الترقيم الدولي ٨٦٩٠ - ١٩٩١ ISSN 1991- 8690

مقارنة بين زوايا الميل للألواح الشمسية الثابتة لمدينة بغداد باستخدام جهاز محلل الظل للإشعاع الشمسي على مدار سنة كاملة

عماد جواد كاظم عماد جليل مهدي

الخلاصة

تعتمد الطاقة المتولدة من الألواح الشمسية الثابتة بشكل كبير على زاوية الميل المثلى مع الأفق لذلك يجب تحديدها بشكل صحيح لتحسين أداء منظومة الألواح الشمسية. تم في هذا البحث احتساب قيم زوايا الميل المثلى مع الأفق للألواح الشمسية لمدينة بغداد شهريا وفصليا وسنويا اعتمادا على جهاز محلل الظل للإشعاع الشمسي وكانت الزوايا الميل المثلى هي (٦٠ ،٥١ ،٣٧ ،١٩ ، ٥ ،٠ ،٠، ١٣ ،٣٠ ، ٤٥ ، ٥٥، ٦٠) درجة شهريا بحسب الترتيب وفصليا هي ٥٨ درجة للأشهر (١٢، ١ ،٢) و ١٩ درجة للأشهر (٣، ٤، ٥) و ٢ درجة للأشهر (٦، ٧، ٨) و٤٥ درجة للأشهر (٩، ١٠، ١١) وعند تقسيم السنة إلى نصفين كانت الزاوية المثلى هي ١٣ درجة للأشهر (٤، ٥، ٦، ٧، ٨، ٩) و٥١ درجة للأشهر (١٠ ،١١، ١٢، ١، ٢، ٣) وسنويا كانت الزاوية المثلى ٣٠ درجة ويلاحظ زيادة زويا الميل في فصل الشتاء عنها في فصل الصيف وذلك لزيادة ميلان الشمس وتناقص ساعات النهار في الشتاء عنها في الصيف وكانت الزيادة النسبية في كمية الطاقة الساقطة على الألواح الشمسية عند تغيرها شهريا عن الزاوية المثلى سنويا هي ٨.٣٤% وفصليا ٦.٨٥% ولنصفين ٦.٦١% .

Comparison between different tilt angles for fixed solar panels for Baghdad city by using shadow analyzer device for whole year

Imad Jawad Khadim Emad Jaleel Mahadi

Abstract

Generated energy by fixed solar panels depended on the optimum tilt angle with the horizon, so it must be defined correctly to improve the performance of the solar panel system. In this research the values of optimum tilt angle with the horizon of solar panels for Baghdad city was calculated monthly and quarterly and annually by using shadow analyzer of solar radiation. The optimum tilt angles is (60.51, 37, 19.5, 0, 0.13, 30, 45.55 , 60) degrees monthly, respectively and quarterly is 58 ° for months (12, 1, 2) and 19 degrees for months (3, 4, 5) and 2 degrees for months (6, 7, 8) and 45 degrees for months (9, 10, 11) When dividing the year into two seasons the optimal angle is 13 degrees for months (4, 5, 6, 7, 8, 9) and 51 degrees for months (10,11, 12, 1, 2, 3). The annual optimum tilt angle is 30 degrees it is noticed an increase in optimum tilt angle in winter than in summer and that is because of the increasing in the sun declination and the decreasing in the number of noon hours in winter. The increasing in the amount of energy falling on the solar panels was 8.34% when the tilt angle changed monthly and 6.85% when it changed quarterly and 6.61% when it changed for two seasons with respect to yearly fix tilt angle.

Keywords: optimum tilt angle, solar PV array, clearness index, solar radiation

١. المقدمة

الشمس هي عبارة عن كرة مكونة من الغازات الكثيفة الحارة بقطر ١,٣٩× ١٠^{٩} متر مكونة مفاعل نووي اندماجي مستمر يندمج فيه الهيدروجين مكون الهليوم. الطاقة الكلية الخارجة من الشمس هي ٣,٨×١٠^{٢٠} ميكا واط والذي يعادل ٦٣ ميكا واطام^{٢} من سطح الشمس الكلي. هذه الطاقة تنبعث إلى خارج الشمس في كل الاتجاهات وجزء بسيط جدا (١,٧× ١٠^{١٤} كيلو واط) من الطاقة المنبعثة الكلية يصل إلى سطح الأرض [1] . ومع ذلك فأن جزء صغير جدا من الطاقة وهو ما يعادل ٣٠ دقيقة من طاقة الأشعة الشمسية لو استغلت بالكامل من الممكن ان تغطي حاجة العالم من الطاقة لسنة كاملة. إن أداء الألواح الشمسية الثابتة يعتمد بشكل كبير على زاوية ميلها مع الأفق وهذا يرجع إلى حقيقة إن كمية الأشعة الشمسية التي تسقط على سطوح الألواح الشمسية تعتمد على زاوية الميل مع الأفق. و تعتمد بشكل عام زاوية الميل المثلى مع الأفق للألواح الشمسية على الظروف المناخية وعلى خطوط العرض الجغرافية (أماكن مختلفة لها زوايا ميل سنوية مثلى مختلفة) وعلى زمن استخدام الألواح الشمسية فيها (شهريا، فصليا، سنويا). منذ زمن ليس ببعيد و إلى وقتنا الحاضر تم إجراء العديد من البحوث على تحديد الزوايا المثلى للألواح وتم استنباط عدد من المعادلات التجريبية لحساب زوايا الميل المثلى و جميع هذه البحوث بينت انه للحصول على أعلى قيمة للأشعة الشمسية الساقطة (Incident solar radiation) يجب نصب الألواح الشمسية باتجاه خط الاستواء (باتجاه الجنوب في نصف الكرة الشمالي وباتجاه الشمال في نصف الكرة الجنوبي) ولاتعتمد على خطوط الطول وانما تعتمد فقط على خطوط العرض [8–2]. وقد اوجد Bekman Duffle [10] ان زاوية الميل المثلى لنصفي السنة هي 15± (Ø+15)=β_{opt} حيث Ø هي خط العرض للموقع الجغرافي و β_{opt} هي الزاوية المثلى للألواح الشمسية والإشارة الموجبة و السالبة المستعملة في الشتاء والصيف على التوالي و استنتج Heywood [11] إن الزاوية المثلى سنويا يمكن حسابها من المعادلة β_{opt}=(Ø+15). وقد بينت دراسة إن الزاوية المثلى للميل لمدينة هون كونغ (خط العرض = ٢٢,٥) هي تقريبا ٢٠ درجة إي إن العلاقة الرياضية هي

(٢,٥– خط العرض) (١)

وبينت دراسة أخرى إن الزاوية المثلى للميل في تايوان (خط العرض= ٢٣.٥) هي ٢٠ درجة إي إن العلاقة هي

(٣,٥ ° – خط العرض) (٢)

لهذا الموقع وفي مدينة القاهر في مصر (خط عرض =° ٣٠) كانت الزاوية المثلى محصورة بين° ٢٠ و°٣٠ بتغير بسيط في الطاقة المنتجة ضمن هاتين الزاويتين ، وبينت دراسات أخرى باستخدام نظم محاكاة لدراسة الزاوية المثلى لميل الألواح في المناطق المحصورة بين خطوط عرض° ٣٦ إلى °٤٦ حيث وجد ان زاوية الميل السنوية المثلى تتمثل بالعلاقة (٣)

(١٠° – خط العرض) (٣)

تقريبا وبشكل عام الزاوية المثلى لميل الألواح في المناطق التي تقع تحت مدار السرطان (خط العرض=°٢٣,٤٤ وهو اقصى مدار تكون فيه الشمس عمودية على سطح الأرض في نصف الكرة الأرضية الشمالي) هي تقريبا تساوي خط العرض والمناطق التي أعلى من مدار السرطان تكون زاوية الميل اصغر من خط العرض إي القيم الصغيرة لخطوط العرض يتساوى فيها خطوط العرض مع زاوية الميل للألواح وفي خطوط العرض ذات القيم العالية تكون فيها زاوية الميل اقل من خطوط العرض تقريبا [5]. تتكون الأشعة الشمسية الساقطة الكلية (Total Incident solar radiation) على سطح أفقي (H) من جزئيين أساسيين هما الأشعة الشمسية المباشرة (Direct solar radiation Hdir) والأشعة الشمسية المتشتتة في السماء (Diffuse solar radiation Hdiff).

H=Hdir+Hdiff (٤)

وتعتمد الأشعة الشمسية المتشتتة بشكل أساسي على معامل الوضوحية K (clearness index) وهو عبارة عن النسبة بين الأشعة الشمسية النافذة (Transmitted solar radiation) والساقطة (Incident solar radiation) على سطح الأرض H والأشعة الساقطة خارج الغلاف الجوي H° .

K=H/H° (٥)

وهو مقياس للمؤثرات المناخية على الأشعة الشمسية في الأماكن التي تسقط فيها يتصف معامل الوضوحية بالتعقيد لأنه يتأثر بفصول السنة والظروف المناخية والموقع الجغرافي وعلى ساعات شروق الشمس وكثافة الغيوم(clouds density) خلال الأشهر [14–12] .القيمة الكلية للأشعة الشمسية الساقطة على السطح المائل (Ht) تتكون من الأشعة الشمسية المباشرة (Hdir) والأشعة الشمسية المتشتتة (Hdiff) والأشعة المنعكسة (Href) والتي يمكن التعبير عنها في المعادلة التالية [6] :-

$$H_t = H_{dir}R_b + \frac{H_{diff}}{2}(1+\cos\beta) + \frac{H_{ref}}{2}(1-\cos\beta) \quad (3)$$

حيث β يمثل زاوية ميل اللوح الشمسي و R_b يمثل النسبة بين الأشعة المباشرة الساقطة على اللوح المائل والأشعة المباشرة الساقطة على السطح الأفقي ويمكن حسابها بالمعادلة التالية :-

$$R_b = \frac{\cos(\emptyset-\beta)\cos\delta\sin\omega^{\circ} + (\pi/_{180})\omega^{\circ}\sin(\emptyset-\beta)\sin\delta}{\cos\emptyset\cos\delta\sin\omega + (\pi/_{180})\omega\sin\emptyset\sin\delta} \quad (4)$$

حيث ω° و ω زاوية شروق الشمس للسطح المائل والأفقي على الترتيب و$\emptyset$ زاوية خط العرض و δ زاوية ميلان الأرض عن الشاقول العمودي [15]. في هذا البحث تم احتساب الزوايا المثلى لميل الألواح الشمسية عن الأفق شهريا وفصليا وسنويا لمدينة بغداد وحساب الفرق النسبي (Relative Difference) في الطاقة الشمسية (Incident solar energy) الساقطة بالمقارنة مع حالة الزاوية الثابتة سنويا.

٢. الجانب العملي

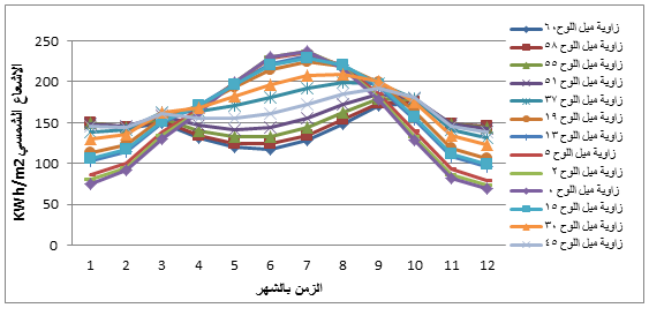
تم استخدام جهاز محلل الظل نوع (Solmetric SunEye) الذي يعمل على قياس تحديد و تحليل الظل وتحديد الموقع الأنسب لسنة كاملة لنصب ألألواح الشمسية من خلال احتساب قيم الإشعاع الشمسي بعد إدخال قيم خطوط الطول والعرض للموقع المحدد وبالاتجاه وزاوية الميل المطلوبة وخلال سنة كاملة وذلك عن طريق التقاط صورة لذلك الموقع بزاوية ٣٦٠° درجة. يمتلك هذا الجهاز بوصلة دقيقة جدا لتحديد اتجاه الجنوب الجغرافي ويمتلك قدرة على قياس زاويا الميل مع الأفق بدقة بعد التقاط صورة مرجعية للمكان المراد إجراء الحسابات عليه وتحديد أماكن الظل والشكل رقم (٢) أدناه يوضح صورة للجهاز. تم احتساب قيم الاشعاع الشمسي الساقط بهذا الجهاز لزوايا مختلفة لميل الالواح مع الافق لكل شهر على مدار سنة كاملة لمدينة بغداد / سطح بناية دائرة البيئة والمياه وعلى خط عرض ٣٣,٣° .



شكل (٢) جهاز Solmetric SunEye 210

٣. النتائج والمناقشة

تم اختيار ١٣ زاوية لميل الألواح الشمسية الثابتة لغرض تحديد زويا الميل المثلى شهريا وفصليا وسنويا وتم اختيار ١٢ زاوية مثلى شهريا بناءا على موقع ناسا بالإضافة الزاوية المثلى سنويا و أجريت القياسات في عام ٢٠١٢ . وقد أدخلت زوايا الميل إلى جهاز محلل الظل نوع (Solmetric SunEye 210) الذي قام باحتساب قيم الإشعاع الشمسي يوميا لكل ربع ساعة لمدة سنة كاملة لكل زاوية ميل للألواح الثابتة وباستخدام برنامج الإكسل تم جمع القيمة التكاملية للإشعاع الشمسي لكل يوم ومن ثم احتساب مجموع قيمها شهريا وفصليا وسنويا والشكل رقم (١) يوضح قيم الإشعاع الشمسي شهريا لكل زاوية ميل .



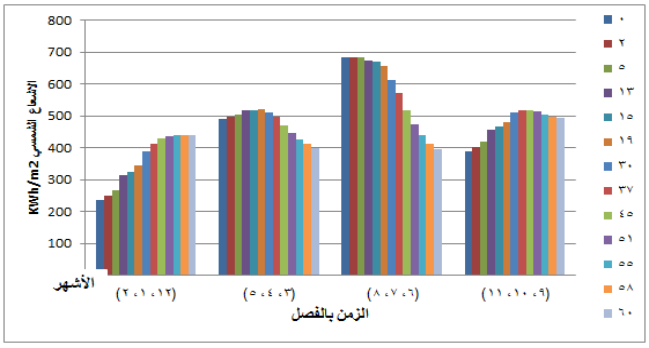
شكل (١) يوضح قيم الإشعاع الشمسي (Insolation) الساقط شهريا KWh/m^2 لكل زاوية ميل

ومن خلال احتساب قيم الإشعاع الشمسي (Insolation) شهريا لكل زاوية تم تحديد زاوية الميل المثلى لكل شهر وكما في الجدول رقم (١) والشكل رقم (٢).

جدول (١) يوضح زوايا الميل المثلى للألواح الشمسية الثابتة لكل شهر

شهر	زاوية ميل اللوح مع الأفق شهريا	شدة الإشعاع الشمسي (KWh/m2)
1	60	1728
2	51	1869
3	37	2002
4	19	2003
5	5	1874
6	0	1802
7	0	1802
8	13	1961
9	30	2024
10	45	1939
11	55	1812
12	60	1728

ونلاحظ إن زاوية الميل المثلى تقل في الصيف وتصل إلى الصفر في الشهرين (٦، ٧) كادني قيمه لها وتصل إلى أعلى قيمة لها في فصل الشتاء الى ٦٠ درجة في الشهرين (١٢,١) وذلك لزيادة ساعات النهار وتعامد الشمس صيفا وتناقص ساعات النهار وميلان الشمس شتاءا. الشكل رقم (٣) يوضح شدة الإشعاع الشمسي فصليا لزويا ميل مختلفة ومن خلالها تم لتحديد زوايا الميل المثلى لكل فصل كما في الجدول رقم (٢).

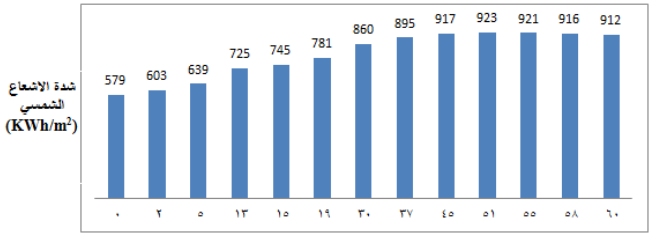


شكل (٣) قيم الإشعاع الشمسي فصليا ب (KWh/m2) لزويا ميل مختلفة

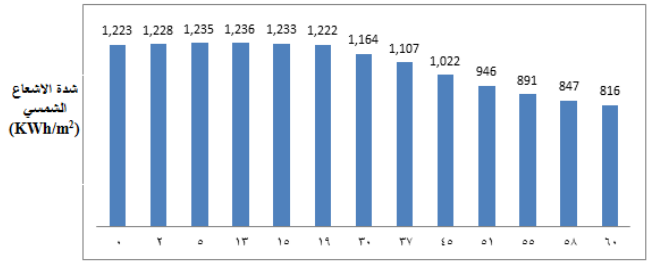
جدول (٢) زويا ميل الألواح الثابتة المثلى مع الأفق فصليا

الفصل	الأشهر	زاوية ميل اللوح مع الأفق فصليا	شدة الاشعاع الشمسي (KWh/m2)
الأول	(12, 1, 2)	58	439
الثاني	(3, 4, 5)	19	520
الثالث	(6, 7, 8)	2	684
الرابع	(9, 10, 11)	45	519

وتم احتساب قيم الإشعاع لزويا ميل مختلفة لنصفي السنة اعتبر النصف الأول الأشهر (١٠، ١١، ١٢، ١، ٢، ٣) و اعتبر النصف الثاني الأشهر (٤، ٥، ٦، ٧، ٨، ٩) لتحديد الزوايا المثلى لكل نصف كما في الشكل رقم (٤) والشكل (٥) لقد وجد إن أفضل زاوية للنصف الأول هي ٥١ درجة وأفضل زاوية للنصف الثاني هي ١٣ درجة .



شكل (٤) قيمة شدة الإشعاع الشمسي للنصف الثاني



شكل (٥) قيمة الإشعاع الشمسي للنصف الثاني

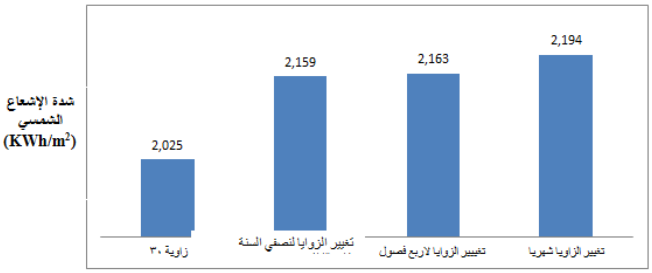
وتم احتساب قيم شدة الإشعاع الشمسي سنويا لزوايا الميل مع الأفق المختلفة لتحديد الزاوية الأنسب سنويا وكما موضح في الشكل رقم (٦) وقد وجد أنها ٣٠ درجة مع الأفق ونلاحظ إن زاوية الميل المثلى اقل من خط عرض مدينة بغداد بمقدار ٣ درجات وذلك بسبب تأثير الأشعة الشمسية المتشتتة والناتجة من وجود الغبار والغيوم والتي تصل إلى أعلى قيمة لها عند عندما يكون اللوح الشمسي بشكل أفقي وبالتالي يؤثر على القيمة الكلية للأشعة الشمسية الساقطة المكون من الأشعة المباشر الجزء الغالب منها والتي تصل إلى أعظم قيمة لها عند زاوية الميل اللوح الشمسي مساوية لخطوط العرض وبذلك تكون المحلة لزاوية الميل اقل من خطوط العرض لمدينة بغداد ولهذا نجد إن الدول الأوربية مثلا تكون قيم الميل المثلى للألواح الشمسية مع الأفق هي اقل بكثير من خطوط العرض لكون الأشعة الشمسية المتشتتة تكون هي النسبة الغالبة من قيم الأشعة الشمسية الساقطة الكلية على الألواح الشمسية.

الشكل رقم (٦) يوضح زوايا الميل المثلى للألواح الشمسية الثابتة شهريا وفصليا وسنويا لمدينة بغداد.



الشكل رقم (٦) زوايا الميل المثلى للألواح الشمسية الثابتة شهريا وفصليا

وتم احتساب مقدار الطاقة الشمسية الساقطة على الألواح الشمسية الثابتة وعند اعتماد زاوية ميل مثلى سنويا (٣٠ درجة) وعند تغيرها لزوايا مثلى شهريه وعند تغيرها لزويا مثلى فصلية كما في الشكل رقم (٧) وكان مقدار الزيادة النسبية في الطاقة الساقطة على الألواح الشمسية عند تغيرها شهريا ٨,٣٤ % وعند تغييرها لاربع فصول ٦,٨٥% وعند تغيرها لنصفي السنة ٦,٦١% بالمقارنة مع زاوية الميل الثابتة سنويا للألواح الشمسية ومن خلال هذه الحسابات نجد إن أفضل وسيلة لزيادة الطاقة المتولدة من الألواح الشمسية هي تغير زوايا الميل مرتين خلال السنة لتقليل الجهد المطلوب في تغيير الزوايا وكذلك لقلة الفرق في الزيادة عنها عند التغيير الشهري والتغيير لأربع فصول.



شكل (٧) قيمة شدة الإشعاع الشمسي لسنة كاملة عند تغيير الزوايا شهريا وفصليا ولنصفي السنة وثباتها لزاوية ٣٠ درجة

٤. الاستنتاج

١- إن اقل زاوية ميل للألواح الشمسية مع الأفق لمدينة بغداد في فصل الصيف هي صفر درجة خلال شهري (٦,٧) وأعلى قيمة لزاوية الميل في فصل الشتاء هي ٦٠ درجة في أشهر (١,١٢).

٢- بينت النتائج أن معدل زاوية الميل المثلى للنصف الثاني للأشهر (٤، ٥، ٦، ٧، ٨، ٩) هي ١٣ درجة مع الأفق باتجاه الجنوب ومعدل زاوية الميل المثلى للنصف الاول للأشهر (١٠، ١١، ١٢، ١، ٢، ٣) هي ٥١ درجة مع الأفق باتجاه الجنوب.

٣- زاوية الميل المثلى مع الأفق لمدينة بغداد هي ٣٠ درجة باتجاه الجنوب للألواح الشمسية الثابتة.

٤- إن مقدار الزيادة النسبية في الطاقة الساقطة على الألواح الشمسية عند تغيرها شهريا ٨,٣٤ % وعند تغييرها لأربع فصول ٦,٨٥% وعند تغيرها لنصف السنة ٦,٦١% بالمقارنة مع الطاقة الساقطة على الألواح الشمسية التي زاوية ميلها ثابتة سنويا.

٥- يفضل تغيير ميل الألواح الشمسية الثابتة بزاوية ١٣ درجة للنصف الثاني من السنة و٥١ درجة للنصف الاول من السنة هي الأنسب لمدينة بغداد لغرض زيادة نسبة الطاقة الساقطة على الألواح الشمسية الثابتة وتقليل الجهد المبذول.

٥. المصادر

[1] Manes A, Ianetz A. On the optimum exposure of flat-plate fixed solar PV arrays. Sol Energy 1983;31(1) p65–73.

[2] Tiris M, Tiris C. Optimum PV array slope and model evaluation case study for Gebze, Turkey. Energy Convers Manage1998, p 167–72.

[3] Yakup MAHM, Malik AQ. Optimum tilt-angle and orientation for solar PV array in Brunei, Darussalam. Renew Energy 2001, p24:223–34.

[4] Ibrahim D. Optimum tilt-angle for solar PV arrays used in Cyprus. Renew Energy 1995;6(7):513–9.[5] Chinnery DNW. Solar heating in South Africa. CSIR-Research Report 248 1981, Pretoria.

[6] Hottel HC. Performance of flat-plate solar energy PV arrays for space heating with solar energy. In:Proceeding of a Course-Symposium. Cambridge, MA: MIT Press; 1954.

[7] Lin WX. Optimum inclinations for the entire year for south-facing solar PV arrays in China. Energy 1989, p :863–6.

[8] Garg HP. Treative on Solar Energy: Volume 1: Fundamentals of Solar Energy. New York: Wiley,1982.

[9] Lunde PJ. Solar Thermal Engineering. New York: Wiley, 1980.

[10] Duffie JA, Beckman WA. Solar Engineering of Thermal Processes. New York: Wiley, 1982.

[11] Heywood H. Operational experience with solar water heating. J Inst Heat Vent Energy 1971;p 39:63–9.

[12] Ravinder Kumar, L. Umanand,' Estimation of global radiation using clearness index model for sizing photovoltaic system', Renewable Energy 30 (2005) 2221–2233.

[13] Kimbal, H. H., 1919, "Variations in Total and Luminous Solar Radiation with Geographical Position in the United States," Mon. Weather Rev., 47, p. 769.

[14] Angstrom, A., 1924, "Solar and Terrestrial Radiation," Q. J. R. Meteorol. Soc., 50, p121–126.

[15] Chandel SS, Aggarwal RK, Pandey AN (2005). New correlation to estimate global solar radiation on horizontal surface using sunshin eduration and temperature data for Indian sites. J. solar engineering, 127(3), p 417-420.