مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (31) العدد (2) 2009
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (31) No. (2) 2009

# استخدام الهيدروجين كوقود لسيارات المستقبل وأثره الإيجابي على البيئة في سوريا

**الدكتور هيثم أسمر***

**(تاريخ الإيداع 1 / 2 / 2009. قُبِل للنشر في 2009/4/27)**

## □ الملخّص □

يزداد اهتمام العالم حالياً بالتحول إلى أنظمة تكنولوجية أكثر نظافة، يكون الهدف منها إنتاج حد أدنى من الغازات والملوثات، وكذلك إيجاد طاقة جديدة للمحروقات التي تلغي الحاجة إلى الوقود الأحفوري دون تدهور طبقة الأوزون.

نحاول في بحثنا هذا أن نبين طريقة استخدام الهيدروجين كوقود للسيارات باعتباره غاز نظيف وغير سام وكذلك البحث في المعوقات الحالية التي تحد من استخدامه خاصة طرق التحميل والتخزين.

بسبب التزايد المستمر في ملوثات عوادم السيارات في سوريا، كما في بقية دول العالم، فإن استخدام الهيدروجين يمكن أن يكون الحل الأمثل للحد منها، عند ذلك سوف تنخفض نسبة تلوث الهواء بحدود 60% من إجمالي الملوثات عامة.

**الكلمات المفتاحية:** التلوث البيئي.

* أستاذ مساعد–قسم هندسة القوى الميكانيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (31) العدد (2) 2009
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (31) No. (2) 2009

# The Use of Hydrogen as Motorcars Fuel and Its Positive Effect on the Environment in Syria

**Dr. Haytham Asmar** *

**(Received 1 / 2 / 2009. Accepted 27 / 4 / 2009)**

## □ ABSTRACT □

The world's interest in conversion into cleaner technological systems is on the increase nowadays. The main purpose [of such systems] is to minimize the emission of gases and pollutants and finding new fuel energy that gets rid of demand for fossil fuel in order to stop the Ozone layer depletion.

In this research, an attempt is being made to illustrate how to use Hydrogen as motorcar fuel, given that it is a clean and un-poisonous gas, and to examine the current obstacles which limit its use, particularly loading and storage methods.

Due to constant increase in the pollutants released from motorcar exhaust-pipes in Syria, and in other world countries as well, the use of Hydrogen may be the ideal solution to reduce those pollutants. Thus, pollution rate in the air will drop by 60 % approximately out of the total pollutants.

**Key words**: Environmental Pollution

* **Associate Professor, Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

## مقدمة:

أدرك الإنسان منذ زمن بعيد الخطر الناجم عن المواد الغريبة المنطلقة إلى الجو ملوثة إياه، وأصبح موضوع تلوث الهواء مدعاة للقلق منذ بداية الثورة الصناعية وما رافقها من مواد كيميائية وأدخنة وأبخرة وذرات صلبة وغيرهم، والتي تؤدي إلى تغيير أنماط سقوط الأمطار أو زيادة الأشعة فوق البنفسجية، وذلك يعني عدم استقرار المناخ أو النظم الجغرافية الفيزيائية والبيولوجية، أو تدمير طبقة الأوزون، ولذا من الضروري تجنب هذه الأخطار التي تؤدي إلى تدهور الكائنات الحية دون استثناء[1.3].

يزداد اهتمام دول العالم يوماً بعد يوم بالتحول إلى تكنولوجيا أنظف تنقل المجتمع إلى عصر يستخدم أقل قدرة من الطاقة والموارد وأن يكون الهدف من هذه النظم التكنولوجية إنتاج حد أدنى من الغازات والملوثات واستخدام معايير معينة تؤدي إلى الحد من تدفق الغازات وتعيد تدويرها داخلياً وتعمل مع النظم الطبيعية أو تساندها وكذلك إيجاد وسائل أو طاقة جديدة للمحروقات التي تلغي الحاجة إلى الوقود الأحفوري دون تدهور طبقة الأوزون[8.9].

ومن أجل تحقيق التنمية المستدامة يجب التحول إلى الكفاءة البيئية والتي هي إنتاج أكبر باستخدام كم أقل وهذا التعريف يدل على عدم إهدار الموارد والاستغلال الأمثل لها والاهتمام بالإنتاج النظيف. وقد قام برنامج الأمم المتحدة بوضع مفهوم شامل لمصطلح الإنتاج الأنظف، وهو التطبيق المتواصل لاستراتيجية بيئية وقائية متكاملة على العمليات والمنتجات من أجل تقليل المخاطر المتصلة بالإنسان [5].

## أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في استخدام تكنولوجيا أنظف تعتمد على طاقة جديدة للمحروقات وهي طاقة الهيدروجين كوقود للسيارات. أما أهداف البحث فتشمل دراسة التأثير الإيجابي لاستخدام الهيدروجين على البيئة المحيطة والحد من الغازات السامة المنطلقة من عوادم وسائط النقل للمحافظة على طبقة الأوزون .

## طرائق البحث ومواده:

لقد أنجز هذا البحث بالاعتماد على الأسس النظرية لاستخدام الهيدروجين كوقود وخاصة التجارب العملية للشركات المصنعة للسيارات .

### 1. إمكانية استخدام الهيدروجين كوقود للسيارات:

يهتم الباحثون اليوم بشكل كبير على إيجاد طرق تتيح للمركبات التي تعمل بخلايا الوقود التزود بالهيدروجين الذي تحتاجه لقطع مسافات طويلة وبمردود جيد.

يعود استخدام الهيدروجين كوقود لوسائل النقل إلى القرن الثامن عشر عندما استطاع الإنسان التحليق في منطاد مصنوع من القماش الحريري مغلف بطبقة مطاطية ومعبأ بغاز الهيدروجين الأخف وزناً من الهواء.

يعد استخدام الهيدروجين في خلايا الوقود التي تشغل محركات المستقبل خياراً مغرياً لعدة أسباب إذ يمكن تحضيره من مجموعة خامات كيميائية، ومن مصادر طاقة أخرى كمصادر الطاقة المتجددة، ومن مصادر نووية وكذلك من مصادر الوقود الأحفوري. من مزايا الهيدروجين أنه غاز نظيف وغير سام ويمكن أن يشكل مصدر طاقة للآلات المتعددة الأنواع، وعند احتراقه لا يطلق غازات ملوثة للبيئة كغاز ثاني أوكسيد الكربون الذي يعتبر المكون الرئيس للاحتباس الحراري. عند حمله في خلايا الوقود التي تشبه في تركيبها البطاريات، يؤمن الهيدروجين عند احتراقه

بالأوكسجين، الطاقة اللازمة لتشغيل محركات السيارات والتي تعمل بالكهرباء، باعثاً الحرارة ومخلفاً الماء فقط كمنتج ثانوي [9].

حسب تقديرات الباحثين في هذا المجال فإن مردود السيارات التي سوف تعمل بخلايا الوقود سيتعدى ضعفي مردود السيارات الحالية، كما قد يؤدي استخدام الهيدروجين إلى المساهمة الفعالة في حل مشكلة التلوث البيئي وخاصة تلوث الهواء وما يسببه من مخاطر على الأحياء وتغيرات المناخ العالمي وعدم اعتماد الدول على النفط المستورد [10].

بالرغم من جميع التوقعات الإيجابية المؤيدة لاستخدام الهيدروجين كوقود لسيارات المستقبل إلا أن ذلك يترافق بعقبات لابد من البحث فيها. إن الطاقة التي تحملها كمية مقدارها 1kg منه تزيد على ثلاثة أضعاف الطاقة التي تحملها نفس الكمية من البنزين، لكن يتعذر اليوم حمل غاز الهيدروجين وتخزينه بنفس سهولة وإحكام تحميل البنزين.

يعد موضوع حمل وتخزين الهيدروجين من أكثر الأمور التقنية تعقيداً، فالمشكلة تكمن في كيفية تحميل السيارة بشكل محكم وآمن، ما يكفي من غاز الهيدروجين لتحقيق مستوى الأداء اللازم وقطع المسافات المطلوبة. البحث في هذا المجال أمر صعب، إذ يجب إيجاد أفضل الحلول لتأمين ضبط عمليات التخزين وأمانها، وتأمين الوسيلة التي تسمح بحمل ما يكفي من الهيدروجين لقطع أدنى مسافة مقبولة في يومنا هذا وهي 185km في خزان وقود لا يشكل حجمه وموقعه مصدر إزعاج لركاب السيارة ولمكان الحقائب والأمتعة فيها، وكذلك لابد من إيجاد الوسائل التي تتيح تحرر الوقود الغازي في درجات الحرارة العادية وانطلاقه بمعدلات تدفق تحقق التسارع المطلوب للسيارة على الطرق السريعة، وكذلك تتيح إمكانية إعادة ملء الهيدروجين في دقائق قليلة وبأسعار مقبولة. مع العلم أن تقنيات تخزين وقود غاز الهيدروجين ما زالت بعيدة عن تحقيق هذه الأهداف. لذلك يبذل الباحثون وصانعوا السيارات، في مختلف القطاعات الحكومية والأكاديمية ومراكز الأبحاث، في جميع أنحاء العالم جهوداً جبارة لتدارك هذه العقبات والتغلب عليها. في العام 1977 وقعت الوكالة الدولية للطاقة اتفاقية حول استخدام الهيدروجين وتضم اليوم مجموعة الدول التي تهتم بمعالجة قضايا تخزين الهيدروجين، كما أن الشراكة العالمية لاقتصاد الهيدروجين التي تشكلت عام 2003، تضم 17 دولة التزمت جميعها بدعم تقانات استخدام الهيدروجين وخلايا الوقود [10].

**2. المعوقات البنيوية الأساسية لاستخدام وتخزين الهيدروجين:**

نظراً للانتشار الواسع للسيارات بأنواعها المختلفة والتي تستهلك كمية كبيرة من مشتقات النفط وعلى اعتبار أن معظم الدول تعتمد على استيراد النفط من مناطق تقع في ما وراء البحار، لذلك تبدو الحاجة المهمة واضحة إلى استثمار رأس مال كبير لتحويل صناعة السيارات العاملة حالياً إلى صناعة سيارات تعمل بخلايا الوقود، وكذلك تحويل مواقع مصافي تكرير النفط ومحطات توزيع مشتقاته إلى محطات يتم التعامل فيها مع الهيدروجين، ويجب أن تكون السيارات التي تعمل بخلايا الوقود قادرة على منافسة السيارات التقليدية من حيث جودة الأداء وطول العمر بالإضافة إلى رخص ثمنها.

يتم تحويل الطاقة عند استخدام الوقود بالطريقة التقليدية كما يلي :

الطاقة الكيميائية للوقود ⟵ حرارة (احتراق وانتقال حرارة ) ⟵ طاقة ميكانيكية

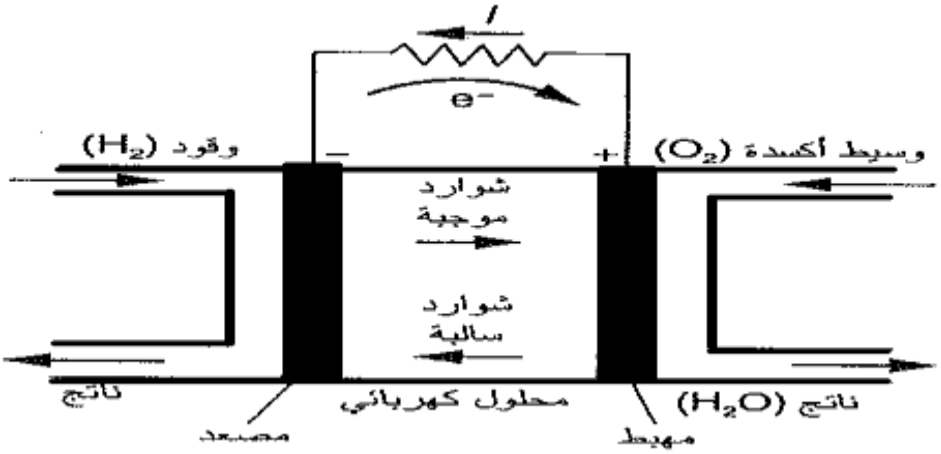
(آلة حرارية) ⟵ طاقة كهربائية (مولد)

تقوم خلايا الوقود عن طريق عملية كهر وكيميائية بتحويل الطاقة الكيميائية لوقود معين (هيدروجين ،غاز طبيعي ) بشكل مباشر إلى طاقة كهربائية [2] .

تجري عملية التحويل إل خلية الوقود بالشكل الآتي :

وقود + وسيط تأكسد ⟵ نواتج أكسدة + طاقة كهربائية + حرارة

تتألف خلية الوقود ( $H_2$-$O_2$ ) من قطبين مصعد ومهبط ومحلول كهربائي كما هو مبين بالشكل 1.




**(الشكل1): مبدأ خلايا الوقود**

نستطيع حساب القوة المحركة الكهربائية الناتجة عن خلية وقود باستخدام المعادلة التالية :

$$E_{rev}= -\Delta G/nf \qquad [\,v\,]$$

حيث : $\Delta G$– تغير الطاقة الحرّة في التفاعل ( J/Mol )

n – عدد الإلكترونات التي تشارك في التفاعل الموجودة في كل مول من الوقود(للهيدروجين n=2)

f– ثابت فراداي ( 69487c / Mol)

أما تغير الطاقة الحرّة في تفاعل كيميائي فيحسب من العلاقة :

$$\Delta G= \Delta H - T \cdot \Delta S \qquad [J/Mol]$$

حيث : $\Delta H$ – تغير الإنتالبي للتفاعل الإجمالي

$T \cdot \Delta S$ – كمية الحرارة الممتصة أثناء عملية عكوسة عند ثبات درجة الحرارة .

يتعلق جهد خلية الوقود بدرجة الحرارة والضغط ، وتبلغ لخلية الوقود 1.23Vوذلك عند درجة حرارة $25C^{\circ}$ وضغط جوي يساوي الواحد أما عند درجة حرارة $200\ C^{\circ}$ فيصبح الجهد 1.15 V وبازدياد الضغط يرتفع الجهد.

للوصول إلى أعلى قيمة مردود حراري $\eta_{th}$ في خلية وقود عكوسة ننطلق من العلاقة التالية :

$$\eta_{th} = \Delta G / \Delta H = 1- T\cdot\Delta S / \Delta H$$

حيث : $\Delta G$ - تغير الطاقة الحرّة ($\Delta G$= -237.14 KJ/Mol)

$\Delta H$ - تغير الانتالبي $\Delta H$=-285.83 KJ/Mol عند تشكل مول من الماء سائل من $H_2$ و$O_2$ عند واحد ضغط جوي و $25\ C^{\circ}$ .

العمل الأعظمي لكل مول H2(متفاعل) أو لكل مول $H_2O$ (ناتج):

$$U_{max}= \Delta G_R - \Delta G_{H2O}\ [KJ/Mol]$$

حيث : $\Delta G_R$= 0 KJ/Mol للمتفاعل

القوة المحركة الكهربائية تحسب كما يلي :

$$EMF = E_{rev} = w_{max} / n.f \ [v]$$

يمكن حساب المردود الحراري الإجمالي لخلية الوقود مع الأخذ بعين الإعتبار عامل الجودة $\acute{\eta}_G$ بالشكل التالي :

$$\acute{\eta}tot = \acute{\eta}_{th} . \acute{\eta}_G$$

والاستطاعة المعكوسة الممكن كسبها

$$P_{rev} = \Delta G . M/M_{H2O} [W]$$

حيث : M– التدفق الكتلي للهيدروجين

$M_{H2}$ – الكتلة المولية للهيدروجين ( 2.016 kg/ KMol )

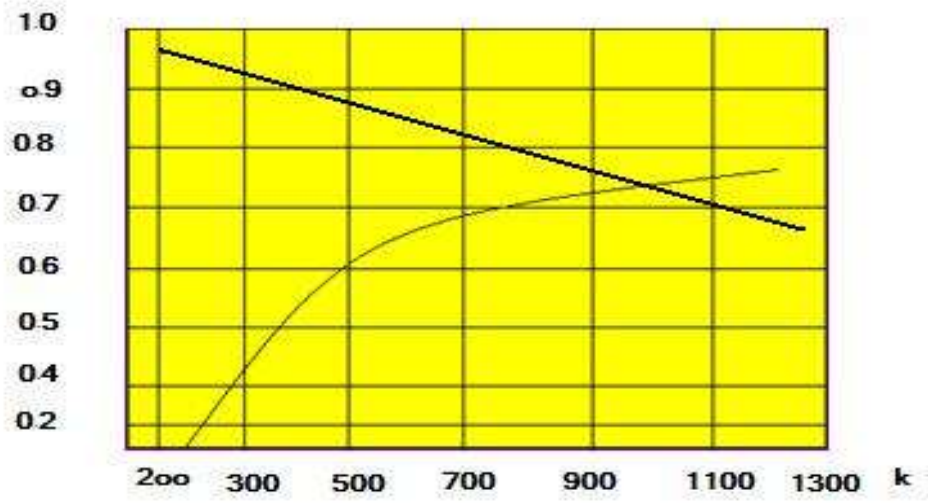
وبالتالي الاستطاعة الكهربائية الفعلية لخلية وقود هي :

$$Pa= p_{rev} . \acute{\eta}_{tot}$$

أما تيار الحرارة الذي يمكن تصريفه فيحسب كما يلي

$$Q = p_{rev} – p_a [w]$$

لتوضيح مزايا مردود خلايا وقود الهيدروجين يمكن إجراء المقارنة مع مردود دورة كارنو التي تتميز بمردود جيد كما هو موضح في الشكل 2 .




**(الشكل2): المقارنة بين مردود دورة كارنو ومردود خلية الوقود كتابع لدرجة الحرارة**

من أهم العقبات التي تواجه تزويد سيارات خلايا الوقود هو كيفية تحميلها كمية كافية من غاز الهيدروجين، وترجع صعوبة تخزين كمية كافية من الهيدروجين في السيارة إلى طبيعة هذه المادة باعتبار أن الهيدروجين وفي درجة الحرارة العادية وتحت الضغط الجوي يكون على شكل غاز كثافته الطاقية (wh/kg) 33000 من كثافة البنزين الطاقية، وهذا يعني أنه من أجل ملء خزان سيارة عادية سعته 5.3 litter بهذا الضغط تحت ضغط جوي واحد، فحينها تسير مسافة 985m فقط. لابد من العمل من أجل تحسين أداء الهيدروجين وزيادة كثافته الطاقية في جميع أنظمة التخزين. أحد الأهداف الأساسية لتطوير تقنية سيارات المستقبل هو التوصل إلى جعلها تسير المسافة الدنيا المقدرة بنحو 185km، ويعتمد المهندسون والصناعيون لذلك طريقة مفيدة في حساباتهم وهي أن 3.78 litter من البنزين يعادل 1kg هيدروجين. وتحتاج السيارات التقليدية إلى نحو 5.3 litter من البنزين لقطع مسافة 185km، وهذا

يعني أن السيارة التي تعمل بخلايا الوقود سوف تحتاج إلى 8kg من الهيدروجين وذلك بسبب مردوده العالي. وتختلف كمية الهيدروجين التي تحتاجها سيارات المستقبل تبعاً لنوعها وقياسها.

بينت التجارب الطويلة التي أجريت لنحو 60 نموذجاً من خلايا الوقود والتي يطورها العديد من الشركات المصنعة للسيارات أن المسافة التي تقطعها سيارات خلايا الوقود تتراوح بين 62km و 118km.

حسب توقعات المصنعين فإن أول سيارة تعمل بخلايا الوقود يمكن أن تسير على الطرقات بحلول العام 2010. يعمل الباحثون اليوم على تقديم تقنيات مختلقة حديثة ومتطورة لتخزين الهيدروجين تحمل العلامة (6% وزناً) ويدل ذلك على نظام تخزين يحوي 6% من وزنه هيدروجيناً، بحيث يمكن تخزين 6kg من الهيدروجين في نظام يزن 100kg. بالرغم من صغر هذه النسبة إلا أن تحقيقها ليس بالأمر السهل، إذ إن أفضل ما يمكن تحقيقه اليوم، باستخدام خزانات تعمل تحت ضغوط منخفضة نسبياً، لا يتعدى 2% . بالإضافة إلى ذلك فإن تصنيع خزانات بقياس خزان الوقود في السيارات الحالية التي تعمل بوقود البنزين، هو أكثر صعوبة، لأن جزءاً لا بأس به من الحيز المخصص له سوف يستوعب الخزان والصمامات والأنابيب والحساسات بالإضافة إلى نظام العزل الحراري وأمور أخرى يتطلبها حمل 6kg من غاز الهيدروجين.

يبلغ عدد السيارات العاملة بخلايا الوقود بضع مئات حتى يومنا هذا، ويجري تخزين غاز الهيدروجين الذي تحتاجه ضمن اسطوانات تتحمل ضغطاً مرتفعاً وتشبه الاسطوانات التي يستخدمها الغطاسون تحت الماء. يتم صنع الاسطوانة من خيوط طبيعية جراحية ومن ألياف الكربون، وبالتالي فهي شديدة المتانة وخفيفة الوزن وباستطاعتها حمل هيدروجين تحت ضغط يتراوح ما بين 350 إلى 500 ضغط جوي. ولكن زيادة الضغط المطبق على الخزان لا تعني بالضرورة أنه يمكن زيادة كثافة الهيدروجين فيه بشكل يتناسب مع تلك الزيادة، حيث إن كثافة الطاقة التي يمكن تحقيقها من أجل تركيز الهيدروجين مقداره 390qr/litter لا يتجاوز 15% من طاقة البنزين الذي يحمل نفس الحجم. والخزانات الحالية يمكن أن تحمل ضغطاً بحدود 3.5% إلى 4.5% من وزنها هيدروجيناً [8].

إحدى طرق تحسين عملية تخزين الهيدروجين هي أن يكون بشكله السائل، حيث يتم احتواء أكبر كمية من الاسطوانة المناسبة لأي حجم محتمل. من خواص الهيدروجين إمكانية تكاثفه عند تبريده لدرجة حرارة منخفضة جداً متحولاً إلى سائل. ويتم ذلك في درجة حرارة $250c^{\circ}$ وتحت الضغط الجوي العادي [6].

كثافة الهيدروجين الوزنية الممكن تحقيقها في وسائل التخزين تتوقف على طبيعة تجهيزات التخزين والعزل. ولكن هناك عقبات عديدة يسببها استخدام الهيدروجين السائل، تتلخص في أن درجة غليانه الشديدة الانخفاض تتطلب تأمين تجهيزات تبريد شديدة الفعالية واتخاذ إجراءات احتياطية لضمان عملية تبريده مع عزل الخزانات بإحكام. والجدير ذكره أن عملية تحويل الهيدروجين السائل تحتاج إلى طاقة تزيد عن عملية الانضغاط للغاز تحت ضغط مرتفع. بالنتيجة فإن هذه المتطلبات تؤدي إلى ارتفاع سعر وقود الهيدروجين السائل، وإلى انخفاض قيمة مردود الطاقة الإجمالي لعملية التبريد الشديد. بالرغم من ذلك تبنت شركة BMW هذه الطريقة، وهي تخطط لسيارة أطلقت عليها اسم "هيدروجين 7" ذات محرك احتراق داخلي يعمل على البنزين تقطع مسافة 185km وكذلك على الهيدروجين ولكن لمسافة 80km.

**3 – طرق الحصول على الهيدروجين:**

**3-1 الاندماج الكيميائي:**

يتميز الهيدروجين باستحالة توفره في الطبيعة بصورة منفردة ، بل يجب استخراجه من مواد أخرى مثل الكربون المهدرج والمكونات الهيدروكربونية أو الماء. تقريباً نصف كمية الهيدروجين المنتج عالمياً يتم استخراجه من الغاز الطبيعي وذلك بعد إجراء تفاعلات كيميائية بين الغاز الطبيعي وبخار الماء وتعريضه لعوامل أخرى محفزة ،وفي النهاية يتم فصل ذرات الهيدروجين عن ثاني أكسيد الكربون الذي يلعب دوراً أساسياً في ارتفاع درجة حرارة الأرض.ومن الممكن الحصول عليه صناعياً والذي يعتمد على تحويل الفحم الحجري إلى غاز ويتم ذلك من خلال عدة خطوات والتي تبدأ بإدخال البخار على فحم الكوك المسخن حتى $1200\ c^{\circ}$ حيث يتم التفاعل الماص للحرارة التالي :

$$C+H_2O \longrightarrow CO+H_2$$

عندما تنخفض درجة الحرارة إلى $800\ C^{\circ}$ يدخل في الخطوة التالية الهواء $(N_2 + O_{24})$ الذي يتفاعل مع الكربون ويؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة ثانية إلى حوالي $1200\ C^{\circ}$ باعتباره تفاعل ناشر للحرارة

$$C+(4N_2+O_2) \longrightarrow 2CO+4N22$$

في المرحلة الأخيرة يعالج غاز الماء مع بخار الماء بوجود وسيط من أكسيد الحديد

$$CO+H_2+H_2O \longleftrightarrow CO_2+2H_2$$

نلاحظ هنا أن التفاعل عكوسي لذا يتم التخلص من $CO_2$ بمعالجته بمحلول قلوي ساخن أو بواسطة الماء تحت ضغط مرتفع 250bar .

تستمر الجهود الحثيثة لإيجاد طريقة تسمح بزيادة كثافة الهيدروجين الطاقية. من أجل هذا يمكن الاستفادة من أبحاث كيمياء عنصر الهيدروجين، حيث إن جزيئاته الداخلية عندما يكون نقياً وفي حالته الغازية أو السائلة تتشكل ذرتان مرتبطتان ببعضهما البعض، ولكن يمكن أيضاً ربط هذه الذرات كيميائياً بذرات بعض العناصر الأخرى بشكل تكون فيه أقرب من بعضها البعض، كما هي حالة الهيدروجين السائل. يعتمد البحث اليوم على أحد أصناف المواد المعروفة كميائياً باسم "هيدرات الفلزات المعكوسة"، والتي تم اكتشافها عام 1969 من قبل شركة فليبس الهولندية، حيث لوحظ أن سبيكة مصنوعة من فلز الساماريوم وفلز الكوبالت تمتص غاز الهيدروجين عند وضعها في جو مضغوط منه، بشكل مشابه لامتصاص قطعة الإسفنج للماء، وعند إزاحة الضغط المرتفع يتحرر الهيدروجين من السبيكة، مما يدل على أنه يتمتع بخاصية الامتصاص العكوسة [8].

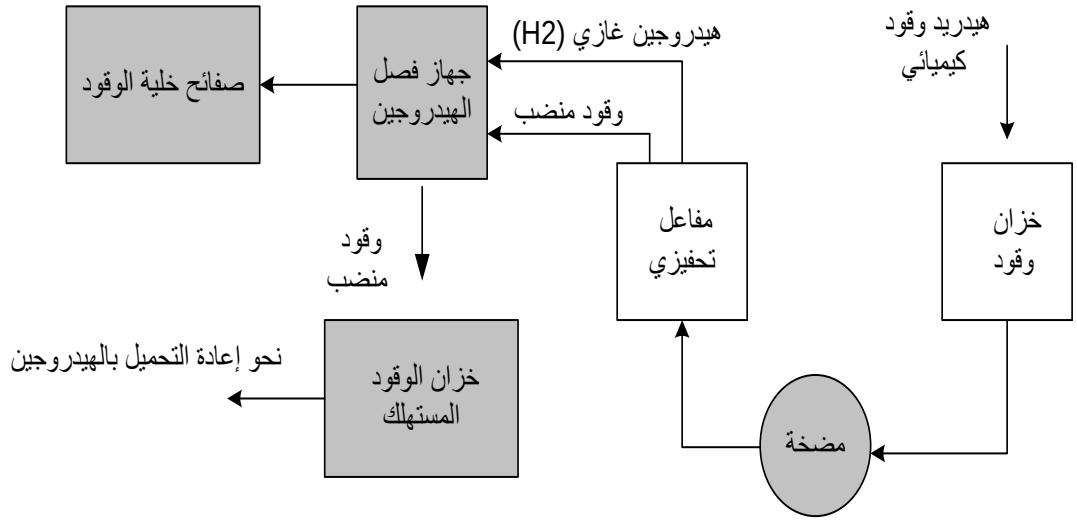
تتمتع هيدرات الفلزات بخصائص جيدة تجعلها قابلة للاستخدام في السيارات، ومن أهم ميزاتها أنها تؤمن كثافة للهيدروجين أعلى مما يؤمنه الهيدروجين السائل وذلك من أجل ضغوط منخفضة نسبياً تتراوح بين 10 و 100 ضغط جوي، كما أنها ذات طبيعة ثابتة مما يتيح إمكانية حفظها وتخزينها دون بذل أية طاقة إضافية، ولكن مع حاجتها إلى طاقة حرارية لإطلاق الغاز الذي تخزنه. أما عيبها الرئيس في كبر كتلتها، حيث يعد وزنها عائقاً أمام حفظها وتخزينها في السيارات .

تهتم حالياً الدراسات الخاصة بهيدرات الفلزات في البحث عن مواد تحتوي بطبيعتها نسبة عالية من الهيدروجين، حيث يمكن تعديلها بشكل يلبي متطلبات عملية تخزين الهيدروجين لتعمل في درجات حرارة تقارب $100\ C^{\circ}$ ، وتحت ضغط جوي يتراوح بين 10 و 100 ويجعلها تطلق الهيدروجين الموجود فيها بسرعات تحقق التسارع المطلوب للسيارات السريعة. وباعتبار أن الكثير من هذه المواد ذات المحتوى العالي من الهيدروجين ثابتة إلى حد بعيد، فإن استخدامها يحتاج إلى تسخينها لدرجات حرارة عالية نسبياً من أجل إطلاق هيدروجينها. نذكر هنا، على سبيل المثال، هيدريد المغنزيوم الذي يحوي على 7.6% من وزنه هيدروجيناً، يستطيع إطلاق غازه عند درجة حرارة تقارب $300\ C^{\circ}$ .

وإذا أردنا الاستفادة من الطاقة الحرارية الضائعة في عوادم خلايا الوقود، التي تبلغ درجة حرارتها نحو $80\ C^{\circ}$، لتحرير الهيدروجين من هيدريد المغنزيوم، يتوجب السعي إلى خفض درجة حرارة الإطلاق.

**3-2 حوامل الهيدروجين:**

هناك أنواع مختلفة من الهيدرات تتمتع بميزة إمكانية استخدامها في السيارات كوقود، لكنها تترافق بصعوبة مرحلة التزويد بالوقود. وذلك لأن هذه المواد تحتاج لمعالجات صناعية لإعادة تكوين حالتها المستهلكة، وهي عملية يجب أن تتم خارج السيارة لأنه عند انطلاق الهيدروجين المختزن في النظام المعتمد، فإنه يجب تسليم ما تبقى منه إلى محطة تزويد بالوقود ليعاد معالجته في وحدة معالجة كيميائية كما هو مبين في الشكل 3.




**( الشكل 3 ) : مخطط معالجة الهيدريد الكيميائي وإعادة تحميله بالهيدروجين بعد استخدامه**

تمت دراسة هذا البحث في اليابان وذلك باستخدام نظام مكون من مادتي الديكالين والنفتالين. يتحول الديكالين السائل عند تسخينه إلى مركب كيميائي ذي رائحة واخذة، هو النفتالين، حيث تتغير طبيعة الروابط الكيميائية في جزيء الديكالين، وتنطلق من هذا التحول جزيئات من غاز الهيدروجين. عند تعريض النفتالين إلى غاز الهيدروجين وتحت ضغط معتدل، ينعكس هذا الإجراء، فيمتص النفتالين الهيدروجين ويتحول ثانية إلى ديكالين. يبلغ وزن الهيدروجين الممتص 6.2% من وزن النفتالين [10].

يعمل الباحثون من شركة منتجات الهواء والكيميائيات في ولاية بنسلفانيا الأمريكية على تقنيات مماثلة مستخدمين مركبات عضوية سائلة، وهي ذات أساس هيدروكربوني. كما يعمل باحثون آخرون على مواد سائلة جديدة، لحمل الهيدروجين، مثل البورانات الأمينية القادرة على تخزين كميات كبيرة من الهيدروجين وإطلاقه في درجات حرارة معتدلة.

**3-3 تصميم مواد جديدة:**

تتوجه مقاربة أخرى لموضوع اختزان الهيدروجين نحو مواد تتمتع بسطح نوعي كبير جداً وخفيفة الوزن، بحيث تستطيع جزيئات الهيدروجين أن تلتصق بها، والمتوقع أن كمية الهيدروجين التي يمكن أن ترتبط بسطح مثل هذه المواد تتناسب مع مساحة هذا السطح. وقد أدى التطور العلمي الحديث في مجال الهندسة النانوية إلى تصنيع الكثير من مواد ذات سطح نوعي عال جداً وتبلغ قيمته في بعض المواد حوالي $5000\ m^2$ للغرام الواحد، وهذا يعني إمكانية تغطية مساحة تبلغ $12000\ m^2$ بملء ملعقة صغيرة من مسحوق هذه المادة. والأكثر مواد موضوع الاهتمام تلك المصنعة من عنصر الكربون وذلك لخفة وزنها وانخفاض تكلفتها وإمكانية تشكيل العديد من البنى النانوية منها، من ذلك نذكر إمكانية التشكيل من أنابيب إلى أنابيب على شكل أبواق مستدقة إلى الفوليرينات ذات الجزيئات الكروية الشكل إلى الهلامات الهوائية والتي هي أجسام صلبة ذات مسامية فائقة، ومنها أيضاً الكربون المنشط وهو مادة رخيصة الثمن، يمكن اختزان حتى 5% من وزنها هيدروجيناً.

ومع ما لهذه البنى الكربونية ذات السطح النوعي المرتفع جداً من مزايا فإن أمامها جميعاً عائقاً مشتركاً يحد من إمكانية استخدامها، فارتباط جزيئات الهيدروجين بذراتها ارتباطاً وثيقاً يتطلب حفظها في درجات حرارة شديدة الانخفاض وقريبة من درجة حرارة النتروجين السائل وقيمتها 190C°.لذلك يسعى الباحثون لاكتشاف وسائل ترفع من قيمة طاقة الارتباط هذه، وذلك بتعديل طبيعة سطوحها أو بإضافة مواد جديدة إليها تغير من خواصها، ويستعين الباحثون بنماذج نظرية لبنى كربونية من أجل التوصل لتحديد الأنظمة الواعدة تمهيداً لدراسات لاحقة تجرى عليها[10].

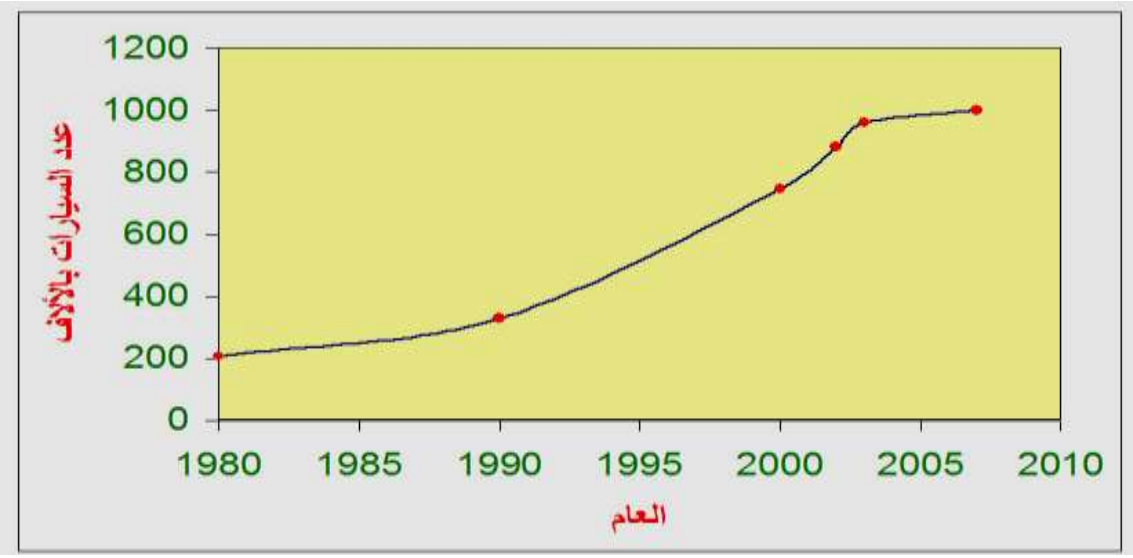
بالرغم من التقدم الحاصل في طرق تخزين الهيدروجين، فإن التوصل إلى المقاربة الأمثل لحل مشكلة التخزين أمر يحتاج إلى الوقت والجهد ويتطلب المثابرة والصبر والأبحاث المتواصلة، وسوف يتيح إيجاد فلزات تحمل الهيدروجين على متن السيارة إمكانية التنقل حول العالم في القرن الحالي دون الخوف من إفساد الجو وتلويث البيئة.

## النتائج والمناقشة:

بالرغم من أن استخدام المركبات يشكل ضرورة حتمية ويحقق فوائد اقتصادية واجتماعية إلا أن ذلك أدى إلى ظهور مشكلات جديدة مرتبطة بالتأثيرات السلبية على البيئة المحيطة والتي تتزايد مع زيادة عدد المركبات التي تدخل في مختلف مجالات الحياة في سوريا والعالم.

لقد رافق ازدياد عدد وسائط النقل في سوريا خلال السنوات الأخيرة (الشكل 4) زيادة كبيرة في نسبة التلوث البيئي بسبب الغازات المختلفة المنطلقة من عوادم هذه السيارات وخاصة الغازين CO و HC اللذين يؤثران سلبياً على صحة الإنسان والوسط المحيط [4]،

حيث إن الملوثات التي تطرحها وسائط النقل تتكون من غازات الإفلات والتي تشكل 65% من إجمالي الملوثات، غازات قسرية من حوض الزيت 20% وغازات ناتجة عن التبخر 15%.




**( الشكل 4 ) : مقدار تزايد عدد السيارات في سوريا خلال السنوات الأخيرة**

حسب مؤتمر تلوث الهواء الذي انعقد في باريس عام 1987 فإن الملوثات الناجمة عن عوادم وسائط النقل المختلفة تشكل 60% من مصادر التلوث العامة والتي تشمل أيضاً الصناعات المختلفة، محطات توليد الطاقة، التدفئة ورمي النفايات. الجدول (1) يبين النسب المئوية للملوثات الناجمة عن وسائط النقل.

**( الجدول 1 ) : النسب المئوية لملوثات وسائط النقل**

| أكاسيد الكربون | الهيدروكربونات | أكاسيد الآزوت | أكاسيد الكبريت | الجسيمات الدقيقة |
|---|---|---|---|---|
| 76.7 | 14 | 7 | 1.2 | 1.1 |

لذلك يتوجب على الجهات المعنية الحكومية والأهلية العمل الجاد للحد من زيادة انبعاث الغازات من وسائط النقل. هذا وتهتم الكثير من الدول بتحديد نسب الملوثات المسموح بها .يعطي الجدول (2) يعطي بعض المعايير التي تحدد النسب المئوية المسموح بها لانبعاث الغازات وذلك حسب نظام الاتحاد الأوروبي.

**( الجدول 2 ) : النسب المئوية المسموح بها لانبعاث الغازات حسب النظام الأوروبي**

| التاريخ | نوع المعيار | النسب المئوية المسموح بها (gr/km) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | CO | HC | NOX | PM |
| 2005 | يورو 4 | 1.0 | 0.1 | 0.08 | – |
| 2009 | يورو 5 | 1.0 | 0.1 | 0.06 | 0.005 |
| 2014 | يورو 6 | 1.0 | 0.1 | 0.06 | 0.005 |

مما سبق يتضح أنه لا بد من البحث عن مصادر طاقة جديدة ولعل استخدام الهيدروجين كوقود للسيارات في المستقبل سيكون حلاً مثالياً للحد من تلوث البيئة وعند ذلك سوف تنخفض نسبة الملوثات الجوية في سوريا بمقدار 60% وعندها يمكن الاستغناء عن الوقود الأحفوري. ولكن من الناحية الاقتصادية سوف تكون الكلفة التأسيسية للمشروع كبيرة جداً ولكن بمقارنة انعكاساتها الإيجابية على البيئة والصحة العامة فهي لا تقدر بثمن بسبب ما تقدمه من فوائد جمة تطالب بها جميع الدول التي تهدف إلى حماية البيئة من التلوث والحفاظ على التوازن البيئي.

وأخيراً نقول: إنه يجب الاهتمام في دراسة التلوث البيئي والبحث في مشاكله المختلفة وفي النهاية لابد من وضع الحلول المناسبة والوسائل التي تمكن من استخدام طاقات جديدة وبشكل واسع وعند ذلك سيكون هذا تقدماً كبيراً للبشرية جمعاء.

## الاستنتاجات والتوصيات:

1- تبين كافة الأبحاث التي تتم في معظم دول العالم أن النسبة الأكبر من الغازات السامة المنطلقة إلى الجو تسببها السيارات العاملة على البنزين والمازوت.

2- إن استخدام الهيدروجين كوقود للسيارات سوف يؤدي إلى التخلص من الغازات السامة المنطلقة من عوادم السيارات الحالية وبمقدار 60% من إجمالي الملوثات العامة.

3- بالإضافة لذلك سوف تنعدم العوالق الكربونية.

4- يعتبر استخدام الهيدروجين كوقود لسيارات المستقبل مشروعاً استراتيجياً وحيوياً لابد من أخذه بعين الاعتبار والاستفادة من تجارب الدول الأخرى التي تبحث في هذا المجال.

5- 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.

6- إن الكلفة التأسيسية للمشروع سوف تكون كبيرة جداً ولكن بالمقارنة مع فوائدها الإيجابية بالنسبة للصحة العامة والبيئة المحيطة فهي لا تقدر بثمن.

7- لتحقيق هذا المشروع يجب تضافر الجهود والتنسيق بين كافة الهيئات الحكومية والأهلية لوضعه موضع الاستثمار مستقبلاً وبالشكل المطلوب.

## المراجع:


1- د. علي حسن موسى ، التلوث البيئي، دار الفكر – دمشق 2000م.

2- د. نيكولاي خارتشينكو. ترجمة د.بسام حمود،الطاقة وسلامة البيئة، المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر – دمشق 2000 م.

3- د. عبد العزيز دويدار، د. يسرى مصطفى عيسى وغيرهم ، تلوث البيئة من منظور كيميائي، مكتبة الأنجلو المصرية – القاهرة 2000م.

4- م. طلال حورية ، دراسة إمكانية استخدام الغاز الطبيعي في السيارات – دبلوم آلات حرارية، – جامعة تشرين 2005م.

5- – د. خالد مصطفى قاسم ، إدارة البيئة والتنمية المستدامة في ظل العولمة، الدار الجامعية – الإسكندرية 2007م.

6- DIX, H.M. "*Environmental Pollution*". Jhon Xilley & Sons New York, 1981.

7- KUPCHEELA, C.E. HYLON, M.L. *"Environmental Seince"*. Printice-Hall International, inc. 1993, 315-320.

8- *Hydrogen Pro-am*: Annual Merim Review Proceedings. U.S. Department of energy,2006.
Available at www.Hydrogen.energy.govlannual-review06-Proceedings.htm.

9- *Scientific American*. 9. 2005, 16.

10- *Scientific American*. 8. 2007, 17-25.