دراسة نموذج لسيارة كهرو شمسية وتصميمه وتنفيذه

المهندسة زينة بيطار* الدكتور المهندس سميح الجابي**

الملخص

أصبحت مسألة التلوث البيئي مهمة جداً خاصة بعد ملاحظة الغازات السامة التي تنفثها معظم وسائل النقل. ويحث هذا كله على تشجيع استعمال وسائط النقل الصديقة للبيئة التي تستخدم الطاقة الكهربائية والطاقة الشمسية كمصدر رديف في لتأمين الطاقة الميكانيكية اللازمة لتحريكها.

يستخدم المحرك الكهربائي في السيارة الكهربائية وفي السيارة الكهربائية الشمسية بدلاً من محركات الاحتراق الداخلي. وتقوم الخلايا الشمسية في السيارة الكهربائية الشمسية بتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية وتنقل هذه الطاقة الكهربائية إما مباشرة إلى المحرك الكهربائي لتزويد السيارة بالطاقة الميكانيكية اللازمة للحركة أو إلى نظام بطاريات التخزين. تنتج الخلايا الشمسية الطاقة الكهربائية عندما تكون الشمس ساطعة.

انطُلِقَ في تصميم السيارة الكهربائية الشمسية هذه من فكرة الحاجة إلى تنفيذ نموذج خاص بجامعة دمشق والدخول إلى مجال جديد من البحث العلمي. إذْ أصبح العديد من جامعات العالم يمتلك سيارة شمسية منفذة من قبل طلاب الجامعة وأساتذتهم لأغراض البحث العلمي.

وقد جرى اعتماد نموذج السيارة الكهربائية - الشمسية المطلوب بحيث يمكن أن يشكل سيارة هجينة تعمل كسيارة كهربائية تستجر الطاقة اللازمة لتشغيل المحرك، ومن ثمَّ لتحريك السيارة عن طريق مدخرات كهربائية مركبة على النموذج. ولم يتم التطرق إلى لتصميم الميكانيكي للسيارة حيث استخدمت شاحنة صغيرة ذات تصميم ميكانيكي معتمد ومجرب.

تتم التغذية الكهربائية عن طريق متحكم الكتروني متعدد المهام لغرض القيادة والتحكم بوظائف مكونات هذه السيارة جميعها. كما يمكن أن تُشحَنَ المدخرات من الشبكة الكهربائية مباشرة أو عن طريق لوحة شمسية تركب على السيارة باستطاعة محددة بحيث تقدم اللوحة الطاقة الكهربائية عن طريق منظم الشحن إلى المدخرات.

جُمِعَتْ ورُكِّبَتْ عناصر السيارة كلّها في أماكنها على جسم سيارة شاحنة صغيرة يبلغ وزنها فارغة 640 كغ ويبلغ وزنها محملة 1200 كغ، وجُهِّزَتْ لتحمل اللوحات الشمسية بحيث أصبحت السيارة جاهزة للاستعمال، فقد أُزيلَتِ الأبواب والأجزاء المتحركة من صندوق الشاحنة الخلفي للتخفيف من الأوزان، وجرى كذلك تفكيك محرك البنزين المستخدم في الشاحنة. وأجريت الصيانة لعلبة السرعة وللمقود وعناصر نقل الحركة. وجرى تجميع علبة السرعة

*أعد هذا البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندسة زينة بيطار بإشراف الدكتور المهندس سميح الجابي

** أستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - جامعة دمشق

مع المحرك الكهربائي على قاعدة واحدة عن طريق وصلة مرنة بحيث شكلت مجموعة واحدة وركبت في مكانها في أسفل السيارة وربطت مع علبة نقل الحركة إلى الدواليب. ورُكِّبَتْ 9 خلايا شمسية على إطار من الألمنيوم وثُبِّتَ الإطار فوق السيارة. وجرى تجميع اللوحات الشمسية على التسلسل في مجموعتين تضم كل مجموعة 4 لوحات وربطت المجموعتان على التفرع للحصول على تغذية كهربائية من هذه اللوحات الشمسية بتوتر 48 فولتاً لشحن المدخرات الكهربائية ولتغذية المحرك الكهربائي الذي يحرك السيارة، أما اللوحة الشمسية التاسعة فقد خُصِّصَتْ لتغذية الدارات الكهربائية المساعدة في السيارة مثل دارة الأضواء الأمامية والخلفية وأضواء الفرامل والإشارة. ورُكِّبَ المتحكم المركزي في المكان المخصص وربطت دارة التحكم ودارة الاستطاعة إلى مختلف عناصر السيارة. وثُبِّتَت المدخرات على الجزء الخلفي من السيارة، ورُبِطَتْ إلى المحرك الكهربائي عن طريق دارة المتحكم المركزي، ورُبِطَتْ أيضاً إلى اللوحات الشمسية عن طريق منظم التوتر ومنظم شحن المدخرات:

أجريت تجارب واختبارات متنوعة على السيارة.

نُفِّذتْ سيارة صديقة للبيئة لا تلوث بالغازات ولا بالضجيج ولا تستهلك الوقود الأحفوري.

المحرك الكهربائي المستخدم بسيط ولا يحتاج إلى صيانة مقارنة بمحرك الاحتراق الداخلي (البنزين والديزل).

هذه التجربة يمكن تطبيقها بشكل واسع واستخدامها بسهولة في بداية الأمر في المناطق الحرة والمرافئ والمطارات وفي المستودعات ذات المساحات الكبيرة.

هذه السيارة قابلة للتطبيق والتصنيع المحلي.

الكلمات المفتاحية: السيارة الكهربائية السيارة الشمسية - السيارة الهجينة

1 - المقدمة: [17] ,[8] , [12]

إن الهدف من هذا البحث هو دراسة نموذج لسيارة كهربائية وتصميمه وتنفيذه، واستخدام الطاقة الشمسية في دعم نظام شحن البطاريات المستخدمة في السيارة الكهربائية، وتشغيل بعض الدارات المساعدة ضمن السيارة، فضلاً عن إمكانية شحن البطاريات من محطات توليد Photo-Voltaic تعتمد على الطاقة الشمسية.

انطلقنا في تصميم السيارة من فكرة الحاجة إلى تنفيذ نموذج خاص بجامعة دمشق والدخول إلى مجال جديد من البحث العلمي، إذ أصبح العديد من جامعات العالم يمتلك سيارة شمسية منفذة من قبل طلاب الجامعة وأساتذتهم لأغراض البحث العلمي.

اعتُمِدَ نموذج السيارة الكهربائية كسيارة كهربائية تستجر الطاقة اللازمة لتشغيل المحرك ومن ثمَّ لتحريك السيارة عن طريق مدخرات كهربائية مركبة على النموذج. ويمكن أن يتم شحن هذه المدخرات من مأخذ مربوط إلى الشبكة الكهربائية أو عن طريق الخلايا الشمسية المركبة على السيارة. وتجرى التغذية الكهربائية عن طريق متحكم الكتروني متعدد المهام لغرض القيادة والتحكم بوظائف مكونات هذه السيارة جميعها. كما يمكن أن يتم شحن المدخرات من الشبكة الكهربائية مباشرة وأن يتم دعم شحن البطاريات عن طريق لوحات شمسية (مودولات) تركب على السيارة باستطاعة محددة بحيث تقدم اللوحة الطاقة الكهربائية عن طريق منظم الشحن إلى المدخرات. ولم يتم التطرق إلى التصميم الميكانيكي للسيارة خلال هذا البحث، لذلك اختيرت سيارة شاحنة صغيرة مجربة ومختبرة ميكانيكياً وتسير **في** شوارع مدينة دمشق، وأُجْرِيَت التعديلات اللازمة على هذه السيارة لتحويلها إلى سيارة كهربائية هجينة تستجر طاقتها من الطاقة الشمسية عن طريق اللوحة الشمسية التي رُكِّبَتْ في أعلى السيارة ضمن إطار خاص، أو من الطاقة المختزنة في البطاريات. وقد نُفِّذَ التصميم الكهربائي للسيارة لتحديد استطاعة المحرك الكهربائي اللازم لتحريك السيارة، وتحديد نظام التحكم المركزي بالسيارة ونظام التحكم بعمل اللوحة الشمسية وبشحن البطاريات

2 - العناصر الرئيسية لنموذج السيارة الهجينة الكهربائية الشمسية

إن العناصر الرئيسية التي تلزم لتنفيذ نموذج السيارة الكهربائية الشمسية هي كما يأتي:

الهيكل المعدني ويتضمن الدواليب ومخمدات الاهتزاز وأجهزة الكبح.
علبة السرعة وآلية نقل الحركة إلى الدواليب .
جسم السيارة ويتضمن حجرة القيادة والجزء الخلفي لتركيب البطاريات وجلوس الركاب.
المتحكم الالكتروني ودارة تبديل اتجاه الحركة وتنظيم سرعة المحرك.
منظم شحن البطاريات.
البطاريات الملائمة.
ألواح الخلايا الشمسية لتغذية مدخرات السيارة.
كابلات ونواقل التوصيل وعلب التفريغ والمرابط الملائمة والمنصهرات

3 - اختيار الهيكل المعدني

اتجهت الفكرة إلى اختيار هيكل معدني لسيارة كهربائية - شمسية بحيث يكون متوافراً في الأسواق المحلية وتستبعد بذلك مسألة التصميم الميكانيكي للهيكل وقد اختيرت سيارة شاحنة صغيرة خفيفة الوزن وبسيطة

التصميم وتلائم المتطلبات الفنية من حيث استطاعة السيارة.

وقد جرى تجريد هذا الهيكل من الأجزاء والقطع المعدنية غير الضرورية كلّها، وذلك بهدف تخفيف الوزن مثل الأبواب المعدنية والقفص الحديدي والأطراف الجانبية للشاحنة.

وتمت المحافظة على علبة السرعة ومحور نقل الحركة وعلبة تبديل الحركة ونظام الكبح و المخمدات. وقد أصبح وزن هذا الهيكل بالشكل الذي نُفِّذَ مساوياً (500) كغم تقريباً، ويبيّن الشكل رقم (1) صورة الشاحنة المستخدمة كهيكل السيارة. ويبلغ قطر الدولاب فيها الشاحنة 60 cm ويمكن أن تسير هذه الشاحنة بسرعة متغيرة من (0 - 100) km/h

4 - علبة السرعة وآلية نقل الحركة

تحتاج السيارة إلى علبة سرعة ملائمة لكي تنقل حركة دوران محرك الجرالكهربائي إلى الدواليب، وقد استخدمت لهذا الأمر علبة السرعة المركبة على الشاحنة المؤلفة من خمس مراحل للسرعة، 4 إلى الأمام واحدة 1 إلى الخلف.

علبة السرعة الموجودة على الشاحنة هي ذات مسننات وفاصل واصل مرن ومحور للربط مع المحرك وكذلك آلية نقل الحركة إلى الدواليب الخلفية.

أجريت صيانة كاملة لعلبة السرعة وثُبِّتَتْ مع المحرك الكهربائي على قاعدة واحدة مع وصلة مرنة بينهما.

5 - جسم السيارة

ويقصد فيه العلبة الخارجية للسيارة التي تتضمن مقصورة السيارة وجزء الشحن كما هو واضح في الشكل (1) السابق. ويكون هذا الجسم مركباً على هيكل السيارة (الشاسيه) .

وُضِعَ تصميم ملائم لتغيير هذا الهيكل وتعديله لكي يصبح ملائماً لتركيب المدخرات اللازمة.

لتحريك السيارة ولتركيب الألواح الشمسية وكراسي الركاب بحيث ينتج للسيارة تصميماً ذا شكل مقبول. ورُكِّبَتِ المدخرات على الجزء الخلفي من جسم السيارة المخصص للشحن.

6 - المحرك الكهربائي [3],[16]

يستخدم في السيارات الكهربائية أحد أنواع المحركات الكهربائية الآتية:

محرك التيار المستمر التسلسلي.

المحرك ذو المقاومة المغناطيسية المتغيرة.

محرك التيار المتناوب (المحرك التحريضي).

وقد اختير محرك تيار مستمر تسلسلي لميزاته المتنوعة وعزم إقلاعه الكبير وبساطة بنيته وسهولة التحكم بقيادته ولتوافره في الأسواق مقارنةً مع المحرك ذي المقاومة المغناطيسية الذي هناك صعوبة في الحصول عليه في الأسواق المحلية والعالمية وكذلك مقارنة بالمحرك التحريضي الذي يحتاج إلى دارة الكترونية خاصة لتحويل التيار المستمر من الخلايا الشمسية والمدخرات إلى تيار متناوب. كما أن المحركات التحريضية المستخدمة في السيارات ما زالت قليلة الانتشار وهي ذات بنية كهربائية وميكانيكية خاصة وتعدّها الشركات المصنعة من الأسرار الصناعية.

وقد حُسِبَتِ الاستطاعة التقريبية للمحرك الذي سيستخدم في السيارة اعتماداً على فرضيات التشغيل الآتية:

مدة تشغيل السيارة المقترحة 4 ساعات مستمرة.

استخدام أكبر مساحة متاحة فوق السيارة لتركيب الألواح الشمسية.

تخفيف الأوزان لمختلف أجزاء السيارة لتسهيل الإقلاع.

تحديد سرعة السيارة بحيث لا تتجاوز 60 km/h حيث ستستخدم السيارة ضمن حرم الكلية. [9] , [15]

واستناداً إلى هذه الفرضيات التقريبية تُحسَبُ الاستطاعة الكهربائية لمحرك السيارة من العلاقة الآتية:

$$P = M_g \cdot C_r \cdot V + p \cdot C_a \cdot A \cdot V^{1.5}$$

حيث:

P استطاعة المحرك الكهربائي بالواط

C_r مقاومة دوران العجلات

M_g وزن السيارة بالكيلوغرام

C_d معامل الاحتكاك

A بالمتر المربع المقطع العرضي للسيارة

V سرعة السيارة Km / h

ρ كثافة الهواء 1.2 Kg / m3

انطلاقاً من قيمة الاستطاعة الكهربائية المحسوبة، اخترنا محرك تيار مستمراً تبلغ استطاعته 7.8 PH (6 KW)

وقد تم العثور في الأسواق وبصعوبة بالغة على محرك تيار مستمر من النوع التسلسلي، يلائم نموذج السيارة الذي سوف ينفذ ويتمتع بالميزات الكهربائية الآتية:

* التوتر النظامي: $U_n = 48$ V
* التيار النظامي: $I_n = 210$ A
* الاستطاعة النظامية: $P_n = 10.5$ KW
* سرعة الدوران: $V_n = 2850$ rpm

ويبيّن الشكل رقم (2) علبة السرعة المركبة قبل إجراء الصيانة عليها، ويبيّن الشكل رقم (3) المحرك المستخدم في السيارة المنفذة.

الشكل (1): الشاحنة

الشكل (2): علبة السرعة قبل الربط مع المحرك الكهربائي

ويمتاز هذا المحرك بإمكانية تغيّر اتجاه الدوران وبالتالي تغيّر حركة السيارة إلى الأمام والخلف عن طريق تغيير القطبية. كان المحرك يعمل باتجاه واحد وغير مهيئ لعكس الاتجاه وقد فُصِلَتْ ملفات التحريض عن ملفات المتحرض وأُخرجت الأسلاك خارج المحرك من أجل التحكم في اتجاه الدوران من خلال عكس القطبية . وقد جُمِّعَ هذا المحرك مع علبة السرعة على قاعدة واحدة مع وصلة مرنة. و يبيّن الشكل رقم رقم (4) المحرك بعد تجميعه مع علبة السرعة عن طريق وصلة مرنة.

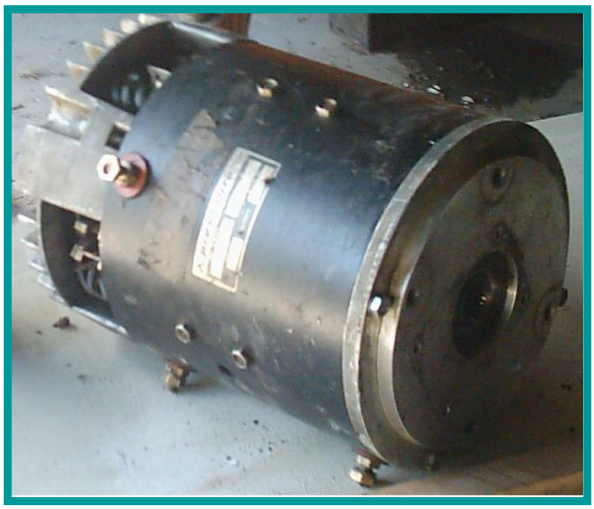
7 - نظام التحكم بالسيارة ودارات تبديل اتجاه الحركة وتنظيم سرعة المحرك

Car Control Brain [6] , [14]

يقوم نظام التحكم الرئيسي بالربط بين نظام التغذية بالطاقة الكهربائية والمحرك ودارات القيادة وأجهزة القياس.

ومن أهم الوظائف والمميزات التي ينفذها هذا النظام

التحكم بسرعة المحرك الكهربائي.
التحكم باتجاه دوران المحرك.
التحكم بدارة التيار القوي والتيار الضعيف.
التحكم بأجهزة القياس .



الشكل (3): المحرك الكهربائي

7 1 - عناصر نظام التحكم بالسيارة

ويتضمن نظام التحكم الرئيسي العناصر الآتية:

المتحكم المركزي.
قاطع التغذية الرئيسي (فاصل واصد - كونتاكتور).
مبدلة السرعة للأمام وللخلف.
قاطع تبديل الاتجاه.
دارة التحكم بسرعة دوران المحرك.
دارات الحماية من التيار الزائد وقلب القطبية ومن انقطاع التغذية.
أسلاك وكابلات التوصيل وعلب الربط والتوزيع.

7 2 - مميزات المتحكم الرئيسي

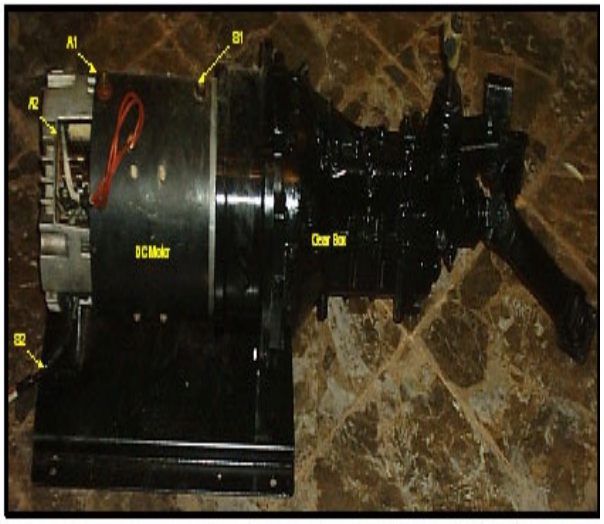
يمتاز المتحكم الرئيسي بما يأتي :

- هو نظام قيادة وفرملة متغيرة بدقة عالية.
- مصمم باستخدام ترانزستور من نوع **MOSFET** الذي يؤمن مردوداً عالياً ويخفف من ضياعات المدخرات ويعمل بشكل صامت.
- يتضمن دارة حماية تؤمن مراقبة ارتفاع درجة الحرارة وانخفاضها، كما يحافظ على تحديد ثابت للتيار خلال كامل مجال العمل.
- يتضمن نظام تعويض حراري يحافظ على خواص الأداء ثابتة مع تغيرات حرارة العناصر.
- يتضمن الحماية من انخفاض التوتر التي تفصل عندما ينخفض توتر المدخرات كنتيجة لزيادة الحمل الخارجي عن طريق حاكمة انخفاض توتر متضمنة في المتحكم الرئيسي.
- يتضمن دارة الحماية من انقطاع أحد خطوط التغذية .
- يُغذَّى المتحكم الرئيسي من المدخرات عن طريق منصهرة وأحد تماسات الواصل - فاصل الآلي إلى متحرض المحرك. يبيّن الشكل رقم (4) المحرك الكهربائي بعد تجميعه مع علبة السرعة
- يتم توصيل ملف التهييج إلى مفتاح تبديل الاتجاه

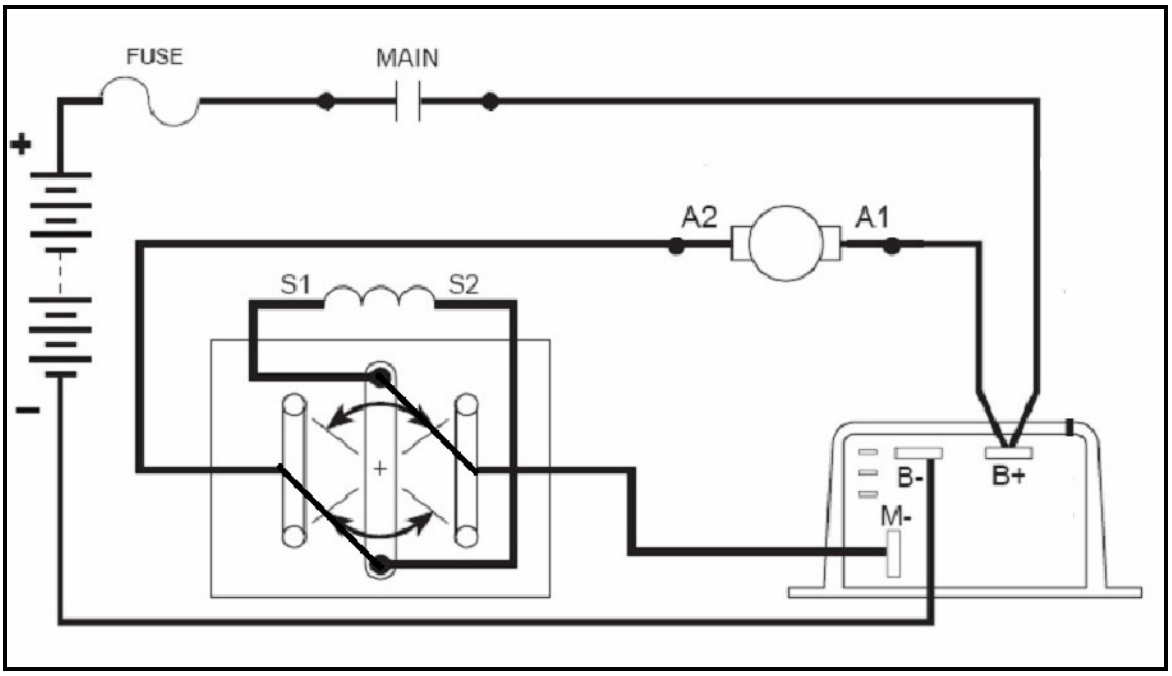
7 3 - دارة الاستطاعة

تتألف دارة الاستطاعة من:

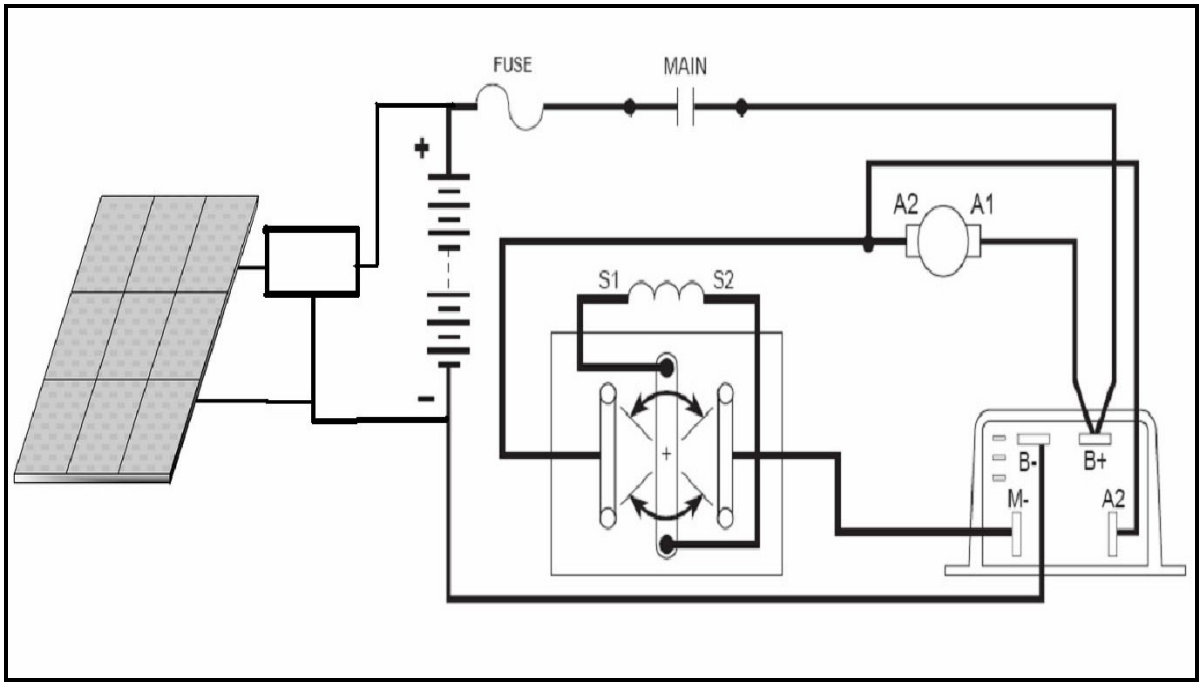
- تماس لوصل التغذية وفصلها عن دارة الاستطاعة
- منصهرة A200 للحماية من القصر والأعطال.



الشكل (4): المحرك الكهربائي بعد تجميعه مع علبة السرعة



الشكل (5): دارة الاستطاعة ومفتاح تغيير الاتجاه



الشكل (6): تغذية دارة الاستطاعة من لوحاتالطاقة الشمسية ومن المدخرات

ويبيّن الشكل رقم (6) تغذية دارة الاستطاعة من لوحات الطاقة الشمسية ومن المدخرات ويبيّن الشكل رقم (7) دارة الاستطاعة والتحكم الكاملة للسيارة المنفذة.

ونفذت دارة خاصة لتغيير اتجاه دوران المحرك الكهربائي لغرض تغيير اتجاه حركة السيارة إلى الأمام وإلى الخلف وهي مبيّنة في الشكل رقم (8).

8 منظم الشحن [13]

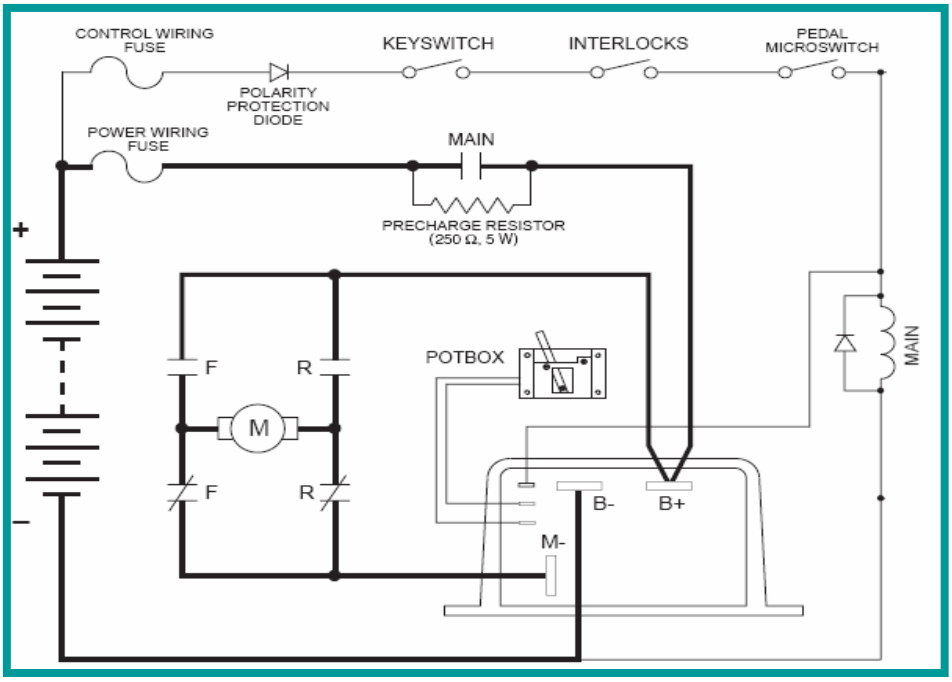
8 1 مميزات منظم الشحن

إن أهم هذه المميزات هي:

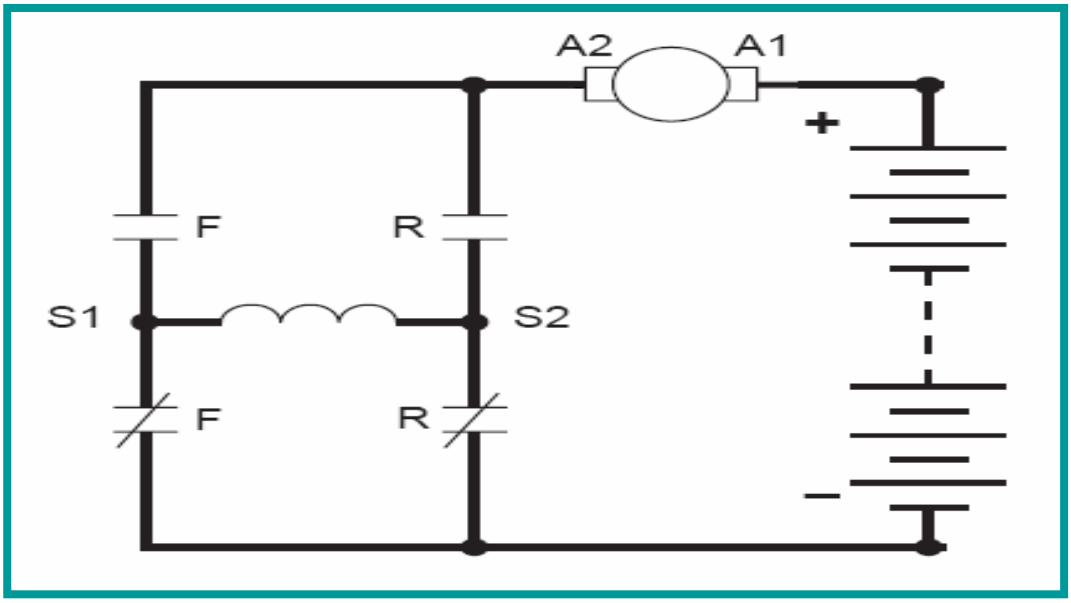
يحافظ على توتر المدخرة عند قيمته.

يمنع الشحن الزائد للمدخرة.

يمنع التفريغ العميق للمدخرة.



الشكل (7): دارة الاستطاعة والتحكم الكاملة للسيارة المنفذة



الشكل (8): دارة تغيير الاتجاه

يؤمن الحماية من عكس قطبية الخلايا الشمسية.

يتضمن نظام إقفال آلياً يشكل حماية ذاتية عندما تزداد قيمة تيار الحمل.

8 2 - وظائف منظم الشحن

يتضمن عداداً مستمراً لزمن الشحن والتفريغ.

يتضمن شاشة رقمية تعرض تيار الشحن وتيار التفريغ وتوتر المدخرة كل خمس ثوانٍ.

تنظيم آلي لشحن المدخرة وتفريغها ووصل وصل توتر الحمل اعتماداً على سوية توتر المدخرة.

تنظيم يدوي لشحن و تفريغ المدخرة ووصل توتر الحمل وفصله اعتماداً على سوية توتر المدخرة.

يتضمن نظام تحكم آلياً لتعديل درجة الحرارة عند الشحن.

يمكن للمستخدم ضبط الشحن و التفريغ و فصل توتر الحمل ووصله أي ضبط عملية الشحن on و التفريغ off يدوياً.

9 - المدخرات المستخدمة في السيارات الكهروشمسية [4],[11],[10]

تستخدم السيارة الكهربائية - الشمسية مجموعة مدخرات لتخزين الطاقة ومن ثم تقديمها إلى المحرك عند تشغيل السيارة. تبدأ السيارة الشمسية عادة رحلتها بمدخرات مشحونة 100%

يتحدد حجم المدخرات الأعظمي ووزنها وفق شروط عمل تتعلق بالسيارة نفسها ووفق نوع المدخرات المستخدمة.

يمكن أن نميز في التطبيقات العملية في السيارة الشمسية أنواع البطاريات الآتية:

- مدخرات أكسيد الرصاص Lead-Acid
- مدخرات نيكل - هيدرات المعدن Nickel- Metal Hydride (NiMH)
- مدخرات نيكل - كادميوم Nickel- Cadmium (NiCad)
- مدخرات شوارد الليثيوم Lithium Ion

مدخرات الليثيوم العضوية Lithium Polymer

يتضمن نظام إقفال آلياً يشكل حماية ذاتية عندما يحدث قصر كهربائي.

يؤمن الحماية من الإصابة بالصواعق.

* تعدُّ الأنواع الثلاثة الأخيرة الفُضلى لأنها تعطي طاقة أكبر بالنسبة إلى وزنها مقارنة بمدخرات أكسيد الرصاص المعروفة و لكنها تتطلب إجراء صيانة أكثر وكلفتها أكبر مع العلم أن أسعارها قد انخفضت بشكل كبير في السنوات الأخيرة وتحسنت وثوقيتها بشكل واضح.

* يتأثر اختيار المدخرة المستخدمة في السيارة الشمسية بعدة أمور تختلف بحسب الشركات المنتجة فالمدخرة الحمضية لها وزن كبير قد يصل إلى 140 Kg عند استطاعة أعظمية تساوي 5 KWh إذا ما قورنت بالبطاريات من نوع نيكل كادميوم أو بالبطاريات من نوع نيكل - هيدرات المعدن.

* إن أهم الأمور التي تؤخذ بالحسبان بالنسبة لمجموعة المدخرات هي:

1 - توتر نظام التغذية الإجمالي Total Voltage System

2 - سعة المدخرات Capacity

3 - المميزات الحرارية للمدخرات Temperature Performance

* اختيرت المدخرات الحامضية محكمة الاغلاق لتوافرها في الأسواق المحلية ولرخص سعرها.

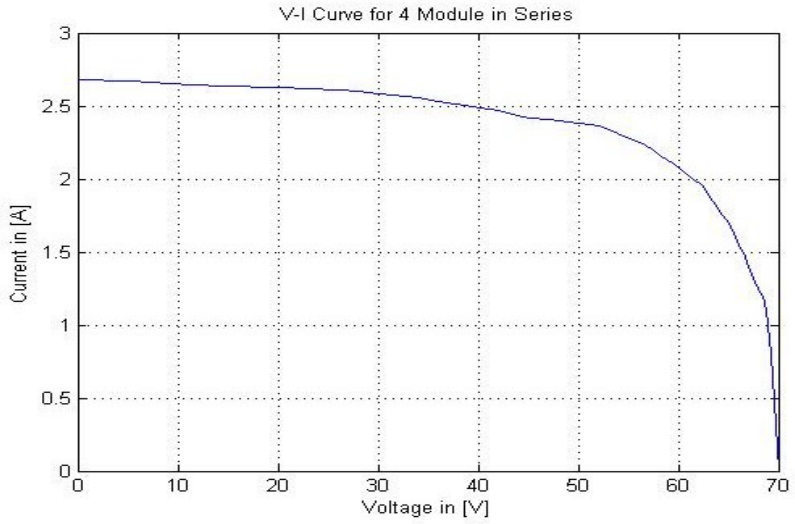
* استُعمِلَتْ 4 مدخرات حامضية تبلغ السعة الكهربائية للمدخرة الواحدة منها 105 أمبيراً ساعة وتوترها 12 فولط ووزن كل منها 26 كغ .

ربطت هذه المدخرات الأربع على التسلسل بحيث ينتج عنها توتر خرج إجمالي يساوي 48 فولطاً، وهو توتر عمل المحرك الكهربائي النظامي. وبذلك تكون الطاقة الإجمالية التي يمكن تخزينها في المدخرات المركبة على السيارة 5.040 KWh.

10 - اللوحة الشمسية في السيارة [1] , [4] , [7] , [13]

تتألف اللوحة من عدد من اللواقط ومن مئات الخلايا الشمسية الكهرضوئية التي تحول أشعة الشمس إلى طاقة كهربائية. وتوجد تقنيات مختلفة لبناء هذه اللوحات. تتحدد أبعاد اللوحات ونماذجها وفقاً لخصائص السيارة الكهربائية الشمسية.

I [A]	0	0.8	1.2	1.4	1.6	1.8	1.9	2	2.28	2.38	2.4	2.43	2.5	2.6	2.67	2.68
V [V]	70	69.2	68.5	67	65.8	64	63	61.5	55	50	48	44	39.4	28	5.1	0



الشكل (9): المنحنى المميز لأربع لوحات شمسية موصلة على التسلسل

11 نموذج السيارة الكهربائية الشمسية المنفذ

لقد جرى تجميع وتركيب عناصر السيارة كلّها في أماكنها على جسم السيارة وتجهيزها لتحمل اللوحات الشمسية بحيث أصبحت السيارة جاهزة للاستعمال، وقد أزيلتالأبواب والأجزاء المتحركة من صندوق الشاحنة الخلفي، وتم كذلك تفكيك محرك البنزين المستخدم في الشاحنة. وأجريت الصيانة لعلبة السرعة وللمقود وعناصر نقل الحركة. وجرى تجميع علبة السرعة مع المحرك الكهربائي على قاعدة واحدة عن طريق وصلة مرنة بحيث شكلت مجموعة واحدة وركبت في مكانها في أسفل السيارة وربطت مع علبة نقل الحركة إلى الدواليب. ورُكِّبَتْ 9 خلايا شمسية على إطار من الألمنيوم وثُبِّتَتْ الإطار فوق السيارة. وجُمِعَتِ اللوحات الشمسية على التسلسل في مجموعتين تضم كل مجموعة 4 لوحات، وربطت المجموعتان على التفرع للحصول على تغذية كهربائية من هذه اللوحات الشمسية بتوتر 48 فولتاً لشحن المدخرات الكهربائية، أمَّا اللوحة الشمسية التاسعة فقد خُصِّصَتْ لتغذية الدارات الكهربائية في السيارة مثل دارة الأضواء الأمامية والخلفية وأضواء الفرامل والإشارة. وقد جرى فصل تغذية هذه الدارات الثانوية في السيارة بحيث لا يؤثر أي عطل محتمل فيها في دارة تغذية المحرك الكهربائية الرئيسية. وركب المتحكم المركزي في المكان المخصص وربطت دارة التحكم ودارة الاستطاعة إلى مختلف عناصر السيارة. وثُبِّتَتِ المدخرات على الجزء الخلفي من السيارة، ورُبِطَتْ إلى المحرك الكهربائي عن طريق دارة المتحكم المركزي، ورُبِطَتِ المدخرات أيضاً إلى اللوحات الشمسية عن طريق منظم التوتر والشحن، ويبيّن الشكل رقم (10) السيارة المنفذة.

الشكل (10): السيارة المنفذة في أثناء تجريبها

12 - التجارب والاختبارات المنفذة على السيارة:

جُرِّبَتِ السيارة بطريقتين:

- تغذية مستقلة للمحرك الكهربائي عن طريق المدخرات المركبة على السيارة دون ربطها الى اللوحة الشمسية.
- تغذية المحرك الكهربائي عن طريق المدخرات مدعومة بالطاقة الكهربائية الناتجة عن اللوحة الشمسية.

-في كلتا الطريقتين حُرِّكَتِ السيارة إلى الأمام وإلى الخلف والتأكد من أنها أصبحت جاهزة للسير.

- قِيسَ توتر شحن المدخرات من الخلايا الشمسية وقيسَ تيار الشحن خلال سير السيارة وتوقفها، وكانت النتائج كما يأتي:

حالة عمل السيارة	توترالمدخرات	تيار شحن المدخرات
متوقفة عن السير	54 فولط	2.8 امبير
متحركة	52,5 فولط	2.6 امبير

أقلعت السيارة للأمام عند تغيير وضعيات علبة السرعة وقيست تيارات الإقلاع وكانت كما يأتي:

* عند تعشيق علبة السرعة على الوضعية الأولى راوحت قيمة تيار الإقلاع بين 15÷18 A.

*18 أمبيراً عند بدء التحرك، و15 أمبيراً عند استقرار السرعة.

* عند تعشيق علبة السرعة على الوضعية الثانية راوحت قيمة تيار الإقلاع بين 16÷25 A.

*25 أمبيراً عند بدء التحرك، و16 أمبيراً عند استقرار السرعة.

* عند تعشيق علبة السرعة على الوضعية الثالثة راوحت قيمة تيار الإقلاع بين25÷30 A

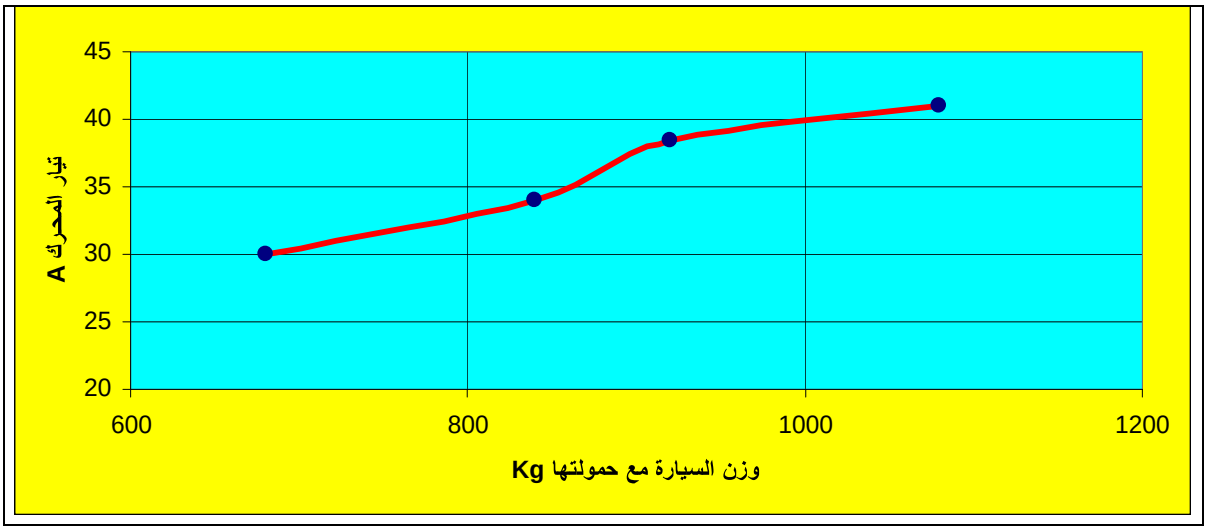
*30 أمبيراً عند بدء التحرك، و 25 أمبيراً عند استقرار السرعة.

* عند تعشيق علبة السرعة على الوضعية الرابعة راوحت قيمة تيار الإقلاع بين. 35÷50 A

*50 أمبيراً عند بدء التحرك و35 أمبيراً عند استقرار السرعة.

- أقلعت وتحركت السيارة وهي بحمولات مختلفة راكبين وأربعة ركاب وستة ركاب على أرض مستوية وكانت النتائج ممتازة حيث لم يتأثر عزم السيارة بالحمولات، وكانت نتائج هذه الاختبارات كما هو مبين في الجدول الآتي. ويبيّن المنحنى المبين في رقم (11) تغيرات تيار المحرك الكهربائي مع تغيرات وزن الحمولة عند سير السيارة على أرض مستوية.

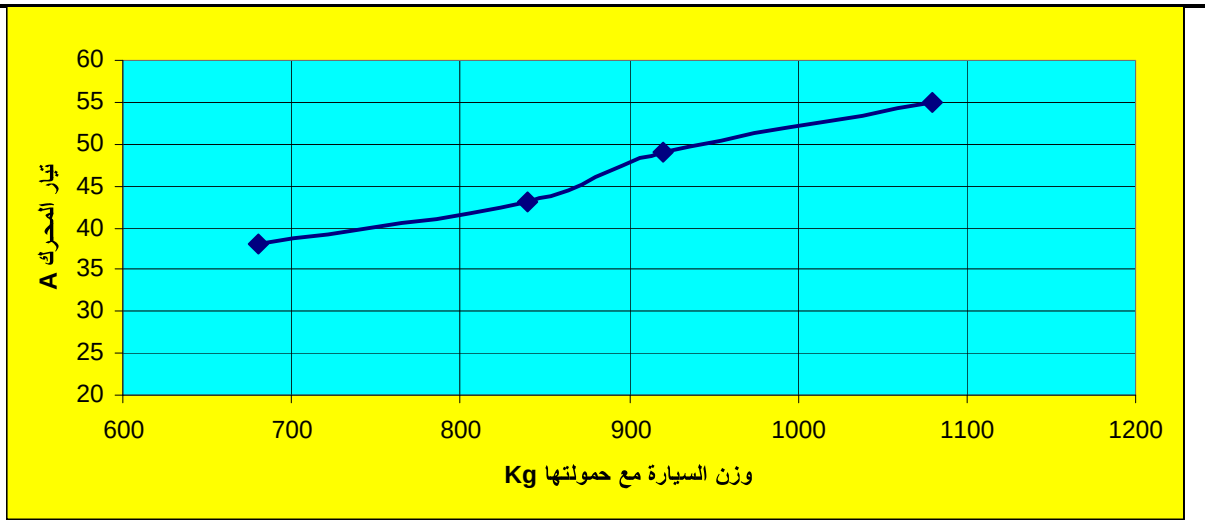
السيارة متحركة على أرض مستوية	توتر المدخرات فولط	تيار الحمل (المحرك) أمبير
وزن السيارة + السائق (680 كغ)	52.5	30
وزن السيارة + 3 ركاب (840 كغ)	52.5	34
وزن السيارة + 4 ركاب (920 كغ)	52.4	37
وزن السيارة + 6 ركاب (1080 كغ)	52.2	42



الشكل (11): تغيرات تيار المحرك مع وزن حمولة السيارة عند التحرك على أرض مستوية

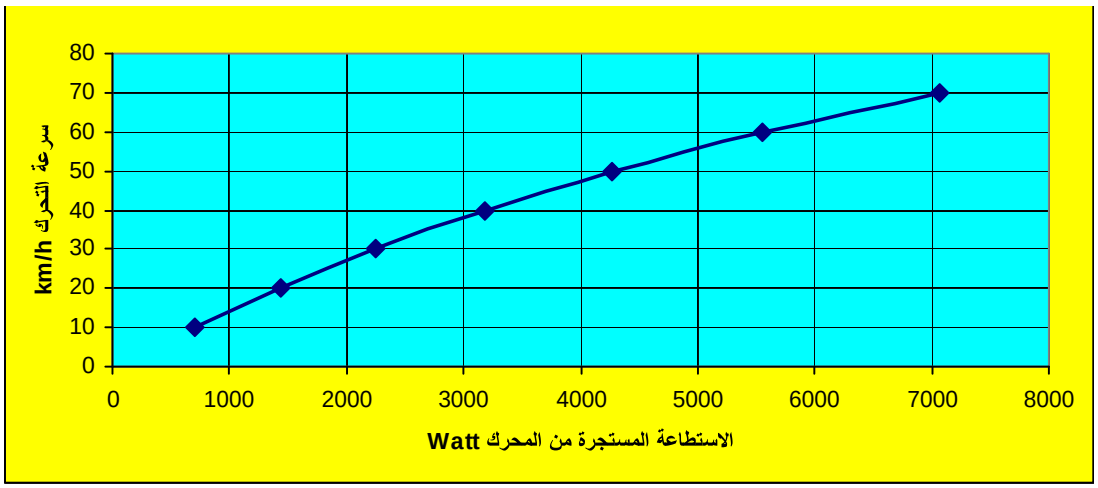
- أقلعت وتحركت السيارة وهي بحمولات مختلفة راكبين وأربعة ركاب و ستة ركاب -على أرض مائلة 20% وكانت النتائج ممتازة حيث لم يتأثر عزم السيارة بالحمولات وكانت نتائج هذه الاختبارات كما هو مبيّن في الجدول الآتي. ويبيّن المنحني المبين في الشكل رقم (2) تغيرات تيار المحرك الكهربائي مع تغيرات وزن الحمولة عند سير السيارة على أرض مائلة 20%.

السيارة متحركة على ارض مائلة 20 %	توتر المدخرات فولط	تيار الحمل (المحرك) امبير
وزن السيارة + السائق (680 كغ)	52.3	38
وزن السيارة + 3 ركاب (840 كغ)	52.3	43
وزن السيارة + 4 ركاب (920 كغ)	52.2	49
وزن السيارة + 6 ركاب (1080 كغ)	52.2	55



الشكل (12): تغيرات المحرك عند السير على أرض مائلة 20%

ويبيّن الشكل رقم (13) تغيرات الاستطاعة التي يستجرها المحرك الكهربائي عند تحريك السيارة بسرعات ثابتة عندما تكون السيارة محملة بوزنها فارغة مع 3 ركاب على أرض مستوية.



الشكل (13): تغيرات الاستطاعة المستجرة مكن المحرك الكهربائي عند سرعة تحرك ثابتة للسيارة

- لم يصدر عن السيارة أي صوت أو غاز ملوث في أثناء سيرها وهي في الواقع صديقة للبيئة.

13 - تكلفة السيارة الكهربائية الشمسية

اشتُريتْ أجزاء السيارة الكهربائية ومكوناتها وعناصرها من الأسواق المحلية، ويبيّن الجدول الآتي قيمة المشتريات التي استخدمت فعلياً في تنفيذ السيارة الكهربائية الشمسية:

البند	الكمية	القيمة الافرادية	القيمة الإجمالية
الهيكل وشاسية السيارة	مقطوع	مقطوع	60000
المحرك الكهربائي	مقطوع	مقطوع	30000
الوصلة المرنة مع علبة السرعة	مقطوع	مقطوع	30000
الخلايا الشمسية	9	17000	153000
قواعد بروفيلات الألمنيوم	مقطوع	مقطوع	15000
قواعد بروفيلات حديدية	مقطوع	مقطوع	10000
مدخرات حمضية كتيمة	4	8500	34000
ملصقات للسيارة	مقطوع	مقطوع	10000
مقياس تيار مستمر متنوع	3	1000	3000
نظام تحكم مركزي كامل	1	1	70000
منظم شحن آلي	1	1	20000
متممات كهربائية متنوعة	مقطوع	مقطوع	10000
الإجمالي			445000

يلاحظ من الجدول السابق أن كلفة الخلايا الشمسية تشكل نسبة من الكلفة الإجمالية تبلغ:

$$\frac{153000}{445000} = 34.4\%$$

وتجدر الإشارة إلى أن سعر الوات الواحد من اللوحات الشمسية التي تم شراؤها من مركز البحوث العلمية هو نحو $ 7.23 مع العلم أن السعر العالمي للوات الواحد يراوح بين (4 – 2.4) $. وإذا افتُرِضَ السعر العالمي الوسطي للوات الواحد 3 $ سيصبح سعر اللوحات الشمسية المستخدمة في السيارة الكهربائية الشمسية في المستقبل القريبً 67500 ليرة سورية. وتصبح الكلفة الإجمالية للسيارة الشمسية 360000 ليرة سورية. وتبيّن الصور التالية السيارة الشمسية الكهربائية المنفذة في وضعيات استخدام مختلفة.

14 -النتائج:

- العامل المؤثر الأساسي في تكلفة السيارات الكهربائية الشمسية هو اللوحات الشمسية من وجهة نظر ثمنها ووزنها وهذا يدفع للعمل على تقليل وزن الخلايا إلى الحد الأدنى الممكن، وهذا يمكن عند استخدام الخلايا الشمسية المرنة، وذلك لتسهيل التكيف مع السطح الخارجي للسيارة والحصول على أكبر طاقة ناتجة من الخلايا الشمسية. أمَّا ثمنها فمرتبط بالأسعار العالمية.

- سيؤدي استخدام النوع الأنسب من البطاريات لتخزين الطاقة الناتجة من اللوحات الشمسية إلى تحسين أداء السيارة.

- إن التخوف المتنامي من ظاهرة الاحتباس الحـــراري والخشية على البيئة يدفع إلى التعاون من أجل الحد من قيادة السيارات وسط المدن المزدحمة وتشجيع قيـــادة الحافلات الخضراء" الصديقة للبيئة المعتمـــدة علـــى طاقة الشمسية أحد مصادر الطاقات المتجددة.

نُفِّذَتْ سيارة صديقة للبيئة ذات تلوث بالغازات وبالضجيج معدوم و لا تستهلك الوقود الأحفوري.

- المحرك الكهربائي المستخدم بسيط ولا يحتـــاج إلـــى صيانة متكررة مقارنة بمحـــرك الاحتـــراق الـــداخلي (البنزين والديزل) ولا يحتاج إلى قطع تبديلية.

المراجع

1 - الدكتور علي حمزة ، "النظم الشمسية الكهروضوئية تحليل وتصميم"، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، منشورات جامعة دمشق، 2009 .

2 - الدكتور عباس صندوق، "تصميم محرك ذي مقاومة مغناطيسية متغيرة لاستخدامه في وسائل النقل، وبخاصة في السيارة الكهربائية" دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة الطاقة الكهربائية، منشورات جامعة دمشق، 2005.

3 - الدكتور هاغوب بوغوص ، الدكتور محي الدين الدسوقي، "آلات التيار المستمر"، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، منشورات جامعة دمشق، 2000.

4 - J., M., Pearce, "Basic Physics and Materials Science of Solar Cells".

5 - S.A. Hossain, I. Husain, B. Lequesne, A. Omekanda, and H. Klode, “Controlling an electric motor”, Patent application # 20030201749, Apr. 30, 2002.

6 - Mohan, N., Undeland, T. M. and Robbins, W.P. Power,” electronics: converters, applications, and design”, John Wiley & Sons, New York, 2nd edition, 1995.

7 - T., Markvart,”Solar Electricity, second edition”, University of Southampton, UK. 2005.

8 – S., Round, "UC EV3 – Update on MR2 Project ", Dept. Electrical & Electronic Engineering, University of Canterbury, Feb 2004.

9 – K., Sheibani, O., Alani,” Solar Car Experience”, King Saud University, Faculty of Science, Rhiad, 2000.

10 - G., Maggetto, P., Van den Bossche, “Inductive Automatic Charging: The Way to Safe, Efficient and User-Friendly Electric Vehicle Infrastructure”, Vrije Universiteit Brussel, 2005

11 - M., Ryan, R., Coup, “A Universal, Inductively Coupled Battery Charger for Robot Power Supplies”, the University of Auckland, School of Engineering, 2005.

12 - www.\Solar Electric car\Solar Cars - Resources and History of Solar Cars.mht

13 - www.about.com\Solar Electric car\Solar Panels.mht

14- www.Curtisinst.com, " Mosefet Electronic Motor Speed Controllers", 1999.

15 – www. Virtualvillage.com.uk/Items/007808-030?&caSKU=007808-030&caTitle=3,"30A 48V Solar Regulator ", 2009

16 - S., Mulukutla , “ Electrical Machines – Steady State Theory and Dynamic Performances “, West Publisher Company, 1994.

17 - www.\Solar Electric car\Solar Cars - Resources and History of Solar Cars.mht.

18 - J., M., Pearce, "Basic Physics and Materials Science of Solar Cells"

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2009/9/2.