

عصر وقود الهيدروجين THE HYDROGEN FUEL ERA

(١٠،٠) نظرة على عصر وقود الهيدروجين

Perspective on an Era

يصعب تحديد تاريخ تقريبي لبداية عصر وقود الهيدروجين بعد اكتشاف الهيدروجين عام ١٧٧٦م، إلا أنه من السهل القول إنه لم يكد يبدأ كعصر. وبالرغم من مرور أكثر من نصف قرن من التطور المتسارع للتقنية فإن مستقبل عصر الهيدروجين لا يزال غير واضح فيما يتعلق بجانبين مهمين: (١) احتمال حدوث تغير مناخي شديد بسبب تأثير الغازات المسببة لظاهرة الاحتباس الحراري الناتجة من حرق الوقود الأحفوري و(٢) استدامة إمدادات الطاقة العالمية.

أما جانب الاهتمام الثاني فسيتضمن إنتاج الهيدروجين كوقود للنقل وكذلك لإنتاج القدرة الكهربائية. قد ينمو الطلب في هذين الاتجاهين بشكل مستمر وعلى نطاق واسع. ولعل الدافع البيئي لدخول عصر الهيدروجين - والذي يعتبر أكثر إلحاحاً من احتمال التأثير السلبي للغازات المسببة لظاهرة الاحتباس الحراري - يرجع في الواقع إلى الأثر الأكبر لاستخدام الهيدروجين في تحسين جودة الهواء في أجواء المناطق السكنية المزدحمة. وبالنسبة لهذه القضية الآتية فإنه يمكن تقدير أثر الحد من تلوث الهواء في تقليل التأثير السلبي على صحة الإنسان (انظر الفصل الخامس).

توحي المسلمات الخاصة بالبحث عن الطاقة الوفيرة (انظر الفصل الأول) بأن تحقيق الآمال المعقودة على عصر الهيدروجين قد يلعب دوراً هاماً في إنجاز أهداف الجانبين البيئيين المذكورين سابقاً. وسوف تصبح مشكلة استدامة إمدادات الطاقة الأولية لعصر وقود الهيدروجين ولتلبية الطلب الحالي والجديد ذات أهمية بالغة في السنوات الخمسين المقبلة، عندما تصبح الحاجة لحل مشكلة الوقود الأحفوري حادة. وفي ختام هذا الوصف لبحث الإنسان عن الطاقة الوفيرة، لا بد من دراسة أعمق لهذين الجانبين من عصر الهيدروجين.

(١٠،١) إمكانية تحسين جودة الهواء

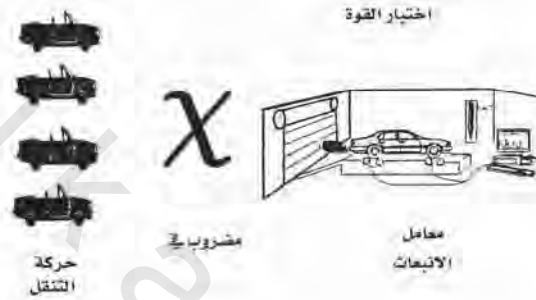
Potential for Air-Quality Improvement

سبقت الإشارة في القسم (٥،٣) إلى أنه وبالرغم من صدور القانون الوطني لحماية البيئة عام ١٩٦٩م فإن انبعاث الملوثات من عوادم السيارات (منذ ١٩٧٠ - ١٩٩٨م) والذي انخفض بشكل ملحوظ لا يزال يحتاج إلى جهود تنظيمية مكثفة حتى نحافظ على هذا الانخفاض، وخصوصاً في المدن الكبرى مثل لوس أنجلوس، حيث تعتبر السيارة من ضروريات الحياة. لقد أكد هذا التاريخ وجود حاجة دائمة للتنظيمات الخاصة بانبعاثات عوادم السيارات على المستوى الوطني وعلى مستوى الولايات. تهدف هذه التنظيمات بشكل عام إلى "تقليل انبعاث الكيماويات الضارة من العوادم، والناجمة عن تشغيل المركبات إلى حدود أقل من المعايير المقبولة".

(١٠،١،١) معايير الانبعاث Emission Standards

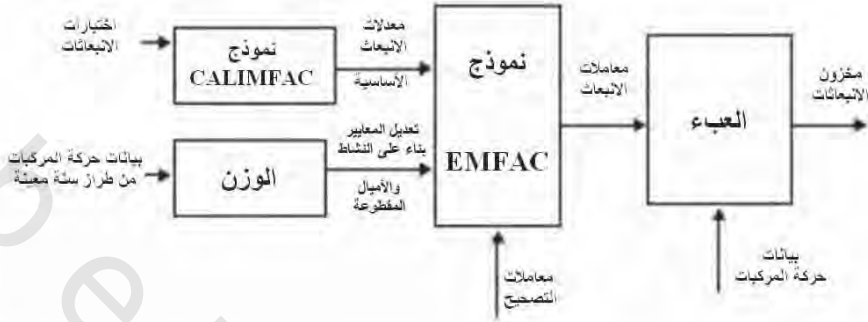
تحدد معايير الانبعاث من قبل المؤسسات الفدرالية [وكالة الحماية البيئية الأمريكية (EPA)]، والمؤسسات على مستوى الولايات [مثل مجلس كاليفورنيا لموارد الهواء (CARB)]. ويعبر عن كمية الانبعاثات بمعاملات الانبعاث ووحدتها هي عدد الجرامات المنبعثة من ملوث معين لكل ميل تقطعه المركبة ويقاس عند ظروف دورات

القيادة المعيارية باستخدام إجراءات اختبارية ثابتة. وتحسب الانبعاثات على أنها حاصل ضرب حركة التنقل لنوع معين من المركبات في معامل الانبعاثات للملوثات الصادرة من العادم. وتقاس هذه الانبعاثات في منشآت تضم معامل لقياس قدرة المركبات، كما يوضح الشكل رقم (١٠، ١).



الشكل رقم (١٠، ١). حساب البعاث الملوثات في ظل ظروف القياس المعيارية [1].

والنموذج الذي يستخدمه مجلس كاليفورنيا لموارد الهواء هو نموذج مخزون انبعاثات المركبات (MVEI) [1] (والذي تم تنقيحه حتى عام ٢٠٠٢م وهو منشور على الإنترنت). بحسب النموذج مخزون الانبعاث لسبعة ملوثات (الهيدروكربونات وأول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين والأجسام الدقيقة والرصاص وثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون) من خلال القيام بتحليل متعمق للبيانات الخاصة باثني عشر فئة عامة من المركبات مصنفة حسب الوزن والاستخدام ونوع الوقود وعمر المركبة. البيانات المدخلة هي نتائج اختبارات الانبعاثات (مع معاملات تصحيحية)، وبيانات تَنَقُّل المركبة حسب سنة الصنع، وبيانات حركة المركبات المستخدمة ككل. يوضح الشكل رقم (١٠، ٢) بنية هذا النموذج.



الشكل رقم (٢، ١٠). نموذج مخزون الانبعاثات المركبات [1].

تحدد "طريقة الاختبار الفدرالية" (FTP) معايير الانبعاثات الفدرالية (المتضمنة في التعديلات على قانون الهواء النظيف)، ويتم إجراء هذا الاختبار على أجهزة معملية تقيس القوة (laboratory dynamometers) لدورات قيادة معيارية. تمثل دورة القيادة تاريخ بيانات تسارع مركبة يقودها سائق عادي بدءاً من حالة السكون حتى الوصول إلى السرعة القصوى المحددة على طريق سريع. وبما أن لكل سائق دورة قيادة خاصة به (وتتغير من وقت لآخر) يصل بها إلى السرعة القصوى (دورة لشوارع المدن المزدهمة وأخرى لطرق السفر السريعة)، فإن الدورات المعيارية تقدر لعدد من السرعات القصوى. تعتمد كمية الانبعاثات التي تنطلق من جراء دورة قيادة على العديد من العوامل. المشكلة في إقرار أنظمة بهذا الخصوص هي وجود الفروقات الواضحة بين الانبعاثات التي يتم قياسها تحت ظروف طريقة الاختبار الفيدرالية (FTP) وبين الانبعاثات الناتجة من دورات القيادة تحت ظروف حقيقية.

يحسب المخزون السنوي للانبعاثات الصادرة من حركة المركبات على الطرق في كاليفورنيا من قبل مجلس موارد الهواء باستخدام نموذج "عوامل الانبعاثات" (EMFAC) [2]. النسخة الأحدث من هذا النموذج هي EMFAC2002 والتي تظهر

تفاصيلها في الموقع : www.arb.ca.gov. يُقدَّر هذا النموذج مخزون الانبعاثات السنوي الناتج من ١٢ نوعاً من المركبات، ومن تُنقل المركبة (ويقاس لكل نوع من المركبات على أنه عدد الأميال التي يقطعها ذلك النوع من المركبات في السنة) ومن عوامل الانبعاثات (والتي تصحح بحيث تؤخذ نسبة القيادة في المدن إلى القيادة على الطرق السريعة في الاعتبار). يقدر هذا النموذج معدلات الانبعاثات من المركبات من طراز عام ١٩٦٥م والأحدث منها والتي تعمل بالبنزين أو الديزل أو الكهرباء، ويستطيع النموذج أن يحدد مخزونات الانبعاثات منذ عام ١٩٧٠م ويستطيع أن يتوقع المخزونات حتى عام ٢٠٤٠م. تستخدم نتائج هذا النموذج في تطوير الأنظمة وفي خطط تحسين جودة الهواء للحد من التلوث وفي تحليل آثار البرامج الحكومية الخاصة بالمواصلات.

(١٠، ١، ٢) العوامل التي تؤثر على انبعاثات المركبات

Factors that Affect Vehicle Emissions

نظراً لأهمية موضوع الهندسة البيئية فقد نتج عن انبعاثات المركبات العديد من الدراسات البحثية. وتم الخلوص إلى أن هنالك ستة مصادر حالية للانبعاثات يمكن أخذها في الاعتبار في النماذج والأنظمة المختلفة، وهي :

١- السيارات التي تم تسخينها وتعمل بشكل سليم وتتبع دورة قيادة معتدلة (والمقصود بأنها تتبع دورة القيادة هو أن قيادتها متوافقة مع وصف طريقة الاختبار الفيدرالية FTP).

٢- السيارات التي تتحرك دون تسخين ولكنها تحتوي على منظومات تحكم في الانبعاثات تعمل بشكل سليم.

٣- التبخر من مركبة تحتوي على منظومات تحكم لا تعمل بشكل سليم.

٤- تشغيل مركبات تحتوي على منظومات تحكم في الانبعاثات تعمل بشكل سليم ولكنها لا تتحرك تبعاً لدورة قيادة (off-cycle) (مع التركيز على القيادة بدفع أعلى من الذي تنص عليه طريقة الاختبار الفيدرالية FTP).

٥- منظومات التحكم التي لا تعمل بشكل سليم وتؤثر على انبعاثات العوادم.

٦- الانبعاثات قبل استخدام الوقود في المركبات (من استخلاص الوقود ونقله وتكريره وتوزيعه).

كشف استعراض نشره روس ووينزل [3] عام ١٩٩٧م عن الانبعاثات الفعلية عن وجود شبكة معقدة من القيم الإجمالية للانبعاثات في الفئات الست. ونشرت الدراسة نفسها بيانات عن المركبات من طراز ١٩٩٣م وتوقعات لما ستكون عليه الانبعاثات في مركبات طراز ٢٠٠٠م و٢٠١٠م. تمت مقارنة القيم الإجمالية للانبعاثات لثلاثة ملوثات [أول أكسيد الكربون، والهيدروكربونات، وأكاسيد النيتروجين] لمركبات طراز ١٩٩٣م بمعايير انبعاثات العوادم لعام ١٩٩٣م نفسه. وتمت مقارنة التوقعات لعامي ٢٠٠٠م و٢٠١٠م بمعايير الانبعاثات المتوقعة للمستين تلك على المستوى الفدرالي (وكالة حماية البيئة الأمريكية) وعلى مستوى ولاية كاليفورنيا (مجلس كاليفورنيا لموارد الهواء)، وذلك حسب المعلومات المتوفرة في العام الذي نشرت فيه الدراسة (١٩٩٧م). وكانت المعاملات الخاصة بالانبعاثات الإجمالية عبارة عن متوسطات مرجحة على مدى العمر الافتراضي للمركبة. وأظهرت البيانات لمركبات ١٩٩٣م أن الانبعاثات الإجمالية لأول أكسيد الكربون والهيدروكربونات كانت أعلى من معايير انبعاثات العوادم بأربع إلى خمس مرات، وأن انبعاث أكاسيد النيتروجين (NO_x) كان تقريباً ضعف المعايير الفدرالية وأعلى بأربع إلى ست مرات من معايير كاليفورنيا. أما البيانات الخاصة بالمركبات من طراز عامي ٢٠٠٠م و٢٠١٠م فقد أظهرت أن الانبعاثات المتوقعة ستماشى مع المعايير الأكثر صرامة للاختبارات التي تجرى طبقاً لدورة القيادة القياسية باستثناء معايير كاليفورنيا للمركبات منخفضة الانبعاثات (LEV).

يصعب مقارنة نتائج من دراسات مختلفة تمت على مدى عدة أعوام، لأن المؤسسات التي تضع المعايير تقوم بتعديل المعايير بشكل مستمر. ولعله من المثير للاهتمام أن تقارن توقعات عام ٢٠٠٠م بالبيانات الفعلية للقيم الإجمالية للانبعاثات

من السيارات طراز ٢٠٠٠م مع تعديلها بحيث تأخذ في الاعتبار التغيرات في طرق القياس وفي معايير الانبعاثات. وتترك هذه المهمة للقارئ للقيام بها كتمرين متعمق.

(١٠, ١, ٣) تاريخ معايير الانبعاثات في كاليفورنيا

History of California Emission Standards

بسبب المهمة الصعبة المتمثلة في الالتزام بمعايير جودة الهواء التي فرضتها التعديلات العديدة على القانون الفدرالي للهواء النظيف فقد بدأت ولاية كاليفورنيا ببرنامج يهدف إلى تعزيز السعي نحو جودة هواء أفضل في الولاية من خلال إجبار جميع الشركات المصنعة للسيارات التي تود بيع سيارات جديدة في كاليفورنيا الالتزام بمجموعة من معايير الانبعاثات المجدولة زمنياً. أعلنت هذه الأنظمة عام ١٩٩٠م [4]، وعرفت باسم أنظمة المركبات منخفضة الانبعاثات، وكانت تحتوي على ثلاثة عناصر رئيسة فيما يتعلق بمعايير الانبعاثات: (١) مستويات من معايير انبعاثات العوادم تتزايد صرامتها حسب الفئات المختلفة من المركبات منخفضة الانبعاثات و(٢) الاشتراط على كل شركة مصنعة أن تطرح مجموعة من المركبات ذات انبعاثات أقل كل سنة و(٣) الاشتراط على الشركات المصنعة أن تكون نسبة معينة من مركباتها بلا انبعاثات (ZEVs). وتطورت فئات المركبات منخفضة الانبعاثات (LEV) في وقت لاحق لتصبح فئات (LEV-I) والتي تعرف كما يأتي:

TLEV مركبة انتقالية منخفضة الانبعاثات (transitional low-emission vehicle)

LEV مركبة منخفضة الانبعاثات (low-emission vehicle)

ULEV مركبة ذات انبعاثات شديدة الانخفاض (Ultra-low-emission vehicle)

ZEV مركبة بلا انبعاثات (zero-emission vehicle)

ولدى تبني هذا التصنيف للمرة الأولى كانت القواعد اللازم اتباعها تشترط أن تكون هناك نسبة محددة من المركبات الخفيفة بلا انبعاثات (ZEV) بحلول عام ١٩٩٨م. كما أنه كان يوجد شرط في تصنيف LEV-I وهو أن تبقى المركبات متوافقة مع المعايير على مدى عمري لها يساوي ٥٠ ألف ميل. وأشارت شركات تصنيع السيارات الكبرى

إلى الصعوبات التي واجهتها في الالتزام بهذه الشروط ، مما أدى إلى مراجعة هذه القواعد [3] والتي أصبحت تعرف الآن بمعايير LEV-II. ويلخص الجدول رقم (١٠,١) الجوانب الرئيسية للقواعد المعدلة. واستحدثت فئة جديدة للمركبات فيما يتعلق بالتحكم في الانبعاثات وهي فئة خاصة بالسيارات الخفيفة التي تعمل في ظروف شاقة أكثر (مثل سيارات الدفع الرباعي ، وسيارات النقل الصغيرة) وسميت هذه الفئة "المركبة ذات الانبعاثات فائقة الانخفاض" (SULEV) والتي اشترط فيها أن تلتزم بالمعايير على مدى عمري حدد بـ ١٢٠ ألف ميل. كما تم التركيز على ثلاثة ملوثات مهمة وهي : الغازات العضوية غير الميثان (NMOG) وأكاسيد النيتروجين (NOx) (وهما مسيبان للضباب الدخاني) وأول أكسيد الكربون (CO).

الجدول رقم (١٠,١). معايير انبعاث LEV-II.

تصنيف المركبة	المدى العمري (بالأميال)	الغازات العضوية غير الميثان (جرام/ميل)	أول أكسيد الكربون (جرام/ميل)	أكاسيد النيتروجين (جم/ميل)
LEV	٥٠,٠٠٠	٠,٠٧٥	١,٧	٠,٠٥
ULEV	٥٠,٠٠٠	٠,٠٤٠	١,٧	٠,٠٥
SULEV	١٢٠,٠٠٠	٠,٠١٠	١,٠	٠,٠٢
ZEV		٠,٠٠٠	٠,٠	٠,٠٠

كانت القوة الدافعة الأولى للوصول إلى مركبات بلا انبعاثات هي المركبة الكهربائية (EV). إلا أن المشاريع التجريبية لبعض شركات تصنيع السيارات أظهرت أن المركبات الكهربائية ليست عملية ، وسحبت على إثر ذلك من الأسواق لتحل محلها المركبات الهجينة التي تستخدم البنزين والكهرباء معاً. أما القوة الدافعة الجديدة حالياً فهي المركبات التي تعمل بخلايا وقود الهيدروجين ، والتي تمر الآن بمرحلة التطوير والتجربة. ويمكن الاطلاع على مزيد من التطورات في معايير الانبعاثات من خلال

الموقع : www.arb.ca.gov/

(١٠,٢) وضع نموذج للفائدة الصحية من استخدام وقود الهيدروجين في النقل

Modeling Health Benefit from Hydrogen Fuel Transportation

استعرضنا في القسم (٥,٤) العوامل الرئيسة التي تحدد الفائدة الصحية من تقليل انبعاث المواد الخطرة من المركبات. وينبغي أن يكون واضحاً من الخلفية العلمية الواسعة اللازمة لفهم هذه العوامل أن الدراسات التي قامت بها أعداد كبيرة من العلماء واستغرقت سنين طويلة كانت ولا تزال ضرورية لإحراز تقدم ملحوظ في حساب نتائج ذات معنى لظروف الكمية والخطورة المتغيرة على الدوام. ومع ذلك فقد تمت الإشارة في القسم (٥,٥) إلى أن دراسة البيانات الطبية وبيانات حركة المركبات السنوية في أجواء لوس أنجلوس توصلت إلى قيمة صحية وبائية تقدر بـ ٤,٥ سنت/ميل. بالرغم من أن القيمة المحسوبة قد لا تكون صحيحة بالنظر لمستوى دقة ١,٠ سنت/ميل، إلا أنها ساعدت السلطات البلدية على إدراك أهمية تخفيض انبعاثات عوادم السيارات في المنطقة.

وإحدى القوى الرئيسة التي تساعد على تشجيع استخدام الهيدروجين كوقود للنقل هي إمكانية التخلص من انبعاثات المركبات (باستثناء بخار الماء). بالرغم من أن ميزة تقليل انبعاث المواد الخطرة لها قيمة خارجية فقط، فقد سبقت الإشارة في القسم (٨,٢,٥) إلى أن القيمة الخارجية هي زيادة في حدود ٢ سنت/كيلووات-ساعة في تكلفة الكهرباء عندما ينظر إلى الجدوى الاقتصادية لوقود الهيدروجين. أدت هذه الملاحظة إلى وضع نموذج لتقدير القيمة الصحية للحد من تلوث الهواء والنتائج عن استحداث مركبات بلا انبعاثات في المراكز السكنية المزدحمة كتلك التي تم التطرق لها في القسم (٥,٣). تم البدء في دراسات حول مدينتي لوس أنجلوس ومكسيكو سيتي والمناطق المحيطة بهما [5] وطبقت بشكل مفصل على طوكيو طبقاً لبرنامج شبكة الطاقة العالمية (WE-NET) في اليابان.

(١٠,٢,١) تطوير نموذج المدن الثلاثة لدراسة جودة الهواء مع استخدام الهيدروجين

Model Development for the Three-City Hydrogen Air Quality Study

كانت الفكرة القائلة بصعوبة تحديد الفائدة الصحية الوبائية بشكل كمي مبنية

على تعدد أنواع ومصادر الملوثات وعلى تعدد طرق تعرض العامة لها. التحديد الكمي للفوائد هو أيضاً أمر صعب بسبب مشكلة قياس الفروق الصغيرة بين أعداد كبيرة نسبة الشك في دقة كل منها عالية ولأن كلاً منها تتغير مع الزمن. لذا فإن هناك مشكلة أكثر تحديداً وتتمثل في تقييم أثر تخفيض انبعاثات الغازات الخطرة من المركبات بإحلال وقود الهيدروجين محل الوقود الأحفوري. يمكن حل هذه المشكلة باستخدام نموذج بسيط مبني على تحليل التوجهات في نمو السكان وامتلاك المركبات وحركة التنقل والاقتصاد في استهلاك الوقود وعوامل الانبعاثات.

يمكن تحقيق القواعد المنظمة لتلوث الهواء الناتج من المركبات في المدن الكبرى من خلال فرض قيود على تعداد السكان وعلى امتلاك المركبات وعلى حركة التنقل بالمركبات وعلى الانبعاثات. بما أن النمو السكاني وامتلاك المركبات أمر يصعب التحكم فيه لأسباب اجتماعية فإن تحسين جودة الهواء يتطلب تخفيضاً في حركة المرور ومخزون الانبعاثات. يُعد فرض قيود على حركة المرور (مثل عدم القيادة يوم الأحد أو توزيع قسائم تقدم حصصاً محددة من الوقود) أمراً غير مقبول شعبياً (وهو دليل على أن الرأي العام يرفض أي أمور لا تروق للعموم). لذا يعتبر فرض قيود على مخزون الانبعاثات (مثل استخدام المحولات التحفيزية (catalytic converters) وفحص عوادم السيارات) أمراً ذا قبول شعبي أكبر، طبقاً للمسلمة الثانية (التي تمت مناقشتها في الفصل الأول). من المفترض أن يكون إحلال خلايا الوقود التي تحرق الهيدروجين بشكل نظيف محل محركات الاحتراق الداخلي (بحيث تكون تكلفة خلايا الوقود وملاءمتها للعامة مشابهة على الأقل لمحركات الاحتراق الداخلي)

أمراً مقبولاً بشكل كامل (وهو دليل على أن الرأي العام يقبل بالأفضل). ركزت الدراسة التي أجريت على المدن الثلاثة على البيانات الحكومية الخاصة بأربعة عوامل غير اجتماعية لتقدير التوجهات في النمو وإمكانية استخدام وقود الهيدروجين ليساعد في تشجيع فكرة القبول بالأفضل لتحقيق تخفيض ملحوظ في انبعاثات السيارات.

وأظهرت نتائج هذه الدراسة [5] عدة اختلافات مثيرة للاهتمام في التوجهات في المدن الثلاثة. وتضم الجداول من (١٠,٢ - ١٠,٥) البيانات الخاصة بالعوامل الأربعة (والتي تم الحصول عليها من حكومات المدن الثلاثة الكبرى المذكورة). توجد في المدن الثلاثة الكبرى ظواهر جوية مثيرة للاهتمام، إذ إن مكسيكو سيتي تمثل منطقة جوية مغلقة، بينما تمثل لوس أنجلوس منطقة جوية مغلقة جزئياً، وتمثل طوكيو منطقة جوية مفتوحة. توجد اختلافات كبيرة في المساحة والكثافة السكانية وامتلاك المركبات وحجم حركة المرور ومشاكل تلوث الهواء في المدن الثلاثة.

ويوضح الجدول رقم (١٠,٢) أن الكثافة السكانية في لوس أنجلوس أقل من المدينتين الأخريتين بالرغم من أن تعداد السكان فيها ليس الأقل. أما طوكيو ذات المساحة الأقل فتوجد فيها أعلى متوسط للكثافة السكانية، وبما أن معدل النمو السنوي المتوسط صغير جداً فإن الكثافة السكانية لها ستظل ثابتة تقريباً في المستقبل المنظور. أما مكسيكو سيتي والتي توجد في منطقة وادٍ مغلق جويًا ويوجد فيها أعلى تعداد سكان وأعلى معدل نمو سنوي متوسط فإن كثافتها السكانية ستستمر في الازدياد.

ويوضح الجدول رقم (١٠,٣) النمو القوي في امتلاك المركبات في المدن الثلاثة كلها على مدى ٢٠ عاماً. وأشارت البيانات إلى أثر النمو في مستوى المعيشة في المناطق

الثلاث [والذي تم التعبير عنه بعدد المركبات لكل فرد]. ازدادات القيم التقديرية للنمو في الفترة من عام ١٩٨٠ - ١٩٩٠ م من ٠,٧٣٧ - ٠,٧٤٢ مركبة/فرد في لوس أنجلوس ومن ٠,١٥٤ - ٠,٢١١ مركبة/فرد في مكسيكو سيتي ومن ٠,٢٦٦ - ٠,٣٨٢ مركبة/فرد في طوكيو.

الجدول رقم (١٠,٢). مقارنة التوجهات في تعداد السكان.

طوكيو	مكسيكو سيتي	لوس أنجلوس	
٢١٨٣	٤٣١٥	١٧١٠٠	مساحة المنطقة (كم ^٢)
			تعداد السكان (بالملايين)
١١,٤١	٨,٦٨	٩,٦١	م ١٩٧٠
١١,٦٢	١٣,٦٤	١٠,٩٠	م ١٩٨٠
١١,٨٦	١٥,٠٥	١٣,٨٦	م ١٩٩٠
١١,٩٢	-	-	م ٢٠٠٠ (تقديري)
-	٢٠,٠٠	١٧,٤٠	م ٢٠١٠
			معدل النمو السنوي المتوسط
٠,١٩٣	٢,٧٥	١,٨٣	م.ن.س.م. (٪ / سنة)
٣٦٥	٢٥,٢	٣٧,٩	الزمن اللازم للتضاعف (بالسنوات)
			الكثافة السكانية
٥٤٣٣	٣٤٨٨	٨١١	م ١٩٩٠ (نسمة/كم ^٢)
			القيم الاستقرائية للتعداد (عند م.ن.س.م.)
١٢,٦	٣٤,٣	٢٤,٠	م ٢٠٢٠
١٣,٣	٧٨,٤	٤١,٥	م ٢٠٥٠

الجدول رقم (١٠,٣). مقارنة التوجهات في تسجيل المركبات.

طوكيو	مكسيكو سيتي	لوس أنجلوس	مساحة المنطقة (كم ^٢)	
٢١٨٣	٤٣١٥	١٧١٠٠	تسجيل المركبات (بالملايين)	المركبات الإجمالي
١٩٧٠ م	٠,٧٦	٠,٦٠	١٩٧٥ م	١,٥٦
١٩٨٠ م	٢,١٠	١,٧٨	١٩٨٠ م	١,٨١
١٩٩٠ م	٣,١٧	٢,٦٢	١٩٩٠ م	٢,٧٨
١٩٩٤ م	٣,٨١	٣,١٤	١٩٩٤ م	٢,٩٦
٢٠٠٠ م (تقديري)			٢٠٠٠ م (تقديري)	
معدل النمو السنوي المتوسط			م.ن.س.م. (%) / سنة	
٣,٢٠	٣,٦٧	٢,٩٨	٢,٨٣	٢,١٠
٢١,٧	١٨,٩	٢٣,٢	٢٤,٥	٣٣,٠
كثافة المركبات			الزمن اللازم للتضاعف (بالسنوات)	
١٩٩٠ م (مركبة/كم ^٢)	٧٣٥	٦٠٦	٤٤٦	٦٠٢
القيم الاستقرائية (عند م.ن.س.م.)				
٢٠٢٠ م	٨,٤٠	٦,٢٤	٥,١٥	١٩,٣
٢٠٥٠ م	٢٥,١	٩,٣١	٧,٦٢	٣٦,٣

يعرض الجدول رقم (١٠,٤) عدداً كبيراً من المركبات التي صُنفت على أنها خفيفة (سيارات الركاب) أو ثقيلة (الشاحنات)، كما صُنفت حسب المسافات النسبية التي تقطعها سنوياً (بوحدة الكيلومترات التي تقطعها المركبة، VKT). بالنسبة للبيانات الخاصة بمنطقة مكسيكو سيتي (والتي تتضمن بيانات من ثلاث حكومات بلدية فيها) فإنها لم تكن كاملة. تظهر البيانات أن عدد السيارات في طوكيو والذي يمثل نصف عدد السيارات في لوس أنجلوس أخذ في الازدياد بمعدل نمو يبلغ ضعف معدل النمو في لوس أنجلوس. وتشير البيانات إلى انخفاض متوسط حركة المركبات في السنة خلال فترة

السنوات العشر بنسبة ٥٪ تقريباً في لوس أنجلوس، بينما انخفض المتوسط بعشرة أضعاف هذه النسبة في طوكيو.

يوضح الجدول رقم (١٠،٥) البيانات الخاصة بالمسيبين الرئيسيين لتكون الضباب الدخاني من جراء العمليات الضوئية الكيميائية وهما: الهيدروكربونات، وأكاسيد النيتروجين. تم جمع البيانات عام ١٩٩٠م والخاصة بلوس أنجلوس من نموذج مخزون انبعاثات المركبات (MVEI) الذي طوره مجلس كاليفورنيا لموارد الهواء [1]، وتتضمن البيانات فرضيات بخصوص القيود على الانبعاثات بناءً على خطة منطقة إدارة جودة الهواء في الساحل الجنوبي في ولاية كاليفورنيا (SCAQMD) التي أقرتها الولاية عام ١٩٩٤م [6]. أما البيانات الخاصة بمكسيكو سيتي فقد تم الحصول عليها من مصدرين [7] إلا أن العلاقة بينهما غير واضحة. وبالنسبة للبيانات الخاصة بطوكيو فقد أتت من عدد من التقارير التي نشرها مكتب الحماية البيئية التابع لحكومة مدينة طوكيو الكبرى (وهي تقارير منشورة باليابانية) [8]. وُضعت توقعات عام ٢٠٠٠م لثلاث حالات كل منها تفترض وجود تنظيمات معينة. أشارت التوقعات إلى انخفاض الهيدروكربونات في لوس أنجلوس بنسبة ٥٠ - ٧٢٪ وانخفاض أكاسيد النيتروجين بنسبة ٢٤ - ٣٠٪. أما الانخفاض المتوقع للهيدروكربونات في طوكيو فلم يتم استقراؤه لأن التقارير أشارت إلى أن مخزون الانبعاثات كان صغيراً مقارنة بالانبعاثات من المصادر الثابتة. أما الانخفاض المتوقع في أكاسيد النيتروجين فقد كان بنسبة ٨ - ٢٠٪ بناءً على مجموعة من التنظيمات المقترحة. وبسبب الأهمية النسبية الأكبر لأكاسيد النيتروجين (NOx) مقارنة بالغازات العضوية المتفاعلة الأخرى (ROG) فإن تحقيق انخفاض في انبعاث أكاسيد النيتروجين يصبح أكثر أهمية.

وعلى ضوء البيانات الأكثر تفصيلاً المتوفرة لمنطقة طوكيو، فقد طُبّق نموذج الحد من تلوث الهواء لوقود الهيدروجين لتقدير الفائدة الصحية المحتملة كجزء من برنامج شبكة الطاقة العالمية (WE-NET) الذي بدأ حديثاً [9] والتابع لمنظمة الطاقة الجديدة والتطوير التقني الصناعي اليابانية (NEDO).

(١٠,٢,٢) دراسة جودة هواء مدينة طوكيو الكبرى

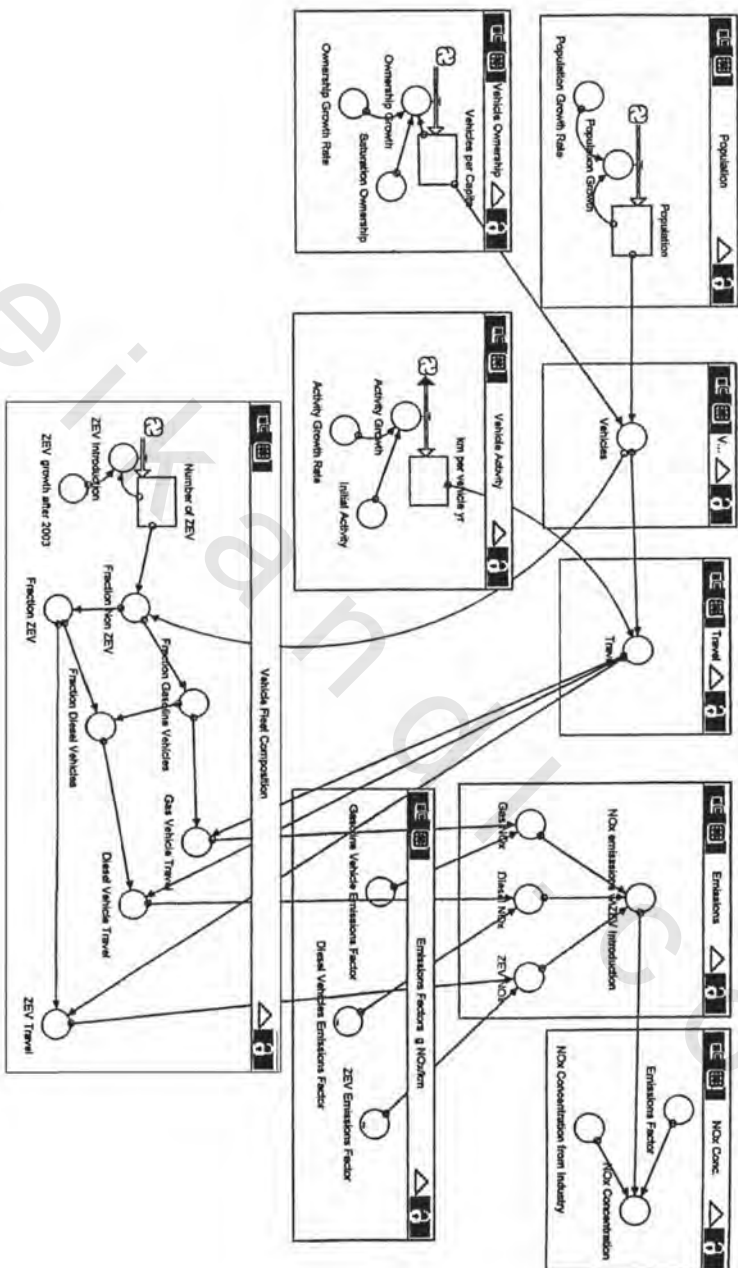
The Metropolitan Tokyo Air Quality Study

طبّق النموذج المشار إليه في القسم (١٠,٢,١) على مشكلة تلوث الهواء الحادة في طوكيو، وقد طبقه برنامج شبكة الطاقة العالمية (WE-NET) الياباني لتطوير الهيدروجين [9] لدراسة إمكانية استخدام وقود الهيدروجين في الإسهام في خطط حكومة مدينة طوكيو الكبرى (TMG) والرامية إلى تحسين جودة الهواء. كانت أهداف الدراسة هي إعداد قواعد البيانات الموضحة في الجداول من (١٠,٢ - ١٠,٥) وتقدير حجم مشاكل تلوث الهواء في المستقبل في أجواء المنطقة حسب نوع الوقود المستخدم وحسب تأثير العوامل الجوية، كما هدفت الدراسة إلى تقدير إمكانية تخفيض الانبعاثات بسبب قيود تنظيمية مختلفة اقترحتها مكتب حماية البيئة التابع لحكومة مدينة طوكيو الكبرى (BEP-TMG) [10].

تم الحصول على نتائج الدراسة [11] من خلال نموذج أكاسيد النيتروجين الخاص بمنطقة طوكيو الكبرى، والذي أعد خصيصاً لهذه الدراسة كنموذج ديناميكي تصويري (باستخدام برنامج الكمبيوتر Stella II والمتوفر بشكل تجاري كما يبين هانون وروث [12]). ويضم الشكل رقم (١٠,٣) رسماً توضيحياً للنموذج.

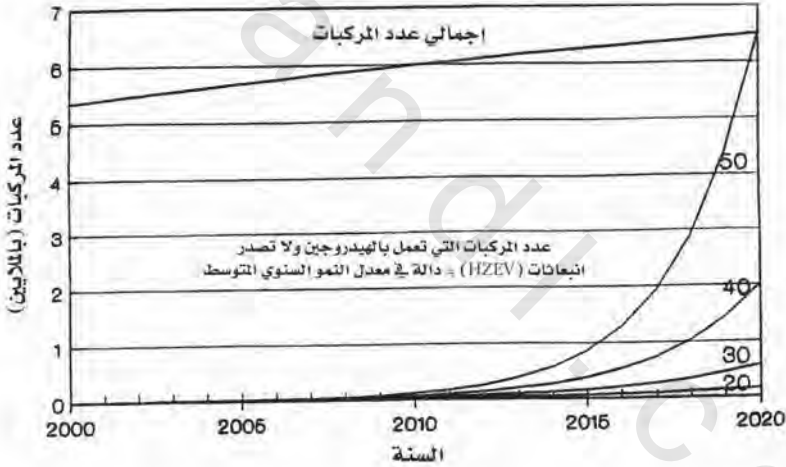
ودرس النموذج انبعاث أكاسيد النيتروجين كدالة في الأنواع المختلفة من المركبات المستخدمة أخذاً في الاعتبار النمو المتوقع للمركبات التي تعمل بالبنزين وتلك التي تعمل بالديزل وكذلك النمو المحتمل في إنتاج المركبات التي تعمل بوقود الهيدروجين (كمركبات لا تصدر انبعاثات). استخدم النموذج عوامل انبعاثات ودورات قيادة محددة سلفاً من مكتب حماية البيئة التابع لحكومة مدينة طوكيو الكبرى (BEP-TMG) لحساب الانخفاض في انبعاث أكاسيد النيتروجين والنتائج من عدة تنظيمات مقترحة تؤثر على حركة المرور في منطقة طوكيو الكبرى.

نموذج انبعاثات أكاسيد النيتروجين من المركبات في منطقة طوكيو الكبرى



الشكل رقم (١٠, ٣). رسم توضيحي لنموذج أكاسيد النيتروجين الخاص بمنطقة طوكيو الكبرى [13].

ويبين الشكل رقم (١٠،٤) النمو المحتمل في عدد المركبات التي تعمل بالهيدروجين ولا تصدر انبعاثات (HZEVS) كدالة في معدل النمو السنوي المتوسط الذي يتراوح من ٢٠ - ٥٠٪ سنوياً. بالنسبة للهدف بالغ الطموح المتمثل في الحصول على نتائج آنية بحلول عام ٢٠٢٠م، وهو العام الذي تنتهي فيه فترة دراسة شبكة الطاقة العالمية (WE-NET) المخطط لها، فإن المنحنيات تبين أن النمو بنسبة ٢٠٪ سنوياً سيكون تأثيره ضئيلاً، أما إذا كانت نسبة النمو ٥٠٪ سنوياً فإنه سيكون بالإمكان إبدال جميع المركبات في طوكيو بمركبات تعمل بالهيدروجين ولا تصدر انبعاثات.

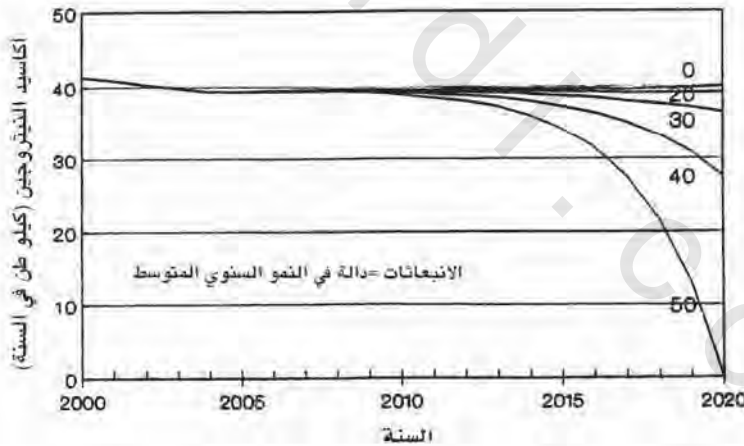


الشكل رقم (١٠،٤). النمو المحتمل في عدد المركبات التي تعمل بالهيدروجين [11].

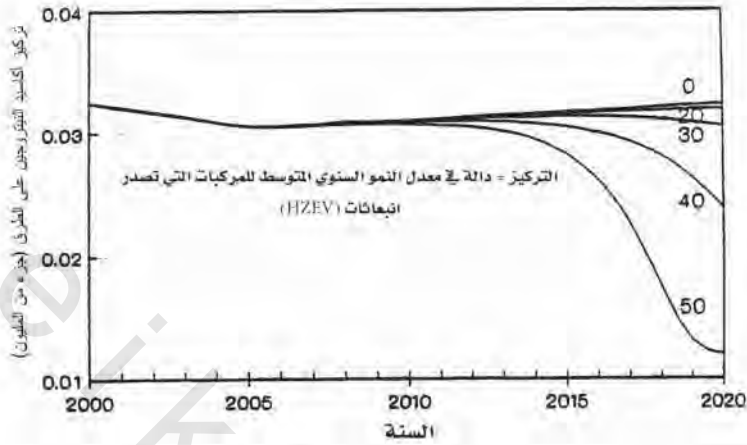
ويوضح الشكل رقم (١٠،٥) التوقعات المصاحبة لذلك في تخفيض انبعاث أكاسيد النيتروجين لواحدة من خطط فرض القيود التنظيمية المرجح تطبيقها. وتُظهر

المنحنيات التوقعات كدالة في معدل النمو السنوي المتوسط في إنتاج مركبات لا تصدر انبعاثات. كان بالإمكان أن تتخلص طوكيو بحلول عام ٢٠٢٠م من أكاسيد النيتروجين لو بدأ استخدام مركبات تعمل بالهيدروجين ولا تصدر انبعاثات بمعدل نمو مقداره ٥٠٪ منذ عام ٢٠٠٥م.

يبرز الشكل رقم (١٠،٦) نتائج النموذج الخاصة بتركيز أكاسيد النيتروجين الجوية التي تم قياسها من خلال شبكة محطات المراقبة الكبيرة في منطقة طوكيو الكبرى بناءً على الخطة المقترحة لفرض القيود على الانبعاثات. أي قيمة للنمو تزيد على ٣٠٪ سنوياً كانت كفيلة بتخفيض تركيز أكاسيد النيتروجين في الهواء على الطرق إلى مستوى أقل من المستوى القياسي الذي وضعتة حكومة مدينة طوكيو الكبرى البالغ ٣٠ جزءاً من المليار بما في ذلك حوالي ٣٠٪ من تركيز أكاسيد النيتروجين الجوية الناتجة من قطاعات اقتصادية غير قطاع النقل.



الشكل رقم (١٠،٥). التخفيض المحتمل في انبعاث أكاسيد النيتروجين كدالة في معدل نمو عدد المركبات التي تعمل بالهيدروجين [11].



الشكل رقم (٦، ١٠). التوقعات لتركيز أكاسيد النيتروجين التي تم قياسها من خلال شبكة محطات المراقبة الموجودة على الطرق [10].

وفقاً للتقديرات المتوفرة (وغير الكاملة) لتكاليف تلوث الهواء في طوكيو فإن القيمة الصحية الوبائية لطوكيو ستزيد عن ٠,٤ ين/كم (أي حوالي ٠,٦ سنت/ميل). تشير نتائج هذه الدراسة الخاصة ببرنامج شبكة الطاقة العالمية (WB-NET) إلى وجود دافع قوي للمساعدة في تحويل عملية إنتاج المركبات التي تعمل بوقود الهيدروجين إلى عملية تجارية واسعة (لنستخدم على الأقل في منطقة طوكيو الكبرى).

والبحث عن بيئة نظيفة وأمنة تحقق الراحة وسهولة العيش يمكن أن يتحقق بتكلفة معينة، ولكن بما أن تفادي التأثيرات السلبية ليس له قيمة في عالم التجارة اليوم (انظر القسم ٢، ٤)، فإن القيمة الخارجية لتفادي دفع ثمن تدهور الصحة العامة قد لا تكون أقل من التكلفة اللازمة للتحويل إلى اقتصاد مبني على وقود الهيدروجين. إن الحاجة إلى تخفيض التكلفة من خلال تحسين التقنية (مما يعني الحصول على طاقة وفيرة

بتكلفة منخفضة) أمر بديهي ، وهنا يبرز السؤال المهم عن طبيعة الطاقة المستدامة التي ستحقق هذا الهدف.

(١٠,٣) الطاقة الكهربائية اللازمة لإنتاج وقود الهيدروجين

Electric Energy Requirement for Hydrogen Fuel

في ختام هذه الدراسة عن بحث الإنسان عن الطاقة الوفيرة ، لا بد من تقديم إجابة للسؤال حول ما إذا ستكون هناك إمدادات كبيرة بما يكفي بحيث لا تتماشى مع النمو في الاقتصاد العالمي ، كما هو متعارف عليه الآن فحسب ، ولكن تتماشى أيضاً مع نمو صناعة جديدة خلال السنوات الخمسين القادمة ، تحتاج إلى الكثير من الطاقة لإحلال وقود الهيدروجين المستخدم في مركبات خلايا الوقود (التي لا تصدر انبعاثات) محل الوقود الأحفوري المستخدم في المركبات التي تعمل بمحركات الاحتراق الداخلي. بالرغم من وجود قوتين دافعتين مهمتين تدعمان هدف إحلال وقود الهيدروجين محل الوقود الأحفوري (وهما الرغبة في تحسين جودة الظروف البيئية ووجود إمدادات مستدامة للطاقة) إلا أن محدودية إمدادات الطاقة من موارد مقبولة قد تحول دون تحقيق هذا الهدف. فالواقع هو أن إمدادات الطاقة على المستوى الصناعي لا بد أن تأتي من موارد أحفورية ومن الوقود النووي والمصادر المتجددة مجتمعة. ولعل القيام بتحليل لحصة كل نوع من هذه الأنواع في إجمالي إمدادات الطاقة خلال السنوات الخمسين القادمة (مع وجود صناعة لوقود الهيدروجين أو بدونها) يمكننا من دراسة هذه الاحتمالات.

سبق في الفصل التاسع وصف التطورات والمشاريع التجريبية العديدة التي تبين مستقبل مركبات خلايا الوقود. إلا أن البداية الحقيقية لصناعة مركبات خلايا الوقود ستكون بتدشين أول مصنع ذي طاقة إنتاج كبيرة لهذه المركبات تخدّمه بنية تحتية تقدم المبيعات والخدمات ومحطات التزود بالوقود وكل الأمور الأخرى المتعلقة بصناعة واسعة النطاق. ويتوقع أن مثل هذه البداية ستحدث في العقد الأول من القرن الجديد.

وبينما يراقب العالم الارتفاع المحتوم لأسعار النفط والغاز الطبيعي والشكوى المتواصلة من انبعاثات الغازات المسببة لظاهرة الاحتباس الحراري، يستمر تردد الحكومات (وأرياب الصناعة) في البدء في مشاريع مركبات خلايا الوقود. وستكون هناك حاجة دائمة للبحث والتطوير لإقناع الناس بضرورة الاستثمار في هذا المجال. في الوقت نفسه فإنه كلما تأخر القيام بفعل شيء بهذا الخصوص فستطول المدة اللازمة للحصول على نتائج ملحوظة. إن تكلفة/التردد المتمثلة في الاستمرار في الاعتماد على الاستهلاك المعتاد والمريح للبنزين والديزل يمكن تقديرها بطريقة مثل تلك التي تم التطرق إليها في القسم (٤،٣) بخصوص الغاز الطبيعي المخصص لإنتاج الكهرباء، ولكن على نطاق أكبر بكثير.

ولدراسة الكمية المحتملة من الكهرباء اللازمة لإنتاج الهيدروجين كوقود للنقل، فقد تم تعديل النموذج الديناميكي لتحسين جودة الهواء بحيث يأخذ في الاعتبار كمية الوقود اللازم لأعداد كبيرة من المركبات التي تعمل بالهيدروجين. وكانت نتيجة ذلك التعديل التوصل إلى نموذج ذي خطوتين (يسمى نموذج الطلب على الطاقة الكهربائية اللازمة لمركبات الهيدروجين) درس مشكلة استدامة الطاقة. استخدمت الخطوة الأولى من النموذج البيانات التاريخية الرسمية (الحكومية) لتوقع البيانات حتى عام ٢٠٢٠م وهو التاريخ الذي يتوقع فيه أن تكون صناعة خلايا الوقود قائمة وتتوسع بشكل كبير. أما الخطوة الثانية فقد استخدمت لحساب الكميات اللازمة من وقود الهيدروجين والطاقة الكهربائية والقدرة المصاحبة لها، وذلك لمعدلات نمو متفاوتة في عدد مركبات خلايا الوقود من عام ٢٠١٠ - ٢٠٥٠م وهي المدة الزمنية التي يفترض أن تكون فيها أعداد المركبات التي تعمل بوقود الهيدروجين قد شكلت جزءاً كبيراً من المركبات على الطرق. وقد أجريت دراسات تستخدم هذا النموذج فيما بعد لولاية كاليفورنيا [14] وللولايات المتحدة [15] ولنيوزيلندا [16] وللعالم (تمت مراجعة هذه الدراسة) [17].

(١٠,٣,١) الاستفادة من البيانات التاريخية لوقود النقل لتحديد التوقعات حتى ٢٠١٠ م
Extrapolation of Historical Transportation Fuel Data to 2010

تم تصنيف البيانات التي تم الحصول عليها من المؤسسات الحكومية ومن الإنترنت إلى مجموعات من التواريخ الزمنية، وتم حساب معدل النمو السنوي المتوسط للفترات المتعلقة بهذه التواريخ حتى عام ٢٠٠٠م باستخدام التحليل الانحداري. يدرج الجدول رقم (١٠,٦) العوامل المستخدمة في الخطوة الأولى من النموذج (والوحدات الخاصة بكل عامل). من خلال هذه البيانات تم تحديد قيم العوامل لعام ٢٠٠٠م على أنها القيم المبدئية للنموذج واستخدم معدل النمو السنوي المتوسط للتوقعات حتى عام ٢٠١٠م.

الجدول رقم (١٠,٦). العوامل المستخدمة في الخطوة الأولى من النموذج.

العوامل المدخلة	الوحدات
تعداد السكان	مليون نسمة
معدل نمو السكان	% / سنة
ملكية المركبات (النوع i من المركبات)	عدد المركبات (i) لكل فرد
معدل النمو في ملكية المركبات	% / سنة (i)
التشبع في ملكية المركبات	عدد المركبات (i) الأقصى لكل فرد
الأميال (أو الكيلومترات) المقطوعة في السنة	الأميال (أو الكيلومترات) التي تقطعها المركبة (i)
اللاقتصادية في استهلاك المركبة للوقود	ميل (أو كم) / جالون أمريكي (i)
حمل الطاقة الكهربائية	بيتاوات-ساعة
معدل نمو الطلب على الكهرباء	% / سنة
طاقة إنتاج الكهرباء الموجودة فعلياً	تيراوات
معدل نمو طاقة إنتاج القدرة	% / سنة
العوامل المخرجة	الوحدات
المركبات المستخدمة (حسب النوع)	مليون مركبة
استهلاك المركبات المستخدمة للوقود	مليار جالون (بنزين)
متطلبات الطاقة الكهربائية	بيتاوات-ساعة
الطاقة الاستيعابية المطلوبة من القدرة الكهربائية	تيراوات

واستخدم النموذج لتحديث التقديرات الأولى لإمكانية استخدام مركبات خلايا وقود الهيدروجين على نطاق واسع في الولايات المتحدة [15] وفي العالم [17]، وقد استخدمت بيانات حديثة حتى عام ٢٠٠٠م لزيادة دقة الحسابات الخاصة بكمية الكهرباء المستقبلية اللازمة للنمو في الطلب على الطاقة التقليدية وكذلك الخاصة بإمدادات وقود الهيدروجين. يدرج الجدول رقم (١٠،٧) البيانات المستخدمة لتقدير المعلومات حتى السنة الأولى للنموذج وهي ٢٠١٠م، وذلك بهدف إجراء الحسابات المعدلة للخطوة الثانية التي تمتد فيها النظرة المستقبلية إلى عام ٢٠٥٠م للولايات المتحدة وللعالم. قيم حركة التنقل في الجدول مقاسة بالأميال للولايات المتحدة وبالكيلومترات لبقية العالم بالنسبة لسنة معينة. أما قيم استهلاك الوقود فهي مقاسة بالجالون الأمريكي في الحالين، كما هو متبع من قبل وكالة حماية البيئة الأمريكية في إدراجها السنوي لاقتصادية الوقود للمركبات في العالم.

والكثير من البيانات الواردة في الجدول رقم (١٠،٧) عن نوع المركبة بها درجة من عدم اليقين أكثر من غيرها من الفئات، وذلك بسبب إعادة تصنيف مركبات النقل الصغيرة (van) مثل مركبات نقل البضائع الصغيرة (pickup) وسيارات الدفع الرباعي (SUV) والتي كانت تصنف سابقاً ضمن المركبات الثقيلة وأصبحت تصنف في الدراسات المنقحة ضمن المركبات الخفيفة (ذات المحورين). أظهرت القيم الخاصة بملكية كل حجم من أحجام المركبات في الولايات المتحدة ارتفاعاً مقداره ٧٪ خلال فترة تغير البيانات البالغة خمس سنوات. أما التغير في استهلاك الوقود فقد كان ٤٪، بينما كانت قيم الكهرباء قد زادت بمقدار ١٪ فقط خلال فترة التغير البالغة خمس سنوات. أما بالنسبة للبيانات الخاصة ببقية العالم فإن التغيرات في البيانات المدخلة والمبنية على الفترة من ١٩٨٠ - ١٩٩٥م في الدراسة الأصلية، وعلى الفترة من ١٩٩٠ - ٢٠٠٠م في الدراسة المنقحة، أظهرت اختلافات أكبر. وفي هذه الحالة أيضاً تم تصنيف المركبات بشكل مختلف ما بين المركبات الخفيفة والثقيلة، وظهر انخفاض في عدد المركبات بمقدار ١١٪ خلال السنوات الخمس. أثر هذا الفرق على عدد الكيلومترات المقطوعة سنوياً وعلى اقتصادية الوقود للمركبات الثقيلة مشيراً إلى تغير كبير في استهلاك الوقود. وأظهرت قيم الكهرباء المستقرة مستقبلياً تغيراً ضئيلاً مقداره بضعة نقاط بالمائة خلال فترة السنوات الخمس مما يعكس زيادة بطيئة في الطلب على الكهرباء.

الجدول رقم (١٠، ٧). العوامل الخاصة بعام ٢٠٠٠م والقيم التقديرية لعام ٢٠١٠م.	الولايات المتحدة				العوامل	
	القيمة المبدئية (٢٠٠٠م)	م.ن.س.م (٪ / سنة)	القيمة المخترجة (٢٠١٠م)	بقية العالم	القيمة المخترجة (٢٠١٠م)	
تعداد السكان (بالملايين)	٢٧٥	٠,٩٦	٣٠٤	٦,٠٦	١,٣	٦,٨٩
ملكية المركبات (مركبة/فرد)						
المركبات الخفيفة	٠,٧٨٦	٠,٦١	٠,٨٠	٠,٠٧٩	٠,٦٣-	٠,٠٧٨
المركبات الثقيلة	٠,٠٣٣	١,٩٥	٠,٠٦	٠,٠٣٤	٢,٩٩	٠,٠٣٨
جميع المركبات	٠,٨١٨		٠,٨٦	٠,١١٣		٠,١١٦
عدد المركبات المستخدمة (بالملايين)						
المركبات الخفيفة	٢١٦		٢٤١	٨٧	١,١٦	٥٣٧
المركبات الثقيلة	٩		١١	٢٠٦	٢,٤٨	٢٦٤
جميع المركبات	٢٢٥		٢٥٩	٢٨٤		٨٠١
المسافة المقطوعة						
المركبات الخفيفة	٢,٥٤	٢,٥٤	٣,٢٦	٧,٣٨	٠,٥٧	٧,٨١
المركبات الثقيلة	٠,٢١	٣,٥٣	٠,٣٠	٨٧٨	١,٣٠	٢,٠٣
جميع المركبات	٢,٧٥		٣,٥٦	٨١٦		٩,٨٤
الاقتصادية في استهلاك الوقود						

١٠٠ كيلومتر قطعتته المركبات)

١٠٠ ميل قطعتته المركبات)

(كيلومتر/جالون)

(ميل/جالون)

تابع الجدول رقم (١٠٧).		الولايات المتحدة		بقية العالم	
العوامل (الوحدة)	القيمة المبدئية (م ^٢ ٠٠٠)	م.ن.س.م. (٪ / سنة)	القيمة المخرجة (م ^٢ ٠١٠)	القيمة المبدئية (م ^٢ ٠٠٠)	م.ن.س.م. (٪ / سنة)
المركبات الخفيفة	٢٠,٩	٠,٣٨	٢١,٧	٣٨,٨	٠,٣٤-
المركبات الثقيلة	٦,٨	١,٣٤	٧,٨	١١,٨	١,١٦
جميع المركبات			٢٠,٥		
استهلاك الوقود					
البترين (مليار جالون)					
الكهرباء					
حمل الطاقة (بناوات - ساعة)	٣,٨٠	٢,٥٥	٤,٨٩	١٥,٣٥	٢,٧٦
القدرة الموجودة فعلياً (تيراوات)	٠,٨١	١,٥٠	٠,٩٤	٣,٤٠	٢,٠٩

(١٠,٣,٢) نمو الطلب على وقود الهيدروجين والطاقة الكهربائية: ٢٠١٠ - ٢٠٥٠ م

Growth of Demand for Hydrogen Fuel and Electric Energy: 2010-2050

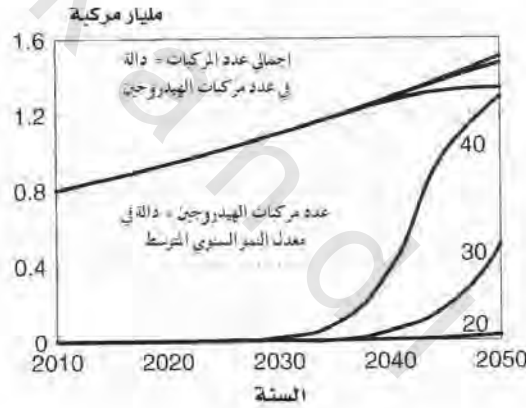
لعل أكثر أجزاء الدراسات المبنية على نماذج إيضاحاً للوضع المستقبلي هو تحليل سيناريوهات مستقبل قطاع النقل بالمركبات مع إحلال وقود الهيدروجين محل الوقود الأحفوري أو بدون هذا الإحلال. الخيارات الرئيسة في وضع نموذج لنمو صناعة جديدة على مدى ٤٠ عاماً هي (١) وقت البداية و(٢) معدلات الإنتاج المبدئية و(٣) معدلات النمو المتوقعة. بالنسبة للنقطة الأولى فقد وقع الاختيار على ٢٠١٠ م.

وكما تمت الإشارة آنفاً، فقد كان من المأمول من القوى الدافعة لتأمين إمدادات الوقود الأحفوري وحل مشكلة القلق من ظاهرة الاحتباس الحراري أن تتخطى حاجز التردد. بالنسبة للنقطة الثانية فقد تم اختيار إنتاج مبدئي لعام ٢٠١٠ م قدره ١٠ آلاف مركبة خفيفة و ١٠ آلاف مركبة ثقيلة. وعلى الأرجح ستكون هناك محطات مركزية للوقود تزود المركبات الخفيفة كالسيارات ومركبات النقل الصغيرة التجارية. أما المركبات الثقيلة فستكون على الأرجح حافلات (ومن ثم شاحنات)، حيث أثبتت هذه المركبات من خلال المشاريع التجريبية أنها مناسبة للنقل العام (وللخدمة الشاقة) في المدن المزدحمة. وشمل النموذج المنقح قيوداً فرضها المنحنى اللوجستي على معدل نمو عدد المركبات التي تعمل بوقود الهيدروجين، بينما يقترب هذا العدد تدريجياً من أن يصبح العدد الإجمالي للمركبات مع الإغلاق المتوقع (أو التغيير في مجال الإنتاج) لمصانع المركبات التي تعمل بمحركات الاحتراق الداخلي عند النقطة الزمنية المهمة التي يحدث عندها التغيير.

وأما بالنسبة للخيار الثالث المذكور أعلاه والخاص بمعدل نمو إنتاج مركبات خلايا وقود الهيدروجين فقد تقرر أن يتم اختيار ثلاثة معدلات بحيث تشمل حالة النمو غير المؤثر (٢٠٪ سنوياً) وحالة النمو المؤثر بشكل متوسط (٣٠٪ سنوياً) وحالة النمو

الناجح كلياً (٤٠ سنوياً). وقد أخذ النموذج في الاعتبار التحسن المطرد في تقنية تحليل الماء كهربائياً، حيث سينخفض استهلاك الكهرباء المتوسط من حوالي ٥٠ كيلووات-ساعة لكل كيلوجرام من غاز الهيدروجين عام ٢٠١٠ - ٤٠ كيلووات-ساعة لكل كيلوجرام بحلول ٢٠٥٠م.

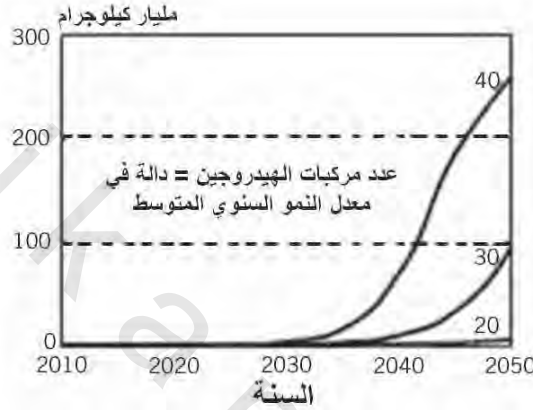
يظهر الشكل رقم (١٠،٧) نتائج الدراسة التي ينمو فيها عدد المركبات في العالم بمعدل النمو التاريخي ويصل عددها إلى ١,٤ مليار مركبة بحلول عام ٢٠٥٠م مستمرة في التزايد بمعدل النمو السنوي المتوسط الذي سيكون سائداً في ذلك الوقت.



الشكل رقم (١٠،٧). عدد المركبات التي تعمل بالهيدروجين في العالم كدالة في معدل النمو السنوي المتوسط [17].

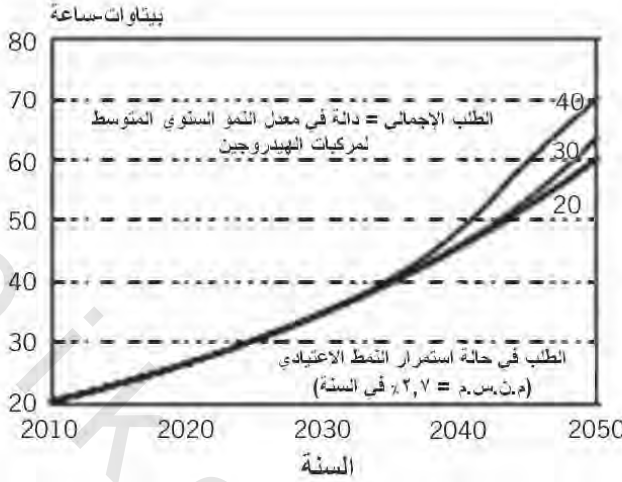
أما الشكل رقم (١٠،٨) فيبين كمية وقود الهيدروجين الضرورية لمواكبة هذا النمو، والتي يمكن تلييتها من خلال منشآت إنتاج الهيدروجين التجارية الحالية إذا كان معدل النمو ٢٠٪ سنوياً، إلا أنه إذا كان معدل النمو بمقدار ٤٠٪ سنوياً فإن كمية وقود

الهيدروجين المطلوبة ستتجاوز ٢٦٠ مليار كيلوجرام سنوياً عام ٢٠٥٠م، وذلك عندما تكون عملية إحلال المركبات التي تعمل بوقود الهيدروجين محل المركبات التي تعمل بمحركات الاحتراق الداخلي قد استكملت.



الشكل رقم (٨، ١٠). متطلبات وقود الهيدروجين للمركبات التي تعمل بالهيدروجين في العالم [17].

يوضح الشكل رقم (٩، ١٠) مدى الزيادة الناتجة في كمية الطاقة الكهربائية المطلوبة مقارنة بنمو الطلب على الطاقة الكهربائية في حالة استمرار النمط الاعتيادي (الاعتماد القوي على الوقود الأحفوري). ونمو الطلب في حالة الاستمرار على النمط الاعتيادي والبالغ ٢,٧٪ سيكون كافياً ليشمل الطلب على الطاقة في حالة نمو استخدام المركبات التي تعمل بوقود الهيدروجين بمعدل ٢٠٪ سنوياً، إلا أن استبدال المركبات التقليدية بالكامل سيتطلب كمية إضافية من الطاقة مقدارها ١٠ بيتاوات-ساعة سنوياً بحلول عام ٢٠٥٠م. وستكون هناك حاجة لوجود محطات تنتج قدرة إضافية قيمتها حوالي ١,٣٥ تيراوات، بحيث تكون القدرة الإجمالية المنتجة حوالي ١٠,٩ تيراوات.



الشكل رقم (١٠,٩). الطاقة الكهربائية الإجمالية في حالة استمرار النمط الاعتيادي (الاعتماد القوي على الوقود الأحفوري) وفي حالة الطلب على وقود الهيدروجين [17].

يلخص الجدول رقم (١٠,٨) البيانات المستخلصة من الدراسة والخاصة بالمركبات في الولايات المتحدة وفي بقية العالم. ويقارن الجدول نمو عدد المركبات التي تعمل بوقود الهيدروجين بمعدلات النمو الثلاثة المقترحة مع النمو الإجمالي في عدد المركبات في حالة استمرار النمط الاعتيادي. يعكس الاختلاف الواضح في كمية وقود الهيدروجين المطلوبة (في الولايات المتحدة مقارنة ببقية العالم) حقيقة أن المسافات المقطوعة سنوياً في دول العالم أقل بكثير من تلك المقطوعة في الولايات المتحدة، إلا أن هذا الاختلاف يوازنه في الفترات اللاحقة المعدل السنوي المتوسط الأعلى في نمو عدد المركبات في العالم. وتنعكس هذه الاختلافات أيضاً على الكميات المصاحبة للطاقة الكهربائية الإضافية اللازمة وعلى الطاقة الاستيعابية لمحطات القدرة.

الجدول رقم (٨، ١٠). ملخص البيانات المستخلصة: ٢٠١٠ - ٢٠٥٠ م. وجين		مركبات الفيدروجين		وقود الفيدروجين		مركبات الفيدروجين		السنة
الولايات المتحدة	بقية العالم	الولايات المتحدة	بقية العالم	الولايات المتحدة	بقية العالم	الولايات المتحدة	بقية العالم	
الطاقة الكهربائية	الطاقة الاستيعابية	الولايات المتحدة	بقية العالم	الولايات المتحدة	بقية العالم	الولايات المتحدة	بقية العالم	م.ن.س.م
(تيراوات)	(تيراوات)	(تيراوات-ساعة)	(تيراوات-ساعة)	(مليار كجم)	(مليار كجم)	(مليون مركبة)	(مليون مركبة)	(٪ / سنة)
٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٢	٠,٠٠٢	٢٠١٠ م
٤,١٩	٠,٩٤	٤,٨٩	٢٠,٢	-	-	٨٠١	٢٤١	الوضع الحالي*
٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠١	٠,٠٠١	٣,١	٠,٢٢	٠,٧٧	٠,٧٧	٢٠ م
٠,٠٠٠	٠,٠٠١	٠,٠٠٣	٠,٠٣	٠,٧١	١,١٠	٣,٧٩	٣,٧٦	٢٠٣٠ م
٠,٠٠٢	٠,٠٣	٠,١٤	٠,١٤	٣,٠٩	٤,٧١	١٦,٥	١٦,١	٤٠ م
٦,٣٤	١,١٠	٣٤,٩	٨,٠٩	-	-	١٠٧٠	٣١٨	الوضع الحالي*
٠,٠٣	٠,٠٤	٠,٣١	٠,٣٣	٥,٣٩	٨,٠٩	٢٨,٩	٢٧,٦	٢٠ م
٠,٥٠	٠,٤٢	٣,٧٢	٣,١٦	٩٥,٤	٨١,٠	٥١١	٢٧٦	٢٠٥٠ م
١,٣٥	٠,٥٥	١٠,١	٤,٠٧	٢٥٩	١٠٤	١٣٩٠	٣٥٧	٤٠ م
٩,٥٨	١,٤٥	٦٠,١	١٣,٤	-	-	١٥٠٠	٣٩٧	الوضع الحالي*

* التوقعات الخاصة باستمرار المركبات المستخدمة على الوضع الحالي دون وجود مركبات تعمل بخلايا وقود الهيدروجين.

(٤, ١٠) الآفاق المستقبلية للإمدادات المستدامة للطاقة

Prospects for the Future of a Sustainable Energy Supply

إن بحث الإنسان عن الطاقة الوفيرة بحث حثيث لا ينتهي. وقد تم النظر في هذه القضية منذ بداية القرن الجديد استناداً إلى مصادر القلق على مستوى العالم مثل استدامة إمدادات الوقود الأحفوري وتأثير الانبعاث المستمر للغازات المسببة لظاهرة الاحتباس الحراري على المناخ العالمي ودور الطاقة النووية في تزويد العالم بالطاقة وقدرة موارد الطاقة المتجددة على تقديم جزء ملحوظ من إمدادات الطاقة في المستقبل. لم ينظر هذا الكتاب في مصادر القلق العالمي الجديدة المتمثلة في كيفية التعامل مع الإرهاب العالمي وإمكانية استخدامه لأسلحة الدمار الشامل وكيفية تعزيز الأمن القومي إلا في سياق الإشارة إلى شدة الحاجة إلى الطاقة في التصدي لمصادر القلق هذه. والدراسات المذكورة في هذا الفصل، والتي قدرت كمية الطاقة المطلوبة للانتقال من الوقود الأحفوري إلى وقود الهيدروجين في مجال النقل، تشير تساؤلاً حول ما إذا كان العالم سينتقل إلى عصر جديد فيه اتجاهان متوازيان لاستخدام الطاقة هما الكهرباء، والهيدروجين يقدم كل منهما الطاقة بشكل سهل ومريح رغم أنهما ليسا موردين أوليين للطاقة. يبدو مع النمو القادم في تعداد السكان من ٦ مليارات نسمة عام ٢٠٠٠م إلى ٩ مليارات نسمة، كما هو متوقع لعام ٢٠٥٠م، أنه ستكون هناك حاجة لتخطيط عالمي ملموس في المستقبل القريب لضمان إمدادات كافية من الطاقة للجيل أو الجيلين القادمين في ظروف اجتماعية واقتصادية عالمية مقبولة.

تشير البيانات التي تم الاستشهاد بها بخصوص نمو الاستهلاك العالمي للطاقة الكهربائية إلى نمو مستمر في الحاجة إلى المزيد من القدرة الكهربائية. إن عوامل عدم التيقن الرئيسة في تقييم الطاقة الاستيعابية العالمية للقدرة الكهربائية اللازمة عام ٢٠٥٠م مع استخدام وقود الهيدروجين أو بدونه هي (١) معدل النمو الفعلي في

استهلاك الطاقة الكهربائية و(٢) الدور المستقبلي للطاقة النووية في المحافظة على نمو الاقتصاد العالمي. لقد استندت توقعات وزارة الطاقة الأمريكية [18] بخصوص الاستهلاك العالمي للطاقة الكهربائية على معدل نمو مفترض مقداره ٢,٣٪ سنوياً إلى عام ٢٠٢٥م مقارنة بمعدل النمو التاريخي البالغ ٢,٨٪ سنوياً خلال السنوات العشر الماضية. يمثل الفرق بين المعدلين زيادة مقدارها ٢٨٪ فوق الاستهلاك المتوقع عام ٢٠٢٥م والبالغ ٤١ بيتاوات-ساعة (بمعدل ٢,٣٪ سنوياً) إلى ٥٢,٤ بيتاوات-ساعة عام ٢٠٥٠م (بمعدل ٢,٨٪ سنوياً). وقد افترضت هذه التوقعات أيضاً أنه لن تنشأ محطات قدرة نووية جديدة بحلول عام ٢٠٢٥م وهو أمر يعيق فيما يبدو التخطيط طويل المدى اللازم للمحافظة على إمدادات كافية من الكهرباء خلال الربع الثاني من القرن الحادي والعشرين. بالإضافة إلى ذلك فإن توقعات الوكالة الدولية للطاقة الذرية [19] للطاقة الكهربائية والدور النسبي للطاقة النووية على مستوى العالم حتى عام ٢٠٣٠م تكشف عن صورة أكثر غموضاً. فقد أتت التوقعات من نموذج للتقديرات المنخفضة والمرتفعة بنيت على بيانات فعلية لعام ٢٠٠٢م وعلى تقدير منخفض لمعدل النمو يبلغ ١,٧٪ سنوياً وعلى تقدير مرتفع يبلغ ٣,٤٪ سنوياً لاستهلاك الطاقة الكهربائية الإجمالي. أما معدلات النمو الخاصة بالطاقة النووية فقد كانت ٠,٤٪ سنوياً و١,٩٪ سنوياً على التوالي مما يشير أيضاً إلى الدور المتناقص للطاقة النووية.

والسؤال الذي لا يزال مطروحاً هو: من أين ستأتي الطاقة الإضافية اللازمة للتحول من النقل باستخدام الوقود الأحفوري إلى النقل باستخدام وقود الهيدروجين والطاقة اللازمة لنمو الطلب على الطاقة الكهربائية بالنمط الاعتيادي؟ إن الاستهلاك العالمي الإجمالي للطاقة لا بد أن يكون من خلال مزيج من الوقود الأحفوري وموارد الطاقة المتجددة والطاقة النووية.

(١٠,٤,١) التوزيع المحتمل لموارد الطاقة

Potential Distribution of Energy Resources

يبين الجدول رقم (١٠,٩) التوزيع المحتمل لموارد الطاقة التي يمكن أن تلبي إجمالي احتياجات الطاقة عام ٢٠٥٠م في حالة الحاجة لطاقة كهربائية إضافية لإنتاج الهيدروجين للمركبات على مستوى العالم أو عديمها. يفترض هذا التوزيع أن سعي العالم إلى الاستخدام الأقصى لموارد الطاقة المتجددة سيؤدي إلى تلبية ٥٠٪ من إجمالي الطلب على الطاقة بحلول عام ٢٠٥٠م، بينما يتم الحصول على الـ ٥٠٪ الأخرى من خلال مزيج من الوقود الأحفوري والنووي.

يقارن الجدول نتائج النموذج مع الطلب الذي تتوقعه الوكالة الدولية للطاقة الذرية حتى عام ٢٠٣٠م [19] في حالة التقديرات المرتفعة. يظهر الجدول التنامي المتسارع في العجز على افتراض معدل نمو مقداره ٣,٤٪ سنوياً مقارنة بمعدل النمو التاريخي البالغ ٢,٨٪ سنوياً. ويوضح الجدول أن الجزء من الطاقة الكهربائية الذي ينتج من خلال الموارد المتجددة (الطاقة الكهرومائية بالدرجة الأولى) سيتناقص من ١٩٪ - ١٥٪ بمعدل مقداره -٠,٤٪ سنوياً وكذلك النمو السلبي للطاقة النووية من ١٦٪ - ١٠٪ بحلول عام ٢٠٣٠م بمعدل -١,٤٪ سنوياً. يوضح الجدول تقديرات النموذج بوصول الطلب الإجمالي على الطاقة الكهربائية بحلول عام ٢٠٥٠م إلى ٧٠ بيتاوات-ساعة منها ٦٠ بيتاوات-ساعة تنتج من نمو الاستهلاك بالنمط الاعتيادي (بما فيه النمو الناتج من عصر الإلكترونيات) و ١٠ بيتاوات-ساعة مطلوبة لإنتاج حوالي ٢٦٠ مليار كيلوجرام من وقود الهيدروجين سنوياً لتزويد المركبات التي تعمل بخلايا الوقود. وعليه فإنه إذا كان ٥٠٪ من إجمالي الطلب على الكهرباء ستلبية موارد الطاقة المتجددة دون نمو كبير في إضافة محطات قدرة كهرومائية، فإن الـ ٥٠٪ الباقية لا بد أن يتم الحصول عليها من مزيج من الوقود الأحفوري والطاقة النووية.

يظهر الجزء الثاني من الجدول نطاقاً من التوزيع لهذين الموردتين من موارد الطاقة يبدأ من استخدام الوقود الأحفوري وحده وينتهي باستخدام الوقود النووي وحده. لا بد للتخطيط طويل المدى من أن يأخذ في الاعتبار بعض القضايا مثل رغبة الناس في العيش في بيئة نظيفة وفي استخدام مصادر الطاقة المتجددة وقضية التوسع السريع في عملية حرق الغاز الطبيعي لفترات طويلة في المستقبل بغرض إضافة طاقة استيعابية لإنتاج القدرة الكهربائية والحاجة إلى المحافظة على الغاز الطبيعي حتى يتسنى استخدامه كلقيم كيميائي وكغاز للتدفئة المنزلية والقدرة الكهربائية الإضافية اللازمة للطلب المستحدث على الكهرباء بما في ذلك الطلب الناتج من صناعة وقود الهيدروجين التي لن تصبح ذات أهمية إلا بعد عام ٢٠٣٠م وهي فترة لا يشملها التخطيط الحكومي الحالي.

يوجد في العالم اليوم أكثر من ٤٤٠ محطة قدرة نووية ازدادت كفاءتها وأعمار تشغيلها. إذا لاحظنا أن مفاعلاً نووياً ذا قدرة تبلغ ١٣٥٠ ميغاوات ومعامل وجوده في الخدمة ٨٠٪ سينتج ١٠ تيراوات-ساعة في السنة، فإن العدد التقريبي لمحطات القدرة النووية الذي يمكن أن نحتاج إليه يتراوح بين صفر و ٣٥٠٠ محطة، كما يخبرنا أحد مراسلي صحيفة الجارديان المختصين بالبيئة [21].

(١٠، ٤، ٢) الطرق التي يمكن بها الخروج من هذا المأزق

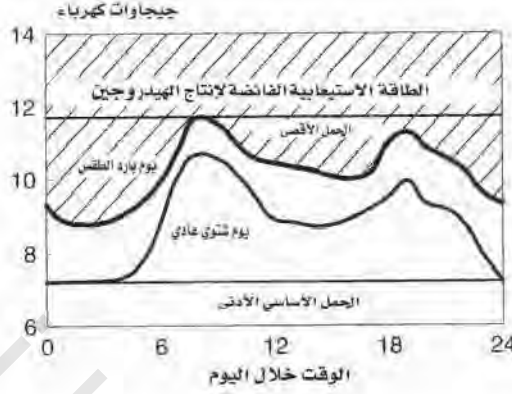
Possibilities to Resolve the Impasse

تظهر نتائج الدراسة وجود حاجة ماسة للتخطيط لنمو أكبر من النمو المتوقع للنمط الاعتيادي للطلب على الطاقة الكهربائية خلال السنوات الخمسين القادمة، لا سيما إذا أصبح عصر الهيدروجين واقعاً ملموساً بعد عام ٢٠٣٠م، كما يوضح الشكل رقم (١٠، ٧). وسيكون من الصعب التخلي عن إنتاج المركبات التي تعمل بالوقود الأحفوري خلال فترة السنوات العشرين هذه لكن إحلال وقود الهيدروجين محل الوقود الأحفوري بعملية التحويل أو التحليل الكهربائي لا بد أن يبدأ إذا كنا نريد

أن نحقق معدل نمو سنوي يتراوح بين ٣٠ و ٤٠٪ في السنوات الأربعين التالية لعام ٢٠١٠م. ستكون الحاجة إلى طاقة كهربائية إضافية منخفضة التكلفة أمراً واضحاً في كل الأحوال. وستكون هناك عدة طرق لتحقيق التحول إلى وقود الهيدروجين. وفيما يأتي ثلاث طرق مقترحة للإسهام في هذا التحول.

الطريقة الأولى هي تغيير اقتصاديات محطات القدرة الكهربائية وتصميمها. وطبقاً للاقتراح الذي قدم عام ١٩٩٤م [22] لوزارة الطاقة الأمريكية فإن التكلفة الإضافية لإنتاج الهيدروجين بتحليل الماء كهربائياً في محطات القدرة الكبيرة يمكن تخفيضها بشكل ملحوظ إذا كانت المحطات مصممة لطاقة استيعابية أعلى بكثير من الطلب على القدرة وقت الذروة بدلاً من أن تكون مصممة بطاقة استيعابية أعلى من الطلب على القدرة وقت الذروة ببضع نقاط مئوية. ويوضح الشكل رقم (١٠، ١٠) مفهوم "محطة القدرة مزدوجة الاستخدام". بما أن معظم تكاليف التشغيل والصيانة تغطيها تكلفة الكهرباء، فإن الكميات التجارية من القدرة الكهربائية الفائضة ستكون متوفرة دائماً لإنتاج وقود الهيدروجين بتكلفة رمزية. ويمكن استخدام مياه التبريد ذات درجة الحرارة العالية المستخدمة في مثل تلك المحطات الكبيرة في التسخين المبدي للماء الذي يغذي عملية التحليل الكهربائي، وسيؤدي ذلك إلى تخفيض استهلاك الطاقة الكهربائية اللازمة لإنتاج كيلوجرام واحد من الهيدروجين وبشكل تكاملي، كما يوضح الشكل رقم (٨، ٤).

في حين قد تكمن الطريقة الثانية لزيادة وفرة وقود الهيدروجين في إدراك إمكانية إنتاج الهيدروجين بالتحليل مرتفع الحرارة للماء بطريقة حرارية كيميائية. وقد تمت دراسة الأساس الكيميائي لدورتين كيميائيتين لهذه التقنية في القسم (٨، ٢، ١). إن إمكانية إنتاج وقود الهيدروجين بكميات تجارية وبشكل واسع النطاق عند درجة حرارة عالية يمكن أن يساعد على القبول الشعبي لفكرة الاستفادة من القدرة النووية، كما أنه يمكن أن يحسن من اقتصاديات إنتاج الهيدروجين.



الشكل رقم (١٠, ١٠). منحنى الطلب اليومي لمخطة قدرة كهربائية مزدوجة الاستخدام [22].

أما الطريقة الثالثة لتوفير طاقة استيعابية كافية من القدرة الكهربائية فهي بناء "مناطق خاصة بالطاقة الشمسية والنووية وطاقة الهيدروجين" [23] يتم توزيعها على العديد من الدول الصناعية والدول النامية في العالم. ستكون هذه المنشآت موجودة في مناطق صناعية كبيرة تنشأ في مناطق نائية تكون فيها شدة الإشعاع الشمسي عالية بحيث تتجمع محطات القدرة النووية في الوسط وتحاط بمحلول من الخلايا الكهروضوئية وقد تحاط أيضاً بصفوف من توربينات الرياح توضع في الأماكن المرتفعة من المنطقة، بينما توضع المولدات وأجهزة التحليل الكهربائي (أو الأجهزة الكيميائية الحرارية) بالقرب من مكان توصيل الكهرباء للشبكة. يمكن لهذا الربط التكامل أن يقلل المشاكل المرتبطة باختيار موارد الطاقة وهي: مشكلة رفض الناس للطاقة النووية العالية المنتجة بالقدرة النووية (١٠ كيلوجول/كجم)، والمشاكل التقنية في الطاقة النووية المنخفضة المنتجة من الشمس (١٠ كيلوجول/كجم). ويمكن أن تزود هذه المناطق بمحطات قدرة ثنائية الاستخدام بحيث تنخفض تكلفة وقود الهيدروجين عن طريق تسخين الماء المبدئي بالشمس حتى يتم تحليله كهربائياً عند درجات حرارة أعلى.

(١٠,٥) خاتمة

Wrap-Up

بحث الإنسان عن الطاقة الوفيرة هو بحث مستمر. وفي الوقت نفسه فإن عدد سكان الأرض يزداد والتقنية تتطور والقلق بشأن البيئة يتزايد والاقتصاد ينمو ليتماشى مع كل هذه التغيرات. سيبقى الأمر على هذا النحو في القرن الحادي والعشرين كما كان عليه في القرون العشرين الماضية. تعلمنا من التاريخ أن البشر يترددون في الإقدام على الأمور التي لم يجربوها من قبل بالرغم من رغبتهم في بناء حياة أفضل ملؤها الراحة واليسر. إلا أن التاريخ يخبرنا في الوقت نفسه أنهم دائماً ما يقدمون على تلك الأمور في نهاية المطاف. إن الخطوات التقنية العظيمة التي تم تحقيقها في القرن العشرين بما فيها ظهور نوع من الطاقة إبان الحرب العالمية الثانية تزيد نوعيته عن غيره بمليون مرة (الطاقة النووية)، إن هذه الخطوات تمثل حاجزاً قوياً نشعر عنده بالتردد. وقد يتطلب الأمر مرور جيل أو جيلين لقبول المخاطرة بالنظر إلى تعقيدات التطور التقني. إلا أن المسلمة التي تقول بأن الإنسان يسير في طريق التقدم دون رجعة تفيدنا بأن استخدام الطاقة النووية على نطاق واسع سيوفر لنا في نهاية المطاف جزءاً كبيراً من إجمالي الطاقة التي سنحتاجها في المستقبل وخصوصاً عندما يصبح "إنتاج الطاقة على الأرض بالطريقة التي تنتج بها الطاقة في الشمس" حقيقة واقعة.

(١٠,٦) الخلاصة

Summary

تناول هذا الفصل بمزيد من التفصيل جانبيين مهمين من قضية الاستغناء عن الوقود الأحفوري في إنتاج الطاقة الحرارية. الجانب الأول هو القيمة الخارجية لتفادي خطر التغير الكارثي للمناخ بسبب أثر ظاهرة الاحتباس الحراري الناتج من حرق الوقود الأحفوري. أما الجانب الثاني والذي ركز على استكمال دراسة بحث الإنسان عن الطاقة الوفيرة فهو مشكلة ضمان استدامة إمدادات الطاقة العالمية في الوقت الذي

ينمو فيه تعداد السكان وتنمو فيه الرغبة في رفع مستوى المعيشة. تمت دراسة الجانبين من خلال نموذج ديناميكي صمم محلياً ويأخذ في الاعتبار السنوات الخمسين القادمة. كانت النتائج مريعة ، وعليه فقد قدم القسم الأخير من الفصل ثلاثة اقتراحات حول كيفية الخروج من هذا المأزق. وفي خاتمة الكتاب تمت الإشارة إلى أن المسلمة الثالثة الخاصة بتقديم الإنسان دون رجعة ستفرض علينا استخدام مصدر الطاقة الخاص بالقرن الحادي والعشرين وهو الانشطار النووي إلى أن نتمكن من "إنتاج الطاقة على الأرض بالطريقة التي تنتج بها الطاقة في الشمس" بشكل تجاري بحيث تصبح مكملية "للطاقة التي نحصل عليها من الشمس".

المراجع References

- [1] Air Resources Board. *Methodology for Estimating Emissions from On-Road Motor Vehicles*. Sacramento: California Environmental Protection Agency, October 1996.
- [2] Air Resources Board, EMFAC2002: *The Latest Update to the On-Road Emissions Inventory*. Sacramento: California Environmental Protection Agency, September 2002.
- [3] M. Ross and T. Wenzel, "Real-World Emissions from Conventional Passenger Cars." Chapter 2 in J. DeCicco and M. Delucchi, eds., *Transportation, Energy, and Environment: How Far Can Technology Take Us?* Washington, DC: American Council for an Energy-Efficient Economy, 1997.
- [4] California Air Resources Board, *LEVII and CAP2000 Amendments to the California Exhaust and Evaporative Emission Standards*. Sacramento: California Environmental Protection Agency, September 1999.
- [5] P. Kruger, "Comparison of Potential for Air Quality Improvement from Hydrogen Fuel in Three Metropolitan Air Basins" *Proceedings of the 11th World Hydrogen Energy Conference*, Vol. 11. Stuttgart, Germany: International Association for Hydrogen Energy, June 1996.
- [6] SCAQMD, *1994 Air Quality Management Plan*. Diamond Bar, CA: South Coast Air Management District, April 1994.
- [7] DDF, *Bases de Política Ambiental Urbana para el Manejo de la Cuenca Atmosférica del Valle de México*. Commission Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica del Valle de México, Mexico City, October 1995.
- [8] BEP-TMG, *Tokyo Metropolitan Government Plan to Prevent Automobile Pollution*. Tokyo: Bureau of Environmental Protection, July 1994.
- [9] New Energy and Industrial Technology Development Organization, WE-NET: *World Energy NETWORK*, brochure. Tokyo: NEDO, 1993.

- [10] BEP-TMG, *TMG Automobile Pollution Control Plan*. Tokyo: Bureau of Environmental Protection, June 1997.
- [11] P. Kruger, M. Murdock, T. Hirai, and K. Okano, "Potential for Air Quality Improvement in the Tokyo Metropolitan Area from Use of Hydrogen Fuel." *Proceedings of 12th World Hydrogen Energy Conference*, Buenos Aires, Argentina, June 21-26, 1998, pp. 33-43.
- [12] B. Hannon and M. Ruth, *Dynamic Modeling*. New York: Springer-Verlag, 1994.
- [13] M. Murdock, *Predicting the Ultra-Low-Emissions Vehicle Introduction Necessary to Significantly Reduce NOx Pollution Levels in Metropolitan Tokyo*. Graduate Research Project, Civil Engineering Department, Stanford University, Stanford, CA 1996.
- [14] P. Kruger, "Electric Power Requirement in California for Large-Scale Production of Hydrogen Fuel." *International Journal of Hydrogen Energy*, 25:395-405, 2000.
- [15] P. Kruger, "Electric Power Requirement in the United States for Large-Scale Production of Hydrogen Fuel." *International Journal of Hydrogen Energy*, 25:1023-1033, 2000. Revised as "Potential Electric Power Capacity in the United States by 2050 for Electric Energy and Hydrogen Fuel." *Proceedings of the 15th Annual Meeting*, National Hydrogen Association, Los Angeles, April 27-30, 2004.
- [16] P. Kruger, J. Blakeley, and J. Leaver, "Potential in New Zealand for Use of Hydrogen as a Transportation Fuel." *Proceedings of the 14th World Hydrogen Energy Conference*, Montreal, Canada, June 9-13, 2002.
- [17] P. Kruger, "Electric Power Required in the World by 2050 with Hydrogen Fuel-Revised." *International Journal of Hydrogen Energy*, 30:1515-1522, 2005. Text available at www.world-nuclear.org/sym/subindex.htm (for 2004).
- [18] U.S. Department of Energy, Energy Information Agency, *International Energy Outlook 2004*. Report DOE/EIA-0408(04). Washington, DC: DOE/EIA, April 2004.
- [19] International Atomic Energy Agency, *Energy, Electricity, and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2030*. Vienna: IAEA, July 2003.
- [20] International Atomic Energy Agency, *International Energy Outlook-2002*. Paris: IEA, 2002.
- [21] P. Brown, *Hydrogen seen as car fuel of the future*. The Guardian, September 10, 2004.
- [22] C. Boardman, A. Hunsbedt, and P. Kruger, *Hydrogen Fuel Demonstration Project for the Los Angeles Air Basin*. General Electric Company and Stanford University Information Meeting. Washington, DC: U.S. Department of Energy, October 21, 1994.
- [23] P. Kruger, *Electric Energy: The Potential Showstopper for a Hydrogen Fuel-Cell Fleet*. Seminar Series, California Air Resources Board, El Monte, CA, September 12, and Sacramento, CA, November 4, 2002. Available at www.arb.ca.gov/seminars/sem02/seminars02.htm.

ثبت المصطلحات

أولاً: عربي - إنجليزي

١

Wind Towers

أبراج الرياح

Ecological Consequence

الآثار البيئي

Environmental Impact

الآثار البيئي

Photoelectric Effect

الآثار الكهروضوئي

Washout

اجتراف الفلورايد

Particulates

الأجسام الدقيقة

Reserves

الاحتياطيات

Proved Reserves

الاحتياطيات المؤكدة

Census

الإحصاء السكاني

Nuclear Stability

الاستقرار النووي

Fuel Economy	استهلاك الوقود
Radiation	الإشعاع
Direct Beam Radiation	الإشعاع الحزمي المباشر
Reprocessing	إعادة معالجة
Albedo	الأليبدو (الانعكاسية)
Electron Volts	إلكترون فولت
Entropy	الإنتروبي
Enthalpy	الإنتالبي
Nuclear Fusion	الاندماج النووي
Thermonuclear Fusion	الاندماج النووي الحراري
Nuclear Fission	الانشطار النووي
Burnup	الانشطار/الكمية المنشطرة
Ortho-Hydrogen	أورثو هيدروجين
Conductance	الإيصالية

ب

Becquerel	البكريل
Plutonium	البلوتونيوم
Reformulated Gasoline	البنزين معاد الصياغة
Positron	البوزيترون

Photoelectrocatalysis	التحفيز الكهربائي الضوئي
Gamma Ray Decay	تحلل أشعة جاما
Radioactive Decay	التحلل الإشعاعي
Alpha Particle Decay	تحلل جسيمات ألفا
Beta Particle Decay	تحلل جسيمات بيتا
Regression Analysis	تحليل الانحدار
Water Thermal Decomposition	التحليل الحراري للماء
Magnitude-Severity Analysis	تحليل الكمية والخطورة
Electrolysis	التحليل الكهربائي
High-Temperature Steam Electrolysis	التحليل الكهربائي للبخار عالي الحرارة
Solid Polymer Electrolysis	التحليل الكهربائي للبوليمرات الجامدة
Alkaline Water Electrolysis	التحليل الكهربائي للماء القلوي
Natural Gas Reforming	تحويل الغاز الطبيعي
Steam-Ethanol Reforming	تحويل بخار الماء والإيثانول
Steam-Methane Eforming	تحويل بخار الماء والميثان
Radioactive Waste Disposal	التخلص من النفايات المشعة
Energy Flow	تدفق الطاقة
Chemical Composition	التركيب الكيميائي
Isotopic Composition	التركيب النظائري

Nuclear Structure	التركيب النووي
Atmospheric Concentration	التركيز في الغلاف الجوي
Tritium	التريتيوم
Pathway Dispersion	التشتيت المساري
Compton Scattering	تشتيت كومبتون
Population Exposure	تعرض السكان (للملوثات)
Daily Insolation	التعرض اليومي للشمس
Solar Irradiance	التعرض للإشعاع الشمسي
Shift Reaction	تفاعل التحويل
Thermonuclear Reactions	التفاعلات النووية الحرارية
Air Pollution	تلوث الهواء
Photosynthesis	التمثيل الضوئي
Urbanization	التنمية العمرانية
Wind Turbines	توربينات رياح
Rayleigh Frequency Distribution	توزيع رايلي التواتري لسرعة الرياح



Solar Constant	الثابت الشمسي
Faraday Constant	ثابت فاراداي
Sulfur Dioxide	ثاني أكسيد الكبريت
Thorium	الثوريوم



Air Quality

جودة الهواء



Loss Of Coolant Accident

حادث نقص مادة التبريد

Heat Carrier

حامل للحرارة

Specific Volume

الحجم النوعي

Limits To Growth

حدود النمو

Heat Of Combustion

حرارة الاشتعال

Waste Heat

الحرارة المهدرة



Photovoltaic Cells

الخلايا الكهروضوئية

Fuel Cells

خلايا الوقود

Solid Oxide Fuel Cells

خلايا الوقود (التي تستخدم الأكسيد الجامد)

PEM Fuel Cells

خلايا الوقود (التي تستخدم غشاء تبادل البروتونات)

Direct Methanol Fuel Cell

خلية الوقود الميثانول المباشرة



Weibull Probability Function

دالة وايبل الاحتمالية

Atmospheric Temperature

درجة حرارة الغلاف الجوي

Ocean Temperature

درجة حرارة المحيطات

Flame Temperature

درجة حرارة شعلة الاحتراق

Adiabatic UT-3 Cycle

دورة UT-3

Sulfur-Iodine Cycle

دورة الكبريت واليود

Carbon Dioxide Global Cycle

دورة الكربون العالمية

Hydrologic Cycle

الدورة الهيدرولوجية

Carnot Cycle

دورة كارنو

Hydrogen Fuel Cycle

دورة وقود الهيدروجين

Uranium Fuel Cycle

دورة وقود اليورانيوم

Driving Cycles

دورة/دورات القيادة

Biodiesel

الديزل الحيوي

Thermodynamics

الديناميكا الحرارية

Deuterium

الديوتريوم

Spaghetti Diagram

رسم السباجيتي البياني

Doubling Time

الزمن اللازم للتضاعف

س

Nuclear Safety

السلامة النووية

Food Chain

السلسلة الغذائية

Toxicity

السمية

ش

Semiconductors

شبه الموصل / أشباه الموصلات

ص

Hot Dry Rock

الصخور الجافة الساخنة

ض

Smog

الضباب الدخاني

Ultraviolet Light

الضوء فوق البنفسجي

ط

Binding Energy

طاقة الترابط

Geothermal Energy

الطاقة الجيوحرارية

Bioenergy	الطاقة الحيوية
Solar Energy	الطاقة الشمسية
Renewable Energy	الطاقة المتجددة
Tidal Energy	طاقة المد والجزر
Energy Vectors	الطاقة المنقولة
Specific Energy	الطاقة النوعية
Nuclear Energy	الطاقة النووية
Power Capacity	طاقة إنتاج الكهرباء/القدرة
Gibb's Free Energy	طاقة جيبز الحرة
Hydroelectric Power	الطاقة/القدرة الكهرومائية

ظ

Greenhouse Effect	ظاهرة الاحتباس الحراري
-------------------	------------------------

ع

Environmental Burden	العبء البيئي
Avogadro's Number	عدد أفوجادرو
Atomic Number	العدد الذري
Half-Life	عمر النصف
Conversion Processes	عمليات التحويل
Hot Elly Process	عملية هوت إيلي

غ

Natural Gas Commitment

الغاز الطبيعي المخصص لإنتاج الطاقة الكهربائية

Reactive Organic Gases

الغازات العضوية التفاعلية

Greenhouse Gases

الغازات المسببة لظاهرة الاحتباس الحراري

Proton Exchange Membrane

غشاء تبادل البروتونات

Boil-Off

غليان "الهيدروجين"

ف

Energy Gap

فجوة الطاقة

Cell Voltage

فرق جهد الخلية "الكهروضوئية"

Thermochemical Dissociation Of Water

الفصل/التحليل الكيميائي الحراري للماء

Fluorine

الفلورين

Photons

الفوتونات

ق

Resource Base

قاعدة الموارد

Ohm's Law

قانون أوم

Ionic Mobility

قدرة التنقل الأيونية

Electromotive Force

القوة الدافعة الكهربائية

Coulomb Repulsion

قوة تنافر كولوم

Nuclear Forces

القوى النووية

Heat Value

القيمة الحرارية

Epidemiological Value

القيمة الوبائية

ك

Biomass

الكتلة الحيوية

Atomic Mass

الكتلة الذرية

Population Density

الكثافة السكانية

Energy Intensity

كثافة الطاقة

Radiocarbon

الكربون المشع

Chlorophyll

الكلوروفيل

Electrochemistry

الكيمياء الكهربائية

ج

Feedstock

لقيم

د

Socioeconomic Indicators

المؤشرات الاجتماعية الاقتصادية

Environmental Indicators

المؤشرات البيئية

Biosphere	المجال الحيوي
Photovoltaic Collectors	المجمعات الكهروضوئية
Moisture Content	محتوى بخار الماء
Heat Engines	المحركات الحرارية
Hybrid Engines	المحركات الهجينة
Fuel Cell Engines	محركات خلايا الوقود
Dual-Purpose Power Plant	محطة القدرة مزدوجة الاستخدام
Platinum Catalyst	محفز من البلاتين
Mckelvey Diagram	مخطط ماكيلفي
Volatile Organic Compounds	المركبات العضوية المتطايرة
Electric Vehicles	المركبات الكهربائية
Zevs	مركبة بلا انبعاثات
Natural Background	المستوى الطبيعي
Antineutrino	مضاد النيوترينو
Acid Rain	المطر الحمضي
Einstein Equation	معادلة آينشتاين
Boltzmann Equation	معادلة بولتزمان
Stefan-Boltzmann Equation	معادلة ستيفان - بولتزمان
Emission Factors	معاملات الانبعاث
Emission Standards	معايير الانبعاث
Electric Power Research Institute	معهد أبحاث القدرة الكهربائية
Nuclear Power Reactors	مفاعلات القدرة النووية

Light Water Reactors	مفاعلات الماء الخفيف
Natural Nuclear Reactors	المفاعلات النووية الطبيعية
Hazardous Air Pollutants	ملوثات الهواء الخطرة
Fission Products	منتجات الانشطار
Logistic Curve	المنحنى اللوجستي
Ecosystem	المنظومة البيئية
Emergency Core Cooling System	منظومة التبريد لتبريد لب المفاعل
Superconductors	المواد فائقة التوصيل
Uranium Resources	موارد اليورانيوم
Load Leveling	موازنة الحمل

ن

Gross Domestic Product	الناتج المحلي الإجمالي
Radioactivity	النشاط الإشعاعي
Isotopes	النظائر
Nuclear Waste	النفايات النووية
Decay Scheme	نمط التحلل
Exponential Growth	النمو الأسّي
Saturation Growth	نمو التشبع
Population Growth	نمو السكان
Atomic Nucleus	نواة الذرة

Radioactive Nuclides

النويدات المشعة

Thermal Neutrons

النيوترونات الحرارية

هـ

Hydricity

الهيدروكهرباء

Metal Hydrides

هيدريد الفلز/هيدريدات الفلزات

و

Isotope Abundance

وفرة النظائر

Fossil Fuel

الوقود الأحفوري

Biofuels

الوقود الحيوي

ثانياً: إنجليزي - عربي

A

Acid Rain	المطر الحمضي
Adiabatic UT-3 Cycle	دورة UT-3
Air Pollution	تلوث الهواء
Air Quality	جودة الهواء
Albedo	الأليبدو (الانعكاسية)
Alkaline Water Electrolysis	التحليل الكهربائي للماء القلوي
Alpha Particle Decay	تحلل جسيمات ألفا
Antineutrino	مضاد النيوترينو
Atmospheric Concentration	التركيز في الغلاف الجوي
Atmospheric Temperature	درجة حرارة الغلاف الجوي
Atomic Mass	الكتلة الذرية
Atomic Nucleus	نواة الذرة
Atomic Number	العدد الذري
Avogadro's Number	عدد أفوجادرو

B

Becquerel	البكريل
Beta Particle Decay	تحلل جسيمات بيتا
Binding Energy	طاقة الترابط
Biodiesel	الديزل الحيوي

Bioenergy	الطاقة الحيوية
Biofuels	الوقود الحيوي
Biomass	الكتلة الحيوية
Biosphere	المجال الحيوي
Boil-Off	غليان "الهيدروجين"
Boltzmann Equation	معادلة بولتزمان
Burnup	الانشطار/الكمية المنشطة

C

Carbon Dioxide Global Cycle	دورة الكربون العالمية
Carnot Cycle	دورة كارنو
Cell Voltage	فرق جهد الخلية "الكهروضوئية"
Census	الإحصاء السكاني
Chemical Composition	التركيب الكيميائي
Chlorophyll	الكلوروفيل
Compton Scattering	تشتيت كومبتون
Conductance	الإيصالية
Conversion Processes	عمليات التحويل
Coulomb Repulsion	قوة تنافر كولوم

D

Daily Insolation	التعرض اليومي للشمس
Decay Scheme	نمط التحلل

Deuterium	الديوتريوم
Direct Beam Radiation	الإشعاع الحزمي المباشر
Direct Methanol Fuel Cell	خلية الوقود الميثانول المباشرة
Doubling Time	الزمن اللازم للتضاعف
Driving Cycles	دورة/دورات القيادة
Dual-Purpose Power Plant	محطة القدرة مزدوجة الاستخدام

E

Ecological Consequence	الأثر البيئي
Ecosystem	المنظومة البيئية
Einstein Equation	معادلة أينشتاين
Electric Power Research Institute	معهد أبحاث القدرة الكهربائية
Electric Vehicles	المركبات الكهربائية
Electrochemistry	الكيمياء الكهربائية
Electrolysis	التحليل الكهربائي
Electromotive Force	القوة الدافعة الكهربائية
Electron Volts	إلكترون فولت
Emergency Core Cooling System	منظومة التبريد لتبريد لب المفاعل
Emission Factors	معاملات الانبعاث
Emission Standards	معايير الانبعاث
Energy Flow	تدفق الطاقة
Energy Gap	فجوة الطاقة
Energy Intensity	كثافة الطاقة

Energy Vectors	الطاقة المنقولة
Enthalpy	الإنثالبي
Entropy	الإنتروبي
Environmental Burden	العبء البيئي
Environmental Impact	الأثر البيئي
Environmental Indicators	المؤشرات البيئية
Epidemiological Value	القيمة الوبائية
Exponential Growth	النمو الأسّي

F

Faraday Constant	ثابت فاراداي
Feedstock	لقيم
Fission Products	منتجات الانشطار
Flame Temperature	درجة حرارة شعلة الاحتراق
Fluorine	الفلورين
Food Chain	السلسلة الغذائية
Fossil Fuel	الوقود الأحفوري
Fuel Cell Engines	محركات خلايا الوقود
Fuel Cells	خلايا الوقود
Fuel Economy	استهلاك الوقود

G

Gamma Ray Decay	تحلل أشعة جاما
-----------------	----------------

Geothermal Energy	الطاقة الجيوحرارية
Gibb's Free Energy	طاقة جيبز الحرة
Greenhouse Effect	ظاهرة الاحتباس الحراري
Greenhouse Gases	الغازات المسببة لظاهرة الاحتباس الحراري
Gross Domestic Product	الناتج المحلي الإجمالي

H

Half-Life	عمر النصف
Hazardous Air Pollutants	ملوثات الهواء الخطرة
Heat Carrier	حامل للحرارة
Heat Engines	المحركات الحرارية
Heat Of Combustion	حرارة الاشتعال
Heat Value	القيمة الحرارية
High-Temperature Steam Electrolysis	التحليل الكهربائي للبخار عالي الحرارة
Hot Dry Rock	الصخور الجافة الساخنة
Hot Elly Process	عملية هوت إيلي
Hybrid Engines	المحركات الهجينة
Hydricity	الهيدروكهرباء
Hydroelectric Power	الطاقة/القدرة الكهرومائية
Hydrogen Fuel Cycle	دورة وقود الهيدروجين
Hydrologic Cycle	الدورة الهيدرولوجية

I

Ionic Mobility	قدرة التنقل الأيونية
----------------	----------------------

Isotope Abundance	وفرة النظائر
Isotopes	النظائر
Isotopic Composition	التركيب النظائري

L

Light Water Reactors	مفاعلات الماء الخفيف
Limits To Growth	حدود النمو
Load Leveling	موازنة الحمل
Logistic Curve	المنحنى اللوجستي
Loss Of Coolant Accident	حادث نقص مادة التبريد

M

Magnitude-Severity Analysis	تحليل الكمية والخطورة
Mckelvey Diagram	مخطط ماكيلفي
Metal Hydrides	هيدريد الفلز/هيدريدات الفلزات
Moisture Content	محتوى بخار الماء

N

Natural Background	المستوى الطبيعي
Natural Gas Commitment	الغاز الطبيعي المخصص لإنتاج الطاقة الكهربائية
Natural Gas Reforming	تحويل الغاز الطبيعي
Natural Nuclear Reactors	المفاعلات النووية الطبيعية

Nuclear Energy	الطاقة النووية
Nuclear Fission	الانشطار النووي
Nuclear Forces	القوى النووية
Nuclear Fusion	الاندماج النووي
Nuclear Power Reactors	مفاعلات القدرة النووية
Nuclear Safety	السلامة النووية
Nuclear Stability	الاستقرار النووي
Nuclear Structure	التركيب النووي
Nuclear Waste	النفايات النووية

O

Ocean Temperature	درجة حرارة المحيطات
Ohm's Law	قانون أوم
Ortho-Hydrogen	أورثو هيدروجين

P

Particulates	الأجسام الدقيقة
Pathway Dispersion	التشتيت المساري
PEM Fuel Cells	خلايا الوقود (التي تستخدم غشاء تبادل البروتونات)
Photoelectric Effect	الأثر الكهروضوئي
Photoelectrocatalysis	التحفيز الكهربائي الضوئي
Photons	الفوتونات
Photosynthesis	التمثيل الضوئي

Photovoltaic Cells	الخلايا الكهروضوئية
Photovoltaic Collectors	المجمعات الكهروضوئية
Platinum Catalyst	محفز من البلاتين
Plutonium	البلوتونيوم
Population Density	الكثافة السكانية
Population Exposure	تعرض السكان (للملوثات)
Population Growth	نمو السكان
Positron	البوزيترون
Power Capacity	طاقة إنتاج الكهرباء/القدرة
Proton Exchange Membrane	غشاء تبادل البروتونات
Proved Reserves	الاحتياطيات المؤكدة

R

Radiation	الإشعاع
Radioactive Decay	التحلل الإشعاعي
Radioactive Nuclides	النويدات المشعة
Radioactive Waste Disposal	التخلص من النفايات المشعة
Radioactivity	النشاط الإشعاعي
Radiocarbon	الكربون المشع
Rayleigh Frequency Distribution	توزيع رايلي التواتري لسرعة الرياح
Reactive Organic Gases	الغازات العضوية التفاعلية
Reformulated Gasoline	البنزين معاد الصياغة
Regression Analysis	تحليل الانحدار

Renewable Energy	الطاقة المتجددة
Reprocessing	إعادة معالجة
Reserves	الاحتياطيات
Resource Base	قاعدة الموارد

S

Saturation Growth	نمو التشبع
Semiconductors	شبه الموصل / أشباه الموصلات
Shift Reaction	تفاعل التحويل
Smog	الضباب الدخاني
Socioeconomic Indicators	المؤشرات الاجتماعية الاقتصادية
Solar Constant	الثابت الشمسي
Solar Energy	الطاقة الشمسية
Solar Irradiance	التعرض للإشعاع الشمسي
Solid Oxide Fuel Cells	خلايا الوقود (التي تستخدم الأكسيد الجامد)
Solid Polymer Electrolysis	التحليل الكهربائي للبوليمرات الجامدة
Spaghetti Diagram	رسم السباغيتي البياني
Specific Energy	الطاقة النوعية
Specific Volume	الحجم النوعي
Steam-Ethanol Reforming	تحويل بخار الماء والإيثانول
Steam-Methane Eforming	تحويل بخار الماء والميثان
Stefan-Boltzmann Equation	معادلة ستيفان-بولتزمان
Sulfur Dioxide	ثاني أكسيد الكبريت

Sulfur-Iodine Cycle

دورة الكبريت واليود

Superconductors

المواد فائقة التوصيل

T

Thermal Neutrons

النيوترونات الحرارية

Thermochemical Dissociation Of Water

الفصل/التحليل الكيميائي الحراري للماء

Thermodynamics

الديناميكا الحرارية

Thermonuclear Fusion

الاندماج النووي الحراري

Thermonuclear Reactions

التفاعلات النووية الحرارية

Thorium

الثوريوم

Tidal Energy

طاقة المد والجزر

Toxicity

السمية

Tritium

التريتيوم

U

Ultraviolet Light

الضوء فوق البنفسجي

Uranium Fuel Cycle

دورة وقود اليورانيوم

Uranium Resources

موارد اليورانيوم

Urbanization

التنمية العمرانية

V

Volatile Organic Compounds

المركبات العضوية المتطايرة

W

Washout

اجتراف الفلورايد

Waste Heat

الحرارة المهدرة

Water Thermal Decomposition

التحليل الحراري للماء

Weibull Probability Function

دالة وايبيل الاحتمالية

Wind Towers

أبراج الرياح

Wind Turbines

توربينات رياح

Z

Zevs

مركبة بلا انبعاثات