مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (36) العدد (3) 2014
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (36) No. (3) 2014

تحسين أداء الألواح الشمسية باستخدام عواكس مسطحة

الدكتور رامـــي جـــورج*
الدكتور مســعود صبيــح**
إسماعيل عيسى***

(تاريخ الإيداع 8 / 4 / 2014. قُبِل للنشر في 19/ 5 / 2014)

□ ملخّص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير إضافة عواكس مسطحة إلى الألواح الشمسية الموجودة في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين من أجل تحديد زوايا ميلها الفضلى لتحسين أداء الألواح الشمسية خلال كامل ساعات النهار بزيادة كثافة الإشعاع الشمسي الساقط عليها.

أظهرت نتائج البحث أن زاوية الميل الفضلى عن الشاقول للعاكس العلوي صيفاً هي °15 للخلف حيث حققت أعلى نسبة تحسن في القدرة الكهربائية للوح الشمسي مقدارها [%]13 بينما شتاءً كانت هذه الزاوية هي °10 للأمام والتي حققت أعلى نسبة تحسن ومقدارها [%]10.5.

وأظهرت نتائج البحث أن زاوية الميل الفضلى عن الأفق للعاكس السفلي صيفاً هي °35 حيث حصلنا على أعلى نسبة تحسن في القدرة الكهربائية للوح الشمسي مقدارها [%]17.5 بينما شتاءً كانت هذه الزاوية هي °10 والتي حققت أعلى نسبة تحسن ومقدارها [%]11.1.

وأظهرت نتائج البحث أيضاً أنه عند إضافة عاكسين معاً للوح الشمسي علوي وسفلي وفق زاويا الميل الموافقة حصلنا على نسبة تحسن في القدرة الكهربائية صيفاً مقدارها [%]20.3 وشتاء مقدارها [%]18.

الكلمات المفتاحية: طاقة شمسية، ألواح شمسية، عواكس مسطحة.

* أستاذ – قسم هندسة القوى الميكانيكية– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية
** أستاذ – قسم هندسة الطاقة الكهربائية– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين– اللاذقية– سورية
*** طالب دراسات عليا (ماجستير) – قسم هندسة القوى الميكانيكية– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (36) العدد (3) 2014
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (36) No. (3) 2014

Improving the Performance of Solar Panels Using Flat Reflectors

Dr. Rami George*
Dr. Massoud Sabyh**
Esmail Issa***

(Received 8 / 4 / 2014. Accepted 19 / 5 / 2014)

□ ABSTRACT □

The objective of this investigation is to study of influence of adding flat reflector to solar panels located at electrical and mechanical engineering faculty in Tishreen university to determine the optimum tilt angles of reflectors for improving the performance of solar panels during the whole day by increasing incident solar radiation intensity on solar panels.

This investigation showed that the optimum tilt angle of upper reflector in summer is 15° backwards vertical where the improvement ratio in electrical power about 13[%] whereas in winter it is 10° towards vertical where the improvement ratio in electrical power about 10.5[%].

This investigation showed that the optimum tilt angle of down reflector in summer is 35° from horizontal where the improvement ratio in electrical power about 17.5[%] whereas in winter it is 10° from horizontal where the improvement ratio in electrical power about 11.1[%].

This investigation showed that using two reflectors together upper and down the solar panel with adequate tilt angles we get an improvement ratio in electrical power about 20.3[%] in summer and 18[%] in winter.

Key words: Solar Energy, Solar Panels, Flat Reflectors.

* **Professor, Mechanical Power Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
** **Professor, Electrical Power Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria**
*** **Postgraduate student, Mechanical Power Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمـة:

إن تزايد الطلب على الطاقة الكهربائية اليوم، وارتفاع سعر المشتقات النفطية اللازمة وانخفاض الاحتياطي لها، فضلاً عن صعوبة الحصول عليها. مشكلات باتت واقعاً يهدد استقرار الطاقة في العالم مما دفع إلى البحث عن بدائل جديدة ومتجددة تكون متوفرة بكثرة في بلادنا كالطاقة الشمسية التي لم يتم استغلالها بشكل جيد وملموس حتى الآن. وبالتالي فقد أصبح استخدام الطاقة الشمسية في الوقت الحاضر لتغذية الأحمال الكهربائية ليس أمراً ملحاً فقط وإنما أمراً حتمياً يجب العمل عليه.

غير أن تراجع مردود الألواح الشمسية (المتوفرة عالمياً بين أيدينا حالياً) عندما لا تكون شدة الأشعة الشمسية الساقطة كافية، فضلاً عن مردودها المصنعي المنخفض أساساً حيث لا تقدم الخلايا الشمسية استطاعتها التصميمية القصوى إذا لم تتلق الأشعة الشمسية الكافية والتي لا تتحقق إلا في فترة قصيرة خلال فترة الظهيرة الشمسية وفي أيام محدودة من السنة ومن ثم حاجتنا إلى استخدام مساحات أكبر للألواح في حقول التوليد الكهروشمسية. كل ذلك دفعنا في سياق هذا البحث إلى إيجاد طريقة تحقق قيماً عظمى للأشعة الضوئية قريبة من قيمة الأشعة الأعظمية ظهراً [W/m^2] 1000ولكن على مدار اليوم خلال معظم ساعات النهار؛ وذلك لتحقيق المردود الأقصى الخاص بكل نوع من الألواح الشمسية وبشكل دائم طيلة النهار.

وقد تم في هذا الصدد إجراء عدة محاولات للتغلب على تلك المشكلة كاستخدام أجهزة تعقب شمسية مزودة بحساسات ضوئية ومحركات كهربائية (DC–MOTOR) تستمد طاقتها من الألواح نفسها، وتساعد في توجيه الألواح باتجاه الشمس مباشرة على مدار الساعة. ولكن حتى هذه الطريقة لم تفلح في التوصل إلى الاستطاعة الأعظمية خارج أوقات الظهيرة الشمسية وذلك لأن المتعقبات لا تستطيع مضاعفة الطيف الضوئي الوارد إلى الألواح وأكثر ما يمكنها تقديمه هو تحسين زاوية ورود الأشعة الشمسية إلى اللوح وجعلها قائمة ومن ثم إيصال الإشعاع المتوافر بقيمته الآنية فقط. فضلاً عن الاحتمالية الكبيرة للأعطال في هذا النوع من الأجهزة لأنها ستتضمن حساسات ودارات الكترونية قابلة للتلف ومحركات كهربائية وميكانيزمات تحريك تحتاج أصلاً إلى صيانات دورية، وهي معرضة لأعطال مفاجئة لا يمكن ملاحظتها فوراً.

لذلك وجب البحث عن حل هندسي (أقل تعقيداً وتكاليف مادية، وأكثر كفاءَةً وبساطة، ولا يحتاج لصيانات دورية، وسهل الاستخدام، وبمتناول الجميع، ولا يستهلك أي مقدار من طاقة الألواح المنتجة، ولا يتسبب بأي عطب في تلك الألواح الحساسة أصلاً). فكانت فكرة هذا البحث التي من المفروض أن تحقق نجاحاً هندسياً يتفوق على باقي الحلول السابقة.

أجريت الكثير من الأبحاث بهدف تحسين استطاعة الخرج للألواح الشمسية، منها دراسة تجريبية لتحديد زاوية ميل اللوح الشمسي المثلى للحصول على أفضل أداء [1] و[2] و[3]. هناك أبحاث درست أهمية تبريد اللوح الشمسي من أجل تحسين أدائه [4] و[5] و[6]. أجريت بعض الأبحاث لتحليل أداء الألواح الشمسية المدمجة مع اللواقط الشمسية الحرارية من أجل تزويد الكهرباء والماء الساخن للأبنية ومن ثم تحسين أدائها الإجمالي [7] و[8] و[9] و[10].

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية هذا البحث في محاولته التوصل إلى أجهزة توليد كهروشمسية غير تقليدية وبسيطة للغاية وذات كفاءة عالية قدر الإمكان بإضافة عواكس خارجية بسيطة من أجل تحقيق الاستطاعة الأعظمية لفترات أطول خلال اليوم ومن ثم تحسين أداء عمل هذه الألواح بأقل كلفة ممكنة وبأبسط وسائل متاحة لا تحتاج إلى صيانات دورية أو حل مشاكل فنية قد تتعرض لها في المستقبل.

كما سيتمكن جميع الباحثين في حقل الطاقة الشمسية من الاستفادة من نتائج هذا البحث وسوف تحفز على إجراء أبحاث مشابهة في مختلف مساحات القطر، وأيضاً أبحاث مماثلة للمجمعات الشمسية الحرارية التي تحتاج لمثل هذه الدراسة. وهو ما سوف يساهم في استثمار الطاقات المتجددة في سورية والإضاءة على أهمية الاستفادة منها بما يؤهلها لكي تؤدي دوراً جيداً في دعم الاقتصاد الوطني. ومن ثم ترشيد استهلاك الطاقة التقليدية والتخلص من آثارها السلبية الذي تُعَدُّ المطلب الأساسي للباحثين في الوقت الحاضر.

يهدف هذا البحث إلى إجراء دراسة تجريبية لتأثير إضافة عواكس خارجية مسطحة إلى الألواح الشمسية على استطاعة خرجها. حيث سيتم تحديد زوايا الميل الأفضل للعواكس المسطحة المراد إضافتها للألواح الشمسية والتي ستحقق تكثيفاً أعظمياً للإشعاع الشمسي على كامل سطح اللوح خلال الساعات التي تكون فيها شدة الإشعاع الشمسي منخفضة. وهذا يؤدي بدوره إلى تحسين الأداء اليومي الإجمالي للألواح الشمسية، والوصول إلى الاستطاعة الأعظمية لأطول فترة ممكنة من النهار، وبالنتيجة إلى تخفيض مساحة الألواح الشمسية المستخدمة وتخفيض الكلفة الاقتصادية اللازمة للحصول على القيمة نفسها من القدرة الكهربائية في الأنظمة الكهروشمسية التقليدية (دون عواكس).

طرائق البحث ومواده:

تم في هذا البحث اعتماد منهج تجريبي وعملي بحت حيث تم تركيب مجموعة ألواح شمسية باتجاه الجنوب وبزاوية ميل ثابتة عن الأفق (30°). هذه الألواح من نوع (Schott solar) الألمانية الصنع، الاستطاعة الأعظمية لكل منها 180[W] عند الظروف المثالية من حرارة وشدة أشعة شمسية، أبعادها [m²] 0.81×1.62 مؤلفة من (72) خلية شمسية موصولة على التوازي لتقديم جهد خرج DC–[V] 36.3 وتيار DC–[A] 4.95 تحت الحمل الكهربائي المحدد.

تم وصل هذه الألواح إلى حمولات كهربائية، كما تم استخدام مقاييس لمعرفة قيمة الجهد الكهربائي الناتج والتيار المستجر وحساسات حرارية لقياس درجة حرارة الألواح والجو المحيط بها. بالإضافة إلى مقياس شدة الإشعاع الشمسي من نوع (DBTU 1300) أمريكي المصدر، لقياس شدة الأشعة الساقطة على الألواح، كما هو موضح في الشكل (1).

تم تزويد هذه الألواح بعواكس مسطحة (وهي عبارة عن مرايا زجاجية عادية) تركب بشكل مواجه تماماً للألواح من الأعلى والأسفل وبزوايا ميل مختلفة. وقد ترك أحد الألواح دون عواكس من أجل المقارنة مع الحالات السابقة. وأجريت الاختبارات على جميع الحالات من أجل التوصل إلى أفضل حالة تجريبية ومن ثم اعتماد النموذجِ ذي استطاعة الخرج الأعلى في التطبيقات العملية مستقبلاً.

الشكل (1) الألواح الشمسية مع العواكس المسطحة وأجهزة القياس المستخدمة في التجارب.

النتائج والمناقشة:

تأثير إضافة عاكس علوي إلى اللوح الشمسي:

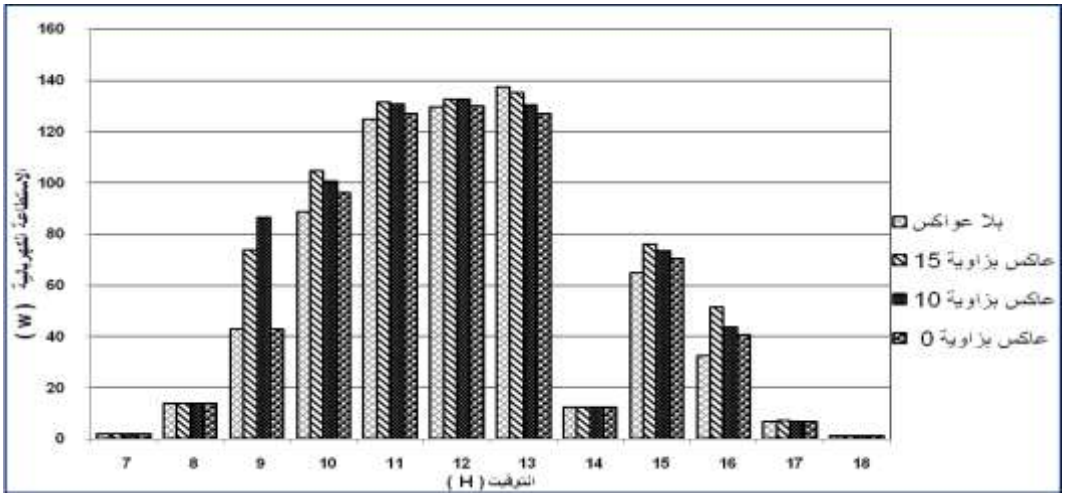
أجريت التجارب في أيام مختلفة من أشهر الصيف حيث تمت إضافة عاكس علوي إلى اللوح بزوايا ميل مختلفة عن الشاقول. يبين الجدول (1) نتائج التجارب عند هذه الأيام والذي يوضح نسب التحسن في القدرة الكهربائية الناتجة عن إضافة عاكس علوي مائل بالزاوية الفضلى لكل يوم.

كما يبين الشكل (2) تغير استطاعة خرج اللوح الشمسي خلال ساعات نهار 2013/7/3 دون ومع إضافة عاكس علوي بزوايا ميل مختلفة (15° , 10° , 0°) وهو اليوم الذي تحققت فيه أعلى نسبة تحسن في القدرة الكهربائية صيفاً. نلاحظ من الشكل ازدياد القدرة الكهربائية الناتجة في أغلب ساعات النهار، حيث وجدنا أن القدرة الكهربائية اليومية الناتجة من اللوح دون إضافة عاكس هي [Wh] 657، بينما كانت قيم القدرة الكهربائية اليومية الناتجة من اللوح عند إضافة عاكس علوي هي [Wh] (742, 734, 671) ومن ثم كانت نسب التحسن في القدرة الكهربائية الناتجة هي [%]13 , [%]11.7 , [%]2.1 عند زوايا ميل عن الشاقول (15°,10°, 0°) على الترتيب.

نلاحظ أن القيمة الفضلى لزاوية ميل العاكس العلوي هي (15º) بالنسبة للشاقول (إلى الخلف من اللوح) حيث تحقق أعلى نسبة تحسن في القدرة الكهربائية ومقدارها [%] 13.

الجدول (1) نسب تحسن القدرة الكهربائية في أيام مختلفة من فصل الصيف والزوايا الموافقة لهذه النسب

زاوية الميل الفضلى للعاكس العلوي عن الشاقول إلى خلف اللوح الشمسي	نسبة تحسن القدرة الكهربائية اليومية عند الزاوية الفضلى للعاكس العلوي	تاريخ إجراء التجارب
17°	11.7[%]	11 / 6 / 2013
15°	13[%]	3 / 7 / 2013
12°	10.1[%]	20 / 8 / 2013

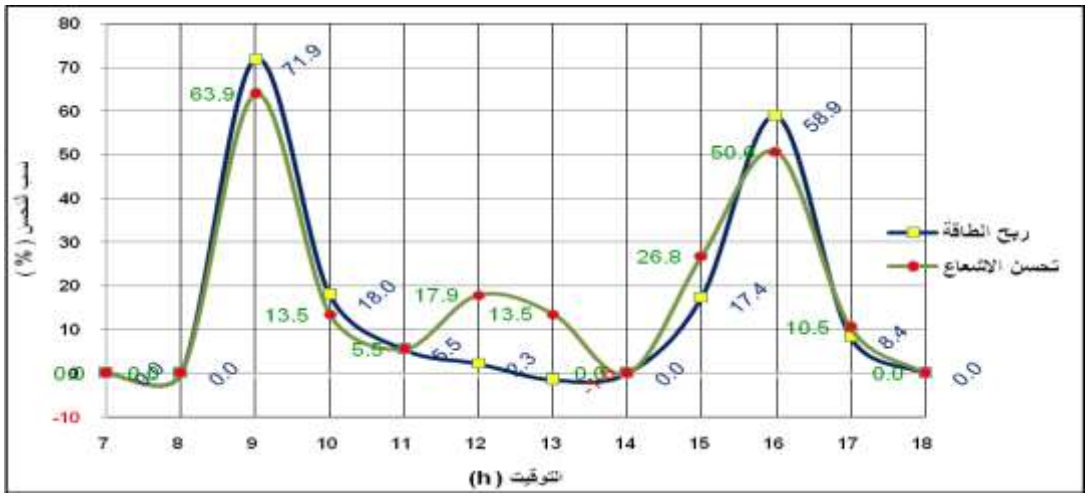


الشكل (2) تغير استطاعة الخرج الكهربائية للوح الشمسي في يوم 2013 /7 /3 بدون ومع إضافة عاكس علوي بزوايا ميل مختلفة.

يبين الشكل (3) تغير نسب التحسن في كل من استطاعة الخرج الكهربائية وشدة الإشعاع الشمسي عند زاوية ميل العاكس العلوي (°15)، حيث وجدنا أن أعلى نسبة تحسن في الاستطاعة الكهربائية كانت [%]71.9 بينما كانت أعلى نسبة تحسن في الإشعاع الشمسي هي [%]63.9.

كما وجدنا أن الاستفادة من المرآة في الحالات السابقة جميعها كانت تبدأ اعتباراً من الساعة التاسعة صباحاً وتتوقف بدءاً من الساعة الخامسة مساءً، وهذا بسبب موقع الشمس المتغير خلال النهار (تأثير زاوية الانحراف الأفقي للشمس عن الجنوب).

نلاحظ أيضاً ارتفاع نسبة التحسن في شدة الإشعاع الساقط على اللوح خلال ساعات الصباح وبعد الظهر وذلك لأن زاوية السقوط لإشعاع الشمسي المنعكس على اللوح الشمسي قبل الظهر وبعده أصغر منها عند الظهر مما يؤدي إلى زيادة أكبر في شدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللوح ومن ثم تحسن أكبر في القدرة الكهربائية المولدة، بالإضافة إلى أن درجة حرارة اللوح الشمسي قبل وبعد الظهر أخفض منها عند فترة الظهيرة وبالتالي تحسن إضافي للقدرة الكهربائية المولدة.



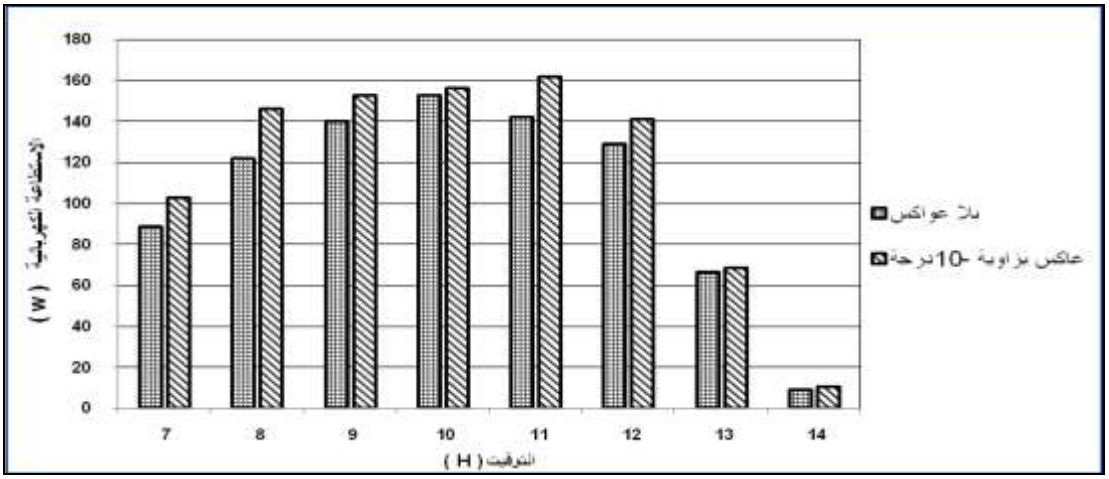
الشكل (3) تغير نسب التحسن في استطاعة الخرج الكهربائية وشدة الإشعاع الشمسي عند زاوية ميل العاكس العلوي (°15).

كما تم إجراء عدة تجارب لإضافة عاكس علوي في أيام مختلفة من فصل الشتاء وذلك من أجل زوايا ميل مختلفة عن الشاقول؛ فقد وجدنا أن زاوية ميل العاكس العلوي الفضلى هي (10°) بالنسبة للشاقول (إلى الأمام من اللوح). يبين الجدول (2) نتائج التجارب عند هذه الأيام والذي يوضح نسب التحسن في القدرة الكهربائية الناتجة عن إضافة عاكس علوي مائل بالزاوية الفضلى لكل يوم.

كما يبين الشكل (4) تغير استطاعة الخرج الكهربائية للوح الشمسي بتاريخ 2013/12/9 دون ومع عاكس علوي بزاوية ميل(10º)عن الشاقول وهو اليوم الذي تحققت فيه أعلى نسبة تحسن في القدرة الكهربائية شتاءً. نلاحظ من الشكل ازدياداً في استطاعة خرج اللوح عند إضافة العاكس العلوي في أغلب ساعات النهار، حيث وجدنا أن القدرة الكهربائية اليومية الناتجة من اللوح دون إضافة عاكس هي [Wh]851، بينما كانت قيمة القدرة الكهربائية اليومية الناتجة من اللوح عند إضافة عاكس علوي هي [Wh]940 وكانت نسبة التحسن في القدرة الكهربائية الناتجة هي [%] 10.5عند زاوية الميل المثالية (10º).

الجدول (2) نسب تحسن القدرة الكهربائية في أيام مختلفة من فصل الشتاء والزوايا الموافقة لهذه النسب

زاوية الميل الفضلى للعاكس العلوي عن الشاقول إلى أمام اللوح الشمسي	نسبة تحسن القدرة الكهربائية اليومية عند الزاوية الفضلى للعاكس العلوي	تاريخ إجراء التجارب
8°	9.3[%]	21 / 11 / 2013
10°	10.5[%]	9 / 12 / 2013
12°	10[%]	8 / 1 / 2014

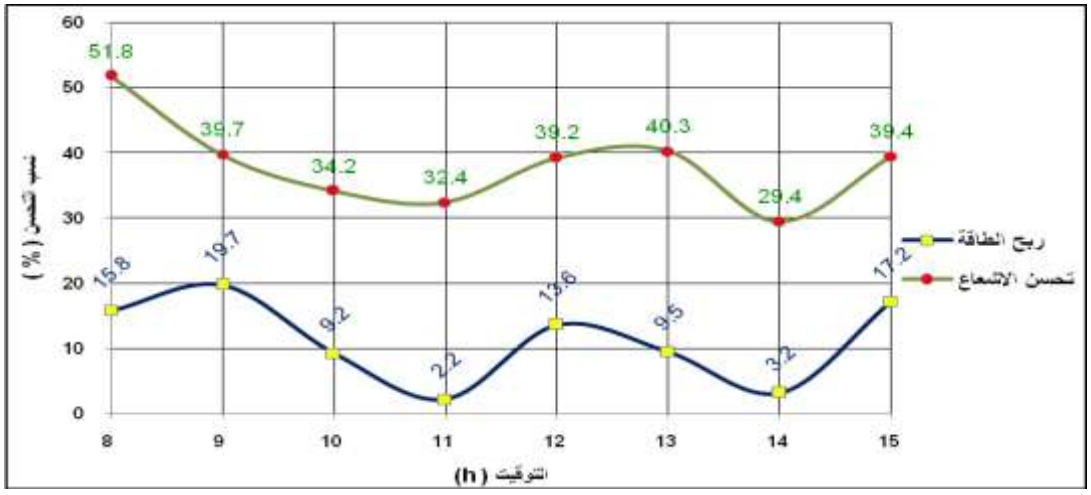


الشكل (4) تغير استطاعة الخرج الكهربائية للوح الشمسي بتاريخ 9/12/2013
بدون ومع إضافة عاكس علوي بزاوية ميل (10°) عن الشاقول (إلى الأمام من اللوح).

يبين الشكل (5) تغير نسب تحسن كل من استطاعة الخرج الكهربائية وشدة الإشعاع الشمسي عند زاوية ميل العاكس العلوي (10°). حيث نلاحظ من الشكل أن أعلى نسبة تحسن في استطاعة الخرج هي [%]51.8 بينما كانت أعلى نسبة تحسن في الإشعاع الشمسي هي [%]19.7.

كما وجدنا أن الاستفادة من المرآة في الحالات السابقة جميعها كانت تبدأ اعتباراً من الساعة الثامنة صباحاً وتتوقف بعد الساعة الثالثة مساءً، وهذا بسبب موقع الشمس المتغير خلال النهار (تأثير زاوية الانحراف الأفقي للشمس عن الجنوب).

نلاحظ أيضاً ارتفاع نسبة التحسن في شدة الإشعاع الساقط على اللوح خلال ساعات الصباح وبعد الظهر؛ وذلك لأن زاوية السقوط للشعاع المنعكس على اللوح الشمسي قبل الظهر وبعده أصغر منها عند الظهر مما يؤدي إلى زيادة أكبر في شدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللوح ومن ثم تحسن أكبر في القدرة الكهربائية المولدة، بالإضافة إلى أن درجة حرارة اللوح الشمسي قبل الظهر وبعده أخفض منها عند فترة الظهيرة ومن ثم تحسن إضافي للقدرة الكهربائية المولدة.



الشكل (5) تغير نسب التحسن في استطاعة الخرج الكهربائية وشدة الإشعاع الشمسي عند زاوية ميل العاكس العلوي (10°) إلى الأمام

تأثير إضافة عاكس سفلي إلى اللوح الشمسي:

أجريت التجارب في أيام مختلفة من أشهر الصيف حيث تمت إضافة عاكس سفلي إلى اللوح بزوايا ميل مختلفة عن الأفق. يبين الجدول (3) نتائج التجارب عند هذه الأيام والذي يوضح نسب التحسن في القدرة الكهربائية الناتجة عن إضافة عاكس سفلي مائل بالزاوية الفضلى لكل يوم.

كما يبين الشكل (6) تغير استطاعة خرج اللوح الشمسي خلال ساعات نهار 2013/7/3 دون ومع إضافة عاكس سفلي بزوايا ميل مختلفة عن الأفق هي (35°, 50°, 60°) وهو اليوم الذي تحققت فيه أعلى نسبة تحسن في القدرة الكهربائية صيفاً.

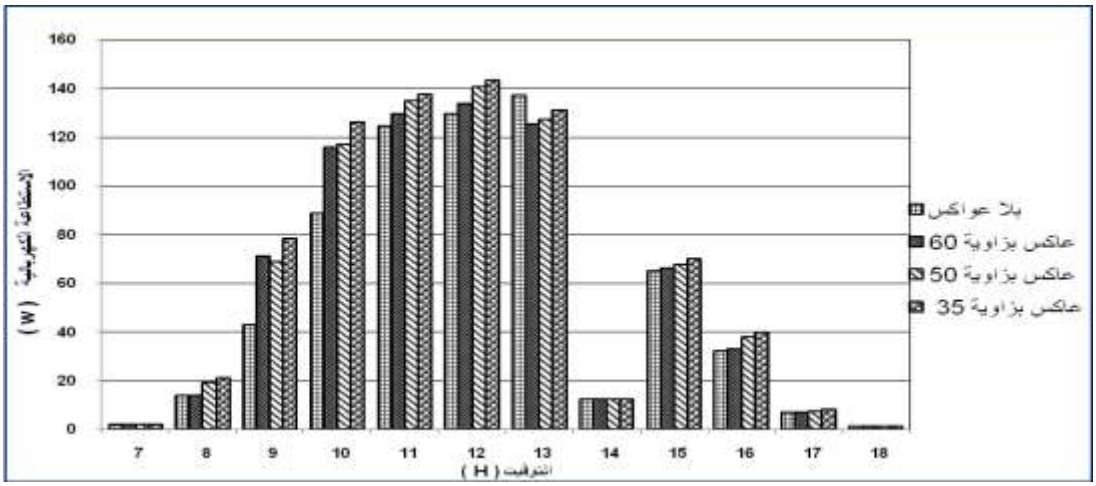
-ملاحظة: إن هذه التجارب لدراسة تأثير إضافة العاكس السفلي إلى اللوح الشمسي تمت بالتواريخ نفسها التي أجريت فيها دراسة تأثير إضافة عاكس علوي إلى اللوح حيث تمت الاختبارات على لوحين مختلفين.

نلاحظ من الشكل (6) ازدياد الاستطاعة الكهربائية الناتجة في أغلب ساعات النهار، حيث وجدنا أن القدرة الكهربائية اليومية الناتجة من اللوح دون إضافة عاكس هي [Wh] 657، بينما كانت قيم القدرة الكهربائية اليومية الناتجة من اللوح عند إضافة عاكس سفلي هي [Wh] (712, 737, 771) ومن ثم كانت نسب التحسن في القدرة الكهربائية الناتجة هي[%]17.4 ,[%]12.1 ,[%] 8.3 عند زوايا ميل عن الأفق(35°, 50°, 60°) على الترتيب.

نلاحظ أن القيمة الفضلى لزاوية ميل العاكس السفلي هي (35º) بالنسبة للأفق حيث حققت أعلى نسبة تحسن في القدرة الكهربائية ومقدارها [%]17.4.

الجدول (3) نسب تحسن القدرة الكهربائية في أيام مختلفة من فصل الصيف والزوايا الموافقة لهذه النسب

زاوية الميل الفضلى للعاكس السفلي عن الأفق إلى أمام اللوح الشمسي	نسبة تحسن القدرة الكهربائية اليومية عند الزاوية الفضلى للعاكس السفلي	تاريخ إجراء التجارب
33°	16[%]	11 / 6 / 2013
35°	17.4[%]	3 / 7 / 2013
34°	15.1[%]	20 / 8 / 2013

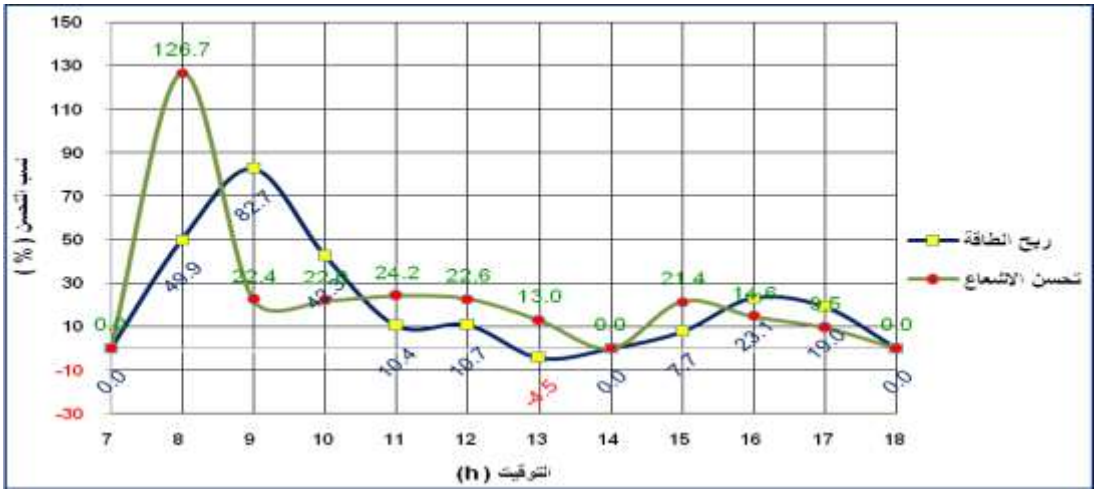


الشكل (6) تغير استطاعة الخرج الكهربائية للوح الشمسي بتاريخ 3/7/2013 دون ومع إضافة عاكس سفلي بزوايا ميل مختلفة.

يبين الشكل (7) تغير نسب التحسن في كل من استطاعة الخرج الكهربائية وشدة الإشعاع الشمسي عند زاوية ميل العاكس السفلي (°35)، حيث وجدنا أن أعلى نسبة تحسن في الاستطاعة الكهربائية كانت [%]82.7 بينما كانت أعلى نسبة تحسن في الإشعاع الشمسي هي [%]126.7.

كما وجدنا أن الاستفادة من المرآة في الحالات السابقة جميعها كانت تبدأ اعتباراً من الساعة الثامنة صباحاً وتتوقف بدءاً من الساعة السادسة مساءً، وهذا بسبب موقع الشمس المتغير خلال النهار (تأثير زاوية الانحراف الأفقي للشمس عن الجنوب). وهذه المدة أطول منها في حالة استخدام عاكس علوي.

نلاحظ أيضاً ارتفاع نسبة التحسن في شدة الإشعاع الساقط على اللوح خلال ساعات الصباح وبعد الظهر وذلك لأن زاوية السقوط للشعاع المنعكس على اللوح الشمسي قبل الظهر وبعده أصغر منها عند الظهر مما يؤدي إلى زيادة أكبر في شدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللوح ومن ثم تحسن أكبر في القدرة الكهربائية المولدة، بالإضافة إلى أن درجة حرارة اللوح الشمسي قبل الظهر وبعده أخفض منها عند فترة الظهيرة ومن ثم تحسن إضافي للقدرة الكهربائية المولدة.



الشكل (7) تغير نسب التحسن في استطاعة الخرج الكهربائية وشدة الإشعاع الشمسي عند زاوية ميل العاكس السفلي (35º).

كما تم إجراء عدة تجارب لإضافة عاكس سفلي في فصل الشتاء من أجل زوايا ميل مختلفة عن الأفق، فقد وجدنا أن زاوية ميل العاكس السفلي الفضلى هي (10°) بالنسبة للأفق. يبين الجدول (4) نتائج التجارب عند هذه الأيام والذي يوضح نسب التحسن في القدرة الكهربائية الناتجة عن إضافة عاكس سفلي مائل بالزاوية الفضلى لكل يوم.

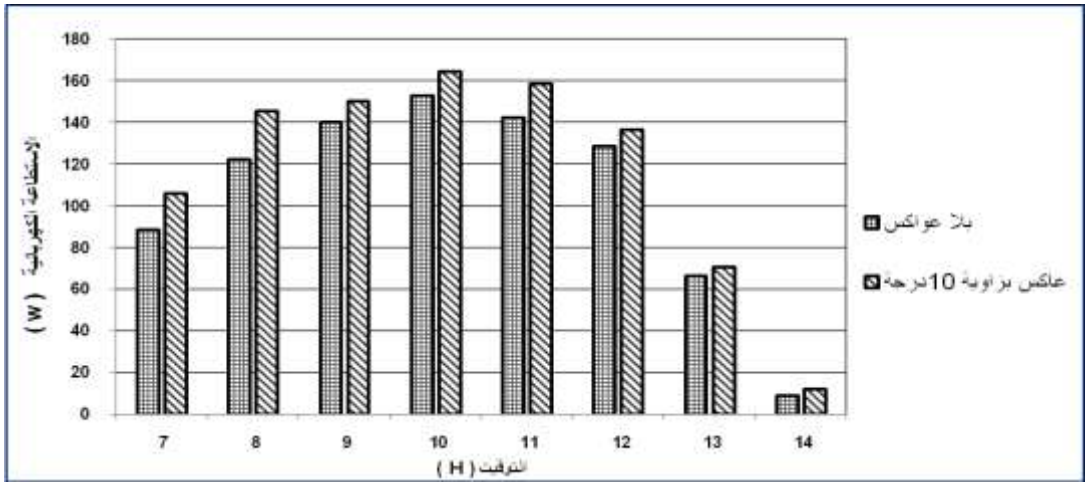
ويبين الشكل (8) تغير استطاعة الخرج الكهربائية للوح الشمسي بتاريخ 2013/12/9 دون ومع عاكس سفلي بزاوية ميل(10°)عن الأفق.

-ملاحظة: إن هذه التجارب لدراسة تأثير إضافة العاكس السفلي إلى اللوح الشمسي قد تمت بالتواريخ نفسها التي أجريت فيها دراسة تأثير إضافة عاكس علوي إلى اللوح حيث تمت الاختبارات على لوحين مختلفين.

نلاحظ من الشكل ازدياداً في استطاعة خرج اللوح عند إضافة العاكس السفلي في أغلب ساعات النهار، حيث وجدنا أن القدرة الكهربائية اليومية الناتجة من اللوح دون إضافة عاكس هي [Wh]851، بينما كانت قيمة القدرة الكهربائية اليومية الناتجة من اللوح عند إضافة عاكس سفلي هي [Wh]945 وكانت نسبة التحسن في القدرة الكهربائية الناتجة هي [%]11.1 عند زاوية الميل المثالية للعاكس السفلي عن الأفق (10º).

الجدول (4) نسب تحسن القدرة الكهربائية في أيام مختلفة من فصل الشتاء والزوايا الموافقة لهذه النسب.

زاوية الميل الفضلى للعاكس السفلي عن الأفق إلى أمام اللوح الشمسي	نسبة تحسن القدرة الكهربائية اليومية عند الزاوية الفضلى للعاكس السفلي	تاريخ إجراء التجارب
13°	10.5[%]	21 / 11 / 2013
10°	11.1[%]	9 / 12 / 2013
8°	10.2[%]	8 / 1 / 2014

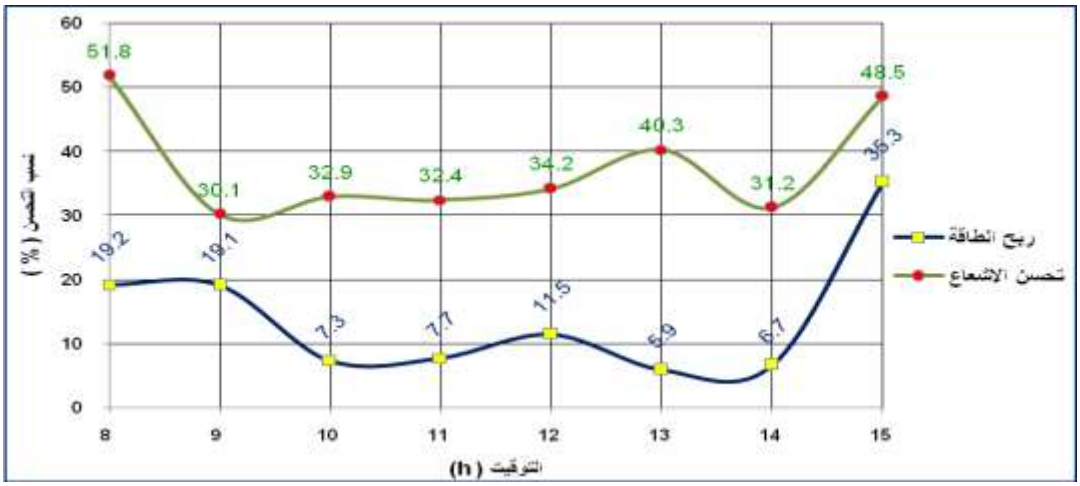


الشكل (8) تغير استطاعة الخرج الكهربائية للوح الشمسي بتاريخ 2013 / 12/ 9 بدون ومع إضافة عاكس سفلي بزاوية ميل (°10) بالنسبة للأفق.

يبين الشكل (9) تغير نسب تحسن استطاعة الخرج الكهربائية وشدة الإشعاع الشمسي عند زاوية ميل العاكس السفلي بالنسبة للأفق(°10). حيث نلاحظ من الشكل أن أعلى نسبة تحسن في استطاعة الخرج هي [%]35.3 بينما كانت أعلى نسبة تحسن في الإشعاع الشمسي هي [%]51.8.

كما وجدنا أن الاستفادة من المرآة في الحالات السابقة جميعها كانت تبدأ اعتباراً من الساعة الثامنة صباحاً وتتوقف بعد الساعة الثالثة مساءً، وهذا بسبب موقع الشمس المتغير خلال النهار (بسبب زاوية الانحراف الأفقي للشمس عن الجنوب).

نلاحظ أيضاً ارتفاع نسبة التحسن في شدة الإشعاع الساقط على اللوح خلال ساعات الصباح وبعد الظهر وذلك لأن زاوية السقوط للشعاع المنعكس على اللوح الشمسي قبل الظهر وبعده أصغر منها عند الظهر مما يؤدي إلى زيادة أكبر في شدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللوح ومن ثم تحسن أكبر في القدرة الكهربائية المولدة، بالإضافة إلى أن درجة حرارة اللوح الشمسي قبل الظهر وبعده أخفض منها عند فترة الظهيرة ومن ثم تحسن إضافي للقدرة الكهربائية المولدة.



الشكل (9) تغير نسب التحسن في استطاعة الخرج الكهربائية وشدة الإشعاع الشمسي عند زاوية ميل العاكس السفلي (°10).

تأثير إضافة عاكسين معاً سفلي وعلوي إلى اللوح الشمسي:

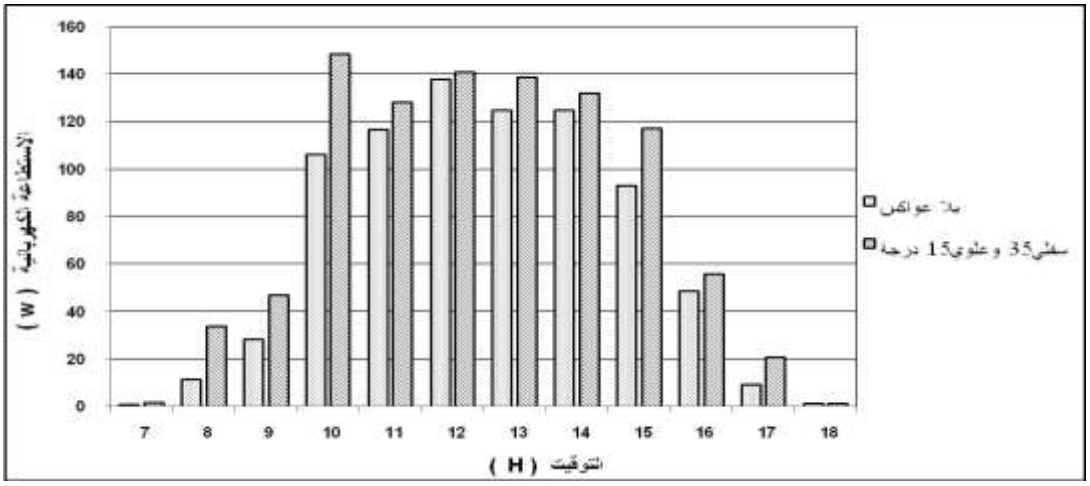
أجريت التجارب في أيام مختلفة من أشهر الصيف حيث تمت إضافة عاكسين معاً علوي وسفلي إلى اللوح. يبين الجدول (5) نتائج التجارب عند هذه الأيام والذي يوضح نسب التحسن في القدرة الكهربائية الناتجة عن إضافة عاكسين معاً مائلين بالزوايا الفضلى لكل يوم.

كما يبين الشكل (10) تغير استطاعة خرج اللوح الشمسي في يوم 2013/7/5 دون ومع إضافة عاكسين علوي بزاوية (°15) عن الشاقول (وراءه) وسفلي بزاوية (°35) عن الأفق (وهما الزاويتان المثاليتان لعمل العواكس صيفاً).

نلاحظ من الشكل ازدياداً في استطاعة خرج اللوح عند إضافة العاكسين معاً في أغلب ساعات النهار وأكبر من قيمتها عند استخدام عاكس مفرد في أحد طرفي اللوح، حيث وجدنا أن القدرة الكهربائية اليومية الناتجة من اللوح دون إضافة عاكس هي [Wh]804، بينما كانت قيمة القدرة الكهربائية اليومية الناتجة من اللوح عند إضافة العاكسين معاً هي [Wh]967 ومن ثم كانت نسبة التحسن في القدرة الكهربائية الناتجة هي [%] 20.3 عند زاويتي الميل آنفتي الذكر واللتين تعدان زاويتين مثاليتين لعمل المرايا العاكسة معاً ومن ثم تحققان أفضل نسبة تحسن في القدرة الكهربائية الناتجة صيفاً.

الجدول (5) نسب تحسن القدرة الكهربائية في أيام مختلفة من فصل الصيف والزوايا الموافقة لهذه النسب.

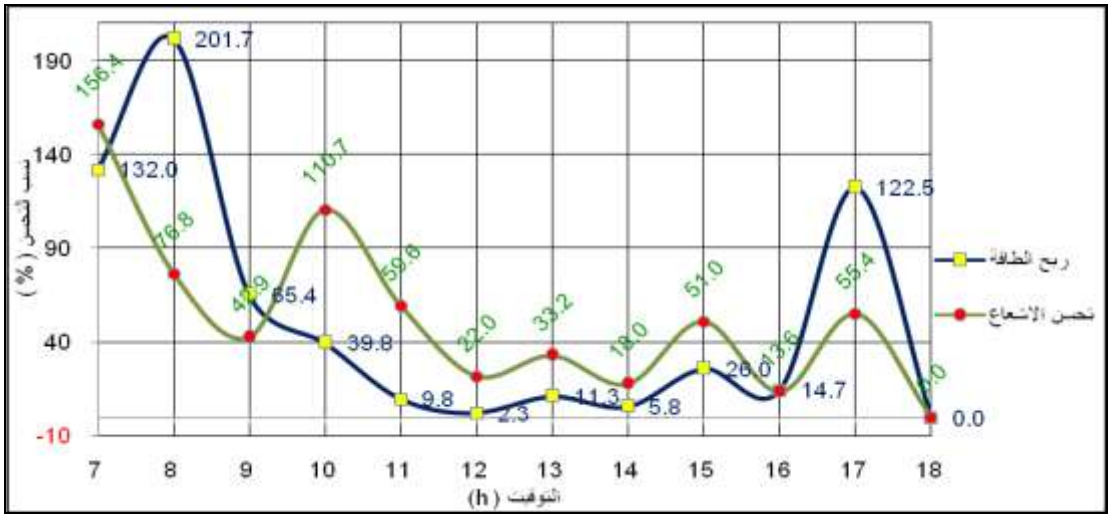
زوايا الميل الفضلى للعاكسين العلوي والسفلي معاً	نسبة تحسن القدرة الكهربائية اليومية عند الزاوية الفضلى للعاكسين معاً	تاريخ إجراء التجارب
سفلي °17 / °33 علوي	19.6[%]	15 / 6 / 2013
سفلي °15 / °35 علوي	20.3[%]	5 / 7 / 2013
سفلي °12 / °34 علوي	18.9 [%]	22 / 8 / 2013



الشكل (10) تغير استطاعة خرج اللوح الشمسي بتاريخ 5/7/2013 دون
ومع إضافة عاكسين علوي بزاوية (°15) عن الشاقول (وراءه) وسفلي بزاوية (°35) عن الأفق.

يبين الشكل (11) تغير نسب التحسن في استطاعة الخرج الكهربائية وشدة الإشعاع الشمسي عند زاويتي ميل العاكسين السفلي (35°) عن الأفق والعلوي (15°) عن الشاقول. حيث وجدنا أن أعلى نسبة تحسن في الاستطاعة الكهربائية كانت [%]201.7 بينما كانت أعلى نسبة تحسن في الإشعاع الشمسي هي [%]156.4.

كما وجدنا أن الاستفادة من المرآة في الحالات السابقة جميعها كانت تبدأ اعتباراً من الساعة السابعة صباحاً وتتوقف بدءاً من الساعة السادسة مساءً، وهذا بسبب موقع الشمس المتغير خلال النهار (تأثير زاوية الانحراف الأفقي للشمس عن الجنوب). نلاحظ أيضاً ارتفاع نسبة التحسن في شدة الإشعاع الساقط على اللوح خلال ساعات الصباح وبعد الظهر وذلك لأن زاوية السقوط للشعاع المنعكس على اللوح الشمسي قبل الظهر وبعده أصغر منها عند الظهر مما يؤدي إلى زيادة أكبر في شدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللوح ومن ثم تحسن أكبر في القدرة الكهربائية المولدة، بالإضافة لكون درجة حرارة اللوح الشمسي قبل الظهر وبعده أخفض منها عند فترة الظهيرة وبالتالي تحسن إضافي للقدرة الكهربائية المولدة.



الشكل (11) تغير نسب التحسن في استطاعة الخرج الكهربائية وشدة الإشعاع الشمسي عند زاويتي ميل العاكسين السفلي (35°) عن الأفق والعلوي (15°) عن الشاقول.

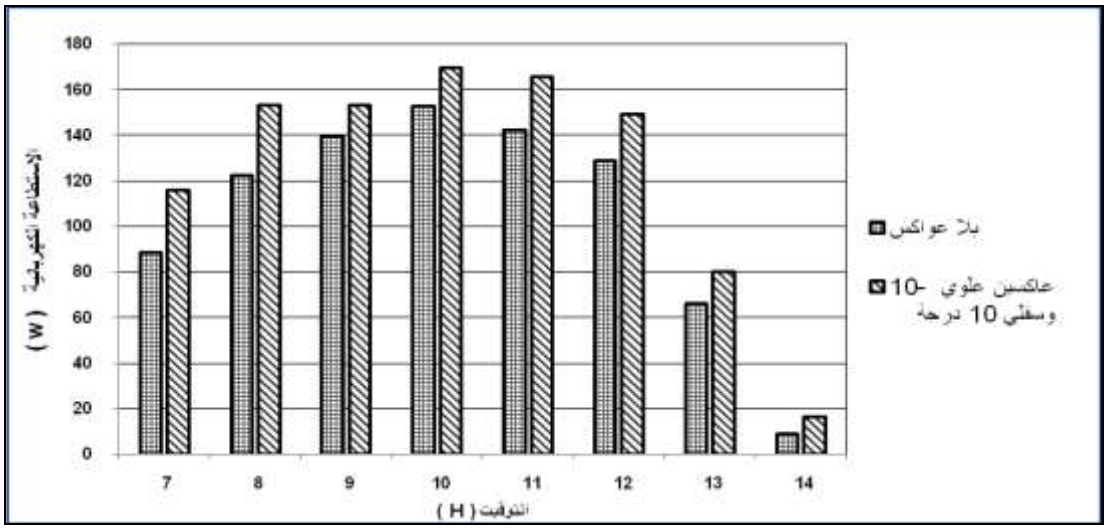
كما تم إجراء عدة تجارب لإضافة عاكسين معاً علوي وسفلي في أيام مختلفة من فصل الشتاء وذلك من أجل زوايا ميل مختلفة لكل منهما، فوجدنا أن أفضل زاويتي ميل للعاكسين معاً هما للعلوي (10°) بالنسبة للشاقول (إلى الأمام من اللوح) وللسفلي (10°) بالنسبة للأفق. يبين الجدول (6) نتائج التجارب عند هذه الأيام والذي يوضح نسب التحسن في القدرة الكهربائية الناتجة عن إضافة عاكسين مائلين معاً بالزوايا الفضلى لكل يوم.

يبين الشكل (12) تغير استطاعة الخرج الكهربائية للوح الشمسي بتاريخ 2013/12/9 دون ومع عاكسين معاً علوي بزاوية ميل (10°)عن الشاقول(للأمام منه) وسفلي بزاوية (10°) عن الأفق. نلاحظ من الشكل ازدياداً في استطاعة خرج اللوح عند إضافة العاكسين معاً في أغلب ساعات النهار وأكبر من قيمتها عند استخدام عاكس مفرد في أحد طرفي اللوح، حيث وجدنا أن القدرة الكهربائية اليومية الناتجة من اللوح دون إضافة عاكس هي [Wh]851 بينما كانت قيمة القدرة الكهربائية اليومية الناتجة من اللوح عند إضافة العاكسين معاً [Wh]1004 وكانت نسبة التحسن في

القدرة الكهربائية الناتجة هي [%]18 عند زاويتي الميل آنفتي الذكر واللتين تُعَدَّان زاويتين مثاليتين لعمل المرايا العاكسة معاً ومن ثم تحققان أفضل نسبة تحسن في القدرة الكهربائية الناتجة شتاءً.

الجدول (6) نسب تحسن القدرة الكهربائية في أيام مختلفة من فصل الشتاء والزوايا الموافقة لهذه النسب.

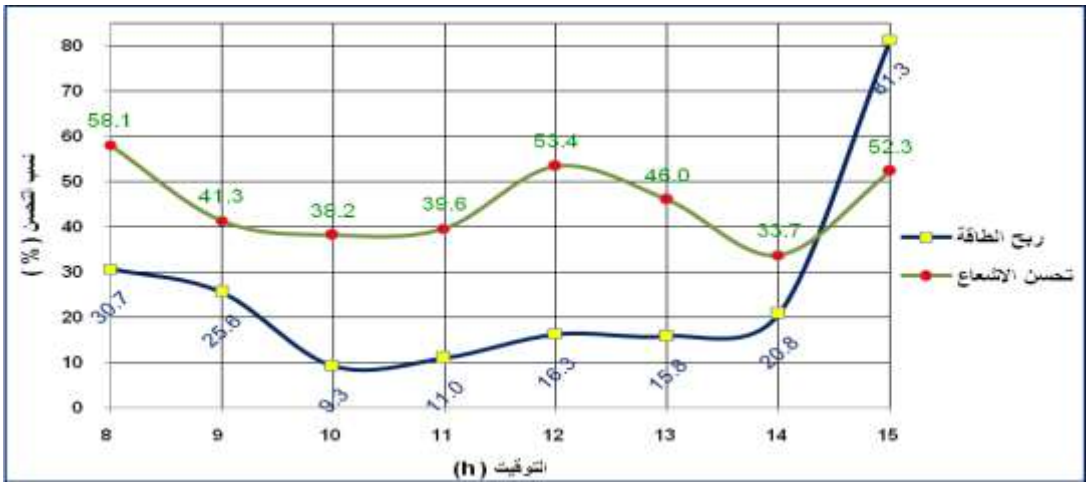
زوايا الميل الفضلى للعاكسين العلوي والسفلي	نسبة تحسن القدرة الكهربائية اليومية عند الزاوية الفضلى للعاكسين معاً	تاريخ إجراء التجارب
سفلي 13° / 8° علوي	17 [%]	21 / 11 / 2013
سفلي 10° / 10° علوي	18[%]	9 / 12 / 2013
سفلي 8° / 12° علوي	16.7 [%]	8 / 1 / 2014



الشكل (12) تغير استطاعة الخرج الكهربائية للوح الشمسي بتاريخ 2013/12/9 بدون ومع عاكسين معاً علوي بزاوية ميل (°10)عن الشاقول(للأمام منه) وسفلي بزاوية (°10) عن الأفق.

يبين الشكل (13) تغير نسب التحسن في استطاعة الخرج الكهربائية وشدة الإشعاع الشمسي عند زاويتي ميل العاكسين السفلي (°10) عن الأفق والعلوي (°10) عن الشاقول (للأمام منه). حيث وجدنا أن أعلى نسبة تحسن في الاستطاعة كانت [%]81.3 بينما كانت أعلى نسبة تحسن في الإشعاع الشمسي هي [%]58.1.

كما وجدنا أن الاستفادة من المرآة في الحالات السابقة جميعها كانت تبدأ اعتباراً من الساعة الثامنة صباحاً وتتوقف بعد الساعة الثالثة مساءً، وهذا بسبب موقع الشمس المتغير خلال النهار (بسبب زاوية الانحراف الأفقي للشمس عن الجنوب). نلاحظ أيضاً ارتفاع نسبة التحسن في شدة الإشعاع الساقط على اللوح خلال ساعات الصباح وبعد الظهر؛ وذلك لأن زاوية السقوط للشعاع المنعكس على اللوح الشمسي قبل الظهر وبعده أصغر منها عند الظهر مما يؤدي إلى زيادة أكبر في شدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللوح ومن ثم تحسن أكبر في القدرة الكهربائية المولدة، بالإضافة إلى أن درجة حرارة اللوح الشمسي قبل الظهر وبعده أخفض منها عند فترة الظهيرة ومن ثم تحسن إضافي للقدرة الكهربائية المولدة.



الشكل (13) تغير نسب التحسن في استطاعة الخرج الكهربائية وشدة الإشعاع الشمسي
عند زاويتي ميل العاكسين السفلي (10°) عن الأفق والعلوي (10°) عن الشاقول (للأمام منه).

الاستنتاجات والتوصيات:

من نتائج تجارب إضافة عواكس علوية وسفلية إلى اللوح الشمسي وبزوايا ميل مختلفة نستنتج الآتي:

1- إن أفضل زاوية ميل للعاكس العلوي في فصل الصيف هي (15°) إلى الوراء من الشاقول حيث حصلنا على أعلى نسبة تحسن في القدرة الكهربائية الناتجة من اللوح ومقدارها [%]13، بينما كانت أفضل زاوية ميل للعاكس في فصل الشتاء هي (10°) إلى الأمام من الشاقول حيث حصلنا على أعلى نسبة تحسن في القدرة الكهربائية الناتجة ومقدارها [%]10.5.

2- إن أفضل زاوية ميل للعاكس السفلي في فصل الصيف هي (35°) بالنسبة للأفق حيث حصلنا على أعلى نسبة تحسن في القدرة الكهربائية الناتجة من اللوح ومقدارها [%]17.4، بينما كانت أفضل زاوية ميل للعاكس في فصل الشتاء هي (10°) بالنسبة للأفق حيث حصلنا على أعلى نسبة تحسن في القدرة الكهربائية الناتجة ومقدارها [%]11.1.

3- عند إضافة عاكسين معاً علوي بزاوية ميل (15°) وسفلي بزاوية ميل (35°) حصلنا على أعلى نسبة تحسن في القدرة الكهربائية الناتجة في فصل الصيف ومقدارها [%]20.3، بينما عند إضافة عاكسين معاً علوي بزاوية ميل (10°) وسفلي بزاوية ميل (10°) حصلنا على أعلى نسبة تحسن في القدرة الكهربائية الناتجة في فصل الشتاء ومقدارها [%]18.

4- متابعة البحث لإجراء تجارب على أنواع وأشكال مختلفة من العواكس المضافة إلى الألواح الشمسية.

المراجـــع:

[1]. KALDELLIS, J., ZAFIRAKIS, D. *Experimental investigations of the optimum photovoltaic panels' tilt angle during the summer period.* Energy. Vol. 38, 2012, 305–314.

[2]. MEHLERI, E. D., ZERVAS, P. L., SARIMVEIS, H., PALYVOS, J. A., MARKATORS, N. C. *Determination of the optimal tilt angle and orientation for solar photovoltaic arrays.* Renewable Energy. Vol. 35, 2010, 2468–2475.

[3]. MONDOL, D., J., YOHANIS, G. Y., NORTON, B. *The impact of array inclination and orientation on the performance of a grid-connected photovoltaic system.* Renewable Energy. Vol. 32, 2007, 118–140.

[4]. ABDOLZADEH, M., AMERI, M. *Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells.* Renewable Energy. Vol. 34, 2009, 91–96.

[5]. TONUI, J. K., TRIPANAGNOSTOPOULOS, Y. *Air-cooled PV/T solar collectors with low cost performance improvements.* Solar Energy. Vol. 81, 2007, 498–511.

[6]. ROYNE, A., DEY, J. C. *Design of a jet impingement cooling device for densely packed PV cells under high concentration.* Solar Energy. Vol. 81, 2007, 1014–1024.

[7]. SARHADDI, F., FARAHAT, H., AJAM, H., BEHZADMEHR, A., MAHDAVI ADELI, M. *An improved thermal and electrical model for a solar photovoltaic thermal(PV/T) air collector.* Applied Energy. Vol. 87, 2010, 2328–2339.

[8]. DUBEY, S., TIWARI, G. N. *Analysis of PV/T flat plate water collectors connected in series.* Solar Energy. Vol. 83, 2009, 1485–1498.

[9]. SHAHSAVAR, A., AMERI, M. *Experimental investigation and modeling of a direct – coupled PV/T air collector.* Solar Energy. Vol. 84, 2010, 1938–1958.

[10]. BAI, Y., FRAISSE, G., WURTZ, F., FOGGIA, A., DELESS, Y., DOMAIN, F. *Experimental and numerical study of a directly PV-assisted domestic hot water system.* Solar Energy. Vol. 85, 2011, 1979–1991.