تصميم منظومة تبريد إمتصاصي تعمل بالطاقة الشمسية

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس مرتبة الشرف في الهندسة الميكانيكية

إعداد الطلاب:

الحسن الريح بابكر الفكي محمود

عبد الله نور الدين محمد مصطفى

محمد علي محمد إبراهيم

إشراف:

د. خالد طه السيد

قسم الهندسة الميكانيكية

كلية الهندسة

جامعة الشيخ عبد الله البدري

مارس 2022م

الاستهلال

قال تعالى:

﴿ هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسَ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَّرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ ﴾

صدق الله العظيم

سورة يونس الآية (5)

الإهـــــــداء

الهي لا تطيب اللحظات إلا بذكراك .. ولا تطيب الأخرة إلا بعفوك
ولا تطيب الجنة إلا برؤيتك
الله جل جلاله

إلى من بلغ الرسالة .. وأدى الأمانة ونصح الأمة
الى نبي الرحمة ونور العالمين
سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم

إلى ملاكي في الحياة .. إلى معنى الحب والحنان والتفاني
الى بسمة الحياة وسر الوجود .. إلى من كان دعائها سر نجاحي
وحنانها بلسم جراحي .. إلى أغلى الحبايب
أمي الحبيبة

إلى من كلله الله بالهيبة والوقار .. إلى من علمني العطاء دون انتظار
الى من أحمل اسمه بكل افتخار .. وستبقى كلماتك نجوم
اهتدي بها اليوم وفي الغد والى الأبد
والدي العزيز

إلى العقول النيرة والقلوب الحنونة
إلى من شاطروني أفراحي واتراحي وأعانوني
بقلوبهم وعقولهم سندي وعضدي
أخواني وأخواتي

إلى من علمونا حروفاً من ذهب وكلمات من درر
وعبارات من أسمى وأجل عبارات العلم
إلى من صاغوا لنا علمهم حروفاً وفكرهم
منارة تنير لنا مسيرة العلم والنجاح
إلى اساتذتي الكرام

إلى من سرنا سوياً ونحن نشق الطريق معاً نحو النجاح والإبداع
إلى زملائي وزميلاتي

الشكر والتقدير

الشكر أولاً لله العلي القدير الذي وفقنا لإتمام هذا البحث الذي نتمنى أن يكون إضافة جديدة في هذا المجال.

والشكر مقدم إلى الشموع التي تحترق من أجل إنارة الطريق لنا ومن أجل رفعتنا ألا وهم أساتذتنا في قسم الهندسة الميكانيكية فلكم منا كل الحب والإحترام والتقدير ونتمنى أن ينفع الله بكم عباده وأن تتحقق أمنياتكم جميعاً.

ونخص بالشكر والتقدير

د. خالد طه السيد

الذي لم يألوا جهداً في مساعدتنا في هذا البحث والذي رعاه وجمّله بملاحظاته القيمة والمفيدة حتى خرج بهذه الصورة.

فهنيئاً لك قول رسول الله صلي الله عليه وسلم :(إن الله وملائكته وأهل السموات والأرض حتي النملة في جحرها وحتى الحوت ليصلون علي معلم الناس الخيّر) رواه الترمذي.

كما نتوجه بالشكر إلى أُسرنا التي جاهدت وتكبدت المشاق في سبيل وصولنا لمبتغانا، نشكرهم جميعاً ونتمنى من الله عز وجل أن يجعل ذلك في موازين حسناتهم.

المستخلص

هذا البحث هو لتصميم مجمعات شمسية بغرض إستخدامها في منظومة تبريد إمتصاصي. ويتم حساب مساحة المجمع الشمسي المسطح في هذا البحث على أساس الحمل التبريدي واحد طن (1 TON)، ووجدنا أن المساحة المناسبة للمجمع الشمسي لإنتاج واحد طن تبريدي تساوي ($56.5m^2$)، كما تم حساب كمية الإشعاع الساقط على سطح الأرض بأخذ قيمة متوسطة له وذلك بأخذ يوم متوسط من كل شهر أي بالتحديد يوم 15 من كل شهر، وأيضاً تم أخذ أقل قيمة من شدة الإشعاع الكلية الساقطة على سطح الأرض بإعتبار أن التصميم على أسوأ الفروض.

Abstract

This paper is for designing solar collectors for use in an absorption cooling system. The area of the flat solar collector is calculated in this research on the basis of the cooling load of one ton (1 TON), and we found that the appropriate area of the solar collector to produce one refrigerated ton is (56.5 m^2), and the amount of radiation falling on the surface of the earth was calculated by taking an average value of it, and that By taking an average day of each month, i.e. specifically the 15th of each month, and also the lowest value of the total radiation intensity falling on the surface of the earth was taken, considering that the design is on the worst assumptions.

فهرس الموضوعات

الرقم	المحتوى	الصفحة
	الاستهلال	I
	الإهداء	II
	الشكر والتقدير	III
	المستخلص	IV
	Abstract	V
	فهرس المحتويات	VI
	فهرس الأشكال	VIII
	فهرس الجداول	IX
	فهرس المصطلحات والرموز	X
الباب الأول : المقدمة		
1.1	مقدمة	1
1.2	مشكلة البحث	1
1.3	أهمية البحث	2
1.4	أهداف البحث	2
1.5	الطاقة ومصادرها	2
1.6	الطاقة الشمسية	5
الباب الثاني : الطاقة الشمسية الساقطة على الأرض		
2.1	موقع الأرض من الشمس	8
2.2	حساب الطاقة الشمسية الساقطة على سطح الأرض	11
2.3	الإشعاع الشمسي الساقط على سطح عمودي خارج الغلاف الجوي	12
2.4	تعريف بعض المصطلحات الخاصة بالطاقة الشمسية	14
2.4.1	مصطلحات عامة	14
2.4.2	مصطلحات إتجاه الإشعاع المباشر	14
2.5	أنواع المجمعات الشمسية	16
2.5.1	المجمع الشمسي المسطح	16
2.5.2	المجمعات الأنبوبية المفرغة	20
2.5.3	أنظمة المجمعات التخزينية التكاملية	22

الباب الثالث : التبريد		
3.1	مقدمة	25
3.2	نظام التبريد الإنضغاطي	25
3.3	نظام التبريد بالإمتصاص	26
3.4	دورة التبريد بالإمتصاص	27
3.5	نظام البخار الإمتصاصي البسيط	29
3.5.1	مبدأ عمل دورة بروميد الليثيوم الامتصاصية	29
3.6	مزايا التبريد الإمتصاصي على التبريد الإنضغاطي	30
الباب الرابع : العمليات الحسابية		
4.1	العلاقة بين زاوية السقوط والزوايا الأخرى	31
4.1.1	الإشعاع الساقط على سطح أفقي خارج الغلاف الجوي	31
4.1.2	الإشعاع الساقط على سطح أفقي خارج الغلاف الجوي خلال ساعة	32
4.1.3	الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض	32
4.1.4	الإشعاع الشمسي الساقط على سطح مائل	33
4.2	خصائص مدينة عطبرة	34
4.3	الإفتراضات	39
الباب الخامس : الخلاصة والتوصيات		
5.1	الخلاصة	44
5.2	التوصيات	44
	المصادر والمراجع	46
	الملاحق	47

فهرس الأشكال

رقم الشكل	عنوان الشكل	رقم الصفحة
2.1	موقع الأرض من الشمس على مدار السنة	8
2.2	أجزاء الشعاع الضوئي	10
2.3	حركة الشمس الظاهرية فوق الأجواء السودانية	10
2.4	معدل الإشعاع الشمسي في السودان	11
2.5	مواقع الزوايا المختلفة	14
2.6	مجمع شمسي مسطح ذو وسيط سائل	17
2.7	مقطع تفصيلي لوحدة التسخين	17
2.8	مقطع تفصيلي لوحده تسخين الهواء في مجمع شمسي مسطح	20
2.9	مجمع الأنبوب المفرغ	21
2.10	الأنابيب المستخدمة في مجمع الأنبوب المفرغ	21
3.1	أجزاء دورة تبريد إنضغاطي بسيطة	26
3.2	دورة التبريد بالإمتصاص	28
4.1	مخطط لدورة تبريد إمتصاصي	39

فهرس الجداول

رقم الجدول	عنوان الجدول	رقم الصفحة
2.1	Recommended average days for month and value N by months	13
2.2	خصائص الزجاج	22
2.3	خصائص العوازل الحرارية	22
2.4	الموصلية وإمتصاصية بعض المواد	23
2.5	الموصلية الحرارية لبعض المواد	23
4.1	متوسط قيمة شدة الإشعاع الكلي الساقط على سطح مائل ليــوم 15 من كل شهر للفترة من الساعة 8 صباحاً إلى 4 مساءاً	38

فهرس المصطلحات والرموز

المصطلح	الرمز
الثابت الشمسي	G_{SC}
رقم اليوم في السنة	N
الزمن حسب التوقيت الشمسي	t
زاوية ميلان السطح المستقبل	β
زاوية السمت السطحية	Z_s
زاوية خط العرض	L
زاوية الزمن	h
نفاذية الغلاف الجوي للإشعاع المباشر	τ_b
نفاذية الغلاف الجوي للإشعاع المنتشر	τ_d
زاوية الميل	δ
زاوية الزمن	h
الإشعاع الكلي الساقط على سطح مائل	I_T
الإشعاع العمودي المباشر	I_b
النسبة بين الإشعاع المباشر الساقط على سطح مائل إلى الإشعاع الساقط على سطح أفقي	R_b
الإشعاع المتبعثر أو المنتشر	I_d
النسبة بين الإشعاع المنتشر الساقط على سطح مائل إلى الإشعاع الساقط على سطح أفقي	R_d
إنعكاسية سطح الأرض بالمنطقة	ρG
نفاذية الغلاف الجوي للإشعاع المباشر	τ_b
الإشعاع الساقط على سطح أفقي خارج الغلاف الجوي	H_o
نفاذية الغلاف الجوي للإشعاع المتبعثر	τ_d
مساحة المجمع الشمسي	A_c

U_L	المعامل الإجمالي لفقد الحرارة بناءاً على مساحة سطح المجمع الشمسي
T_i	درجة حرارة المائع الداخل للمجمع الشمسي
T_a	درجة حرارة الجو المحيط
F_R	معامل إزالة الحرارة
I_s	متوسط شدة الإشعاع الشمسي
τ	نفاذية اللوح الشفاف
α	إمتصاصية اللوح الماص

الباب الأول

المقدمة

الباب الأول

المقدمة

1.1 مقدمة:

يحتاج الإنسان إلى الطاقة في حياته اليومية احتياجاً شديداً، فهو يستخدمها كل يوم في إدارة آلاته في المصانع ويحرك بها وسائل النقل بأنواعها المختلفة في كل مكان في المدن وفي الجو وفي البحـــار والمحيطات ويدير بها كثير من أدواته إلى غير ذلك من الأغراض.

وقديماً كان الإنسان يستخدم عضلاته وقوته البدنية في تحريك الأشياء وفي القيام بمختلف الأعمال ثم نجح بعد ذلك في إستغلال بعض الحيوانات وإستخدامها في القيام بالأعمال الشاقة.

وقد تمكن الإنسان بعد ذلك من إستغلال حركة الرياح في تحريك الســـفن فـــي الأنهـــار والبحـــار واستخدمها كذلك في إدارة بعض طواحين الهواء، كما تمكن من إستغلال الفرق في منسوب الميـــاه في إجراء بعض الأنهار وإدارة السواقي وبعض الآلات.

وقد عرف الإنسان الفحم منذ إكتشف النار ولاحظ أن بعض النقاط السوداء الموجودة طبيعياً تقبـــل الإشتعال. وقد إستخدم هذا الفحم بعد ذلك كمصدر من مصادر الطاقة ثم بدأ بعد ذلك في إســـتخدام ضغط البخار في تحريك الآلات.

وقد إكتشف الإنسان بعد ذلك زيت البترول وما يصاحبه من غاز طبيعي، وبعد ذلك زادت معرفته وتقدمت حضارته على كثير من المواد النافعة بتقطير الفحم وأن يجزئ البترول الخام إلى كثير من المقطرات المتنوعة ومتغيرات الخواص مما يسر له إستخدامها في أكثر من مجال.

1.2 مشكلة البحث:

إستخدام الكهرباء العامة في التبريد ذات فاتورة عالية مادياً كما أن التلوث البيئي الناتج من مصادر الطاقة التقليدية يتطلب البحث عن تقنيات بديلة تستخدم طاقات متجددة ونظيفة ومريحة مادياً

كالمجمعات الشمسية.

1.3 أهمية البحث:

هذا البحث يعطي أهمية للمنتجات الصناعية خاصة (المجمعات الشمسية) المستخدمة في الأغراض المنزلية والتجارية مما يتيح ترشيد الطاقة من الوقود التقليدي، ويعتبر هذا المشروع من المشروعات التي يمكن أن تكون نواة للصناعات التي يمكن أن تقوم في السودان بإعتباره من المناطق المثالية في كمية سطوع الشمس في أغلب فترات العام بالإضافة إلى أنه من المشروعات التي تعتمد على المفاهيم الحديثة للحفاظ على البيئة من التلوث بالإضافة إلى توافر المواد الخام اللازمة للإنتاج وتوافر العمالة وسهولة التدريب.

1.4 أهداف البحث:

- الإستفادة من الطاقة الشمسية كطاقة بديلة ومتجددة للإستخدامات المنزلية بدلاً عن الكهرباء والوقود.
- تشجيع إستخدام المجمعات الشمسية لأنها لا تسبب أي إنبعاثات أو آثار ضارة على البيئة كما أنها طريقة آمنة.
- حساب مساحة المجمع الشمسي المسطح على أساس الحمل التبريدي واحد طن (1 Ton).

1.5 الطاقة ومصادرها:

تعتبر الطاقة من مقومات الحياة الأساسية، ولا يوجد تعريف محدد للطاقة فكل إنسان يعرف الطاقة حسب مجاله، ونجد أن هنالك حقيقتان لاشك فيهما لإحتياج الإنسان للطاقة:

- عدد سكان العالم في إزدياد مضطرد.
- التقدم التكنولوجي في العالم وإرتفاع مستوى المعيشة يتطلب طاقة إستهلاكية أكبر.

تتعدد مصادر الطاقة الطبيعية التي يستخدمها الإنسان وتنقسم إلى قسمين هما الطاقة التقليدية والطاقة المتجددة.

الطاقة التقليدية مثل البترول والفحم والغاز الطبيعي والطاقة النووية. أما الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة المائية.

كان الفحم أحد مصادر الطاقة المهمة في إكتشاف البترول ويوجد في باطن الأرض نتيجة لتفحم بقايا النباتات والأشجار، وكان الفحم يستخدم كمصدر أساسي للطاقة في كثير من الصناعات وفي محطات القوى التي تولد الكهرباء بواسطة البخار، ويستخدم في التدفئة والتسخين وإدارة الآلات، وأيضاً يستخدم في إنتاج المواد الكيميائية الهامة. ومن محاسنه أنه لا يحتاج إلى تخزين في أماكن خاصة وقيمته الحرارية عالية جداً.

يعتبر زيت البترول حالياً من أهم مصادر الطاقة ويشكل نسبة عالية من الطاقة المنتجة في العالم، وهو من أهم مقومات الحضارات الحديثة ويطلق عليه الذهب الأسود، ويعرف بأنه سائل أسود كثيف سريع الإشتعال ويتكون من خليط من المركبات العضوية التي تتكون أساساً من عنصر الكربون والهيدروجين (الهيدروكربونات) ويستخدم كمصدر للطاقة في قطاع الزراعة وتوليد الكهرباء وفي عمليات التدفئة وكوقود في الصناعات المختلفة وتصنيع بعض المواد الكيميائية.

الغاز الطبيعي يستخدم كمصدر للطاقة في كثير من الدول وهو يشغل المرتبة الثالثة بعد البترول والفحم ويختلف تركيبه من مكان إلى آخر وهو في أغلب الحالات يتكون من خليط من الهيدروكربونات ويتم إستخدامه في بعض الصناعات والأغراض المنزلية (الطهي – التسخين)، ويستخدم كوقود وفي تبخير مياه البحر للحصول على ملح الطعام ويستخدم في محطات القوى لتوليد الكهرباء، ومن محاسنه يعتبر من مصادر الطاقة النظيفة والتي ينتج عن إستخدامها تلوث قليل.

الطاقة النووية هي طاقة تحدث نتيجة لإنشطار النوويات في جهاز يُسمى المفاعل النـــووي الـــذي يتحكم في عملية الإنشطار وإطلاق الطاقة الناتجة بصورة تدريجية للإستفادة منها وتجنب حـــدوث الأخطار، وتستخدم في بعض الأغراض الصناعية وتوليد الكهرباء وتحضير بعض النظائر المشعة التي لا توجد في الطبيعة والتي تستخدم في علاج بعض الأمراض، ومن محاسنها أن تكاليف إنتاج الكهرباء عن طريق الطاقة النووية أقل من تكاليف إنتاجها من الفحم أو البترول أو الغاز الطبيعـــي لقدرات كبيرة.

وفي البلدان النامية يتم إستخدام الفحم النباتي لتوفير الطاقة لبعض تطبيقات الطهي وكيَّ الملابس ... الخ. ومن سلبياته أنه يضر بالبيئة ويساهم في إزالة الغطاء النباتي، وبعض الســـكان يســـتخدمون الحطب لتوفير الطاقة للأغراض المنزلية مثل التدفئة والطهي.

نجد أن مساوي الطاقة التقليدية تكون متقاربة من بعض ولها آثار ضارة بالبيئـــة المحيطـــة مثـــل مخاطر التلوث الناشئ من المخلفات لمصدر الطاقة التقليدية وإرتفـــاع التكلفـــة مقارنـــة بالطاقـــة المتجددة. والطاقة المتجددة هي البديل المرتقب للطاقة التقليدية حيث تمتاز بأنها طاقة مستمرة كمـــا أن لها بعض السلبيات.

تعتبر الطاقة الشمسية هي إحدى مصادر الطاقة المتجددة ومن مميزاتها أنها تشع يوميـــاً ومتـــوفرة بإستمرار وتعتبر طاقة نظيفة وتستخدم في الأغراض الزراعية والأغراض المنزلية مثـــل تســـخين المياه وغيرها.

طاقة الرياح تنتج لتحرك الهواء بسبب تغير درجة حرارته عند ملامســـته لســـطح الأرض وقـــد استخدمت في تحريك طواحين الهواء وإنتاج الكهرباء، ويمكن إنتاج الطاقة أيضاً من مياه البحـــار والمحيطات وذلك بإستغلال الفرق في درجات الحرارة بين سطح البحر والعمق وحركة الأمـــواج

وحركة المد والجذر، وهناك طاقة مائية منتجة في الخزانات نتيجة لسرعة المياه ويستفاد منها في توليد الكهرباء.

طاقة الكتل الإحيائية أو الحيوية وهي الطاقة المنتجة من مخلفات الحيوانات وكل المخلفات الزراعية ويضاف إلى ذلك بعض مخلفات تصنيع الأخشاب، وتحدث هذه الطاقة بتخمير البقايا النباتية والحيوانية في حفر خاصة فيتصاعد غاز قابل للإشتعال يعرف بإسم الغاز الحيوي وهو غاز يتكون أساساً من الميثان ويمكن إستخدامه في عملية الطهي والتسخين في المناطق الريفية وهي تمنع تلوث البيئة بهذه المخلفات وتسمح بالتخلص منها بطريقة إقتصادية نافعة.

كما أن المتبقي من تخمير هذه المخلفات يمكن إستخدامها في أغلب الأحيان كسماد طبيعي يُساعد على زيادة خصوبة التربة الزراعية، ومن محاسن الطاقة المتجددة أنها طاقة نظيفة وقليلة التكلفة مقارنة بالطاقة التقليدية، ومن عيوبها الكفاءة المتدنية (الطاقة الشمسية).

في الطاقة المائية تكون هنالك مشكلة الطمي التي تقلل من إنتاجها، وطاقة الرياح يمكن الإستفادة منها في أماكن محددة تكون فيها سرعة الرياح شبه ثابتة وعلى طول العام، ومن بين هذه الأنواع المذكورة أعلاه نجد أن الطاقة الشمسية هي من أهم مصادر الطاقة المتجددة حيث أنها متاحة لمعظم سكان الكرة الأرضية حيث تتم الإستفادة من الطاقة الشمسية بصورة صحيحة وأيضاً يجب الإهتمام بها وذلك بإجراء البحوث والدراسات بهدف إيجاد أفضل السبل لإستغلالها وبأقل تكلفة.

1.6 الطاقة الشمسية:

الشمس هي المصدر الأساسي للطاقة على كوكب الأرض، وتعتبر الطاقة الشمسية من أهم أنواع الطاقة التي يمكن للإنسان الإستفادة منها فهي لازمة لوجود الحياة على سطح الأرض، كما أن أنواع الوقود التقليدية مثل الفحم وزيت البترول ما هي إلا إنتاج لبعض العمليات الطبيعية التي فيها إختزان جزء من طاقة الشمس بواسطة النباتات، والأشعة الواردة من الشمس تقدر بكميات كبيرة

جداً ولكن سطح الأرض لا يتلقى إلا قدراً ضئيلاً منها وذلك لصغر حجم والأرض وبُعدها الكبير عن الشمس، وعلى الرغم من صغر هذا القدر من الأشعة بالنسبة للطاقة الكلية الصادرة من الشمس إلا أنه يمثل بالنسبة لنا قدراً هائلاً يفي بكل إحتياجاتنا من الطاقة على سطح الأرض، وفكرة إستخدام الطاقة الشمسية في بعض المجالات مثل التسخين وتحريك الآلات ليست جديدة على الإطلاق فالتاريخ يحدثنا أن أرخميدس الذي عاش في القرن السادس قبل الميلاد قد إستخدم أشعة الشمس في إحراق بعض سفن العدو في إحدى المعارك الحربية.

وقد إتجه العالم إلى تطوير الأبحاث والدراسات حول فكرة إستخدام الطاقة الشمسية وهذا الإهتمام كان لأسباب ومزايا عديدة إنفردت بها الطاقة الشمسية عن بقية أنواع الطاقات التقليدية الأخرى، ويمكن تلخيص هذه المزايا في أنها دائمة ومستمرة ومتوفرة في معظم بقاع الأرض بالإضافة إلى أنها نظيفة لا تلوث البيئة عند إستخدامها ولا تتأثر الأرض فيما يُستهلك منها.

ونظراً لأهمية هذه الطاقة فإن إستخداماتها عديدة وكثيرة ولا تزال الأبحاث جارية لإستحداث إستخدامات جديدة مع رفع كفاءة المستخدم الحالي منها، ومثال لتلك الإستخدامات (التسخين الشمسي، تقطير المياه، تكييف الهواء، وتجفيف المنتجات الزراعية)، ومن مشكلات إستخدامات الطاقة الشمسية في كثير من التطبيقات هي كلفتها الإنشائية العالية.

يتم إستغلال الطاقة الشمسية بإحدى الطريقتين:

أ. الإستفادة من الطاقة الحرارية في الإشعاع الشمسي لتسخين مائع ثم إستغلال الطاقة الحرارية المخزنة في المائع.

ب. تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية وذلك عن طريق خلايا السيليكون.

في بلد مثل السودان الذي يتميز بالمناخ المداري وتتعامد عليه الشمس مرتين في العام وفي مثل هذا الجو الحار يصبح موضوع الإستفادة من الطاقة الشمسية جدير بالبحث والدراسة، وبنفس القدر فإن

حوجة الإنسان للتبريد بصوره المختلفة تجعل الدراسة التحليلية حول التبريـــد بإســـتخدام الطاقـــة الشمسية مهمة ومشجعة للغاية، وبما أن السودان يعتبر من البُلدان التي تتوفر فيها الطاقة الشمســـية بكثافة عالية فسوف نتناول في هذا البحث الطريقة الأولى من طرق الإستفادة من الطاقة الشمســـية وهي الإستفادة من الطاقة الحرارية في الإشعاع الشمسي عن طريق مجمع شمسي مُسطح وإدخالها إلى نظام تبريد إمتصاصي.

الباب الثانـي

الطاقة الشمسية الساقطة على الأرض

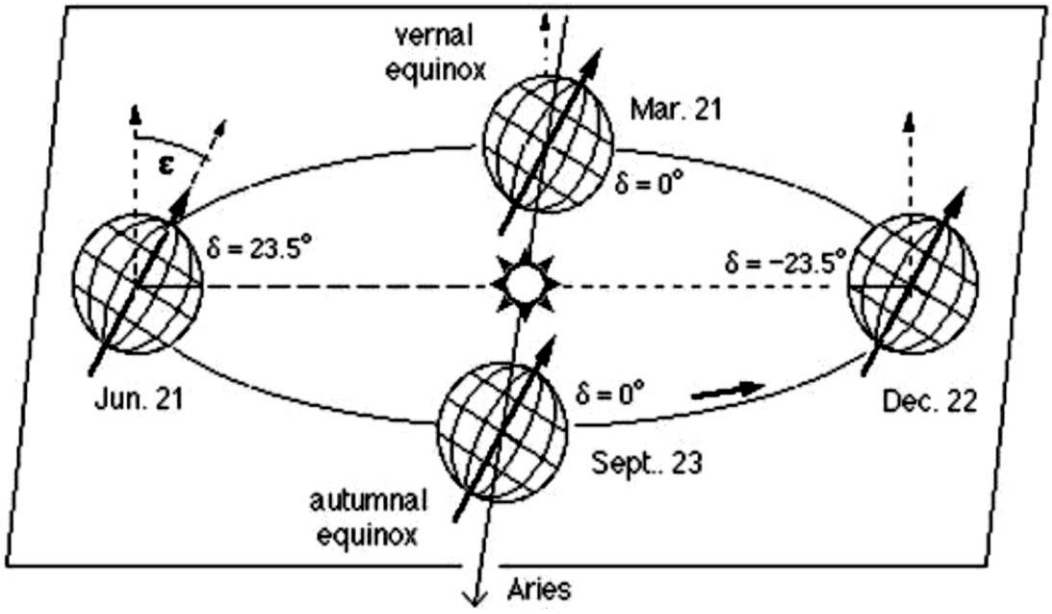
الباب الثاني

الطاقة الشمسية الساقطة على الأرض

2.1 موقع الأرض من الشمس:

كما هو معروف أحد مصادر الطاقة المهمة للأرض هي الطاقة الشمسية ونرى أن الشمس تصب كمية هائلة من ضوئها على الفضاء المحيط بها وبما أن كوكب الأرض يدور حول الشمس في مدار محدد قدره مدبر هذا الكون سبحانه وتعالي.

نجد أن هناك كميات متفاوتة من هذه الطاقة تحط على سطح الأرض يوميا، تحدد هذه الكميات بموقع الأرض من الشمس أو بالفصول الأربعة للسنة.



الشكل (2.1) موقع الأرض من الشمس على مدار السنة

كما هو واضح من الشكل السابق نجد أن الدول التي تقع على خط الاستواء هي الدول التي تتمتع بفصل واحد تقريبا طوال السنة وهو فصل الصيف أي بمعني أخر تسلط أشعة الشمس علي هذه الدول طوال السنة ومن ثم تتمتع الدول القريبة من خط الاستواء بهذا الطقس وعادة يصعب على

سكان هذه المناطق الإحساس بالفصول الأخرى. علماً بأن المناطق الشمالية و أيضاً الجنوبية لخط الاستواء والقريبة لأقطاب الأرض تكون محسوسة الفصول أي أن سكان هذه المناطق يدركون الفصول الأربعة للسنة.

المقصود بهذه المقدمة هو تحديد أماكن كثافة الطاقة الشمسية على كوكب الأرض خلال دورانه حول الشمس فنجد إن الدول العربية تحظي بقدر كبير من هذه الطاقة يوميا. شدة الإشعاعات الشمسية التي تصل سطح الأرض تتفاوت بسبب تغير الظروف الجوية والموقع المتغير للأرض بالنسبة للشمس، خلال اليوم الواحد وطوال السنة، الغيوم هي أحد العوامل الجوية الرئيسية التي تقرر كمية الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى الأرض و بالتالي تتلقى المناطق ذو المناخ الغائم إشعاعات شمسية أقل من المناطق التي يكون مناخها صحراوياً.

عموما أكبر شدة إشعاع شمسي تستلم بواسطة الأرض تكون في فترة الظهيرة عندما يكون ضوء الشمس عمودي على سطح الأرض بخلاف وقتي الشروق و الغروب فهما يستقبلان اقل كمية من الإشعاع طوال فترة النهار لكل يوم.

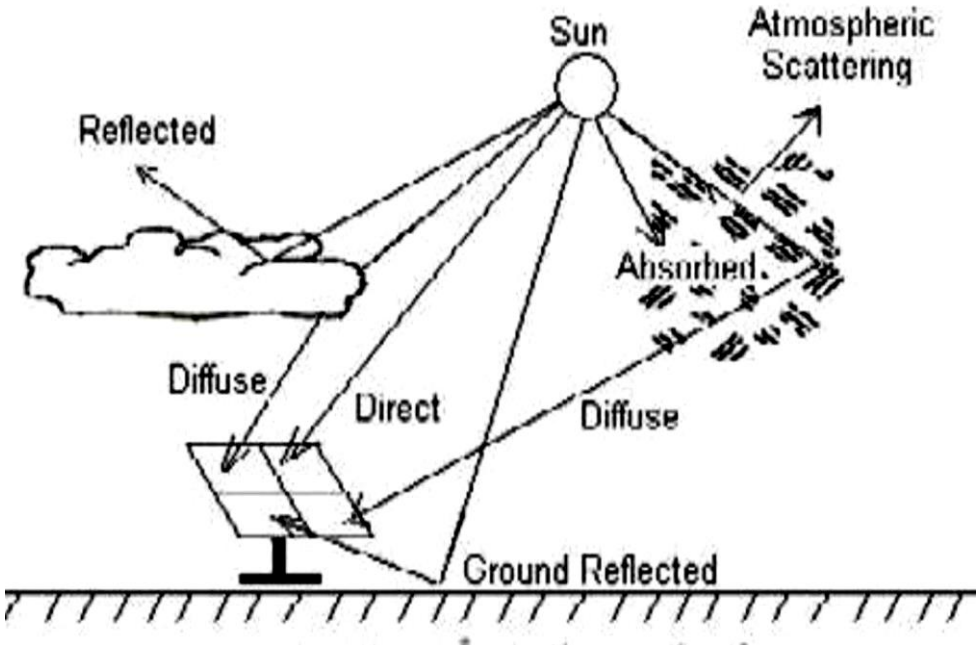
بالتالي نتيجة سقوط إشعاع الشمس عموديا علي سطح الأرض خلال فترة الظهيرة نجد أن المفاقيد في الإشعاع تكون صغيرة جداً هذه المفاقيد عبارة عن إمتصاص السحب للإشعاعات الشمسية أو تبعثر الإشعاعات في الفضاء بواسطة إنعكاساتها عن طريق الرماد البركاني المحمول جوا أو الأدخنة المحمولة جوا نتيجة حرق الغابات وغيرها من ملوثات البيئة بهذا تصل إشعاعات شمسية أكثر لسطح الأرض في منتصف اليوم.

تتكون مجموع الإشعاعات التي ترتطم بسطح الخلية الضوئية في الوضع الأفقي أو بمساحة معينة علي سطح الأرض كما هوا موضح في الشكل التالي من ثلاثة أجزاء أساسية وهي:

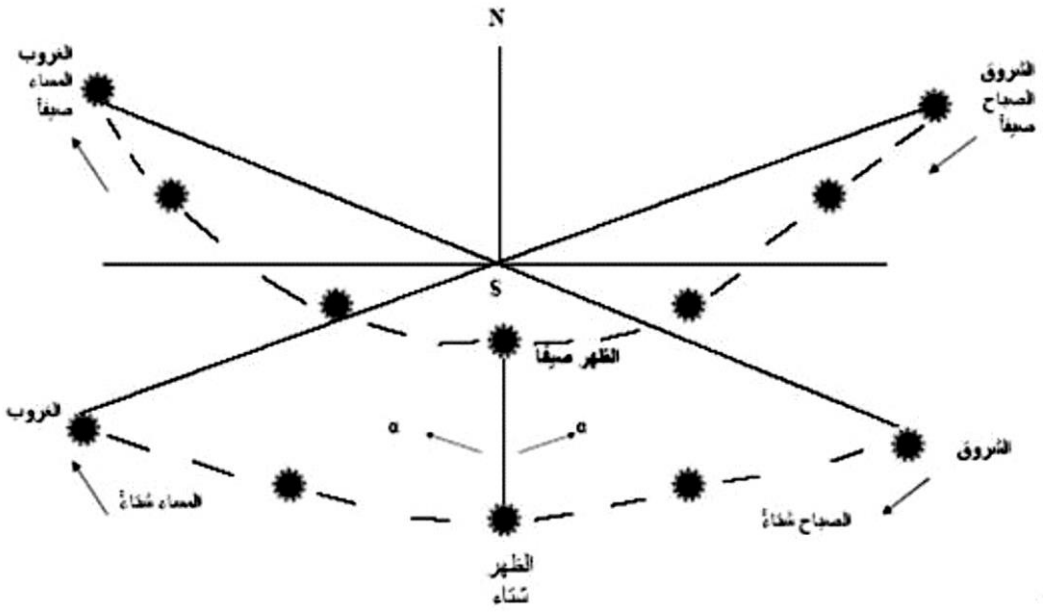
1. الحزمة الضوئية المباشرة (Direct Beam Radiation).

2. الحزمة الضوئية المبعثرة (Diffuse Radiation).

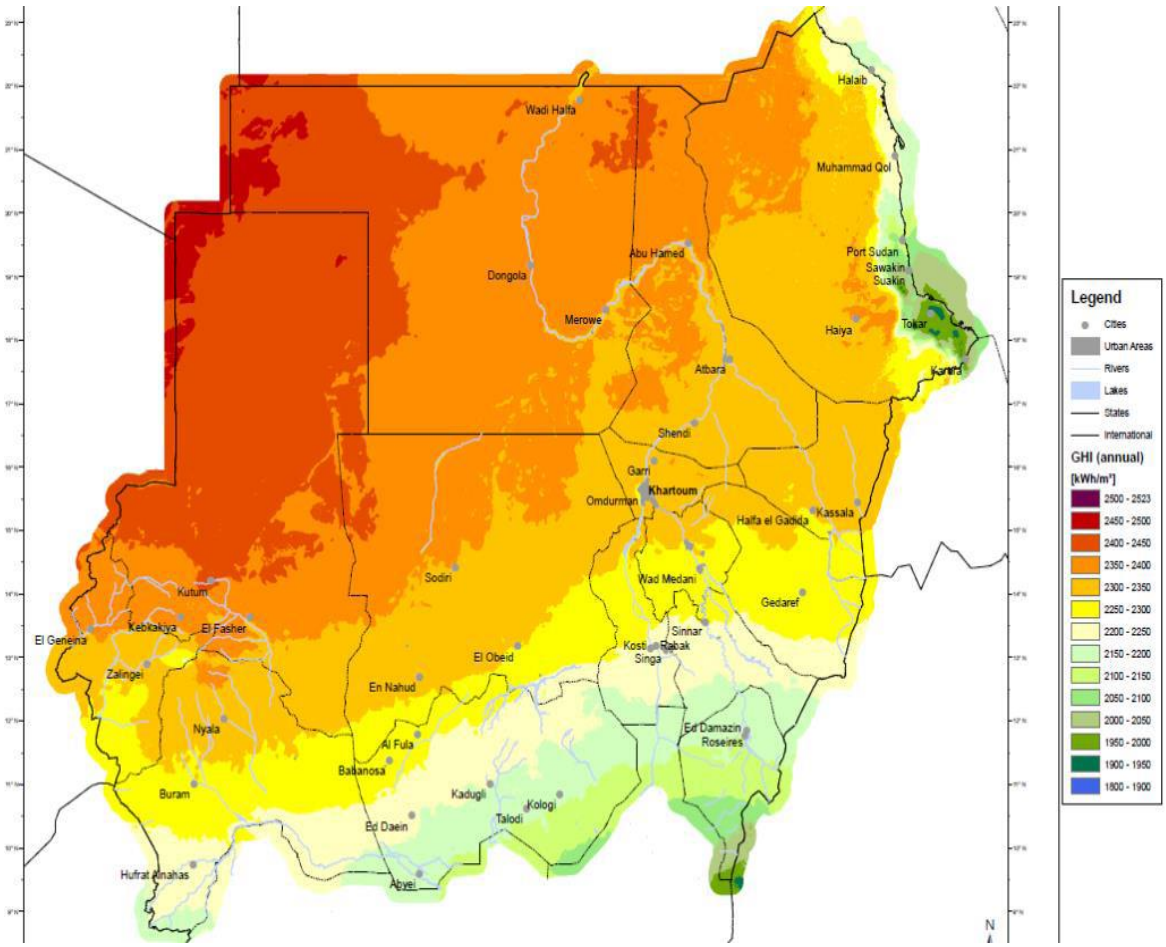
3. الحزمة الضوئية المعكوسة (Albedo Radiation).



الشكل (2.2) أجزاء الشعاع الضوئي



الشكل (2.3) حركة الشمس الظاهرية فوق الأجواء السودانية



الشكل (2.4) معدل الإشعاع الشمسي في السودان

2.2 حساب الطاقة الشمسية الساقطة على سطح الأرض:

الشمس عبارة عن كرة ملتهبة من الغازات الكثيفة ويبلغ قطرها حوالي $1.39 \times 10^9 m$ ومتوسط بعدها عن الأرض $1.5 \times 10^{11} m$ ودرجة حرارة سطحها الفعال $5762^o K$ بينما تتراوح درجات حرارتها الداخلية ما بين $(40 \times 10^6 - 8 \times 10^6 K)$.

وبصورة عامة تُعتبر الشمس مفاعل إندماجي مستمر وتبقى الغازات المكونة له متماسكة بفعل قوة التجاذب وتنتقل الطاقة الناتجة في منطقة المركز من طبقة لأخرى عند درجات حرارة مختلفة بواسطة الإشعاع والحمل حتى تصل السطح الخارجي وبالتالي يتم إشعاعها في الفضاء وتنتقل الطاقة من الشمس إلى الأرض في شكل موجات ويتغير الإشعاع الشمسي عبر الغلاف الجوي بتغير الأطوال الموجية.

تعتبر الطاقة الشمسية أكثر مصادر الطاقة توافراً للجنس البشري وبالتحديد الطاقة الكهرومغناطيسية التي تبعثها الشمس، وعلى الرغم من أن الطاقة الشمسية لا تستعمل كمصدر رئيسي للطاقة في الوقت الحاضر إلا أن هنالك بحوث وجهود مستمرة لإستغلال أو تسخير الطاقة الشمسية بشكل إقتصادي لتصبح مصدراً رئيسياً للطاقة خصوصاً في حقلي التبريد والتدفئة للمباني.

يمكن تحويل الطاقة الشمسية مباشرة إلى أشكال أخرى للطاقة في ثلاث عمليات منفصلة هي العملية الكيميائية الشمسية، العملية الكهربائية الشمسية، والعملية الحرارية الشمسية.

العملية الكيميائية الشمسية فإنها عملية التمثيل أو التركيب الضوئي التي هي أساساً وقود المستحثات والعملية الكهربائية الشمسية هي عملية توليد الكهرباء بالخلايا الشمسية والعملية الحرارية الشمسية هي عملية إمتصاص الإشعاع الشمسي وتحويل هذه الطاقة الإشعاعية إلى طاقة حرارية وهذه العملية هي العملية التحويلية الوحيدة التي تصل كفاءتها 100%.

بعد خروج الإشعاع الشمسي من الشمس ونتيجة لمروره خلال الغلاف الجوي تحدث ظاهرتان تؤديان إلى إضافة الإشعاع وهما:

1. تشتيت الإشعاع بتأثير جزئيات الهواء والماء والغبار ويُعلمك التشتيت على عدد الجزئيات التي تمر من خلال الإشعاع وحجم هذه الجزئيات.

2. إمتصاص الإشعاع بواسطة الغلاف الجوي حيث يتم إمتصاص كامل تقريباً للموجات الضوئية القصيرة بواسطة الأوزون عند طبقات الجو العُليا وذلك للأطوال الموجية أصغر من $0.3\mu m$.

2.3 الإشعاع الشمسي الساقط على سطح عمودي خارج الغلاف الجوي:

تختلف قيمة الإشعاع الصادر من الشمس من يوم إلى آخر خلال السنة وذلك لتغير المسافة بين الشمس والأرض وذلك حسب المعادلة:

$$GON = G_{SC}[1 + 0.33\, cos(360N/365)]$$

حيث:

G_{SC} ≡ الثابت الشمسي. والأرض خارج الغلاف الجوي وتقدر قيمته بحوالي $1366 watt/m^2$ وهي القيمة المعتمدة لدى مركز الإشعاع العالمي (W-R-C).

N ≡ رقم اليوم في السنة حسب الترتيب $(N = 1)$ هو اليوم الأول من يناير و $(N = 365)$ هو 31 ديسمبر.

الجدول (2.1) Recommended average days for month and value N by months:

For the average day of the month				
Months	N for i^{th} day month	day	N day of year	δ declination
January	i	17	17	-20.9
February	31+i	16	47	-13.0
March	59+i	16	75	-2.4
April	90+i	15	105	9.4
May	120+i	15	135	18.8
June	151+i	11	162	23.1
July	181+i	17	198	21.2
August	212+i	16	228	13.5
September	243+i	15	258	2.2
October	273+i	15	288	-9.2
November	304+i	14	318	-18.9
December	334+i	10	344	-23.0

2.4 تعريف بعض المصطلحات الخاصة بالطاقة الشمسية:

2.4.1 مصطلحات عامة:

الإشعاعية: هي المعدل الذي تسقط به الطاقة الإشعاعية على سطح في وحدة مساحة وتقاس بوحدة $(watt/m^2)$.

الطاقة الإشعاعية: هي الطاقة الساقطة على وحدة مساحة ويتم الحصول عليها بتكامل الإشعاعية خلال فترة زمنية معينة تقاس بوحدة $(J.m^2)$.

الإشعاع المباشر: هو الإشعاع الساقط دون أن يتبعثر بواسطة الغلاف الجوي.

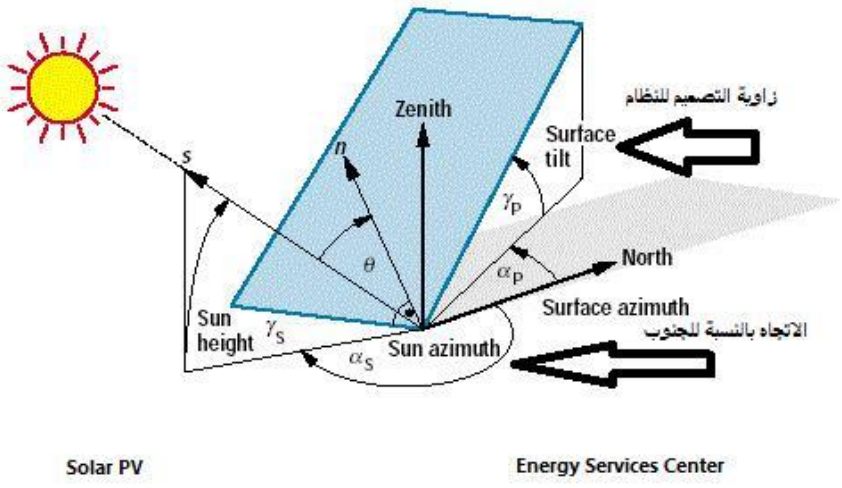
الإشعاع المنتشر: هو الإشعاع الساقط من الشمس بعد أن يتغير إتجاهه بواسطة الغلاف الجوي.

الإشعاع الشمسي الكُلي: هو مجموع الإشعاع المباشر والإشعاع المنتشر.

التوقيت الشمسي: هو الزمن المبني على أساس حركة الشمس الزاوية الظاهرية عبر السماء ويكون الظهر الشمسي هو الزمن الذي تعبر فيه الشمس خط الزوال بالنسبة للشخص الناظر للشمس.

2.4.2 مصطلحات إتجاه الإشعاع المباشر:

تعتمد العلاقة بين سطح في أي إتجاه بالنسبة للأرض والإشعاع المباشر الصادر من الشمس على عُدة زوايا:



الشكل (2.5) مواقع الزوايا المختلفة

زاوية الميل (δ) :

وهي الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين مركزي الأرض والشمس والإسقاط العمودي لهذا الخط على خط الإستواء، وتكون قيمة زاوية الميل موجبة في النصف الشمالي من الكرة الأرضية خلال شهور الصيف بينما تكون قيمتها سالبة لنفس الفترة في الجزء الجنوبي من الكرة الأرضية والعكس. تتراوح قيمة زاوية الميل (0^o) في شهر ديسمبر إلى (23.45^o) في شهر يونيو وتعود مرة أخرى إلى (0^o) في شهر سبتمبر (23.45^o) في شهر ديسمبر.

زاوية الساعة (ω) (Hour Angle):

هي الإزاحة الزاويَّة للشمس شرق أو غرب خط الطول المحلي نتيجة لدوران الأرض حول محورها بمُعدل (15) في الساعة ويُعتبر الظهر صفر، قبل الظهر سالب وبعد الظهر موجب وتُعطى بالعلاقة:

$$\omega = 15(t - 12)$$

حيث:

$t \equiv$ الزمن حسب التوقيت الشمسي الذي يبدأ منتصف الليل ويكون الظهر هو الثانية عشرة.

زاوية السقوط (θ):

هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والمستوى العمودي على السطح المائل المتلقي للشعاع في حالة أن يكون السطح المتلقي للشعاع موضوع في صورة أفقية فإن زاوية السقوط تكون مساوية لزاوية ذروة الشمس.

زاوية السمت (Z):

هي زاوية شعاع الشمس مقاسة على المستوى الأفقي، تُعطي قيمة الزاوية (−) إذا كانت واقعة في الجزء الغربي بينما تكون قيمتها (+) للنقاط الواقعة في الجزء الشرقي، تكون قيمة زاوية السمت في

أوقات الصباح وفقاً للعلاقة $(-\pi + |Z|)$ وتكون قيمتها عند الظهيرة صفراً بينما لأوقات ما بعد الظهيرة $(\pi - Z)$.

زاوية الإرتفاع الشمسي (αs) (Solar Altitude Angle):

هي الزاوية المحصورة بين الخط الأفقي والخط الواصل من السطح أي أنها الزاوية المتممة لزاوية السمت.

زاوية السمت الشمسي (γs) (Solar Azimuth Angle):

هي الإزاحة الزاويَّة من الجنوب لمسقط الشعاع على المستوى الأفقي يكون الصفر في إتجاه الجنوب وتعتبر الإزاحة ناحية الشرق سالبة والغرب موجبة.

زاوية ميلان السطح المستقبل (β) .

زاوية ذروة الشمس (ϕ).

2.5 أنواع المجمعات الشمسية:

هناك ثلاثة أنواع للمجمعات الشمسية:

1. المجمعات الشمسية المسطحة.
2. المجمعات الانبوبية المفرغة.
3. أنظمة المجمعات التخزينية التكاملية.

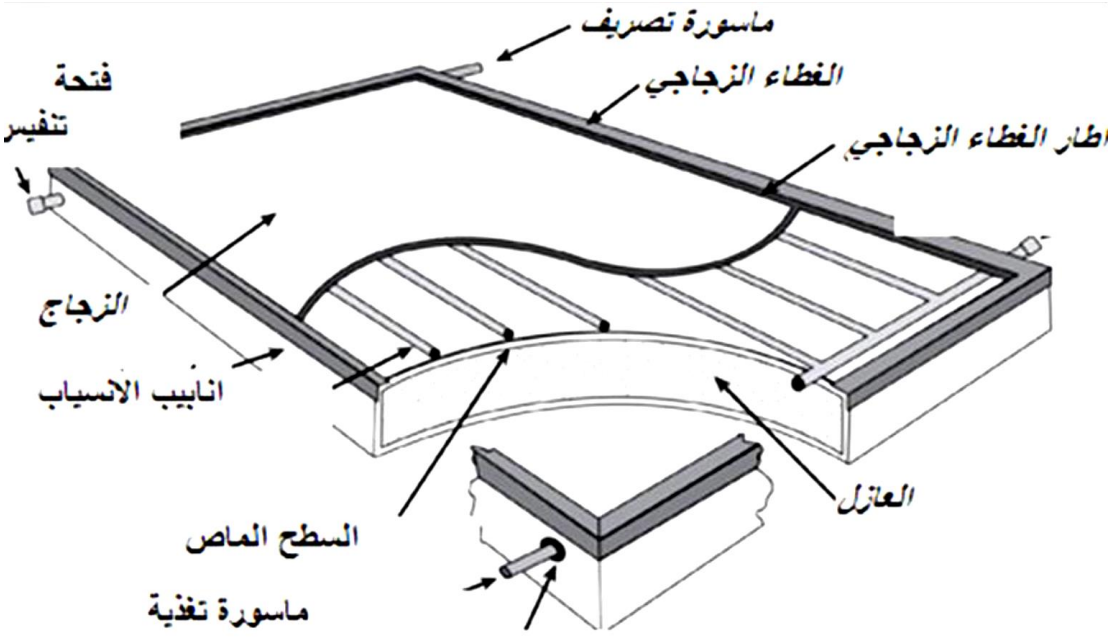
2.5.1 المجمع الشمسي المسطح:

المجمع الشمسي هو نوع خاص لمبادل حراري يقوم بتحويل الطاقة الإشعاعية في الشمس إلى حرارة. يمكن تصميم المجمعات المسطحة لتطبيقات تتطلب إمداد الطاقة عند درجة حرارة متوسطة تصل إلى حوالي $100^o c$ وهذه المجمعات تستفيد من الإشعاع المباشر والإشعاع المنتشر ولا تحتاج إلى تتبع حركة الشمس (Tracking) ولا تحتاج إلى صيانات كثيرة.

التطبيقات الرئيسية للمجمعات المسطحة المستوية هي:

تسخين الماء، تدفئة المباني، تكييف الهواء، التبريد والعمليات الصناعية.

الشكل (2.6) مجمع شمسي مسطح ذو وسيط سائل



الشكل (2.7) مقطع تفصيلي لوحدة التسخين

مكونات المجمع الشمسي المسطح:

سطح الإمتصاص:

يصنع سطح الإمتصاص في الغالب من معدن مطلي باللون الأسود الداكن وذلك لزيادة معدل إمتصاص حيث تتميز الألوان السوداء بمعدل عال الإمتصاص للأشعة الشمسية يصل إلى 98% ولكن يعاب على الألوان الداكنة قابليتها الشديدة لفقد الحرارة بطريقة الإشعاع حيث يصل ذلك المعدل إلى 90%، بعبارة أخرى فإن السطح الماص الداكن قادر على إمتصاص ما نسبته 98% من الطاقة الساقطة عليه ولكنه سيعيد إشعاع ما نسبته 90% من الطاقة المكتسبة لتصبح الإستفادة من جزء صغير فقط من الطاقة الشمسية الساقطة على السخان وستضيع النسبة الكبرى سدي من أجل ذلك تستخدم أنواع خاصة من الطلاء ذات معدل إمتصاص عالي ومعدل إشعاع منخفض، ومن أمثلة هذه الطلاءات أكاسيد الكروم والكوبالت، وتسمي مثل هذه الطلاءات بالطلاءات الانتقائية (Selective Coatings).

ممرات سريان وسيط التسخين:

تصنع هذه المسارات عادة من معادن مثل النحاس والفولاذ أو من المطاط وهي تختلف من تطبيق إلى آخر باختلاف نوع الوسيط وكذلك باختلاف مادة سطح الإمتصاص، فهناك قنوات مستطيلة ذات مساحات كبيرة (10–15 سنتيمترات) لتسخين الهواء، وهناك قنوات دائرية ذات أقطار صغيرة (أنابيب أقطارها بحدود 1 سنتيمتر) لتسخين السوائل.

العازل الحراري:

عندما ترتفع درجة الحرارة داخل السخانات بالمقارنة بالجو المحيط بها يصبح هناك إمكانية لفقد هذه الحرارة بالتوصيل وذلك عن طريق جوانب السخان والجهة السفلية منه بالحمل، والإشعاع عن

طريق الغلاف الزجاجي، وعليه يمكن الاستعانة بمواد وأساليب خاصة للحد من هذه الفواقد حسب نوعية الفقد وذلك على النحو التالي:

الفقد بالتوصيل:

ويمكن الحد منه بإحاطة جوانب وأسفل الماص وأنابيب التسخين بمواد خاصة ذات توصيلية حرارية متدينة كعازل حراري مثل الصوف الزجاجي، الألياف الزجاجية والبولي ستيرين.

الفقد بالحمل:

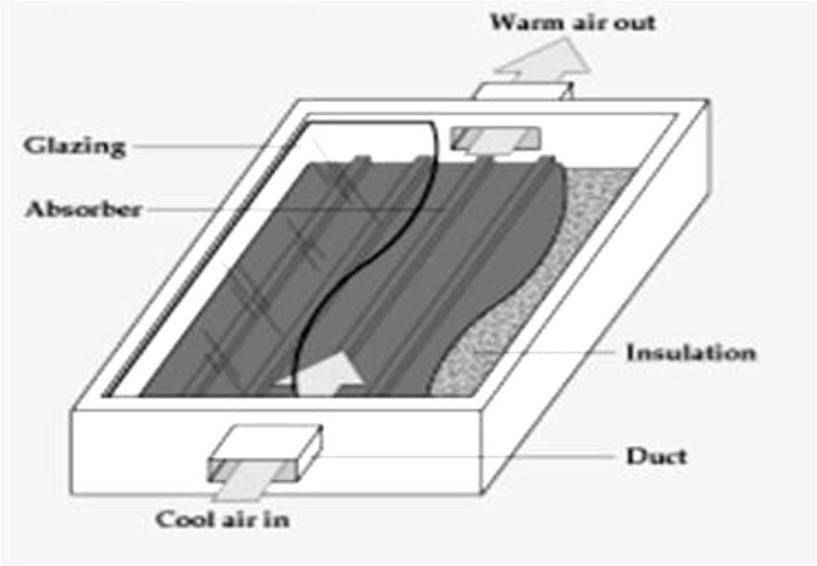
ويمكن الحد منه بسحب الهواء الموجود بين الأغطية الزجاجية أو بوضع أنابيب التسخين مع السطح الماص دخل أنابيب زجاجية مفرغة من الهواء (التفريغ).

الفقد بالإشعاع:

ويمكن الحد منه بإستخدام أغلفة زجاجية منفذة للأشعة القصيرة من الشمس وفي نفس الوقت معتمة بحيث تمنع إنعكاس الأشعة ذات الموجات الطويلة الصادرة من السطح الماص.

المجمعات الشمسية الهوائية:

تستعمل بشكل أساسي من أجل تدفئة الهواء في المنازل أو للأغراض الأخرى حيث يتدفق الهواء ضمن صفيحة الإمتصاص إما بشكل طبيعي أو بإستخدام مروحة ليسخن ويخرج منها للإستخدام، وتعد هذه المجمعات أقل كفاءة من المجمعات ذات الوسيط السائل.



الشكل (2.8) مقطع تفصيلي لوحده تسخين الهواء في مجمع شمسي مسطح

2.5.2 المجمعات الأنبوبية المفرغة:

المجمعات الأنبوبية المخلاة يمكن أن تُعطي درجات حرارة عاليـــة جـــداً تتـــراوح (170 – 350) فهرنهايت مما يجعلها أكثر ملاءمة لتطبيقات التبريد والتطبيقات البخارية الصناعية، ومن جهة ثانية المجمعات الأنبوبية أكثر كلفة من المجمعات المستوية، حيث يكلف الواحد منها ما يعادل كلفة إنشاء اثنين من المجمعات المستوية.

وتتألف هذه المجمعات عادة من صفوف متوازية من الأنابيب الزجاجية وكل أنبوب يحتوي علـــى أنبوب زجاجي خارجي شفاف وبداخله أنبوب معدني ماص للحرارة يكون مغطي بمـــادة تمـــتص الحرارة الشمسية بشكل جيد ويمتاز هذا النوع من المجمعات بمردود عالي وسبب ذلك أن الهـــواء بين الأنبوبتين المتداخلين مزال الأمر الذي يحول دون ضياع الحرارة بفعل التوصيل.

الشكل (2.9) مجمع الأنبوب المفرغ

الشكل (2.10) الأنابيب المستخدمة في مجمع الأنبوب المفرغ

2.5.3 أنظمة المجمعات التخزينية التكاملية:

تتألف من خزان واحد أو أكثر حيث يكون كل خزان مطلي من الداخل بمادة داكنة ويكون معزول بشكل جيد، هذا المجمع يلعب دور المجمع الشمسي ودور الخزان في وقت واحد، ويعـــرف باســـم (المجمعات المتكاملة).

الجدول (2.2) خصائص الزجاج:

الغطاء	**السمك** mm	الكثافة kg/m^3	**الموصلية الحرارية** $W/m.°C$
زجاج قياسي	4	10	0.84
زجاج قياسي,معالج حراريا	4	10	0.84
زجاج خالي من الحديد,معالج حراريا	4	10	0.91
زجاج مطلي غير عاكس	4	10	0.95

الجدول (2.3) خصائص العوازل الحرارية:

المادة العازلة	اعلى درجة حرارة مسموح بها °C	الكثافة kg/m^3	الموصلية الحرارية $W/m.°C$
صوف معدني	200	60 – 200	0.04
صوف زجاجي	200	30 – 100	0.04
صوف زجاجي	200	130 – 150	0.048
رغوة بولي يوريثان	130	30 – 80	0.03
رغوة بولي ستيرول	80	30 – 50	0.034

الجدول (2.4) الموصلية وإمتصاصية بعض المواد:

المعدن	الموصلية الحرارية $(W/m^2.K)$	الانبعاثيه %
النحاس	385	0.037
الالمونيوم	205	0.039
الحديد المجلفن	79.5	0.78

الجدول (2.5) الموصلية الحرارية لبعض المواد:

نوع الماده	معامل التوصيل الحراري $(W/m^2.°C)$
الواح اسبستوس Asbestos boards	0.16
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

المجمع المستوي المسطح يتكون أساساً من صندوق عازل من الأسفل والجوانب ومغطـــى بغطـــاء زجاجي. المجمع يتكون من أنبوبين أفقيين واحدة في الأسفل والأخرى أعلى المجمع هذه الأنابيـــب يتدفق فيها السائل الذي يكتسب الحرارة بالتوصيل ومن ثم بالحمل.

مساحة المجمع المستوي المسطح تعتمد على التطبيقات المتطلبة، الماء الداخل للمجمع يعبر بالرأس السفلي وينتقل عبر الأنابيب، الماء الساخن ينساب خارج المجمـــع عبـــر (Galvanized water tube) إلى الخزان أو أي تطبيقات أخرى متطلبة ثم بعد ذلك يرجع السائل إلى المجمع عبر الرأس السفلي.

الباب الثالث

التبريد

الباب الثالث

التبريد

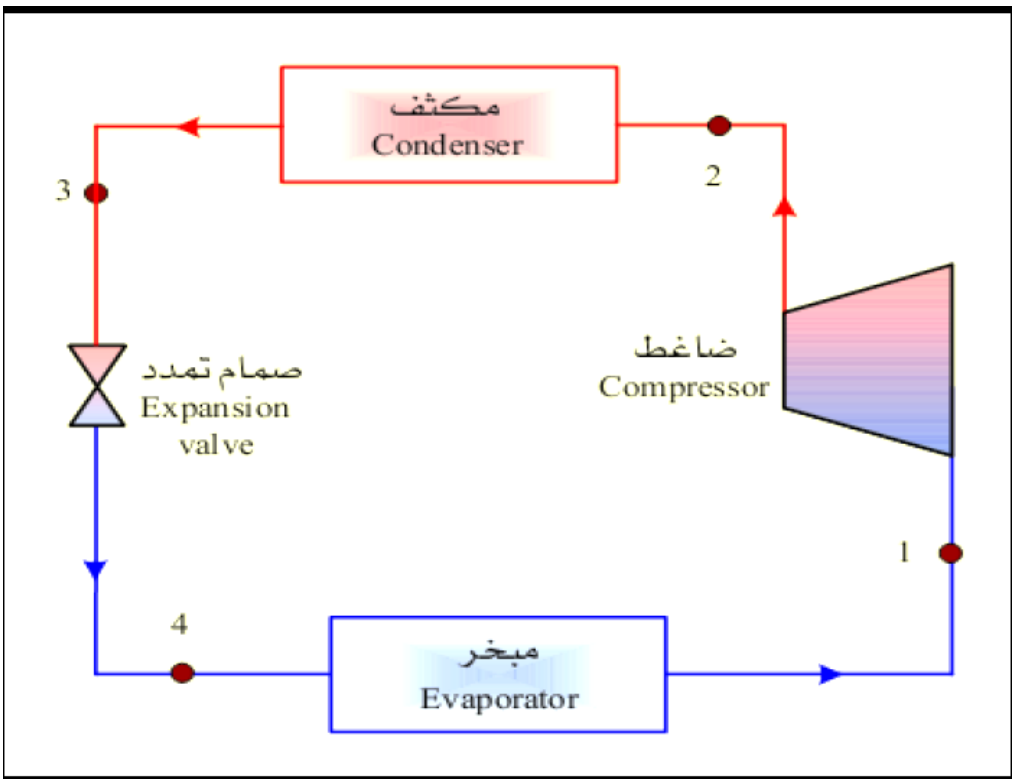
3.1 مقدمة:

التبريد هو عملية تقليل درجة حرارة الأجسام أو المواد والإحتفاظ بها عند درجة حرارة الجو المحيط ويحتاج الإنسان للتبريد في الأغراض المنزلية، التجارية، الصناعية وغيرها.

هناك نوعان من أنواع التبريد يكثر إستخدامه، أحداهما والشائع إستخدامه في غالبية أنواع الثلاجات المنزلية وهو ما يُسمى بدورة التبريد عن طريق إنضغاط البخار(Vapor compression cycle).

3.2 نظام التبريد الإنضغاطي:

يمكن إيجاز فكرة عمل دورة التبريد الإنضغاطي في أن بخار سائل التبريد (refrigerant) الناتج من المبخر يتم ضغطه بواسطة ضاغط يدور بمحرك كهربائي، بعد خروجه من الضاغط يمر البخار خلال مواسير المكثف حيث تزال الحرارة بإمرار هواء على المكثف ويتحول البخار إلى سائل، والسائل البارد في المبخر يتبخر ويأخذ الحرارة الكامنة اللازمة للتبخر من الوسط المحيط أو الأحمال المبردة فتحدث بذلك عملية التبريد. الشكل (3.1) يوضح أجزاء دورة تبريد إنضغاطي بسيطة.



الشكل (3.1) أجزاء دورة تبريد إنضغاطي بسيطة

3.3 نظام التبريد بالإمتصاص:

يختلف نظام التبريد بالإمتصاص عن التبريد الإنضغاطي في أنه يستخدم الطاقة الحرارية بدلاً من الميكانيكية لعمل التغيرات اللازمة في مائع التبريد لإكمال الدورة، كما أن وحدات التبريد الإمتصاصي تحتوي على أجزاء متحركة بسيطة.

يمكن إيجاز فكرة التبريد الإمتصاصي في سحب مائع التبريد في حالته البخارية من المبخر وذلك بإمتصاصه في سائل ذو إلفة عالية لمائع التبريد وقد تكون المادة الممتصة صلبة ويتم هذا الإمتصاص عند التبريد وبدون حدوث أي تفاعل كيميائي. ثم يطرد مائع التبريد من المحلول بالتسخين حيث تضاف الحرارة من مصدر حراري، وعليه فإن مصادر الطاقة في نظام التبريد بالإمتصاص هي:

1. الكيروسين.
2. الغاز.

3. الكهرباء.

4. الطاقة الشمسية.

وتنقسم عمليات التبريد الإمتصاصي إلى:

أ. مستمرة:

وفيها تبدأ عملية التبريد بمجرد بداية إستخدام الطاقة الحرارية وتستخدم هذه العمليـــة غالبـــاً فـــي المناطق التي تتوفر فيها مصادر الطاقة المختلفة وتكون عملية التبريد مستمرة.

ب. متقطعة:

في هذه العملية لا يبدأ التبريد عند إستخدام الطاقة الحرارية وإنما بعد أن تكتمل عملية التسخين.

3.4 دورة التبريد بالإمتصاص:

دورة التبريد بالإمتصاص في أبسط صورها تتكون من الأجزاء التالية:

1. المولد (Generator):

هو عبارة عن وعاء يحتوي على خليط مائع التبريد والمحلول ذو الإلفة العالية.

2. الماص (Absorber):

عبارة عن وعاء يحتوي على مادة شديدة الشراهة لمائع التبريد.

3. المكثف (Condensor):

فيه يتم تكثيف مائع التبريد بواسطة عملية تبادل حراري.

4. خزان السائل (Receiver):

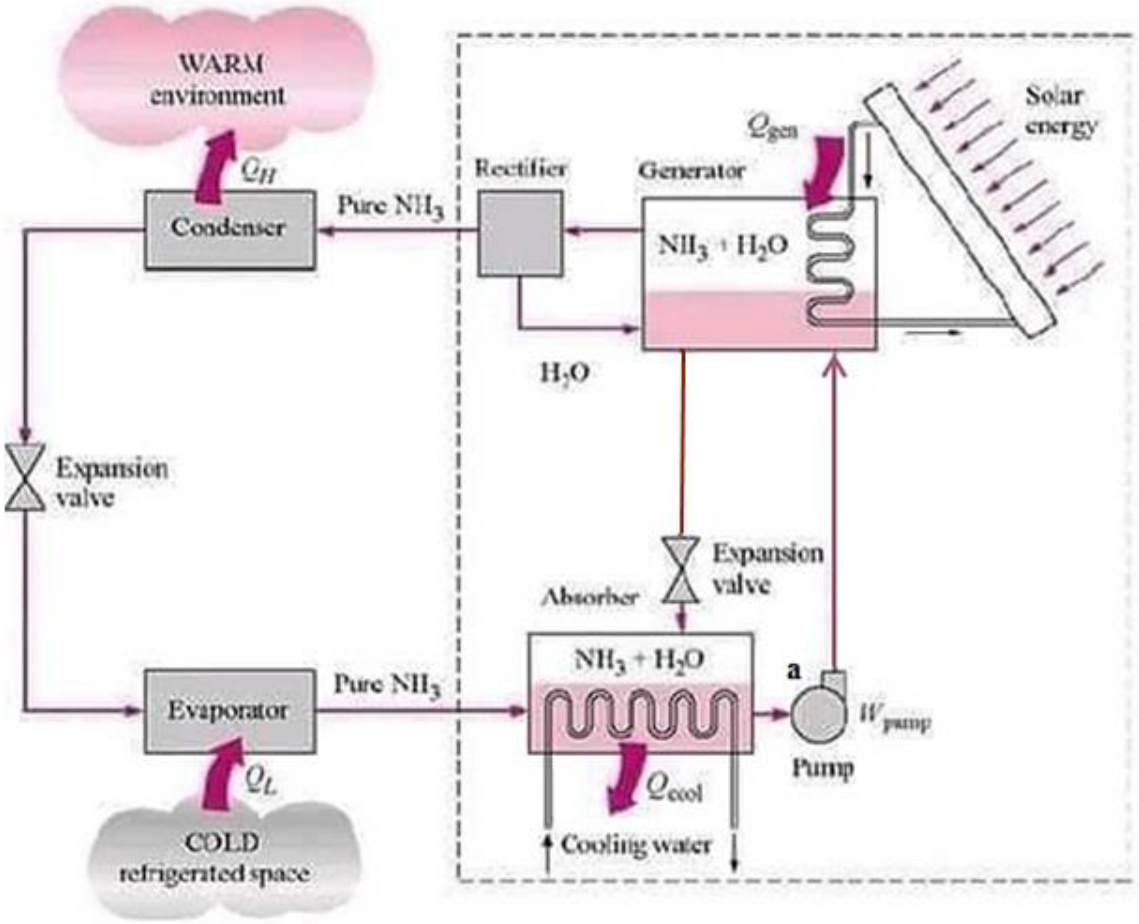
عبارة عن وعاء يتم فيه تخزين مائع التبريد السائل.

5. المبخر (Evaporator):

عبارة عن حيز يمتص فيه مائع التبريد الحرارة الكامنة لتبخيره من حمل التبريد.

6. مصدر حراري (Heat Source):

يتم به تسخين الخليط في المولد.



الشكل (3.2) دورة التبريد بالإمتصاص

في النظام الإمتصاصي البسيط البخار من المبخر ينساب إلى الماص حيث يُمتص هذا البخار بواسطة المحلول المركز مكوناً محلولاً مخففاً، هذا المحلول المخفف يُضخ بواسطة المضخة إلى المولد حيث يُغذى بمصادر حرارة خارجية أثناء عملية التسخين فإن الوسيط البخاري يترك المحلــول المخفــف ويصعد البخار إلى المكثف وهناك يتحول البخار إلى سائل ويدخل وسيط التبريد السائل الى المبخر بعد مروره بصمام تمدد وهناك يقوم الوسيط بإمتصاص الحرارة ويتحول إلى بخار لينساب البخار إلـــى الماص لتعود الدورة من جديد.

3.5 نظام البخار الامتصاصي البسيط:

نظام البخار الإمتصاصي البسيط يتكون من الماص والمضخة والمولد وبلف مخفض الضغط بدلاً من الضاغط في الدورة الإنضغاطية وبقية أجزاء النظام هي المكثف والخزان وصمام التمـــدد والمبخـــر والتي تشبه تماماً الوحدة الانضغاطية.

3.5.1 مبدأ عمل دورة بروميد الليثيوم الامتصاصية:

عندما ينخفض الضغط إلى ما دون الضغط الجوي في وعاء فيه ماء فان الماء يتبخر عند درجـــات حرارة متدنية قد تصل إلى (4) درجات مئوية ويستفاد من هذه الخاصية للماء في دورات التبريـــد الامتصاصية .للحصول على تبريد قد يصل إلى (4) درجات مئوية إذ يمزج الماء ببيروميد الليثيوم لتكوين محلول بروميد، الليثيوم المخفف في وعاء خاص يسمى المولد ويكون تركيز بروميد اليثيوم في المحلول 65% والماء 35%، ويستفاد من خاصية إنفصال الماء عن محلول بروميد الليثيوم عند تسخين المحلول إلى درجة حرارة التبخر، إذ يتبخر الماء عند درجة 100 مئوية تاركـــاً بروميـــد الليثيوم المركز وحده في الوعاء، لأن درجة حرارة غليان الماء أقل من درجة حرارة غليان بروميد الليثيوم عند الظروف نفسها، وينتقل بخار الماء إلى المكثف حيث يتحول إلى سائل، ثم يذهب الماء السائل إلى المبخر عبر صمام التمدد الذي يقوم بتذريته (على شكل رذاذ، ويقـــوم صـــمام التمـــدد بتخفيض ضغطه أيضا إذ ينتشر الماء حول أنابيب المبخر، ويتبخر مجدداً عند ضغط منخفض مما يؤدى إلى إزالة الحرارة من الماء المراد تبريده محلول بروميد الليثيوم المركز المتبقي في المولـــد يذهب إلى الوعاء الماص، إذ يمتص بروميد الليثيوم بخار الماء من المبخر مما يودي إلى تخفيـــف تركيز محلول بروميد الليثيوم مع الماء) ثم يضخ محلول بروميد الليثيوم المخفف بواسطة مضـــخة المحلول إلى المولد مجدداً لتتكرر الدورة من جديد، وتستمر هذه العملية بـــالتكرار طالمـــا إســـتمر مصدر الحرارة بتسخين المحلول في المولد.

3.6 مزايا التبريد الإمتصاصي على التبريد الإنضغاطي:

هنالك عدة مزايا لنظام التبريد الإمتصاصي على نظام التبريد الإنضغاطي ومن بين هذه المزايا:

- لا يوجد في النظام الإمتصاصي أجزاء تتطلب الحركة سوى المضخة ولذا فإن هذا النظام هادئ في تشغيله ولا يحدث تآكل نسبةً لعدم وجود حركة أما النظام الإنضغاطي وبنفس السعة لـــه ضـــاغط يصدر إزعاجاً وتآكلاً في أجزائه.
- يستخدم النظام الإمتصاصي الطاقة الحرارية لتغيير حالة وسيط التبريـــد فـــي حـــين أن النظـــام الإنضغاطي يستخدم الطاقة الميكانيكية.
- يمكن استخدام النظم الامتصاصية في الأماكن التي لا توجد فيها مصادر طاقة كهربية لأنها تستخدم جميع مصادر الطاقة مثل البخار الجاف سواء في الضغط العالي او المنخفض أو الطاقة الشمســـية أما النظام الإنضغاطي يتطلب وجود الطاقة الكهربية ولو كان عالية التكلفة.
- يُمكن لنظم التبريد الامتصاصية أن تعمل في ضغط ودرجة حرارة منخفضتين وذلك بزيادة ضغط البخار في المولد أما النظم الإنضغاطية فإن سعة النظام تنخفض بشدة بإنخفاض ضغط المبخر.
- تغير الحمل في النظم الإمتصاصية لا تأثير لها في حين أن تغير الحمل في النظم الإنضغاطية لها أثر رديء في أدائها.
- في النظم الإمتصاصية الوسيط السائل الخارج من المبخر ليس له أي تأثير على النظام سوى تقليل في الأثر التبريدي في حين أن الوسيط السائل الداخل إلى الضاغط يؤدي إلى عطـــل كبيـــر فـــي الضاغط.

عيوب التبريد الامتصاصي:

- حجم الأجهزة كبير ويحتاج مساحة كبيرة.
- معامل الأداء صغير.

الباب الرابع

العمليات الحسابية

الباب الرابع

العمليات الحسابية

4.1 العلاقة بين زاوية السقوط والزوايا الأخرى:

$$\cos(\theta) = \sin(L)\sin(\delta)\cos(\beta) - \cos(L)\sin(\delta)\sin(\beta)\cos(Z_s)$$
$$+ \cos(L)\cos(\delta)\cos(h)\cos(\beta)$$
$$+ \sin(L)\cos(\delta)\cos(h)\sin(\beta)\cos(Z_s)$$
$$+ \cos(\delta)\sin(h)\sin(\beta)\sin(Z_s)$$

حيث:

β زاوية ميلان السطح المستقبل

Z_s زاوية السمت السطحية (Surface Azimuth Angle)

L زاوية خط العرض (Latitude Angle)

h زاوية الزمن (Hour Angle)

وكذلك يمكن إيجادها من العلاقة:

$$\cos(\theta) = \cos(\phi) = sin(L)\sin(\delta) + \cos(L)\cos(\delta)\cos(h) \quad (1)$$

وتحسب زاوية الإنحراف δ من العلاقة:

$$23.45sin[(360/365) \times (284 + N)] \quad (2)$$

4.1.1 الإشعاع الساقط على سطح أفقي خارج الغلاف الجوي:

يتم تحسيب الإشعاعية على سطح أفقي خارج الغلاف الجوي من العلاقة الآتية:

$$G_{on} = G_{sc}[(1 + 0.033\, cos(360N/365)] \quad (3)$$

4.1.2 الإشعاع الساقط على سطح أفقي خارج الغلاف الجوي خلال ساعة (I_o):

يتم الحصول على الإشعاع الساقط على سطح أفقي خلال الساعة من المعادلة الآتية:

وعليه تكون العلاقة لحساب (I_o) هي:

$$I_o = [(12 \times 3600 \times G_{sc}/\pi)(1 + 0.033\, cos(360N/365)]$$
$$\times [\cos(L) + \cos(\delta) \times (\sin(h_2) - \sin(h_1) + (\pi(h_2 - h_1)/180$$
$$\times \sin(L)\sin(\delta)]$$

4.1.3 الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض:

يصل الإشعاع الشمسي بعد مروره خلال الغلاف الجوي للأرض في صورتين هما:

إشعاع مباشر I_b وإشعاع منتشر I_d ويكون الإشعاع الشمسي على سطح الأرض هو مجموع هذين الإشعاعين أي أن:

$$I = I_b + I_d$$

يتم تحسيب الإشعاع المباشر من العلاقة:

$$I_b = \tau_b \times I_o$$

حيث:

$\tau_b \equiv$ هي نفاذية الغلاف الجوي للإشعاع المباشر وتحسب من العلاقة:

$$\tau_b = a_o + a_1\, exp(-k\ /cos\phi)$$

حيث:

$K\ , a_1\ , a_o$ هي كميات ثابتة من العلاقات:

$$a_o = r_o \times a_r$$

$$a_1 = r_1 \times a_r$$

$$k = r_k \times k$$

$$a_o^* = 0.7237 - 0.0082(6 - A)^2$$

$$a_1^* = 0.5055 - 0.00595(6.5 - A)^2$$

$$k^* = 0.2711 + 0.01858(2.5 - A)^2$$

حيث:

A تمثل إرتفاع الموقع المعني عن سطح البحر بالكيلومترات وبالنسبة للمناخ المداري (Tropical) تؤخذ:

$$r_o = 0.95$$

$$r_1 = 0.98$$

$$r_k = 1.02$$

ويتم حساب الإشعاع المنتشر (I_d) من العلاقة:

$$I_d = \tau_d \times I_o$$

حيث:

τ_d هي نفاذية الغلاف الجوي للإشعاع المنتشر وتحسب من العلاقة:

$$\tau_d = 0.271 - 0.294\tau_b$$

4.1.4 الإشعاع الشمسي الساقط على سطح مائل:

معرفة الإشعاع الساقط على سطح مائل خلال ساعة تتم بعد قياسات أو تغيرات الإشـــعاع الســـاقط على سطح أفقي.

بالنسبة للإشعاع المباشر:

$$R_b = \frac{\sin(\delta)\sin(L-\beta) + \cos(\delta)\cos(L-\beta)}{\sin(L)\sin(\delta) + \cos(L)\cos(\delta)}$$

بالنسبة للإشعاع المنتشر:

$$R_d = \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2}\right]$$

يتكون الإشعاع الكُلي الساقط على سطح مائل من ثلاث مركبات:

1. مركبة ناتجة عن الإشعاع الشمسي المباشر.

2. مركبة ناتجة عن الإشعاع الشمسي المنتشر.

3. مركبة ناتجة عن الإشعاع المباشر على سطح مائل بالعلاقة:

$$I_T = I_b R_b + I_d R_d + I\rho G(1 - cos\beta/2)$$

4.2 خصائص مدينة عطبرة:

مدينة عطبرة تتمتع بالمناخ المداري على ضوء ذلك هنالك قيم وثوابت معينة تستخدم حسابات تعتمد على نوع المناخ. تقع مدينة عطبرة على خط عرض (17.7) شمال خط الإستواء وخط طول (33.53) شرق خط قرينتش وإرتفاع عن مستوى سطح البحر حوالي (350) متر.

المعادلات:

1. معادلة الإشعاع الحراري الساقط خلال ساعة واحدة:

$$I_o = [(12 \times 3600 \times G_{sc}/\pi)(1 + 0.033\, cos(360N/365)]$$
$$\times [\cos(L) + \cos(\delta) \times (\sin(h_2) - \sin(h_1) + (\pi(h_2 - h_1)/180$$
$$\times \sin(L)\sin(\delta)]$$

حيث:

G_{sc} الثابت الشمسي (Solar Constant)

N رقم اليوم السنوي

δ زاوية الميل (Declination Angle)

L زاوية خط العرض (Latitude Angle)

h زاوية الزمن (Hour Angle)

$$G_{sc} = 1366 w/m^2 \quad \text{Constant}$$

2. معادلة زاوية الميل (δ):

$$\delta = 23.45\ sin\left(\frac{360}{365} \times (284 + N)\right)$$

3. معادلة زاوية الزمن:

$h = \pm 0.25 \times$ (الزمن المطلوب بالدقائق للوصول لوقت الظهيرة المحلي)

4. معادلة الإشعاع الكلي الساقط على سطح مائل:

$$I_T = I_b R_b + I_d R_d + I\rho G(1 - cos\beta/2)$$

حيث:

I_T الإشعاع الكلي الساقط على سطح مائل

I_b الإشعاع العمودي المباشر

R_b النسبة بين الإشعاع المباشر الساقط على سطح مائل إلى الإشعاع الساقط على سطح أفقي

I_d الإشعاع المتبعثر أو المنتشر

R_d النسبة بين الإشعاع المنتشر الساقط على سطح مائل إلى الإشعاع الساقط على سطح أفقي

β زاوية ميلان السطح عند الأفق

ρG إنعكاسية سطح الأرض بالمنطقة (ويمكن تجاهلها)

5. معادلة الإشعاع العمودي المباشر (I_b)

$$I_b = I_o \times \tau_b$$

$$\tau_b = 0.154 + (0.716\ exp^{(-k/cos\phi)})$$

حيث:

τ_b نفاذية الغلاف الجوي للإشعاع المباشر

I_o الإشعاع الساقط على سطح أفقي خارج الغلاف الجوي

$$R_b = \frac{\sin(\delta)\sin(L-\beta) + \cos(\delta)\cos(L-\beta)}{\sin(L)\sin(\delta) + \cos(L)\cos(\delta)}$$

$$I_d = I_o \times \tau_d$$

حيث:

τ_d نفاذية الغلاف الجوي للإشعاع المتبعثر

$$\tau_d = 0.0271 - (0.0294 \times \tau_b)$$

معادلة الإشعاع الكلي الساقط على سطح أفقي:

$$I = I_d + I_b$$

$$R_d = \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2}\right]$$

حساب الإشعاع الكلي الساقط على سطح مائل خلال شهر يونيو ليوم (6/15):

أولاً: يجب حساب الإشعاع الساقط على سطح أفقي خارج الغلاف الجوي (I_o):

نحسب رقم اليوم السنوي (N):

$$N = 151 + i$$

$$N = 151 + 15 = 166$$

نحسب زاوية الميل (δ) :

$$\delta = 23.45\ sin\left(\frac{360}{365} \times (284 + 166)\right) = 23.3144^o$$

نحسب زاوية الزمن (h):

$h = \pm 0.25 \times$ (الزمن المطلوب بالدقائق للوصول لوقت الظهيرة المحلي)

$$h_1 = -67.5^o \qquad h_2 = 52.5^o$$

$$I_o = [(12 \times 3600 \times 1366/\pi)(1 + 0.033\cos((360 \times 166)/365)]$$
$$\times [\cos(17.7) + \cos(23.3144) \times (\sin(52.5) - \sin(67.5)$$
$$+ (\pi(52.5 - 67.5)/180 \times \sin(17.7)\sin(23.3144)]$$

$$\therefore I_o = 31900730.8\ J/m^2$$

$$\therefore I_o = \frac{31900730.8}{3600 \times 8} = 1107.66\ w/m^2$$

ثانياً: حساب الإشعاع الكلي الساقط على سطح مائل خلال شهر يونيو ليوم (6/15) (I_T):

$$I_T = I_b R_b + I_d R_d + I\rho G(1 - cos\beta/2)$$

$$\cos(\phi) = \sin(17.7)\sin(23.314) + \cos(17.7)\cos(23.314)$$

$$\therefore \cos(\phi) = 0.995$$

$$I_b = \tau_b \times I_o$$

$$\tau_b = (0.154) + (0.716\ exp^{(-0.364/0.995)})$$

$$\therefore \tau_b = 0.651$$

$$I_b = I_o \times \tau_d$$

$$I_b = 1107.66 \times 0.651 = 721.09\ w/m^2$$

$$R_b = \frac{sin(23.314)sin(17.7 - 45) + \cos(23.314)\cos(17.7 - 45)}{\sin(17.7)\sin(23.314) + \cos(17.7)\cos(23.314)} = 0.638$$

$$\tau_d = 0.271 - (0.294 \times 0.651)$$

$$\therefore \tau_d = 0.079$$

$$I_d = 1107.66 \times 0.079$$

$$\therefore I_d = 87.505\ w/m^2$$

$$I = I_b + I_d$$

$$I = 721.09 + 87.505$$

$$\therefore I = 808.595\ w/m^2$$

$$R_d = \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2}\right]$$

$$R_d = \left[\frac{1 + \cos(45)}{2}\right]$$

$$\therefore R_d = 0.854$$

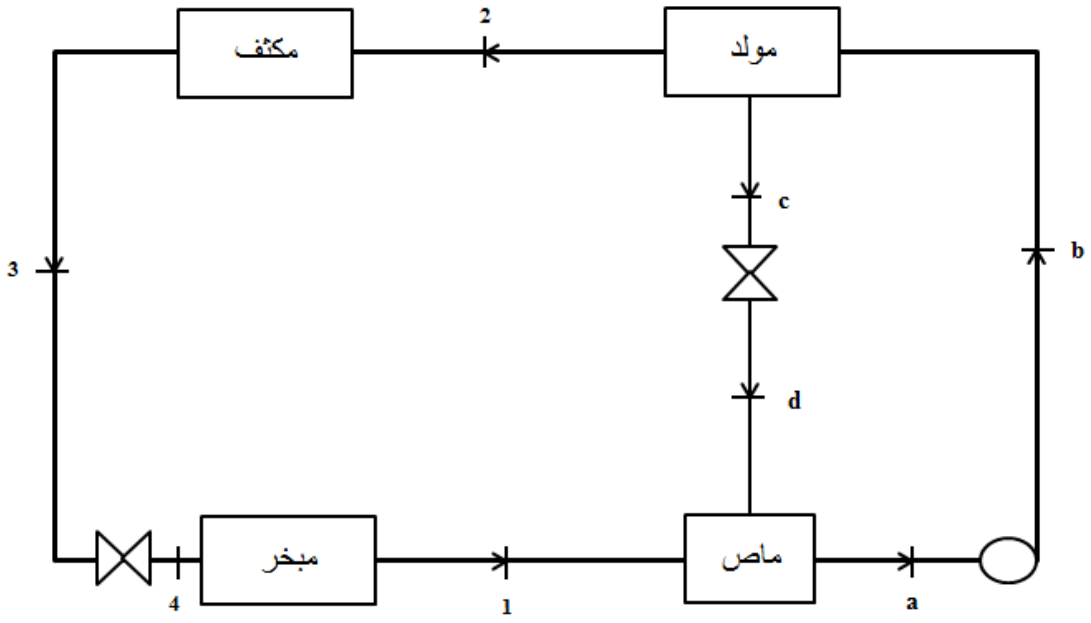
$$I_T = (721.09 \times 0.638) + (87.505 \times 0.854) + (808.595 \times \left(\frac{1 - \cos(45)}{2}\right))$$

$$\therefore I_T = 653.2\ w/m^2$$

الجدول (4.1) متوسط قيمة شدة الإشعاع الكلي الساقط على سطح مائل ليوم 15 من كل شهر للفترة من الساعة 8 صباحاً إلى 4 مساءاً:

الشهر	مدة السطوع (hr)	متوسط الإشعاع الكلي (w/m^2)
يناير	8 ص – 4 م	827.86
فبراير	8 ص – 4 م	944.1
مارس	8 ص – 4 م	841.69
إبريل	8 ص – 4 م	758.9
مايو	8 ص – 4 م	697.9
يونيو	8 ص – 4 م	653.2
يوليو	8 ص – 4 م	699.4
أغسطس	8 ص – 4 م	783.76
سبتمبر	8 ص – 4 م	811.96
أكتوبر	8 ص – 4 م	843.23
نوفمبر	8 ص – 4 م	833.98
ديسمبر	8 ص – 4 م	817.84

إيجاد الحرارة الموردة في المولد (Q_G):



الشكل (4.1) مخطط لدورة تبريد إمتصاصي

أولاً: نحسب إتزان الطاقة في المولد:

$$Q_G + m_b h_b = m_c h_c + m_2 h_2$$

ثانياً: نحسب كتلة الماص:

$$m_1 = m_a - m_d$$

4.3 الإفتراضات:

1- درجة حرارة المكثف $34^o c$.

2- درجة حرارة المبخر $3^o c$.

3- درجة حرارة المولد $80^o c$.

4- درجة حرارة الماص $25^o c$.

بما أن (F_R) تقع في المدى $(0.7 - 0.86)$، نفرض أن قيمة (F_R) تساوي (0.75)، $(\tau\alpha = 0.8)$، ونفرض أن (U_L) تساوي $(6.9\ \mathrm{w}/m^2 c^o)$.

– نفرض أن درجة حرارة الهواء المحيط (25^oc) ودرجة حرارة المائع الداخل للمجمع الشمسي (34^oc).

– نفرض أن المحلول يغادر الماص مشبع عند ضغط المبخر والمحاليل التي تدخل وتخرج من وإلى المولد مشبعة عند ضغط المكثف لا يوجد تبريد دوني. ونعتبر أن قيمة الإنثالبي لتحميص البخار عند الضغوط المنخفضة يمكن أخذها تقريباً مساوية لقيمة التشبع عند نفس درجات الحرارة، ونتجاهل شغل المضخة وكل فقودات الطاقة.

النقطة (1):

بما أن ضغط المبخر هو نفس ضغط الماص عند درجة حرارة المبخر نجد أن من جدول البخار أن الضغط يساوي:

$$\text{at } 3^oc \text{ , } P_1 = 0.007575 \text{ bar}$$

$$= 0.7575 \text{ kN/m}^2$$

$$h_1 = h_g \text{ at } 3^oc \ = 2506.2 \ kJ/kg$$

من نقطة الضغط (P_1) ودرجة حرارة الماص نجد أن التركيز وقيمة الإنثالبي:

$$X_a = 0.51$$

$$h_a = -185 \ kJ/kg$$

بما أن المحلول يدخل المولد عند النقطة (b) يجب أن يكون له نفس التركيز للمحلول الذي يغادر الماص أي أن:

$$X_a = X_b = 0.51$$

وبما أن ضغط المولد يساوي (5.32 kN/m^2) من تقاطع ضغط المولد وتركيز النقطة (b) نجد أن:

$$h_b = -105 \ kJ/kg$$

النقطة (2):

بما أن ضغط المولد هو نفس ضغط المكثف من جدول البخار عند درجة حرارة المكثف نجـــد أن الضغط يساوي:

$$\text{at } 34^{o}c \text{ , } P_2 = 0.0532 \text{ bar}$$

$$= 5.32 \text{ kN/m}^2$$

$$h_2 = h_g \text{ at } 80^{o}c \ = 2643.2 \ kJ/kg$$

من الخريطة عند نقطة تقاطع ضغط المولد مع درجة حرارة المولد يمكن إيجاد قيمة التركيز عند النقطة (c):

$$X_c = 0.6$$

$$h_c = -88 \ kJ/kg$$

النقطة (3):

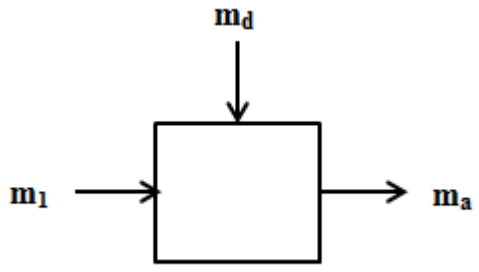
$$h_3 = h_f \text{ at } 34^{o}c \ = 142.4 \ kJ/kg$$

$$\therefore R_E = 1ton = 3.516 \ kw$$

- نفرض أن سعة المحطة تساوي (100 kw).

$$\therefore m = \frac{100}{3.516 \times 3600} = 0.0079 \ kg/sec$$

- توازن الكتلة الكلي للماص:



-

$$\therefore m_1 = m_a - m_d$$

$$0.0079 = m_a - m_d \quad \longrightarrow \quad (1)$$

- نطبق توازن الكتلة لبروميد الليثيوم:

$$X_1 m_1 = X_a m_a - X_d m_d$$

$$\therefore X_1 = 0$$

$$X_c = X_d = 0.6$$

$$X_a = 0.51$$

$$X_a m_a = X_d m_d$$

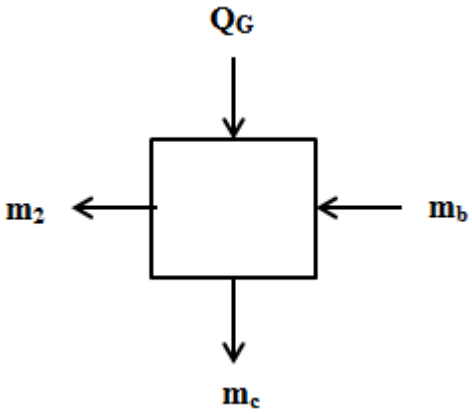
$$0.51 m_a = 0.6 m_d \quad \longrightarrow \quad (2)$$

وعليه نحل المعادلة (1) و (2) آنياً:

$$m_a = 0.053\ kg/sec$$

$$m_d = 0.045\ kg/sec$$

- التوازن الكتلي للمولد:



$$m_2 = m_1 = 0.0079\ kg/sec$$

$$m_b = m_a = 0.053\ kg/sec$$

$$m_c = m_d = 0.045\ kg/sec$$

$$Q_G + m_b h_b = m_c h_c + m_2 h_2$$

$$\therefore Q_G = (m_2 h_2 + m_c h_c) - (m_b h_b)$$

$$\therefore Q_G = [(0.0079 \times 2643.2) + (0.045 \times -88)] - (0.053 \times -104)$$

$$\therefore Q_G = 22.06\ kw$$

حساب مساحة المجمع الشمسي المسطح:

$$A_c = \frac{Q_G + U_L(T_i - T_a)}{F_R \times I_T\ (\tau\alpha)}$$

حيث:

A_c مساحة المجمع الشمسي

U_L المعامل الإجمالي لفقد الحرارة بناءاً على مساحة سطح المجمع الشمسي (w/k)

T_i درجة حرارة المائع الداخل للمجمع الشمسي

T_a درجة حرارة الجو المحيط

F_R معامل إزالة الحرارة ويعتمد على معامل الكفاءة للمجمع الشمسي (F') ومعامل الإنسياب للمبادل الحراري $(F")$.

I_t متوسط شدة الإشعاع الشمسي

τ نفاذية اللوح الشفاف

α إمتصاصية اللوح الماص

$$A_c = \frac{22.06 + \big(6.9 \times (34 - 25)\big)}{0.75 \times 653.2 \times 0.8} = 56.5\ m^2$$

$$\therefore A_c = 56.5\ m^2$$

الباب الخامس

الخلاصة والتوصيات

الباب الخامس

الخلاصة والتوصيات

5.1 الخلاصة:

– إستغلال الطاقة الشمسية بواسطة المجمعات الشمسية هي أبسط وأفضل الطرق إقتصادياً.

– المجمع الشمسي يمكن إستخدامه بُعدة أغراض إذا تم توجيه الإمكانيات والقدرات المالية والعلمية نحو تطوير هذه المجمعات.

– لتصميم مجمعات شمسية مسطحة لغرض تسخين مائع بروميد الليثيوم المستخدم في منظومات التبريد الإمتصاصي وجدنا أن المساحة المطلوبة لتبريد واحد طن تبريدي (1 ton) تساوي ($56.5m^2$).

5.2 التوصيات:

– نوصي بإستمرارية هذا المشروع البحثي.

– كإستكمال للجانب التصميمي نوصي تصميم المجمع الشمسي بمساحة ($56.5m^2$) لإنتاج حمل مقداره واحد طن تبريدي (1 ton)، وأن تكون طريقة توصيل المجمعات الشمسية على التوالي.

– تنفيذ المشروع عملياً.

– نوصي بعمل تجارب وأخذ القراءات للتأكد من كفاءة المجمع الشمسي.

* إن البحث والمثابرة في إيجاد بدائل للطاقة الإحفورية ما هو إلا جزء مكمل لإستمرارية دور الدولة في رفع المستوى الإقتصادي للسودان ومن أجل مواكبة بقية دول العالم في هذا المجال يقترح مراعاة التوصيات التالية:

– الدعم المادي والمعنوي وتنشيط حركة البحث في مجالات الطاقة الشمسية.

– القيام بإنشاء بنك للمعلومات عن شدة الإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة وشدة الريـــاح وكميـــة الغبار وغيرها من المعلومات الضرورية لإستخدام الطاقة الشمسية.

المراجع:

1. د. فتح الرحمن أحمد الماحي – مذكرة عن الطاقة الشمسية.

2. د. ميسل وبتلر 1982م – الطاقة الشمسية – مطابع مديرية دار الكتب للطباعة.

3. د. أحمد مدحت سلام 1988م – الطاقة ومصادرها المختلفة – الطبعة الأولى – مركز الأهرام للترجمة والنشر.

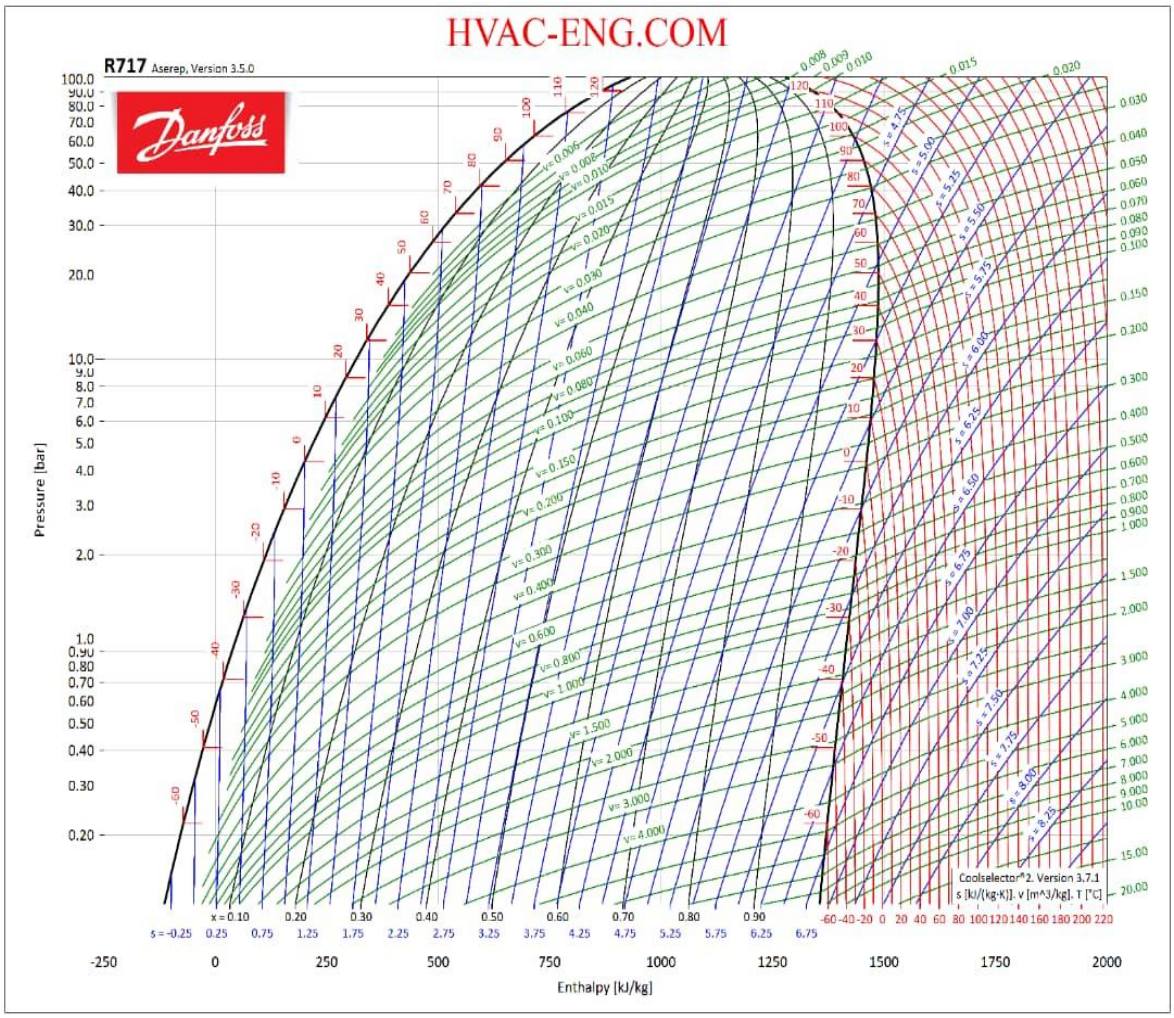
4. د. إبراهيم محمد عثمان القرضاوي – أجهزة الطاقة الشمسية – منشأة المعارف بالإسكندرية – جلال حزي وشركاه.

5. سمير شربك – منتدى المهندسين العرب.

www.arab-eng.org/vb/t164738.html

الملاحـــق

ملحق (أ)


HVAC-ENG.COM
R717 Aserep, Version 3.5.0
Danfoss
Pressure [bar]
Enthalpy [kJ/kg]
Coolselector®2. Version 3.7.1
s [kJ/(kg·K)]. v [m^3/kg]. T [°C]

ملحق (ب)

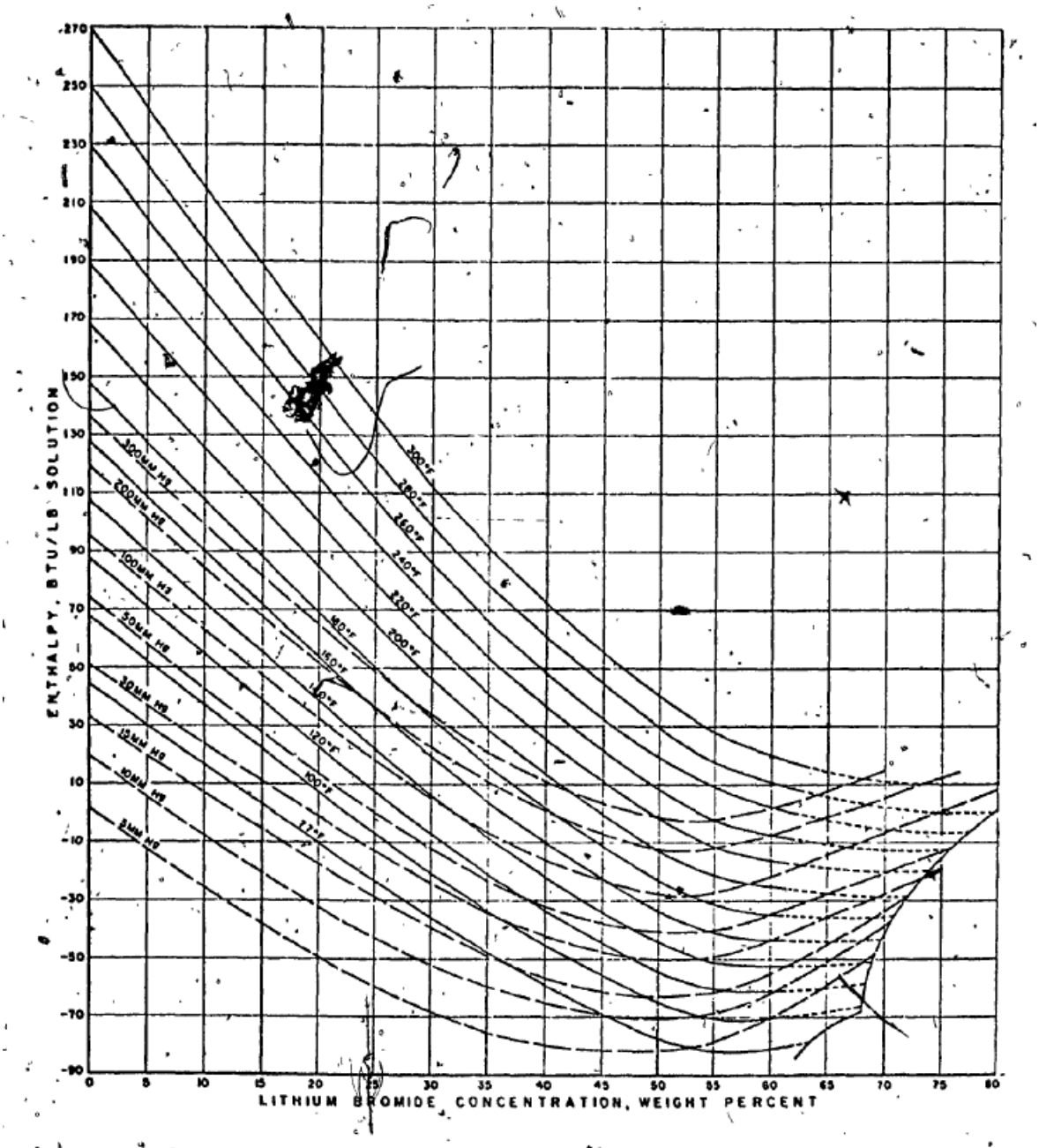
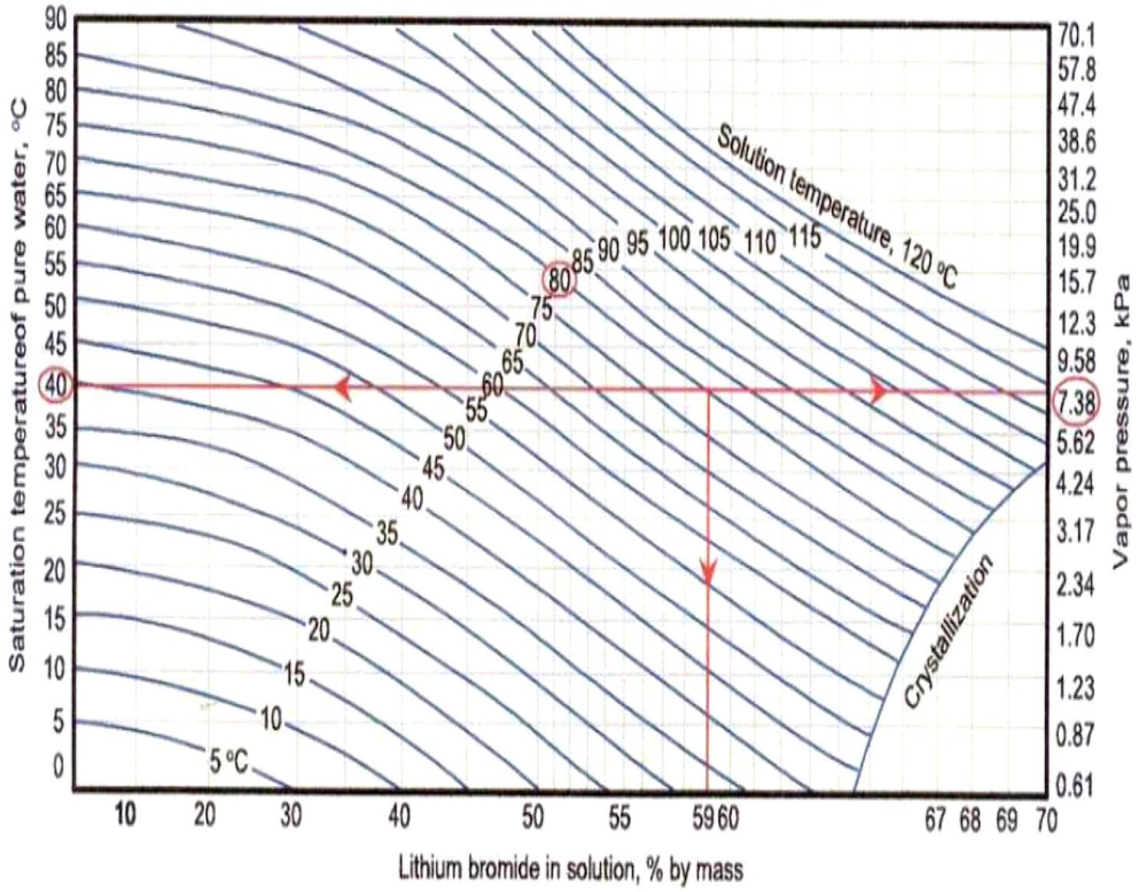


Fig.3 Enthalpy concentration diagram for LiBr-Water


Saturation temperatureof pure water, °C
Vapor pressure, kPa
Lithium bromide in solution, % by mass
Solution temperature, 120 °C
Crystallization
5 °C
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
80
85
90
95
100
105
110
115
70.1
57.8
47.4
38.6
31.2
25.0
19.9
15.7
12.3
9.58
7.38
5.62
4.24
3.17
2.34
1.70
1.23
0.87
0.61
10
20
30
40
50
55
59
60
67
68
69
70

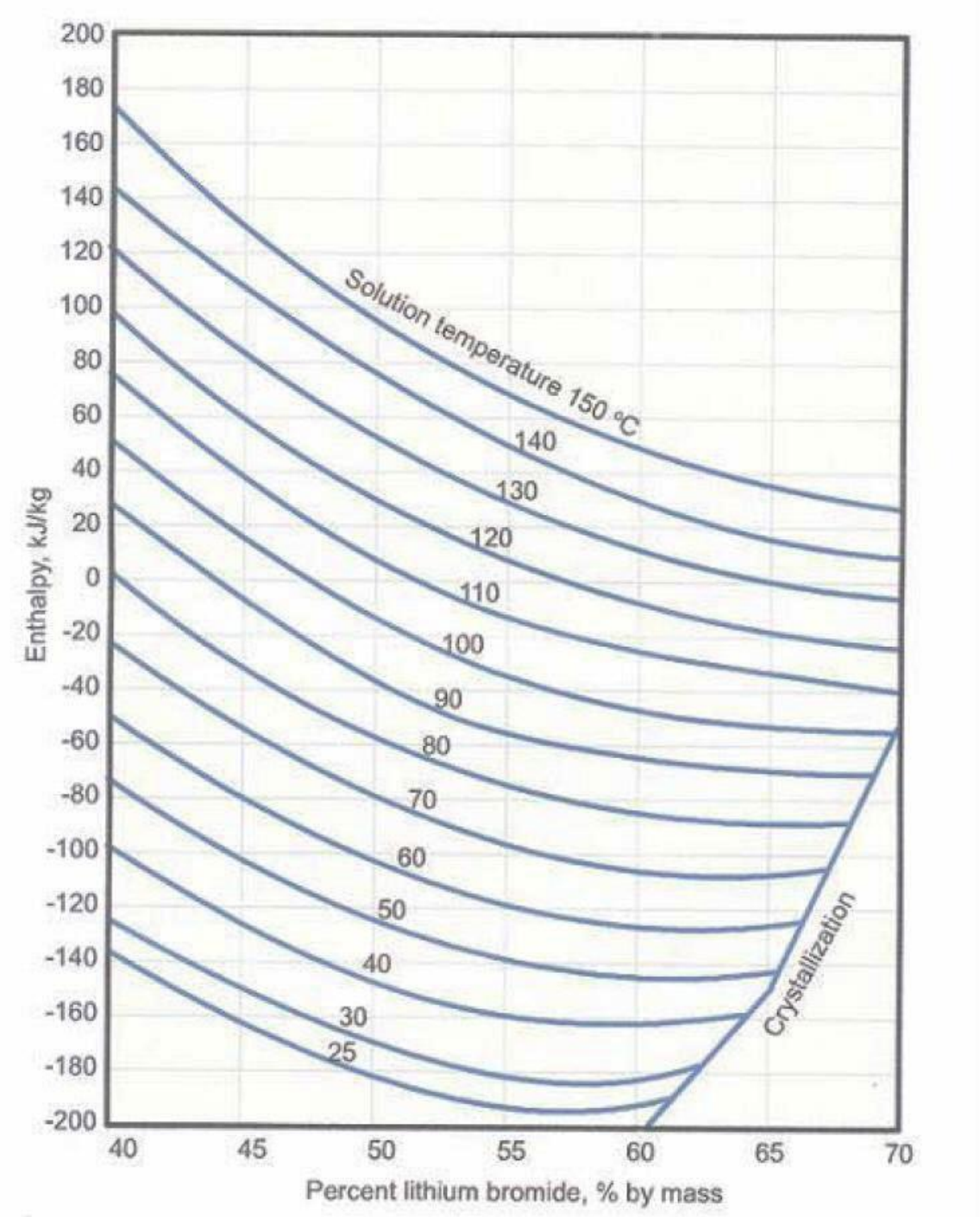


***Fig.15.4**: Enthalpy –Temperature - Concentration diagram for H_2O-LiBr sol*