

محاكاة منظومات تتبع حركة الشمس

د. ياسر فتحي نصار *

1- مقدمة

إن كمية الإشعاع الشمسية الساقط على الغلاف الخارجي لسطح الأرض تكون ثابتة، ولكن اختلاف ميلان زاوية محور الأرض يؤدي إلى نقص كمية الإشعاع الساقط على الأسطح الأفقية. لهذا السبب لجأ الإنسان إلى استخدام الأسطح المائلة بدلاً من الأسطح الأفقية وفي مرحلة متقدمة تبني منظومات تتبع لحركة الشمس الظاهرية.

تعتبر آليات تتبع حركة الشمس الظاهرية الخيارات الأمثل لزيادة شدة الإشعاع الشمسي الساقط على أجهزة التحويل الشمسية حرارية كانت أم كهربائية. بالرغم من تكلفتها العالية نسبياً، إلا أن الزيادة في كمية الطاقة تغطي هذه التكاليف، بالإضافة إلى أنها الخيار الوحيد في حالة قلة أو محدودية المساحة المتاحة لإنشاء المحطة.

(1- أ و 1- ب) لتتبع الحركة الظاهرية للشمس، والحصول على قيم الزوايا المتحركة الخاصة بكل ساعة وكذلك القيمة المناظرة للإشعاع الشمسي الساقط على المسطح، كما هو مبين بالصورة لاستخدام هذه المنظومات في الخلايا الشمسية (1- د).

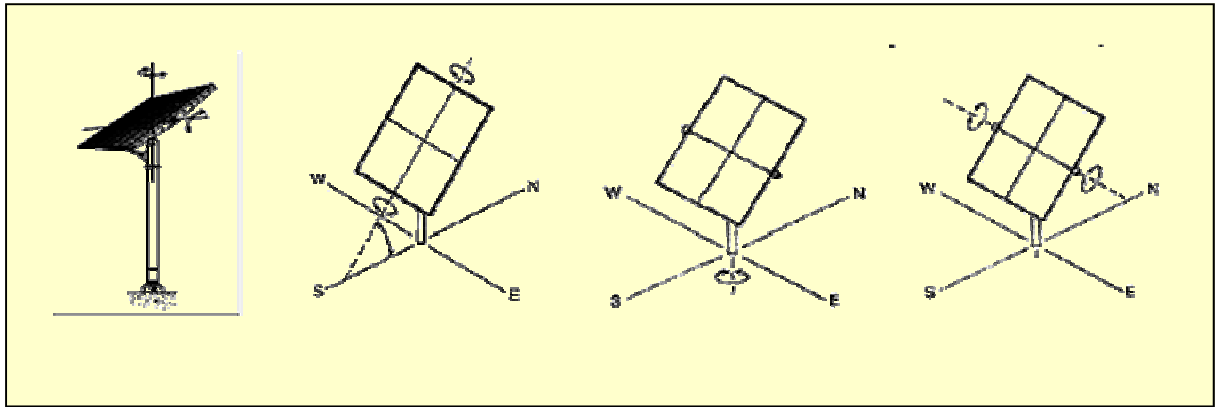
للوصول إلى هذه الغاية تم إنشاء برنامج شامل بلغة الفورتران لمحاكاة ستة خيارات لمنظومات التتبع والتي كانت كما يلي:-

الخيار الأول: زاوية ميل السطح ثابتة وزاوية اتجاه السطح ثابتة نحو الجنوب.

الخيار الثاني: زاوية ميل السطح ثابتة وزاوية اتجاه السطح

تتوفر ثلاث منظومات للتتبع وهي مبنية في الشكل (1). فالمنظومة (1- أ) تدور حول محور الشرق - الغرب وهي تمثل زاوية ميل السطح، المنظومة (1- ب) تدور حول المحور العمودي على المستوى الأفقي للأرض وهي بدورها تمثل زاوية اتجاه السطح، أما المنظومة (1- ج) فهي تمثل دوران المسطح حول محور مستوى عمودي على المستوى الأفقي للكورة الأرضية.

يمكن لهذه المنظومات أن تعمل منفردة، ولكن للحصول على أعلى قيمة للإشعاع الشمسي فإن دمج النظام (1- أ) مع أي من المنظومين (1- ب أو 1- ج) يصبح ضرورياً. الغاية من هذا البحث هي تناول جميع خيارات النموذجين



شكل رقم (1) منظومات تتبّع حركة الشمس الظاهرية

رغبة المستخدم، إما نتائج عددية أو تمثيلها بيانياً في منحنيات.

2- تقييم منظومات التتبع الشمسية

عملياً، من الصعب إيجاد نموذج رياضي لمنظومات التتبع، وذلك لاعتمادها الكبير على حالة الجو، ففي الأوقات المغيمة من الضروري أن تكون زاوية ميل المسطح أفقية لزيادة كمية الإشعاع المنتشر عن كمية الإشعاع المباشر، وبطبيعة الحال لا

متحركة كل ساعة.

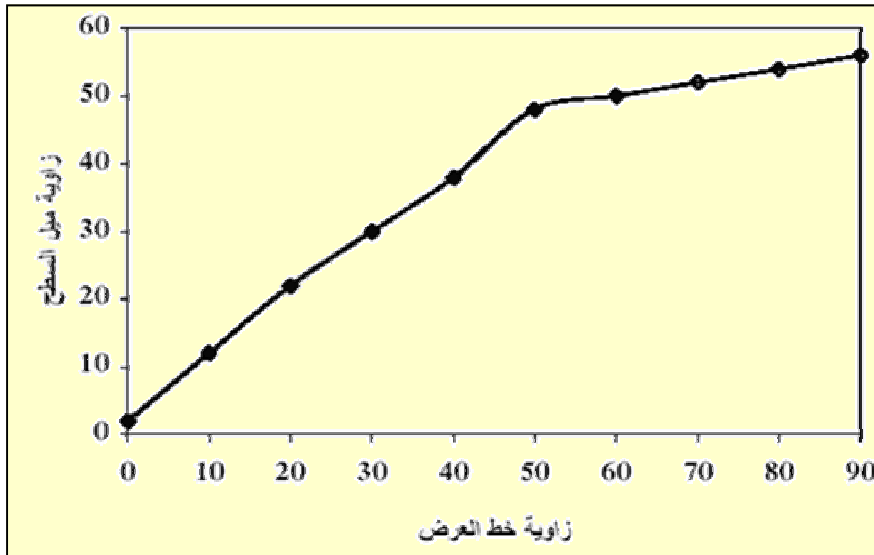
الخيار الثالث: زاوية ميل المسطح متحركة يوميا وزاوية اتجاه المسطح ثابتة نحو الجنوب.

الخيار الرابع: زاوية ميل المسطح متحركة كل ساعة وزاوية اتجاه المسطح ثابتة نحو الجنوب.

الخيار الخامس: زاوية ميل المسطح متحركة يوميا وزاوية اتجاه المسطح متحركة كل ساعة.

الخيار السادس: زاوية ميل

المسطح متحركة كل ساعة وزاوية اتجاه المسطح متحركة كل ساعة.

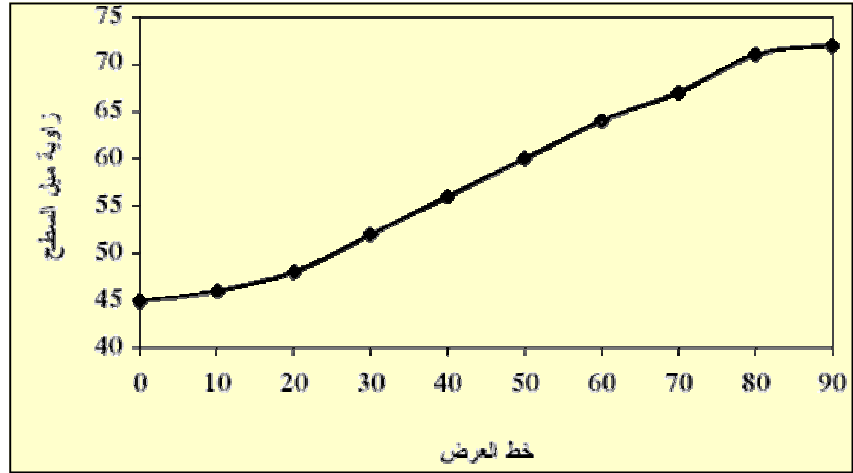


شكل رقم (2) العلاقة بين زاوية ميل المسطح المثالية وزاوية خط العرض للخيار الأول

وتم التعامل مع النتائج عن طريق برنامج " الآلة الحاسبة الشمسية" وهو برنامج مرئي بلغة الفيجوال بيسك (Visual Basic) وإظهارها بعدة صور حسب

التقارير والدراسات

وبنسبة عالية من الدقة ، شكل (4) يمثل العلاقة بين زاوية ميل السطح المتحركة حركة واحدة كل يوم، مع زاوية خط العرض ليوم 21 من كل شهر وذلك للخيار الثالث، عند ثبوت زاوية اتجاه السطح نحو الجنوب أي ($Y = 0$) الإشارة السالبة عند $L \leq 30$



شكل رقم (3) العلاقة بين زاوية ميل السطح المثالية وزاوية خط العرض للخيار الثاني

للأشهر من أبريل إلى أغسطس

تدل على أن الشمس في أوقات الظهيرة تكون خلف السطح ولهذا يجب أن يميل السطح في الاتجاه المعاكس أي في اتجاه الشمال ($S < 0^0$).

شكل (5) يمثل العلاقة بين زاوية ميل السطح المتحركة حركة واحدة كل ساعة، مع زاوية خط العرض ليوم 21 من كل شهر وعند تمام الساعة 11:00 ظهراً، وعند ثبوت زاوية السطح نحو الجنوب أي ($Y = 0$) وذلك الخيار الرابع. أما الخيارات الأخرى ، فلا بد من اختيار موقع محدد لدراسة سلوك ميل السطح وزاوية اتجاهه، وهذا الموقع سيكون مدينة براك الشاطئ الواقعة على خط عرض 27.6 شمالاً.

الأشكال (6) ، (7) يمثلان قيم زاوية اتجاه السطح وزاوية ميل السطح لكل ساعة لمدينة براك الشاطئ الشكل (8) يمثل قيم زاوية ميل السطح المناظرة لزاوية اتجاه السطح لكل ساعة ليوم 21 من كل شهر وذلك مدينة براك الشاطئ لمنظومة التتبع السادسة.

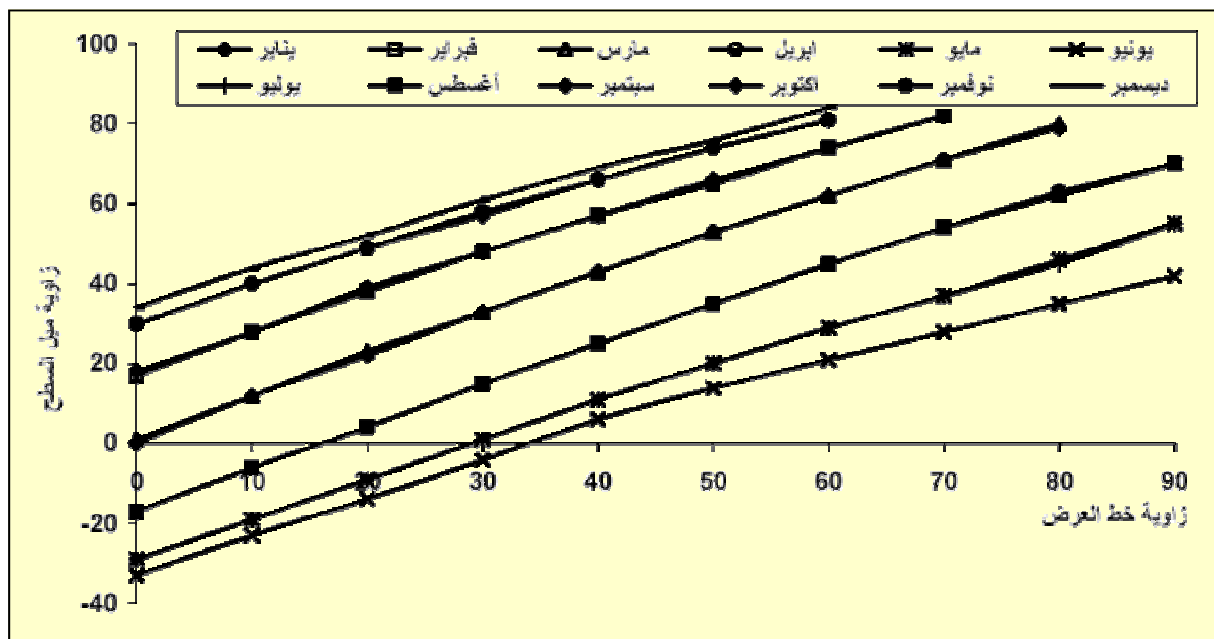
يمكن توقع هذه الأوقات. أما إذا كانت السماء صافية فإن زوايا ميل واتجاه السطح تتغير مع الزمن. ولهذا السبب تم تبني نموذج السماء الصافية لحساب شدة الإشعاع الشمسية الساقط على السطح.

يمكن تقسيم شكل رقم (2) إلى أربع مراحل. فالمرحلة الأولى لخطوط العرض $0 \leq L < 30$ تكون زاوية ميل السطح المثالية $S = L + 2$ ، المرحلة الثانية هي عندما $L = 30$ فتكون زاوية ميل السطح المثالية $S = L$ ، المرحلة الثالثة عندما $30 < L < 60$ تكون عنها الزاوية المثالية هي $S = L - 2$ والمرحلة الأخير تمتد $60 \leq L \leq 90$ تكون عندها زاوية ميل السطح المثالية :

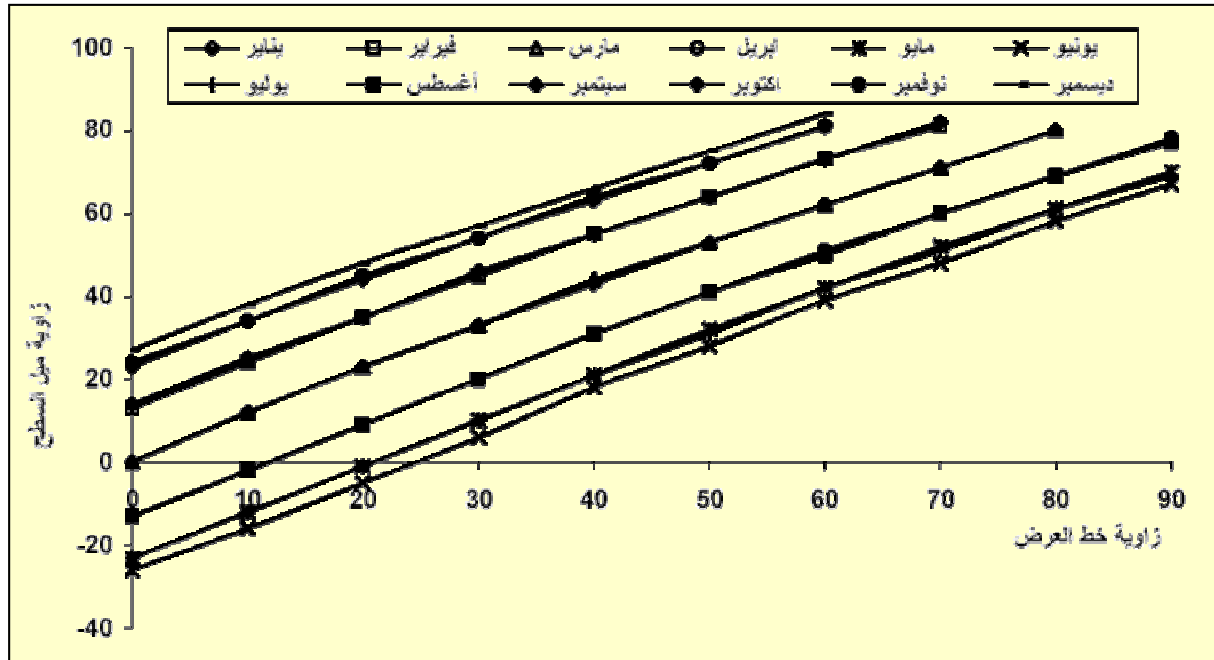
$$S = 50 + \frac{L - 60}{5}$$

الشكل رقم (3) يمثل العلاقة بين زاوية ميل السطح المثالي لمنظومة شمسية من النوع الثاني (Y متحركة) بدلالة زاوية خط العرض للنصف الشمالي للكرة الأرضية. ويمكن تمثيل المنحنى في شكل 3 بالعلاقة التالية:

$$S = -6 \times 10^{-5} L^3 + 8.2 \times 10^{-3} L^2 + 3.5 \times 10^{-2} L + 45$$

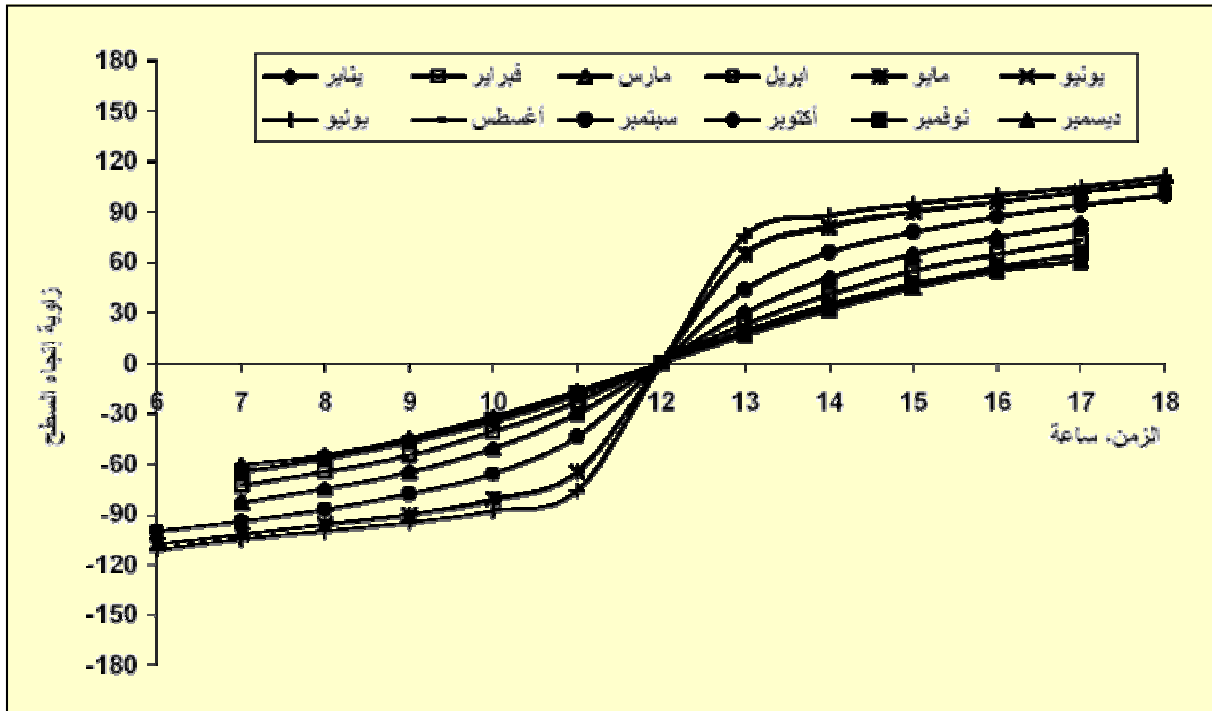


شكل رقم (4) العلاقة بين زاوية ميل السطح المتحرك يومياً وزاوية خط العرض ليوم 21 من كل شهر عند ثبوت زاوية اتجاه السطح ($\Psi=0$) (الخيار الثالث)

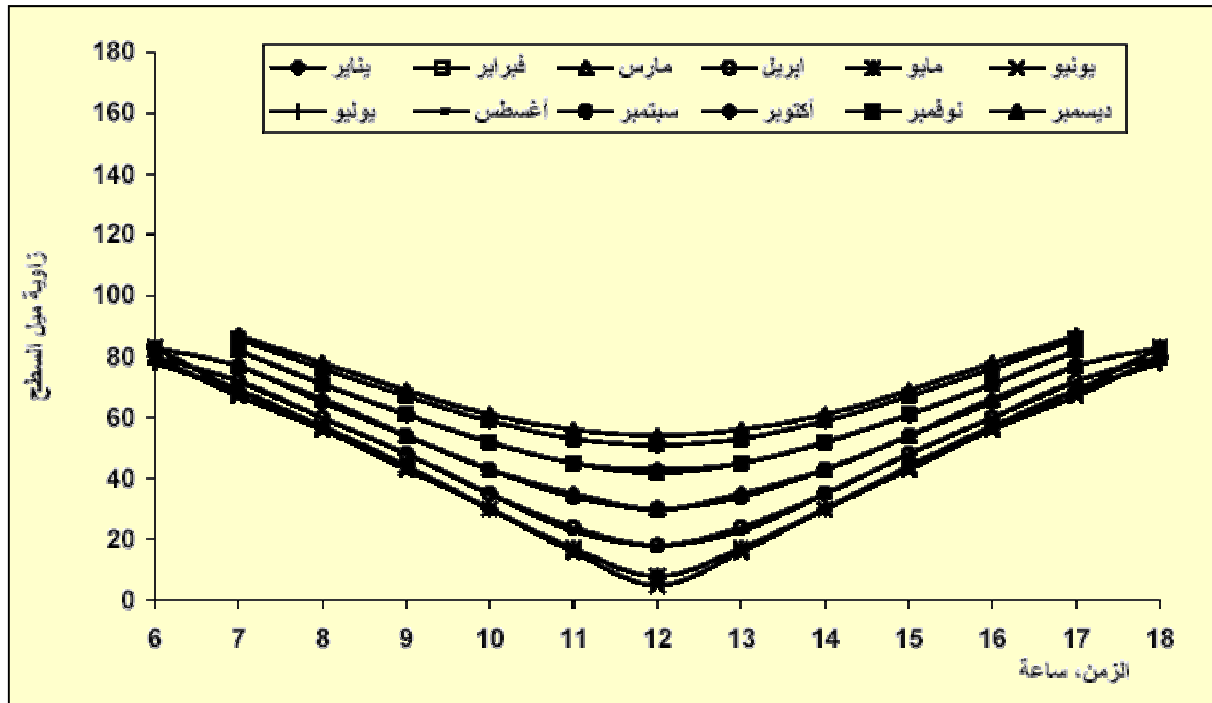


شكل رقم (5) العلاقة بين زاوية ميل السطح المتحركة ساعياً وزاوية خط العرض ليوم 21 من كل شهر عند الساعة 11:00 عند ثبوت زاوية اتجاه السطح ($\Psi=0$) (الخيار الرابع)

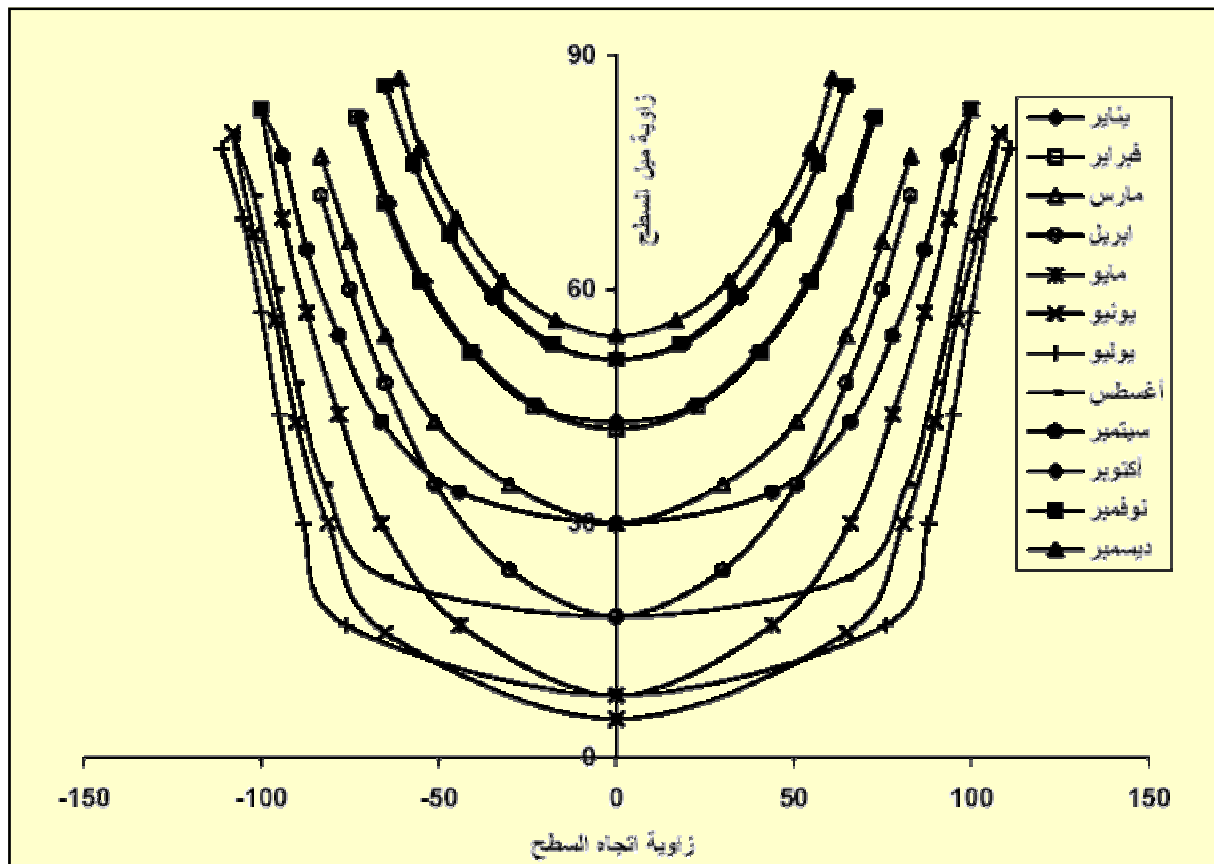
التقارير والدراسات



شكل رقم (6) العلاقة بين زاوية اتجاه السطح Ψ ، المتحركة كل ساعة ليوم 21 من كل شهر



شكل رقم (7) قيم زاوية ميل السطح S ، المتحركة كل ساعة ليوم 21 من كل شهر



شكل رقم (8) زاوية الميل وزاوية اتجاه السطح بالزمن ليوم 21 من كل شهر لمدينة براك

الشمسي لمدينة براك الشاطئ دائما كانت للنظام السادس ، ثم النظام الخامس فالنظام الثاني ثم النظام الرابع ثم النظام الثالث وأخيراً النظام الأول .

2.1.2 حساب الكفاءة البصرية لأجهزة التحويل الشمسية المستوية

غالباً ما تستخدم منظومات التحويل الحراري والكهربائي الشمسية أغطية شفافة على السطح العلوي للمنظومة ، بالرغم من أن هذه الأغطية تعمل على تقليل الكفاءة الكلية للجهاز وذلك بسبب كفاءتها البصرية إلا أن استخدامها

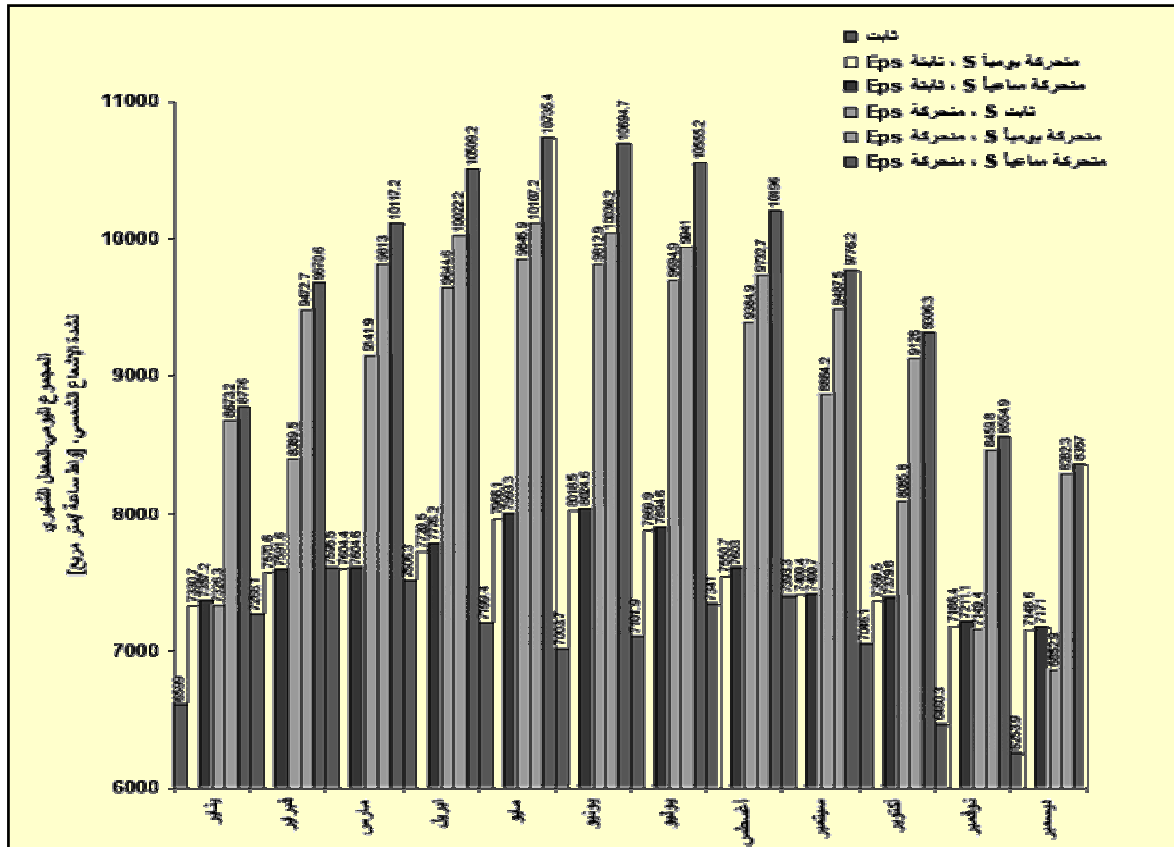
أما الخيارات الأخرى فلا بد من اختيار موقع محدد لدراسة سلوك زاوية ميل السطح وزاوية اتجاهه، وهذا الموقع سيكون مدينة براك الشاطئ الواقعة على خط عرض 27.6 شمالاً.

الجدول رقم (1) يبين المجموع الكلي السنوي للطاقة الشمسية الساقطة على الأسطح المتباينة لمنظومات التتبع المختلفة ونسبة الزيادة في مستويات الطاقة بالنسبة للنظام الأول الثابت ، وكذلك معدل الربح في الطاقة الشمسية لجميع الأنظمة نسبة الى النظام الأول لمدينة براك الشاطئ . يوضح الشكل رقم (9) إن أكبر قيمة للإشعاع

التقارير والدراسات

جدول رقم (1) مقارنة لشدة الإشعاع الشمسي لمنظومات التتبع لحركة الشمس السنة

الحالة	المنظومة	كيلو جرام وقود مكافئ	برميل نفط	متر مكعب غاز
1	Ψ ثابت ، S ثابت	2577599.6	0	0
2	Ψ ثابت ، S متحرك يومياً	2759477.7	7.056104	181.8781
3	Ψ ثابت ، S متحرك ساعياً	2768051.3	7.388723	190.4517
4	Ψ متحرك ، S ثابت	3169349.6	22.95741	591.75
5	Ψ متحرك ، S متحرك يومياً	3441377	33.50964	963.7444
6	Ψ متحرك ، S متحرك ساعياً	3566162.9	38.35209	988.5633



شكل رقم (9) مقارنة المعدل الشهري لشدة الإشعاع الشمسي الساقط على جميع الخيارات

جدول رقم (2) مدى الكفاءة البصرية لغطاء زجاجي لعدد من أنظمة التتبع لحركة الشمس

الحالة	المنظومة	أقصى كفاءة بصرية	أقل كفاءة بصرية
1	Ψ ثابت ، S ثابت	84.29	48.41
2	Ψ ثابت ، S متحرك	84.29	51.02
4	Ψ متحرك ، S ثابت	84.29	48.41
6	Ψ متحرك ، S متحرك	84.29	84.27

يصبح ضروريا ، وذلك إما للتقليل من الفاقد الحراري في حالة المنظومات الحرارية أو لحماية الخلايا الشمسية الهشة من العوامل البيئية .

الكفاءة البصرية (η_{opt}) هي حاصل ضرب خاصيتين بصريتين للمنظومة ($\eta_{op} =$)

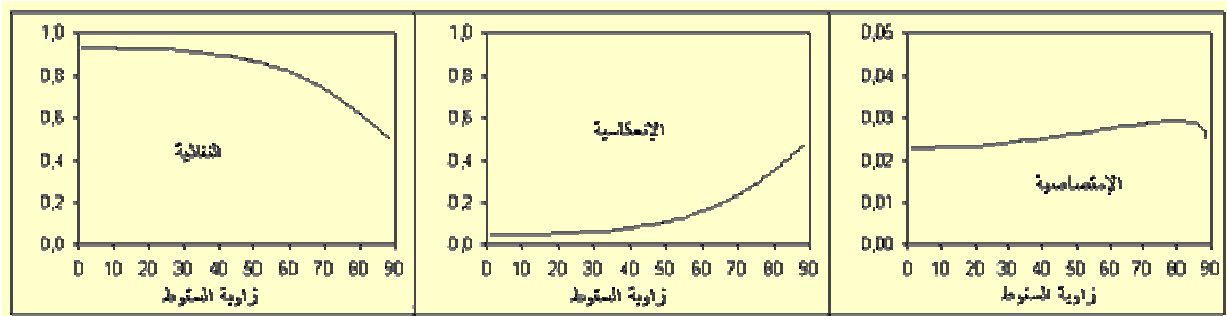
واصغر مدى للكفاءة البصرية لجمع شمسي مسطح لعدد من خيارات أنظمة تتبع حركة الشمس الظاهرية ، جميع المعلومات الجوية لمدينة براك الشاطي .

وكما هو واضح من هذا الجدول فإن في النظام السادس تكاد تكون الكفاءة البصرية ثابتة وهذا يدل على نجاح منظومات التتبع لجعل زاوية السقوط تقريبا عمودية على سطح منظومة التحويل الشمسية (كما هو واضح في الشكل 11) أما باقي المنظومات فيكون الانحراف عن المتوسط كبيرا وهو بدوره يشير إلى فشل هذه الخيارات في التقليل من قيمة زاوية السقوط .

($\tau\alpha$) فالخاصية الأولى تمثل النفاذية (τ) وهي خاصية بصرية للغطاء الشفاف (زجاجي أو بلاستيكي) أما الخاصية الثانية فهي امتصاصية السطح الماص (α).

خاصية النفاذية للأسطح الشفافة تعتمد اعتمادا كبيرا على زاوية سقوط الشعاع الشمسي فكلما قلت هذه الزاوية زادت قيمة النفاذية ، وبزيادتها ترتفع الكفاءة البصرية وهذا يؤدي إلى ارتفاع شامل في أداء وكفاءة المنظومة ككل .

ويبين الشكل رقم (10) علاقة الخواص البصرية للزجاج مع زاوية السقوط . جدول رقم (2) يبين أكبر



شكل رقم (10) علاقة الخواص البصرية (النفاذية ، الانعكاسية ، الامتصاصية) مع زاوية سقوط الأشعة الشمسية

التقارير والدراسات

جدول رقم (3) كمية الوقود المتوفر من جراء استخدام منظومات التتبع لحركة الشمس لكل 100 متر مربع من أنظمة التحويل

الحالة	المنظومة	كيلو جرام وقود مكافئ	برميل نפט	متر مكعب غاز
1	Ψ ثابت ، S ثابت	-	-	-
2	Ψ ثابت ، S متحرك يومياً	2,240.0	11.39	2.811
3	Ψ ثابت ، S متحرك ساعياً	2,350.0	11.93	1.897
4	Ψ متحرك ، S ثابت	7,290.0	37.07	5.894
5	Ψ متحرك ، S متحرك يومياً	10,640.0	54.11	8.603
6	Ψ متحرك ، S متحرك ساعياً	12,170.0	61.93	9.847

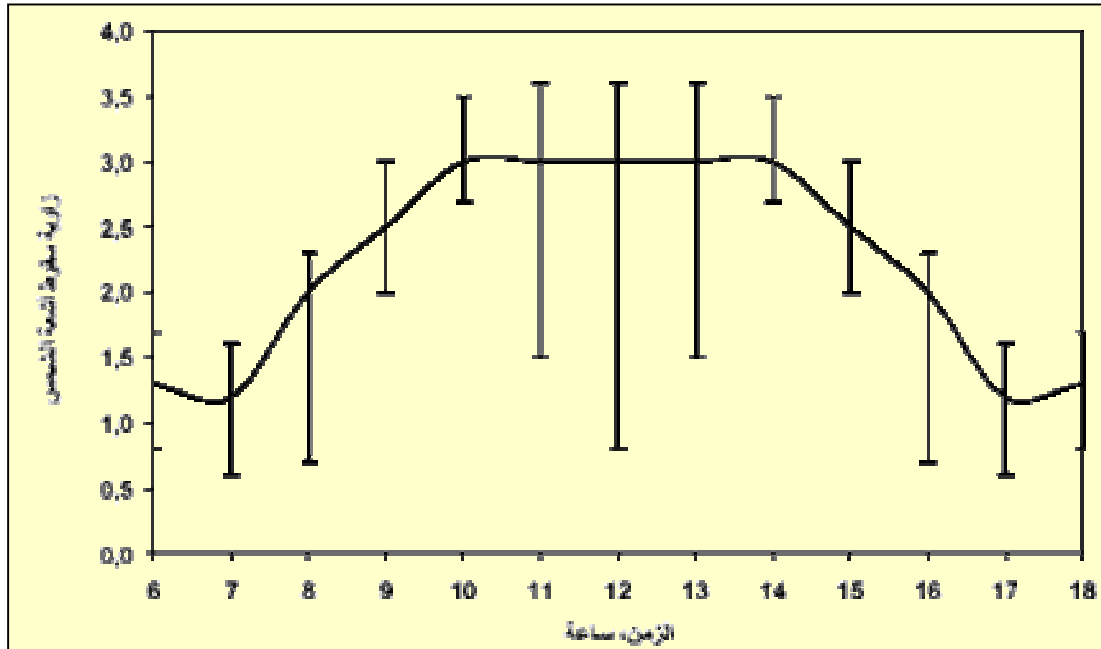
الشكل (10) يمثل معدل قيم زوايا السقوط على مدار السنة لكل ساعة ومدى الانحراف عن المتوسط لمدينة براك الشاطئ .

2.2 التقييم الاقتصادي

بالرغم من ارتفاع تكاليف منظومات التتبع (حوالي 120 دينار لبي لكل نموذج متحرك [4]) إلا أنها غالباً ما يكون لها مردود اقتصادي ايجابي ، حيث تعمل هذه المنظومات (في حالة الأسطح

التوفير في الوقود الاحفوري السنوي لكل 100 متر مربع بالنسبة للنظام الأول من المنظومات الشمسية المستخدمة أنظمة التتبع مدرجة في الجدول رقم (3) .

المستوية) على زيادة كفاءة المنظومة الشمسية حرارية (المجمعات الشمسية المستوية) أو كهربائية (الخلايا الشمسية).



شكل رقم (11) قيم زاوية السقوط المتوسطة ومدى الانحراف عنها النظام التتبع السادس على مدار السنة لكل ساعة

الخلاصة

المراجع

1. Duffie. J.A. Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons Inc., New York, 2th ed., 1991.
2. Jui Sheng Hsieh. Solar Energy Engineering, Prentice-Hall Inc., New York, 1984.
3. Kreith, F., Kreider, J.,F., Principles of Solar Engineering, McGraw-Hill, New York, 1978.
4. <http://www.rredc.nrel.gov>.

بينت الدراسة إن تحريك زاوية الاتجاه أكثر فعالية من تحريك زاوية الميل وكانت نسبة الزيادة في الطاقة الشمسية بالنسبة للنظام الثابت حوالي 23% وبتحريك الزاويتين معا نحصل على زيادة في الطاقة الشمسية بنسبة 38% ويقتضى السؤال دائما اقتصاديا .

ملخص

تم في هذا البحث دراسة أداء منظومة شمسية متحركة على محورين وهما: محور الشرق - الغرب وهذا المحور يمثل زاوية ميل السطح (SURFACE TILT ANGLE S) والمحور الآخر، هو دوران السطح حول المحور العمودي على السطح الأفقي في الاتجاهين الشرق والغرب والذي يمثل بدوره زاوية اتجاه (Surface azimuth angle) وتمت دراسة كافة الاحتمالات لتلك الحركات وذلك في سبيل الوصول إلى الاختيار الأمثل والذي يعتمد بدوره على أهمية التطبيق والمساحة المتاحة من ناحية والظروف الاقتصادية من ناحية أخرى.

وتم تبني القيمة القصوى لشدة الإشعاع الشمسي كدليل لمقارنة أداء ستة خيارات لمنظومات التتبع، بالرغم من ارتفاع تكاليف منظومات التتبع إلا أنها غالبا ما يكون لها مردود اقتصادي ايجابي، حيث تعمل هذه المنظومات على زيادة كفاءة المنظومة الشمسية حرارية كانت أم كهربائية مرتين: في المرة الأولى عن طريق زيادة شدة الإشعاع الشمسية الساقط على المسطح الشمسي، أما المرة الثانية فتتمثل في زيادة الكفاءة الضوئية للمجمعات الشمسية وبالتالي زيادة الكفاءة الكلية للجهاز . حيث وصلت نسبة الزيادة في الطاقة الشمسية الساقطة على منظومة تتبع من النوع السادس حوالي 38% عنه في النظام الثابت (الخيار الأول). أما أقل كفاءة ضوئية لمنظومة تتبع من النوع السادس كانت حوالي 84% بينما كانت في النظام الأول حوالي 48% وتراوحت لبقية الأنظمة بينهما.