداخلي سيخفض الانبعاثات من السيارات بنسبة تزيد عن 99 بالمائة.ولخلايا الوقود مزايا عن الخلايا التقليدية حيث أن وقودها يأتي من مصادر خارجية وبالتالي الطاقة لا تنفذ مثل البطارية التقليدية.

٢- عام 1960 كان استهلاك العالم من مصادر الطاقة ما يقرب من3.3 مليار طن نفطاً، بينما وصل الاستهلاك في عام 1990 إلى ما يقرب من 8.8

مليار طن نفطاً. وبالطبع ازداد الاستهلاك العالمي للنفط ليصل في عام 2008 إلى ما يقرب من11.6 مليار طن نفطا ويقول خبراء الطاقة أن الطلب العالمي على الطاقة سيزداد حتى عام 2020 بمقدار 4.6 مليار طن نفطا على اقل تقدير أي سيصل الاستهلاك إلى حوالي 17 مليار طن نفطاً. ومن المتوقع أن يرتفع الطلب على الطاقة إلى ما يقرب 30% مع حلول العام2040. إذا ظلت الأنماط الحالية لاستهلاك الطاقة فإن الوكالة الدولية للطاقة تقدر أن تشهد انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بنسبة 130% بحلول عام 2050، وارتفاع بهذا الحجم في غاز ثاني أكسيد الكربون سيؤدي إلي ارتفاع درجة حرارة الأرض بمعدل 6 درجات مئوية مما يؤدي إلي حدوث تغير لا رجعة فيه في البيئة الطبيعية.

٣- بروتوكول كيوتو هو الاتّفاق الدّولي الوحيد في العالم ذو أهداف ملزمة بخفض انبعاثات الغازات الدفيئة (غازات الدفيئة الخضراء). هو الأداة الرئيسيّة لحكومات العالم لمعالجة تغيّر المناخ. يتطلب البروتوكول 5 ٪ تخفيض لانبعاثات البلدان المتقدمة عالميّا بالنّسبة إلى مستويات عام 1990 بحلول 2008–2012. لتحقيق هذا الهدف على نطاق عالمي، كل بلد ملزم بهدف ما – الاتّحاد الأوروبي بنسبة 8 ٪، واليابان بنسبة 6 ٪. وهذه الأهداف الفرديّة مستمدّة من الانبعاثات الغازيّة الدّفيئة. وبدأت فترة الالتزام الثانية في 2013 وتنتهي في عام 2020. يجب على الدول المتقدمة خفض انبعاثاتها من غازات الاحتباس الحراري بنسبة لا تقل عن 40% أقل من مستويات عام 1990 بحلول عام 2020 وما لا يقل عن 80% إلى 95% دون مستويات عام 1990 بحلول عام 2050، من أجل

تحقيق أدنى مستوى من استقرار الغلاف الجوى طبقاً لتقييم الفريق الحكومي الدولي في التقرير التجميعي الرابع والذي يطالب بألا تزيد درجة حرارة الأرض عن 2 درجة مئوية وهو ما يتطلب تحقيق نسب الخفض السابقة.

٤- استفادت مصر من آليات بروتوكول كيوتو من خلال تنفيذ مشروعات آلية التنمية النظيفة حيث قامت فور التصديق على البروتوكول ودخوله حيث التنفيذ في عام 2005 بإنشاء اللجنة الوطنية لآلية التنمية النظيفة، والتي حققت نجاحات ملموسة في العديد من القطاعات حيث تمت الموافقة على عدد (36) مشروع في إطار الآلية تشمل قطاعات الطاقة الجديدة والمتجددة، والصناعة، ومعالجة المخلفات، والتشجير، وتحسين كفاءة الطاقة، وتحويل الوقود للغاز الطبيعي، وذلك بتكلفة إجمالية حوالي 1.200 مليون دولار وتمثل هذه المشروعات جذبا للاستثمارات الأجنبية، وتوفير فرص عمل جديدة، والمساهمة في تنفيذ خطط التنمية المستدامة بالدولة إلى جانب الاستفادة من سياسات التخفيف حيث يتطلب من الحكومة المصرية وضع خريطة لمسار الانتقال القائم على انخفاض استهلاك الكربون، وإن يكن على معدل يعكس مواردها المحدودة ودوافعها في تحقيق النمو الاقتصادي المُستدام والحد من الفقر وأيضا سياسات التكيف حيث للحكومة دور فعال من خلال السياسات المختلفة لدعم الابتكار والأفكار الجديدة للمحاولة للتكييف مع هذه التغيرات.

٥- عند المقارنة بين تكاليف أنواع المحركات المختلفة نجد أن الهيدروجين كوقود مستقبلي اقل في التكلفة (أي وقود الخلية الهيدروجينية) من محرك

البنزين على الرغم من ارتفاع تكلفة السيارة التي تعمل بالوقود الهيدروجيني مقارنةً بمحرك الاحتراق الداخلي. ويقدر الباحثون تكلفة الكيلوجرام الواحد من الهيدروجين وفقاً لحجم المخزون وطرق الإنتاج والتوزيع ما بين أربع وستة أضعاف تكلفة الجالون الواحد من البنزين ووقود الديزل (الكيلوجرام الواحد من الهيدروجين يحوي كمية من الطاقة تكافئ ثلاث جالونات من الوقود المعتمد على البنزين) غير أنه نظراً لكفاءة مركبة خلايا الوقود في حالتها المثلى قد تصل إلى ضعف كفاءة المركبة ذات الاحتراق الداخلي على الأقل.

## التوصيات

١- لابد من الحكومات والدول النظر في تحقق التنمية المستدامة من خلال استخدام الهيدروجين كوقود: حيث أن من أجل تحقيق التنمية المستدامة علينا التحول إلى الكفاءة البيئية وهي إنتاج أكبر باستخدام كم أقل وهذا التعريف يدل على عدم إهدار الموارد والاستغلال الأمثل لها والاهتمام بالإنتاج النظيف.

٢- البحث والتطوير في مجالات تقليل تكاليف إنتاج وتوزيع وإدماج الهيدروجين في هيكل الطاقات.

٣- استخدام الهيدروجين كوقود لسيارات المستقبل يعتبر مشروعا استراتيجيا وحيويا: لابد من أخذه بعين الاعتبار والاستفادة من تجارب الدول الأخرى التي تبحث في هذا المجال وضرورة وضع خطة مستقبلية لإنشاء محطات تزويد بالهيدروجين بشكل يؤمن سهولة الحصول عليه وبسرعة بالإضافة

إلى إنشاء مجمعات فنية لكي تقوم بعملية تحويل السيارات الحالية إلى سيارات تعمل بالهيدروجين.

٤- سن قوانين وتشريعات خاصة باستخدام الطاقة الهيدروجينية في القطاعات المختلفة:سواء في قطاع النقل أو المنازل وبالأخص في قطاع الصناعة حيث يعتبر هذا القطاع المستهلك الأكبر للطاقة وبالتالي استخدام الهيدروجين كوقود يساعد في تقليل الفجوة بين الطلب والعرض على الطاقة.حيث أن هذه الإجراءات من شأنها أن تقلل من الاعتماد على الطاقة التقليدية وتوفر بديل متجدد موفر للطاقة وله تأثير بيئي ايجابي..

٥- توعية المواطنين عبر وسائل الإعلام المختلفة بضرورة ترشيد استهلاك الطاقة، وتشجيع إنشاء وحدات لأبحاث الطاقة الهيدروجينية خاصة في الجامعات والمراكز العلمية والتي من شأنها تطوير هذا المجال ودراسة إمكانيات التطبيق إضافة إلى حث وتشجيع المواطنين والمؤسسات على استغلال الطاقة الهيدروجين في المباني وتبني ودعم هذه الأبحاث.

## المراجع الأجنبية


- -A review of low-carbon vehicle and hydrogen end-use data for energy system models. UCL Energy Institute, University College London. 2012.
- June 2014. Assessing the Costs of Climate Change and Adaptation in South Asia-
- .Climate Change: Middle East Faces Looming Challenges-

- Climate Change in the United States The Prohibitive Costs of Inaction.–
- Egypt's Position to Climate Change Negotiations Matching with African & Arab group Positions
- European commission. .Fuel Cells and Hydrogen–
- FUEL CELL TECHNOLOGIES PROGRAM.–
- international energy agency,2015…Hydrogen and Fuel Cells–
- -Hydrogen Fuel Cell Vehicle Study A Report Prepared for the Panel on Public Affairs (POPA), American Physical Society , June 12, 2003.
- European commission. Hydrogen energy and fuel cells–
- HYDROGEN IMPLEMENTING AGREEMENT.- HYDROGEN PRODUCTION AND STORAGE.
- Hydrogen – Untapped Energy. The institution of Gas Engineers, 2012. –
- -KYOTO PROTOCOL TO THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE UNITED NATIONS.
- -New Energy and Industrial Technology Development Organization(NEDO), June 19, 2014..Hydrogen Infrastructure in Japan
- European Commission Copenhagen, 25 June 2014..-New study quantifies the effects of climate

- .Responding to climate change – THE INSURANCE INDUSTRY PERSPECTIVE–
- Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells. international energy agency.2015.–
- ..2015 .Global Development And Environment Institute Tufts University.The Economics of Global
- The Future Impacts of Climate Change on Egyptian Population.
- Institute of Transportation Studies , July 29, 2014..HYDROGEN TRANSITION The
- World Outlook Energy 2015.international energy agency.


## المراجع العربية


- التغير المناخي وأثره على مصر. معهد البحوث والدراسات الإستراتيجية لحوض النيل –الفيوم–٢٠١٣.
- الهيدروجين وخلايا الاحتراق، صيغة مستقبلية لإنتاج الطاقة الكهربائية بكفاءة عالية وتوافق بيئي رشيد بن شريفة، إدريس الزجلي وعبد العزيز بنونة وحدث بحث: تقنيات واقتصاد الطاقات المتجددة المركز الوطني للبحث العلمي والتقني.الرباط–٢٠١٤.


## المواقع الالكترونية


- https://www.iaea.org
- http://www.worldbank.org/
- http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo_en.htmlwww.sis.gov