

جمهورية السودان
جامعة أمدردان الإسلامية
كلية الدراسات العليا
كلية الهندسة

الاستخدام السلبي للطاقة الشمسية في تدفئة الأبنية

بحث مقدم لنيل درجة الماجستير في الهندسة الميكانيكية

إعداد الطالب : نبيل فرج أحمد الحسان

إشراف :

أ . د . أسامة عبد الحفيظ الحسين

2007

الإهداء

إلى منارة العلم والعالمين إلى سيد الأنام وإمام المرسلين

ﷺ محمد رسول الله ﷺ

- إلى روح أبي الطاهرة التي ترقبني حانية من السماء .
- إلى أُمي الغالية السند الدائم لي .
- إلى زوجتي الحبيبة التي أخذت من وقتها الكثير لأنجز هذا العمل .
- إلى حمائم روحى ... أبنائي الأحباء .
- إلى أخوتي وأخواتي الذين عاشوا معي الحياة حلوها ومرها .
- إلى كل باحث عن الجديد في مجالات العلوم والمعرفة .

شكر وتقدير

الحمد والشكر لله العزيز العظيم الذي وفقني لأنجز هذا البحث .

أتقدم بأسمى آيات الشكر والتقدير والعرفان إلى

الدكتور المشرف : ﴿ أسامة عبد الحفيظ ﴾ الذي دلني على الدرب الصحيح لأتم هذا العمل المتواضع، والذي أتمني أن أكون قد وفقت في إخراجه بالصورة المطلوبة .

كما أتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى كل من الدكتور مزمل موسى علي والدكتور محمود أونسة والدكتور علي إبراهيم وجميع الأخوة بكلية الدراسات العليا بجامعة أدرمان الإسلامية ، الذين أتاحوا لي فرصة إتمام دراستي العليا .

وأشكر كل من قدم لي يد العون وكل من شجعني ودعى لي بالتوفيق ، وكل من ساهم معي في إنجاز هذا البحث ولو بكلمة طيبة .

مستخلص

في هذه الدراسة تم التطرق إلى الأنواع المختلفة من الأنظمة الشمسية المستخدمة فعلياً في عمليات التدفئة وبعض الأحيان التبريد في العديد من الأبنية المنتشرة في أرجاء مختلفة من العالم مع التركيز على الأنظمة الشمسية السلبية المستخدمة في تدفئة المباني، حيث تم التطرق إلى العوامل التصميمية المختلفة المؤثرة على عمل هذه الأنظمة وكذلك بعض الطرق الرياضية الأكثر انتشاراً لتحديد أدائها.

تم أيضاً في الدراسة بناء نموذج رياضي يشمل معادلات الاتزان الحراري في مقاطع مختلفة من جدار جامع وخازن للحرارة (جدار ترمب) والذي يعتبر من أهم أنواع أنظمة التدفئة الشمسية السلبية.

تم حل معادلات الاتزان الحراري التفاضلية لهذا النموذج باستخدام إحدى طرق الحل العددي المسماة بطريقة الحجم المحكوم وبمساعدة برنامج حاسوب تم وضعه لهذا الغرض استخدمت فيه لغة الفوتران ٧٧.

ولغرض دراسة تأثير بعض العوامل التصميمية على الأداء الحراري للجدار الجامع والخازن للحرارة، كسمك الجدار ونوع المادة المصنوع منه، فقد طبق الحل على خمس أنواع من هذا الجدار ثلاث منها مصنوعة من الخرسانة بأسماء مختلفة هي ١٠ سم، ٢٠ سم، ٣٠ سم واثنان مصنوعة من الطوب والحجر بسمك ٢٠ سم.

نتائج الحل التي تم التوصل إليها والخاصة بهذه الجدران بينت بأن الجدار الخرساني ذو سمك ٢٠ سم هو الأفضل من بين هذه الجدران من ناحية تجميع وتخزين الحرارة ونقلها إلى الحيز المراد تدفئته.

Abstract

In this paper I have studied many kinds of heating buildings by using passive solar systems and critical parameters for design of passive heating systems.

I have made thermal analysis for passive solar heating system using collector storage wall (TROMB wall).

I have getting many differential equations , solve these equations by using control volume formulation,then,I made fortran program77 for solve discretization equations which I got them.

I have used many types of walls,change wall thickness(10cm,20cm,30) and wall material (stone,brick).

Finally I have found collector and storage wall 20cm is better than others.

أهداف البحث

- ١- بناء وتكوين نموذج رياضي يمكن من خلاله تحديد توزيع درجات الحرارة ومعدلات الحرارة المخزونة والمنتقلة عبر جدار جامع وخازن للحرارة (جدار ترمب)، والذي يمثل أحد أهم أنواع الطاقة الشمسية السلبية المستخدم على نطاق واسع.
- ٢- حل هذا النموذج الرياضي حلاً عددياً للحصول على توزيع درجات الحرارة ومعدلات انتقال الحرارة خلال الجدار.
- ٣- دراسة تأثير بعض العوامل على الأداء الحراري للجدار الخازن والناقل للحرارة كنوع المادة المصنعة والسلك.

قائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع	الفقرة
أ	الإهداء	
ب	شكر وتقدير	
ت	مستخلص	
ج	أهداف البحث	
ح	قائمة المحتويات	
الفصل الأول الشمس والإشعاع الشمسي		
١	المقدمة	١-١
٢	الشمس	٢-١
٢	الإشعاع الشمسي	٣-١
٥	مميزات الطاقة الشمسية	٤-١
٥	استخدامات الطاقة الشمسية	٥-١
الفصل الثاني تدفئة المباني بواسطة الأنظمة الشمسية الفعالة		
٦	المقدمة	١-٢
٦	السمات العامة للتدفئة الشمسية الفعالة للأبنية	٢-٢
٨	الأساليب (الطرق) المختلفة في عمل التدفئة الشمسية	٣-٢
١١	الأنواع المختلفة لأنظمة التدفئة الشمسية الفعالة للحيز	٤-٢
١١	أنظمة الهواء الشمسية	١-٤-٢
١٢	أنظمة السائل الشمسية	٢-٤-٢
١٣	أنظمة المضخة الحرارية الشمسية	٣-٤-٢
الفصل الثالث التدفئة الشمسية السلبية وأنظمتها المختلفة		
١٦	المقدمة	١-٣
١٦	أنواع الأنظمة السلبية	٢-٣
١٦	نظام الكسب المباشر	١-٢-٣
١٧	نظام الجدار الخازن للحرارة	٢-٢-٣
١٩	البيوت الزجاجية الملاصقة أو الملحقة (الحيز الشمسي)	٣-٢-٣

الصفحة	الموضوع	الفقرة
٢٠	السقف الخازن للحرارة	٣-٢-٤
٢٢	الحلقة الحملية	٣-٢-٥
٢٣	المعاملات الحرجة في تصميم نظام التدفئة السلبي	٣-٣
٢٣	نظام الكسب المباشر	٣-٣-١
٢٥	نظام الجدار الخازن للحرارة	٣-٣-٢
٢٧	نظام البيت الزجاجي الملاصق	٣-٣-٣
٢٨	نظام الخزن للحرارة في السقف	٣-٣-٤
٣١	نظام الحلقة الحملية	٣-٣-٥
الفصل الرابع طرق تحديد الأداء للنظام السلبي		
٣٢	طريقة درجة - يوم	٤-١
٣٤	طريقة حالة الاستقرار	٤-٢
٣٤	جدار الكتلة الحرارية	٤-٢-١
٣٦	الجدار المائي	٤-٢-٢
٣٧	الحيز الشمسي الملحق	٤-٢-٣
٣٨	طريقة نسبة الحمل الشمسي	٤-٣
٤٠	طريقة الاستفادية (الانتفاعية)	٤-٤
الفصل الخامس التحليل الحراري لجدار ترمب		
٤٥	النموذج الرياضي لنظام جدار ترمب	
٤٥	أولاً : معادلة موازنة الطاقة (معادلة التوصيل) لمادة الجدار	
٤٦	ثانياً : معادلة موازنة الطاقة للسطح الداخلي للجدار	
٤٧	ثالثاً : معادلة موازنة الطاقة للسطح الخارجي للجدار	
٤٨	رابعاً : معادلة موازنة الطاقة لمقطع الزجاج	
الفصل السادس التحليل العددي لمعادلات نظام جدار ترامب التفاضلية		
٥١	مقدمة	٦-١
٥٢	طرق اشتقاق معادلات التجزئة - صيغة الحجم المحكوم	٦-٢
٥٧	تحويل المعادلات التفاضلية إلي معادلات جبرية	٦-٣
٥٧	تحويل معادلة موازنة الطاقة (معادلة التوصيل) لمادة الجدار	٦-٣-١
٥٨	تحويل معادلة الطاقة للسطح الداخلي للجدار	٦-٣-٢

الصفحة	الموضوع	الفقرة
٥٩	تحويل معادلة الطاقة للسطح الخارجي للجدار	٣-٣-٦
٦٠	تحويل معادلة موازنة الطاقة لمقطع الزجاج	٤-٣-٦
٦٢	حل معادلات التجزئة الناتجة	٤-٦
٦٧	نتائج الحل العددي	٥-٦
الفصل السابع مناقشة النتائج ، الاستنتاجات ، التوصيات		
٧٥	مناقشة النتائج	١-٧
٧٧	الاستنتاجات	٢-٧
٧٨	التوصيات	٣-٧
٧٩	المراجع العربية	
٨٠	المراجع الأجنبية	
٨١	ملحق (أ)	
٨٦	ملحق (ب)	

الفصل الأول

الشمس و الإشعاع الشمسي

١-١ مقدمة

تحتاج كل الكائنات الحية من نبات وحيوان وإنسان إلى الطاقة للمحافظة على بقائها وتطورها، فبينما تستهلك النباتات والحيوانات الطاقة الضرورية لاستمرار وجودها ونموها فقط يستهلك الإنسان أضعافاً مضاعفة من الطاقة في ميادين أكثر تعقيداً وتنوعاً، على الرغم من تعدد المصادر التي يحصل منها الإنسان على الطاقة فإنه يمكن ترتيبها ضمن فئتين كبيرتين هما مصادر الطاقة المؤقتة ومصادر الطاقة الدائمة.

تعتبر مصادر الطاقة المؤقتة متوفرة في الطبيعة بكميات محدودة وغير متجددة ومن أهم عناصرها :- البترول، الغاز الطبيعي، الفحم الحجري، والطاقة الذرية حيث تسدّ هذه المصادر مجتمعة حوالي ٩٥% من حاجة سكان الأرض من الطاقة حالياً.

ويحتل البترول مركزاً متميزاً وذلك لأنه يغطي لوحده حوالي ٥٥% من مجموع الطاقة المستهلكة على سطح الأرض، ويعتبر البترول مادة سائلة سهلة النقل والتخزين غير أن زيادة تكاليف التنقيب عن النفط وزيادة احتكاره من قبل شركات النفط عندما تصبح الكميات المستخرجة منه غير كافية لسدّ حاجة الأسواق إليه يؤدي إلى رفع أثمانه باستمرار وينطبق الشيء نفسه على الغاز الطبيعي والفحم الحجري. أما الطاقة الذرية، فبينما يتفق الباحثون والعاملون في مجال الطاقة على أن البترول والغاز الطبيعي والفحم الحجري ذات عمر محدود وقصير، تتضارب آراء هؤلاء الباحثين أنفسهم بشدة حول الطاقة الذرية ومدى قابلية استغلالها للأغراض السلمية والأخطار الناتجة عنها، ففريق من المفكرين يرى أنه بإمكان الطاقة الذرية أن تحل تدريجياً محل البترول، وأنه يمكن بواسطتها اجتياز فترة زمنية تتراوح بين ٥٠ إلى ١٠٠ سنة، وهي فترة كافية لتطوير طاقة الاندماج النووي التي تشكل المصدر الدائم وغير المحدود للطاقة في المستقبل بحسب رأى هذا الفريق أما الفريق الآخر فيرفض اللجوء إلى الطاقة الذرية كلياً، ويعمل رفضه بالدرجة الأولى بالأخطار الناتجة عن استغلال هذه الطاقة، حيث أن انتشار المفاعلات الذرية يجر إلى عواقب وخيمة على الإنسان والبيئة لا يمكن التغاضي عنها.

إن الحل الذي يقدمه الفريق الثاني لمسألة الطاقة هو بإمكانية توفير كميات كبيرة من الطاقة المستهلكة في التدفئة المنزلية عن طريق العزل الحراري للجدران، تحكيم النوافذ والأبواب، تنظيم درجات الحرارة في الغرف، من ناحية ثانية يطالب هذا الفريق بزيادة الاهتمام بمصادر الطاقات العديدة المتوفرة في الطبيعة والمهملة حتى الآن كالطاقة الشمسية، طاقة الرياح، الحرارة الجوفية للكورة الأرضية، طاقة مياه البحر وغيرها، والتي تعتبر مصادر الطاقة الدائمة والمتجددة، وتحسين طرق ووسائل استغلالها وإحلالها تدريجياً محل البترول.

١-٢ الشمس

الشمس هي مصدر الحياة على كوكب الأرض بالإضافة إلى أنها المصدر الوحيد للطاقة الشمسية التي تصلنا على سطح الأرض.

فالشمس عبارة عن كرة غازية ملتهبة يبلغ نصف قطرها ٦٩٦.٠٠٠ كيلومتر وكتلتها حوالي $10^{27} \times 2$ طن ويتألف التركيب الكيميائي للشمس من: - ٩٢.١% هيدروجين، ٧.٨% هليوم، ٠.٠٦١% أكسجين، ٠.٠٣٠% كربون، ٠.٠٠٠٨٤% نيتروجين، ٠.٠٠٠٧٦% نيون، ٠.٠٠٠٣٧% حديد، ٠.٠٠٠٣١% سيلكون، ٠.٠٠٠٢٤% ماغنسيوم، ٠.٠٠٠١٥% كبريت، و٠.٠٠٠١٥% مواد أخرى.

يمكن تقسيم الشمس إلى ثلاثة مناطق رئيسية هي المركز، والوسط، والقشرة، ومركز الشمس (باطن الشمس) يمثل منطقة التفاعل النووي حيث تكون درجة الحرارة فيها مساوية أو أعلى من 10^7 K، تتولد الطاقة في هذه المنطقة نتيجة للتحويل المستمر لكل أربع ذرات من الهيدروجين إلى ذرة واحدة من الهليوم في تفاعل اندماجي نووي، وبما أن كتلة ذرة الهليوم الناتجة من هذا التفاعل أقل من مجموع كتل ذرات الهيدروجين الداخلة إليه فإن فرق الكتلة هذا سيتحول إلى طاقة (ضوء وحرارة) تنتقل من المركز عبر منطقة الوسط بهيئة أشعة جاما وروتجن، تتخفف درجة الحرارة وكذلك الكثافة كلما ابتعدنا عن المركز باتجاه السطح الخارجي للشمس لتصل درجة الحرارة حوالي 10^5 K عند القشرة التي يبلغ سمكها بحدود ٠.١ من قطر الشمس، تنتقل الحرارة خلال منطقة القشرة إلى السطح الخارجي للشمس المسمى بالفوتوسفير بفعل الحمل الناتج من الحركة الغازية في هذه المنطقة ولتخفف درجة الحرارة عند الفوتوسفير إلى حدود 6×10^3 K، تنبعث من الفوتوسفير أشعة كهرومغناطيسية في جميع الاتجاهات تسمى بالأشعة الشمسية، فوق الفوتوسفير يأتي الغلاف الجوي للشمس المسمى بالكروموسفير الذي يتميز بشفافيته النسبية حيث يقوم الغلاف بامتصاص ألوان معينة من الطيف المنبعث من الفوتوسفير.

تبلغ مساحة الشمس ١١٨٨٠ مرة أكثر من مساحة الأرض البالغة ٥١٠ ملايين كيلومتر مربع، وحجم الشمس ١٣٠٠٠٠٠٠ مرة أكثر من حجم الأرض البالغ ١٠٨٣ مليار كيلومتر مربع وحرارة جوف الشمس تبلغ حوالي ٢٠ مليون درجة مئوية، في حين حرارة باطن الأرض ٣٠٠٠ درجة مئوية [٢].

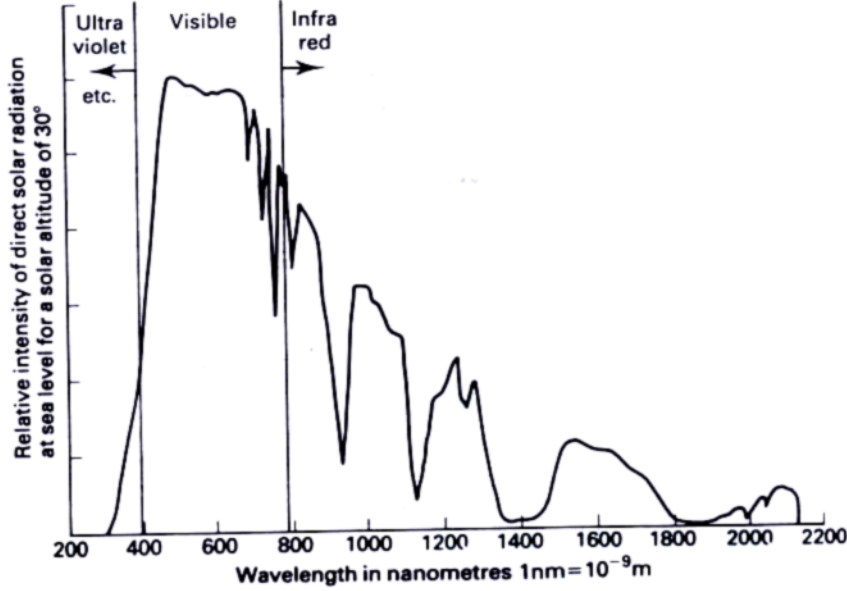
١-٣ الإشعاع الشمسي

تشع الشمس من سطحها الخارجي (الفوتوسفير) الطاقة في جميع الاتجاهات على هيئة إشعاعات كهرومغناطيسية بأطوال موجية متعددة ودرجة حرارة ٦٠٠٠ درجة كلفن تقريباً، يبلغ معدل الطاقة المنبعثة من هذا السطح بحدود $10^{27} \times 3.8$ كيلوات.

إن معظم الطاقة المنبعثة من الشمس تكون بترددات عالية جدا (أطوال موجية قصيرة) حيث تتراوح الأطوال الموجية للإشعاع الشمسي بين ٠.٢٩ - ٢.٥ مايكرون.

يشكل الضوء المرئي ٤٦% من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس، و كما هو معلوم فإن الأطوال الموجية للضوء المرئي أو الإشعاع الذي تتحسس به العين البشرية تقع في نطاق يتراوح بين ٠.٣٥ - ٠.٧٥ مايكرون، ويتكون من جميع الألوان المألوفة من البنفسجي ذي الطول الموجي الأصغر (٠.٣٥ مايكرون) إلى الأزرق والأخضر والأصفر والبرتقالي والأحمر ذي الطول الموجي الأكبر (٠.٧٥ مايكرون). بينما تشكل الأشعة تحت الحمراء ٤٩% من الطاقة المنبعثة، والأشعة تحت الحمراء تمثل جانب الحرارة من هذه الطاقة وتكون بأطوال موجية أكبر من الطول الموجي للإشعاع الأحمر الذي يمثل نهاية الطيف المرئي.

أما الجزء المتبقي من الإشعاع الشمسي فيكون كهيئة أشعة فوق بنفسجية بأطوال موجية أقصر من الطول الموجي للون البنفسجي الذي يأتي في بداية الطيف المرئي. و الشكل (١-١) يوضح التوزيع الطيفي المثالي للطاقة الشمسية التي تصل إلى الأرض. أن جميع الإشعاعات الكهرومغناطيسية الصادرة من الشمس تنتقل عبر الفضاء بمعدل ثابت على هيئة أشعة متباعدة وبسرعة مساوية لسرعة الضوء (٣٠٠.٠٠٠ كيلومتر/ثانية) [٤].



شكل (١-١): التوزيع الطيفي المثالي للطاقة الشمسية التي تصل سطح الأرض [٤]

تعتبر الأرض ذات حجم صغير بالمقارنة مع حجم الشمس لذا فهي تعترض لقدر ضئيل من الإشعاع المتباعد الصادر من الشمس، وبالتالي يمكن أن تعتبر أشعة الشمس الساقطة على الأرض بمثابة أشعة متوازية .

تبلغ قيمة معدل شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الغلاف الخارجي للأرض ١.٣٥٣ كيلوات لكل متر مربع وهو ما يعرف بالثابت الشمسي.

إن حوالي ٤٠% من الإشعاع الشمسي الساقط على كوكب الأرض ينعكس عائداً للفضاء الخارجي ومعظم هذه النسبة من الإشعاع المنعكس يكون بسبب الغيوم والغلاف الجوي والقسم الصغير الباقي من هذه النسبة ينعكس عند سطح الأرض على بعض السطوح كالماء والثلوج والرمال. أما الجزء الآخر من الإشعاع الشمسي الوارد للأرض فإنه أثناء مروره عبر طبقات الغلاف الجوي يتبعثر في كل الاتجاهات ويتفاعل مع جزيئات الهواء وذرات الغبار ليسقط جزء منه في النهاية على سطح الأرض من جميع أنحاء السماء، الإشعاع المنتشر هذا يشكل القسم الأزرق من الطيف المرئي وبالتالي فهو المسئول عن اللون الأزرق للسماء. وفي الوقت الذي تقوم الغيوم والغبار ببعثرة ثلث الطاقة الواردة تقريباً، فإن بخار الماء وثاني أكسيد الكربون والأوزون الموجودة في طبقات الغلاف الجوي تقوم بامتصاص حوالي ١٥% من الطاقة الواردة.

إن طبقات الغلاف الجوي العليا تمنع جميع الإشعاعات فوق البنفسجية ذات التردد العالي من الوصول إلى سطح الأرض، أما بخار الماء وثاني أكسيد الكربون الموجودين في أسفل طبقات الغلاف الجوي فيقومان بامتصاص مقادير من الإشعاع وخاصة الأشعة تحت الحمراء. وبالإضافة إلى مكونات الغلاف الجوي فإن العامل الأكثر أهمية في تحديد مقدار الإشعاع الشمسي الذي سيصل إلى سطح الأرض هو سماكة الغلاف الجوي الذي سيمر عبره الإشعاع فكلما ازدادت سماكة الغلاف الجوي أو حجم الهواء الذي يتوجب على الإشعاع الشمسي المرور عبره كلما نقصت الطاقة الواصلة للأرض بسبب الامتصاص المتزايد وانتشار الإشعاع.

إن سماكة الغلاف الجوي الذي يعبره الإشعاع تتغير خلال فترات النهار وأشهر السنة المختلفة بسبب ميل الأرض ودورانها حول الشمس، فبالإضافة إلى دوران الأرض حول الشمس بحسب مدار معين يكون بشكل قطع ناقص تقريباً قريباً من الشكل الدائري فهي تدور مرة واحدة في اليوم حول محورها الممتد من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي، هذا المحور يميل بزاوية مقدارها ٢٣.٤٧ درجة عن محور دوران الأرض حول الشمس حيث يؤدي هذا الميل للتغيرات الفصلية في الطقس [٤].

١-٤ مميزات الطاقة الشمسية

تتميز الطاقة الشمسية بالمميزات الإيجابية المهمة التالية:-

أولاً : الطاقة الشمسية طاقة هائلة من حيث مخزونها و كميتها، فمن ناحية المخزون فان الشمس منبع لا ينتهي من الطاقة بالمقاييس البشرية.

ثانياً : تكاليف الأجهزة المستخدمة للطاقة الشمسية ثابتة (الكلفة التأسيسية أو الأولية).

ثالثاً : تعتبر الطاقة الشمسية عملية من ناحية استخدامها، فهي قابلة للتحويل إلى أنواع أخرى من الطاقة كالطاقة الحرارية و الميكانيكية و الكهربائية، كما و بالإمكان دخولها في مجال العلوم الطبيعية مثل الكيمياء الضوئية و البيولوجية وغيرها.

رابعاً : تعتبر هذه الطاقة لا مثيل لها في بعض الاستخدامات الخاصة، خصوصاً فيما يتعلق بحياة الانسان و النباتات (التركيب الضوئي وتكاثر الأحياء المختلفة، التحليل الكيميائي، المشاريع الضخمة التي تعتمد علي تبخير كميات هائلة من المياه، عمليات الاستخدام في الأجهزة والمركبات الفضائية) [٢٦].

ومن المميزات الخاصة للطاقة الشمسية كونها مصدراً نظيفاً للطاقة و صديقة للبيئة وغير خطرة الاستعمال لذلك فهي تزود الإنسان بحاجياته دون خطر التلوث وتغيير البيئة والذي من شأنه المحافظة على حياة الإنسان وتقدمه [٥].

١-5 استخدامات الطاقة الشمسية [٤]

أصبح في الوقت الحاضر استعمال الطاقة الشمسية مألوفاً وموزعاً في مجالات عديدة، ويمكننا تقسيم هذه الاستخدامات بحسب نوعية تحويل هذه الطاقة سواء كان تحويلاً حرارياً أو تحويلاً كهربياً ويعتبر التحويل الحراري إحدى طرق استعمال الطاقة الشمسية بصورة مباشرة أو غير مباشرة عند تحويلها لطاقة حرارية، وتتم عملية التحويل الحراري بامتصاص أشعة الشمس الساقطة على اللوح الماص الموجود في المجمع الشمسي وتحويلها إلى حرارة تنتقل بواسطة مائع تشغيل يدور بين أجزاء المنظومة الشمسية وتجهيزها إلى أماكن الاستعمال ويتم التحويل الحراري للطاقة الشمسية بإحدى التقنيات المستخدمة لغرض الاستفادة منها في التطبيقات العملية ومن أهم هذه التطبيقات:-

١- تسخين المياه والهواء.

2- توليد البخار للأغراض الصناعية.

3- توليد درجات حرارة عالية (الأفران الشمسية).

4- تحلية المياه و تكييف المباني.

5- الزراعة المحمية ومعالجة مشاكل التربة (تعقيم التربة).

6- تجفيف المحاصيل الزراعية والصناعات الكيماوية.

7- الطبخ (الطباخ الشمسي) والمضخات الشمسية.

الفصل الثاني

تدفئة المباني بواسطة الأنظمة الشمسية الفعالة

٢-١ المقدمة

إن مفهوم تدفئة المنازل و الأبنية في فصل الشتاء للحصول على ظروف الراحة باستخدام الطاقة الشمسية عبارة عن مفهوم قديم بدأ استخدامه مع بدايات قيام الإنسان بإنشاء أماكن المعيشة، وبشكل أساسي يمكن تقسيم منظومات التدفئة الشمسية إلى نوعين رئيسيين الأول يسمى منظومات التدفئة الفعالة و الآخر يسمى منظومات التدفئة السلبية.

ففي أنظمة التدفئة الشمسية الفعالة يتم تجميع الطاقة الشمسية باستخدام بعض أنواع المجمعات الشمسية المنفصلة، ثم يتم تخزين الطاقة المجمعة في وحدات تخزين منفصلة أيضاً ربما يكون مواد لخرن الحرارة المحسوسة أو بهيئة مواد لخرن الحرارة الكامنة أو أن تخزن في تفاعلات كيميائية، ثم يتم توزيع هذه الطاقة في الحيز باستخدام مضخات أو مراوح تعمل كهربياً بالإضافة إلى المشعات و المعدات الأخرى.

أما في أنظمة التدفئة الشمسية السلبية فإن الفقرات المتعلقة بالطاقة الشمسية والمتمثلة في التجميع والخرن والتوزيع فتتم بطرق طبيعية لا يستخدم فيها بشكل عام أي شكل من أشكال الطاقة الميكانيكية أو الكهربائية أو أي أجهزة سيطرة إلكترونية [١٥،٧].

في هذا الفصل سنتناول بشكل من الإيجاز أهم مكونات و أنواع منظومات التدفئة الشمسية الفعالة.

٢-٢ السمات العامة للتدفئة الشمسية الفعالة للأبنية

توجد نظم كبيرة من أنظمة التدفئة الشمسية الفعالة تتراوح من مسخنات صغيرة الحجم بمساحات تجميع لا تتعدى بضعة أمتار مربعة إلى أنظمة كبيرة و معقدة تستخدم في تدفئة المجمعات السكنية و الصناعية و التي تبلغ مساحات التجميع الشمسي فيها عدة آلاف من الأمتار المربعة، على الرغم من ذلك فهناك تماثلاً كبيراً في التصميم الأساسي لهذه المنظومات فجميع منظومات التدفئة الشمسية الفعالة سواء كانت صغيرة أم كبيرة الحجم تتكون بصورة رئيسية من الوحدات الفرعية الخمسة التالية كما هو موضح ذلك في شكل (٢-١).

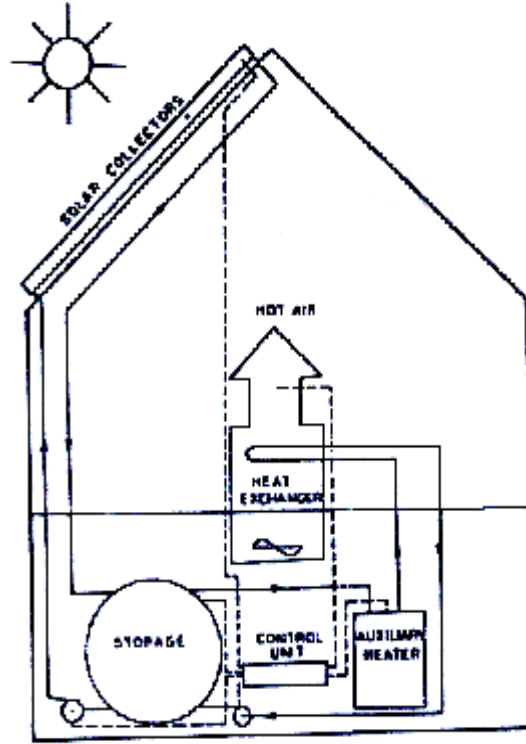
١- مجمعات الطاقة الشمسية التي تستعمل الماء أو الهواء كمائع للتشغيل و التي تكون عادة في هذه المنظومات على هيئة مجمعات مسطحة تعمل على تحويل الإشعاع الشمسي الساقط عليها إلى حرارة يكتسبها مائع التشغيل المار في هذه المجمعات.

٢- وحدة خزن حراري مناسبة، تستخدم الماء أو فراش من الحصى أو الاثنين معاً في بعض الأحيان تقوم بخزن الحرارة بشكلها المحسوس و يمكن أيضاً أن تكون وحدة الخزن الحراري بهيئة مواد لها القابلية على خزن الحرارة بشكلها الكامن.
تعمل وحدة خزن الحرارة بشكل عام على إجراء توافق ما بين الحرارة المجهزة للوحدة و الحرارة المطلوبة.

٣- وحدة تجهيز حرارة مساعدة تعمل على تجهيز الحرارة إلى نظام التدفئة في الحالة التي يكون فيها الإشعاع الشمسي ضعيف أو معدوم، يمكن أن تعمل وحدة تجهيز الحرارة المساعدة بالطاقة الكهربائية أو بأي نوع من أنواع الوقود التقليدي.

٤- نظام سيطرة و معدات جريان للمائع تعمل على تنظيم العمليات المختلفة في المنظومة.

٥- أنظمة ضخ و مجاري توزيع تعمل على تجهيز الحرارة المطلوبة التي تدفع إلى الحيز المدفأ.



شكل (٢ - ١): مخطط تصميم أساسي مبسط لنظام تدفئة شمسي فعال

إلى جانب المكونات الرئيسية المذكورة سابقاً يحتوي نظام التدفئة الشمسي الفعال على العديد من المكونات الإضافية الأخرى والتي تعتمد الحاجة إليها على الظروف المناخية والتشغيلية، المواد المستخدمة، وحجم المنظومة.

بعض من هذه المكونات الإضافية نذكر ما يلي:-

١- مبادل حراري يوضع في دورة التجميع - التخزين وفي الحالة التي يوجد فيها اختلاف في النوع مابين المائع المار في المجمعات والمائع الموجود في وعاء التخزين، على سبيل المثال وجود ماء في وعاء التخزين ومحلول مانع للتجمد يدور في المجمعات أو هواء يدور في المجمعات وماء في وعاء التخزين.

٢- نظام تفريغ المجمعات الشمسية من الماء في فترات المساء وذلك لحمايتها من التلف بسبب التجمد.

٣- مبادل حراري يوضع في دورة التجهيز - التخزين وفي الحالة التي يكون فيها المائع في وعاء التخزين مختلف عن المائع المار في أنابيب التجهيز.

٤- نظام التوزيع يمكن أن يزداد تعقيداً إذا كان الهدف منه ليس فقط توزيع الحرارة إلى مناطق الحيز المدفأ وإنما تجهيز الحيز أيضاً بالماء الساخن للاستخدام المنزلي.

٥- نظام خزن حراري متعدد الطبقات ومتعدد التوجيه يعمل على خزن الحرارة بدرجات حرارة مختلفة للتطبيقات المختلفة وفترات زمنية مختلفة.

٦- استخدام مضخة حرارة برفقة المجمعات الشمسية التي تعمل عند فرق درجات حرارة صغير و ذلك بهدف زيادة الكفاءة.

٧- أجهزة للتخلص من الحرارة الفائضة و ذلك لضمان عدم حدوث غليان في الماء.

٨- مبادل حرارة (سائل- هواء) أو شبكة أنابيب أو ألواح في دورة الحمل تعمل على تبديد الحرارة المطلوبة في مناطق الحيز المختلفة.

٢ - ٣ الأساليب (الطرق) المختلفة في عمل نظام التدفئة الشمسي

من بين الأساليب المتعددة في أسلوب عمل نظام التدفئة الشمسي، يمكن ذكر ما

يلي:-

١- في حالة توفر الطاقة الشمسية، تجهز الطاقة التي يتم تجميعها في المجمعات مباشرة إلى المبنى من دون خزنها، يمكن زيادة مقدار الطاقة المجهزة إلى المبنى عند الحاجة عن طريق وحدة التسخين المساعد، يمكن أن يعمل نظام التسخين بهذا الأسلوب أيضاً إذا كانت وحدة التخزين مشحونة بالكامل والحرارة الشمسية المجهزة تجهز مباشرة إلى المبنى.

٢- في حالة توفر الطاقة الشمسية ولكن المبنى لا يحتاج إلى حرارة، فيجب تخزين الحرارة الشمسية المجهزة في هذه الحالة في وحدة التخزين.

- ٣- في حالة عدم توفر الطاقة الشمسية ولكن المبنى بحاجة إلى حرارة، لذا فإن الحرارة سوف تجهز إلى المبنى في هذه الحالة عن طريق وحدة التخزين التي تم مسبقاً شحنها بالحرارة.
- ٤- في حالة عدم توفر الإشعاع الشمسي وعدم توفر حرارة مخزونة في وحدة التخزين، فإن الحرارة التي يحتاجها المبنى سوف تجهز عن طريق وحدة التسخين المساعدة.
- ٥- في بعض الحالات الخاصة تكون وحدة التخزين الحراري مشحونة بالكامل والمبنى لا يحتاج إلى حرارة ولكن المجمعات الشمسية مستمرة في تجميع الحرارة، لذا سيتم في هذه الحالة استخدام آلية تخميد للحرارة أو صمامات تحرير للضغط.
- ٦- في بعض الحالات تستخدم الحرارة الشمسية ليس فقط في تدفئة المبنى وإنما لتجهيزه أيضاً بالمياه الساخنة للاستخدام المنزلي.

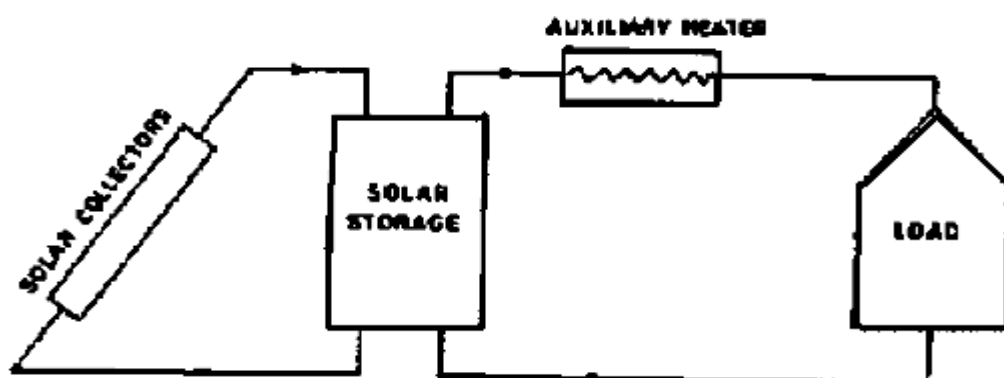
هناك عدد من الطرق يمكن من خلالها إضافة الحرارة المساعدة إلى نظام التدفئة الشمسي وكما موضح في الشكل (٢-٢)، هذه الحرارة تضاف عادة إلى دورة الحمل في المنظومة وليس إلى دورة التجميع حيث تساعد في زيادة الحرارة الشمسية أو الحمول محلها عند الحاجة.

توجد أيضاً طريقة تقليدية في إضافة الحرارة المساعدة كما موضحة في شكل (٢-٢-a)، حيث توضع المنظومة المساعدة في هذه الطريقة على التوالي في دورة الحمل بحيث تعمل على إضافة الكمية المطلوبة من الحرارة إلى المائع المسخن شمسياً والمجهز إلى منطقة الحمل، بعد خروج المائع من منطقة الحمل يعاد إلى وحدة التخزين الشمسي. في هذا الترتيب هناك إمكانية لأن تكون درجة حرارة المائع الراجع من منطقة الحمل أعلى من درجة الحرارة في الجزء الأسفل من وعاء التجميع الشمسي مما يعني إضافة حرارة إلى هذا الوعاء تكون نتيجتها انخفاض في كفاءة التجميع وزيادة في استهلاك الطاقة المساعدة.

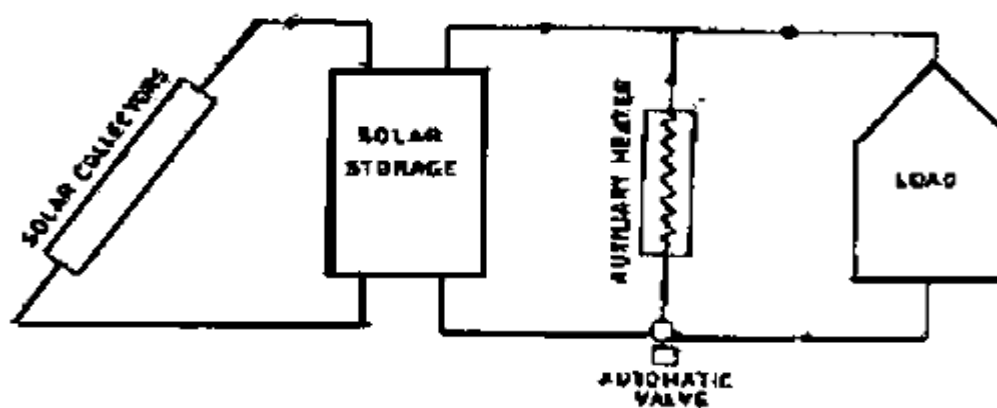
أما الترتيب الأخر والذي تكون فيه وحدة التسخين المساعد موضوعة على التوازي مع دورة الحمل كما موضح في الشكل (٢-٢-b)، في هذا الترتيب تستخدم المنظومة فقط عندما لا يمكن الحصول على درجة الحرارة المطلوبة في مشعات التدفئة داخل الحيز من وعاء التجميع الشمسي، فإذا كانت درجة الحرارة في وعاء التجميع منخفضة فإن الحرارة المطلوبة يمكن أن تجهز إلى الحيز عن طريق المنظومة المساعدة وبمساعدة صمام تحكم آلي.

في هذا الترتيب المتوازي لا يوجد فقدان في الحرارة الشمسية كما هو الحال في الترتيب الأول لأن هذه الحرارة تذهب إلى وعاء التجميع الشمسي ويتم الاستفادة منها عند الحاجة. نظام تسخين مساعد آخر يحتوي على وعاء لتخزين الحرارة منفصل عن نظام التخزين الشمسي كما هو موضح في الشكل (٢-٢-c). يعتبر هذا الترتيب هو الأفضل عند تشغيل

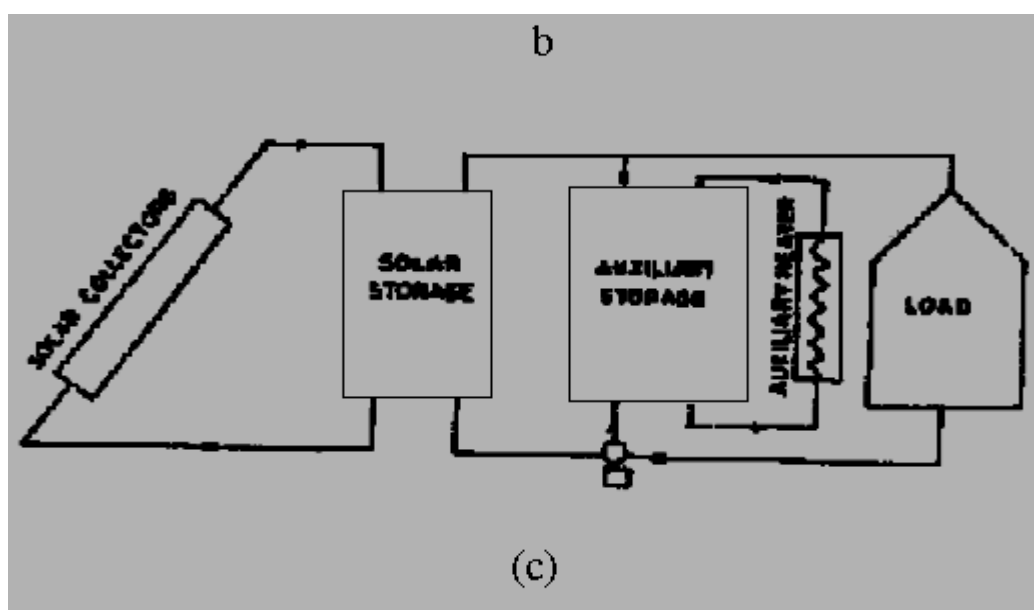
التسخين المساعد بالطاقة الكهربائية حيث يتم شحن وعاء هذه الوحدة بالحرارة خلال فترات الطلب المنخفض على الكهرباء ثم استخدام الحرارة المشحونة خلال باقي الفترات وعند الحاجة.



a



b



(c)

شكل (٢ - ٢) : الطرق التقليدية لإضافة الحرارة المساعدة إلى نظام التدفئة الشمسي

٢-٤ الأنواع المختلفة لأنظمة التدفئة الشمسية الفعالة للحيز

يمكن تمييز ثلاثة أنواع مختلفة من أنظمة التدفئة الشمسية الفعالة للحيز هي :-

١- أنظمة الهواء الشمسية

٢- أنظمة السائل الشمسية

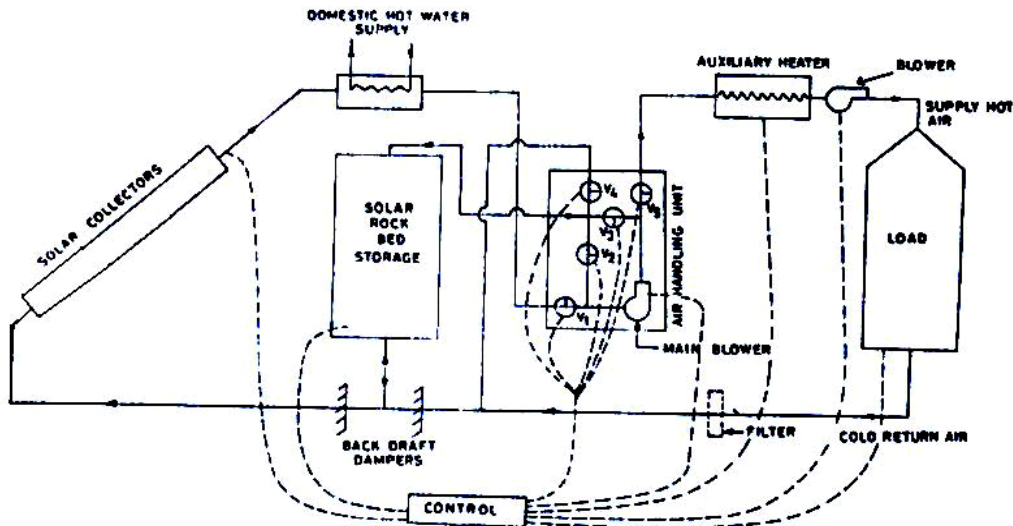
٣- أنظمة المضخة الحرارية الشمسية

لكل نظام من الأنظمة الثلاثة أعلاه محاسن وعيوب، ويعتمد اختيار أي نظام من هذه الأنظمة للاستخدام على عدة عوامل منها نوع التطبيق، الكلفة الاقتصادية، الموقع الجغرافي، والتقنية المتوفرة. وفيما يلي موجز بسيط عن كل نوع من هذه الأنواع.

٢-٤-١ أنظمة الهواء الشمسية

الشكل (٢-٣) أدناه يوضح رسم تخطيطي لنظام تدفئة هواء شمسي نموذجي، حيث يتكون النظام من مجمعات شمسية هوائية، وحدة تخزين تتكون في العادة من فراش من الأحجار، مسخن مساعد، مخمدات (منظمات) لتوجيه تيار الهواء، وحدة دفع الهواء، مراوح ومضخات، وحدة سيطرة مع متحسسات، مرحلات، ووحدات توزيع الحرارة داخل الحيز.

إذا كان المطلوب أيضاً من النظام تجهيز الحيز بالماء الساخن للاستخدامات المنزلية، يضاف كذلك مبادل حراري (هواء - ماء) مع وعاء تخزين للماء الساخن.



شكل (٢-٣) : رسم تخطيطي لنظام تدفئة شمسي هوائي

يمتاز نظام التدفئة الشمسي الهوائي بعدة محاسن عند المقارنة مع نظام تدفئة شمسي سائلي، و من أهم هذه المحاسن هو أن نفس الوسيط (الهواء) يستخدم في تجميع الحرارة في المجمعات الشمسية وفي تدفئة الحيز وبالتالي سوف لن تكون هناك حاجة إلى استخدام مبادل حراري في دورة التجميع - التخزين.

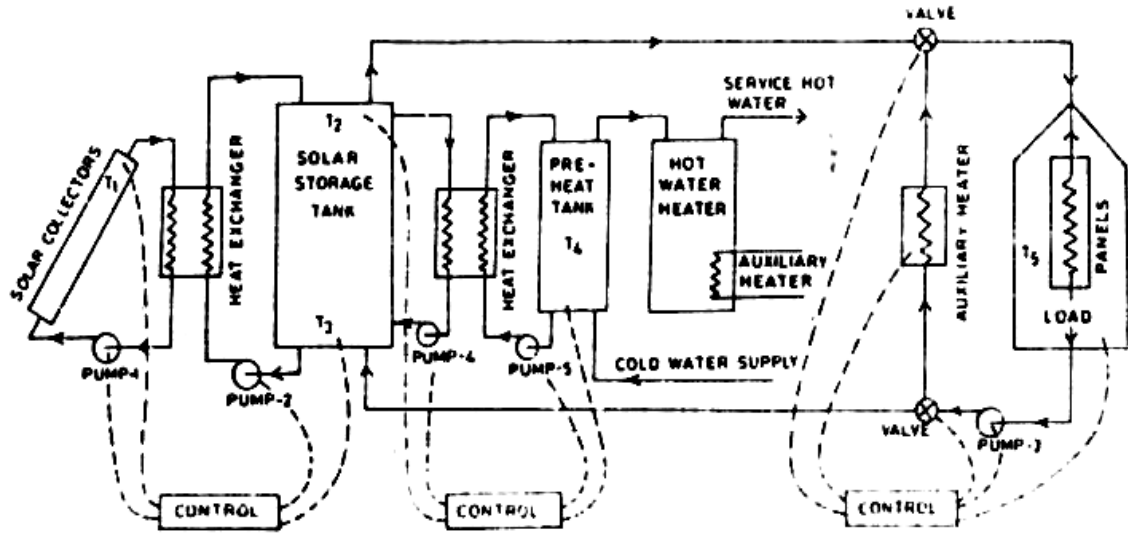
وحدة التخزين الحراري في هذا النظام عادةً تتكون وحدة التخزين الحراري من أحجار صغيرة الحجم تعمل على خزن الحرارة وفي نفس الوقت كمبادل حراري، إن درجة التطبيق العالية للتخزين تعمل على جعل درجة حرارة دخول الهواء إلى المجمع منخفضة مما يؤدي إلى زيادة في كفاءة التجميع.

من المميزات الأخرى لهذا النظام هي المثانة العالية، الاستمرارية في العمل لفترات أطول، المشاكل الناتجة من التآكل ونضح المياه ليست بالكبيرة، رخص تكلفة المجمعات الشمسية الهوائية، خلو النظام من مشاكل التجمد والجليان. أما أهم العيوب فتكمن في الحاجة إلى قدرة ضخ أكبر، حجم أكبر لوحدة الخزن الحراري، صعوبة ربط النظام مع أنظمة تكييف الهواء الأخرى.

٢ - ٤ - ٢ أنظمة السائل الشمسية

الشكل (٢ - ٤) يمثل رسماً تخطيطياً لنظام تدفئة شمسي يستخدم السائل كمائع للتشغيل. يحتوي هذا النوع من أنظمة التدفئة الشمسية في الأقل على ثلاثة مبادلات حرارية الأول في دورة التجميع - التخزين، الثاني في دورة التجميع - الحمل، أما الثالث فيوضع في الحيز (في دورة الحمل) حيث يعمل على تبديد الحرارة إلى المكان المراد تدفئته.

أهم مكونات نظام التدفئة الشمسي السائلي هي المجمعات الشمسية المسطحة السائلية، وحدة الخزن، مسخن مساعد، ألواح حملية أو مشعة، مبادلات حرارية، مضخات، صمامات، وحدة سيطرة آلية.



شكل (٢ - ٤) رسم تخطيطي لنظام تدفئة شمسي سائلي

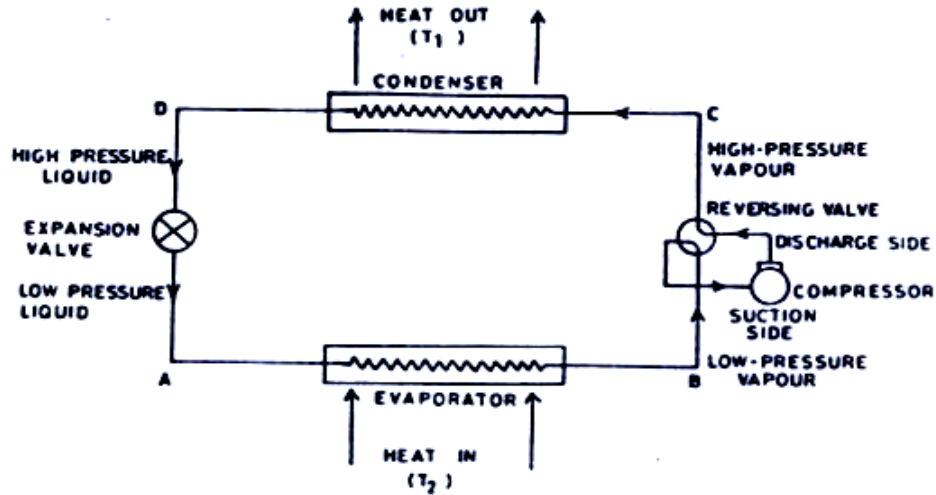
يتميز نظام التدفئة الشمسي السائلي بعدد من المميزات الأساسية أهمها الاستفاضة في دراسة وبحث هذا النوع من الأنظمة، إمكانية استخدام النظام في التبريد بالإضافة إلى التدفئة وتجهيز الماء الساخن وبالتالي فهو مناسب عند الاستخدام في المباني التجارية، عند نفس درجات حرارة الدخول إلى المجمع الشمسي تعمل المجمعات السائلية بكفاءة تجميع أعلى بالمقارنة مع المجمعات الهوائية، يشغل نظام التدفئة السائلي حيز أصغر.

أما أهم عيوب النظام فتتمثل بمشاكل تجمد ماء المجمعات الشمسية، التآكل في وصلات المجمع وأنابيبه، غليان المياه في بعض الحالات، تسرب المياه، تكلفة أعلى بسبب المبادلات الحرارية المتعددة، وجودة أقل.

٢-٤-٣ أنظمة المضخات الحرارية الشمسية

المضخة الحرارية عبارة عن جهاز ميكانيكي يقوم بتجهيز الحرارة وذلك باستخدام دورة تثلج معكوسة، تعمل مضخة الحرارة على استخلاص (سحب) الحرارة بدرجة حرارة منخفضة من الهواء الخارجي لتضخها بدرجة حرارة مرتفعة إلى هواء الحيز. يكون معامل أداء المضخة الحرارية بحدود ٤ هذا يعني أن كل وات من الطاقة الكهربائية المجهزة إلى المضخة يعطي ٤ وات من الطاقة الحرارية التي يمكن نقلها من خارج الحيز إلى داخله.

الشكل (٢-٥) يمثل الدائرة الأساسية لمضخة حرارية بسيطة والتي تتضمن أربع مكونات رئيسية هي الضاغط، المكثف، أداة التمدد، والمبخر بالإضافة إلى مائع التشغيل والذي يكون في العادة أحد أنواع الفريونات، يبين الشكل أيضاً احتواء المضخة على صمام عاكس يتم عن طريقه عكس اتجاه عمليات الدورة وبالتالي عكس دور كل من المكثف والمبخر ليصبح بالإمكان الحصول على التدفئة في فصل الشتاء وعلى التبريد في فصل الصيف من نفس الوحدة.



شكل (٢-٥) مبدأ عمل مضخة الحرارة

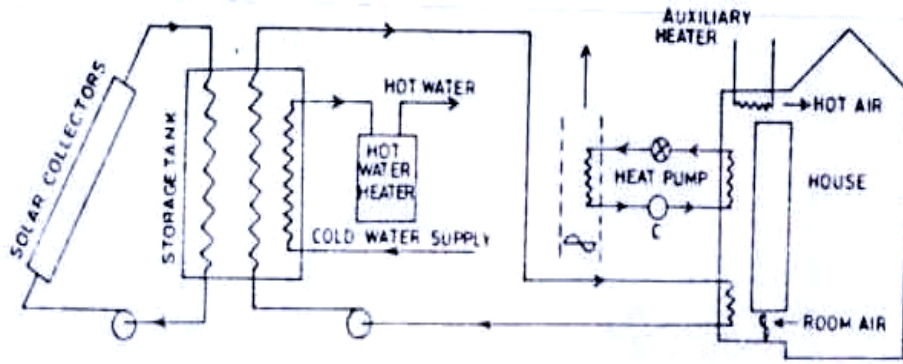
عند دمج مضخة الحرارة مع نظام تدفئة شمسي سائل أو هوائي تنتج عن ذلك منظومة مشجعة اقتصادياً وقابلة للتطبيق. ففي فصل الشتاء عندما تكون شدة الإشعاع الشمسي قليلة وكمية الحرارة المجمعة بواسطة المجمعات الشمسية المسطحة غير كافية لإيصال درجة الحرارة إلى درجة التدفئة المطلوبة يمكن استخدام هذه الحرارة كمصدر للمضخة التي تعمل على تحسين الأداء بشكل ملحوظ.

مضخة الحرارة الشمسية المساعدة يمكن أن تستخدم أما في النوع المتوالي أو النوع المتوازي أو النوع مزدوج المصدر اعتماداً على الملائمة، نوع الاستخدام، التوفيرية.

نظام مضخة الحرارة الشمسية المساعدة البسيطة (هواء - هواء) الموضحة في الشكل (٢-٦) تعتبر من النوع المتوازي والتي يعمل فيها التسخين الشمسي والتسخين بواسطة مضخة الحرارة والتسخين المساعد بشكل منفصل اعتماداً على مقدار الحمل المطلوب في الحيز.

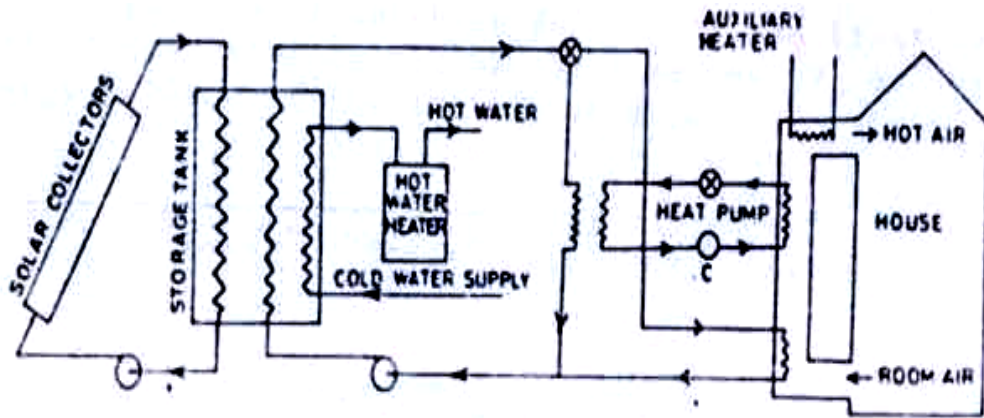
التدفئة الشمسية المباشرة يمكن استخدامها في الحالة التي تكون فيها الطاقة الشمسية متوفرة وقادرة على معادلة الحرارة المطلوبة في الحيز، في حالة كون الطاقة الشمسية غير كافية فإن مضخة الحرارة التي تستخدم الهواء الجوي كمصدر للحرارة يمكن أن تبدأ بالعمل لتقوم بتجهيز الحرارة الضرورية، المسخن المساعد يمكن أن يوضع في الخدمة إذا كان مصدري الحرارة أعلاه غير كافين.

في هذا النظام المتوازي لا تعطي مضخة الحرارة أي فائدة للتسخين الشمسي حيث تعمل فقط كمجهز مساعد للحرارة.



شكل (٢ - ٦) مخطط نظام مضخة حرارة شمسي متوازي

الشكل (٢-٧) يوضح نظام متوالي تعطي فيه مضخة الحرارة فائدة للتسخين الشمسي، حيث توضع المضخة في هذا النظام بين دورة الحرارة الشمسية والحمل وبالتالي فإن مبخر المضخة يمكن أن يوضع إما مباشرة داخل وعاء الحرارة الشمسي أو يوضع كما موضح في الشكل، وبالتالي فإن هذا الترتيب سيعطي مزايا حسنة للنظام تكمن في زيادة معامل أداء مضخة الحرارة نتيجة لتجهيز مبخر المضخة بالحرارة الشمسية وكذلك تحسين كفاءة التجميع نتيجة لعمل النظام بدرجة حرارة منخفضة.

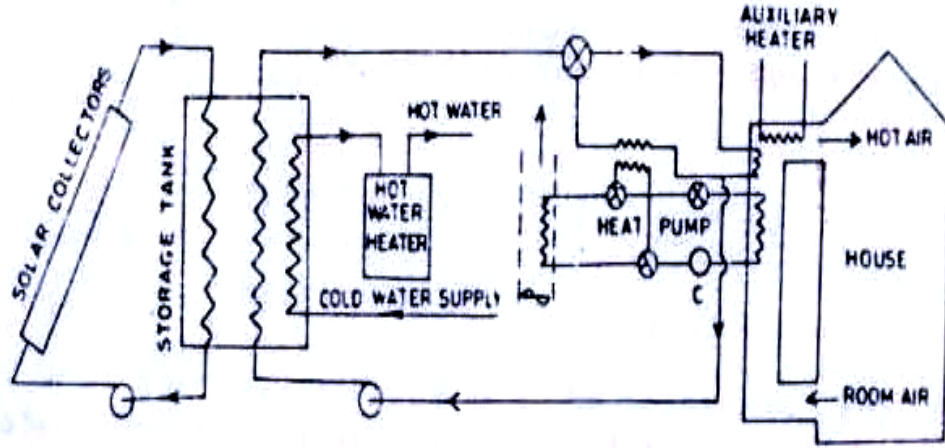


شكل (٢-٧) مخطط نظام مضخة حرارة شمسي متوالي

في نظام مضخة الحرارة الشمسي المزدوج تقوم المضخة باستخلاص الحرارة مرة من الطاقة الشمسية وأخرى من الهواء الجوى وكما موضح في الشكل (٢-٨)، إن استخدام مضخة الحرارة للطاقة الشمسية أو طاقة الهواء الخارجي تعتمد على أي منهم يعطي معامل أداء أعلى.

فعندما تكون درجة الحرارة في خزان التجميع الشمسي عالية بما فيه الكفاية (أعلى من درجة الحرارة المفترضة لصمام السيطرة) فإن حمل البناية يعادل مباشرة بهذه الحرارة المخزونة، أما

في حالة انخفاض درجة حرارة الخزان عن درجة الصمام فإن الحرارة الشمسية تجهز إلى مبخر المضخة وكما هو الحال في النظام المتوازي، أما إذا انخفضت درجة حرارة الخزان إلى أدنى من درجة حرارة الهواء الجوي فإن عمل المضخة سيكون مشابه لعملها في النظام المتوالي.



ص

شكل (٢-٨) مخطط نظام مضخة حرارة شمسي مزدوج

ملخص الفصل الثاني:-

تتكون أنظمة التدفئة الشمسية الفعالة من مجمعات الطاقة الشمسية ووحدة الخزن ووحدة تجهيز مساعدة ونظام تحكم وضخ، أنواع هذه الأنظمة هي أنظمة الهواء الشمسية وأنظمة السائل الشمسية وأنظمة المضخة الحرارية الشمسية.

الفصل الثالث

التدفئة الشمسية السلبية و أنظمتها المختلفة

٣-١ مقدمة

لغرض تصنيف الأنظمة الشمسية السلبية هناك طريقتين، الأولى تستند على التصنيف الوظيفي أو العام حيث يتم بموجبها تقسيم الأبنية الشمسية السلبية إلى :-

١- الكسب المباشر

٢- الكسب غير المباشر

٣- المعزولة

أما الطريقة الثانية في التصنيف والمستخدمه بشكل واسع فتستند على التصنيف الفيزيائي، حيث تصنف الأبنية الشمسية السلبية بموجب هذه الطريقة إلى [٦]:-

١- الكسب المباشر

٢- الجدار الخازن للحرارة

٣- حيز شمسي ملاصق

٤- سقف خازن للحرارة

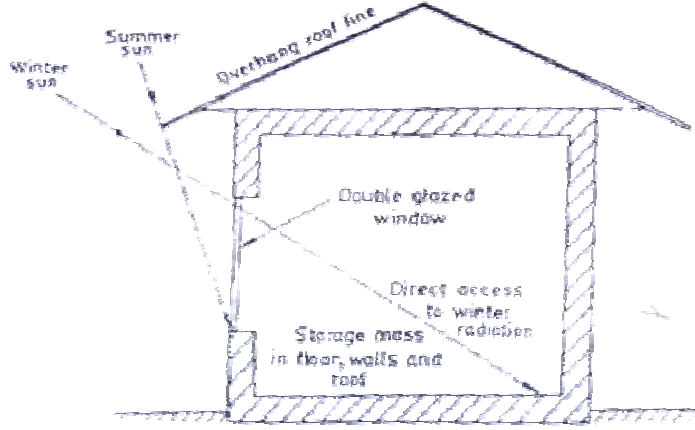
٥- الحلقة الحملية

٣-٢ أنواع الأنظمة السلبية

تقع جميع الأبنية الشمسية ضمن الأنواع الخمسة المدرجة في التصنيف الثاني أعلاه، وكل نوع من هذه الأنواع الخمسة الرئيسية يمكن أن يقسم إلى عدد من الأنظمة الخاصة اعتماداً على نوع التطبيق أو الاستخدام [١٥].

٣-٢-١ نظام الكسب المباشر

إن أبسط مفهوم للتدفئة الشمسية السلبية هو مفهوم الكسب المباشر و الموضح في الشكل (٣-١)، حيث يتم فيه استخدام المكونات التالية:-



شكل (١-٣) نظام تدفئة شمسي يعمل بمفهوم الكسب المباشر

١- شباك بزجاج مزدوج يواجه الجنوب الجغرافي أو جدار بالكامل مواجه للجنوب مكون من زجاج مزدوج يدخل من خلاله الإشعاع الشمسي المباشر في فصل الشتاء ليسقط على أرضية وجدران الحيز والموجدات الأخرى فيه، يتم في الغالب تحول جميع الإشعاع الشمسي الداخل إلى حرارة، الفقدان الحراري من الحيز إلى الخارج يتم تقليله عن طريق استخدام الزجاج المزدوج.

٢- نتوء بارز مناسب على النوافذ أو عند مستوى سقف الجدار الزجاجي الجنوبي يعمل على تظليل النوافذ أو الجدار خلال فصل الصيف عندما يكون ارتفاع الشمس عالياً لمنع دخول الإشعاع إلى داخل الحيز.

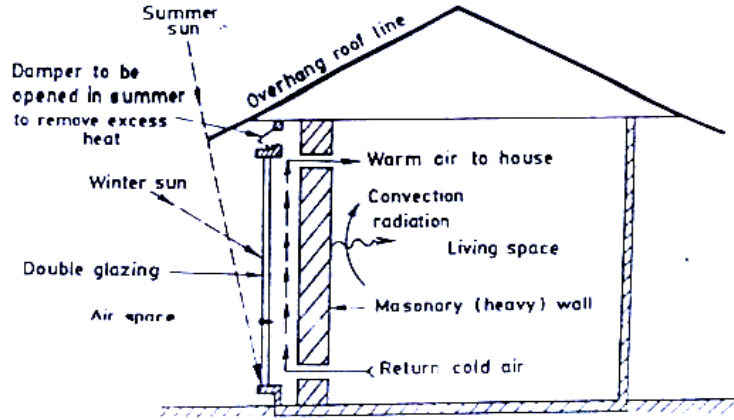
٣- أرضية الحيز مع جدرانه تكون ثقيلة التركيب الإنشائي وذلك لزيادة السعة الحرارية لهذا التركيب مما يساعد على خزن الحرارة فيه خلال ساعات النهار عندما تتوفر كمية كافية منها ثم إطلاق ما تم خزنه من حرارة خلال ساعات الليل لتخفيض التذبذب الكبير في درجة هواء الغرفة.

٤- استخدام نوع من أنواع العزل الحراري لتغطية النوافذ خلال الفترات التي يكون فيها الفقدان الحراري عبر النوافذ أكبر من الكسب (فترات الليل عادة) مما يساعد ذلك على تحسين الأداء.

٣-٢-٢ نظام الجدار الخازن للحرارة

على الرغم من الهيكل الإنشائي الثقيل المستخدم في نظام الكسب المباشر إلا أنه هناك تذبذب كبير في درجة حرارة هواء الغرفة، الطريقة الأكثر فاعلية في تدفئة هواء الغرفة وتقليل

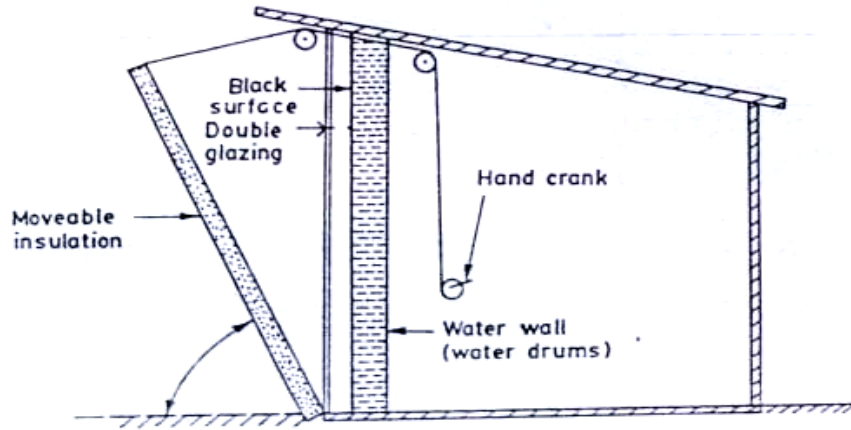
التذبذب الكبير في درجة حرارة الهواء فيها هي استخدام جدار خازن للحرارة يفصل ما بين طبقات الزجاج المزدوج المواجهة للجنوب والحيز (الغرفة)، وفي هذه الحالة تستخدم المكونات التالية (شكل ٣-٢): -



شكل (٣-٢) منظومة جدار ترمب أو الجدار الحراري

- ١- طبقة أو طبقتين من الزجاج أو البلاستيك تغطي الجدار الجنوبي بالكامل مع ترك فجوة هوائية معينة ما بين الجدار والطبقة الزجاجية الداخلية يتحرك الهواء الساخن في هذه الفجوة من الأسفل نحو الأعلى بصورة عامة بواسطة الحمل الطبيعي [١٦].
- ٢- جدار خازن للحرارة موجه نحو الجنوب الجغرافي مصنوع من الخرسانة أو الطوب بواجهة خارجية نحو الشمس مطلية باللون الأسود، بعد نفاذ الإشعاع الشمسي من الزجاج يمتص من قبل الجدار مما يؤدي إلى سخونته، الهواء الموجود في الفجوة ما بين الجدار والزجاج يسخن هو أيضاً مرتفعاً بذلك إلى الأعلى ليدخل بعدها إلى الحيز عن طريق فتحة علوية بينما يدخل هواء الحيز البارد إلى الفجوة عن طريق فتحة سفلية دورة الهواء هذه ستستمر طالما يقوم الجدار بتسخين الهواء في الفجوة، يمكن التحكم في معدل جريان الحرارة إلى الحيز عن طريق تنظيم جريان الهواء خلال المخمدات الموجودة في فتحات الدخول والخروج (الفتحات السفلية و العلوية)، يسخن الحيز أيضاً عن طريق فقدان الحرارة بالحمل والإشعاع من السطح الداخلي للجدار لذا فإن هذا الجدار سيعمل على تجميع و تخزين ونقل الحرارة إلى الحيز، يعرف أيضاً هذا الجدار الخازن بجدار ترمب [١٧].

٣- في بعض الحالات وبدلاً من أن يكون الجدار الخازن للحرارة من الخرسانة أو الطوب فإنه يصنع من خزانات أو حاويات أخرى مناسبة تملئ بالماء وتوضع على بعضها البعض، حيث تعمل على تجميع و تخزين وتوزيع الحرارة ويسمى الترتيب في هذه الحالة بالجدار المائي أو الجدار الطبلي (شكل ٣-٣)، وأوجه الخزانات المواجهة للزجاج تطلّى باللون الأسود لزيادة قابلية امتصاص الحرارة. التآرجح في درجة حرارة هواء الغرفة في حالة استخدام الجدار المائي سيكون أقل بكثير بالمقارنة مع ما موجود في حالة استخدام الجدار الحراري (٢٤٧١).

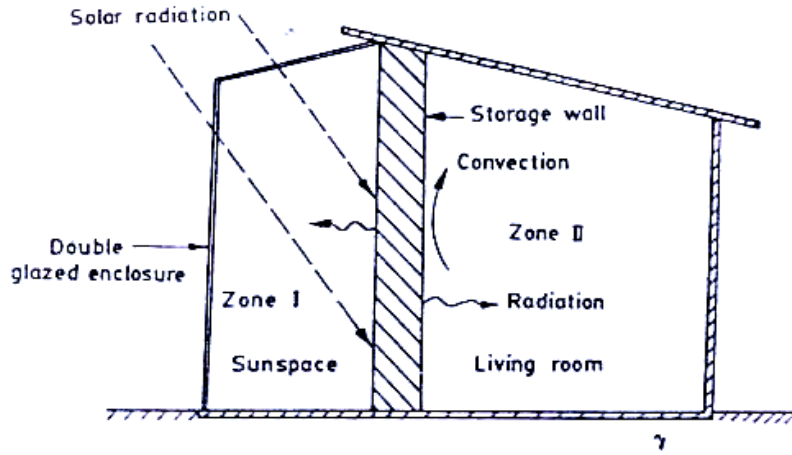


شكل (٣-٣) نظام الجدار المائي (الجدار الطبلي)

- 4 - ضرورة وجود فتحات للهواء في أسفل الجدار وأعله تكون موجهة باتجاه الحيز بالإضافة إلى فتحة أخرى للهواء في أعلى الجدار تكون موجهة نحو الخارج.
- ٥- أغطية متحركة على فتحات الدخول والخروج تستخدم أيضاً للسيطرة على جريان الهواء فعندما لا تكون هناك حاجة إلى الحرارة، فإن الحرارة الزائدة ستطرد خارجاً من فجوة الهواء عن طريق الفتحة أعلى الجدار والموجهة نحو الخارج.
- ٦- غطاء عازل متحرك عاكس يمكن استخدامه في بعض الأحيان مع جدار ترمب أو الجدار المائي يتم فتح الغطاء العازل خلال ساعات النهار وعندما تكون الشمس مشرقة حيث يقوم أيضاً بعكس جزء من الإشعاع الشمسي محسناً بذلك الإشعاع الساقط على الجدار خلال ساعات الليل، فإن العازل المتحرك سوف يُرفع لتغطية الجدار بمساعدة آلة رفع يدوية أو جهاز آلي أو جهاز يعمل بخلية ضوئية لتقليل الفقدان الحراري من الجدار إلى الخارج.

٣-٢-٣ البيوت الزجاجية الملاصقة أو الملحقة (الحيز الشمسي)

في هذا الترتيب من التدفئة الشمسية السلبية ترتبط فكرة الكسب المباشر وفكرة الكسب غير المباشر (الجدار الحراري) مع بعضها كما موضح في الشكل (٣-٤) .
المكونات الرئيسية لفكرة هذا النظام هي كما يلي:-



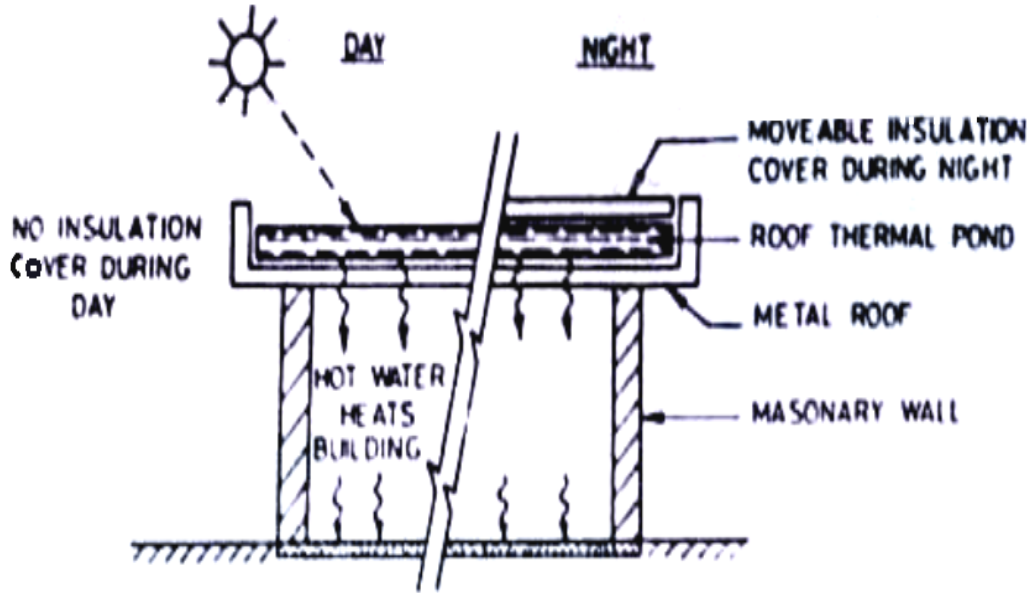
شكل (٣-٤) نظام تدفئة شمسي سلبي باستخدام البيت الزجاجي الملصق

- ١- هناك حيز شمسي (منطقة I) على الجانب المواجه للجنوب من المبنى يُغطى بطبقة مفردة أو مزدوجة من ألواح زجاجية أو ألواح بلاستيكية مكوناً بيتاً زجاجياً يمكن أن يُستخدم إما لزراعة الخضراوات أو الأزهار أو كحيز شمسي لغرض المعيشة، في هذا البيت الزجاجي الملحق هناك تأرجح كبير في درجة حرارة الهواء، في فصل الصيف درجة حرارة الهواء في البيت الزجاجي تكون كبيرة لذا فإن فتحات كبيرة لتدوير الهواء يمكن استخدامها.
- ٢- هناك جدار خازن للحرارة يواجه الجنوب يوضع ما بين حيز المعيشة (منطقة II) والبيت الزجاجي (منطقة I) يتم تسخين هذا الجدار عن طريق الامتصاص المباشر للإشعاع الشمسي الساقط عليه والنافذ من خلال الغلاف الشفاف للبيت الزجاجي، أما غرفة المعيشة فيتم تسخينها عن طريق فقدان الحرارة بالحمل والإشعاع من السطح الداخلي للجدار.
الفقدان الحراري من الجدار الخازن إلى الخارج سيكون قليلاً في هذه الحالة بسبب وجود البيت الزجاجي وبسبب استخدام العوازل المتحركة الموضوعة على جدران الحيز الشمسي.

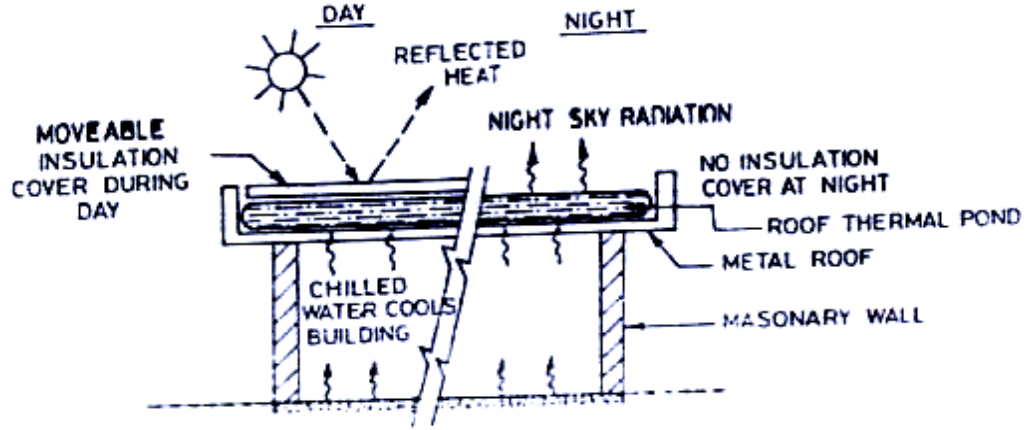
٣-٢-٤ السقف الخازن للحرارة

إن فكرة السقف الخازن للحرارة في التدفئة الشمسية السلبية قد تم تطويرها من قبل كل من Hay و Yellot في أريزونا وبالتشابه مع فكرة الجدران الخازنة للحرارة فإن الكتلة الخازنة للحرارة في هذه الحالة ستوضع على سقف البناية بدلاً من الجدران، فكرة هذا النظام تتكون من المكونات التالية:

- ١- سقف معدني للبناية يعمل على توصيل الحرارة بفاعلية.
- ٢- حقائب مائية مصنوعة من ألواح بلاستيكية شفافة أو سوداء تملئ بالماء أو أي مواد خازنة أخرى تُوضع على السطح المعدني، ففي فصل الشتاء وخلال ساعات النهار يتم تسخين الماء الموجود في الحقائب بواسطة الإشعاع الشمسي، الحرارة المخزنة في الماء تعمل على تسخين الغرفة في النهار وأيضاً خلال ساعات الليل بعد زوال الإشعاع (شكل ٣-٥ أ).



شكل (٣-٥ أ) التسخين خلال فصل الشتاء



شكل (٣-٥ ب) التبريد خلال فصل الصيف

٣- غطاء عازل متحرك يُوضع فوق ماء الحقائق، ففي فصل الشتاء وخلال ساعات انعدام الإشعاع الشمسي يتحرك الغطاء العازل منزلقاً فوق الحقائق (شكل ٣-٥ أ) مقللاً بذلك فقدان الحرارة من الماء إلى الخارج خلال ساعات النهار، ومع وجود الإشعاع الشمسي ينسحب الغطاء العازل سامحاً للإشعاع بالسقوط على ماء الحقائق، بهذه الطريقة يحافظ ماء الحقائق على سخونة الغرفة خلال فترات الليل والنهار .

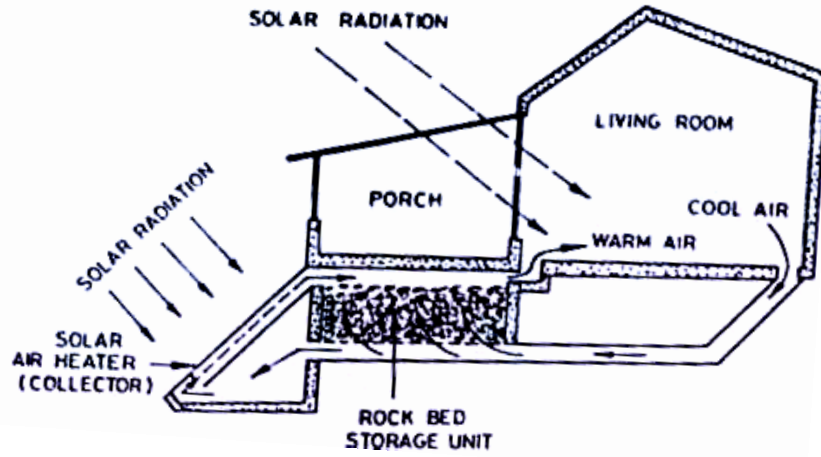
٤- نفس نظام السقف الخازن للحرارة يمكن استخدامه لتبريد الغرفة في فصل الصيف وكما موضح في (شكل ٣-٥ ب) وذلك ببساطة عن طريق عكس الإجراء.

ففي حالة التبريد يتم سحب الغطاء العازل خلال الليل سامحاً بتبريد ماء الحقائق والغرفة عن طريق فقدان الحرارة بالإشعاع نحو الخارج، خلال ساعات النهار ينزلق الغطاء العازل فوق ماء الحقائق مانعاً تسخين هذا الماء بواسطة أشعة الشمس، كتلة الماء البارد تحافظ على برودة الغرفة خلال فترات النهار والليل.

٣-٢-٥ الحلقة الحملية

فكرة الحلقة الحملية المستخدمة في التدفئة الشمسية السلبية مشابهة إلى حد ما بفكرة التدفئة الفعالة من ناحية احتوائها على مجمع شمسي ونظام خزن منفصلين ولكن منظومة الحلقة الحملية لا تحتوي على مضخة ميكانيكية أو كهربائية لتدوير المائع بالإضافة إلى عدم وجود أي أجهزة سيطرة إلكترونية مستخدمة.

يتكون نظام الحلقة الحملية الموضح في الشكل (٦-٣) من المكونات التالية:



شكل (٦-٣) نظام الحلقة الحملية المستخدم في التدفئة الشمسية السلبية

١- مجمع شمسي مسطح يستخدم الهواء أو السائل كمتاح تشغيل عندما يتم استخدام السائل كمتاح تشغيل فعادة ما يكون هذا السائل هو الماء يُفضل استخدام المجمعات البسيطة والرخيصة الثمن كمسخنات الهواء الشمسية.

٢- نظام للخرن الحراري بحجم مناسب يُوضع في مستوى أدنى من مستوى الغرفة ولكنه أعلى من مستوى مسخنات الهواء الشمسية، الهواء بعد أن يتم تسخينه في المسخنات يتجه إما مباشرة إلى غرفة المعيشة المراد تسخينها أو إلى وحدة الخزن الحراري لتسخين فراش الحصى أو الأحجار المكونة لهذه الوحدة، الهواء البارد المسحوب من الغرفة أو من وحدة الخزن يدخل من أسفل مسخنات الهواء بصورة آلية (بواسطة الحمل الطبيعي) ليسخن من جديد ويرتفع ليدخل الغرفة مرة ثانية، عندما لا تكون هناك حاجة لتسخين الغرفة فإن فتحة الأرضية يمكن أن تُغلق وبالتالي فإن الهواء المسخن القادم من المسخنات سيمر إلى وحدة الخزن مباشرة.

٣- في حالة استخدام مجمعات شمسية لتسخين المياه، فإن الماء المسخن في هذه المجمعات سيمر بشكل آلي خلال أنابيب موضوعة أسفل أرضية الغرفة.

٣-٣ المعاملات الحرجة في تصميم نظام التدفئة السلمي

عند تصميم الأبنية الشمسية السلبية بعناية، فإن الطاقة الشمسية يمكنها تغطية جزء كبير من حمل التدفئة لهذه الأبنية، هناك مشكلتان رئيسيتان في أنظمة التدفئة الشمسية الأولى هي كفاية الطاقة المخزونة والثانية هي السيطرة وتوزيع درجة الحرارة.

إن استخدام خزن كافي للطاقة سيجعل التغير في درجة حرارة الهواء الداخلي

والذي يحدث بسبب طبيعة الإشعاع الشمسي المتغير قليلاً، كما وعن طريق اختيار مواد البناء حرارية مناسبة يمكن السيطرة على درجة حرارة الهواء الداخلية بشكل ملائم. على أية حال، من الضروري على مصمم البناية الشمسية السلبية معرفة أسس ومبادئ الديناميكا الحرارية والتي تعمل على أساسها البناية كما ويجب أن تصمم هذه البناية على أساس العمل وتوفير الراحة على مدار السنة. في جميع أنواع التدفئة الشمسية السلبية هناك بعض المعاملات التي تشكل مفتاح التصميم هذه المعاملات قد تم دراستها تجريبياً أو باستخدام النماذج الرياضية من قبل العديد من الباحثين، في هذه الفقرة سوف يتم التركيز على أهمية هذه المعاملات على التصميم.

٣-٣-١ نظام الكسب المباشر

في هذا النظام يدخل الإشعاع الشمسي مباشرة إلى الحيز خلال نوافذ موجهة بشكل مناسب ليتمتع بواسطة أرضية، جدران، وبقية موجودات الحيز. بعض المعاملات والتي تشكل مفتاح التصميم لنظام التدفئة الشمسي يمكن إدراجها كما يلي:-

أولاً - الشبائيك الموجهة نحو الجنوب يجب أن تكون بمساحات كبيرة قدر الإمكان وبزجاج مزدوج الطبقات.

ثانياً - بعض تدابير العزل الحراري للشبائيك خلال ساعات الليل لتقليل فقدان الحراري يجب أن تتخذ.

ثالثاً - بعض أنواع الننتوات البارزة أو أجهزة السيطرة الشمسية الأخرى على الواجهة الخارجية للنوافذ يجب استخدامها لغرض عدم السماح للإشعاع الشمسي بالدخول إلى البناية في فصل الصيف.

رابعاً - وجوب استخدام أرضيات وجدران بسعات حرارية كافية مع بعض العزل على الأسطح الخارجية لهذه الجدران.

خامساً - وجوب استخدام بعض ترتيبات التهوية بالأخص في فصل الصيف لمنع التسخين الزائد للبناية.

من الأشياء المحببة و المرغوبة في نظام الكسب المباشر هو أن تكون نفاذية الزجاج كبيرة قدر الإمكان وأن يكون فقدان الحراري من خلاله أصغر ما يمكن. هناك عدة طرق يمكن من خلالها زيادة معامل نفاذية الزجاج منها تقليل فقدان الحملية خلال الحيز المحصور بين طبقات الزجاج، استخدام نوعيات جيدة من الألواح الزجاجية أو البلاستيكية واستخدام طلاء عاكس للحرارة.

يشكل فقدان الحراري الحملية من خلال حيز الهواء بين طبقات الزجاج المزدوج أو الثلاثي نسبة كبيرة من فقدان الحراري الكلي خلال الزجاج، هذه النسبة تكون بحدود

٤٠% في حالة الزجاج مزدوج ، يمكن تقليل هذا الفقدان عن طريق اختيار حيز هواء أقل بين طبقات الزجاج، أو بتفريغ الحيز، أو إدخال غاز ثقيل فيه.

الفقدان الحراري الكلي عبر النافذة والذي يعبر عنه عادة بالحد " U "معامل الفقدان الحراري الإجمالي يمكن تقليله وذلك باستخدام طبقات زجاج متعددة أو باستخدام عازل حراري متحرك يُوضع على النافذة خلال ساعات انعدام الإشعاع.

في فصل الصيف ربما يؤدي الزجاج على الجانب الجنوبي للبناء إلى تسخين زائد حتى في البلدان الباردة، هذا التسخين الزائد يمكن تلافيه إما باستخدام أجهزة تظليل، أو باستخدام مواد بناء بسعات حرارية عالية، أو باستخدام منظومة تهوية مناسبة.

بشكل عام في أبنية التدفئة السلبية ولتلافي التسخين الزائد فإن جميع هذه الطرق يمكن أن تستخدم. أجهزة التظليل الأكثر فاعلية يمكن أن تكون من النوع الثابت، أو النوع القابل الانكماش، هذه الأجهزة يمكن أن تُستخدم إما على الجانب الخارجي أو الجانب الداخلي للنافذة.

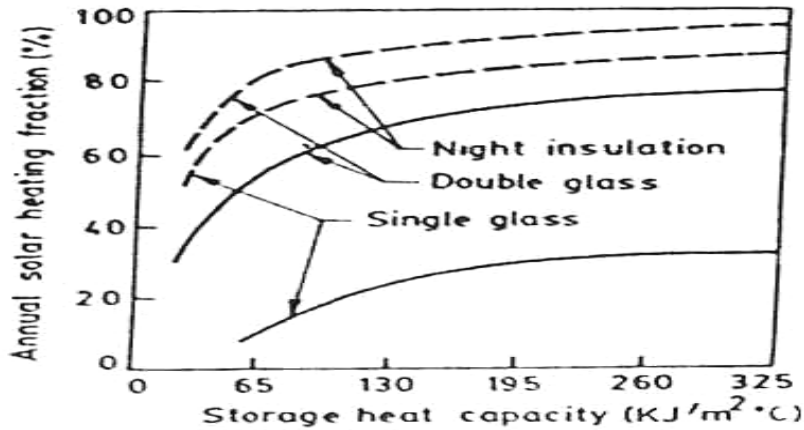
تلعب عملية الخزن في منظومة الكسب المباشر دوراً مهماً، فمن الممكن أن تكون هناك عملية تسخين زائد في الغرفة خلال ساعات النهار والتي يمكن تلافيها بالتهوية مما يعني طرد للحرارة من الحيز، هذه الحرارة بدلاً من أن تطرد يمكن أن تخزن خلال النهار ويتم الإستفادة منها للمحافظة على درجة حرارة مريحة.

موقع كتلة الخزن بالنسبة إلى النافذة بالإضافة إلى موصليتها يؤثران أيضاً على الأداء، حيث أن موقع كتلة الخزن الحراري المواجهة للإشعاع الشمسي تكون فاعليتها أكبر أربع مرات من فاعلية الكتلة في حالة وضعها في أماكن غير مواجهة للإشعاع داخل الغرفة.

٣-٢ نظام الجدار الخازن للحرارة

الجدار الخازن للحرارة يمكن أن يُصنع من حاويات أو اسطوانات مملوءة بالماء توضع مع بعضها لتكون جدار يُطلق عليه بالجدار المائي أو يكون جدار صلباً من الطوب أو الخرسانة أو الطين أو مواد خازنة متغيرة الطور مع أو بدون تدوير حراري. في جميع الحالات السابقة فإن سطح الجدار الخارجي (الواجهة الجنوبية) تُطلي باللون الأسود مع وضع واجهة زجاجية مناسبة أمامه ويترك فجوة هوائية بينهما، في بعض الأحيان يحتوي الجدار الخازن نفسه على نوافذ تسمح للإضاءة بالدخول مباشرة إلى الحيز بالإضافة إلى الكسب الحراري المباشر.

تحليل جدار الخزن الحراري قد تم أولاً من قبل الباحثين Hedstrom, Balcom [١٧] و McFarland، ثم الباحث Perry الذي أجرى دراسات تم بموجبها تحديد تأثير العوامل المختلفة على الكسر السنوي للتسخين الشمسي، الشكل (٣-٧) يوضح تأثير سعة الخزن الحراري وعدد طبقات الزجاج مع و بدون عازل ليلي على الكسر (المساهمة) السنوية للتسخين الشمسي.

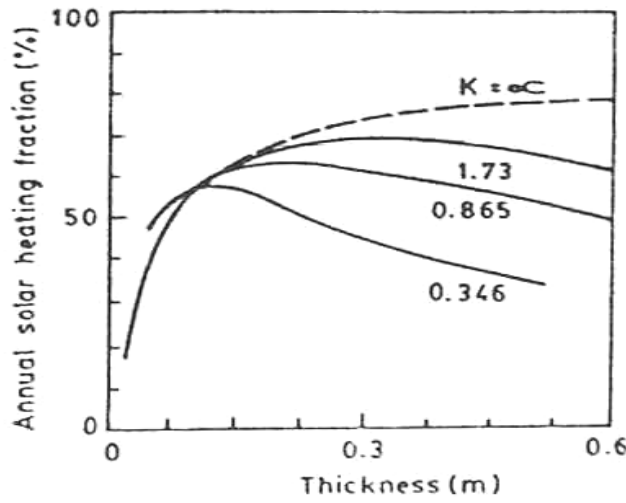


شكل (٣-٧) تأثير سعة الخزن، العزل الحراري الليلي، وعدد طبقات الزجاج على المساهمة السنوية للتسخين الشمسي

يُلاحظ من الشكل بأنه بعد سعة خزن حراري مقدارها حوالي $195 \text{ KJ/C}^0 \cdot \text{m}^2$ لاتصبح هناك أي زيادة في المساهمة السنوية للتسخين الشمسي، نسبة المساهمة السنوية للتسخين في حالة الزجاج المنفرد بدون عازل ليلي تكون بحدود ٣٠% حتى مع السعات العالية للخزن الحراري، استخدام عازل ليلي مع الزجاج المنفرد يُحسن الأداء بشكل ملحوظ جداً وتصبح المساهمة الشمسية السنوية في هذه الحالة أعلى حتى من حالة استخدام زجاج

مزدوج الطبقات بدون عازل ليلي، استخدام زجاج مزدوج مع عازل ليلي يُحسن الأداء أكثر و لكن ليس كثيراً بالمقارنة بحالة الزجاج المنفرد مع العازل.

تأثير سمك الجدار وموصليته الحرارية على المساهمة السنوية للتدفئة الشمسية موضح في الشكل (٣-٨). يُلاحظ من الشكل بأن زيادة الموصلية تزيد من المساهمة السنوية، يلاحظ أيضاً بأنه بعد سمك للجدار مقداره (٠.٣ m) لا يصبح هناك أي كسب إضافي في المساهمة الشمسية السنوية. لحالة جدار أسمنتي (خرساني) بسمك (٠.٣ m) تكون المساهمة السنوية للتدفئة الشمسية بحدود ٦٨ % بينما لنفس السعة التخزينية لجدار مائي فإن المساهمة السنوية تكون بحدود ٧٣ %.

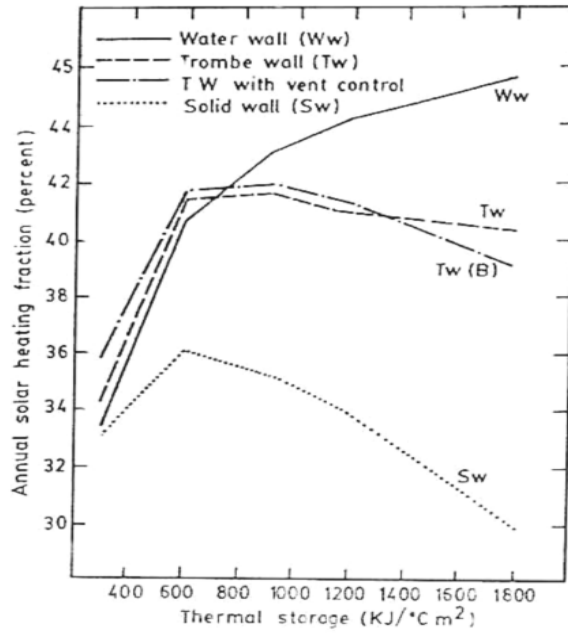


شكل (٣-٨) تأثير سمك الجدار (m) وموصليته الحرارية (W/m. °c) على المساهمة السنوية للتدفئة الشمسية. السعة الحرارية للجدار تم المحافظة عليها ثابتة وتساوي $195 \text{ KJ / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

(من نتائج دراسات الباحث Perry) [١٧]

تأثير كتلة الخزن الحراري لوحدة المساحة للزجاج لأربع أنواع من الجدران الخزنة للحرارة هي: جدار مائي (W_w)، جدار ترمب بدون جريان عكسي (T_w)، جدار ترمب مع سيطرة ترموستاتية على التهوية (T_w)_B)، وجدار صلب مصمت (S_w) على المساهمة السنوية للتدفئة الشمسية موضحة بالشكل (٣-٩).

يتبين من الشكل بأن الجدار المائي يعطي أعلى مساهمة شمسية من بين الجدران الأربعة جدار ترمب يظهر مساهمة سنوية شمسية عالية ملحوظة للتدفئة الشمسية بالمقارنة مع الجدار المصمت، أعلى مساهمة شمسية في حالة جدار ترمب تكون عند سعة خزنية بحدود (600 KJ/C^0) لكل متر مربع من مساحة الزجاج.



شكل (٣-٩) تأثير كتلة الخزن الحراري علي المساهمة السنوية للتدفئة الشمسية لأنواع مختلفة من جدران الخزن الحراري

مساحة الجدار الخازن للحرارة يجب أن تكون مساوية لمساحة الزجاج و يكونان باتجاه الجنوب الجغرافي قدر الإمكان، الزجاج المختار يجب أن يكون قادراً على السماح بنفاذ أقصى كمية ممكنة من الإشعاع الشمسي، لون الجدار المستلم للإشعاع يجب أن يكون معتماً علي سبيل المثال أسود، أحمر قاتم أو أخضر.

نوع معين من البروزات بأبعاد مناسبة يجب وضعها على الجانب الخارجي للجدار لتظليل الزجاج خلال فصل الصيف، سمك الجدار يجب أن يُختار بحيث يكون قادراً على تأخير دخول الحرارة إلى الجانب الداخلي بمقدار ٨-١٠ ساعة.

٣-٣-٣ نظام البيت الزجاجي الملاصق

هذا النظام يشتمل على نظام للكسب المباشر وآخر للكسب غير المباشر، ففي وحدة الكسب المباشر والتي تُعرف بالبيت الزجاجي منطقة I في الشكل (٣-٤) تعمل الجدران الجنوبية والشرقية بالإضافة إلى السقف من ألواح زجاجية مفردة أو مزدوجة وأحياناً ثلاثية، أما الجدار الشمالي فهو عبارة عن جدار خزن حراري يُصنع من الطوب أو الأسمنت.

حجرة المعيشة والممثلة بالمنطقة II في شكل (٣-٤) والتي تم فيها تقليل تذبذب درجة حرارة الهواء الداخلي بسبب وجود جدار الخزن الحراري في الجانب الجنوبي منها فإنها تحمل كل مميزات وملاحم الغرف الأخرى.

الألواح الزجاجية في البيت الزجاجي يمكن أن تكون مفردة أو متعددة و ذلك اعتماداً على درجة حرارة المحيط، فعندما يكون الهبوط في درجة حرارة الهواء الخارجي عن الصفر درجة مئوية نادراً فإن زجاجاً منفرداً يكون مناسباً، أما إذا تكرر وبكثرة هبوط هذه الدرجة عن هذا الحد فإن زجاجاً مزدوجاً أو ثلاثي يمكن استخدامه. بشكل عام إذا كانت الظروف البيئية سيئة جداً فإن زجاج ثنائي الطبقة مع عازل متحرك يُفضل استخدامه.

يكون التآرجح في درجة حرارة الهواء داخل البيت الزجاجي بشكل عام كبير نسبياً حيث يكون التآرجح بحدود ٢٠-٢٥ درجة مئوية خلال أيام فصل الشتاء ، أما الحرارة الزائدة فيمكن أن تُخزن بشكل مباشر عن طريق وضع خزانات مياه أو أحجار بداخل البيت الزجاجي أو تُخزن بواسطة إدخال هواء داخل البيت الزجاجي ثم إمرار هذا الهواء الساخن في نظام للخن الحراري مؤلف من فراش من الأحجار أو الحصى يُوضع عادة أسفل الأرضية ، أما حيز المعيشة فيكسب الحرارة عن طريق فقدان الحراري المباشر بالحمل و الإشعاع من السطح الداخلي لجدار الخزن الحراري.

دراسة حديثة للباحث Sodha وآخرون قدروا بموجبها الأداء الحراري لنظام البيت الزجاجي الملاصق مستخدمين تقنية الحل الدوري لمعرفة درجة حرارة الهواء في الحيز الشمسي (البيت الزجاجي) وكذلك الفيض الحراري من الجدار الحراري الجنوبي إلى حيز المعيشة كدالة في الزمن للظروف المناخية الخاصة بمنطقة بولدر بولاية كولارادو في أمريكا.

٣-٣-٤ نظام الخزن الحراري في السقف

نظام بركة السقف يُمثل طريقة ناجحة للتدفئة والتبريد على السواء ويرتكز هذا النظام على امتصاص وخن الحرارة في الماء خلال ساعات النهار وفقدان حرارة بواسطة الإشعاع خلال ساعات الليل (لغرض التبريد)، هذا النظام يمكنه توفير درجة حرارة مريحة على مدار السنة في المناطق التي يكون فيها التغير اليومي في درجات الحرارة كبير والرطوبة قليلة.

خلال فترة التسخين أثناء أشهر الشتاء تعرض بركة الماء الموجودة على سقف البناء إلى أشعة الشمس خلال ساعات النهار لغرض امتصاص الحرارة ثم تُغطى في المساء بواسطة عازل متحرك وبالتالي فإن الحرارة الممتصة سوف تُشع إلى المناطق الموجودة أسفل البركة من خلال السقف المعدني للبناء.

خلال فترة التبريد أثناء أشهر الصيف تُعرض البركة إلى السماء أثناء الليل مما يؤدي إلى تبديد الحرارة إلى الهواء والسماء ثم تُغطى خلال فترة النهار.

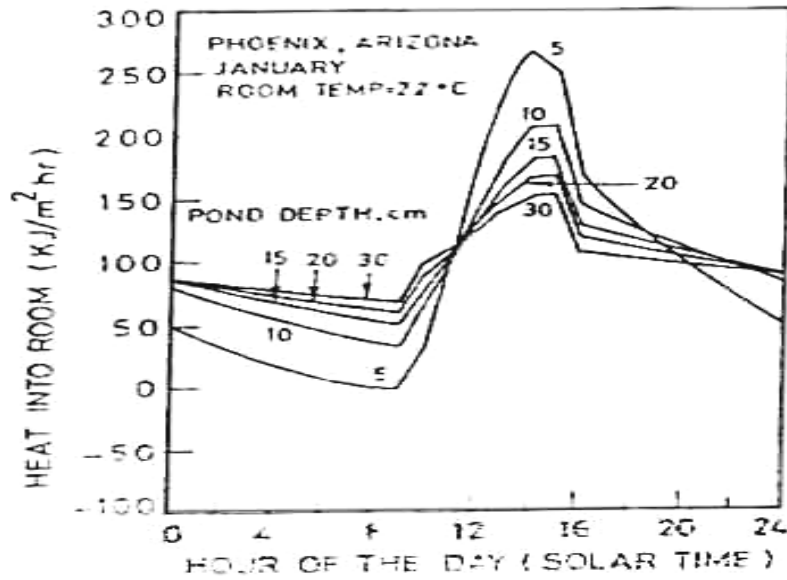
للبرك السقفية العديد من المحاسن والمساوئ، ومن محاسنها إمكانية الاستخدام في التبريد والتدفئة، تذبذب قليل في درجة حرارة الغرفة، وعدم وجود محددات في اتجاه البناء.

أما من أهم مساوئ هذه المنظومة فيمكن تلخيصها بما يلي:- تتناسب البناء أحادي أو ثنائي الطابق فقط،سقف البناء يجب أن يصمم بشكل خاص لهذا الغرض،العازل المتحرك يحتاج إلى مساحة لخرن ألوحه المنظمة على بعضها،جميع الغرف في البناء ترتبط إشعاعاً ببركة السقف عن طريق السقف،تلف حقائب الماء البلاستيكية بسبب تأثيرات الطقس،تأثر عمر السقف المعدني للبناء بسبب التآكل الذي يمكن أن يحدث فيه.

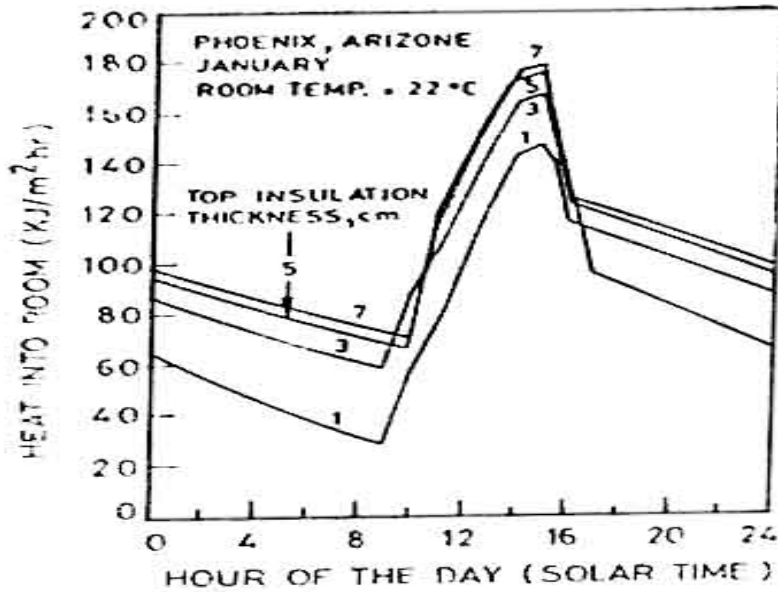
تعتمد عملية التدفئة والتبريد باستخدام نظام بركة السقف على العديد من العوامل منها:-خوائص العازل العلوي المتحرك،خوائص الامتصاص والنفذية للحقيبة البلاستيكية وعمق الماء في الحقيبة،خوائص السقف المعدني جميع هذه العوامل يجب أن ترتبط مع بعضها بعناية للحصول على نتائج جيدة من هذا النظام.

تحليل نظام بركة السقف قد تم من قبل عدد من الباحثين منهم Allen،Clark،Niles وآخرون[١٧].الباحثين Tavana وآخرين قاموا بتطوير نموذج محاكاة مستخدمين أحد برامج الحاسب المسمى تحليل أحمال البناء و ترموديناميكية النظام لدراسة تأثير العازل العلوي المتحرك،عمق الماء،العازل السفلي المتحرك والطبقة التبخرية للماء على التدفئة والتبريد باستخدام نظام برك السقف في أربعة مناطق في الولايات المتحدة حيث تم وصف أداء النظام في هذه الدراسة بدلالة معدلات جريان الحرارة الساعية لوحدة المساحة لأرضية الغرفة بوحدات (KJ / hr. ² m).

تأثير عمق الماء في البركة على تسخين الحيز لشهر يناير في منطقة(Phoenix) موضح في شكل(٣- ١٠)يبين الشكل بأن زيادة العمق من ٥سم إلى ١٥سم يؤدي إلى زيادة في الكسب الحراري اليومي إلى الغرفة بمقدار حوالي ١٥% و إذا ما تم زيادة عمق البركة أكثر من ١٥سم فسوف لن تكون هناك زيادة صافية في الكسب الحراري للغرفة،فيما يخص التبريد فإن زيادة عمق البركة يؤدي إلى تحسن طفيف في الأداء إلا أن البرك العميقة بشكل عام تعطي ظروف راحة مستقرة أفضل.



شكل (٣-١٠) تأثير عمق البركة على الكسب الحراري للغرفة (دراسة Tavana)
تأثير سمك العازل العلوي معامل توصيلة
الحراري (K) يساوي (٠.٠٠٠٩ كيلوجول/متر.ساعة.درجة مئوية) على معدلات جريان
الحرارة الساعية لوحدة المساحة لأرضية الغرفة موضح في الشكل (٣-١١)، يلاحظ من
الشكل أن زيادة سمك العازل تؤدي إلى زيادة في جريان الحرارة إلى الغرفة، بعد سمك
عازل مقداره ٣ سم فإن الزيادة في جريان الحرارة إلى الغرفة تصبح قليلة جداً أو غير
مؤثرة لذا فإن العازل العلوي المتحرك يشكل معاملاً حرجاً بالنسبة لأداء النظام بينما لا
يظهر العازل السفلي و الذي يوضع عادة أسفل السقف المعدني أي تأثير على الأداء.



شكل (٣-١١) تأثير سمك العازل العلوي على الكسب الحراري إلى

الغرفة(دراسة Tavana)

تأثير عملية غمر أو طفق البركة للسماح بحدوث تبريد تبخيري قد تم دراسته أيضاً من قبل الباحث Tavana لظروف مدينة Phoenix في شهر أغسطس، لقد تم الاستنتاج من هذه الدراسة بأن فعل التبريد الناتج من استخدام هذه العملية أكبر بمقدار عشرة أضعاف من فعل التبريد الناتج من استخدام نظام بركة السقف البسيطة.

٣-٣-٥ نظام الحلقة الحملية

يستخدم نظام الحلقة الحملية للتدفئة السلبية نوع من مسخنات الهواء حيث يُوضع في مستوى منخفض بالقياس بمستوى أرضية البناء بالإضافة إلى نظام الخزن الحراري مكون عادة من فراش من الأحجار أو الحصى، يُوضع في مستوى يقع ما بين مستوى المجمعات (مسخنات الهواء) ومستوى أرضية البناء (حيز المعيشة)، يسرى الهواء من المنزل إلى وحدة الخزن أو مسخن الهواء ثم من مسخن الهواء إلى وحدة الخزن أو المنزل بصورة طبيعية بواسطة ما يُعرف بفعل السيفون الحراري. أحد المتطلبات المهمة لهذا النظام هو وجوب أن تكون مقاومة الجريان خلال وحدة الخزن ومسخنات الهواء قليلة وإلا فإن قوى السحب الطبيعية ستكون غير كافية، وللتغلب على مشاكل الجريان في هذا النظام تُضاف إليه في العادة منظومة للتدوير القسري. أمكن بواسطة نظام السيفون الحراري السلبي الفعال الحصول على درجات حرارة مريحة للهواء الداخلي تتراوح ما بين ١٨-٢١ درجة مئوية في العديد من الأبنية في الولايات المتحدة.

يحدث في جميع أنظمة الحمل الطبيعي مع خزن حراري بالحجر عملية دوران عكسي للهواء خلال ساعات الليل، هذه العملية يمكن تلافيها عن طريق استخدام منظمتان و مخدمات هواء مناسبة.

ملخص الفصل:-

أنواع أنظمة التدفئة الشمسية هي نظام الكسب المباشر، نظام الجدار الخازن للحرارة، البيوت الزجاجية الملاصقة والحلقة الحملية، وفي هذا الفصل تم دراسة المعاملات المؤثرة على تصميم هذه الأنواع من الأنظمة الشمسية السلبية وكيفية تحسين أدائها.

الفصل الرابع

طرق تحديد الأداء للنظام السلبي

تم في السنوات القليلة الماضية تطوير عدد من التقنيات الرياضية لتقييم أداء وفاعلية الأبنية السلبية. الخطوة الأولى في هذا الاتجاه هو تحديد حمل التدفئة للبناء والذي يعتمد على العديد من المتغيرات منها الظروف المناخية المحلية، شدة الإشعاع الشمسي، نوع البناء وحجمه، الخواص الترموفيزيائية للمواد المستعملة، درجة إشغال البناء، فواقد التخلف. سيتم في هذا الفصل التطرق إلى عدد من الطرق والنماذج المستخدمة في تحديد أداء الأبنية المدفئة سلبياً، وهي كما يلي:

٤-١ طريقة درجة - يوم:

تستخدم هذه الطريقة في أرجاء واسعة من العالم من قبل المعمارين والمهندسين لتحديد مقدار الاستهلاك السنوي للوقود الذي تحتاجه البنية لغرض التدفئة. يتم أولاً في هذه الطريقة تثبيت درجة الحرارة التصميمية الداخلية T_b والتي تكون مستقلة أو غير معتمدة على نوع البنية، حيث تؤخذ هذه الدرجة في الولايات المتحدة بحدود ١٨.٣ درجة مئوية (٦٥ درجة فهرنهايت) وفي المملكة المتحدة بحدود ١٥.٦ درجة مئوية (٦٠ درجة فهرنهايت). أما درجة الحرارة التصميمية الخارجية فتؤخذ على أنها درجة الحرارة الساعية الصغرى (بمدى تكرار ٩٥% من ساعات فترة التدفئة. في حالة عدم توفر معلومات مناخية عن فترة طويلة من الزمن، تؤخذ درجة حرارة الهواء التصميمية الخارجية على أنها درجة الحرارة المتوسطة للهواء الخارجي.

بما أن الفقدان الحراري من البنية يتناسب مع الفرق بين درجات حرارة الهواء الداخلية والخارجية وبما أن درجة - يوم تعبر أيضاً عن هذا الفرق، لذا فإن طريقة درجة - يوم تستخدم في حسابات حمل التدفئة.

يعبر عن عدد درجة - يوم لليوم الواحد والذي يرمز له بالرمز d بالعلاقة التالية:

$$d = \begin{cases} 0 & \text{IF } T_b < T \\ T_b - T & \text{IF } T_b > T \end{cases} \dots\dots\dots (٤ - ١)$$

حيث:

T_b : درجة الحرارة التصميمية الداخلية وتؤخذ على أنها تساوي ١٨.٣ درجة مئوية.

T_m : متوسط درجة حرارة الهواء الخارجي، حيث:

$$T_m = (T_{max} + T_{min}) / 2 \dots\dots\dots(٤ - ٢)$$

وفيها T_{max} و T_{min} يمثلان درجة الحرارة العظمى والصغرى للهواء الخارجي على التوالي.

بالنسبة إلى الشهر أو الفصل المحتوى على N من الأيام، فإن عدد درجة - يوم لهذه الفترة والذي يرمز له بالرمز DD يعطى كما يلي:

$$DD = \sum_1^N d \dots\dots\dots(٤ - ٣)$$

لذا فإن حمل التدفئة الشهري أو الفصلي (Q_s) يحسب كما يلي:

$$Q_s = UA (DD) \dots\dots\dots(4 - ٤)$$

حيث :

UA : حاصل ضرب معامل فقدان الحرارة الإجمالي للبناء في مساحة البناء.
قيمة المقدار UA يمكن أن تحسب بعدة من الطرق. فللهيكل الذي تكون خواصه الفيزيائية - الحرارية معروفة فإن قيمة المقدار UA يمكن حسابها بالخطوات المدرجة في دليل الأسس لجمعية أشاري [١٥]. أما للأبنية المقامة فعلياً وعندما تكون تسجيلات قيم استهلاك الوقود محفوظة فإن UA يمكن تحديدها كما يلي:

$$UA = \frac{N_F H_F \xi_F}{(DD)} \dots\dots\dots(4 - 5)$$

حيث :

N_F : عدد وحدات الوقود المستهلكة.

H_F : القيمة الحرارية (القيمة السعرية) للوقود المستهلك.

ξ_F : كفاءة المسخن.

المقدار UA يمكن حسابه أيضاً من العلاقة:

$$UA = \frac{\text{Design Heating load}}{\text{Design Temperature Difference}} \dots\dots\dots(٤ - ٦)$$

يمكن تلخيص خطوات إجراء الحسابات بهذه الطريقة كما يلي:

أولاً: اختيار درجة حرارة تصميمية مناسبة للهواء الخارجي من بيانات الأرصاد الجوية المحلية. درجة حرارة الهواء التصميمية الداخلية يمكن أن تؤخذ على أنها تساوي ١٨.٣ درجة مئوية.

ثانياً :حساب مساحات كلاً من الجدران،السقف،الأرضية،الشبابيك،والأبواب .
 ثالثاً :حساب الفقدان الحراري بسبب التوصيل،التخلخل،والتهوية ثم جمعهم للحصول على حمل التدفئة الكلي للبناءة.
 رابعاً :تمثيل هذا الحمل كمعدل فقدان حراري تصميمي لكل درجة - يوم.

٤-٢ طريقة حالة الاستقرار

طريقة حالة الاستقرار لحساب الفقدان الحراري من الأبنية من الطرق شائعة الاستخدام،وهي طريقة تقريبية بإمكانها إعطاء فكرة عن مقدار استهلاك الوقود السنوي للبناءة. تفترض طريقة حالة الاستقرار ثبوت الفرق في درجات الحرارة ما بين الداخل والخارج بالإضافة إلى عدم أخذها بنظر الاعتبار تأثير التخلف المصاحب للإنشاء الثقيل عند تغير الظروف الحرارية والذي غالباً ما نواجهه في الأبنية السلبية،إضافة إلى ذلك فإن هذه الطريقة تفترض أيضاً بأن درجة الحرارة في مناطق البناءة المختلفة لا تتغير مع الزمن وبالتالي فإنها غير مناسبة للاستخدام مع الأبنية التي يتم تسخينها بصورة متقطعة. على أية حال،النهج البسيط لحالة الاستقرار في توقع الأداء لبعض معالم التسخين السلمي للأبنية يمكن توضيحه لبعض الأنظمة كما يلي:

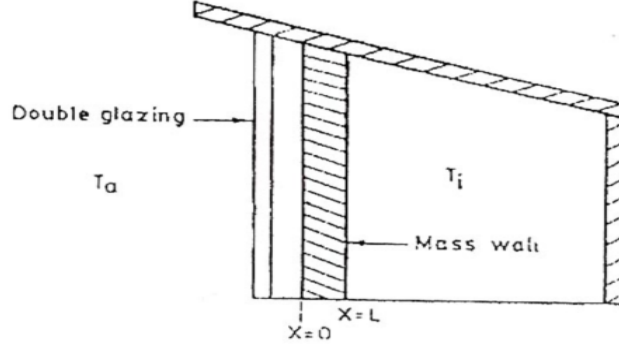
٤-٢-١ جدار الكتلة الحرارية

الفيض الحراري المتوسط (\dot{Q}) الداخلى إلى الغرفة عبر جدار الكتلة الحرارية (والذي يمكن اعتباره جدار ترمب بدون فتحات) يمكن إعطائه بالعلاقة التالية:

$$\dot{Q} = \xi \alpha H_T - hos (T_{X=0} - T_a) \dots\dots\dots(٤ - ٧)$$

حيث:

ξ و α :نفاذية الزجاج وامتصاصية الجدار على التوالي.
 H_T :الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على السطح الزجاجي.
 hos :معامل الفقدان الحراري الكلي من السطح الخارجي للجدار إلى الهواء الخارجي بدرجة الحرارة T_a .
 $T_{X=0}$: درجة حرارة السطح الخارجي للجدار.



شكل (٤-١): جدار الكتلة الحرارية

تحت ظروف حالة الاستقرار، يدخل الفيض الحراري المنتقل بالتوصيل من السطح الخارجي للجدار إلى سطحه الداخلي إلى الغرفة بواسطة الحمل والإشعاع وبالتالي فإن:

$$\dot{Q} = \frac{K}{L} (T_{x=0} - T_{x=L}) \dots\dots\dots (٤ - ٨)$$

وأيضاً:

$$\dot{Q} = h_{is} (T_{x=L} - T_i) \dots\dots\dots (٤ - ٩)$$

حيث:

K : معامل التوصيل الحراري لمادة الجدار.

L : سمك الجدار.

h_{is} : معامل السطح الداخلي للجدار.

$T_{x=L}$: درجة حرارة السطح الداخلي للجدار.

T_i : درجة حرارة هواء الغرفة.

من المعادلات (٤-٧) ولغاية (٤-٩) فإن:

$$\dot{Q} = U \left[T_a + \frac{\xi \alpha H_T}{h_{os}} - T_i \right] \dots\dots\dots (٤ - ١٠)$$

أو

$$\dot{Q} = U (T_s a - T_i) \dots\dots\dots (٤ - ١١)$$

حيث:

U : معامل الفقدان الحراري الإجمالي من داخل الغرفة إلى الخارج ويعطي بالعلاقة:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{os}} + \frac{L}{K} + \frac{1}{h_{is}} \dots\dots\dots (4 - 12)$$

$T_s a$: درجة حرارة الهواء الشمسية وتساوي

$$T_{as} = T_a + \frac{\xi \alpha H_T}{hos} \dots\dots\dots(٤ - ١٣)$$

الفيض الحراري المتوسط الذي يدخل الغرفة من خلال جدار الكتلة الحرارية يمكن حسابه من العلاقة (٤-١١) وذلك عن طريق معرفة الخواص الفيزيائية والحرارية للمواد المستخدمة في الجدار والزجاج بالإضافة إلى الظروف المناخية.

٤-٢-٢ الجدار المائي

بالنظر إلى شكل (٢-4) وبافتراض أن T_p تمثل متوسط درجة حرارة السطح الخارجي للجدار المائي (سطح معدني) فإن الفيض الحراري المتوسط يمكن التعبير عنه كما يلي:

$$\dot{Q} = \xi \alpha H_T - hos (T_p - T_a) \dots\dots\dots(٤ - 14)$$

$$\dot{Q} = h_1^- (T_p - T_w) \dots\dots\dots(4 - 15)$$

$$\dot{Q} = h_2^- (T_w - T_{is}) \dots\dots\dots(4 - 16)$$

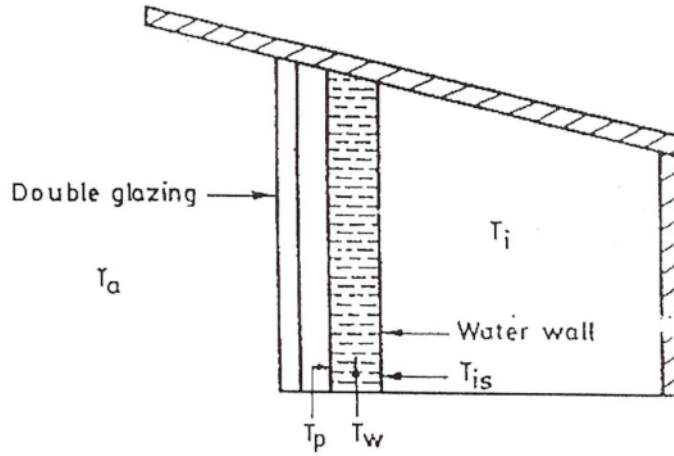
$$\text{And } \dot{Q} = h_{is} (T_{is} - T_i) \dots\dots\dots(4 - 17)$$

حيث:

h_1^- و h_2^- : يمثلان معاملات انتقال الحرارة بين السطح الخارجي للجدار والماء وبين الماء والسطح الداخلي للجدار على التوالي.

T_w : درجة حرارة الماء داخل الجدار المائي.

T_{is} : درجة حرارة السطح الداخلي للجدار المائي.



شكل (٢-٤) الجدار المائي أو الجدار الطبلي

من العلاقات (٤-١٤) ولغاية (٤-١٧) نحصل على:-

$$\dot{Q} = U (T_{sa} - T_i) \dots\dots\dots(٤ - ١٨)$$

وفيها

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{os}} + \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{1}{h_{is}} \dots\dots\dots(٤ - ١٩)$$

٤-٢-٣ الحيز الشمسي الملحق

من الشكل (٣-٤) وعندما لا يوجد انتقال حرارة مباشرة ما بين السطح الماص والمحيط فإن الفيض الحراري المتوسط يمكن أن يعبر عنه بالعلاقات التالية:

$$\dot{Q} = \xi \alpha H_T - h_{os} (T_o - T_a) \dots\dots\dots(٤ - ٢٠)$$

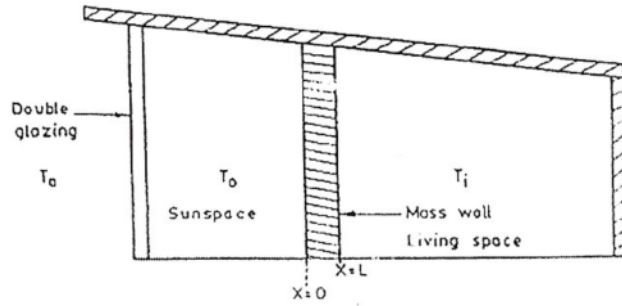
$$\dot{Q} = \frac{K}{L} (T_{X=o} - T_{X=L}) \dots\dots\dots(٤ - ٢١)$$

$$\text{and } \dot{Q} = h_{is} (T_{X=L} - T_i) \dots\dots\dots(٤ - ٢٢)$$

درجة الحرارة بداخل الحيز الشمسي (T_o) يمكن أن ترتبط مع درجة حرارة الهواء المحيط T_a بالعلاقة التالية:

$$h_{os} (T_o - T_a) = h_{ws} (T_{X=o} - T_o) \dots\dots\dots(٤ - ٢٣)$$

حيث h_{ws} يمثل معامل انتقال الحرارة ما بين جدار الكتلة الحرارية والحيز الشمسي.



شكل (4-3): الحيز الشمسي الملحق

من العلاقة (4-23) فإن :

$$T_o = h_m \left(\frac{1}{h_{os}} T_{x=0} + \frac{1}{h_{ws}} T_a \right) \dots\dots\dots (4-24)$$

حيث:

$$\frac{1}{h_m} = \left(\frac{1}{h_{os}} + \frac{1}{h_{ws}} \right) \dots\dots\dots (4-25)$$

بمساعدة العلاقات أعلاه، فإن الفيض الحراري المتوسط (\dot{Q}) يمكن كتابته بالشكل التالي:

$$\dot{Q} = U \left[\frac{\xi \alpha H_T}{h_m} + \frac{h_{os}}{h_m} \left(1 - \frac{h_m}{h_{ws}} \right) T_a - T_i \right] \dots\dots\dots (4-26)$$

وفيها:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{hm} + \frac{L}{K} + \frac{1}{h_{is}} \dots\dots\dots (4-27)$$

4-3 طريقة نسبة الحمل الشمسي

لغرض تحديد الأداء الحراري لأنظمة التدفئة الشمسية السلبية التي تستخدم الجدران المجمعمة والخازنة للحرارة (جدار ترمب والجدار المائي) استنبط الباحثان McFarland و Balcomb طريقة لحساب الأداء الشهري لجدار ترمب أو الجدار المائي تعرف بطريقة نسبة الحمل الشمسي استناداً على المحاكاة الساعية لهذه الجدران في 29 موقع مختلف وبواقع 6 أبنية في كل موقع. النتائج المتحصلة قد تم التعبير عنها بدلالة نسبة الطاقة الشمسية الممتصة إلى الأحمال الحرارية.

تعرف نسبة الحمل الشمسي الشهرية بالعلاقات التالية:

كمية الطاقة الشمسية الشهرية الممتصة

بواسطة الجدران الخازن

حمل البناية الشهري

= نسبة الحمل الشمسي الشهري (SLR)

وتساوي:

$$SLR = \frac{\xi \alpha \bar{H}_T N A_c}{(UA + A_c U_w) (DD)} \dots\dots\dots (٤-٢٨)$$

حيث:

ξ : معامل نفاذية الزجاج.

α : معامل امتصاصية سطح الجدار الخازن.

\bar{H}_T : المتوسط اليومي لشدة الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على الزجاج.

N: عدد أيام الشهر.

A_c : مساحة التجميع للجدار الخازن.

U: معامل الفقدان الحراري للبناية بدون الجدار الخازن.

A: مساحة البناية من دون الجدار الخازن.

U_w : معامل الفقدان الحراري للجدار الخازن.

(DD): عدد درجة يوم للشهر.

معادلة (٤-٢٨) يمكن التعبير عنها أيضاً بالعلاقة التالية:

$$SLR = \frac{SCI}{MLCR} \dots\dots\dots (٤ - ٢٩)$$

وفيها:

SCI: مؤشر القابلية الشمسية والذي يعتمد فقط على المناخ ويساوي:

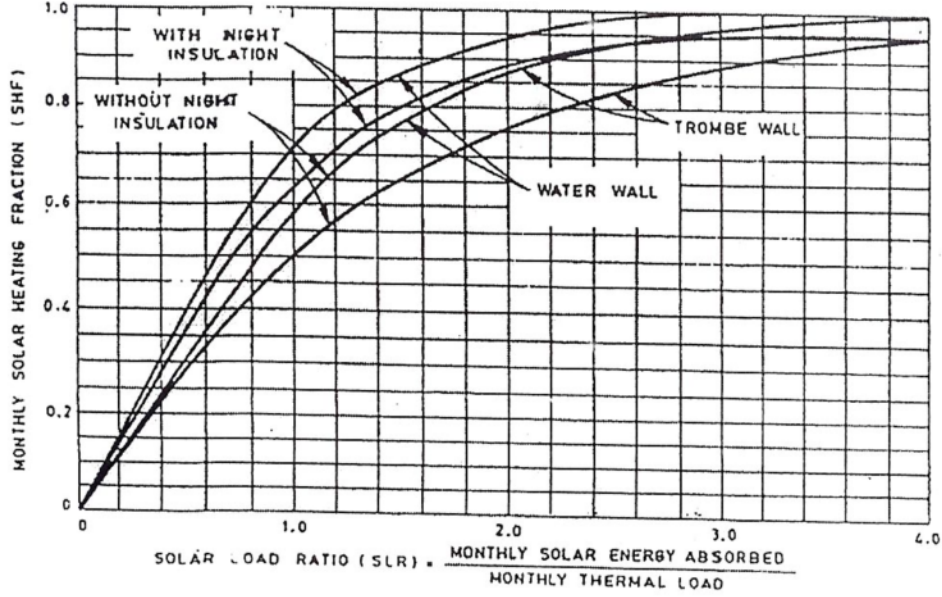
$$SCI = \xi \bar{H}_T (DD) \dots\dots\dots (٤ - ٣٠)$$

MLCR: نسبة حمل المجمع المعدلة وتعتمد فقط على هيكل البناية وتعطى بالعلاقة:

$$MLCR = \frac{UA + A_c U_w}{\alpha A_c} \dots\dots\dots (4 - 31)$$

في هذه الطريقة يتم أولاً تحديد جميع معاملات الفقدان الحراري للبناية ثم يتم بعد ذلك وباستخدام العلاقة (4-28) تحديد قيمة النسبة الشهرية للحمل الشمسي (SLR). الآن ومن

الشكل (٤-٤) تحدد قيمة الكسر الشهري للتدفئة الشمسية (SHF) المناظرة للقيمة (SLR) المحسوبة من العلاقة (٤-٢٨).



شكل (٤-٤): علاقة نسبة الحمل الشمسي الشهري وكسر التدفئة الشمسية الشهري لأنظمة الجدران الجامعة والخازنة للحرارة

قيمة كسر (مساهمة) التدفئة الشمسية (SHF) يمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية:

$$SHF = 1 - \frac{\text{Monthly Auxiliary Energy Used}}{\text{Monthly Heating Load}} \quad \dots\dots\dots (٤ - ٣٢)$$

ومنها فإن الطاقة المساعدة الشهرية المستخدمة في البناية تساوي حاصل ضرب المقدار (1-SHF) في حمل البناية. أما الطاقة المساعدة السنوية المطلوبة للبناية فتساوي مجموع الطاقة المساعدة الشهرية.

المنحنيات في الشكل (٤-٤) يمكن التعبير عنها رياضياً بالصيغ التالية:

$$SHF = A (SLR) \quad \text{For } SLR \leq E \quad \dots\dots\dots (٤ - ٣٣)$$

$$SHF = B - C \exp [- D(SLR)] \quad \text{For } SLR \geq E \quad \dots\dots\dots (٤ - ٣٤)$$

قيم المعاملات A, B, C, D و E معطاة في الجدول (٤-١)

جدول (٤-١) قيم المعاملات المستخدمة في العلاقات (٤-٣٣) و (٤-٣٤):

E	D	C	B	A	نوع الجدار الخازن للحرارة
٠,١	٠,٧٠٤٧	١,٠٣٩٢	١,٠١٣٧	0.4520	جدار ترمب بدون عازل ليلي
٠,٥	١,٠٩٤٨	١,١١٩٥	١,٠٠٧٤	٠,٧١٩٧	جدار ترمب مع عازل ليلي
٠,٨	١,٠٧٠١	١,٢٦٠٠	١,٠١٤٩	٠,٥٩٩٥	جدار مائي بدون عازل ليلي
٠,٧	١,٥٤٦١	١,٤٠٢٧	١,٠١٠٢	٠,٧٦٤٢	جدار مائي مع عازل ليلي

باستخدام طريقة (SLR) يتعين حساب كسر التدفئة الشمسية الشهري لكل شهر من أشهر التدفئة قبل إيجاد كسر التدفئة السنوي للبناءة أو مقدار التدفئة المساعدة السنوية المطلوبة لها.

٤-٤ طريقة الاستفادية [الانتفاعية]

تعتبر طريقة نسبة الحمل الشمسي محدودة الاستخدام وذلك بسبب عدم إمكانية هذه الطريقة في دراسة تأثير كل من عدد ألواح الزجاج، مقاومة العازل الليلي سعة الخزن الحراري للبناءة، امتصاصية الإشعاع الشمسي، والاختلاف في درجات حرارة الغرفة. قام الباحث Monsen وآخرون [١٧] بتطوير طريقة أخرى بالاستناد على الاستفادية أو الانتفاعية للإشعاع الشمسي تعرف بطريقة والتي نحتاج إلى مزيد من الحسابات من تلك التي تحتاجها الطريقة السابقة إلا أن هذه الطريقة تستطيع أن تغطي مدى أوسع بكثير من معاملات التصميم.

المتوسط الشهري من الطاقة المساعدة (Qaux) التي تحتاجها البناءة والتي تستخدم نظام تدفئة من جدار جامع وخازن للحرارة (جدار ترمب) يتم تحديدها في طريقة الاستفادية وذلك باستخدام الحدود النظرية العليا والدنيا لأداء النظام. ولغرض تبسيط المشكلة بشكل كبير هناك افتراضان يمكن تطبيقهما. الافتراض الأول مفاده، أن الطاقة المساعدة السنوية المطلوبة مع جدار ترمب الحاوي وغير الحاوي على فتحات تهوية تكون تقريباً متساوية وقد تم تأكيد هذا الافتراض من قبل الباحث Utzinger وآخرون [١٧].

أما الافتراض الثاني فينص على أن سعة الخزن الحراري للجدار الجامع والخازن للحرارة خلال الشهر تكون مهملة بالمقارنة مع جريان الطاقة الكلية في الجدار خلال الشهر مما ينتج عن ذلك تغير خطي في شكل توزيع درجة الحرارة المتوسطة الشهرية عبر الجدار.

إن جزءاً من الطاقة الممتصة من قبل الجدار الجامع والخازن للحرارة تفقد من السطح الخارجي للجدار عبر الزجاج إلى الهواء الخارجي أما الجزء المتبقي من الطاقة الممتصة فتذهب إلى الغرفة عبر الجدار.

$$\bar{H}_T(\bar{\xi}\alpha) = \bar{U}_L(\bar{T}_w - \bar{T}_a)\Delta t + \bar{U}_K(\bar{T}_w - \bar{T}_i)\Delta t \dots\dots\dots(٤ - ٣٥)$$

حيث:

\bar{H}_T : المتوسط الشهري للإشعاع اليومي الساقط على الزجاج.

$\bar{\xi}\alpha$: المتوسط الشهري لحاصل ضرب النفاذية والامتصاصية لتركيبية الزجاج والجدار.

\bar{T}_w : المتوسط الشهري لدرجة حرارة السطح الخارجي للجدار.

\bar{T}_a : المتوسط الشهري لدرجة حرارة الهواء الخارجي.

\bar{T}_i : المتوسط الشهري لدرجة حرارة هواء الغرفة.

Δt : عدد الثواني في الشهر الواحد.

\bar{U}_L : المتوسط الشهري لمعامل الفقدان الحراري من السطح الخارجي للجدار بدرجة

الحرارة \bar{T}_w إلى الهواء الخارجي بدرجة الحرارة \bar{T}_a وبوحدات $(W/m^2 \cdot ^\circ C)$

\bar{U}_K : معامل المواصلة من السطح الخارجي للجدار إلى هواء الغرفة، ويعطي بالعلاقة التالية:

$$U_k = \frac{h_{is} K}{K + h_{is} L} \dots\dots\dots(٤ - ٣٦)$$

وفيها:

h_{is} :معامل انتقال الحرارة من السطح الداخلي للجدار إلى هواء الغرفة.

K :معامل التوصيل الحراري لمادة الجدار.

L :سمك الجدار.

من العلاقة (٤-٣٥) فإن المتوسط الشهري لدرجة حرارة السطح الخارجي للجدار (\bar{T}_w) يساوي:

$$\bar{T}_w = \frac{\bar{H}_T(\bar{\xi}\alpha) + (U_k\bar{T}_i + \bar{U}_L\bar{T}_a)\Delta t}{(U_K + \bar{U}_L)\Delta t} \dots\dots\dots(٤ - 37)$$

وبالتالي فإن صافي الطاقة الشهرية الداخلة إلى الغرفة (Q_{in}) من الجدار الجامع والخازن للحرارة. يمكن تحديدها من العلاقة التالية:

$$Q_{in} = U_K A (\bar{T}_w - \bar{T}_i) N \dots\dots\dots(4 - 38)$$

حيث (A) تمثل مساحة الجدار و (N) يمثل عدد الأيام في الشهر.

الخطوات التي تم اتباعها من قبل الباحثين Monsen وآخرون [١٧] لإيجاد قيمة الكسر الشمسي للجدار الجامع والخازن للحرارة يمكن تلخيصها بالخطوات التالية:

أولاً / حساب القيمة المتوسطة الشهرية للإشعاع الكلي اليومي الساقط على الزجاج ($\overline{H_T}$) والقيمة المتوسطة الشهرية لحاصل ضرب نفاذية الزجاج في امتصاصية الجدار ($\overline{\zeta\alpha}$).
ثانياً/ حساب المتوسط الشهري لحمل البناية (L_a) من دون إدخال هيكل الجدار الحراري وذلك باستخدام العلاقة التالية:

$$L_a = (UA)_a (DD)_b \dots\dots\dots(٤ - ٣٩)$$

حيث :

$(UA)_a$: حاصل ضرب معامل المواصلة الكلي للبناية في مساحتها من دون إدخال هيكل الجدار الحراري.

$(DD)_b$: عدد درجة - يوم للشهر محسوب عند درجة حرارة اتزان T_b تساوي:

$$T_b = \left[T_i - \frac{\dot{g}}{(UA)_a} \right]$$

حيث \dot{g} يمثل معدل توليد الطاقة داخل البناية (إنارة، أشخاص، أجهزة، ...الخ). كما ويحسب المتوسط الشهري لفقدان الطاقة من الغرفة إلى الخارج عبر الجدار (L_w) وفي الحالة التي لا يكون فيها إشعاع شمسي ممتص من الجدار وذلك باستخدام العلاقة التالية:

$$L_w = U_w A(DD) \dots\dots\dots(٤ - ٤٠)$$

حيث:

(DD) : عدد درجة - يوم للشهر محسوب عند درجة الحرارة T_i .

U_w : معامل المواصلة المتوسط للجدار من داخل الغرفة إلى الهواء الخارجي ويعطى بالعلاقة:

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_L} + \frac{1}{h_{is}} + \frac{L}{K}} \dots\dots\dots(٤ - ٤١)$$

ثالثاً/ حساب قيمة المقدار (Q_{in}) والذي يمثل صافي انتقال الحرارة الشهري خلال الجدار وذلك باستخدام العلاقة (٤-٣٨) وبمساعدة العلاقات (٤-٣٦) و (٤-٣٧).

رابعاً/ حساب قيمة الطاقة الكلية الشهرية التي يمكن أن تفقد أو تزال من البناية (Q_{dump}) على افتراض عدم وجود سعة خزن في النظام وذلك من العلاقة التالية:

$$Q_{dump} = \frac{U_K A(\overline{\zeta\alpha})}{(U_L + U_K)} \overline{H_T} N \overline{\Phi} \dots\dots\dots(٤ - ٤٢)$$

حيث:

$\overline{\Phi}$: قيمة المتوسط الشهري لدالة انتفاعية أو فائدة الإشعاع والتي يمكن تحديدها إما باستخدام المنحنيات أو العلاقات التجريبية للشدة الحرجة.

خامساً/حساب قيمة الكسر الشمسي (F) وذلك بدلالة كل من F_i و Y . حيث F_i يمثل الحد الأعلى للكسر الشمسي عندما تكون للبناية سعة خزنية لا محدودة و Y تمثل النسبة الخزنية الصامتة (المفرغة) للبناية واللذين يمكن حسابهما كما يلي:

$$F_i = 1 - \frac{Q_{aux,i}}{L_a + L_w} = \left(\frac{L_w + Q_{in}}{L_a + L_w} \right) \dots\dots\dots (4-43)$$

And:

$$Y = \frac{S_b + 0.047S_w}{Q_{dump}} \dots\dots\dots (4-44)$$

حيث:

S_b : السعة الخزنية للبناية وتحسب من العلاقة التالية:

$$S_b = C_b (\Delta t_b) N \dots\dots\dots (4-45)$$

وفيها (C_b) تمثل السعة الخزنية الفعالة للبناية و Δt_b يمثل التذبذب المسموح لدرجة حرارة هواء الغرفة.

S_w : السعة الخزنية للجدار الجامع والخازن للحرارة وتحسب من العلاقة:

$$S_w = \rho C L A (\overline{\Delta T}_w) N \dots\dots\dots (4-46)$$

وفيها ρc () يمثل حاصل ضرب كثافة الجدار في حرارته النوعية و $(\overline{\Delta T}_w)$ يمثل المتوسط الشهري لفرق درجات الحرارة بين مركز الجدار وسطحه الداخلي.

أخيراً يجري حساب الكسر الشمسي F باستخدام العلاقة التالية:

$$F = \text{Min} \{PF_i + 0.88(1-p) (1-e^{1.26F_i}), 1.0\} \dots\dots\dots (4-47)$$

حيث:

$$p = (1-e^{-0.144Y})^{0.53} \dots\dots\dots (4-48)$$

أما الطاقة المساعدة المطلوبة Q_{aux} فتحسب كما يلي:

$$Q_{aux} = (L_a + L_w) (1-F) \dots\dots\dots (4-49)$$

لغرض إيجاد الكسر الشمسي السنوي أو كمية الطاقة المساعدة السنوية المطلوبة فإن الخطوات من ١ ولغاية ٥ يتم إعادتها لجميع أشهر التدفئة.

ملخص الفصل:

في هذا الفصل تم استعراض طرق عديدة لتحديد الأداء لنظام التدفئة الشمسية السلبي وذلك بهدف تقييم أداء و فاعلية الأبنية الشمسية السلبية وهذا يعتمد على حمل التدفئة للبناية ومن هذه الطرق : طريقة درجة-يوم ،طريقة حالة الاستقرار،طريقة نسبة الحمل الشمسي و طريقة الاستفادية و هذه الأخيرة هي من أنجح الطرق لتحديد الأداء للنظام السلبي.

الفصل الخامس

التحليل الحراري لجدار ترمب

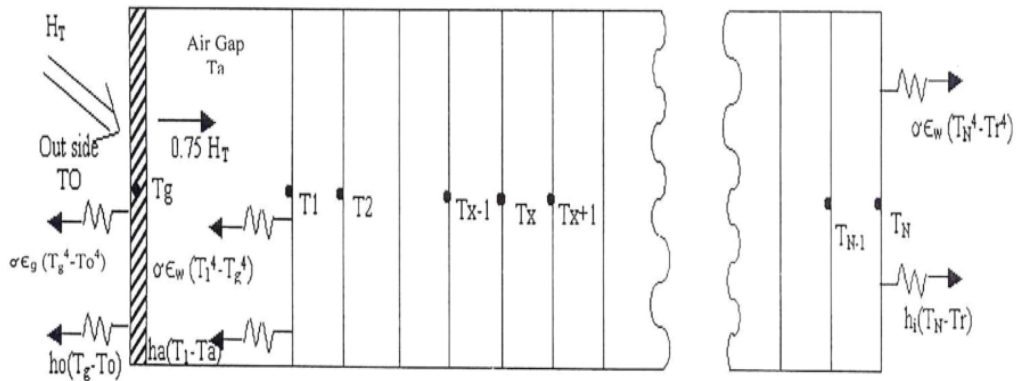
أنواع مختلفة من الجدران الجامعة والخازنة للحرارة تستخدم حالياً في منظومات التدفئة الشمسية السلبية. أحد هذه الأنواع قد تم تطويره من قبل الباحث ميشال ترمب حيث يتكون من كتلة سميكة من الخرسانة (الأسمنت) أو مواد أخرى ثقيلة التركيب تغطي بطبقة واحدة أو طبقتين من ألواح شفافة كالزجاج أو البلاستيك.

إن فكرة استخدام وتطوير جدار ترمب قد تم تناولها من قبل العديد من الباحثين خلال العقود القليلة المنصرمة، كما وتم خلال هذه الفترة تطوير عدد من الطرق لغرض حساب وتحديد درجات الحرارة خلال الجدار تحت ظروف بيئية مختلفة.

سنحاول في هذه الدراسة وضع علاقات للنموذج الرياضي يمكن من خلاله دراسة أداء نظام جدار ترمب تحت ظروف بيئية مختلفة كما ويمكن عن طريقه دراسة تأثير بعض العوامل كسمك الجدار والمواد المكونة له على الأداء الحراري لهذا النظام.

النموذج الرياضي لنظام جدار ترمب:

لغرض بناء نموذج رياضي لنظام جدار ترمب سنفترض أولاً بأن عملية انتقال الحرارة خلال الجدار هي عملية انتقال غير مستقرة وباتجاه واحد فقط هو الاتجاه (X) على سبيل المثال، كما وسنفترض أيضاً بأن المادة المكونة للجدار هي مادة متجانسة بخواص ثابتة. لذا فإن معادلات موازنة الطاقة في مقاطع الجدار المختلفة (شكل ٥-١) يمكن التعبير عنها كما يلي:

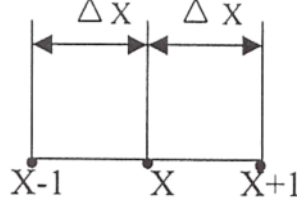


شكل (٥-١) المقاطع المختلفة لجدار ترمب

أولاً: معادلة موازنة الطاقة (معادلة التوصيل) لمادة الجدار

معادلة موازنة الطاقة داخل مقطع من الجدار كالمقطع (X) الموضح في شكل (٢-٥)

يمكن أن يعبر عنها بالشكل التالي:



شكل (٢-٥) يوضح مقطع بداخل الجدار

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \rho C \frac{\partial T_x}{\partial t} \dots \dots \dots (٥-١)$$

حيث:

K: معامل التوصيل الحراري لمادة الجدار.

ρ : كثافة مادة الجدار.

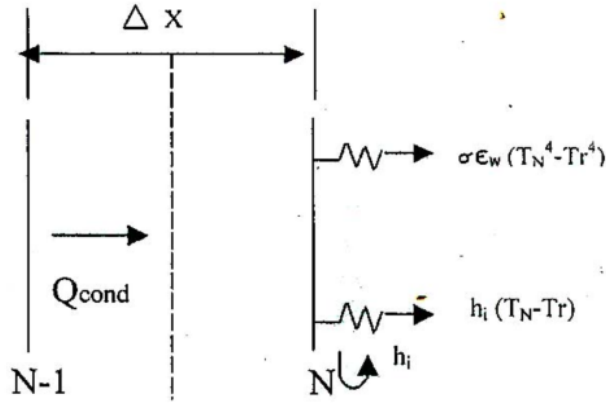
C: الحرارة النوعية لمادة الجدار.

T_x : درجة حرارة الجدار في المقطع (X).

t: الزمن.

ثانياً: معادلة موازنة الطاقة للسطح الداخلي للجدار

شكل (٣-٥) يمثل مقطع السطح الداخلي للجدار (المقطع N) والمواجهة للحيز المدفأ (r) حيث يمكن كتابة معادلة موازنة الطاقة لهذا المقطع كما يلي:



(شكل ٣-٥): مقطع السطح الداخلي للجدار

$$(Q_{cond})_{N-1 \rightarrow N} - (Q_{conv})_{N \rightarrow r} - (Q_{rad})_{N \rightarrow r} = \rho C \frac{\partial T_N}{\partial t} \dots \dots \dots (٥-٢)$$

حيث:

$(Q_{cond})_{N-1 \rightarrow N}$: الحرارة المنقولة بالتوصيل من المقطع (N-1) إلى المقطع (N) والذي يمثل السطح الداخلي للجدار.

$(Q_{conv})_{N \rightarrow r}$: الحرارة المفقودة بالحمل من المقطع (N) إلى الحيز المدفأ (r).

$(Q_{rad})_{N \rightarrow r}$: الحرارة المفقودة بالإشعاع من المقطع (N) إلى حيز المدفأ (r).

و بالتعويض عن الحدود في المعادلة (٥-٢) بما يساويها تصبح بالشكل التالي :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial T}{\partial x} \right) - h_i (T_N - T_r) - \sigma \epsilon_w (T_N^4 - T_r^4) = \rho C \frac{\partial T_N}{\partial t} \dots \dots \dots (٥-٣)$$

وفيها:

h_i : معامل انتقال الحرارة الحلمي للسطح الداخلي للجدار.

σ : ثابت ستيفان - بولتزمان.

ϵ_w : انبعاثية السطح الداخلي للجدار.

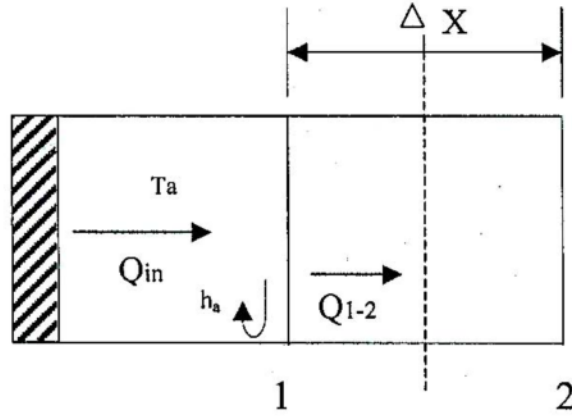
T_N : درجة حرارة السطح الداخلي للجدار.

T_r : درجة حرارة الهواء في الحيز المدفأ.

ثالثاً: معادلة موازنة الطاقة للسطح الخارجي للجدار

شكل (5-4) يمثل مقطع السطح الخارجي للجدار (المقطع 1) حيث يمكن كتابة معادلة

موازنة الطاقة لهذا المقطع بالشكل التالي:



شكل (5-4) يوضح مقطع السطح الخارجي للجدار

$$Q_{in} - (Q_{conv})_{w \rightarrow a} - (Q_{rad})_{w \rightarrow g} - (Q_{cond})_{1 \rightarrow 2} = \rho C \frac{\partial T_1}{\partial t} \dots \dots \dots (5-4)$$

وفيها:

Q_{in} : الطاقة الشمسية الساقطة على السطح الخارجي للجدار والممتصة منه، قيمة هذه الطاقة يمكن أن تؤخذ مساوية للمقدار $(0.75 \times H_T \times \alpha_w)$.

$(Q_{conv})_{w \rightarrow a}$: الحرارة المفقودة بالحمل من سطح الجدار الخارجي إلى الهواء في الفجوة ما بين اللوح الزجاجي والجدار.

$(Q_{rad})_{w \rightarrow g}$: صافي التبادل الحراري الإشعاعي ما بين السطح الخارجي للجدار واللوح الزجاجي.

الحرارة السارية بالتوصيل من السطح الخارجي للجدار (المقطع ١) إلى المقطع الذي يليه (المقطع ٢).

بالتعويض عن الحدود في المعادلة (٤-٥) بما يساويها تصبح بالشكل التالي:

$$0.75 \times H_T \times \alpha_w - h_a (T_1 - T_a) - \frac{\sigma(T_1^4 - T_g^4)}{\frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1} - \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \rho C \frac{\partial T_1}{\partial t} \dots (5-5)$$

وفيها:

H_T : شدة الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على اللوح الزجاجي.

α_w : امتصاصية السطح الخارجي للجدار.

h_a : معامل انتقال الحرارة الحملية ما بين السطح الخارجي للجدار وهواء الفجوة.

ε_w : انبعاثية السطح الخارجي للجدار.

ε_g : انبعاثية الزجاج.

T_1 : درجة حرارة السطح الخارجي للجدار.

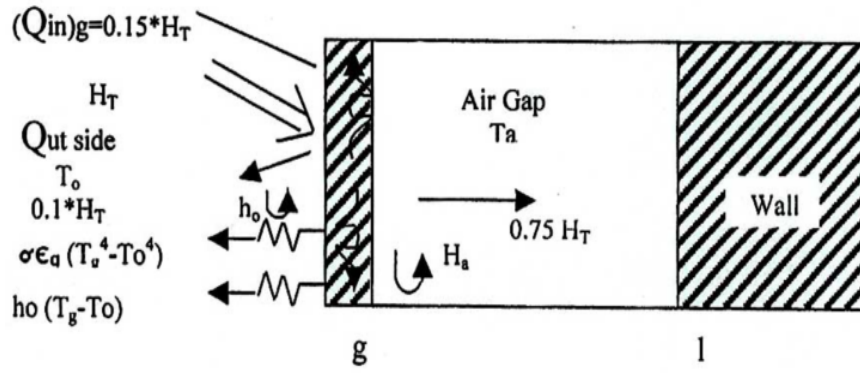
T_a : درجة حرارة هواء الفجوة.

T_g : درجة حرارة الزجاج.

رابعاً: معادلة موازنة الطاقة لمقطع الزجاج

شكل (5-٥) يمثل مقطع الزجاج حيث يعبر عن معادلة موازنة الطاقة في هذا

المقطع كما يلي:



شكل (٥-٥): مقطع الزجاج

$$(Q_{in})_g - (Q_{conv})_{g \rightarrow 0} - (Q_{rad})_{g \rightarrow 0} - (Q_{conv})_{g \rightarrow a} - (Q_{rad})_{g \rightarrow w} + (Q_{ref})_{w \rightarrow g} = (\rho C)_g \frac{\partial T_g}{\partial t} \dots \dots \dots (6-5)$$

حيث:

$(Q_{in})_g$: الطاقة الشمسية الممتصة في الزجاج.

$(Q_{conv})_{g \rightarrow 0}$: الحرارة المفقودة بالحمل من الزجاج إلى المحيط الخارجي.

$(Q_{rad})_{g \rightarrow 0}$: الحرارة المفقودة بالإشعاع من الزجاج إلى المحيط الخارجي.

$(Q_{conv})_{g \rightarrow a}$: الحرارة المفقودة بالحمل من الزجاج إلى الهواء في الفجوة الهوائية.

$(Q_{rad})_{g \rightarrow w}$: صافي التبادل الحراري الإشعاعي ما بين الزجاج والسطح الخارجي للجدار.

$(Q_{ref})_{w \rightarrow g}$: نسبة الحرارة الشمسية الممتصة من الزجاج والمنعكسة من السطح الخارجي للجدار.

للجدار.

إن نسبة الحرارة الشمسية الممتصة من الزجاج والمنعكسة منه يمكن أن تؤخذ بحدود ١٥% و ١٠% على التوالي من شدة الإشعاع الشمسي الكلي (H_T) الساقط على الزجاج [١٥]. وبالتالي فإن معادلة موازنة الطاقة أعلاه وبعد التعويض عن حدود هذه المعادلة بما يساويها يمكن أن تكتب بالشكل التالي.

$$0.15 \times H_T - h_o (T_g - T_o) - \sigma \epsilon_g (T_g^4 - T_o^4) - h_a (T_g - T_a) - \frac{\sigma (T_g^4 - T_w^4)}{\frac{1}{\epsilon_g} + \frac{1}{\epsilon_w} - 1} + 0.15 \times 0.75 \times H_T (1 - \alpha_w) = (\rho C)_g \frac{\partial T_g}{\partial t} \dots \dots \dots (7-5)$$

وفيها:

h_0 : معامل انتقال الحرارة الحملية ما بين الزجاج والهواء الخارجي.

$(pc)_g$: حاصل ضرب كثافة الزجاج في حرارته النوعية.

T_0 : درجة حرارة الهواء الخارجي.

باختيار طريقة عددية مناسبة يمكن من خلالها تحويل المعادلات التفاضلية في النموذج الرياضي أعلاه والمتمثلة بالمعادلات (1-5، 3-5، 5-5، 7-5) إلى معادلات جبرية، ثم حل هذه المعادلات للحصول على توزيع درجات الحرارة في مقاطع الجدار المختلفة. من معرفة توزيع درجات الحرارة هذا سيكون بالإمكان معرفة وتحديد كميات الحرارة السارية خلال الجدار والمنتقلة منه إلى الحيز المدفأ.

ملخص الفصل :

تم في هذا الفصل وضع علاقات لنموذج رياضي يمكن من خلاله دراسة أداء نظام جدار ترمب تحت ظروف بيئية مختلفة كما و يمكن عن طريقه دراسة تأثير بعض العوامل كسمك الجدار و المواد المكونة على الأداء الحراري لهذا النظام، وذلك خلال مقطع الجدار، الجدار الداخلي و الخارجي ومقطع الزجاج.

الفصل السادس

التحليل العددي لمعادلات نظام جدار ترمب التفاضلية

6 - 1 مقدمة

المعادلة التفاضلية المنفردة التي يمكن مصادفتها ترمز في العادة إلى مبدأ محدد للحفظ، فكل معادلة تستخدم كمية فيزيائية محددة كمتغير تابع وتستوجب وجود حالة اتزان فيما بين المعاملات المختلفة المؤثرة على هذا المتغير. المتغيرات التابعة للمعادلات التفاضلية غالباً ما تكون بصورة خواص نوعية أي كميات مأخوذة على أساس وحدة الكتلة [١٨].

إن المعادلة التفاضلية عبارة عن مجموعة من الحدود، كل حد من هذه الحدود يمثل تأثيراً على أساس وحدة الحجم، وجميع الحدود مع بعضها تقتضي أو تتضمن التوازن والحفظ. إذا ما تم التعبير عن المتغير التابع بالرمز ϕ على سبيل المثال فإن المعادلة التفاضلية العامة يمكن أن تكتب بالصيغة التالية :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \text{div}(\rho u\phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad} \phi) + s \quad \dots\dots\dots(6-1)$$

حيث Γ يمثل معامل الانتشار، و s يمثل حد المصدر.

إن الحدود الأربعة في المعادلة أعلاه يمكن أن تمثل على التوالي حد عدم الاستقرار، الحمل، الانتشار، المصدر وإن الأسلوب المتبع لتحويل أي معادلة تفاضلية منفردة إلى الشكل العام يتلخص في معالجة هذه المعادلة لمتغير تابع معين حتى تصبح حدود عدم الاستقرار والحمل والانتشار متوافقة مع شكلها في الصيغة العامة. يمثل معامل $(\text{grad} \phi)$ في حد الانتشار بالرمز (Γ) في حين تؤخذ جميع الحدود المتبقية في الجهة اليمنى من المعادلة التفاضلية على أنها حد المصدر [٢٤].

يشمل الحل العددي للمعادلة التفاضلية على مجموعة من الأعداد أو الأرقام التي يمكن فيها إنشاء توزيع للمتغير التابع (ϕ) ، فإذا افترض بأن تمثيل التغير في المتغير (ϕ) تقرر أن يكون بصيغة متعددة الحدود في X أي:

$$\phi = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_mx^m$$

ثم استخدمت طريقة عددية لإيجاد العدد اللامتناهي من المعاملات $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$ ، فإن ذلك سيسمح بتقدير قيمة ϕ عند أي موقع X ، هذا الأجراء سيكون في العادة غير ملائم إذا كان الهدف هو الحصول على قيم ϕ في مواقع مختلفة، وذلك لأن قيم المعاملات a سوف لن يكون لها معنى وبالتالي سيتطلب الأمر إجراء عملية التعويض لغرض الوصول إلى القيم المطلوبة للمتغير ϕ . إن ذلك يمكن أن يقود إلى السؤال التالي :

لماذا لا يتم إنشاء طريقة للحساب تستخدم قيم ϕ في عدد من النقاط المعطاة كمجاهيل أولية؟. في الحقيقة، إن معظم الطرق العددية المستخدمة حالياً في حل المعادلات التفاضلية تعمل بموجب هذا المبدأ. فالطريقة العددية تعتبر أن المجاهيل الأساسية هي قيم المتغير التابع في عدد متناه من المواقع داخل مجال الحساب يطلق عليها بالنقاط العقدية وإنها أي الطريقة ستتضمن مهمة تجهيز مجموعة من معادلات جبرية خاصة بهذه المجاهيل ثم وضع قاعدة أو نظام لحل هذه المعادلات. إن تسليط الانتباه على القيم في النقاط العقدية يعني استبدال المعلومات المتواصلة التي يحتويها الحل المضبوط للمعادلة التفاضلية بقيم منفصلة أو مجزئة غير مترابطة، وإن الطريقة العددية التي تقوم بتجزئة توزيع المتغير ϕ يطلق عليها طريقة التجزئة. أما المعادلات الجبرية والتي تحتوي على قيم ϕ المجهولة في النقاط العقدية المختارة والتي سنطلق عليها الآن بمعادلات التجزئة فيتم اشتقاقها من المعادلات التفاضلية الحاكمة للمتغير ϕ ، وخلال هذا الاشتقاق يجب استخدام بعض الافتراضات حول كيفية تغير ϕ بين النقاط العقدية.

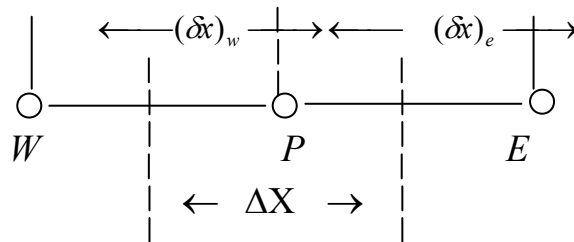
٦-٢ طرق اشتقاق معادلات التجزئة - صيغة الحجم المحكوم

إن الفكرة الأساسية لصيغة الحجم المسيطر هي في الواقع سهلة الإدراك والفهم حيث تقتضي بأن يقسم مجال الحساب إلى عدد من الحجم المحكومة غير المترابطة بحيث يكون هناك حجم مسيطر واحد حول كل نقطة عقدية يتم خلاله تكامل للمعادلة التفاضلية، ولتقدير التكامل المطلوب يجب استخدام نوع معين من التوزيع عادة ما يكون بهيئة لوصف التغير في قيم ϕ بين النقاط العقدية. إن نتيجة ذلك ستكون معادلات تجزئة تحتوي على قيم ϕ لمجموعة من النقاط العقدية [١٨]. ولتوضيح المبدأ المذكور أعلاه سنأخذ حالة التوصيل الحراري المستقر أحادي الاتجاه والتي يمكن أن تعطي علاقته التفاضلية بالشكل التالي:

$$\frac{d}{dx} \left(k \frac{dT}{dx} \right) + s = 0 \quad \dots \dots \dots (٦ - ٢)$$

حيث S يمثل معدل التوليد الحراري لوحدة الحجم .

ولغرض اشتقاق معادلة التجزئة سيتم استخدام نظام النقاط العقدية الموضحة في الشكل التالي، شكل (٦-١).



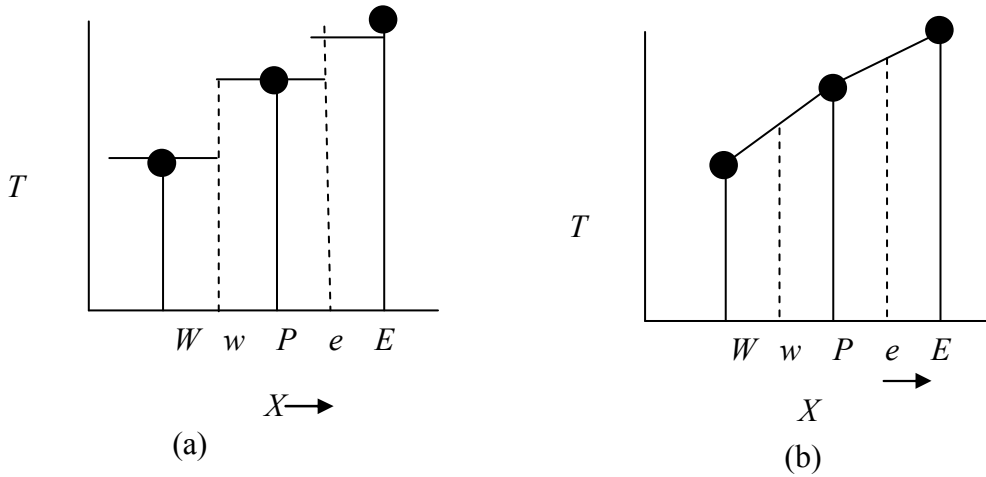
شكل (٦ - ١) نظام النقاط العقديّة لمسألة أحادية الاتجاه.

تبين الخطوط المنقطعة في الشكل أوجه الحجم المسيطر أما الحروف E و W فتشير إلى هذه الأوجه.

بتكامل المعادلة (٢ - ٦) خلال الحجم المسيطر ذو السمك ΔX ، نحصل على

$$(k \frac{dT}{dx})_e - (k \frac{dT}{dx})_w + \int_w^e S dx = 0 \dots\dots\dots (٦ - ٣)$$

ولغرض التقدم أكثر في الحل ستكون هناك حاجة إلى توزيع افتراضي أو علاقة استكمال لدرجة الحرارة، شكل (٢ - ٦) يبين توزيعين افتراضيين بسيطين، التوزيع الأول يقترح بأن قيمة درجة الحرارة T في النقطة العقديّة تسود خلال الحجم المسيطر المحيط لهذه النقطة، وبالتالي فإنه سيكون بهيئة التدرج الموضح في الجزء (a) من الشكل، في هذا النوع من التوزيع تكون قيمة الميل dT/dx غير محدد أو معرفة عند أوجه الحجم المسيطر e ، w أما التوزيع الثاني والذي لا يعاني من هذه المشكلة والموضح في الشكل (٦ - ٢ - b) فسوف يكون بهيئة قطعة وفيه تستخدم دالة استكمال خطية بين النقاط العقديّة.



شكل (٦ - ٢) توزيعين افتراضيين مبسطين لدرجة الحرارة

(a) توزيع بهيئة تدرج (b) توزيع بهيئة قطعة

بتقدير قيمة المشتقة dT/dx في المعادلة (٦ - ٣) باستخدام نوع التوزيع بهيئة قطعة، نحصل على

معادلة بالشكل:

$$\frac{K_e(T_E - T_p)}{(\delta\chi)_e} - \frac{K_w(T_p - T_w)}{(\delta\chi)_w} + \bar{S}\Delta X = 0 \dots\dots\dots (٦ - ٤)$$

حيث \bar{S} يمثل القيمة المتوسطة لـ S خلال الحجم المسيطر ويعبر عن حد المصدر وسيكون من

المفيد وضع معادلة التجزئة أعلاه (معادلة ٦ - ٤) بالشكل التالي:

$$a_p T_p = a_E T_E + a_w T_w + b \dots\dots\dots(٦ - ٥)$$

حيث :

$$\left. \begin{aligned} a_E &= \frac{K_e}{(\delta x)_e}, a_w = \frac{K_w}{(\delta x)_w} \\ a_p &= a_E + a_w, b = \bar{S} \Delta X \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(٦ - ٦)$$

في الطريقة العددية المستخدمة، يتم تحويل حد المصدر (\bar{S}) إلى صيغة خطية وذلك من خلال التعبير عن هذا الحد بما يلي:-

$$\bar{S} = S_c + S_p T_p \dots\dots\dots (٦ - ٧)$$

حيث S_c يمثل الجزء الثابت من الحد S بينما S_p يمثل معامل لدرجة الحرارة T_p .
أما أسلوب معالجة حد عدم الاستقرار في المعادلة التفاضلية باستخدام صيغة الحجم المسيطر فسنحاول توضيحه من خلال اشتقاق معادلة التجزئة الخاصة بالتوصيل الحراري غير المستقر أحادي الاتجاه والذي يمكن التعبير عنه بالمعادلة التفاضلية التالية:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial T}{\partial x} \right) \dots\dots\dots (٦ - ٨)$$

والتي سنفترض فيها بأن قيمة حاصل الضرب ρc ثابتة .

نظرا لكون الزمن أحداثي أحادي الاتجاه، لذا فإننا سنحصل على الحل وذلك من خلال السير في الزمن انطلاقا من توزيع ابتدائي لدرجة الحرارة، فعند خطوة زمن تقليدية ستكون المهمة إعطاء قيم لدرجة الحرارة في النقاط العقدية عند الزمن t ثم إيجاد قيم درجة الحرارة في هذه النقاط عند الزمن $t + \Delta t$ ، سيشار إلى القيم القديمة المعطاة لدرجة الحرارة في النقاط العقدية بـ T_p^0, T_E^0, T_w^0 ، أما القيم الجديدة (غير المعروفة) لدرجة الحرارة في الزمن $t + \Delta t$ عند هذه النقاط فسيشار إليها بـ T_p^1, T_E^1, T_w^1 ، سيتم الآن اشتقاق معادلة التجزئة وذلك بتكامل المعادلة (٦-٨) خلال الحجم المسيطر الموضح في شكل (٦-١) وخلال فترة زمن من t إلى $t + \Delta t$ ، ليعطي:

$$\rho c \int_w^e \int_t^{t+\Delta t} \frac{\partial T}{\partial t} dt dx = \int_t^{t+\Delta t} \int_w^e \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx dt \dots\dots\dots (٦ - ٩)$$

ولغرض تمثيل الحد $\partial T / \partial t$ سنفترض بأن قيمة درجة الحرارة في النقطة العقدية ستسود خلال الحجم المسيطر، لذا فإن :

$$\rho c \int_w^e \int_t^{t+\Delta t} \frac{\partial T}{\partial t} dt dx = \rho c \Delta x (T_p^1 - T_p^0) \dots \dots \dots (6-10)$$

أما الحد $K \frac{\partial T}{\partial x}$ في المعادلة (9 - 6) فسيتم معالجته بإتباع مبدأ الاستقرار والذي تم توضيحه سابقاً، حيث سنحصل على: -

$$\rho c \Delta x (T_p^1 - T_p^0) = \int_t^{t+\Delta t} \left\{ \frac{K_e (T_E - T_p)}{(\delta x)_e} - \frac{K_w (T_p - T_w)}{(\delta x)_w} \right\} dt \dots \dots \dots (6-11)$$

عند هذا المستوى من الحل سنكون بحاجة إلى افتراض حول تغير قيم درجات الحرارة T_w, T_E, T_p مع الزمن من t حتى $t + \Delta t$. عدد من الافتراضات ممكنة بعض منها يمكن تعميمه باقتراح أن :

$$\int_t^{t+\Delta t} T_p dt = [f(T_p^1) + (1-f)T_p^0] \Delta t \dots \dots \dots (6-12)$$

وفيها f يمثل معامل الثقل والذي تتراوح قيمته بين 0 و 1.

وباستخدام نفس الافتراض أعلاه (معادلة 12 - 6) في تكامل كل من T_E و T_w فإننا سنحصل من العلاقة (11 - 6) على :

$$\rho c \frac{\Delta x}{\Delta t} (T_p^1 - T_p^0) = f \left[\frac{K_e (T_E^1 - T_p^1)}{(\delta x)_e} - \frac{K_w (T_p^1 - T_w^1)}{(\delta x)_w} \right] + (1-f) \left[\frac{K_e (T_E^0 - T_p^0)}{(\delta x)_e} - \frac{K_w (T_p^0 - T_w^0)}{(\delta x)_w} \right] \dots \dots \dots (6-13)$$

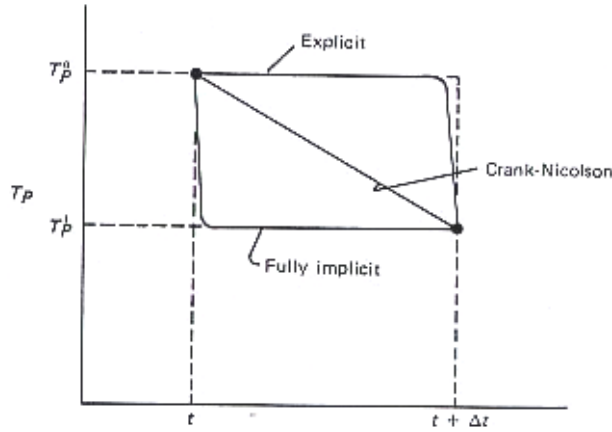
وبرفع الرمز العلوي 1 من المعادلة أعلاه مع التنكير بأن T_w, T_E, T_p تمثل القيم الجديدة لدرجة الحرارة T في الزمن $t + \Delta t$ ، فإن النتيجة تكون:

$$a_p T_p = a_E [f T_E + (1-f) T_E^0] + a_w [f T_w + (1-f) T_w^0] + [a_p^0 - (1-f)a_E - (1-f)a_w] T_p^0 \dots \dots \dots (6-14)$$

حيث:

$$\left. \begin{aligned} a_E &= \frac{K_e}{(\delta x)_e}, a_w = \frac{K_w}{(\delta x)_w} \\ a_p &= fa_E + fa_w + a_p^0 a_p^0 = \frac{\rho c \Delta x}{\Delta t}, \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15 - 6)$$

باستخدام قيم نوعية محددة لمعامل النقل (f)، فإن معادلة التجزئة (١٤ - ٦) يمكن اختصارها إلى أحد المخططات المعروفة جيداً للمعادلات التفاضلية ذات القطع المكافئ. فعند $f = 0$ نصل إلى المخطط الصريح، وعند $f = 0.5$ نصل إلى مخطط كرانك نيكولسون [١٨]، وعند $f = 1.0$ نصل إلى المخطط الضمني التام، شكل (٦ - ٣) يوضح تغير درجة الحرارة T_p مع الزمن t لهذه الأنواع من المخططات.



شكل (٦ - ٣) تغير درجة الحرارة مع الزمن عند المخططات الثلاثة

فالمخطط الصريح يفترض بشكل أساسي بأن قيمة درجة الحرارة القديمة T_p^0 ستكون هي السائدة خلال كامل خطوة الزمن ما عدا عند الزمن $t + \Delta t$ ، المخطط الضمني التام يفترض أنه عند الزمن t سوف تهبط قيمة درجة الحرارة T_p بشكل مفاجئ وسريع من T_p^0 إلى T_p^1 وتبقى قيمتها عند T_p^1 خلال كامل خطوة الزمن، أما مخطط كرانك نيكولسون فيفترض وجود تغير خطي في قيمة T_p خلال خطوة الزمن t إلى $t + \Delta t$.

في هذه الدراسة سيتم اختيار قيمة لمعامل النقل f تساوي ١ (أي اختيار المخطط الضمني) في الحل العددي ويعود السبب في ذلك إلى أن هذه القيمة سوف لن تسمح بوجود أي إمكانية تجعل قيمة معامل درجة الحرارة T_p^0 في المعادلة (١٤-٦) تأخذ إشارة سالبة، حيث أن وجود الإشارة السالبة في أحد معاملات معادلة التجزئة المتحصلة من الطريقة العددية المعتمدة على صيغة الحجم المسيطر يتنافى مع شروط تطبيق هذه الطريقة والتي تستوجب أن تكون جميع المعاملات في معادلة التجزئة موجبة الإشارة.

بناءً على ما تقدم فإن معادلة التجزئة (٤-٦) وعند أخذ المخطط الزمني ($f = 1$) بعين الاعتبار ستصبح بالشكل التالي :

$$a_p T_p = a_E T_E + a_w T_w + b \dots\dots\dots (٦ - ١٦)$$

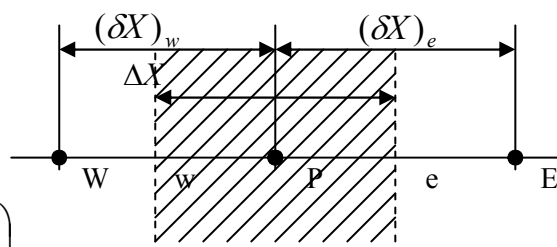
حيث :

$$\left. \begin{aligned} a_E &= \frac{K_e}{(\delta x)_e}, a_w = \frac{K_w}{(\delta x)_w}, a_p^0 = \frac{\rho c \Delta x}{\Delta t} \\ b &= sc \Delta x + a_p^0 T_p^0, a_p = a_E + a_w + a_p^0 - sp \Delta x \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (٦- ١٧)$$

٦- ٣ تحويل المعادلات التفاضلية إلى معادلات جبرية

سيتم في هذه الفقرة تحويل المعادلات التفاضلية لنظام جدار ترمب والتي تم ذكرها في الفصل الخامس من الدراسة إلى معادلات جبرية (معادلات تجزئة) وذلك باستخدام الطريقة العددية المستندة على صيغة الحجم المحكوم والتي تم إيضاحها في الفقرة السابقة (فقرة ٦ - ٢) .

٦ - ٣ - ١ تحويل معادلة موازنة الطاقة (معادلة التوصيل) لمادة الجدار



$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \partial \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial T}{\partial x} \right)$$

بعد أن يتم معالجة حد عدم الاستقرار وحده التوصيل أحادي الاتجاه نحصل على المعادلة التالية :

$$\rho c \frac{\Delta x}{\Delta t} (T_p - T_p^0) = f \left[\frac{K_e (T_E - T_p)}{(\delta x)_e} - \frac{K_w (T_p - T_w)}{(\delta x)_w} \right] + 1 - f \left[\frac{K_e (T_E^0 - T_p^0)}{(\delta x)_e} - \frac{K_w (T_p^0 - T_w^0)}{(\delta x)_w} \right] \dots\dots\dots (٦ - ١٨)$$

حيث f يمثل معامل النقل.

المعادلة (١٨ - ٦) يمكن أن تكتب أيضا بالصيغة التالية :-

$$a_p T_p = a_E [f T_E + (1-f) T_E^0] + a_w [f T_w + (1-f) T_w^0] + [a_p^0 - (1-f) a_E - (1-f) a_w] T_p^0 \quad (١٩ - ٦)$$

حيث :

$$a_E = \frac{K_e}{(\delta x)_e}, a_w = \frac{K_w}{(\delta x)_w} \quad \rho c \Delta x \quad (٦-٢٠)$$

$$a_p = f a_E + f a_w + a_p^0$$

وباستخدام المخطط الضمني التام ($f=1$)، فإن المعادلة (١٩ - ٦) ستصبح بالشكل:

$$a_p T_p = a_E T_E + a_w T_w + b \quad (٦ - ٢١)$$

حيث :

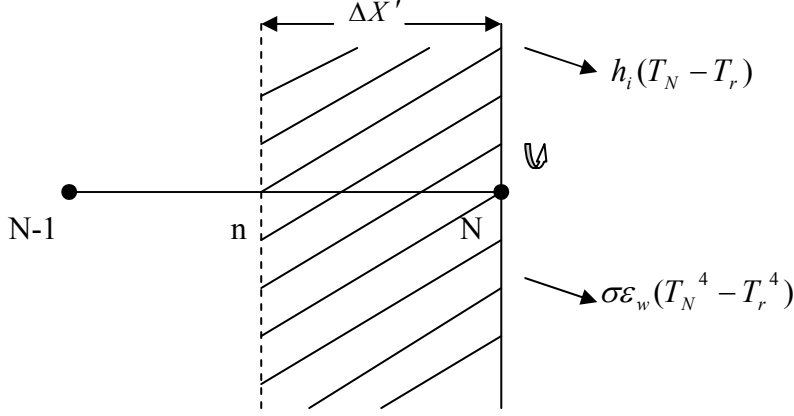
$$\left. \begin{aligned} a_E &= \frac{K_e}{(\delta x)_e}, a_w = \frac{K_w}{(\delta x)_w} / a_p^0 = \frac{\rho c \Delta X}{\Delta t} \\ b &= S_c \Delta X + a_p^0 T_p^0, a_p = a_E + a_w + a_p^0 - S_p \Delta X \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (٦-٢٢)$$

في معادلة موازنة الطاقة لمادة الجدار لا يوجد هناك حد للمصدر، وبالتالي فإن قيمة S_c ستساوي

صفر وكذلك قيمة S_p

٦ - ٣ - ٢ تحويل معادلة موازنة الطاقة للسطح الداخلي للجدار

$$(Q_{cond})_{N-1 \rightarrow N} - (Q_{conv})_{N \rightarrow r} - (Q_{rad})_{N \rightarrow r} = \rho c \frac{\partial T_N}{\partial t}$$



$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial T}{\partial x} \right) - h_i(T_N - T_r) - \sigma \epsilon_w (T_N^4 - T_r^4) = \rho c \frac{\partial T_N}{\partial t}$$

وبعد أن تتم معالجة الحدود في المعادلة أعلاه ، تصبح بالشكل :

$$\rho c \Delta X' (T_N - T_N^0) = f \left[\frac{K_i (T_{N-1} - T_N)}{(\Delta X)_n} \right] + (1-f) \left[\frac{K_i (T_{N-1}^0 - T_N^0)}{(\Delta X)_n} \right] + \bar{S} \Delta X \dots \dots \dots (6-23)$$

حيث :

$$\bar{S} = h_i(T_r - T_N) + \sigma \epsilon (T_r^4 - T_N^4)$$

وبموجب الصيغة الخطية لحد المصدر (\bar{S}) فإنه سيساوي :

$$\bar{S} = S_c + S_N T_N$$

وفيها:

$$S_c = h_i T_r + \sigma \epsilon_w T_r^4$$

$$S_N = -(h_i + \sigma \epsilon_w T_N^3)$$

وبموجب المخطط الضمني التام ($f=1$) فإن معادلة (٦-٢٣) تصبح بالشكل:

$$\dots \dots \dots (6-24) a_N T_N = a_{N-1} T_{N-1} + b$$

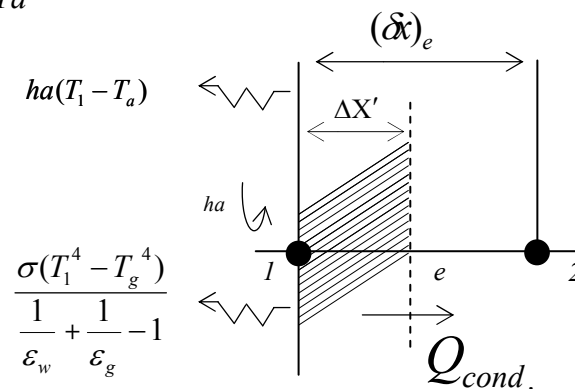
حيث :

$$\left. \begin{aligned}
 a_{N-1} &= \frac{K_i}{(\delta x)_n}, b = Sc \Delta x' + a_N^0 T_N^0 \\
 a_N^0 &= \frac{\rho c \Delta x'}{\Delta t}, a_N = a_{N-1} + \delta_N^0 \Delta X'
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6-25)$$

٦-٣-٣ تحويل معادلة موازنة الطاقة للسطح الخارجي للجدار

$$Q_{in} - (Q_{conv})_{1 \rightarrow a} - (Q_{rad})_{1 \rightarrow g} - (Q_{cond})_{1 \rightarrow 2} = \rho c \frac{\partial T_1}{\partial t}$$

(Gap Temp.) T_a



$$0.75 * H_T * \alpha_w - ha(T_1 - T_a) - \frac{\sigma(T_1^4 - T_g^4)}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_g} - 1} - \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \rho c \frac{\partial T_1}{\partial t}$$

وبمعالجة حدود المعادلة أعلاه، تصبح بالشكل التالي :-

$$\bar{s} \Delta x - f \left[\frac{K_e (T_1 - T_2)}{(\delta x)_e} \right] + (1-f) \left[\frac{K_e (T_1^0 - T_2^0)}{(\delta x)_e} \right] \dots\dots\dots (٦-٢٦) \quad |$$

حيث :

$$\bar{S} = Sc + S_1 T_1$$

وفيها S_1 و Sc تأخذ القيم التالية :

$$Sc = 0.75H_T\alpha_w + haTa + \frac{\sigma Tg^4}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_g} - 1}$$

$$S_1 = -\left(ha + \frac{\sigma T_1^3}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_g} - 1}\right)$$

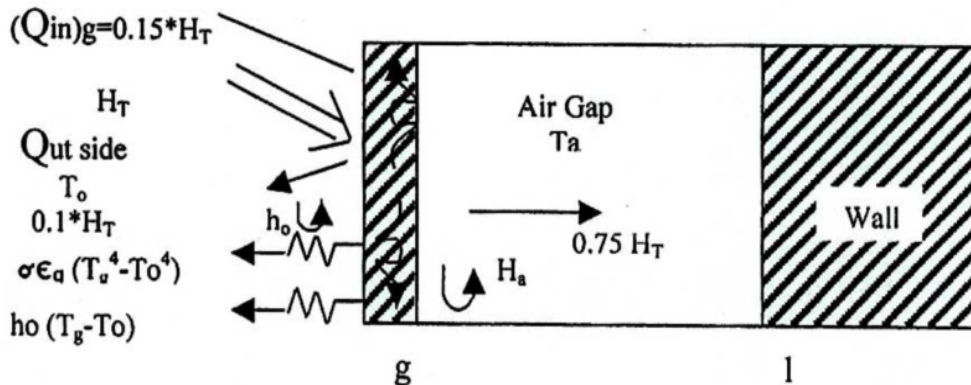
بموجب المخطط الضمني التام ($f = 1$) فإن معادلة (٦-٢٦) يمكن أن توضع بالشكل التالي:

$$a_1T_1 = a_2T_2 + b \dots\dots\dots (٦ - ٢٧)$$

$$\left. \begin{aligned} a_2 &= \frac{K_e}{(\delta x)_e}, b = Sc\Delta x' + a_1^0T_1^0 \\ a_1^0 &= \frac{pc\Delta x'}{\Delta t}, a_1 = a_2 + a_1^0 - s_1\Delta x' \end{aligned} \right\} - ٢٨)$$

٦-٣-٤ تحويل معادلة موازنة الطاقة لمقطع الزجاج

$$\begin{aligned} (Q_{in})_g - (Q_{conv})_{g \rightarrow o} - (Q_{rad})_{g \rightarrow o} - (Q_{conv})_{g \rightarrow a} \\ - (Q_{rad})_{g \rightarrow 1} + (Q_{ref})_{1 \rightarrow g} = \left(\rho c \frac{\partial T}{\partial t}\right)_g \end{aligned}$$



$$0.15H_T - h_0(T_g - T_0) - \sigma\varepsilon_g(T_g^4 - T_0^4) - ha(T_g - T_a) - \frac{\sigma(T_g^4 - T_1^4)}{\frac{1}{\varepsilon_g} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1} + 0.15 * 0.75H_T(1 - \alpha_w) = (\rho_c)_g \frac{\partial T_g}{\partial t}$$

بمعالجة حدود المعادلة أعلاه، تصبح بالشكل التالي :

$$(\rho_c)_g \Delta x'' (T_g - T_g^0) = \bar{S} \Delta x'' \dots\dots\dots (٦ - ٢٩)$$

$$\bar{S} = Sc + SgTg$$

حيث :

وفيهما نأخذ القيم التالية :

$$\begin{aligned} &= 0.15 * H_T + h_0 T_0 + \sigma \varepsilon_g T_0 + haTa + Sc \\ &\frac{\sigma T_1^4}{\frac{1}{\varepsilon_g} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1} + 0.15 * 0.75 * H_T (1 - \alpha_w) \\ Sg &= -(ho + \sigma \varepsilon_g T_g^3 + ha + \frac{T_g^3}{\frac{1}{\varepsilon_g} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1}) \end{aligned}$$

وبالتالي فإن معادلة (٦ - ٢٩) يمكن أن تصبح بالشكل التالي :-

$$a_g T_g = b \dots\dots\dots (٦ - ٣٠)$$

حيث :-

$$b = Sc \Delta X'' + a_g^0 T_g^0 \left. \begin{aligned} a_g^0 &= (\rho_c)_g \frac{\Delta x''}{\Delta t} \dots\dots (٦ - ٣١) \\ Sg &= a_g^0 \end{aligned} \right\} \Delta x''$$

درجة حرارة الهواء بداخل الفجوة الهوائية المحصورة بين الزجاج والسطح الخارجي للجدار (Ta) يمكن أن ترتبط مع درجة حرارة المحيط الخارجي To بالعلاقة التالية :

$$hos(T_a - T_0) = ha(T_1 - T_a) \dots\dots\dots (٦ - ٣٢)$$

حيث :-

ha:معامل انتقال الحرارة الحملية ما بين الزجاج أو السطح الخارجي للجدار وهواء الفجوة .
 hos : معامل الفقدان الحراري الكلي من هواء الفجوة إلى الهواء الخارجي بدرجة الحرارة To
 ويمكن أن يساوي:

$$\frac{1}{hos} = \frac{1}{ha} + \frac{x_g}{K_g} + \frac{1}{ho}$$

ومن المعادلة (٦ - ٣٢) فإن درجة الحرارة Ta تساوي :

$$Ta = h_m \left(\frac{1}{hos} T_1 + \frac{1}{ha} T_0 \right) \dots\dots\dots (٦ - ٣٣)$$

$$\frac{1}{h_m} = \frac{1}{hos} + \frac{1}{ha} \quad \text{وفيها :}$$

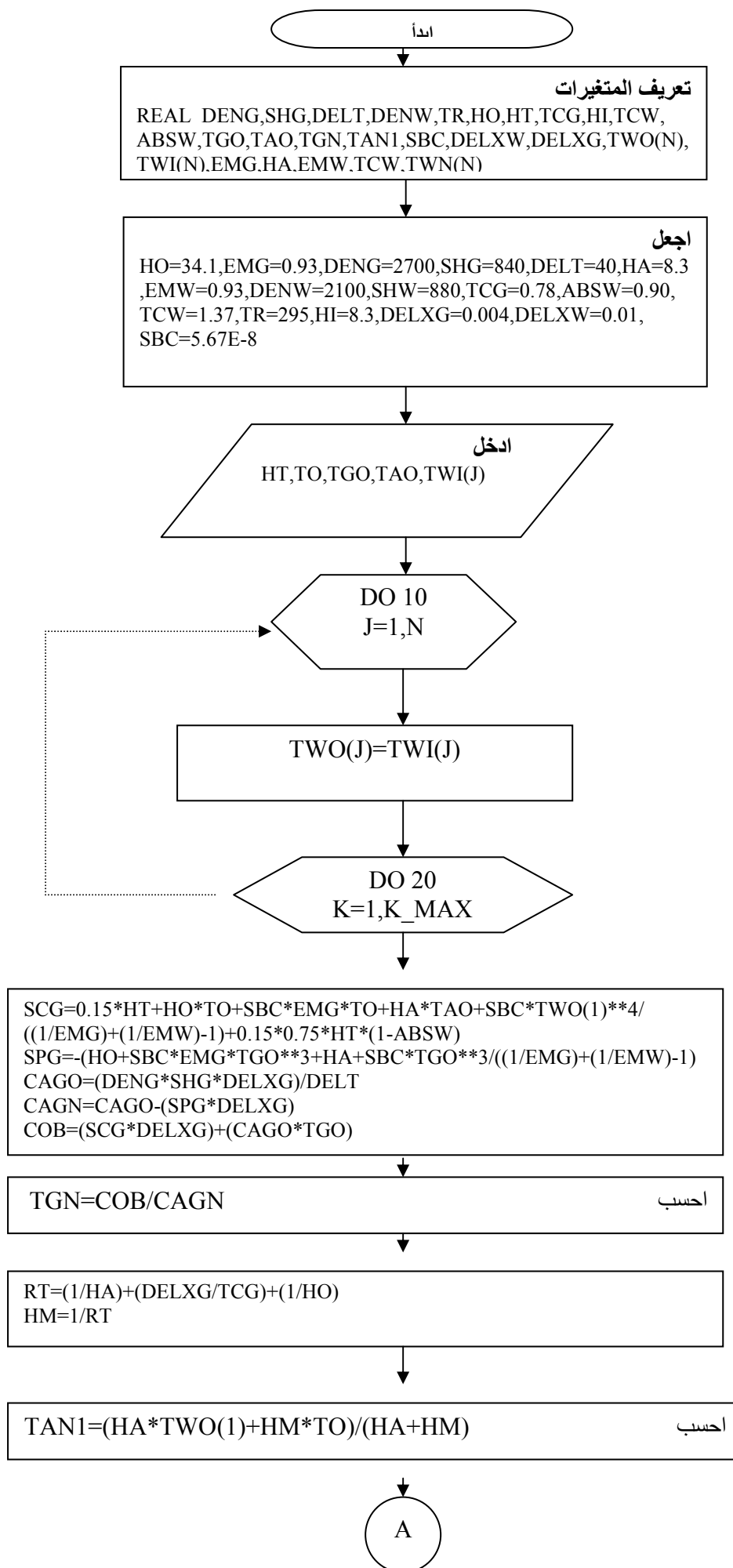
٦ - ٤ حل معادلات التجزئة الناتجة

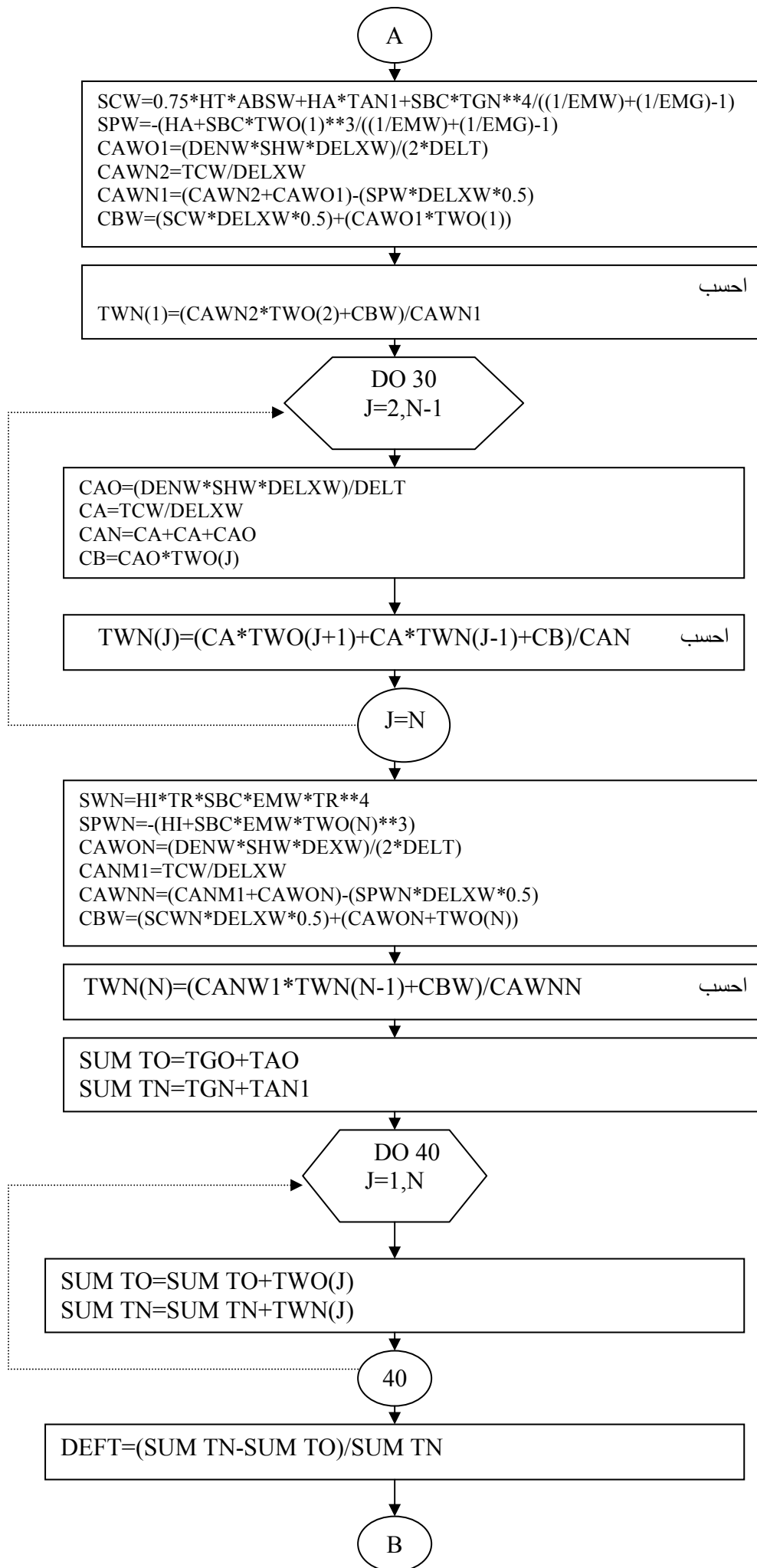
تم حل معادلات التجزئة الناتجة من النموذج الرياضي لجدار ترمب الحراري و الممثلة بالمعادلات ٢١-٢٤، ٢٦-٦ ، ٢٧-٦ ، و ٣٠-٦ المدرجة في الفقرة السابقة باستخدام الحاسب الآلي وذلك بواسطة برنامج للحاسوب أعد لهذا الغرض كتب بلغة الفورتران ٧٧.
 الظروف المناخية الخارجية الساعية والمتمثلة بشدة الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح عمودي (T H) ودرجة حرارة الهواء الخارجية (T o) والتي استخدمت في تشغيل البرنامج قد تم الحصول عليها من دائرة الأرصاد الجوي في مدينة مصراتة/الجماهيرية ليوم شتوي شهر يناير ٢٠٠٦ و كما موضح في الجدول التالي (٦ - ١).

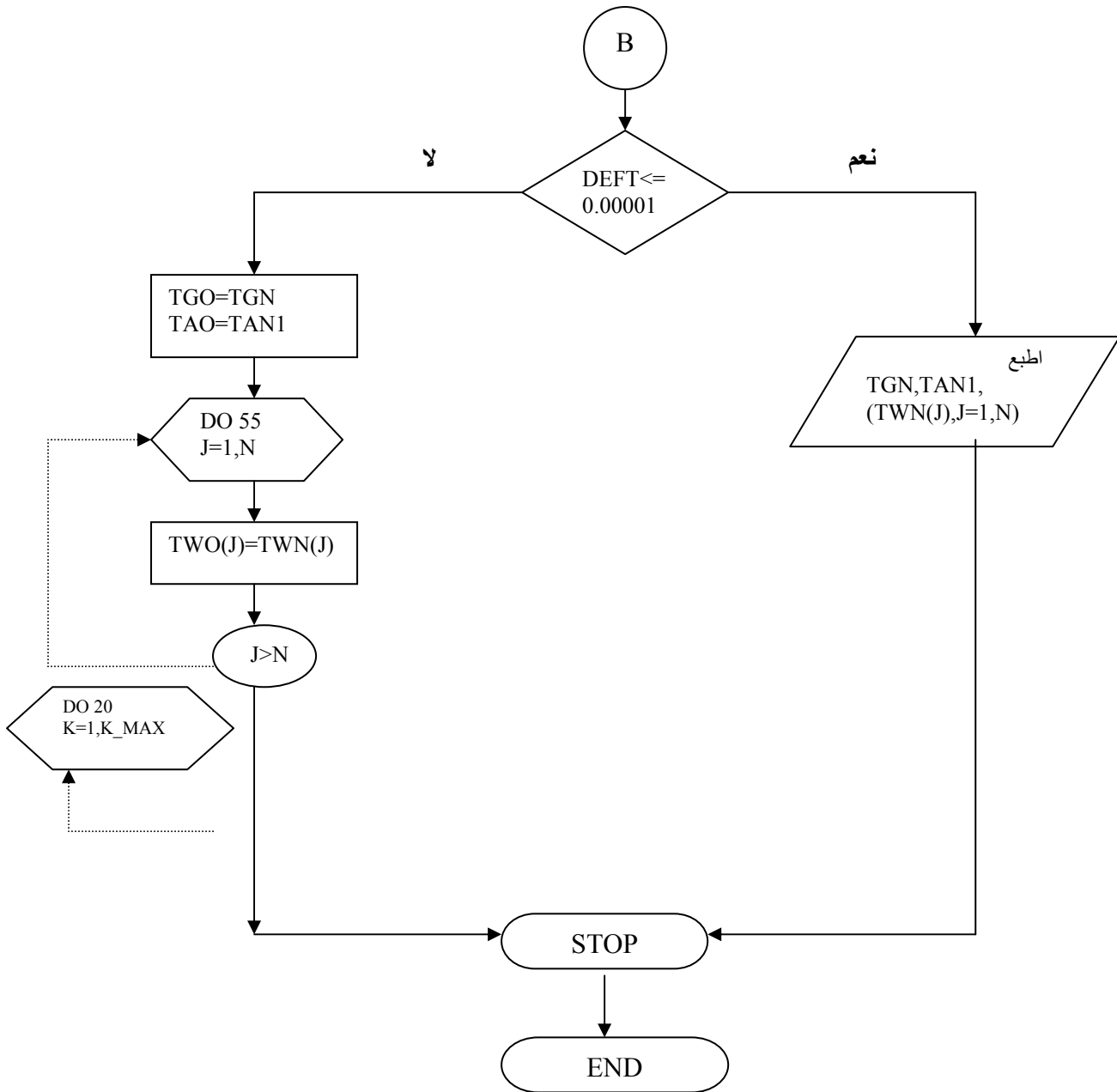
جدول (٦-١) الظروف المناخية الخارجية المستخدمة في الحل العددي

درجة الحرارة الخارجية T_0 بوحدة \dot{k}	شدة الإشعاع الكلي H_T بوحدة w/m^2	الساعة
٢٨٣.٠	١٦	٠١:٠٠
٢٨٢.٥	١٦	٠٢:٠٠
٢٨٢.١	١٦	٠٣:٠٠
٢٨٢.٢	١٦	٠٤:٠٠
٢٨٢.٠	١٦	٠٥:٠٠
٢٨٢.١	١٦	٠٦:٠٠
٢٨٢.٢	١٦	٠٧:٠٠
٢٨٣.٠	١٦	٠٨:٠٠
٢٨٥.٥	١٦	٠٩:٠٠
٢٨٦	٦٠	١٠:٠٠
٢٨٨	٦٢	١١:٠٠
٢٨٩	٢٢٤	١٢:٠٠
٢٨٩.٢	٣٨١	١٣:٠٠
٢٨٩.٥	٥٥١	١٤:٠٠
٢٨٩.٣	٦٥٩	١٥:٠٠
٢٨٩	٦٩٤	١٦:٠٠
٢٨٨	٦٥٨	١٧:٠٠
٢٨٧	٥٧١	١٨:٠٠
٢٨٦.٢	٣٦٦	١٩:٠٠
٢٨٥	١٦٩	٢٠:٠٠
٢٨٤.٨	٢٣	٢١:٠٠
٢٨٤.٤	١٦	٢٢:٠٠
٢٨٤.٠	١٦	٢٣:٠٠
٢٨٣.٠	١٦	٢٤:٠٠

أما المخطط الانسيابي لبرنامج الحاسوب الذي تم استخدامه في حساب التغيرات الساعية في درجات حرارة جدار ترمب فموضح بالشكل التالي:



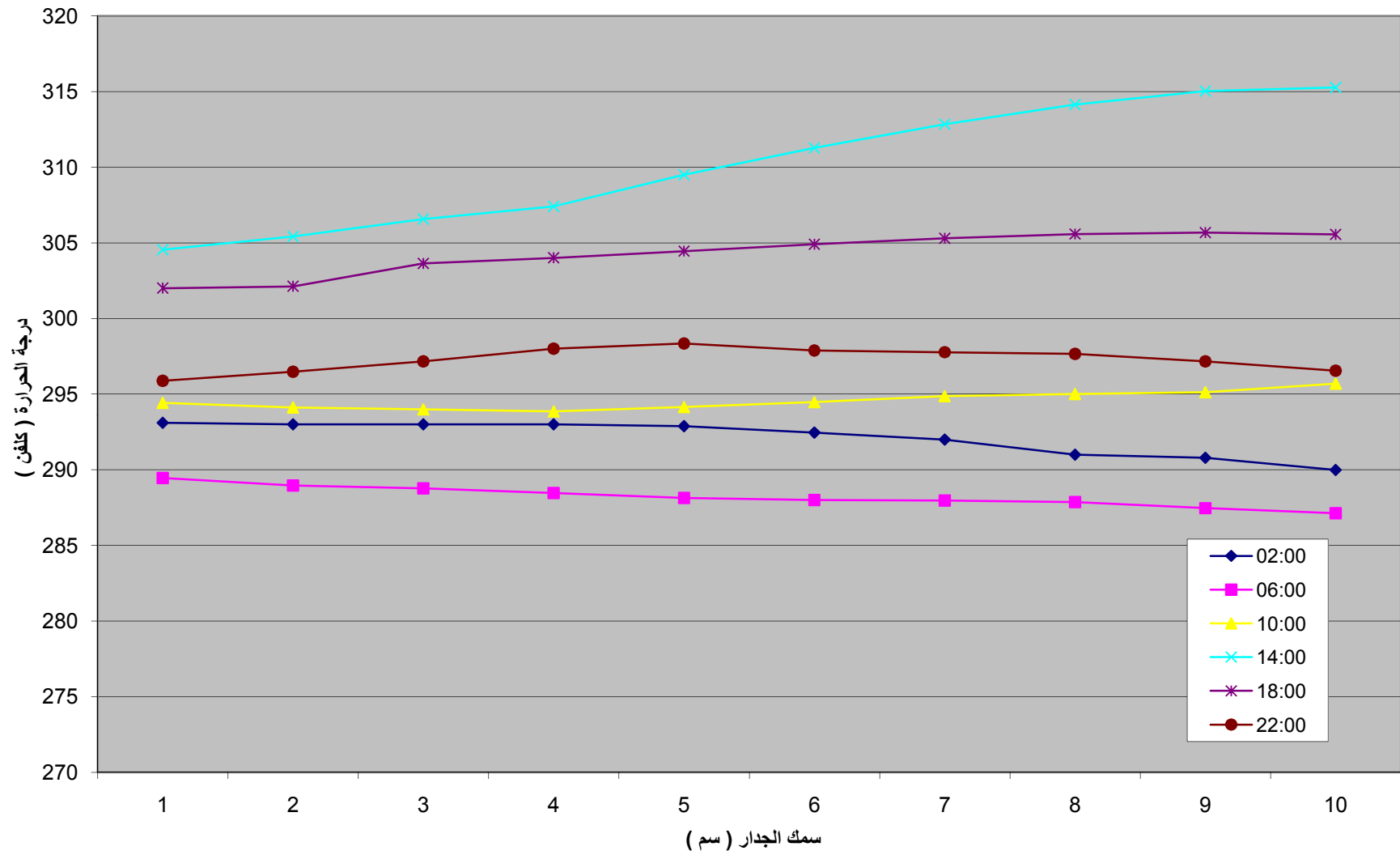




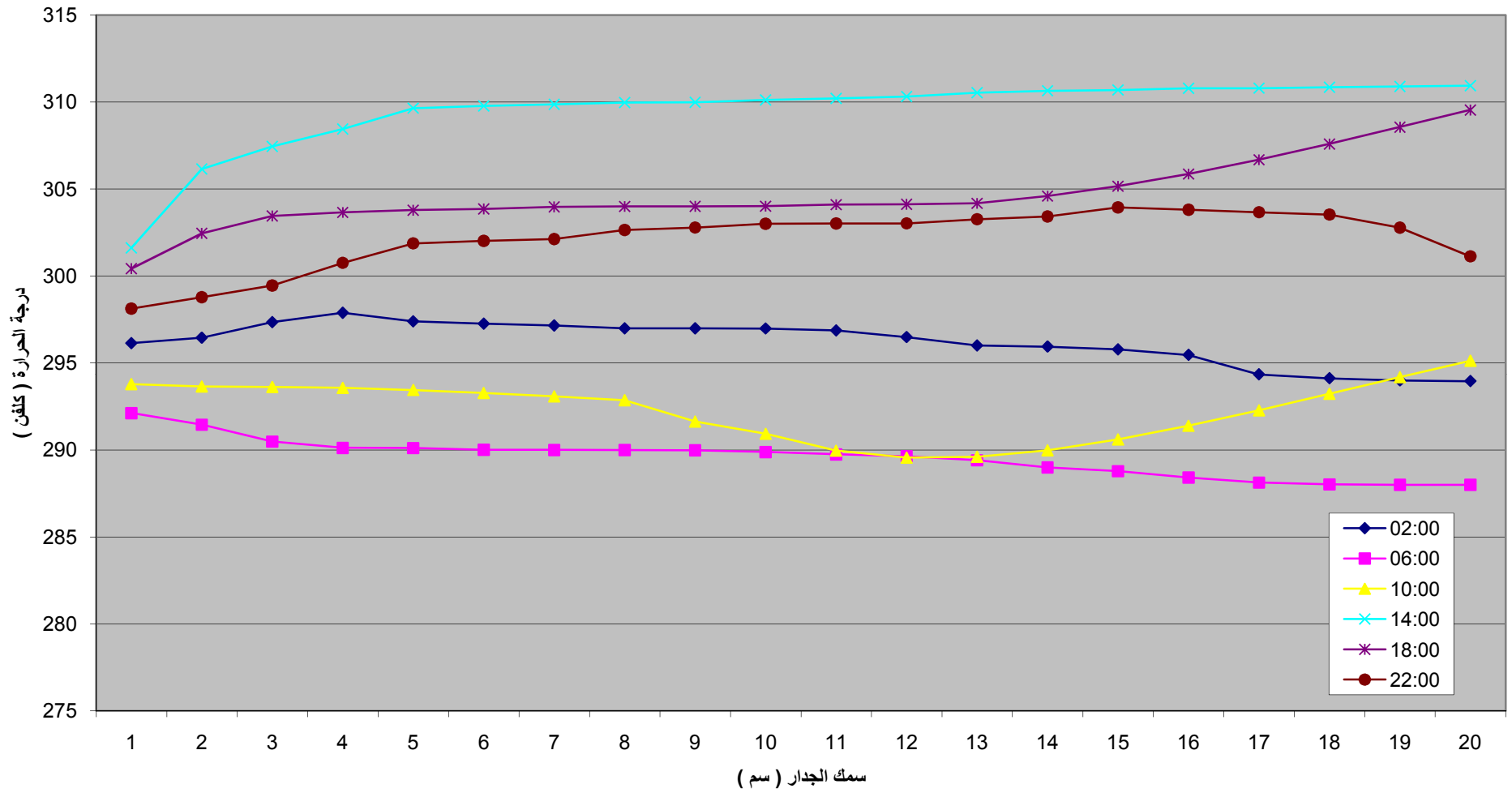
٥-٦ : نتائج الحل العددي Results Of Numerical Solution

تم تطبيق الحل العددي لمعادلات النموذج الرياضي للجدار الناقل و الخازن للحرارة (جدار ترمب) الموضحة في الفقرة (٦-٣) على خمس أنواع من الجدران شملتها الدراسة ، ثلاثة من هذه الجدران مصنوعة من الخرسانة (معامل التوصيل الحراري يساوي 1.37 w/m.c^0 ، كثافتها تساوي 2100 kg/m^3 ، الحرارة النوعية تساوي 880 J/kg.c^0) بسمك مختلف ١٠ سم ، ٢٠ سم ، ٣٠ سم ، أما الجدارين الآخرين لهما سمك متساوي ٢٠ سم ، و لكن الأول مصنوع من الطوب (معامل التوصيل الحراري يساوي 0.69 w/m.c^0 ، الكثافة تساوي 1600 kg/m^3 ، الحرارة النوعية تساوي 840 J/kg.c^0) والآخر من الحجر (معامل التوصيل الحراري يساوي 1.1 w/m.c^0 ، الكثافة تساوي 2640 kg/m^3 ، الحرارة النوعية تساوي 820 J/kg.c^0) وذلك لغرض دراسة تأثير كل من سمك الجدار والمادة المصنوع منها على الأداء الحراري والذي يشمل توزيع (تغير) درجات الحرارة داخل الجدار خلال كل ساعة من ساعات اليوم (في عرض النتائج تم اختيار عدد محدد من ساعات اليوم لتبيان تغيرات درجات الحرارة داخل الجدار خلالها بعض من هذه الساعات تقع ضمن فترة توفر الإشعاع الشمسي والبعض الآخر يقع ضمن فترة زوال الإشعاع) بالإضافة إلى معدلات الحرارة المتنقلة من السطح الداخلي للجدار إلى الحيز المراد تدفنته أو العكس عند كل ساعة من ساعات اليوم الأربع والعشرين .

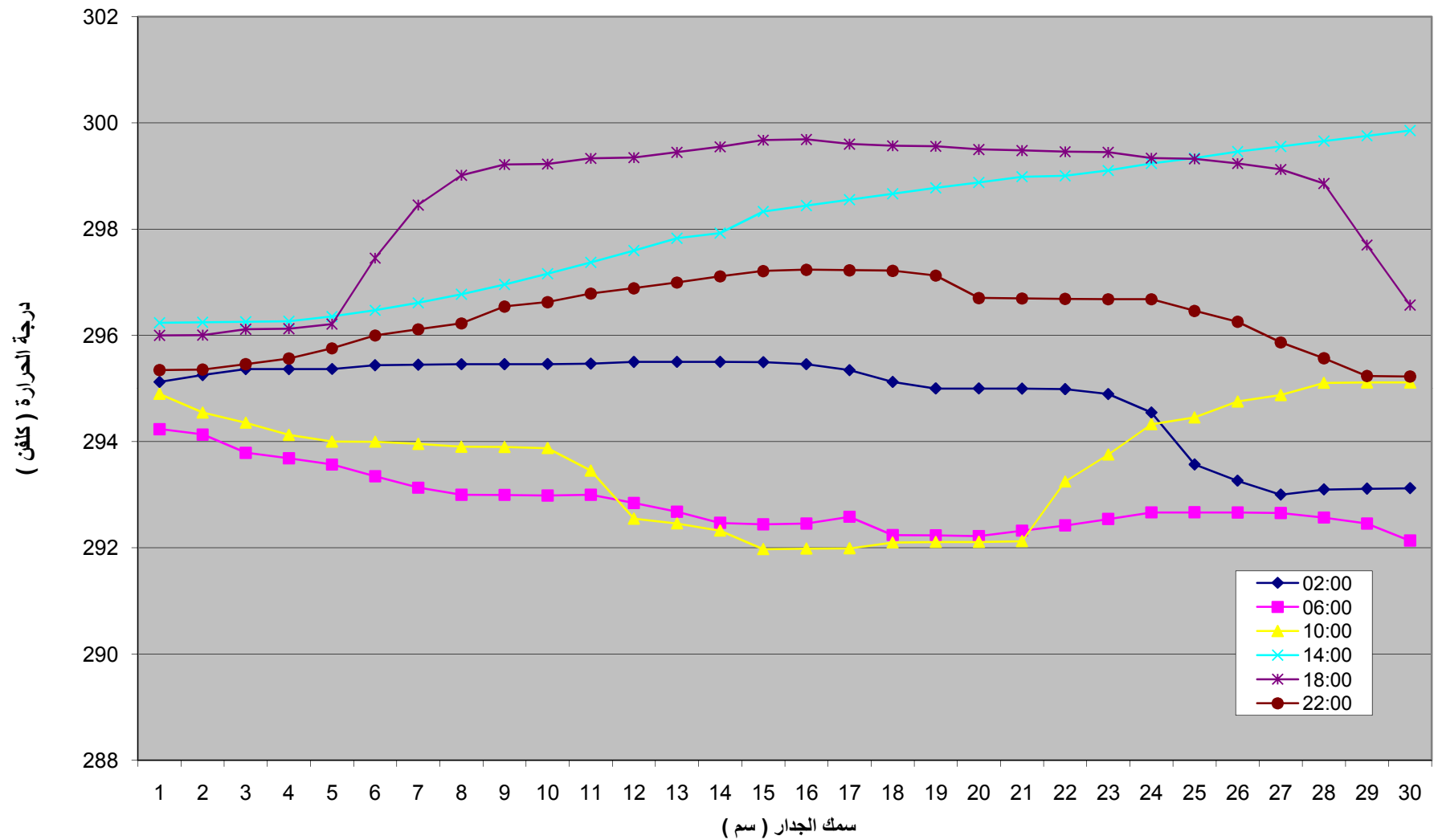
النتائج التي تم التوصل إليها من هذا الحل موضحة في الأشكال البيانية المدرجة أدناه.



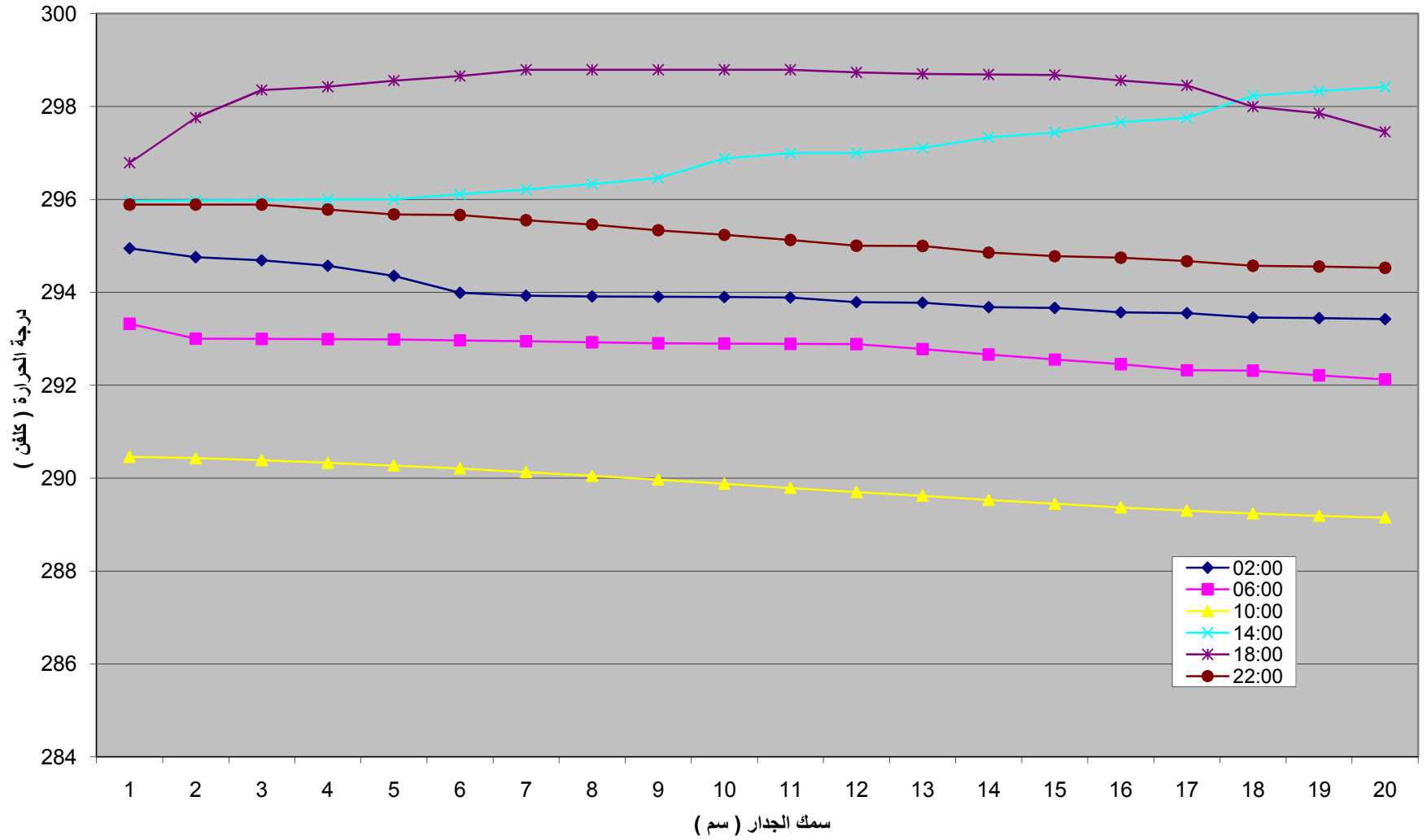
شكل (١-٦) : توزيع درجات الحرارة خلال جدار خرساني بسمك ١٠ سم



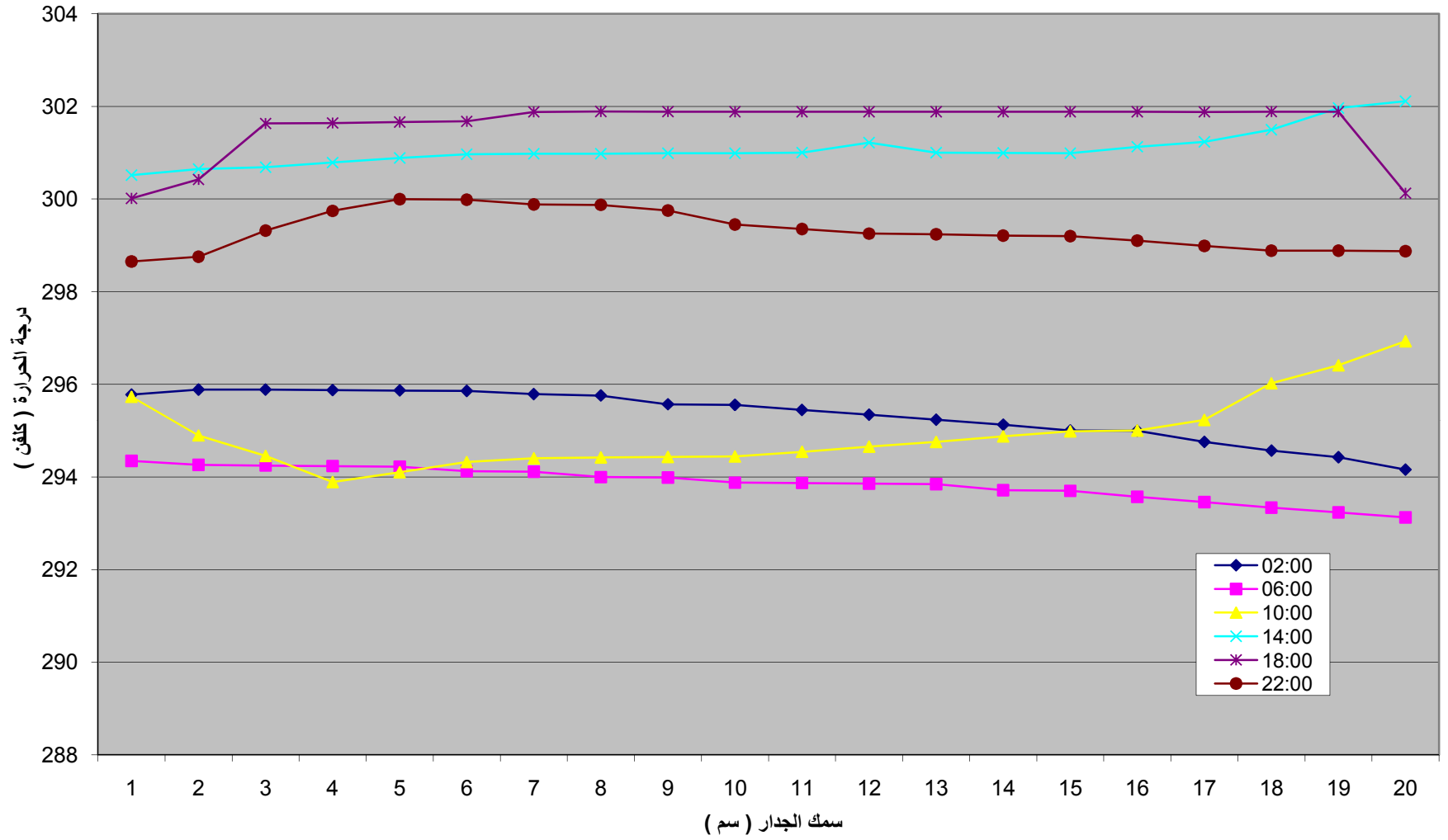
شكل (٦-٢): توزيع درجات الحرارة خلال جدار خرساني بسمك ٢٠ سم



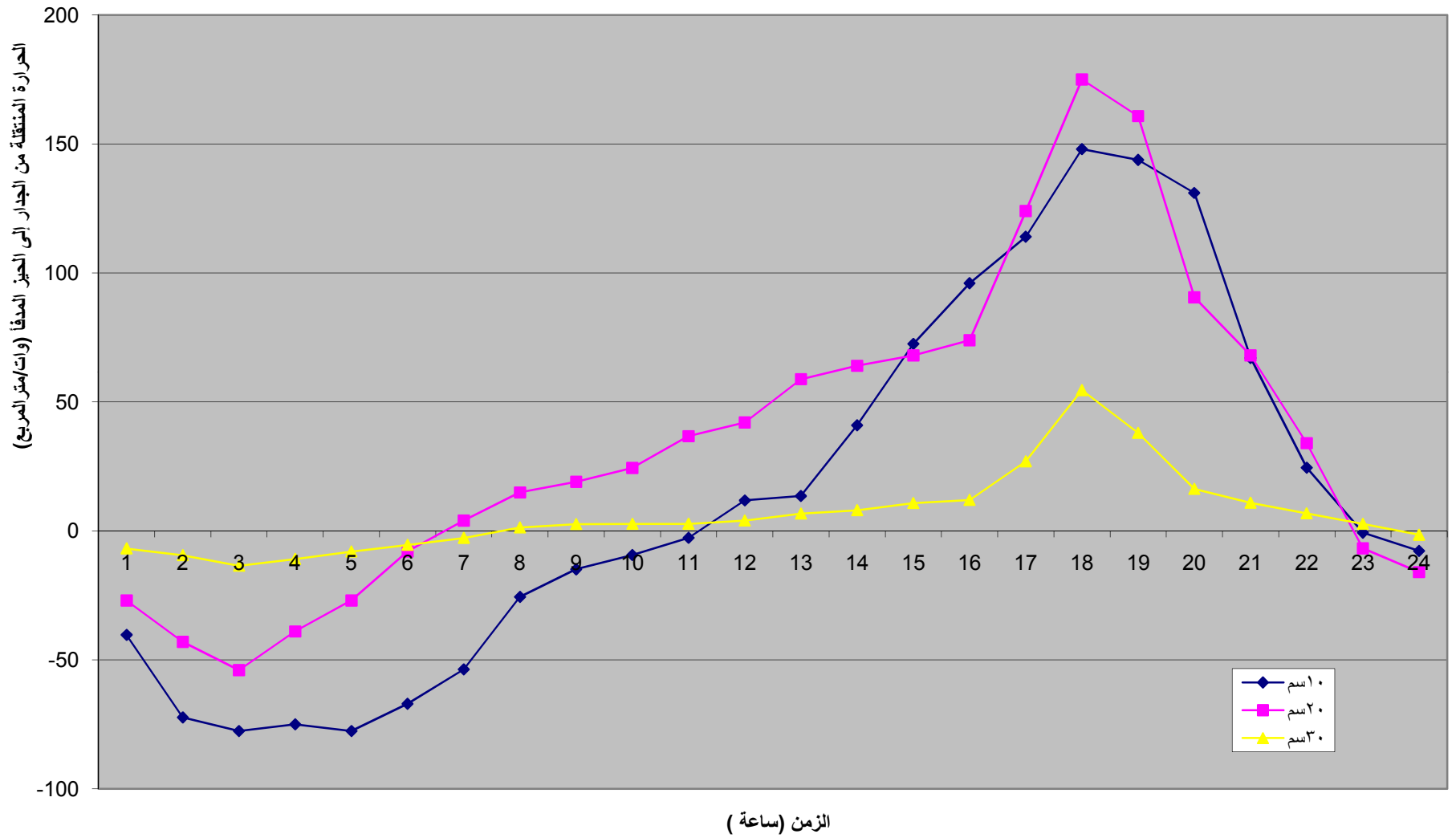
شكل (٦-٣): توزيع درجات الحرارة خلال جدار خرساني بسلك ٣٠ سم



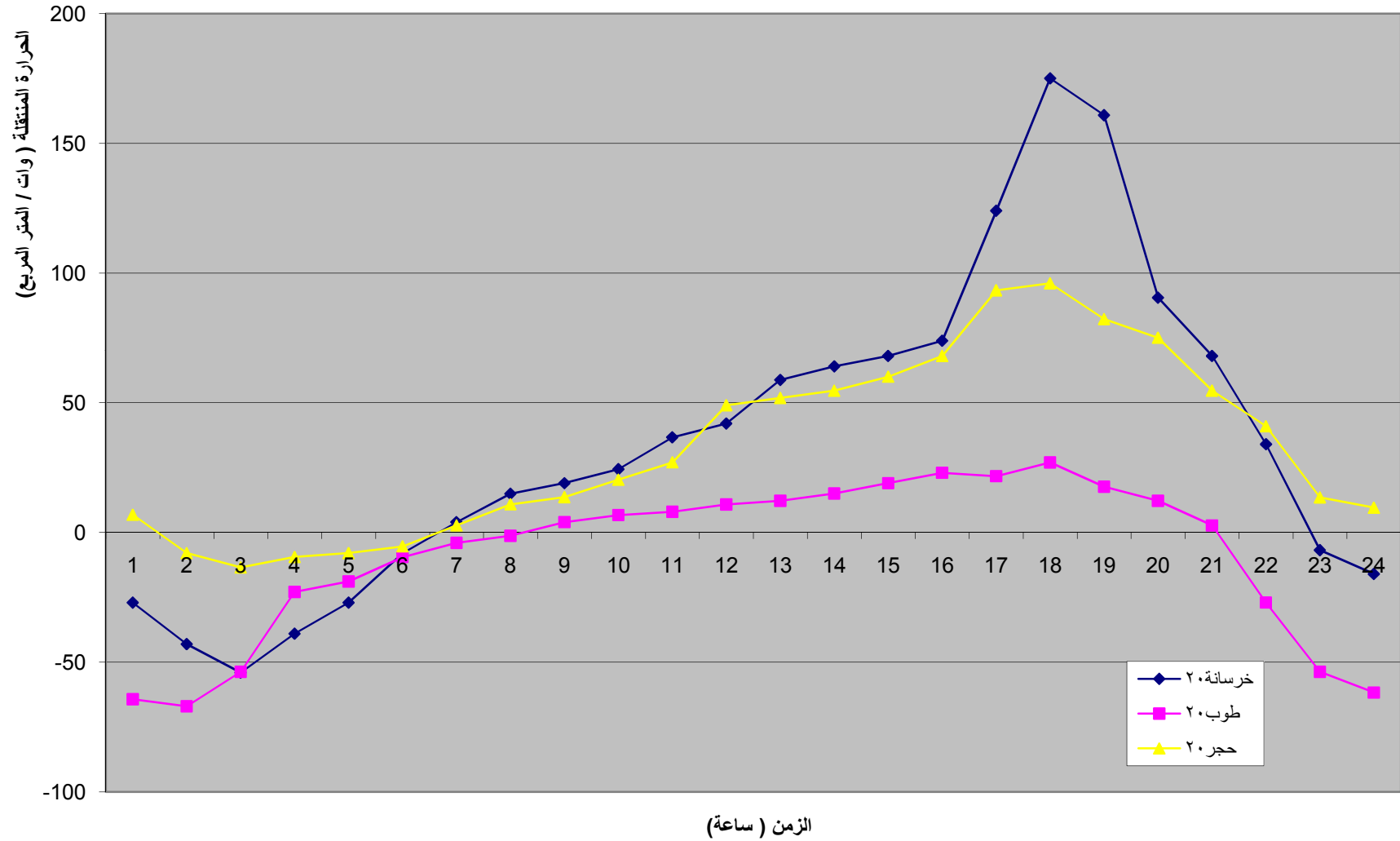
شكل (٤-٦): توزيع درجات الحرارة خلال جدار من الطوب بسمك ٢٠ سم



شكل (٥-٦): توزيع درجات الحرارة خلال جدار من الحجر بسمك ٢٠ سم



شكل (٦-٦): الحرارة المنتقلة إلى الحيز المدفأ من جدار خرساني بسمك مختلف



شكل (٦-٧): الحرارة المنتقلة إلى الحيز المدفأ من جدار حراري مصنوع من مواد مختلفة بسمك ٢٠ سم

الفصل السابع

مناقشة النتائج - الاستنتاجات - التوصيات

٧-١ مناقشة النتائج

نتائج الحل العددي لمعادلات النموذج الرياضي للجدران الناقلة والخازنة للحرارة المستخدمة في الدراسة موضحة في الأشكال من (٦-١) ولغاية (٦-٧).
الأشكال (٦-١) ولغاية (٦-٥) توضح توزيع (تغيرات) درجة الحرارة داخل أنواع مختلفة من الجدران، جدران مصنوعة من الخرسانة بسمك مختلف ١٠ سم، ٢٠ سم، ٣٠ سم وجدران أخرى بسمك ٢٠ سم مصنوعة من مواد مختلفة هي الخرسانة، الطوب الاعتيادي والحجر في ساعات مختارة من ساعات اليوم هي الساعات ١٨:٠٠، ١٤:٠٠، ١٠:٠٠، ٦:٠٠، ٢:٠٠ و ٢٢:٠٠.
يلاحظ من هذه الأشكال بأن سمك الجدار ونوع المادة التي يصنع منها يؤثران بشكل كبير على توزيع درجات الحرارة داخله.

فالأشكال (٦-١)، (٦-٢) و (٦-٣) والتي تبين توزيع درجات الحرارة داخل جدران من الخرسانة بسمك مختلف توضح أن التقليل من سمك الجدار ينتج عنها ارتفاع في درجات الحرارة داخله خلال ساعات الإشعاع الشمسي لتصل إلى مستويات عالية نسبياً بالمقارنة مع السمك الكبير، في حين تبدأ هذه الدرجات بالانخفاض وبسرعة بعد زوال الإشعاع بفترة قصيرة (شكل ٦-١)، إن التفسير المنطقي لهذه الحالة بسيط وهو أن الجدار ذو السمك القليل تكون له قابلية منخفضة على الخزن الحراري حيث تعتمد هذه القابلية على كتلة الجدار وحرارته النوعية، وبالتالي فإن جداراً من هذا النوع سوف يسخن بسرعة مع وجود مصدر للحرارة في حين يفقد هذا الجدار الحرارة وبسرعة أيضاً عند زوال هذا المصدر .

إن زيادة سمك الجدار تعني زيادة قابليته على الخزن الحراري وبالتالي فإن الجدران ذات السمك الكبير سوف تسخن ببطء مع وجود الإشعاع الشمسي وترتفع درجات الحرارة داخلها إلا أن هذه الدرجات سوف لن تصل إلى نفس مستوى قيم درجات الحرارة التي تصلها الجدران ذات السمك القليل وهذا ما توضحه الأشكال (٦-٢) و (٦-٣) ويجدر الإشارة أيضاً في هذه المرحلة بأن زيادة سمك الجدار تؤدي إلى زيادة مقاومته على نقل الحرارة بالتوصيل.
بعد زوال الإشعاع الشمسي تبقى الجدران ذات السمك الكبير محتقظة بالحرارة المكتسبة إلى فترات زمنية أطول وبالتالي يبقى لهذه الجدران القابلية على التسخين لفترات أطول بعد زوال الإشعاع بالمقارنة مع الجدران ذات السمك القليل.

الأشكال (٦-٤) و (٦-٥) توضح أيضاً توزيع درجات الحرارة داخل جدران بسمك ٢٠ سم مصنوعة من الطوب والحجر على التوالي ، إن نوعية المادة التي يصنع منها الجدار وكما ذكر سابقاً تأثيراً واضحاً على توزيع درجات الحرارة داخله ، فعند مقارنة الشكلين المذكورين مع شكل (٦-٢) والذي يمثل توزيع درجات الحرارة خلال جدار من الخرسانة بسمك ٢٠ سم يلاحظ بأن مادة الخرسانة هي الأفضل من بين المواد المصنعة منها هذه الجدران حيث ترتفع درجة الحرارة أعلى مما هي عليه في الجدارين الآخرين المصنوعين من الطوب والحجر حيث يلعب معامل التوصيل الحراري للمادة دوراً مهماً في نقل الحرارة خلال الجدار ، إضافة إلى ذلك فإن الجدار الخرسانى له قابلية خزن حراري أعلى مما يعني احتفاظه بالحرارة المكتسبة لفترة زمنية أطول بالمقارنة مع المادتين الأخرتين وبالتالي فإن لهذا الجدار قدرة أفضل على التسخين .

شكل (٦-٦) يوضح مقارنة بين معدلات الحرارة المنتقلة بالحمل والإشعاع بوحدات الواط/المتر المربع من السطح الداخلي للجدار إلى الحيز المدفأ لثلاث أنواع من الجدران الخرسانية بسمك ١٠ سم، ٢٠ سم، ٣٠ سم، يلاحظ من هذه الشكل بأن السطح الداخلي للجدار الخرسانى ذو سمك ٢٠ سم يعطي بشكل عام أكبر معدل من الحرارة إلى الحيز المراد تدفأته عند مقارنته بأسماك أخرى .

عامل آخر مهم يؤثر على معدل الحرارة المنتقلة من السطح الداخلي للجدار إلى الحيز المدفأ هو نوعية المادة التي يتم منها تصنيع الجدار، شكل (٦-٧) يوضح معدلات الحرارة المنتقلة من السطح الداخلي إلى الحيز المدفأ لثلاث أنواع من الجدران تختلف في نوع المادة ولكنها متساوية في السمك (٢٠ سم)، يلاحظ من الشكل بأن الجدار الخرسانى يعطي بشكل عام أكبر معدل للحرارة بالمقارنة مع الجدران الأخرى .

من خلال النتائج المتحصلة ووفق لما ذكر أعلاه يمكن القول بأن الجدار المصنوع من الخرسانة بسمك ٢٠ سم يعطي أفضل أداء حراري بالمقارنة مع الجدران الأخرى التي شملتها الدراسة .

٧-٢ الاستنتاجات

من خلال نتائج الدراسة يمكن استنتاج ما يلي:-

أولاً: الجدران الناقلة والخازنة للحرارة تمثل وسيلة بسيطة وفعالة للتدفئة الشمسية.

ثانياً: يمكن الاستفادة من الجدار الناقل والخازن للحرارة في تدفئة حيز معين بأسلوبين هما:

أ- الاستفادة من حرارة الإشعاع الشمسي الساقطة على السطح الخارجي للجدار والتي تنتقل بالتوصيل خلاله إلى السطح الداخلي وبعدها تنتقل من السطح الداخلي إلى الحيز المراد تدفئته بواسطة الحمل والإشعاع.

ب- إمرار هواء الحيز المراد تدفئته في الفجوة الساخنة المحصورة ما بين اللوح الزجاجي والسطح الخارجي للجدار.

ثالثاً: النموذج الرياضي للجدار الناقل والخازن للحرارة الذي تم اعتماده وحله في هذه الدراسة أخذ فقط أسلوب التسخين (أ) من الفقرة ثانياً أعلاه مع الأخذ بعين الاعتبار بأنه يتوقع أن يزداد مردود الجدار الحراري في التدفئة إذا ما تم أخذ الأسلوب (ب) أيضاً في الاعتبار.

رابعاً: هناك سريان عكسي للحرارة خلال الجدار (حرارة مفقودة من الحيز المدفأ إلى الخارج) يحدث عندما تنخفض درجة حرارة السطح الداخلي للجدار عن درجة حرارة الحيز المدفأ خلال بعض ساعات الليل وكما توضحه الأشكال البيانية للنتائج، يمكن تقليل هذا الفقدان بشكل كبير وذلك باستخدام عازل حراري متحرك يوضع أمام الواجهة الزجاجية للجدار خلال ساعات انعدام الإشعاع ثم يرفع هذا العازل عند الشروق.

خامساً: بموجب الظروف الجوية التي تم اعتمادها في الحل العددي للنموذج الرياضي للجدار الخازن و الناقل للحرارة فإن معدلات الحرارة المنتقلة بالإشعاع و الحمل من السطح الداخلي لأحد الجدران التي شملتها الدراسة (الجدار الخرساني بسمك ٢٠سم) إلى الحيز المدفأ قد وصلت في بعض ساعات توفر الإشعاع إلى قيم تجاوزت ١٥٠ وات/المتر المربع و التي تعتبر من المعدلات الجيدة للتدفئة لمثل هذا النوع من الجدران.

سادساً: عند مقارنة النتائج المتحصلة لأنواع المختلفة من الجدران الناقلة و الخازنة للحرارة التي شملتها الدراسة يظهر بأن الجدار الخرساني بسمك ٢٠سم هو الأفضل من بين هذه الأنواع.

٣-٧ التوصيات

يمكن من هذه الدراسة إدراج التوصيات التالية:-

أولاً:التوسع في استخدام الجدران الناقلة والخازنة للحرارة في التدفئة المنزلية في المناطق التي تتوفر فيها شدة إشعاع شمسي جيدة في فصل الشتاء وبالأخص المناطق العربية وذلك لسهولة هذه الطريقة ومردودها الجيد في التدفئة .

ثانياً:التوسع في الدراسة النظرية وذلك عن طريق إدخال تأثيرات إمرار هواء الحيز المدفأ في الفجوة المحصورة ما بين اللوح الزجاجي والسطح الخارجي للجدار و وضع عازل حراري متحرك أمام اللوح الزجاجي خلال ساعات انعدام الإشعاع في النموذج الرياضي للجدار،يتوقع بعد إدخال هذين التأثيرين زيادة في مردود وقابلية الجدار الناقل للحرارة على التدفئة.

المراجع

أولاً: - المراجع العربية

- ١- الكبة إلياس . مبادئ الطاقة الشمسية و تطبيقاتها . بيروت : دار الحداثة ١٩٩٦ .
- ٢- ويدرار سول . مقدمة في الطاقة الشمسية . الموصل : دار الطباعة و النشر ١٩٨٩ .
- ٣- شربل مورس . القفزات العلمية الكبرى في القرن العشرين . طرابلس- لبنان .
- ٤- كيلو سعيد . التدفئة و التكيف و التبريد باستخدام الطاقة الشمسية . طرابلس : مكتبة السائح ١٩٨٩ .
- ٥- العزاوي عبد الرسول . الطاقة و المباني . عمان : دار مجدلاوى للنشر و التوزيع. ١٩٩٥
- ٦- الوكيل شفيق . المناخ و عمارة المناطق الحارة . القاهرة : عالم الكتب ١٩٨٩ .
- ٧- القرضاوي إبراهيم . أجهزة الطاقة الشمسية . الإسكندرية : دار المعارف .
- ٨- كارليكا بهالتشاندرافي . انتقال الحرارة . القاهرة : الدار العربية للنشر و التوزيع . ١٩٨٩
- ٩- قبيسي حافظ . الطاقة الشمسية . طرابلس : معهد الإنماء العربي ١٩٨١ .
- ١٠- داود عبد السلام . دراسة نظرية للتدفئة الشمسية باستخدام المنظومات السلبية . طرابلس ٢٠٠٦ .
- ١٠- أبو سلامة وليد . أساسيات الكمبيوتر و البرمجة بلغة الفورتران ٩٠-٧٧ . دار حنين ١٩٩٦ .
- ١١- الزرتي عمر . البرمجة بلغة الفورتران . طرابلس: منشورات الجامعة المفتوحة ١٩٩١ .
- ١٢- الباقر عمر - التيجاني حسن . دليل الباحث في كتابة البحث العلمي . أم درمان : جامعة أم درمان الإسلامية الحميضي ٢٠٠٢ .

ثانياً: - المراجع الأجنبية

- 13- Hamilton Calvin . Views Of The Solar system . Maryland 2004 .
- 14- Msc Jones . Air Condition Engineering . London : Fourth Edition 1994 .
- 15- Kreider Jan . Solar Heating And Cooling . Hemisphere Publishing Company 1982 .
- 16- Anderson Bruce . The Solar Home Book (Heating Cooling And Designing With The Sun) . Brick House Publishing Company 1976 .
- 17- Grog HP . advances In Solar Energy Technology (Volume 2) .Redel Publishing Company 1987 .
- 18- Patankar Suhas . Numerical Heat Transfer And Fluid Flow . Taylor & Francis .
- 19- Gerald & Wheatly . Applied Numerical Analysis . Addison Wesley Publishing Company 1984 .
- 20- Paulson . Programing With Fortran 77 . Granada Company 1981 .
- 21- Holman JP . Heat Transfer . Mc Graw Hill Book Company 1981 .
- 22- Warren H . Principles Of Engineering Heat Transfer . Van Nostrand 1967 .
- 23- Travis bradford . solar revolution . maryland 2005.
- 24- Richard burden . Numerical analysis . usa 2005 .
- 25- www.greenbuilder.com
- 26- www.newenergy.com
- 27- www.jc.solarhomes.com

ملحق (أ)

الرموز المستخدمة في برنامج الحاسب الآلي

الرمز وقيمه	الرمز في الحاسب	المعنى
$h_o = 34.1 \text{ w/m}^2 \cdot ^\circ\text{k}$	HO	معامل انتقال الحرارة الحملية ما بين الزجاج والهواء الخارجي
$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2 \cdot ^\circ\text{k}^4$	SBC	ثابت ستيفان - بولتزمان
$\epsilon_g = 0.93$	EMG	إنبعاثية الزجاج
$\rho_g = 2700 \text{ kg / m}^3$	DENG	كثافة الزجاج
$C_g = 840 \text{ J/Kg} \cdot ^\circ\text{c}$	SHG	الحرارة النوعية للزجاج
$\Delta X'' = 4 \times 10^{-3} \text{ m}$	DELXG	سمك الزجاج
$\Delta t = 50 \text{ sec}$	DELT	تغير الزمن
$h_a = 8.3 \text{ w/m}^2 \cdot ^\circ\text{k}$	HA	معامل انتقال الحرارة الحملية ما بين السطح الخارجي للجدار والفجوة
$\epsilon_w = 0.93$	EMW	إنبعاثية الجدار
$K_g = 0.78 \text{ w / m} \cdot ^\circ\text{c}$	TCG	معامل التوصيل الحراري للزجاج
$\alpha_w = 0.90$	ABSW	امتصاصية الجدار
$T_r = 22 ^\circ\text{c} + 273 = 295 ^\circ\text{k}$	TR	درجة حرارة الغرفة
$\Delta X = 1 \times 10^{-2} \text{ m}$	DELX	التغير في المسافة
$\rho_w = 2100 \text{ kg / m}^3$	DENW	كثافة مادة الجدار الخرساني
$\rho_w = 2640 \text{ kg / m}^3$	DENW	كثافة مادة الجدار المصنوع من الحجر الصواني
$\rho_w = 1600 \text{ kg / m}^3$	DENW	كثافة مادة الجدار من الطوب
$C_w = 880 \text{ J /kg} \cdot ^\circ\text{c}$	SHW	الحرارة النوعية للجدار الخرساني
$C_w = 820 \text{ J /kg} \cdot ^\circ\text{c}$	SHW	الحرارة النوعية لجدار حجر الصوان
$C_w = 840 \text{ J /kg} \cdot ^\circ\text{c}$	SHW	الحرارة النوعية لجدار الطوب
$k_i = 1.37 \text{ w / m} \cdot ^\circ\text{c}$	TCW	معامل التوصيل الحراري لجدار الخرسانة
$k_i = 1.1 \text{ w / m} \cdot ^\circ\text{c}$	TCW	معامل التوصيل الحراري لجدار الحجر
$k_i = 0.69 \text{ w / m} \cdot ^\circ\text{c}$	TCW	معامل التوصيل الحراري لجدار الطوب

برنامج الحاسب الآلي المستخدم في إيجاد توزيع درجات الحرارة خلال الجدار الخازن و الناقل للحرارة

```
C      PROGRAM FOR FINDING TROMB WALL TEMPERATURE
      PARAMETER (N=10,K_MAX=500)
      REAL DENG
      REAL SHG
      REAL DELT
      REAL DENW
      REAL TR
      REAL HO
      REAL EMG
      REAL HA
      REAL EMW
      REAL TO
      REAL TCG
      REAL ABSW
      REAL TCW
      REAL HI
      REAL HT
      REAL TGO
      REAL TAO
      REAL TGN
      REAL TAN1
      REAL TWO (N)
      REAL TWN (N)
      REAL TWI (N)
      REAL DELXW,DELXG,SBC
C      LIST OF VARIABLES
      DATA
HO/34.1/,EMG/0.93/,DENG/2700.0/,SHG/840.0/,DELT/40.0/,HA/
8.3/
      DATA
EMW/0.93/,DENW/2100.0/,SHW/880.0/,TCG/0.78/,ABSW/0.90/
      DATA TCW/1.37/,TR/295.0/,HI/8.3/
      DATA HT/16.0/
      DATA TO/285.5/
      DATA DELXG/0.004/,DELXW/0.01/
      DATA SBC/5.67E-8/
C      INITIAL WALL TEMPERATURE
      DATA TGO/278.4662/,TAO/288.1185/
      DATA
TWI/292.1098,292.0979,292.1005,292.1230,292.1252,292.1282
',
      *292.1168,292.1085,292.1289,292.1286/
      DO 10 J=1,N
      TWO (J)=TWI (J)
10      CONTINUE
```



```

DO 20 K=1,K_MAX
C  CALCULATION OF GLASS TEMPERATURE
SC1=0.15*HT
SC2=HO*TO
SC3=SBC*EMG*TO
SC4=HA*TAO
SC5=SBC*TWO(1)**4/((1.0/EMG)+(1.0/EMW)-1.0)
SC6=0.15*0.75*HT*(1.0-ABSW)
SCG=SC1+SC2+SC3+SC4+SC5+SC6
SP1=HO
SP2=SBC*EMG*TGO**3
SP3=HA
SP4=SBC*TGO**3/((1.0/EMG)+(1.0/EMW)-1.0)
SPG=-(SP1+SP2+SP3+SP4)
CAGO=(DENG*SHG*DELXG)/DELT
CAGN=CAGO-(SPG*DELXG)
COB=(SCG*DELXG)+(CAGO*TGO)
TGN=COB/CAGN
C  CALCULATION OF AIR GAP TEMPERATURE
RT=(1.0/HA)+(DELXG/TCG)+(1.0/HO)
HM=1.0/RT
TAN1=(HA*TWO(1)+HM*TO)/(HA+HM)
C  CALCULATION OF EXTERNAL SURFACE WALL TEMPERATURE
SCW1=0.75*HT*ABSW
SCW2=HA*TAN1
SCW3=SBC*TGN**4/((1.0/EMW)+(1.0/EMG)-1.0)
SCW=SCW1+SCW2+SCW3
SPW1=HA
SPW2=SBC*TWO(1)**3/((1.0/EMW)+(1.0/EMG)-1.0)
SPW=-(SPW1+SPW2)
CAW01=(DENW*SHW*DELXW)/(2.0*DELT)
CAWN2=TCW/DELXW
CAWN1=(CAWN2+CAW01)-(SPW*DELXW*0.5)
CBW=(SCW*DELXW*0.5)+(CAW01*TWO(1))
TWN(1)=(CAWN2*TWO(2)+CBW)/CAWN1
C  CALCULATION OF TEMPERATURE THROUGH THE WALL
DO 30 J=2,N-1
CAO=(DENW*SHW*DELXW)/DELT
CA=TCW/DELXW
CAN=CA+CA+CAO
CB=CAO*TWO(J)
TWN(J)=(CA*TWO(J+1)+CA*TWN(J-1)+CB)/CAN
30  CONTINUE
C  CALCULATION OF INTERNAL SURFACE WALL TEMPERATURE
SCWN=HI*TR+SBC*EMW*TR**4
SPWN=-(HI+SBC*EMW*TWO(N)**3)
CAWON=(DENW*SHW*DELXW)/(2.0*DELT)
CANM1=TCW/DELXW
CAWNN=(CANM1+CAWON)-(SPWN*DELXW*0.5)
CBW=(SCWN*DELXW*0.5)+(CAWON*TWO(N))
TWN(N)=(CANM1*TWN(N-1)+CBW)/CAWNN

```

```

SUM TO=TGO+TAO
SUM TN=TGN+TAN1
DO 40 J=1,N
SUM TO=SUM TO+TWO(J)
SUM TN=SUM TN+TWN(J)
40 CONTINUE
DEFT=ABS((SUM TN-SUM TO)/SUM TN)
IF(DEFT.LE.0.00001)GO TO 70
TGO=TGN
TAO=TAN1
DO 55 J=1,N
TWO(J)=TWN(J)
55 CONTINUE
20 CONTINUE
GO TO 85
70 WRITE(*,*)TGN,TAN1,(TWN(J),J=1,N)
85 STOP
END

```

ملحق (ب)

قائمة الرموز

الوحدات-النظام العالمي SI-Units	المعنى	الرمز
m^2	مساحة	A
$KJ/Kg \cdot K^0$	حرارة نوعية	C
0K	عدد درجة - يوم لليوم الواحد	d
K^0	عدد درجة يوم لعدد N من الأيام	DD
	الكسر الشمسي (المساهمة الشمسية)	F
KW	معدل توليد الحرارة داخل البناية	g
$W/m^2 \cdot ^0K$	معامل انتقال حرارة حملي	h
W/m^2	الإشعاع الشمسي الكلي الساقط	r H
$W/m \cdot ^0K$	معامل توصيل حراري	K
m	سمك الجدار	L
	عدد الأيام	N
Kw	طاقة حرارية	Q
Kw/m^2	فيض حراري	Q
K/w^0	مقاومة حرارية	R
KJ	سعة خزن نية	S
	نسبة الحمل الشمسي	SLR
	كسر التدفئة الشمسي	SHF
Sec	زمن	t
K^0	درجة حرارة	T
0K	درجة حرارة الهواء الشمسية	Tsa
$W/m^2 \cdot ^0K$	معامل فقدان الحرارة الإجمالي	U
	النسبة الخزن نية المفرغة (الصامتة)	Y

قائمة الرموز الإغريقية

الرمز	المعنى
α	امتصاصية السطح
Δ	فرق ، عدد
ϵ	انبعاثية السطح
ξ	نفاذية الزجاج
ρ	كثافة (Kg / ³ m)
σ	ثابت ستيفان - بولتزمان ويساوي $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}^4$
ϕ	دالة انتقاعية الإشعاع

قائمة الرموز السفلية

الرمز	المعنى
a	هواء
b	بنايئة
c	المجمع (التجميع)
g	زجاج
i	داخلي
mim	أصغر
max	أعظم
o	خارجي
r	حجره (حيز)
w	جدار

قائمة ترجمة الألفاظ الإنجليزية

الترجمة بالإنجليزية	الألفاظ العربية
Abstract	مستخلص
Control-Volume	الحجم المحكوم
Solar Radiation	الإشعاع الشمسي
Solar Active Heating Of Buildings	التدفئة الشمسية الفعالة للأبنية
Auxiliary Heat Supply Arrangement	وحدة تجهيز حرارة مساعدة
Coefficient Of Performance	معامل الأداء
Sun Space	الحيز الشمسي
Convective Loop	الحلقة الحملية
Direct Gain	الكسب المباشر
Ahached Sun Space	حيز شمسي ملاصق
Appropriate Overhang	نتوء بارز مناسب
Dampers	المخمدات
Shutters	أغطية متحركة
Attached Green House	البيوت الزجاجية الملاصقة أو الملحقة
Transmittance	نفاذية الزجاج
Heat Mirror Coating	طلاء عاكس للحرارة
Roof Pond	بركة السقف
Thermo-Syphone Action	السيفون الحراري
Solar Load Ratio	نسبة الحمل الشمسي
Utilizability	الإستفادية (الانتفاعية)
Thermal Mass Wall	جدار الكتلة الحرارية
Water Wall	الجدار المائي
Modified Load Collector Ratio	نسبة حمل المجمع المعدلة
Solar Capability Index	مؤشر القابلية الشمسية
Diffusion Coefficient	معامل الانتشار
Source Term	حد المصدر
Grid Points	النقاط العقدية
Stepwise	هيئة التدرج
Piecewise	هيئة القطعة
Weighting Factor	معامل الثقل
Discussion	مناقشة النتائج
Coclusions	الاستنتاجات
Recommendations	التوصيات