بسم الله الرحمن الرحيم

جامعة السودان للعلوم والتكنلوجيا

كلية الهندسة

مدرسة الهندسة الميكانيكة

قسم القدرة

نظام لتسخين المياه بالطاقة الشمسية للأغراض الصناعية

بحث تكميلي لنيل درجة بكالريوس الشرف في الهندسة الميكانيكية (قدرة)

إعداد الطلاب :

عمر محمد محمد أحمد الحاج

عبد الله جمال عبد الله علي

إشراف الأستاذ :

د.مصعب زروق

- أكتوبر 2015 -

الباب الأول

الآية

قال تعالى :

"وَالشَّمْسُ تَجْرِي لِمُسْتَقَرٍّ لَهَا ذَلِكَ تَقْدِيرُ الْعَزِيزِ الْعَلِيمِ"

يـــس (38)

الإهدآء

إلى معلمي الأول،،،أبي

وإلى شمعة دربي ،،،أمي

إلى كل من هم في القلب ،،،،،

اهديكم هذا الجهد المتواضع

الشكر والعرفان

الشكر لله من قبل ومن بعد ،
ومن ثم للأستاذ /
د.مصعب زروق
الذي ارشدنا ووجهنا لاكمال هذه البحث
كما نشكر الباشمهندس عبد الله التوم ، الذي امدنا بمعلومات قيمة لإتمام هذا العمل

التجريدة

هذه الدراسة تتحدث عن جدوي إستخدام الطاقة الشمسية في التطبيقات الصناعية عن طريق تسخين المياه بواسطة المجمعات الشمسية لتقليل استهلاك الوقود .

تدرس المجمعات الشمسية وعلي الاخص دراسة وتصميم المجمع المسطح لانه الأقل تكلفة تصنيعية بين المجمعات .

This is a research about the benefits of using solar energy in industrial applications by using water that have been heated by solar collector to decrease fuel consumption in boilers.

It studies solar collectors, specially flat plate collectors because it has the minimum initial cost.

المقدمة

1.1 مقدمة :

الطاقة الشمسية هي الضوء والحرارة المنبعثان من الشمس اللذان قام الإنسان بتسخيرهما لمصلحته منذ العصور القديمة باستخدام مجموعة من وسائل التكنولوجيا التي تتطور باستمرار. وتضم تقنيات تسخير الطاقة الشمسية استخدام الطاقة الحرارية للشمس سواء للتسخين المباشر أو ضمن عملية تحويل ميكانيكي لحركة أو لطاقة كهربائية، أو لتوليد الكهرباء عبر الظواهر الكهروضوئية باستخدام ألواح الخلايا الضوئية الجهدية بالإضافة إلى التصميمات المعمارية التي تعتمد على استغلال الطاقة الشمسية، وهي تقنيات تستطيع المساهمة بشكل بارز في حل بعض من أكثر مشاكل العالم إلحاحاً اليوم.

تُعزى معظم مصادر الطاقة المتجددة المتوافرة على سطح الأرض إلى الإشعاعات الشمسية بالإضافة إلى مصادر الطاقة الثانوية ، مثل طاقة الرياح وطاقة الأمواج والطاقة الكهرومائية والكتلة الحيوية. من الأهمية هنا أن نذكر أنه لم يتم استخدام سوى جزء صغير من الطاقة الشمسية المتوافرة في حياتنا .

1.1.1 إستخدام الطاقة الشمسية:

استفاد الإنسان منذ القدم من طاقة الإشعاع الشمسي مباشرة في تطبيقات عديدة كتجفيف المحاصيل الزراعية وتدفئة المنازل كما استخدمها في مجالات أخرى وردت في كتب العلوم التاريخية فقد أحرق أرخميدس الأسطول الحربي الروماني في حرب عام 212 ق.م عن طريق تركيز الإشعاع الشمسي على سفن الأعداء بواسطة المئات من الدروع المعدنية.

وفي العصر البابلي كانت نساء الكهنة يستعملن آية ذهبية مصقولة كالمرايا لتركيز الإشعاع الشمسي للحصول على النار . كما قام علماء أمثال تشرنهوس وسويز ولافوازييه وموتشوت وأريكسون وهاردنج وغيرهم باستخدام الطاقة الشمسية في صهر المواد وطهي الطعام وتوليد بخار الماء وتقطير الماء وتسخين الهواء .

كما أنشئت في مطلع القرن الميلادي الحالي أول محطة عالمية للري بوساطة الطاقة الشمسية كانت تعمل لمدة خمس ساعات في اليوم وذلك في المعادي قرب القاهرة.

لقد حاول الإنسان منذ فترة بعيدة الاستفادة من الطاقة الشمسية واستغلالها ولكن بقدر قليل ومحدود ومع التطور الكبير في التقنية والتقدم العلمي الذي وصل إليه الإنسان فتحت آفاقا علمية جديدة في ميدان استغلال الطاقة الشمسية .

1.1.2 بالإضافة لما ذكر تمتاز الطاقة الشمسية بالمقارنة مع مصادر الطاقة الأخرى بما يلي :-

1. إن التقنية المستعملة فيها تبقى بسيطة نسبياً وغير معقدة بالمقارنة مع التقنية المستخدمة في مصادر الطاقة الأخرى.
2. توفير عامل الأمان البيئي حيث أن الطاقة الشمسية هي طاقة نظيفة .
3. لا تلوث الجو وتترك فضلات مما يكسبها وضعاً خاصا في هذا المجال وخاصة في القرن القادم [1] .

أما التحويل الحراري للطاقة الشمسية فيعتمد على تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية عن طريق المجمعات (الأطباق) الشمسية والمواد الحرارية .فإذا تعرض جسم داكن للون ومعزول إلى الإشعاع الشمسي فإنه يمتص لإشعاع وترتفع درجة حرارته . يستفاد من هذه الحرارة في التدفئة والتبريد وتسخين المياه وتوليد الكهرباء وغيرها . وتعد تطبيقات السخانات الشمسية هي الأكثر انتشاراً في مجال التحويل الحراري للطاقة الشمسية .

ورغم أن الطاقة الشمسية قد أخذت تتبوأ مكان هامة ضمن البدائل المتعلقة بالطاقة المتجددة ، إلا أن مدى الاستفادة منها يرتبط بوجود أشعة الشمس طيلة وقت الاستخدام أسوة بالطاقة التقليدية. وعليه يبدو أن المطلوب من تقنيات بعد تقنية وتطوير التحويل الكهربائي والحراري للطاقة الشمسية هو تقنية تخزين تلك الطاقة للاستفادة منها أثناء فترة احتجاب الإشعاع الشمسي .

وهناك عدة طرق تقنية لتخزين الطاقة الشمسية تشمل التخزين الحراري الكهربائي والميكانيكي والكيميائي والمغناطيسي ، وتعد بحوث تخزين الطاقة الشمسية من أهم مجالات التطوير اللازمة في تطبيقات الطاقة الشمسية وانتشارها على مدى واسع ، حيث أن الطاقة الشمسية رغم أنها متوفرة إلا نها ليست في متناول اليد وليست مجانية بالمعني المفهوم . فسعرها الحقيقي عبارة عن المعدات المستخدمة لتحويلها من طاقة كهرومغناطيسية إلى طاقة كهربائية أو حرارية . وكذلك تخزينها إذا دعت الضرورة . ورغم أن هذه التكاليف حالياً تفوق تكلفة إنتاج الطاقة التقليدية إلا أنها لا تعطي صورة كافية عن مستقبلها بسبب أنها آخذة في الانخفاض المتواصل بفضل البحوث الجارية والمستقبلية .

من المفارقات الكبرى في عالم اليوم أن الطاقة الشمسية متوفرة كثيرا في البقاع التي تحتاج إليها بشكل مُلحّ جدا: في البوادي والصحاري أكثر بكثير منها في المدن، وفي البلدان الجنوبية (الفقيرة والمتخلفة) – حيث تعيش أكبر نسبة من سكان العالم – أكثر منها في المناطق الشمالية المتقدمة. ولكن لا أحد يستغلها هناك ..!

1.1.3 بعض تطبيقات استخدام الطاقة الشمسية :-

1/ نظم التسخين والتبريد خلال التصميمات المعمارية التي تعتمد على استغلال الطاقة الشمسية.

2/ الماء الصالح للشرب خلال التقطير والتطهير.

3/ تسخين المياه .

4/ استغلال ضوء النهار والطاقة الحرارية في الطهو.

5/ توليد الطاقة الكهربائة .

6/الاستخلاص المعزز للنفط [2].

تتسم وسائل التكنولوجيا التي تعتمد الطاقة الشمسية بشكل عام بأنها إما أن تكون نظم طاقة شمسية سلبية أو نظم طاقة شمسية إيجابية وفقًا للطريقة التي يتم استغلال وتحويل وتوزيع ضوء الشمس من خلالها.وتشمل التقنيات التي تعتمد على استغلال الطاقة الشمسية الإيجابية استخدام اللوحات الفولتوضوئية

والمجمع الحراري الشمسي، مع المعدات الميكانيكية والكهربية، لتحويل ضوء الشمس إلى مصادر أخرى مفيدة للطاقة.

هذا، في حين تتضمن التقنيات التي تعتمد على استغلال الطاقة الشمسية السلبية توجيه أحد المباني ناحية الشمس واختيار المواد ذات الكتلة الحرارية المناسبة أو خصائص تشتيت الأشعة الضوئية، وتصميم المساحات التي تعمل على تدوير الهواء بصورة طبيعية.

1.1.4 مستقبل الطاقة الشمسية :-

في عام 2020 سيصبح الاعتماد على الطاقات المتجددة حوالي 44%، أما في عام 2030 سيصبح حوال 53%، وفي عام 2040 سيصبح تقريباً 72% ونيف.

ونلاحظ تزايد استثمار الطاقة الشمسية والطاقة الحيوية وطاقة الرياح في حين سيبقى الاعتماد على الطاقة المتولدة من التيارات المائية دون تغير تقريبا، كما نلاحظ أن السيادة المستقبلية ستكون للطاقة الشمسية بحدود 50% من مجمل الطاقات المتجددة[3] .

1.2 مشكلة البحث :

اصبح استهلاك الطاقة في المنشأت الصناعية كبيرا جدا ومع استمرار أسعار الوقود في الارتفاع بالإضافة الى نضبها ، اصبح من الواجب البحث عن طرق بديلة للحصول على الطاقة.

الطاقات البديلة مثل الطاقة الشمسية يمكنها توفير جزء كبير من هذه الطاقة وتكلفتها قليلة كما انها صديقة للبيئة .

1.3 مجال البحث :-

الطاقة الشمسية ، وكيفية عمل المجمعات الشمسية ، وكيفية الاستفادة من الطاقة المنتجة من المجمعات الشمسية في مجالات الصناعة .

1.4 الهدف من البحث :

دراسة المجمعات الشمسية والبحث عن امكانية الاستفادة من الطاقة الشمسية واستخدامها للاغراض الصناعية

1.5 منهجية البحث:

إستهداف المصانع والمنشآت التي تعتمد في عملها على نظم توليد طاقة حرارية ، والنظر في كيفية استخدام الطاقة الشمسية فيها كي تنوب او تعمل بجانب المنظومات الحرارية ؛ التي تستهلك كما هائلا من الطاقة ، ثم تحديد نوع ومواصفات منظومة طاقة شمسية ملائمة لاستخدامها.

الباب الثاني

الدراسات السابقة

2.1 مقدمة :

خلق الله الشمس والقمر كآيات دالة على كمال قدرته وعظم سلطانه وجعل شعاع الشمس مصدراً للضياء على الأرض وجعل الشعاع المعكوس من سطح القمر نوراً . قال الله تعالى في كتابه العزيز (هو الذي جعل الشمس ضياء والقمر نوراً وقدره منازل لتعلموا عدد السنين والحساب ما خلق الله ذلك إلا بالحق يفصل الآيات لقوم يعلمون) سورة يونس الآية(5) فالشمس تجري في الفضاء الخارجي بحساب دقيق حيث يقول الله سبحانه وتعالى في سورة الرحمن (الشمس والقمر بحسبان) الآية(5) . أي أن مدار الأرض حول الشمس محدد وبشكل دقيق ، وآي اختلاف في مسار الأرض سيؤدي إلى تغيرات مفاجئة في درجة حرارتها وبنيتها وغلافها الجوي ، وقد تحدث كوارث إلى حد لآيكن عندها بقاء الحياة فقدرة الله تعالى وحدها جعلت الشمس الحارقة رحمة ودفئاً ومصدراً للطاقة

تعتبر الشمس مصدراً أساسياً للطاقة على سطح الأرض وقد تطور استعمالها عبر العصور بتطور العلوم والتكنولوجيا فبعد أن استخدمها الإنسان للتدفئة والتجفيف استغلها لتسخين الماء ثم إنتاج الطاقة الكهربائية باستعمال الخلايا الشمسية . وتبذل جهود علمية وتقنية كبيرة في جميع أنحاء العالم في مجال الخلايا الشمسية لتحسين مردوديتها من حيث تحويل طاقة الشمس لطاقة كهربائية والحد من كلفتها من ناحية أخرى .

تطبيقات الطاقة الشمسية في السودان كخيار امثل ومستقبل واعد قدمتها إدارة التخطيط والمشروعات بوزارة الموارد المائية والكهربائية بالتعاون مع الشركة السودانية لتوزيع الكهرباء في تقرير لها فى ورشة تدشين كهرباء الريف باستخدام الطاقة الشمسية حيث اشار التقرير إلى موقع السودان الذي يحظى بإشعاع شمسي يقدر بـ 649 واط ساعة في المتر المربع وإشراق شمسي يزيد عن عشرة ساعات يوميا وعلى مدار العام ونوه لأهمية الطاقة في حياة الإنسان وفي بلد مترامي الأطراف كالسودان معظم سكانه بالريف وانحصار الشبكة على المناطق الحضرية وصعوبة نقل المواد البترولية في التوليد في الشبكات المعزولة.

نسبة السكان الذين تصلهم خدمة الكهرباء في المناطق الحضرية 55%.وفي المناطق شبه الحضرية والريفية 13,8% ونجد أن نسبة الكهرباء العامة للسكان 27,8% وكان ذلك نتيجة للجهد المقدر الذي بذلته

وزارة الكهرباء بتمديد الشبكة لقرى النيل الأبيض والأزرق والجزيرة ونهر النيل وشمال كردفان، وبذلك نجد أن نسبة الكهرباء لاتزال متواضعة خاصة في المناطق الريفية لذلك كان من الضروري النظر في بدائل تسد حاجة المناطق الريفية التي يصعب توصيلها بالشبكة القومية للكهرباء مما يجعل تطبيقات الطاقة الشمسية الضوئية هي الأوفر حظاً لتوفير الطاقة للمناطق الريفية ومما يساعد على ذلك أن حوجة الريف للطاقة محدودة في القطاعات الثلاثة (منزلي – خدمي – تجاري) لذلك كان لابد من قيام البرنامج التجريبي لإدخال الطاقة الشمسية في الريف.

وأورد التقرير الهدف من برنامج المشروع التجريبي لأنظمة الطاقة الشمسية في الريف لتغطية القطاع المنزلي بالطاقة الشمسية الضوئية عبر سيناريو يضيف مليون ومائة ألف منزل متدرج في الخمسية الأولى 150 ألف منزل والخمسية الثانية 250 ألف منزل والثالثة 300 ألف منزل والرابعة 400 ألف منزل للوصول لتغطية نسبة 24,9 % بالطاقة الشمسية من سكان الريف بنهاية الخطة العشرينية.

وعدد التقرير مجالات استعمال الطاقة الشمسية والمتمثلة في التطبيقات العامة والسكنية من تسخين مياه في المنشآت والفنادق وتسخين المسابح ، التخزين الحراري والتكييف والتبريد.

إضافة إلى التطبيقات الزراعية في المحميات الزراعية والمجففات الشمسية ومضخات الآبار للشرب والري ، بجانب التطبيقات في الأماكن النائية مثل الطبخ الشمسي ، وتحليه المياه.

وحول توليد الطاقة الكهربائية للاستخدام المنزلي أورد التقرير استخدام ألواح الخلايا الشمسية في توليد التيار الكهربائي من الطاقة الضوئية الموجود في الأشعة الشمسية لأغراض إنارة المنازل وتشغيل المعدات الكهربائية المنزلية مثل التلفزيون وأجهزة الراديو والفيديوهات والمراوح وشحن الهواتف وغيرها.

وعن ضخ المياه ذكر التقرير إسهام التقنيات المتطورة في تكنولوجيا الطاقة الشمسية في الاستفادة منها كمصدر رخيص ومتجدد للطاقة ومن ضمن النجاحات استخدامها في ضخ المياه للشرب والزراعة بواسطة طلمبات من آبار جوفيه ومن ميزات استخدامها أن التكلفة التشغيلية للطلمبات رخيصة جداً من ناحية المدخلات، والطلمبات الشمسية يعد خيارا نظيفا للبيئة مقارنة بالوابورات التي تعمل على حرق الوقود، ولايوجد أجزاء متحركة

في الألواح الشمسية مما يقلل من تكلفة صياناتها ولاتعتمد الطلمبات الشمسية على تقلبات أسعار الوقود محلياً وعالمياً .

وأورد التقرير ان لمبات الشوارع تعد من أكثر الهوادر للطاقة الكهربائية وتستهلك جزءً مقدراً من إنتاج محطات التوليد عالمياً ومن هنا كان اتجاه الأبحاث في الطاقة الشمسية لإنارة الشوارع كنقلة تكنولوجية خاصة في استخدام لمبات الـ LED و التي تتميز اقتصادياً بحيث تكلفتها الأولية تعادل تكلفة اللمبات التقليدية مع أنها ليس لها تكلفة استهلاك أو صيانة، كما أنها سهلة التركيب والتشغيل بحيث أنها لاتتطلب إزالة معوقات مثل تكسير الشوارع أو من شبكات لتوصيلات الكهرباء، ولا تتأثر بقطوعات الكهرباء العامة مما يجعلها مفيدة جداً من الناحية الأمنية في مثل هذه الحالات، حيث أن العمر الافتراضي لتشغيل اللمبات كبير جداً يصل حتى 50 ألف ساعة أي ما يعادل 12 سنة بمتوسط تشغيل 12 ساعة يومياً.

وتناول التقرير العوامل المؤثرة على الطاقة الشمسية ممثلة في ارتفاع كلفة إنتاج الألواح الخاصة بالطاقة الشمسية والتقلبات الجوية المتمثلة بالعواصف الترابية المتكررة الأمر الذي يتطلب إجراء عمليات النظافة الدورية لها.

وتشير التجارب السابقة في مجال الطاقة الشمسية الضوئية إلى محفزات الاستفادة منها كمصدر متوفر على مدار العام ووجود جدوى مالية واقتصادية للاستفادة من الطاقة الشمسية وحلول ناجحة تقنياً وإدارياً[4].

2.2 مجمعات الطاقة الشمسية :-

إن معظم الطاقة التي يستخدمها العالم تأتي اصلا من الشمس. لكن مجمعات الطاقة الشمسية تستخدم تلك الطاقة المستمدة مباشرة من الشمس بدلا من تبديدها دون جدوى .

المجمع الشمسي الحراري هو مجمع شمسي تم تصميمه لتجميع الحرارة عن طريق امتصاص أشعة الشمس. والمجمع هو جهاز يستخدم لتحويل الطاقة الموجودة في أشعة الشمس أو الإشعاع الشمسي إلى صورة أكثر قابلية للاستخدام والتخزين.

و يشير مصطلح المجمع الشمسي إلى ألواح شمسية لتسخين المياه، و لكن قد يشير أيضاً إلى تركيبات أكثر تعقيداً مثل جهاز مكافئ الطاقة الشمسة ، أحواض الطاقة الشمسية، أبراج الطاقة الشمسية ،أو إلى تركيبات أقل تعقيداً مثل التدفئة الشمسية للهواء.

وتستخدم محطات الطاقة الشمسية عادة المجمعات الأكثر تعقيداً لتوليد الكهرباء عن طريق تسخين الماء لإنتاج البخار والذي يحرك التوربين المتصل بمولد كهربائي. وعادة ما تستخدم المجمعات الأقل تعقيداً في المباني السكنية والتجارية للتدفئة الإضافية للمباني .

2.3 أنواع المجمعات الشمسية المستخدمة لتجميع الحرارة:

تقع المجمعات الشمسية في فئتين عامتين:

أ/ غير المركزة.

ب/ المركزة[5].

2.3.1 المجمعات الشمسية غير المركزة:

تكون فيها منطقة التجميع (أي المنطقة التي تعترض الإشعاع الشمسي) هي نفس منطقة الامتصاص (أي المنطقة التي تمتص الإشعاع). وفي مثل هذه الأنواع، تمتص لوحة الطاقة الشمسية بأكملها الضوء.

ومن انواعها:

I/ المجمع الشمسي المسطح:

يعتبر استخدام المجمعات المسطحة من أبسط أساليب تحويل أشعة الطاقة الشمسية، و هو عبارة عن ألواح مستوية ذات لون داكن أسود غيرلامع و هو أكثر الأساليب انتشارا في تطبيقات الطاقة الشمسية و يتميزهذا النوع من المجمعات بأن سطح الإمتصاص المعرض لأشعة الشمس المباشرة يكون مسطح ومستوى، وموضوع

حيث أن يميل بزاوية تسمح لأشعة الشمس بالتبادل الحراري بين سطح الامتصاص ومسارات مصنعة بداخل فراغات سطح الامتصاص التي يمر الماء خلالها .

شكل (2.1) المجمع الشمسي المسطح[5]

المجمع الشمسي المسطح يتكون من:

(1) لوح مسطح داكن لامتصاص الطاقة الشمسية.

(2) غطاء شفاف يسمح للطاقة الشمسية بالمرور ولكنه يقلل من فقدان الحرارة.

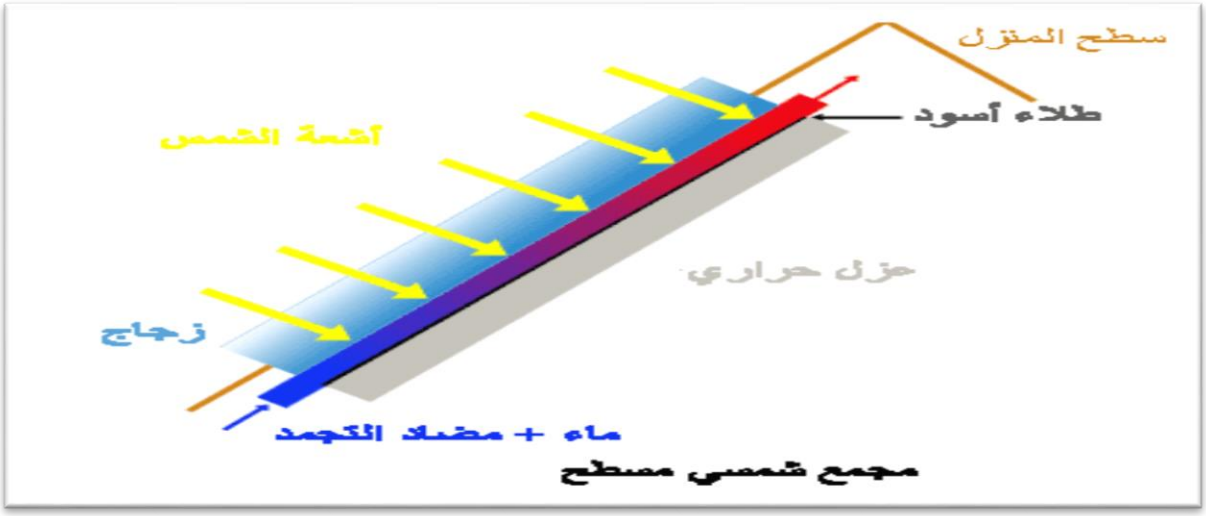
(3) سائل لنقل الحرارة (الهواء ، أو الماء) لإزالة الحرارة من لوح الامتصاص.

(4) داعم و غطاء لعزل الحرارة.

طريقة استقباله لأشعة الشمس:

يمر ضوء الشمس عبر الواجهات الزجاجية ويضرب لوح الإمتصاص، والذي حينما يسخن ينقل الحرارة إلى السائل الذي يمر خلال الأنابيب المتصلة بلوح الامتصاص. وعادة ما يتم طلاء ألواح الامتصاص "بطلاءات منتقاة"، والتي بدورها تمتص وتحتفظ بالحرارة بدرجة أفضل من الطلاء الأسود العادي. وعادة ما تصنع ألواح الامتصاص من معدن النحاس او الألمونيوم لأن هذان المعدنان موصلان جيدان للحرارة.

ويعتبر النحاس أكثر تكلفة ولكنه موصل أفضل وأقل عرضة للتآكل مقارنة بالألمونيوم و في المواقع التي يتوفر فيها معدلات متوسطة من الطاقة الشمسية ، يكون حجم مجمعات الألواح المسطحة تقريباً 1. متر مربع لكل 3.8 لتر من استخدام الماء الساخن يومياً.



الشكل (2.2) مكونات المجمع الشمسي المسطح واستقباله لأشعة الشمس

II / مجمعات الأنابيب المفرغة :

وتتكون من أنابيب زجاجية مفرغة عديدة كلا منها يحتوي على لوح امتصاص مدمج أو ملتحم بأنبوب حراري. ويتم نقل الحرارة من الطرف الساخن للأنابيب الحرارية إلى السائل المنتقل (الماء) من الماء الساخن

المنزلي أو نظام تدفئة في مبادل حراري متعدد الجوانب أو متشعب، والذي يكون ملفوف في انعزال ومغطى بصفائح معدنية أو بالبلاستيك لحمايته من التأثيرات البيئية.

الفراغ الذي يحيط بخارج الأنبوبة يقلل إلى حد كبير من الحمل الحراري والتوصيل وفقدان الحرارة إلى الخارج، لذلك يحقق قدر أكبر من الكفاءة من مجمعات الألواح المسطحة، وخاصة في الأحوال الجوية الأكثر برودة. ويتم فقدان هذه الميزة إلى حد كبير في الظروف المناخية الحارة، إلا في الحالات التي يكون فيها الماء المفرط السخونة مرغوب فيه.

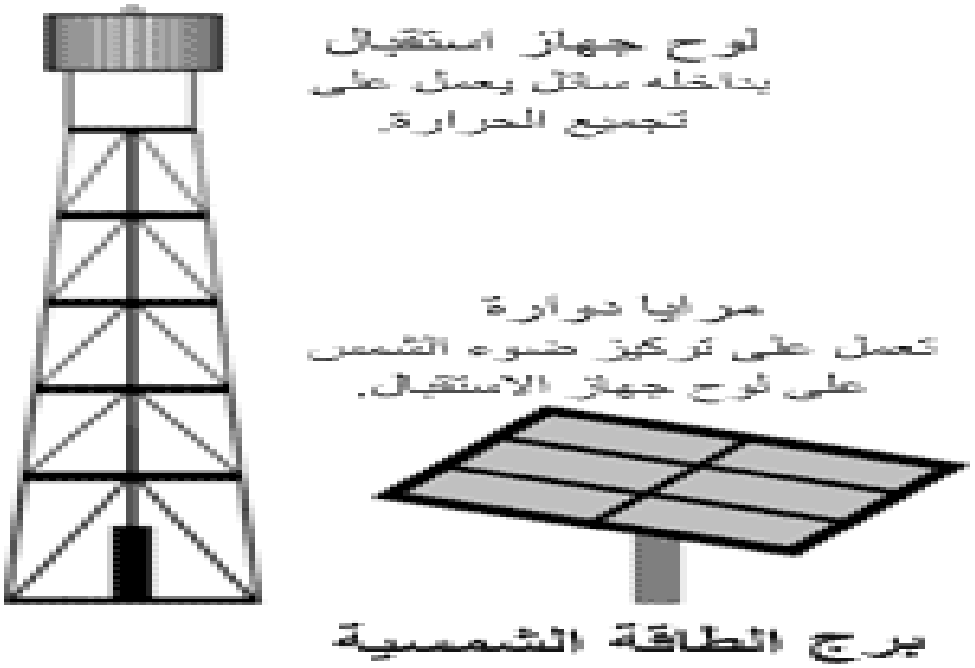
الشكل (2.3) مجمع الأنابيب المفرغة

2.3.2 المجمعات الشمسية المركزة:

تستخدم المجمعات الشمسية المركزة المرايا لتجميع وتركيز ضوء الشمس لتوليد كميات كبيرة من الكهرباء. فيقوم ضوء الشمس المُجمّع بتسخين الماء أو بعض السوائل الأخرى لإنتاج البخار[6] ، ومن أنواعها :

I/ برج الطاقة الشمسية:

يرتكز برج الطاقة الشمسية الطويل في منتصف المرايا المرتبة لتتبع الشمس وتركز ضوءها على مستقبل في أعلى ذلك البرج. وتكوّن المرايا التي تسمي هيليوستات ترتيبًا دائريًا متحركًا حول البرج. ويقوم سائل النقل الحراري داخل المستقبل بتوليد البخار لتدوير مولد. وفي أبراج الطاقة المستخدمة في وقت سابق، كان سائل النقل الحراري هو البخار. والآن حلت أملاح النترات الذائبة محل البخار؛ وذلك لأنها أفضل في نقل الحرارة وتخزينها للاستخدام في وقت لاحق. ويمكن لمحطات برج الطاقة أن تنتج مقدار طاقة يتراوح ما بين 50 و 200 ميجاوات. ويخضع استخدام برج الطاقة للتجربة في جنوب إفريقيا، وفي أجزاء أخرى من العالم أيضا[6].



الشكل (2.4) برج الطاقة الشمسية

المزايا :

1) يتم الوصول الي درجات حرارة عالية جدا.

2) الكفاءة الجيدة. عن طريق تركيز أشعة الشمس.

3) يمكن تغطية مساحة أكبر باستخدام المرايا غير المكلفة نسبياً.

4) يمكن إعادة توجيه الضوء المركز إلى موقع مناسب عبر كابل الألياف البصرية. على سبيل المثال المباني المضيئة.

5) يتم تحقيق تخزين الحرارة لإنتاج الطاقة أثناء الظروف الجوية الغائمة وخلال الليل، في الغالب بواسطة صهريج تخزين تحت الأرض من السوائل الساخنة. وقد استخدمت الأملاح المنصهرة للحصول على تأثير جيد[6].

العيوب :

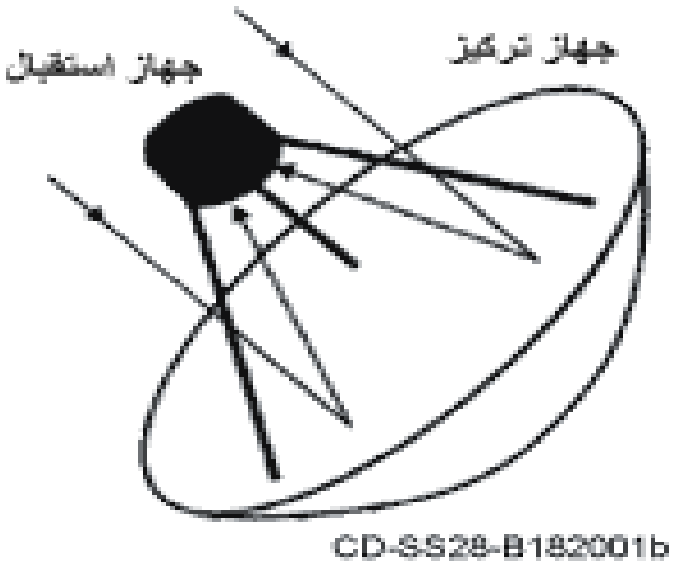
1) أنظمة التركيز تتطلب تتبع للشمس للحفاظ على تركيز أشعة الشمس على المجمع.

2) عدم القدرة على توفير الطاقة في ظروف انتشار الضوء .ناتج الطاقة من أنظمة التركيز ينخفض بشكل كبير في الظروف الغائمة حيث أنّه لا يمكن تركيز الضوء .

II/الطبق الشمسي :

نظام الطبق الشمسي يستخدم مجموعة من المرايا مرتبة على شكل طبق. ويتحرك هذا الطبق مع حركة الشمس، فيجمع ويركز الطاقة الشمسية. وتقوم المرايا بتركيز تلك الطاقة على مستقبل. ويقع ذلك المستقبل في النقطة البؤرية للطبق، ويحتوي على وسيط ناقل للحرارة – إما أنابيب مملوءة بالهيدروجين أو غاز الهيليوم أو مملوءة بسائل يغلي حتى يتحول إلى غاز ثم يتكثف لنقل الحرارة لمحرك ستيرلينج. وذلك المحرك مركب في النقطة البؤرية، ويقوم بإنتاج طاقة ميكانيكية لتدوير مولد وإنتاج الكهرباء. ويعمل نظام محرك الطبق بكفاءة تصل إلى حوالي 30%، وهو أكثر المجمعات الشمسية كفاءة[6] .

الشكل (2.5)وضع المرايا في الطبق الشمسي



الشكل (2.6)استقبال المجمع لاشعه الشمس وتجميعها

المميزات :

1) الصفة الصفائفية (modularity)، مما يمكن من اضافة وحدات حسب الحاجة .و بالتالي يمكن أن تمتد سعة المحطة من كيلووات الى عشرات الميغاوات.

2) سرعة الإنشاء .

3) المرونة في اختيار الموقع .

4) حاجة محدودة للماء.

العيوب :

1) القصر النسبي للعمر التجاري .

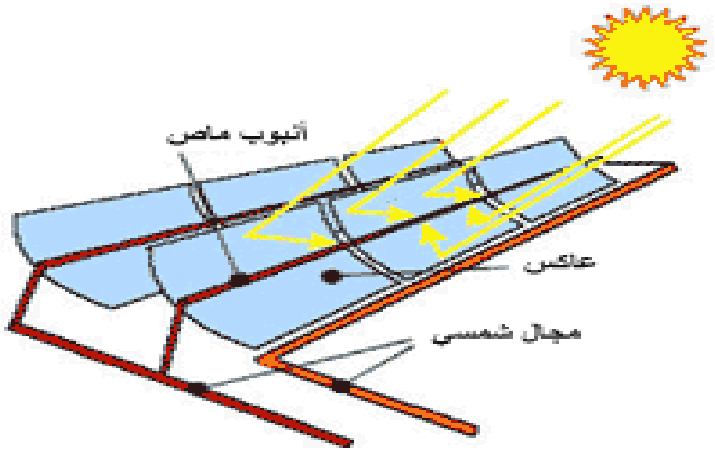
2) تكلفة عالية نسبيا .

3) انعدام التخزين .

4) عواكس الأطباق تكون عادةً من عشرات الشرائح العاكسة المحناة من الزجاج أو الرقائق المقوّاة (الناحية الاقتصادية) .

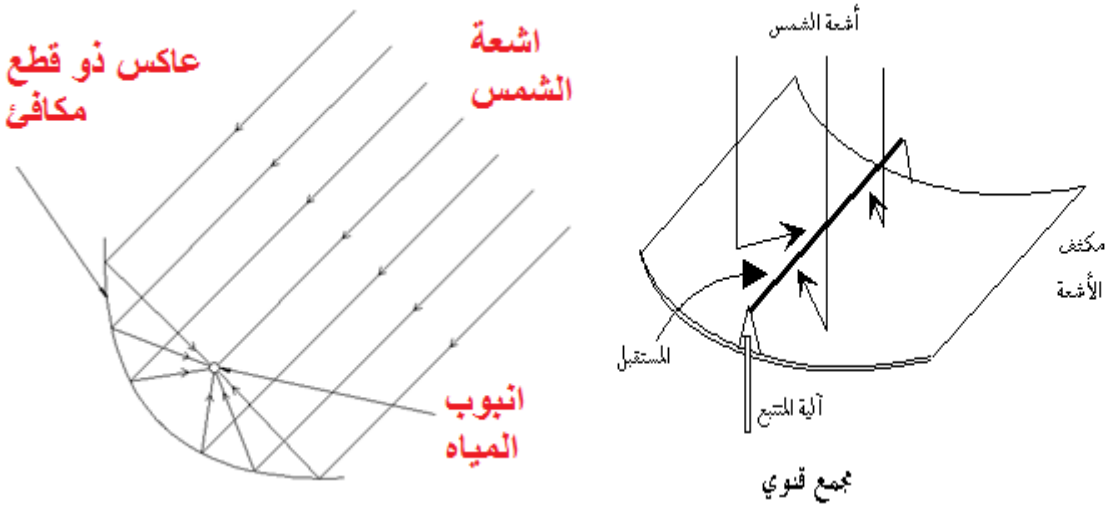
III/ المجمع القنوي:

تستخدم محطات الطاقة الشمسية الكبيرة مجمعات ذات قطع مكافئ طويلة لجمع وتركيز ضوء الشمس وتحويله إلى طاقة. وتنتظم المجمعات على محور شمالي – جنوبي لتتبع حركة الشمس وبعض المحطات يكون لديها قدرات تخزينية لحفظ الطاقة الحرارية ليتم استخدامها أثناء الليل. وتقوم أنظمة المجمعات الكبيرة بتوليد طاقة تصل إلى 80 ميجاوات وهذا يُعد كافيًا لتشغيل محطة طاقة أساسية لمنطقة كاملة[7] .



الشكل (2.7)وضع المرايا ذات القطع المكافئ في المجمع القنوي

طريقة استقبال المجمع القنوي للطاقة الشمسية :



الشكل (2.8) طريقة استقبال المجمع القنوي لاشعة الشمس

مميزات المجمعات القنوية :

يفوق عدد أنظمة المجمعات الشمسية ذات القطع المكافئ المستخدمة حول العالم أي نوع آخر من أنظمة الطاقة الشمسية المركزة. ويعزى ذلك إلى المزايا العديدة التي تنطوي عليها هذه التقنية[7]:

1/ ناتج أضخم:

تتيح المجمعات القنويه لمحطات الطاقة الشمسية إنتاج كمية أكبر من الطاقة مقارنة ببقية تقنيات الطاقة الشمسية المركزة وتعتبر محطات توليد الكهرباء باستخدام الطاقة الشمسية (SEGS) ذات الاستطاعة 350 ميجاواط هي الأعلى من حيث القدرة الإنتاجية بين المحطات الشمسية التي تعتمد تقنية المجمّعات الشمسية القنوية .

2/ الجدوى الاقتصادية:

يحفل سجل تقنية مجمّعات القطع المكافئ بالنجاحات التجارية والتشغيلية على مدى عقدين من الزمن، ومن بينها بناء تسع محطات في كاليفورنيا، وإنتاج أكثر من 12 مليار كيلوواط من الكهرباء. وتعطي البيانات التاريخية لأداء عمليات مجمّعات القطع المكافئ صورة واضحة عن المستوى العالي للجدوى الاقتصادية السنوية بنسبة تفوق 14% (إجمالي إنتاج الطاقة الكهربائية من الأشعة الشمسية).

الشكل (2.9) منشأة كالفورنيا الشمسية (SEGS)

2.3.3 تطبيق لاستخدام المجمعات المركزة:-

الإستخلاص المعزز للنفط :

لإنتاج النفط الثقيل بشكل خاص و إزاحة النفط بشكل عام لابد من تطبيق إحدي الطرق التي تجعل النفط الذي كان يعتبر غير قابل للإنتاج أو غير اقتصادي ذو قيمة اقتصادية مؤثرة خصوصاً على المدى البعيد عندما تنضب طاقة المكمن (الضغط الذي يدفع النفط) ، أو عند استكشاف مكامن كبيرة تحوي على نفط ثقيل حيث أن هذا النفط سيكون ذو أهمية كبيرة خصوصاً عند استهلاك النفط الخفيف المتواجد في المكامن.

كما هو معروف أن وتيرة الطلب للنفط ازدادت عالمياً و بالتالي لا بد من إيجاد طرق تعزز من استخراج النفط من الطبقات مهما كان نوع النفط و خصوصاً النفط الثقيل لذلك تم تطوير العديد من الطرق منها :

طرق إستخراج النفط :

1/ الطريقة الاولية:

يتم ضغط خام النفط للخارج بإستخدام النفط المولد من الغاز الموجود في النفط [8] ويستخدم فيه :

I/ السريان الطبيعي .

II/ Artificial lift.

2/ الطريقة الثانية:

يعرض البئر لفيضان المياه او حقن البخار للحفاظ على الضغط الذي يستمر بتحريك النفط الي السطح ويستخدم فيه :

I/ الماء الفائض .

II/ الحفاظ على الضغط .

3/ الطريقة الثالثة:

يتم فيها حقن الموائع او الغازات التي تقلل اللزوجة و تحسن من السريان ويستخدم فيه بخار حراري او مياه ساخنة او احتراق.

تعتمد هذه الطريقة على الحقن لبخار الماء المصنع على السطح في مولدات للبخار ويتكثف بعدها في الطبقة بعد أن يرفع حرارة النفط الخام وتنخفض بالتالي لزوجته وهذا يتأثر بشكل كبير بارتفاع الحرارة. تطبق هذه الطريقة من أجل استثمار طبقات النفط الثقيل والثقيل جداً [9].

غالبا ما يرجع مصطلح الاستخلاص المعزز للنفط الي الطريقة الثالثة و ترتبط بحقن الموائع التي تقلل من لزوجة النفط الخام وتحسين سريانه .

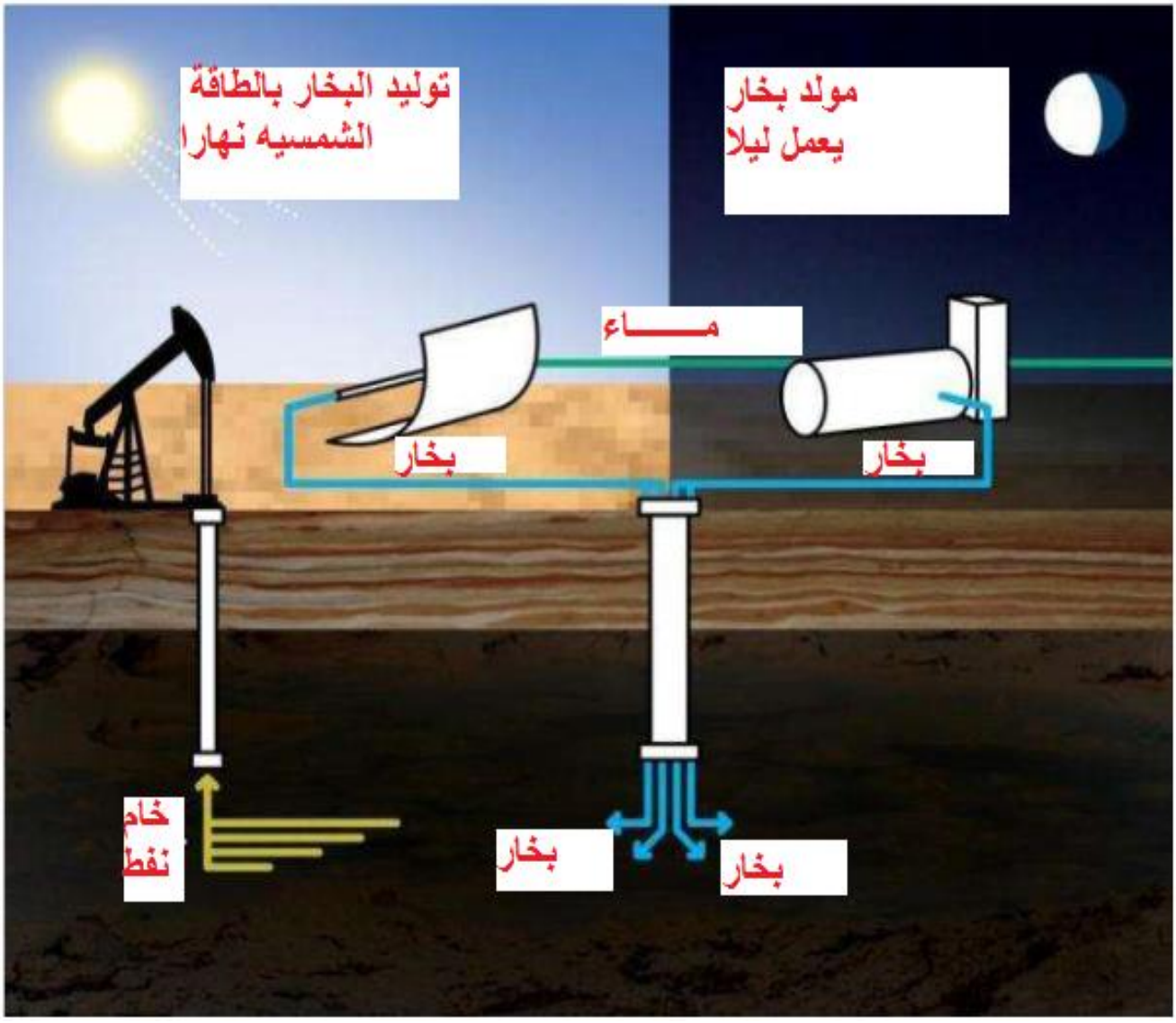
تعتبر طريقه حقن الآبار بالبخار من أفضل الطرق المستخدمة في الاستخلاص المعزز للنفط من حيث التأثير على البيئة والتكلفة الاقتصادية ولكن الصعوبات التي تواجه طريقة الاستخلاص المعزز للنفط باستخدام البخار هو انها تتطلب كميات هائلة من الطاقة.

2.5.3 إستخدام المجمع القنوي في حقن مكامن النفط :

يتم حقن مكامن النفط بالبخار كما سبق توضيحه ويتم استخدام البخار الناتج من المجمع القنوي دون الحاجة الي توربين بل يتم تجميع الاشعاع الشمسي بواسطة المرايا وعكسها في اتجاه المستقبل الذي يقوم بتسخين الماء وتحويله الي بخار ومن ثم حقنه في مكامن النفط الثقيل .

يستخدم المجمع القنوي لأنه يمكن من الوصول الي درجات حرارة عالية عن طريق استخدام مائع ناقل للحرارة كالزيت مثلا ، يكون المجمع في شكل قناة معدنية مقطعها قطع مكافئ. السطح الداخلي للقناة يكسى بمرايا أو معدن عاكس أو يطلى بمادة عاكسة ، توضع القناة المعدنية على حامل يسمح بحركة أحادية مع الشمس حول محور موازٍ للقناة ، السطح القنوي العاكس يركز اشعة الشمس على الأنبوب المستقبل الذي يثبت في البؤرة الخطية للمقطع المكافئ.

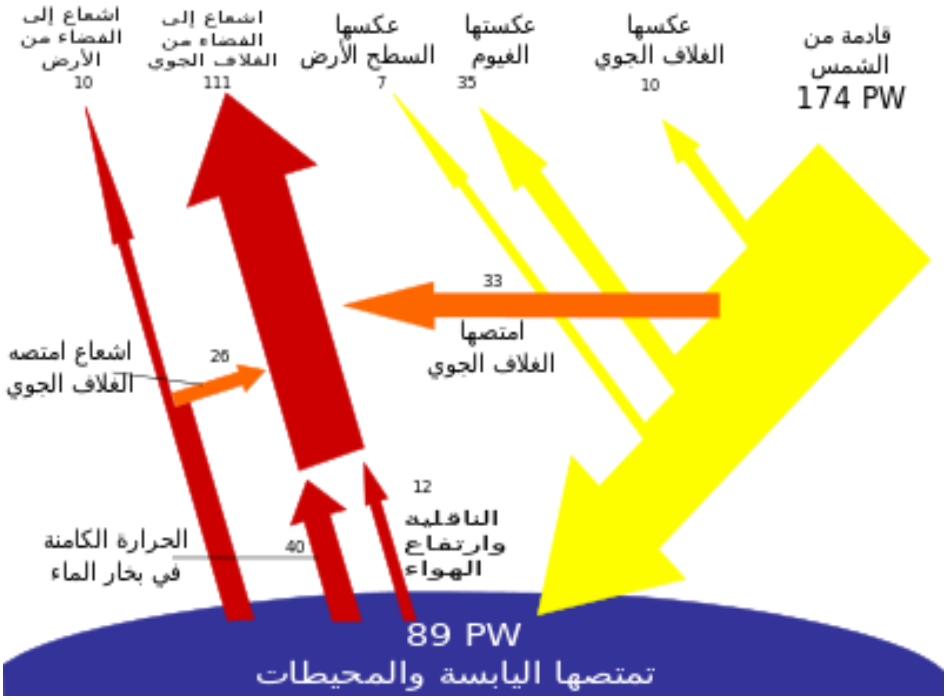
يضخ مائع حراري في الأنابيب المستقبلة لنقل الحرارة من المستقبل الى مبادل حراري تنتقل فيه الحرارة الى دورة مائع آخر هو الماء، الحرارة المنتقلة الى الماء تجعله في الطور البخاري ثم يضخ البخار الى داخل البئر .



الشكل (2.10) الية حقن آبار النفط في الليل والنهار

2.4 إستقبال الأرض للإشعاع الشمسي :

إن كوكب الارض يقوم باستقبال 174 بيتا واط من كمية الاشعاعات الشمسية القادمة آلية عند طبقة الغلاف الجوي العليا بحيث ينعكس حوالي 30% من كمية الإشعاعات الشمسية هذه عائدة الى الفضاء فيما يتم امتصاص النسبة المتبقية من كمية الإشعاعات الشمسية بواسطة السحب والمحيطات والكتل الارضية[10].



الشكل (2.11) نسب الاشعاع الشمسي القادمة من الشمس

2.4.1 العوامل التي يتوقف عليها متوسط الطاقة الواصلة إلى سطح الأرض :

تختلف كمية الإشعاع الشمسي الواصل إلى نقطه ما على:

(1) سطح الأرض وفقا للموقع الجغرافي من سطح الأرض أي بعدها أو قربها من خط الأستواء ومن مستوى سطح البحر .

(2) درجة ميل الأشعة .

(3) مدى صفاء السماء .

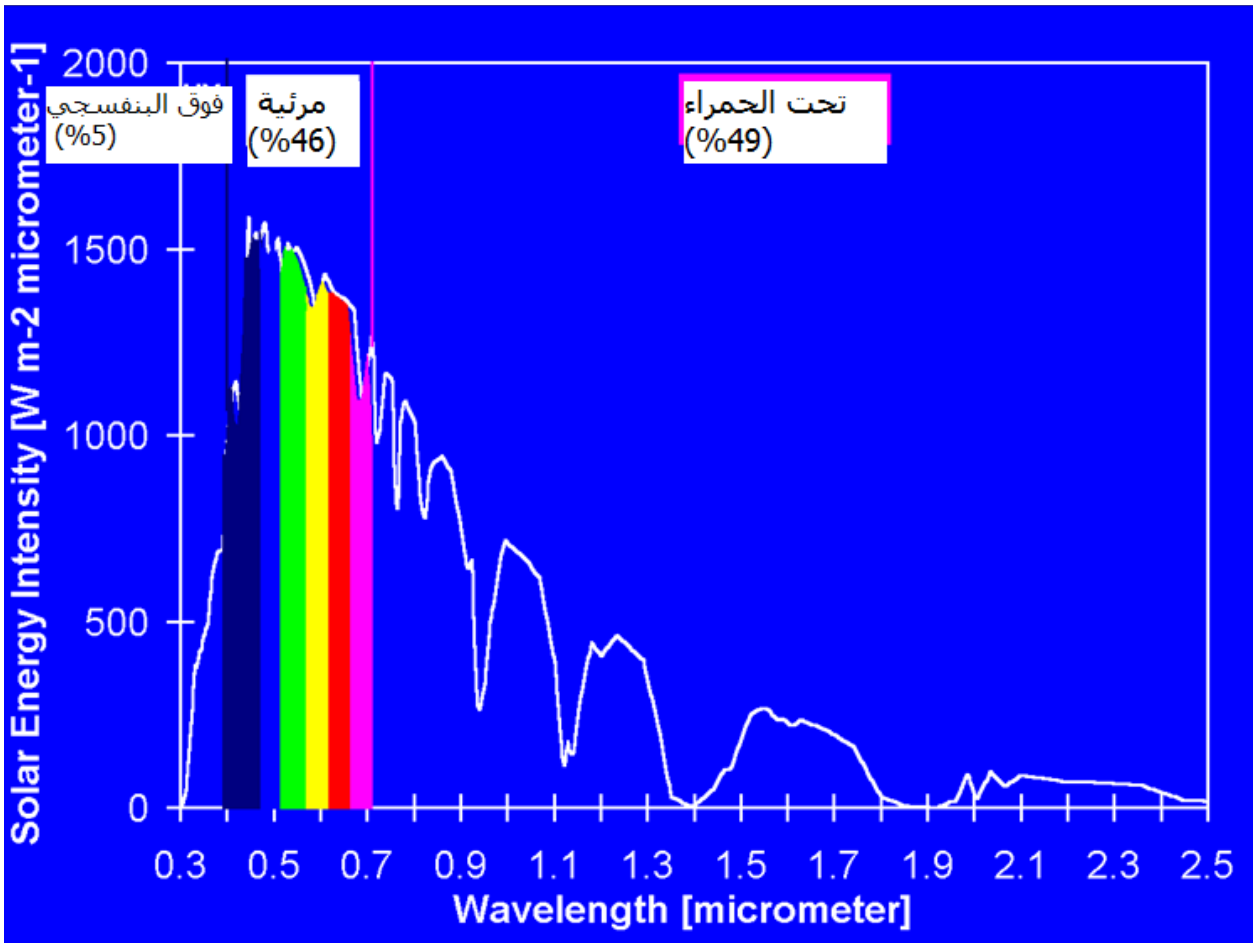
(4) مقدار ما يمتص منها في الغلاف الجوي .

2.5الأشعاع الشمسي :

أشعة الشمس هي عبارة عن مجموع من الموجات الكهرومغناطيسية ، يمكن للإنسان رؤية جزء منها يسمى ضوء مرئي وبقيتة لا يري بالعين المجردة . تتميز الأشعة المرئية من طيف الشمس بأنها تتكون من أشعة لونية من الأحمر إلى البنفسجي وهي ألوان قوس قزح. موجات الأحمر لها طول موجة 700 نانومتر وموجات البنفسجي قصيرة الموجة وطول موجتها 400 نانومتر . جزئين من طيف الشمس لا ترى بالعين المجردة الجزء ذو موجة أطول من 700 نانومتر (تصل إلى نحو 2700 نانومتر) وهذا هو نطاق الأشعة تحت الحمراء ، والجزء الآخر ذو طول موجات أقل من 400 نانومتر (إلى اليسار في الرسم البياني للطيف) ، وهو يسمى نطاق الأشعة فوق البنفسجية [(10)].

2.5.1أنواع الإشعاعات الشمسية:

ترسل الشمس أنواعا كثيرة من الإشعاعات وتعرف باسم الإشعاعات الشمسية , وهي تشكل ما يسمى بالطيف الشمسي الكهرومغناطيسي , وبعض هذه الإشعاعات تمتص بإصطدامها بجزيئات الهواء مثل أشعة جاما والأشعة السينية , وبعضها الآخر يمتص من قبل الأوزون كالأشعة فوق البنفسجية ويمتص معظم الأشعة تحت الحمراء من قبل طبقات بخار الماء والغازات الخامله الموجودة في الجو[(11)] .



الشكل (2.13) الإشعاعات الشمسية واطوالها الموجية

فوق البنفسجية	المرئي	تحت الحمراء
$\lambda <$ **0.4**µm	0.7µm $> \lambda >$ **0.4**µm	$\lambda >$**0.7**µm
~ 5%	**~ 46%**	**~ 49%**

جدول رقم (2.1) يوضح انواع الأشعاعات الشمسيه واطوالها الموجية[11]

2.6 الإشعاع الشمسي في السودان:

السودان من اكثر دول العالم التي تتميز بوجود الشمس في اغلب فصول السنةحيث تصل درجة الحرارة في كثير من الاحيان الي الحدود مابين 48 الي 50 درجة مئوية ومتوسط درجة الحرارة قد تصل حتي 40 درجة مئوية واكثر من ذلك في فصل الصيف ،واقل من ذلك في فصل الشتاء . متوسط الإشعاع الشمسي اليومي في السودان يتراوح بين 5.8 و 7.2 كيلوواط ساعة[12].

2.6.1 توزيع الاشعاع الشمسي الكلي في السودان :

المنطقة	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	اغسطس	سبتمبر	اكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المتوسط
دنقلا	5.3	5.9	6.9	7.2	7.2	7.1	6.8	6.6	6.4	6.1	5.5	5.1	6.3
الفاشر	5.7	6.5	6.9	7.1	7.0	6.5	6.2	6.3	6.4	6.3	6.1	5.7	6.4
كادقلي	5.9	6.3	6.4	6.7	5.9	4.8	5.6	5.0	5.1	5.6	6.0	6.3	5.8
بورتسودان	4.3	5.4	6.5	7.2	7.1	7.2	6.3	6.3	6.3	5.7	4.7	4.2	5.9
ودمدني	5.9	6.5	6.9	7.2	7.3	6.7	6.3	6.4	6.5	6.3	6.0	5.7	6.5

$$KW.m^{-2}per\ day$$

الجدول (2.2) الإشعاع الشمسي لمناطق مختلفه في شهور مختلفة في السودان[12]

2.7 تأثير الطاقة الشمسية علي البيئة:

أ/ الطاقة الشمسية صديقة للبيئة:

هي طاقة متجددة ونظيفة وغير قابلة للنفاد بينما الغاز الطبيعي طاقة تقليدية غير متجددة لانها تحتاج لفترات زمنية طويلة لتعويضها ولايخفي علي احد التأثير السلبي للمصادر التقليدية للطاقة من تغير المناخ و الاحتباس الحراري و التدهور البيئي ووقوع الكثير من الكوارث الطبيعية التي اجتاحت الكثير من دول العالم وجميع تللك الاضرار تتنافي مع الهدف الاساسي لأتفاقية الية التنمية النظيفة {CDM} (الحد من انبعاثات ثاني اكسيد الكربون) [13] .

ب/ الطاقة الشمسية منتج صامت للطاقة:

لا تتسبب المجمعات الشمسية والواح الخلايا الشمسية بأي نوع من انواع التلوث الضوضائي عندما تقوم بتحويل ضوء الشمس إلى طاقة قابلة للإستخدام.

الحصول على الطاقة الشمسية لن يتطلب لاحقا الكثير من أعمال الصيانة، حيث سيتم تركيب الألواح أو الاحواض الشمسية مرة واحدة، وبعدها ستعمل بأقصى كفاءة ممكنة، ويبقى لدينا القليل فقط لنفعله للمحافظة على انتظام عملها.

تستطيع المنشآت الضخمة لإنتاج الطاقة الشمسية أن تنتج الطاقة الشمسية بغض النظر عن حالة الطقس، سواء كان مشمسا أم لا، مما يجعلها مستدامة ويمكن الاعتماد عليها لإنتاج الكهرباء، فعادة ما تكون هذه المنشآت حرارية حيث تقوم بتخزين الحرارة المتولدة، حيث تقوم باستخدامها في حال لم يكن الجو مشمسا.

2.7.1 مقارنة بين الغاز الطبيعي والطاقة الشمسية:

يتم إنتاج البخار عبر حرق كم هائل من الغاز الطبيعي الذي يعد مصدرا قيما ونادرا في منطقة الشرق الأوسط اما إستخدام طاقة الشمس لتوليد البخار يخفض من إستهلاك الغاز الطبيعي بنسبة تصل الى 80 % . حيث يسعى السودان في الوقت الحالي الي إستيراد الغاز الطبيعي من قطر .

إستخدام الطاقة الشمسية في إستخراج النفط الثقيل من المكامن الصعبة يوفر نصف كلفة إستيراد الغاز تقريبا بالإضافة الى 23 % من النفط المستهلك في عملية الحرق[14].

اللجوء الي إستخدام الطاقة الشمسية في الدول المنتجه للنفط الثقيل تفرضة ضرورة تخفيض تكلفة الإنتاج

دراسة في سلطنة عمان أوضحت ان الإستخدام الطويل الأمد للتقنية بحلول نهاية العام 2023 يوفر كميات من الغاز تصل إلى 531 ألف متر مكعب يومياً و توفير في الغاز المستخدم لإنتاج البخار اللازم لعمليات استخراج النفط بنسبة 80%.

2.7.2 مقارنة بين الديزل والطاقة الشمسية:

أغلب الشركات العامله في مجال النفط في السودان تستخدم الديزل في انتاج البخار،في احد حقول منطقة الفولة ذات الخام الثقيل، بتم إستخدام الديزل لتسخين المياه (280 لتر في اليوم) ،و سعر اللتر الواحد من الديزل هو 3.11 جنيه سوداني (اكثر من نصف دولار) ، تكلفة الديزل في اليوم الواحد بالنسبه لهذا الحقل 870.8 جنيه سوداني وبالتالي فإن التكلفة تكون أكثر عند إستخدام زيت الوقود أو الديزل في الإستخلاص المعزز للنفط فضلا عن تأثيراته السلبية في تخفيض عائدات التصدير[15].

وجود صناعات أخرى تحتاج للغاز و الوقود يفرض التقليل من إستخدامها و توجيهها لتلك القطاعات الصناعية ، وضرورة التصدير بقدر الإمكان لجلب العملة الصعبة التي يحتاجها الإقتصاد السوداني بشدة.

إستخدام الطاقة الشمسية بدلا من الطاقات الأخري التقليدية يوفر الكثير لانها لاتحتاج فقط الإ لتكلفة إبتدائية عند انشاء المجمعات الشمسية مقارنه ببقية التكاليف المنخفضة نسبيا .

2.8 تكلفة انشاء المجمعات الشمسية:

إنشاء المجمعات الشمسية تكون لها تكاليف إبتدائية باهظة غير أنه علي المدى البعيد يكون الأرخص خاصة من ناحية تكاليف التشغيل .

تقدر تكلفة بناء محطة أنظمة الطاقة الشمسية المركزة ب 4–5 دولار أمريكي لكل واط[14].

الإستثمار في اي مشروع للطاقة الشمسية يتطلب انشاءات معدنية و مدنية فضلا عن الالواح و غيرها و كثيرا ما تلجأ الشركات لتصنيعها محليا لتقليل التكلفه و بهذا تخلق فرص عمل متنوعة للمواطنين .

تشير دراسات «أوبك»، إلى أن استهلاك الطاقة في العالم سيرتفع 50 في المئة عام 2035 عما كان عليه عام 2010، ما سيؤدي إلى ارتفاع استهلاك معظم مصادر الطاقة لذا يجب استثمار جميع مصادر الطاقه بالصورة المثلى.

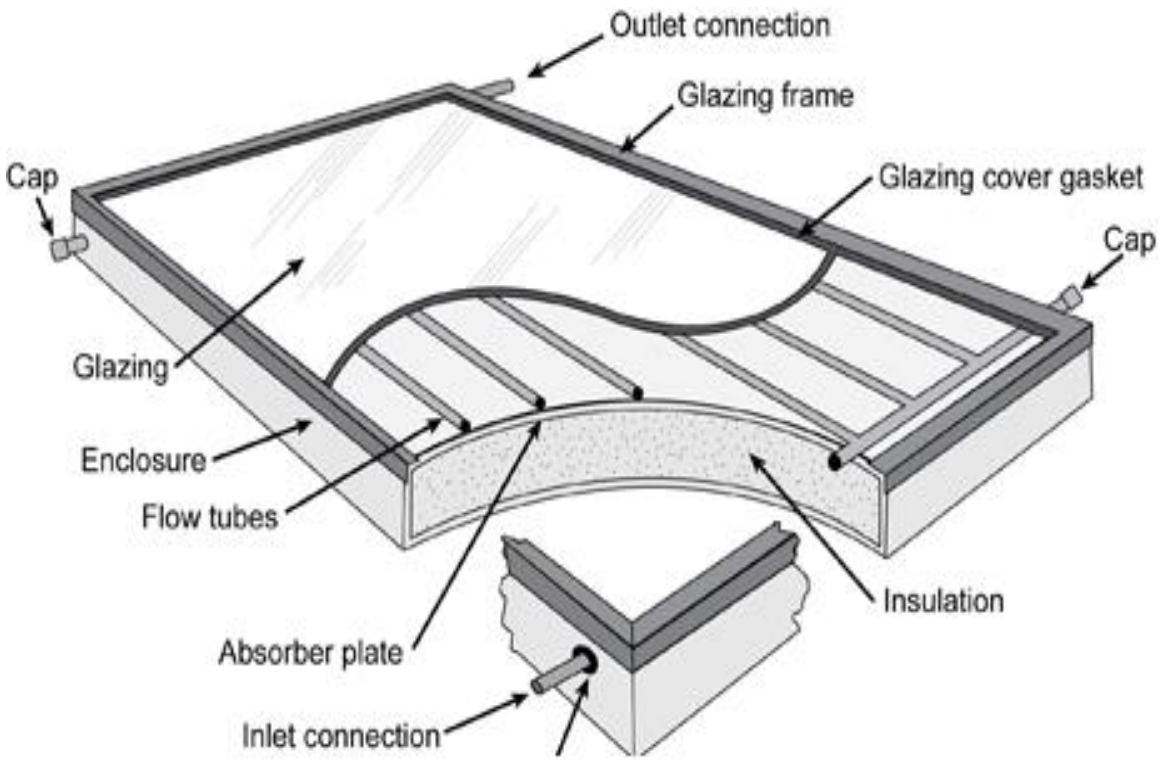
الباب الثالث

المجمع الشمسي المسطح

3.1 تعريف المجمع الشمسي المسطح :

مجمع المياه الشمسي هو وحدة امتصاص وتسخين بالطاقة الشمسية الممثلة في الاشعة الحرارية واحلالها في مياه تتحرك داخل وحدة امتصاص ، فترتفع درجة حرارتها ويتم المحافظه على الماء .الساخن في خزان معزول جيدا لحين الاستخدام

3.2 أجزاء المجمع الشمسي ومكوناته :



الشكل (3.1) يوضح أجزاء المجمع الشمسي

3.2.1 السطح الماص :

يصنع من معادن ذات امتصاصية عالية ، ويطلى بألوان داكنة لزيادة الامتصاصية ، حيث تعمل الألوان الداكنة على امتصاص اشعة الشمس بما يصل الى 98% من الاشعة الشمسية ، لكن يعاب عليها فقدانها للحرارة عن طريق الاشعاع حيث يصل معدل الفقد الى حوالي 95% ، أي ان السطح الماص القادر على الامتصاص يكون قادرا على الاشعاع بصورة كبيرة ولذا تكون الطاقة المستفادة صغيرة ، ويصنع السطح الماص في الغالب من الالمنيوم او النحاس او الحديد المجلفن ، ولكن بسبب التكلفة العالية للمواد يصنع من الالمنيوم او الحديد المجلفن ، ويطلى السطح الماص بمواد عالية الامتصاص ومنخفضة الاشعاع وتسمى مثل هذه الطلاءات بالطلاءات الانتقائية ومن هذه الطلاءات أكاسيد الكروم والكوبالت .

3.2.2 قنوات مرور مائع التسخين :

وظيفة هذه القنوات نقل الحرارة التي تم امتصاصها بواسطة الماص الى السائل ، ولذا يجب ان تكون هذه القنوات ذات موصلية حرارية عالية حتى تنقل كل الحرارة الساقطة على الماص وذات امتصاصية عالية لكي تزيد من مساحة الامتصاص ، ويمكن ان تصنع من النحاس او الالمنيوم او الحديد المجلفن ، ويفضل النحاس لموصليته العالية .

المعدن	الموصلية الحرارية $(\frac{W}{m^2}.K)$
النحاس	385
الالمونيوم	205
الحديد المجلفن	79.5
الماس	1000
الذهب	310

جدول (1-3) يوضح الموصلية لبعض المواد[16]

3.2.3 الغطاء الزجاجي :

ان الوظيفة الأساسية للغطاء الشفاف هي السماح للأشعة الشمسية بالوصول الى الماص الحراري ، ومنع الطاقة الحرارية من الفقدان من خلال القسم العلوي كما انه يمنع الماء والهواء من التسرب الى داخل المجمع، ويفضل استعمال زجاج ذو نفاذية عالية وعادة يكون الزجاج ذو نفاذية عالية اذا كانت نسبة الحديد فيه قليلة.

الغطاء	السمك	الوزن	الموصلية الحرارية
زجاج قياسي	4	10	0.84
زجاج قياسي ومعالج حراريا	4	10	0.84
زجاج خالي من الحديد ومعالج حراريا	4	10	0.91
زجاج مطلي غير عاكس	4	10	0.95

جدول (2-3) يوضح خصائص الزجاج[16]

3.2.4 العازل الحراري :

عندما ترتفع درجة الحرارة داخل السخانات بالمقارنة مع الجو المحيط بها يصبح هناك امكانية لفقد هذه الحرارة بالتوصيل وذلك عم طريق جوانب السخان والجهة السفلية منه ، وبالحمل ، والاشعاع عن طريق الغطاء الزجاجي ، وعليه يمكن الاستعانة بمواد وأساليب خاصة للحد من هذه الفواقد.

نوع المادة	معامل التوصيل الحراري $(\frac{W}{m^2}.℃)$
الواح اسبستوس Asbestos boards	0.16
صوف حراري Foam glass	0.045
الواح فلين Cork boards	0.043
خشب طري (شوح-صنوبر) Soft wood (fire-pine)	0.12
خشب قاسي(سنديان-بلوط) Hard wood (maple-oak)	0.16

جدول (3-3) يوضح الموصلية الحرارية لبعض المواد[16]

3.3 توازن الطاقه للمجمع الشمسي المسطح:

يمكن ايجاد الاداء الحراري للمجمع الشمسي بتوازن الطاقة التي تحدد ذلك الجزء من الاشعه القادمه والتي تعطي كطاقه نافعه لمائع التشغيل ، ولمجمع شمسي مساحة سطحه الماص (Ac) يكون هذا التوازن[17]:

$$Ic * Ac * \tau s * \alpha s, c = qu + qloss + \frac{dec}{dt} \dots\dots (3-1)$$

Ic :الاشعاع الشمسي على سطح المجمع

τs :الابتعاثيه الفعالة لغطاء او اغطية المجمع

$\alpha s, c$:الامتصاصيه الشمسيه لسطح المجمع الماص

qu :معدل انسياب الحراره من سطح الماص الى الانابيب

$qloss$:معدل انسياب الحراره اوفقدانها من الماص الى المحيط

$\frac{dec}{dt}$:معدل تخزين الطاقه الداخليه في المجمع

ان الكفاءة الكليه للمجمع، ηc، هي ببساطة نسبة الحرارة المستفادة المستلمة الى الطاقة

الشمسية القادمة الكلية :

$$\eta c = \frac{qu}{Ac * Ic} \qquad (3-2)$$

وعمليا يجب قياس الكفاءة على فترة زمنيه محدده ، واذا مر مائع مثل الماء خلال الانابيب فان الطاقة المستلمه المستفاده من قبل المائع تكون:

$$Qu = m * Cp * (Tf, out - Tf, in) \quad (3-3)$$

حيث ان :

m≡ معدل سريان كتلة المائع خلال المجمع.

Cp ≡ الحرارة النوعية عند ثبوت الضغط لمائع التشغيل.

$(Tf, out - Tf, in)$ ≡الارتفاع بدرجة حرارة مائع التشغيل المار عبر المجمع.

قيمة الطاقة المستفادة من المجمع الشمسي للمتر المربع (Q) تعتمد على شكل المجمع الشمسي وكمية تدفق السائل،لكن لكي نحصل على نتائج تقريبية مقبولة يجب وضع افتراضات تبسيطية وهي كالتالي:

1- يكون المجمع في حالة الاستقرار حراريا.

2- يكون الهبوط بدرجة الحرارة بين اعلي واسفل صفيحة الامتصاص مهملا .

3- يكون انسياب الحرارة باتجاه واحد خلال اللوح الزجاجي بالاضافة للعازل الخلفي .

4- الاشعاع علي اللوح الماص منتظم .

وهنالك اعتبارات تصميمية اخرى كالاتي[17] :

اولا: فرض حرارة اللوح الماص Tpm مساوية للحرارة السائل الداخل Tfi

ثانيا: حساب معامل الفقدان الحراري للمجمع UL

$$UL = Ub + Ue + Ut \quad (3-4)$$

Ub≡ معامل فقدان الحرارة من الاسفل $\frac{K}{X}$ $(W/m^2.°C)$

K≡ معامل التوصيل الحراري للعازل ($W/m.°C$)

X≡ سمك العازل (m)

Ue≡ معامل فقدان الحرارة الجانبي $\frac{K}{X}$ (W/m^2)

Ut≡ معامل فقدان الحرارة من الاعلى. $(W/m^2.°C)$

$$U_t = \left\{ \frac{N}{\frac{C}{Tpm}\left[\frac{Tpm-Ta}{N+f}\right]^e} + \frac{1}{h_w} \right\}^{-1} + \frac{\sigma(Tpm+Ta)(Tpm^2+Ta^2)}{\left(\epsilon_p+0.0059h_w\right)^{-1}+\frac{2N+f-1+0.133\epsilon_p}{\epsilon_g}-N} \quad (3-5)$$

حيث :

N =عدد الاغطية الشفافة

$$\begin{cases} 70 > B > zero \\ 90 > B > 70 \text{نستعمل} B = 70 \end{cases} \quad C = 520(1 - 0.000051B^2)$$

$$f = (1 + 0.089h_w - 0.1166h_w * \varepsilon_p)(1 + 0.07866N) \ (3-6)$$

$$e = 0.43\left(1 - {}^{100}/_{T_{pm}}\right) \quad (3-7)$$

$$\sigma = 5.66697 \times 10^{-8}(W/m^2 . K^4)$$

B =زاوية ميلان المجمع الشمسي.

E_g =أنبعاثية اللوح الشفاف=0.88 للزجاج.

ϵ_p ≡ أنبعاثية اللوح الماص .

T_a ≡ درجة حرارة الجو (k^4) .

T_{pm} ≡ معدل درجة حرارة اللوح الماص (k^4)

hw ≡ معامل انتقال حرارة الهواء $= 5.7 + 3.8\ V$

V ≡ سرعة الرياح $({}^m/_s)$

ثالثا: حساب كفاءة الزعانف F، علي زعنفة قياسية مستقيمة بمقطع مستطيل وهي كما يلي :

$$F = \frac{[tanhm(W-D)/2]}{m(W-D)/2} \quad (3-8)$$

$$m = \sqrt{\frac{U_t}{K_p \delta_p}} \quad (3-9)$$

حيث :

$D \equiv$ القطر الخارجي للماسورة (m) .

$W \equiv$ معدل المسافة بين المواسير (m) .

$K_p \equiv$ معدل التوصيل الحراري للوح $(W/m.℃)$.

$\delta_p \equiv$ سمك اللوح الماص .

رابعا: حساب معامل كفاءة اللا قط الشمسي F' :

معامل كفاءة المجمع هو معامل يستخدم في تصميم المجمعات الشمسية ويعتمد علي

$$\eta_f, h_w, \mathrm{U_c}$$

$$F' = \frac{1}{\frac{W\,U_L}{\pi\,D_i\,h} + \frac{1}{\frac{D}{W} + \frac{1}{\frac{W\,U_L}{C_{bond}} + \frac{W}{(W-D)\,F}}}} \qquad (3-10)$$

حيث:

$h \equiv$ معامل انتقال الحرارة للسائل

K ≡ معامل التوصيل الحراري

$$h = \frac{K}{D_i}\left\{4.36 + \frac{0.067\left[\left({}^{D_i}/_{L}\right) Re\ Pr\right]}{1+0.04\left[\left({}^{D_i}/_{L}\right) Re\ Pr\right]}\right\} \qquad (13-3)$$

$$K = 0.552 + 0.00256\,T_F - 0.0000187(T_F)^2 + 59\,X\,10 - 9(T_F)^2$$

حيث :

$T_F \equiv$ معدل حرارة السائل.

$L \equiv$ الطول

$Re \equiv$ رقم رينولد

$$Re = \frac{4m}{\upsilon\rho} Di$$

$\upsilon =$ لزوجة السائل m^2/s .

$$v = 1.779x10 - 648.1x10^{-9}(T_F) + 0.6x10^{-9}(T_F)^2 - 2.6x10^{-12}(T_F)^3$$

$\rho =$ كثافة السائل(Kg/m^3) .

$$\rho = 1002.31 + 0.0191T_F - 5.9 \times 10^{-3}(T_F^2) + 15.5 \times 10^{-6}(T_F^{-3})$$

$P_\mathrm{r} =$رقم براندلت

$$P_\mathrm{r} = \mathrm{C_p\,V\ \rho/K}$$

$C_P =$ الحراره النوعية $(j\,.kg/^\circ{}_K)$

$$C_p = 4216.85 - 2.31T_F + 0.03485(T_F^2) - 0.1554 \times 10^{-3}(T_F^3)$$

$D_i =$ القطر الداخلي للماسورة .

خامسا : حساب معامل أزالة الحرارة F_R :

يعرف معامل ازالة الحرارة بانة نسبة المعدل الحقيقي لانتقال الحرارة الي المائع الي معدل انتقال الحرارة عند اقصي فرق درجه الحرارة بين السطح الماص والمحيط ويتم حسابه، باستخدام المعادلة التالية :

$$F_\mathrm{R} = \frac{\mathrm{G\,C_P}}{\mathrm{A_C U_L}}\,[1 - \exp - (\mathrm{A_C U_L F'/GC_P})] \quad (3\text{–}14)$$

حيث :

$G \equiv$ معدل تدفق السائل للمتر المربع الواحد من اللاقط $(kg/s.m^2)$.

$A_C \equiv$ مساحة المجمع (m^2).

سادسا : حساب الطاقة المفيدة التي تم اكتسابها بواسطة المجمع(Q_u) باستخدام المعادلة التالية:

$$Q_{\mathrm{u}} = \mathrm{A_C F_R}\left[I(\tau\alpha) - U_L\left(T_{F_i} - T_a\right)\right] \quad (3\text{-}15)$$

حيث :

$I \equiv$ الأشعاعية الشمسية الكلية الساقطة (W/m^2) .

$\tau \equiv$ نفاذية اللوح الشفاف

$\alpha \equiv$امتصاصية اللوح الماص .

$T_{F_i} \equiv$ حرارة السائل الداخل $(°\mathrm{C})$.

سابعا : حساب معدل حرارة اللوح $T_{\mathrm{p_m}}$:

ان الفرق بين حرارة اللوح الماص والسائل يكون غير ثابت في اتجاه جريان السائل نتيجة اختلاف فقدان الحرارة من اللاقط ولكن كتقدير من الممكن أستعمال المعادلة التالية:

$$\mathrm{T_{p_m}} = \mathrm{T_{f_m}} + {}^{\mathrm{Q_U}}/_{\mathrm{h\ \pi\ D_i\ n\ L}}$$

$$T_{f_m = T_{f_i}} + \frac{Q_U/A_C}{U_l F_R}\left[1 - \frac{F_R}{F'}\right} \qquad (3-16)$$

حيث :

$T_{\mathrm{f_m}} =$معدل حرارة لسائل .

$n =$عدد المواسير في المجمع الشمسي .

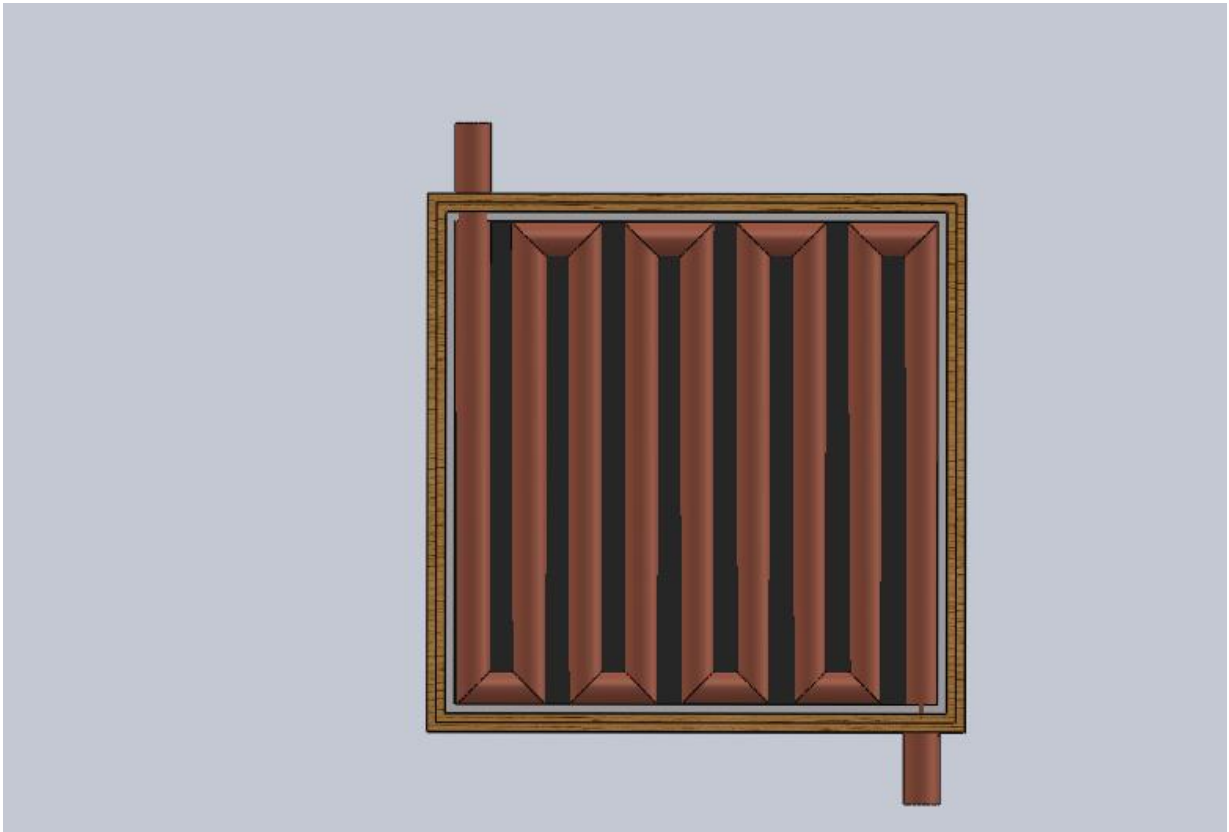
$L.$ = طول كل ماسورة (m)

ثامنا : ذا كانت درجة حرارة T_{P_m} من الخطوة رقم(1) لاتساوي درجة حرارة اللوح الماص من الخطوة رقم (7) يتم أستخدام القيمة المحسوبة في الخطوة(7) واستمرار تكرار الخطوات السابقة حتي تتساوي درجات(1) والعودة الي الخطوة رقم الحرارة .

ويمكن حساب كفاءة المجمع الشمسي كالاتي :

$$\eta = \frac{Q_u}{A_C\, I} \qquad (3-17)$$

3.4 تصميم المجمع الشمسي :



شكل (3.2) يوضح تصميم المجمع الشمسي

مواد المجمع الشمسي :

1/ لوح من الحديد المجلفن مساحته 56 * 56 سم مربع وسمكه 70. 0 ملم

2/ مواسير من النحاس بقطر 3/8 وبطول كلي 8 متر مقسمة الى 12 ماسورة بطول 52 سم .

3/ لوح زجاجي شفاف مساحته 60 *60 سم مربع وبسمك 5 ملم .

4/ صندوق خشبي مساحته الداخلية 60 *60 سم مربع وارتفاعه 15 ملم .

5/ عازل حراري مكون من مادتين :

أ/ صوف زجاجي بسمك 5 سم .

ب/ نشارة خشب بسمك 2 سم .

الجدول رقم (3-3) يبين خصائص المواد العازلة.

6/ خزان مياه معزول.

7/ خراطيم مياه للتوصيل بين الخزان والمجمع.

3.5 التكلفة:

المادة المستخدمة	الكمية	السعر بالجنيه
صاج من الحديد المجلفن	**1**	**70**
لفة مواسير نحاس⅜ (8m)	**1**	**400**
لوح خشب¾	**1**	**100**
لوح زجاج	**1**	**30**

عازل حراري	**-**	**5**
تكاليف تشغيليه	**-**	**60**
طلاء أسود	**2**	**50**
إجمالي المبلغ الكلي		**725**

جدول (5-3) يوضح اجمالي تكلفة إنشاء المجمع

3.6 تجميع وتركيب المجمع الشمسي :

تم ثني المواسير النحاسية بواسطة مفتاح التكسيح ، ثبتت المواسير جميعها على السطح الماص وذلك بإستخدام البرشام على السطح ، وطلي السطح الماص مع المواسير بطلاء أسود، ووضع في الصندوق الخشبي المعزول من الاسفل ومن الجوانب بالصوف الزجاجي والفلين، وأخيرا تمت تغطية الصندوق الخشبي من الأعلى بلوح من الزجاج .

3.7 إختبار المجمع الشمسي :

اخضع المجمع الشمسي لعدة اختبارات وذلك لقياس كفاءته ومعرفة اعلى درجة حرارة يصل اليها الماء الخارج.

وكانت على النحو التالي:

أ- إختبار المجمع الشمسي في حالة حبس الماء بالداخل وعدم حركته قسريا.

ب- إختبار المجمع الشمسي في حالة دفع الماء بإستخدام مضخة .

3.7.1 التجربة الأولي:

تجربة المجمع الشمسي في حالة حبس الماء داخل المجمع وعدم حركته قسريا

الهدف من التجربة :

الزمن اللازم لوصول الماء الي أعلي درجة حرارة ممكنة عند حبسه داخل المجمع الشمسي المسطح.

طريقة العمل:

وصل المجمع الشمسي مع خزان تغذية الماء واغلق خط الماء الخارج من المجمع ، واعطي الماء المحبوس داخل المجمع مدة زمنية محدده وقيست درجة حرارة الماء الخارج من المجمع الشمسي المسطح بواسطة ثيرموميتر رقمي . وحبس الماء داخل المجمع من جديد لفترة زمنية اخرى. وكررت التجربة عدة مرات ودونت القراءات في الجدول التالي .

القراءة الاولى : بتاريخ: 2015/8/28

وقت حبس الماء	زمن الحبس داخل المجمع (Min)	درجة حرارة الماء الخارج (°C)
14:10 pm	10	70
14:40 pm	15	66

58	5	15:10 pm
60	20	15:40 pm

القراءة الثانية : بتاريخ: 2015/9/1

درجة حرارة الماء الخارج (°C)	زمن الحبس داخل المجمع (Min)	وقت حبس الماء
57	10	11:40 am
60	15	11:52 am
54	8	12:10 pm
55	5	12:22 pm
50	1	12:28 pm
56	13	12:31 pm
57	6	12:49 pm
62	5	12:57 pm
68	23	13:07 pm
64	10	13:30 pm

62	10	13:43 pm
70	10	14:00 pm

يلاحظ في الجدول الاول لما تم حبس الماء لمدة 10mارتفعت درجة حرارة الماء الى(°C) 70 لكن في المرات التالية كان الزمن أكبر ودرجات الحرارة أقل وذلك لان في البداية كانت درجة حرارة السطح الماص أكبر من (°C)70 ومع مرور الماء عبرالمواسير صارت تقل ،وفي كل مرة تأخذ فيها درجة الحرارة لايتم غلق خط الماء الخارج من المجمع مباشرة حتى تصل الى أقل درجة حرارة لها، وهذه الطريقه تم تبديلها في التجربة الثانية حيث يغلق الخط الخارج مباشرة اذا قلت درجة الحرارة عن أقصى قيمه لها لذا يلاحظ في الجدول الثاني أن زمن الحبس بسيط ودرجات الحرارة متقاربة.

3.7.2 التجربة الثانية:

تجربة المجمع الشمسي في حالة الانسياب القسري باستخدام مضخة غاطسة.

الهدف من التجربة :

الوصول الى اعلى درجة حرارة يصل اليها الماء عند تحريكه قسريا.

طريقة العمل :

تم توصيل المجمع الشمسي مع خزان به مضخة وتم توصيلها بالمجمع ، وشغلت المضخة وقامت بدفع الماء الى المجمع ليعود إلى الخزان مرة أخرى ، وقيس كلا من معدل الانسياب للماء ودرجة حرارة الماء الخارج من المجمع الشمسي المسطح بواسطة الثيرموميتر الرقمي لفترات محددة ودونت القراءات في الجدول أدناه.

القراءات: بتاريخ : 2015/9/5

الزمن (pm)	درجة الحرارة (°C)
12:00	42

45	13:00
53	14:00
56	14:30
68	15:00
62	15:30
56	16:00

الباب الرابع

أداء المجمع الشمسي

4.1 حسابات الأداء للمجمع الشمسي:

$$Q_u = ?$$

$$Q_u = A_c * F_R\ [HR < \tau\alpha > -U_L(t_p - t_a)]$$

معامل الفقد الحراري يحسب من المعادلة:*

$$F_R = \frac{G * C_P}{U_L}\ [1 - e^{-\left[\frac{U_L * F'}{G * C_P}\right]}]$$

لحساب معامل الفقد الحراري نحسب أولا كل من:

$$G\ ,\ U_L\ ,\ F'$$

$$I - G = m/A_c$$

$$m = 0.00582\ kg/s \qquad A_c = 0.56\ m^2$$

$$G = \frac{0.00582}{0.56} = 0.01039\ kg/m^2 . s$$

$II- \ UL = Ub + Ut$

$$Ub = \frac{\text{موصلية العازل}}{\text{سمك العازل}} = \frac{0.043}{0.05} = 0.86 \ W/m^2.℃$$

من المعادلة (3 – 5) : نحسب U_t

$$U_t = 6.12 \ W/m^2.℃$$

$$\therefore U_L = \ 0.86 + 6.12 = 6.98 \ \ W/m^2.℃$$

$III- F' =$

نحسب معامل كفاءة المجمع من المعادلة (3 – 6)

$$F' = \frac{1/_{Ul}}{W[\frac{1}{Ul[D + (W - D)F]} + \frac{1}{\pi D_i h_{fi}}]}$$

حيث ان : $(D_i = D)$

$(D_i = 0.953)$ ≡ قطر الماسورة

$(W = 5 \ cm)$ ≡ البعد بين مراكز المواسير

$(h_{\text{fi}} = 343.79 \ \text{W/m}^2)$ ≡ معامل انتقال الحرارة بالحمل

F ≡ كفاءة الزعانف

$$F = \frac{\tanh m[w - \frac{D}{2}]}{m[\frac{w - D}{2}]}$$

$$m = \sqrt{\frac{U_t}{K_p \delta_p}} = 6.62$$

$K_p \equiv$ موصلية السطح الماص

$\delta_p \equiv$ سمك السطح الماص

$$F = \frac{tanh 6.62(0.05 - 0.00953)/2}{6.62(0.05 - 0.00953)/2} = 0.999$$

$$F' = \frac{{}^{1}/_{6.98}}{\frac{0.05}{6.98[0.00953 + (0.05 - 0.00953)0.999]} + \frac{0.05}{\pi 0.00953 * 343.79}}$$

$$F' = 0.966$$

$$F_{\mathrm{R}} = 0.062$$

معامل الإمتصاصية النفاذية:

$$< \tau\alpha >$$

حيث ان:

$\alpha = 0.95$ الإمتصاصية

$\tau = 0.86$ النفاذية

$Pd = 0.2$ معامل الإنعكاس

$$< \tau\alpha >= \tau\alpha / 1 - (1 - \alpha)pd$$

$$< \tau\alpha \geq 0.8292$$

$$R = \frac{cos\theta_t}{cos\theta_z} = \frac{\cos(\emptyset - s)\, cos\delta\, cos\omega + \sin(\emptyset - s)}{cos\emptyset\, cos\delta\, cos\omega + \sin\emptyset \sin\delta}$$

حيث أن :

$\emptyset \equiv$ زاوية عرض الموقع $15.6^0 N$

$s \equiv$ زاوية ميلان المجمع 15.6^0

$$\delta = 23.45 \sin\frac{360}{365}\,(284 + n)$$

N=رقم اليوم في السنة ، بالنسبة لتاريخ التجربة 2015/9/5 تساوي 279

$$\delta = -6.18$$
$$\omega = -22.6$$

$$\therefore R = \frac{\cos 0 \cos(-6.18) \cos(-22.6) + \sin 0}{cos15.6 \cos(-.618) \cos(-22.6) + \sin 15.6 \sin(-6.18)}$$

$$R = 1.07$$

$$*H=6.25\,{}^{kw}/_{m^2}$$

$$Q_u = A_c * F_R\ [HR < \tau\alpha > -U_L(t_p - t_a)]$$

$$Q_u = A_c * 0.06[6250 * 1.07 * 0.8253 - 6.98(70 - 38)]$$

$$Q_u = A_c * 317.75$$
$$Q_u = 177.94\,w$$

4.2 دراسة الحالة :

يستخدم الماء المسخن في عدد من المجالات الصناعية.

مصنع لانتاج الدواجن :

تستخدم المياه الساخنة في عملية نزع الريش وتتم كالآتي :

يتم تسخين الماء باستخدام غلاية تكون خارج المصنع وموصلة باستخدام صمامات وحساسات للحرارة ويضخ الماء الساخن الى حوض حيث يتم خلطه بماء بارد للحصول على درجة حرارة 57.2 درجة سيلزيوس ثم منها الى حوض السمط حيث يوضع الدجاج بداخل الحوض لدقيقتين.

الهدف هو الاستغناء عن الغلاية واستبدالها بالمجمع الشمسي حيث يتم توصيله بخط المصنع لإمداد احواض السمط بالماء الساخن.

يتم تشغيل المرجل في المصنع في الساعة الرابعة صباحا، ويعمل على فترات مختلفة خلال اليوم حيث يتم التحكم به عن طريق الحساسات فيعمل تلقائيا كل ما قلت درجة حرارة المياه في الاحواض حتي يتوقف عن العمل في الساعة السادسة عصرا ، أي انه يعمل يوميا في حدود 9 ساعات يوميا .

يعمل المرجل باستخدام زيت الديزل بمعدل استهلاك 54 لتر يوميا .

حسابات الطاقة المستهلكة من الديزل :

كمية الطاقة المنتجة عن طريق الوقود تحسب من المعادلة :

$$Q = \dot{m} * c.v$$

حيث :

$\dot{m} \equiv$ معدل تدفق الوقود

$c.v \equiv$القيمة السعرية للوقود

أولا نحسب معدل تدفق الوقود :

كتلة اللتر الواحد من الديزل =

$$0.086 \text{ kg}$$

الكتلة الكلية المستهلكة خلال اليوم =

$$0.086 * 54 = 4.67 \text{ kg}$$

نحسب معدل تدفق الوقود في المرجل $\dot{m}$:

$$\dot{m} = \frac{mass\ (kg)}{time\ (s)}$$

$$\dot{m} = \frac{4.67}{60 * 60 * 9} = 1.44 * 10^{-4}\ \ {kg}/{s}$$

متوسط القيمة السعرية للديزل =

$$c.v = 44800\ {kj}/{kg}$$

$$\therefore\ Q = \ 1.44 * 10^{-4} * \ 44800 = 6.57\ kw$$

مساحة المجمع الشمسي المطلوبة لتغطية احتياجات الغلاية من الطاقة =

$$A_C = \ \frac{Q\ by\ diesel}{317.75}$$

$$= \ \frac{6.45 * \ 10^3}{317.75} = 20.30\ m^2$$

أو إستخدام 32 مجمع من نفس مساحة النموذج .

تكلفة صناعة هذه المجمعات = 24000 جنيه سوداني ، في حين ان تكلفة الوقود اليومي = 12 * 14 = 168 جنيه

$$\frac{24000}{168} = 142.85 \text{ يوم}$$

اي ان المصنع سيغطي تكلفة صنع المجمعات من سعر استهلاك الوقود في خلال خمسة اشهر .

الباب الخامس

الخلاصة والتوصيات

5.1 الخلاصة :

بعد اجراء التجارب على المجمع الشمسي المسطح وجد :

* متوسط درجة حرارة الماء في التجربة الأولى (حالة الحبس) $^{0}63.5C$.

* متوسط درجة حرارة الماء في التجربة الثانية (حالة الانسياب القسري) $^{0}45.6C$.

* تكلفة تصنيع النموذج هي 750 جنيه .

* استهلاك الغلاية من الطاقة في مصنع الدواجن يقدر ب $6.57\ kw$ ولكي نستطيع توفير هذا الكم من الطاقة نحتاج لمجمع شمسي بمساحة $20.67\ m^2$.

* يفضل استخدام المجمع الشمسي ذو القطع المكافئ في تطبيقات النفط لانه يولد طاقة اكبر من المجمعات المسطحة .

5.2 التوصيات :

1/ من الأفضل تفريغ المجمع من الهواء وبذلك يقل الفقد الحراري عن طريق التوصيل .

2/ استخدام غطائين زجاجين بدلا من غطاء واحد لتقليل الفقد الحراري عن طريق الاشعاع.

3/ يجب عزل المواسير الداخلة والخارجة من المجمع .

4/ يجب لحام المواسير على السطح الماص ؛ حتى يكون التلامس بين المواسير والسطح الماص تلامس كامل ، وبالتالي انتقال الحرارة بصورة افضل للحصول على نتائج افضل.

5/ الدعم المادي والمعنوي وتنشيط حركة البحث في مجالات الطاقة الشمسية .

6/ تشجيع التعاون مع الدول المتقدمة في هذا المجال والاستفادة من خبراتها .

7/ ترغيب المصانع على استخدام الطاقات المتجددة عامة والطاقة الشمسية خاصة ، بتقليل الضرائب او الرسوم على المصانع المستخدمة لها .

المراجع

1/ Solar energy utilisation by G.D.RAI – KHANNA PUBLISHERS 2005

2/ The buyer's book of solar water heaters by dr. kaiman lee and mishael silversten Fourth edition 1979.

3/ Solar domestic water heating by chris laughton Published 2010 by earth scan.

4/ http://www.sudacon.net/2013/05/blog-post_24.html

5/ Solar domestic water heating by chris laughton.

6/ http://www.shamspower.ae/ar/the-project/technology/overview

7/ solar water heating revised and expanded edition by bob ramlow and Benjamin nusz.

8/ http://uqu.edu.sa/page/ar/13548

9/ www.startimes.com علم النفط والغاز ، رشيد م. الخولي

10/ Solar domestic water heating by chris laughton Published 2010 by earth scan.

11/ Plastics, a desk-top data bank. 5th Ed. Book A. San Diego, CA: The International Plastics Selector Inc., 1980.

12/http://www.worldweatheronline.com/Kordofan-15day-weather-chart/Kurdufan/SD.aspx

13/ www.emkanat.org/.../ten_benefits_of_solar_energy

14/ Principles of Solar Engineering by D.Yogi Goswami, Frank Kreith & Jan F. Kreider. _ 2nd ed., 1999.

15/ petro Energy Company.

16/ Plastics, a desk-top data bank. 5th Ed. Book A. San Diego, CA: The International Plastics Selector Inc., 1980.

17/ Principles of Solar Engineering by D.Yogi Goswami, Frank Kreith & Jan F. Kreider. _ 2nd ed., 1999.

الملاحـق

ملحق رقم (1) قيم الاشعاع الشمسي :-

جدول رقم (1) يوضح قيم الاشعاع الشمسي المباشر لليوم المتوسط لكل شهر:

الشهر	الاشعاع الشمسي المباشر $kw.hr/m^2\ /day$	مدة السطوع (hr)	القيمة المتوسطة
يناير	*4.00 – 4.25*	*10 - 11*	*4.13*
فبراير	*4.05 – 4.75*	*10 - 11*	*4.63*
مارس	*4.75 – 5.00*	*9 - 10*	*4.88*
ابريل	*4.50 – 4.75*	*10 - 11*	*5.13*
مايو	*4.50 – 4.75*	*9 - 10*	*4.63*
يونيو	*4.00 – 4.25*	*8 - 9*	*4.13*
يوليو	*4.00 – 4.25*	*8 - 9*	*4.13*
اغسطس	*4.25 – 4.50*	*8 - 9*	*4.13*
سبتمبر	*4.25 – 4.50*	*8 - 9*	*4.38*
اكتوبر	*3.75 – 4.00*	*10 - 11*	*3.88*
نوفمبر	*5.00 – 5.25*	*10 - 11*	*5.13*
ديسمبر	*4.25 – 4.50*	*10 - 11*	*4.38*

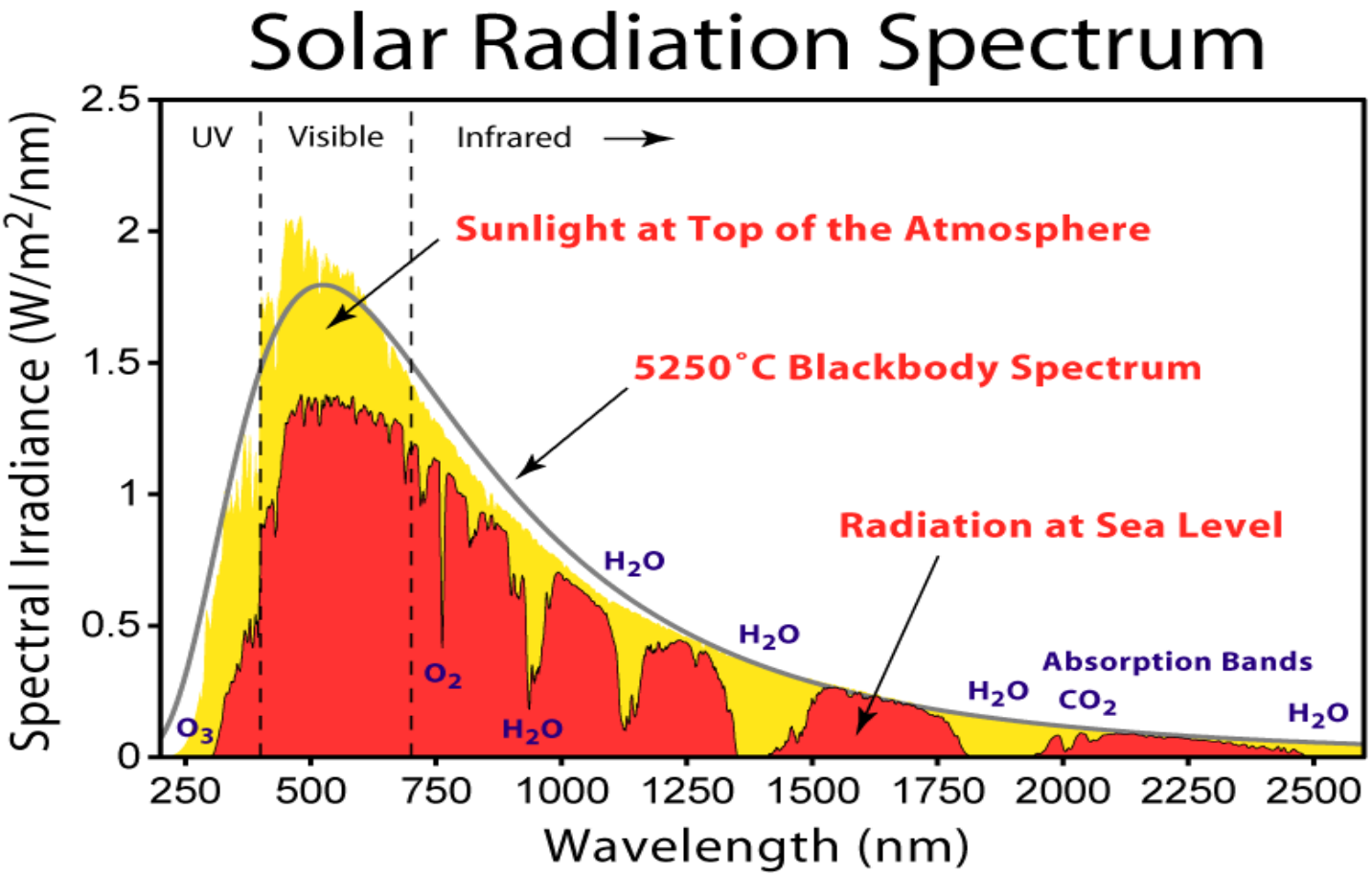
جدول رقم (2) : يوضح قيم الاشعاع الشمسي المنتشر في اليوم المتوسط من كل شهر :

الشهر	مدة السطوع (hr)	الاشعاع المنتشر $kw.hr/m^2\ /day$	القيمة المتوسطة للاشعاع
يناير	*10 - 11*	*1.50 – 1.75*	*1.625*
فبراير	*10 - 11*	*1.50 – 1.75*	*1.625*
مارس	*9 - 10*	*1.75 – 2.00*	*1.875*
ابريل	*10 - 11*	*2.00 – 2.25*	*2.125*
مايو	*9 - 10*	*2.00 – 2.25*	*2.125*
يونيو	*8 - 9*	*2.00 – 2.25*	*2.125*
يوليو	*8 - 9*	*2.00 – 2.25*	*2.125*
اغسطس	*8 - 9*	*2.00 – 2.25*	*2.125*
سبتمبر	*8 - 9*	*1.75 – 2.00*	*1.875*
اكتوبر	*10 - 11*	*1.75 – 2.00*	*1.875*
نوفمبر	*10 - 11*	*1.50 – 1.75*	*1.625*
ديسمبر	*10 - 11*	*1.25 – 1.50*	*1.375*

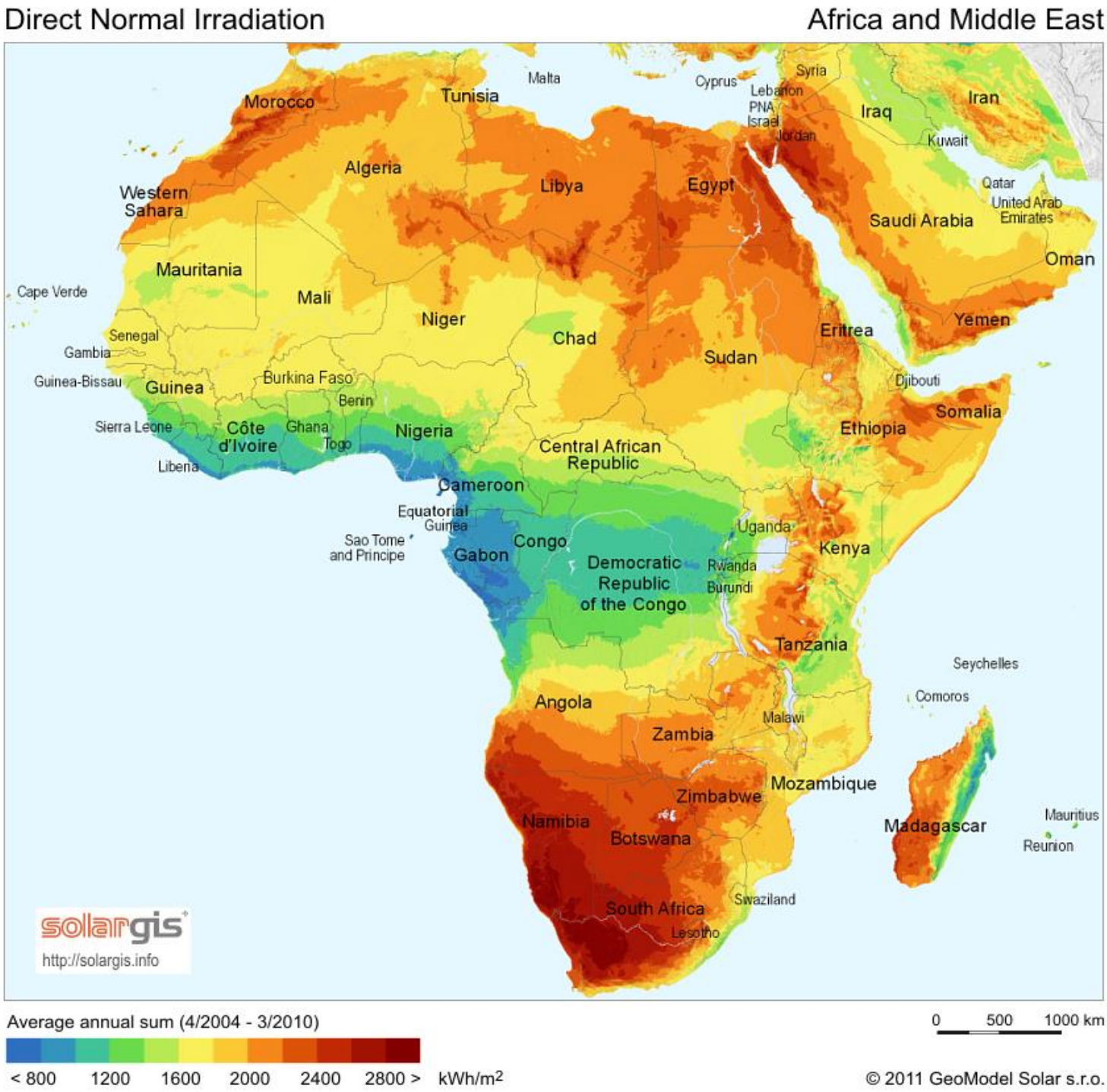
جدول رقم (3) : يوضح قيم الاشعاع الكلي لليوم المتوسط لكل شهر :

الشهر	مدة السطوع (hr)	الاشعاع الكلي $kw.hr/m^2\ /day$	القيمة المتوسطة للاشعاع
يناير	*10 - 11*	*5.5 – 6.00*	*5.75*
فبراير	*10 – 11*	*6.00 – 6.50*	*6.25*
مارس	*9 - 10*	*6.5 – 7.00*	*6.75*
ابريل	*10 - 11*	*7.00 – 7.50*	*7.25*
مايو	*9 - 10*	*6.50 – 7.00*	*6.75*
يونيو	*8 - 9*	*6.00 – 6.50*	*6.25*
يوليو	*8 - 9*	*6.00 – 6.50*	*6.25*
اغسطس	*8 - 9*	*6.00 – 6.50*	*6.25*
سبتمبر	*8 - 9*	*6.00 – 6.50*	*6.25*
اكتوبر	*10 - 11*	*5.5 – 6.00*	*5.75*
نوفمبر	*10 - 11*	*6.50 – 7.00*	*6.75*
ديسمبر	*10 - 11*	*5.50 – 6.00*	*5.75*

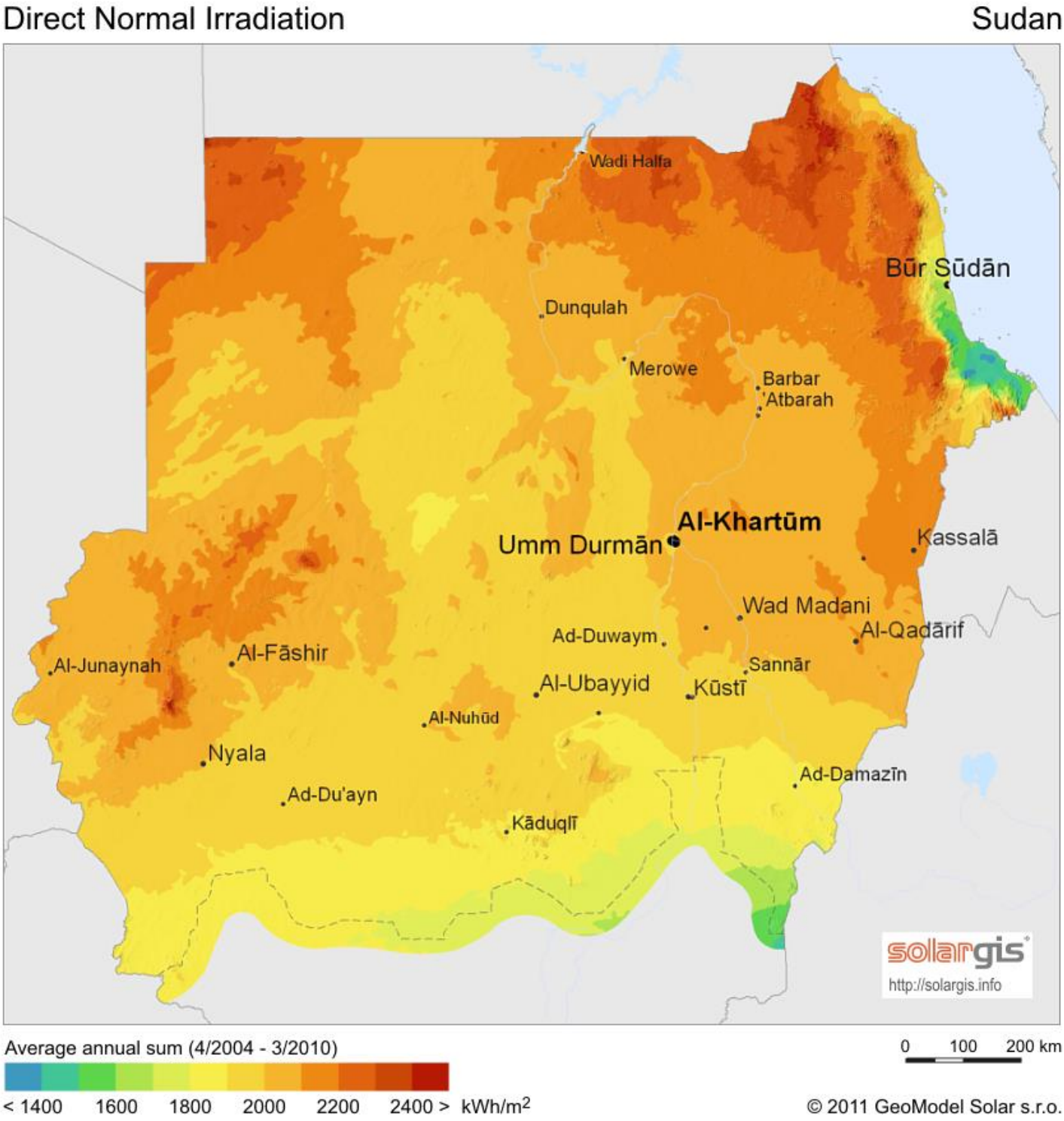
ملحق رقم (2):منحنى الطيف الشمسي:-



ملحق رقم (3):خريطة الاشعاع الشمسي لقارة افريقيا:-



ملحق رقم (4):خريطة الاشعاع الشمسي للسودان:-



ملحق رقم (5):المجمع الشمسي المسطح:-