كلية التجـــارة
قسم الاقتصاد

الدراسة الاقتصادية والبيئية لتحويل المركبات للعمل بالوقود الهيدروجينى فى مصر

(دراسة مقارنة)

Economic and environmental study for converting vehicles to work with hydrogen fuel in Egypt

رسالة مقدمة للحصول على درجة دكتور الفلسفة في الاقتصاد

إعداد
الباحثة/ دينا ممدوح إسماعيل محمد
كلية التجارة–جامعة عين شمس

تحت إشراف

ا.د/إيهاب عز الدين نديم
أستاذ الاقتصاد
كلية التجارة جامعة عين شمس

د/خلود حسام حسنين
عميد كلية التجارة
جامعة الأزهر بنات فرع أسيوط

٢٠١٩

كلية التجـــارة
قسم الاقتصاد

الدراسة الاقتصادية والبيئية لتحويل المركبات للعمل بالوقود الهيدروجيني في مصر (دراسة مقارنة)

Economic and environmental study for converting vehicles to work with hydrogen fuel in Egypt

الدرجة العلمية/ دكتور الفلسفة في الاقتصاد

لجنة المناقشة والحكم على الرسالة

الأستاذ الدكتور/ إيهاب عز الدين نديم **مشرفا" ورئيسا"**

أستاذ الاقتصاد – كلية التجارة جامعة عين شمس

الأستاذ الدكتور/ عبير فرحات على **عضوا"**

أستاذ الاقتصاد ووكيل الكلية الأسبق – كلية التجارة جامعة عين شمس

الأستاذ الدكتور/ عمرو محمد التقى **عضوا"**

أستاذ الاقتصاد ونائب رئيس الأكاديمية – أكاديمية السادات

الدكتور/ خلود حسام حسنين **مشرفا" بالاشتراك**

أستاذ الاقتصاد المساعد وعميد كلية تجارة الأزهر– فرع أسيوط

تاريخ المناقشة:١٥/٧/٢٠١٩ **الدراسات العليا**

أجيزت الرسالة بتاريخ: / /٢٠١٩

ختم الإجازة **موافقة مجلس الجامعة**

/ /٢٠١٩

إدارة الدراسات العليا **موافقة مجلس الكلية**

/ / ٢٠١٩

كلـــية التجـــــارة
قســـم الاقتصـــــاد

اسم الباحث : دينا ممدوح إسماعيل محمد

الدرجة العلمية : دكتور الفلسفة في الاقتصاد

القسم : الاقتصاد

الكلية : التجارة

الجامعة : عين شمس

العام : ٢٠١٩

بسم الله الرحمن الرحيم

وعلمك ما لم تكن تعلم
وكان فضل الله عليك

صدق الله العظيم

سورة النساء–الاية١١٣

إهداء

أهدي هذا الإنجاز إلى أمي الحبيبة وأبي الغالي وهذا الإهداء صغير بحقهما على كل ما قدماه لي من دعم معنوي ومادي ووقوفهما بجانبي وتقديمهما ما يستطيعان من صغير وكبير حتى أنهي هذا المشوار الصعب الذي دام أعوام عديدة وكان له عقبات كثيرة ،وأود أن أهدي هذا الإنجاز إلى أختي ورفيقة دربي وأخي وتوأم روحي وأساتذتي و أصدقائي الذين وقفو بجانبي سواء بتشجيع أو بدعوة في وجهي أو في غيابي أشكركم من أعماق قلبي.

حفظكم الله ورعاكم وادم عليكم خيره ورضاه

شكر وتقدير

الحمد لله حمدا" يليق بجلال وجهه وعظيم سلطانه وقدره، والصلاة والسلام على سيدنا محمد رسول الله خير من وطئت على الأرض قدميه. أما بعد، فتكمن في نفسي أسمى آيات الشكر والتقدير والعرفان لأستاذي الجليل **الأستاذ الدكتور/ إيهاب عز الدين نديم–أستاذ الاقتصاد بكلية التجارة جامعة عين شمس.** فهو النموذج المثالي للأستاذ الجامعي وصاحب خلق رفيع وعلم غزير.وهو الأب الحنون الذي شملني أنا وغيري من الباحثين برعايته واهتمامه.

كما أتقدم بجزيل الشكر وأسمى آيات التقدير والعرفان إلى أستاذتي ومعلمتي العظيمة **الأستاذ الدكتور/ خلود حسام حسنين عميد كلية تجارة الأزهر–فرع أسيوط ،** فهي القامة والقيمة العلمية التي أكن لها في نفسي الكثير والكثير من الاحترام والتقدير.فكانت لي ناصحة ومعلمة ولم تبخل على بوقتها الثمين وعلمها الوفير. فاللهم أنعم عليها بوافر الصحة والعافية .

ولا يفوتني أن أتقدم بخالص الشكر والتقدير والعرفان إلى :

الأستاذ الدكتور/ عبير فرحات على أستاذ الاقتصاد ووكيل الكلية الأسبق كلية التجارة جامعة عين شمس

الأستاذ الدكتور /عمرو محمد التقى أستاذ الاقتصاد ونائب رئيس أكاديمية السادات على تقديمهما النصح والإرشاد لي من أجل الوصول إلى أفضل إخراج للرسالة.

وأخيرا أتقدم بجزيل الشكر والعرفان إلى **الدكتور/أحمد عزازى–مركز التميز العلمي–بوزارة الإنتاج الحربي** على الإشراف على النواحي الفنية في الرسالة.

والشكر بدون توقف إلى **أمي وأبى وأختي وأخي** على ما قدموه لي من بذل وعطاء،مهما وصفه اللسان ،سأظل مقصرة ومعترفة بالعجز عن وصفه وشكره.

فهرس المحتويات

المحتويات	الصفحات
الإطار العام للدراسة	أ - ع
الباب الأول: **الإطار النظري للدراسة الاقتصادية والبيئية للوقود الهيدروجيني.**	١
الفصل الأول: **ظاهرة الاحتباس الحراري وتأثيرها على الاقتصاد الدولي ودور الحكومة المصرية في التأثير على ظاهرة التغيرات المناخية.**	٤
الفصل الثاني: **الطلب العالمي للطاقة ولماذا نلجأ إلى الهيدروجين كوقود؟**	٢٢
الباب الثاني: **تجارب بعض الدول لاستبدال المركبات التقليدية بمركبات خلايا الوقود الهيدروجيني .**	٤٢
الفصل الأول: **دراسة تجربة اليابان والولايات المتحدة لاستبدال المركبات التقليدية بمركبات خلايا الوقود الهيدروجيني .**	٤٥
الفصل الثاني: **إمكانية استفادة مصر من تجربة اليابان والولايات المتحدة لاستبدال المركبات التقليدية بمركبات خلايا الوقود الهيدروجيني .**	٨٧
الباب الثالث: **الجدوى البيئية والاقتصادية لإحلال مركبات خلايا الوقود الهيدروجيني محل المركبات التقليدية في مصر.**	١٢٢
الفصل الأول: **الجدوى البيئية لإحلال مركبات خلايا الوقود الهيدروجيني محل المركبات التقليدية في مصر.**	١٢٥
الفصل الثاني: **الجدوى الاقتصادية لإحلال مركبات خلايا الوقود الهيدروجيني محل المركبات التقليدية في مصر.**	١٣٥
النتائج	٢١٥
التوصيات	٢٢١
المراجع	٢٢٣

فهرس الجداول

الجدول	الصفحة
جدول (١) تحليل تكاليف مركبة تعمل بخلية الوقود الهيدروجيني	٣١
جدول (٢) تكاليف المحركات في حالات متعددة من عام(٢٠١٥) حتى عام(٢٠٥٠	٣٤
جدول (٣) مقارنة بين المركبات التي تعمل بخلايا الهيدروجين والمركبات التي تعمل بالبطارية الكهربائية	٣٧
جدول(٤) :مركبات خلايا الوقود الهيدروجيني من عام(٢٠١٥ إلى ٢٠٣٠)	٥٣
جدول (٥) : سوق خلايا الوقود الهيدروجينى فى اليابان من عام(٢٠١١ إلى ٢٠٥٠)	٥٧
جدول (٦) : مبيعات شركات تويوتا وهوندا لمركبات خلايا الوقود الهيدروجينى	٦٠
جدول (٧) :الأهداف التسويقية لمركبات خلايا الوقود الهيدروجينى من عام(٢٠١٥ إلى٢٠٣٠)	٦٣
جدول (٨) :العائد الاقتصادى المتوقع لمصنعي خلايا الوقود الهيدروجينى و لمركبات خلايا الوقود الهيدروجينى عام(٢٠٢٠)	٦٤
جدول (٩) الدعم المقدم لخلايا الوقود الهيدروجينى من عام(٢٠١٦ إلى٢٠٤٠)	٦٦
جدول (١٠) :عدد مركبات خلايا الوقود الهيدروجينى عام(٢٠١٥) فى الولايات المتحدة	٧٢
جدول(١١): عدد مركبات خلايا الوقود الهيدروجينى فى الولايات المتحدة من عام(٢٠١٩ حتى عام٢٠٢٥)	٧٤
جدول(١٢) : مقارنة بين سعر خلية الوقود الهيدروجيني وكفاءتها وساعات التحميل فى عام(٢٠١٥ و٢٠٢٠)	٧٦

جدول (١٣):عدد الوظائف التي توفرها صناعة خلايا الوقود الهيدروجيني في الولايات المتحدة الأمريكية من عام(٢٠٢٠ حتى ٢٠٣٥)	٧٨
جدول(١٤): الدعم الحكومي لمركبات خلايا وقود الهيدروجينى من عام(٢٠١٢-٢٠٢٥)	٨٠
جدول (١٥) مبيعات مركبات خلايا الوقود الهيدروجينى من عام(٢٠٢٠ إلى ٢٠٣٥)	٨٣
الجدول(١٦) :نسبة انخفاض انبعاثات الغازات الدفيئة من عام(٢٠٢٠ إلى عام٢٠٥٠)	٨٤
جدول (١٧) :مقارنة بين وسائل النقل الخاصة ووسائل النقل الجماعي في مصر	٩٠
جدول (١٨) :مقارنة عدد الركاب المصريين المستخدمين وسائل النقل المختلفة بين عامي (٢٠١٠ ، ٢٠٢٧)	٩٣
جدول (١٩) : مقارنة بين نشاط شحن البضائع بين عامي (٢٠١٠ ، ٢٠٢٧)	٩٥
جدول (٢٠):دعم الوقود وإصلاحات دعم الوقود فى مصر من عام (٢٠١١ حتى عام٢٠٢١)	٩٨
جدول (٢١) :دعم الوقود وإصلاحات دعم الوقود من عام ٢٠١١ حتى عام٢٠٢١(نسبة من الناتج المحلى الإجمالي)	١٠٠
جدول(٢٢): مقارنة بين أنواع البنزين والمركبات المختلفة من حيث التكلفة والأسعار والدعم عام (٢٠١٧)	١٠٢
جدول (٢٣): سعر بيع المنتجات البترولية والتكلفة الفعلية والدعم التي تتحمله الدولة لتوفير الوقود لقطاع النقل المصري	١٠٤
جدول رقم(٢٤) :الزيادة الأخيرة في أسعار المنتجات البترولية طبقا للاتفاق المبرم مع صندوق النقد الدولي	١٠٦
جدول(٢٥) : نسبة انبعاث ثاني أكسيد الكربون من قطاع النقل من	١١٠

عام(٢٠١٣ حتى عام٢٠١٦)	
الجدول (٢٦) : مؤشرات قياس أداء الطاقة و مؤشرات قياس أداء التنمية العمرانية لعامي ٢٠٣٠،٢٠٢٠ وتأثيرهم على البيئة في مصر	١٢٧
جدول (٢٧) معدلات نمو الطلب السنوي على الطاقة حسب نوع الوقود فى مصر	١٢٨
الجدول (٢٨):الكميات المستهلكة من المنتجات البترولية والغاز الطبيعي وتكلفة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون على الاقتصاد المصري ومساهمة قطاع النقل في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (مليون طن)	١٣١
جدول(٢٩) :أنواع المركبات ومتوسط استهلاك الوقود ومتوسط انبعاثات ثانى أكسيد الكربون بالألف طن/عام	١٣٣
جدول(٣٠) الوفر البيئى والاقتصادى من عدم انبعاث ثانى أكسيد الكربون من وسائل النقل المختلفة فى مصر	١٣٩
الجدول (٣١)الدراسة البيئية للسيناريو الأول: عند إحلال مركبات خلايا الوقود الهيدروجينى محل المركبات التقليدية لعدد ٥٠ مركبة لكل نوع من أنواع المركبات	١٤٢
الجدول (٣٢)الدراسة البيئية للسيناريو الثانى: عند إحلال مركبات خلايا الوقود الهيدروجينى محل المركبات التقليدية لعدد ١٠٠ مركبة لكل نوع من أنواع المركبات	١٤٥
الجدول (٣٣)الدراسة البيئية للسيناريو الثالث: عند إحلال مركبات خلايا الوقود الهيدروجينى محل المركبات التقليدية لعدد ١٥٠ مركبة لكل نوع من أنواع المركبات	١٤٨
جدول رقم(٣٤): مقارنة بين السيناريوهات الثلاثة السابقة (١)،(٢)،(٣)	١٥١
جدول (٣٥) : جزء من محاور البعد الاقتصادي لإستراتجية مصر ٢٠٣٠	١٥٥
جدول (٣٦): متوسط الإنتاج والاستهلاك والاستيراد السنوى للسولار وبنزين٨٠ لقطاع النقل فى مصر	١٥٧

الجـدول(٣٧): التكلفـة الفعليـة والـدعم الـذى تتحملـه الدولـة عنـد تـوفير المنتجات البترولية لأنواع المركبات المختلفة فى مصر	١٦٠
جدول (٣٨): الآثار الاقتصادية التى تعود على الدولة نتيجة رفع أسعار الوقود	١٦٣
جدول (٣٩): متوسط التكلفة الفعلية والدعم الذى تتحمله الدولة عند توفير المنتجات البترولية لأنواع المركبات المختلفة فى مصر	١٦٦
جـدول (٤٠): التكلفـة الفعليـة والـدعم الـذى تتحملـه الدولـة عنـد تـوفير المنتجات البترولية لأنواع المركبات المختلفة في مصر	١٦٩
جدول (٤١):متوسط التكلفة الفعلية والدعم الذى تتحمله الدولة عند توفير المنتجات البترولية لأنواع المركبات المختلفة فى مصر	١٧٢
جـدول (٤٢) :مقارنـة بـين متوسـط اسـتهلاك الوقـود والتكـاليف الإجماليـة للسيناريوهات الثلاثة	١٧٥
جدول رقم (٤٣) : السيناريوهات المتوقعة التى يمكن من خلالها خفض تكلفة تصنيع خلية الوقود الهيدروجينى	١٧٩
الجدول (٤٤) خفض تكاليف مكونات نظام خلية وقود هيدروجيني PEM (Proton Exchange Membrane) fuel cell	١٨٣
الجدول (٤٥) مقارنة بين أسعار خلايا الوقود الهيدروجينى والتكلفة المتوقعة لتصنيعها محلياً فى مصر	١٩١
جدول (٤٦) التكاليف المتوقعة لتصنيع المحلى للمولد الوقود الهيدروجيني	١٩٣
جـدول(٤٧):تكـاليف التنافسـية لتصـنيع المحلـى لأنظمـة خلايـا الوقـود الهيدوجينى (ج/ك وات")	١٩٤
جـدول رقـم (٤٨) قـدرات خلايـا الوقـود الهيـدروجينى لكـل نـوع مـن أنـواع المركبات المختلفة	١٩٦
الجدول رقم (٤٩) أوضح تكلفة نظام خلية وقود هيدروجيني بقدرة ١٠٠ ك وات لعدة سيناريوهات يمكن استخدامها فى أنواع المركبات المختلفة.	١٩٨

جدول رقم (٥٠): السيناريوهات المتوقعة لتكاليف خلية الوقود الهيدروجينى المصنع محليا فى الحالات المختلفة	٢٠٥
جدول (٥١):الفرق فى تكاليف إنتاج خلايا الوقود الهيدروجينى بين السيناريوهات السابقة	٢٠٧
جدول (٥٢):مقارنة بين تقنية المحرك التقليدي وتقنية خلايا الوقود الهيدروجيني من خلال رحلة من القاهرة الي الإسكندرية	٢٠٨

فهرس الأشكال

الجدول	الصفحة
الشكل رقم (١) منحنى التعلم لتكنولوجيا PEM (Proton Exchange Membrane) fuel cell	١٧٧

المقدمة

للهيدروجين أهمية بالغة فى الآونة الأخيرة ، حيث أنه يعتبر الملاذ الآمن للدول النامية وخاصة مصر. حيث تعتمد مصر فى سد احتياجاتها من الطاقة على البترول، وهو أكبر مصدر للطاقة ، ويليه الغاز الطبيعي ، ثم الطاقة الكهرومائية، وأما الرابع فطاقة الشمس و الرياح ، فالمصادر التقليدية بالإضافة إلى المصادر المتجددة لا تكفى احتياجاتنا من الطاقة .[1] ولذلك فالهيدروجين يعتبر وقود المستقبل للأسباب التالية أولاً : وجد أن احتراق جرام من الهيدروجين يولد طاقة أكبر من المتولدة من نفس كمية الوقود التقليدي. ثانياً: يتميز الهيدروجين عن المصادر التقليدية للطاقة بأنه مصدر للطاقة نظيف وآمن . ثالثاً: يتميز الهيدروجين عن المصادر المتجددة بأنه أكثر العناصر تواجداً فى الطبيعة ، وأقل تكلفة من تقنيات الطاقة المتجددة ، رابعاً :الهيدرجين يوجد فى الماء ويمكن استخراجه من الطحالب . وبذلك الهيدروجين – بشكل خاص– مناسب تماماً للاستخدام في خلايا الوقود كمصدر للحصول على الطاقة الكهربائية .٢ 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. فثورة المحركات الهيدروجينية الصديقة للبيئة إلى جانب ارتفاع كفاءتها مقارنة بالمحركات التقليدية تلقى رواجاً شديداً إذا ما قرن ذلك بخفض التكلفة. حيث نجد أن المحركات الهيدروجينية تستهلك تقريباً لتر من الوقود لكل ١٠٠ كيلو متر ، ويبلغ المدى التشغيلي لهذه المحركات حوالى ٤٠٠ كيلومتر، وتبلغ القوة القصوى للسيارة ١١٥

---

[1] HEGAZY, Karim , Egypt's Energy Sector:Regional Cooperation Outlook and Prospects of Furthering Engagemen with the Energy Charter , Energy Charter .Secretariat Knowledge Centre ,2015,p: 2.

[2] Riis, Trygve , F, Elisabet , HYDROGEN PRODUCTION AND STORAGE.INTERNATIONAL ENERGY AGENCY , 2006, p:6 .

حصاناً. [٣] ولخلايا الوقود الهيدروجيني عدة مزايا : حيث أن وقودها يأتي من مصادر خارجية، وبالتالي الطاقة لا تنفذ مثل البطارية التقليدية ، كما أنها عبارة عن رقائق مسطحة تنتج كل واحدة منها فولتاً كهربياً واحداً، وبالتالي كلما زاد عدد الرقائق المستخدمة زادت قوة الجهد الكهربائي. ولقد استخدمت خلايا الوقود الهيدروجينية لتوفير الكهرباء لمكوك الفضاء لمدة عقدين من الزمان وكان العادم من الخلية ماء نقى يستخدمه طاقم المكوك . [٤]

مشكلة الدراسة

١-الوقود التقليدي غير كافي لسد احتياجاتنا من الطاقة:

معظم الطاقة التى تستخدمها دول العالم تأتى من المصادر التقليدية للطاقة فالنمو المتزايد للسكان والتطور التكنولوجي قد ساهم فى استهلاك الطاقة بشكل كبير و ذلك خلال الفترات الزمنية المختلفة. فمثلاً في عام ١٩٦٠ كان استهلاك العالم من مصادر الطاقة ما يقرب من ٣.٣ مليار طن نفطاً، بينما وصل الاستهلاك في عام ١٩٩٠ إلى ما يقرب من ٨.٨ مليار طن نفطاً. و بالطبع ازداد الاستهلاك العالمي للنفط ليصل في عام ٢٠٠٨ إلى ما يقرب من ١١.٦ مليار طن نفطا ، و يقول خبراء الطاقة أن الطلب العالمي على الطاقة سيزداد حتى عام٢٠٢٠ بمقدار ٤.٦ مليار طن نفطاً على أقل تقدير أي سيصل الاستهلاك إلى حوالي ١٧ مليار طن نفطاً. و من المتوقع أن يرتفع الاستهلاك أكثر من ذلك في السنوات المقبلة، مما سيتسبب فى زيادة حدة الأزمة العالمية للطاقة والمتمثلة في استنزاف موارد الطاقة المحدودة.فتعتمد محركات المركبات المختلفة على الوقود التقليدي وفى ظل أزمة

---

[3] Satyapal , Sunita , Fuel Cell Technologies Update , energy efficiency & renewable energy , 2013,p: 6 .

[4] Janez Potočnik,.European Fuel Cell and Hydrogen Projects , European Commission , 2006,p: 18.

الطاقة التي يعيشها العالم ومصر يصعب مستقبلا الاعتماد على الوقود التقليدي لتشغيل تلك المركبات.٥

٢-الاعتماد على تقنيات الطاقة المتجددة مكلف جداً : على الرغم من توافر مصادر الطاقة المتجددة من شمس ورياح وطاقة مساقط المياه فإن تكلفة هذه التقنيات مازالت مرتفعة مما يعوق الاستفادة من تلك الطاقات إلى جانب أن تلك المصادر غير متوفرة زمنياً بانتظام ، فيمكن وصفها بالمصادر الطاقية المتوقعة أي لا يمكن نقلها ولا الاستفادة منها إلا في موقع توافرها، كما هو الحال في الأشعة الشمسية والرياح. فلخلايا الطاقة الشمسية سلبيات منها تعرض خلايا الطاقة الشمسية للغبار لمدة ستة أشهر بدون أي تنظيف يؤدي إلى انخفاض الطاقة المنتجة بنسبة ٥٠% . برهنت البحوث حول هذا الموضوع أن أكثر من ٥٠ % من فعالية الطاقة الشمسية تُفقد في حالة عدم تنظيف الجهاز المستقِبل لأشعة الشمس لمدة شهر. كما تنخفض الطاقة الشمسية المنتجَة بنسبة ٢٠% في اللوحات الشمسية خلال فترة العاصفة الرملية. وبالرغم من حدوث الأمطار والتي تساعد بدورها بتنظيف اللوحات الشمسية لاستعادة الطاقة المنتجة التي انخفضت بسبب الغبار الكثيف، إلا أنه من المفترض ألا نعتمد على هطول الأمطار كمصدر لتنظيف اللوحات الشمسية . و الرطوبة أيضاً تؤثر على الخلايا الشمسية بطريقة أو بأخرى فجزيئات الماء المتبخرة من الممكن أن تقلل من مستويات أشعة الشمس مما يقلل من أداء تلك الخلايا. وإذا كانت أسطح الخلايا الشمسية رطبة فمن الممكن أن يتبعثر الإشعاع القادم إليها عندما يضرب قطرات الماء بكل الاتجاهات إما عن طريق الانعكاس أو الانكسار أو الحيود. أما عن مشكلة التآكل والصدأ فحدوث التآكل في المجمعات الشمسية بسبب الأملاح الموجودة في المياه المستخدمة في دورات التسخين يسبب الصدأ في المجمعات الشمسية مما

[5] **World OutlookEnergy,2015.international energy agency, 2015,p:3.**