

فقط ، مع بقاء هواء البيت بارداً ، لكن تظهر اختلافات فى درجة الحرارة بين أجزاء النبات الواحد ؛ لأن الأجزاء المظللة لا تصل إليها الأشعة ، وتبقى باردة .

وبالمقارنة بالطرق الأخرى للتدفئة ، فإن هواء البيت - فى حالة التدفئة بالأشعة تحت الحمراء - يكون أبرد ، وتكون رطوبته النسبية أعلى (Knies & Breuer ١٩٨٠) . وقد ناقش Challa (١٩٨٠) تأثير استخدام الأشعة تحت الحمراء فى تدفئة البيوت المحمية على المحاصيل المختلفة من عدة جوانب ؛ منها الاختلافات فى درجات حرارة الهواء والتربة والنبات ، والعلاقات المائية .

تدفئة التربة عن طريق مواسير الصرف

وجد Gent & Malerba (١٩٩٤) أن دفع هواءٍ ساخنٍ من خلال مواسير الصرف المغطى تحت مصاطب الزراعة أدى إلى رفع حرارة التربة من ١٠م إلى ٢٠م خلال أسبوعٍ واحدٍ من المعاملة فى منتصف مارس ، بينما لم تصل حرارة التربة فى معاملة الشاهد إلى هذه الدرجة إلا فى شهر مايو (بولاية كونيكيتكت الأمريكية) . وقد أدت المعاملة إلى زيادة محصول الطماطم المبكر بنسبة ١٤٪ ، والمحصول الكلى بنسبة ١٦٪ ، ومحصول ثمار الدرجة الأولى بنسبة ١١٪ .

طرق التبريد

تعد البيوت المحمية المبردة ضرورةً لا غنى عنها لإنتاج الخضروات خلال شهور الصيف فى بعض دول العالم ، والتي من أمثلتها دول الخليج العربى التى يزيد المعدل الشهرى لدرجة الحرارة العظمى فى معظم أرجائها عن ٤٠م خلال الفترة من مايو حتى سبتمبر . وقد تصل درجة الحرارة العظمى فى بعض أيام الصيف إلى ٤٨م - ٥٠م ؛ الأمر الذى يستحيل معه إنتاج معظم محاصيل الخضر فى الحقول المكشوفة ، فضلاً على انخفاض الرطوبة النسبية فى المناطق الداخلية البعيدة عن السواحل إلى مستوياتٍ تقل غالباً عن ١٥٪ ، وهى دون الحد المناسب للنمو النباتى ، والتلقيح ، وعقد الثمار .

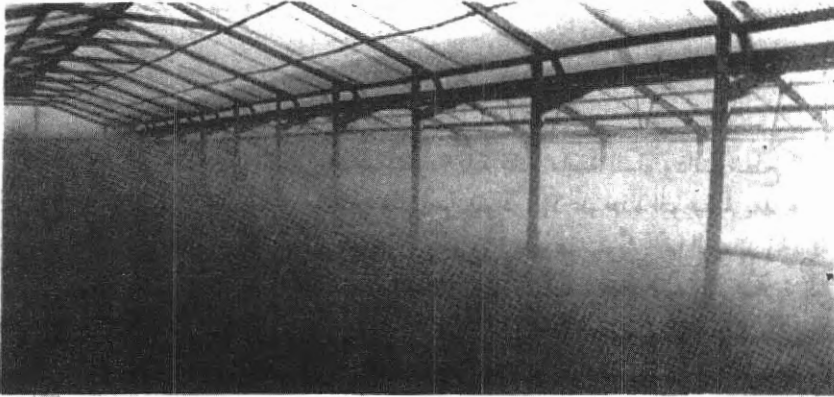
وحتى يمكن إنتاج الخضر خلال هذه الأشهر الشديدة الحرارة فى هذه المناطق ،

فإنه يتعين خفض درجة الحرارة بمقدار ١٥ م ، ورفع الرطوبة النسبية إلى نحو ٧٠٪ - ٨٠٪ ، ولا يتأتى ذلك إلا داخل البيوت المحمية المبردة .

هذا . . وتتبع طريقتان رئيسيتان فى تبريد البيوت المحمية ؛ هما : التبريد بالرذاذ أو الضباب ، والتبريد بمبردات الهواء . أما التبريد بمكيفات الهواء ، فلا يصلح للإنتاج التجارى للخضر ؛ نظراً لارتفاع تكاليفه ، ولكنه قد يستخدم فى البيوت المخصصة للبحوث العلمية .

التبريد بالرذاذ أو الضباب

يعرف نظام التبريد بالرذاذ أو الضباب mist باسم « التضييب » misting . ويتم فى هذه الطريقة ضخ الماء تحت ضغط مرتفع لا يقل عن ٤٢ كجم / سم^٢ (٦٠٠ رطل / بوصة^٢) فى أنابيب تثبت أعلى مستوى النباتات ؛ حيث يخرج الماء من بشاير خاصة على شكل رذاذ دقيق جداً يشبه الضباب (شكل ٣ - ٧) ، فيتبخر بسهولة ؛ ومن ثم تنخفض درجة الحرارة ، كما ترتفع الرطوبة النسبية ، ويلزم لنجاح هذه الطريقة أن تتوفر كميات كبيرة من الماء الخالى - تقريباً - من الأملاح .



شكل (٣ - ٧) : التبريد بـ «التضييب» (رذاذ الماء الشبيه بالضباب) .

وقد يستعمل نظام التبريد بالضباب منفرداً ، كما هى الحال فى المناطق المعتدلة ، أو مع نظام التبريد بمبردات الهواء فى المناطق الشديدة الحرارة . وفى المناطق المعتدلة يفيد

الضباب فى تلطيف جو البيت وخفض درجة الحرارة بعد الظهيرة حين لا تكون التهوية كافية بمفردها لخفض حرارة البيت . كما يساعد الضباب على زيادة الرطوبة النسبية إلى الدرجة التى تسمح بالعقد الجيد لثمار بعض المحاصيل كالقاوون . أما فى المناطق الحارة ، فإن الضباب يساعد - مع مبردات الهواء - على إحداث خفض أكبر فى درجة الحرارة ؛ نظراً لأن المبردات قد لا تكفى بمفردها فى الفترات الشديدة الحرارة . ويستفاد من ذلك أنه ينصح بتركيب نظام «التضبيب» فى جميع البيوت المحمية فى المناطق المعتدلة والحارة على حدٍ سواء .

ويمكن الاستفادة من نظام التبريد بالضباب فى تزويد النباتات بجزءٍ من مياه الري التى تلزمها . وقد لا تروى النباتات إلا بالري ، لكن يعيب هذه الطريقة أن أرض البيت تصبح موحلة . ويمكن التغلب على هذه المشكلة بفرش الممرات بالبلاستيك أو بالزراعة فى بالات القش المضغوط .

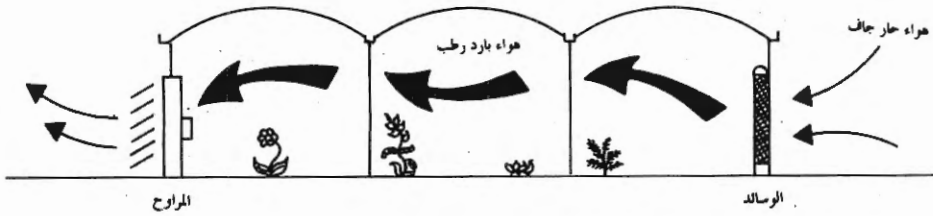
ومن ناحيةٍ أخرى .. استعمل الرذاذ مع شبك التظليل - خارجياً - فى خفض درجة الحرارة داخل الصوبات . فمثلاً .. قام Willits & Peet (١٩٩٤) بوضع شبك من البوليثيلين الأسود - توفر تظليلاً بنسبة ٥٥٪ - خارجياً ، وعرضها للرذاذ يوماً ، مع تركها دون رذاذ يوماً آخر .. وهكذا بالتبادل - يومياً - لمدة ٩ أسابيع (ابتداءً من ١٠ يولية فى ولاية كارولينا الشمالية الأمريكية) ، وكان تشغيل الرذاذ لمدة ٣٠ ثانية كل ٣ دقائق كلما ازداد الإشعاع الشمسى عن ٤٠٠ واط (W) / م^٢ . أدت هذه المعاملة إلى خفض درجة الحرارة داخل الصوبة ، وقللت الحاجة إلى التبريد (مع توفير فى كمية المياه والطاقة المستهلكة فى عملية التبريد) ، وخفضت درجة الحرارة القصوى للأوراق بنسبة ٨,٣٪ ، وللتربة بنسبة ١٧,٦٪ مقارنة بمعاملة الشاهد التى برّدت بنظام المروحة والوسادة فقط .

التبريد بمبردات الهواء

يطلق على نظام التبريد بمبردات الهواء Air Coolers اسم التبريد الصحراوى ، أو نظام المروحة والوسادة Fan and Pad System .

طريقة عمل مبردات الهواء

يعتمد التبريد فى هذه الطريقة على تبخر الماء من وسائد pads مبتلة عن طريق إجبار تيار من الهواء بالمرور من خلالها . يتم إيصال منظم للحرارة بمروحة كبيرة توجد فى أحد جانبي البيت ، بينما توجد الوسائد فى الجانب الآخر . وعند وصول درجة الحرارة داخل البيت إلى الحد الأقصى المسموح به يقوم المنظم بتشغيل كل من مروحة ومضخة ماء . تقوم المضخة بدفع تيار من الماء أعلى الوسائد لجعلها رطبة بصفة دائمة ، بينما يؤدي تشغيل المروحة إلى إحداث تفريغ داخل البيت ، يتبعه اندفاع الهواء من خلال الوسائد المبتلة ؛ حيث يتبخر جزء من الماء ؛ ومن ثم يكون الهواء الداخلى إلى البيت بارداً أو رطباً (شكل ٣ - ٨) . أما الماء الذى لا يتبخر ، فإنه يتجمع أسفل الوسادة ليتم ضخه مرة أخرى ... وهكذا .

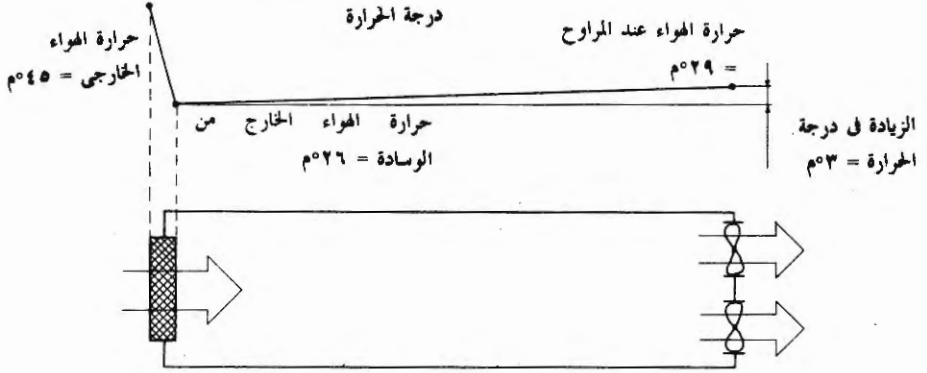


شكل (٣ - ٨) : مسار الهواء فى البيوت المبردة بنظام المروحة والوسادة .

ويتم التبريد فى هذا النظام على أساس أن تبخر الماء يحتاج إلى طاقة ، وأن هذه الطاقة تؤخذ من الوسادة أو الهواء المحيط بها ؛ وعليه . . تنخفض درجة حرارة الهواء الداخلى إلى البيت عن الجو الخارجى ، وقد يصل الفرق فى درجة الحرارة بين الهواء الداخلى إلى الوسادة والهواء الخارج منها إلى ٦ - ١٤ م° ، لكن ترتفع درجة حرارة الهواء الذى يمر خلال البيت تدريجياً ، ويقدر الفرق بين درجتى الحرارة عند الوسادة وعند المروحة بنحو ٣ - ٤ درجات مئوية (شكل ٣ - ٩) .

ولتحقيق ذلك . . يتعين أن يكون غطاء البيت سليماً تماماً ، وأن تكون جميع الأبواب ومنافذ التهوية مغلقة ، وإلا اندفع الهواء الخارجى من خلالها - بدلا من مروره من خلال الوسائد - الأمر الذى يؤدي إلى رفع درجة حرارة الصوبة .

انخفاض درجة الحرارة بما يعادل
٨٠٪ من الفرق بين قراءتي
الترمومترين الجاف والمبلل



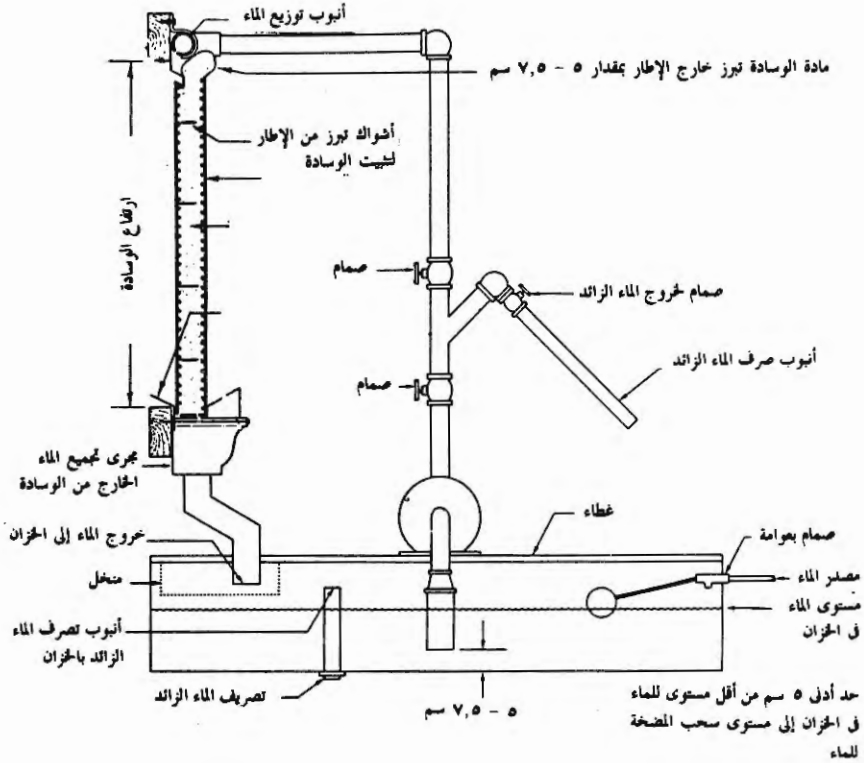
شكل (٣ - ٩) : التغيرات فى درجة حرارة الهواء المارّ خلال البيوت المبردة بنظام المروحة والوسادة .

الوسائد Pads

كانت الوسائد تصنع من أكياس شبكية مملوءة بأية مادة ماصة للماء وذات سطح كبير ؛ مثل القش ، أو «برى» الخشب ، أو ما شابه ذلك من المواد ، إلا أن هذه النوعية لم يعد لها استعمال كبير فى الوقت الحاضر ؛ نظراً لضعف كفاءتها ، وضرورة تغييرها سنوياً .

أما الوسائد الحديثة ، فإنها تتكون من ورق سيليلوزي معرج ، ومشبع بأملاح غير ذائبة ، وبمواد تزيد من صلابة الورق مع بعض المواد التى تساعد على البلل (شكل ٣ - ١٠ ، يوجد فى آخر الكتاب) . وتستخدم هذه الوسائد لمدة ١٠ سنوات أو أكثر . وهى تتوفر بسمك يتراوح بين ١٠ سم و ٣٠ سم ، علماً بأن زيادة السمك تعنى نقص المسطح العام للوسادة الذى يجب توفره لتحقيق التبريد اللازم ، وتستعمل الوسائد السمكة (٢٠ - ٣٠ سم) فى الأجواء الشديدة الحرارة . وتزيد كفاءة هذه النوعية من الوسائد بنحو ٦٠٪ عن كفاءة الوسائد التى تملأ بالمواد الماصة .

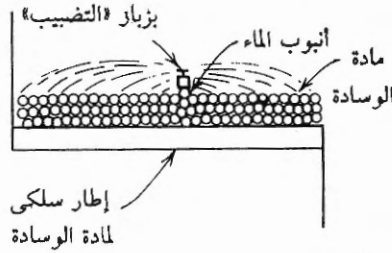
هذا .. ويوضح شكل (٣ - ١١) التركيب العام للوسادة ، وكيفية تزويدها بالماء اللازم للتبريد . أما شكل (٣ - ١٢) ، فيبين التركيب الدقيق لمكونات الوسادة وملحقاتها .



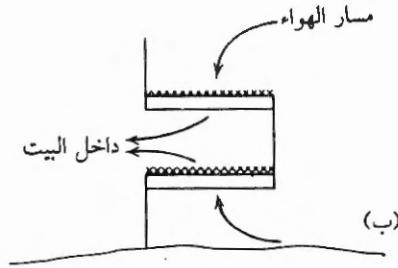
شكل (٣ - ١٢) : التركيب الدقيق لمكونات الوسادة وملحقاتها (عن Hanan وآخرين ١٩٧٨) .
 ويُعوّض الماء الذى ينقص من الخزان باستمرارٍ بمعدلٍ يوازى كمية الماء المتبخرة ،
 وهى التى قد تصل إلى ٠,٤١ لترًا فى الدقيقة لكل مترٍ مربعٍ من الوسادة فى يومٍ حارٍّ
 جافٍ . ويتم تزويد الخزان بالماء من فتحةٍ يتحكم فيها صمام «بعوماء» . هذا . . ومن
 المفضل تزويد النظام بمرشح للماء يوضع قبل المضخة ، ويمكن تنظيفه بإعادة مرور الماء
 من خلاله فى الاتجاه العكسى flushable filter .

كما توجد وسائل أفقية توضع فيها مواد ؛ مثل الفيرميكيوليت أو قشارة « برّوة »
 الخشب على شبكة سلكية ؛ لتعمل كمسطح للتبخّر مع السماح بمرور الهواء من خلالها .
 ويحافظ على الوسادة رطبةً باستمرارٍ بواسطة «التضبيب» (شكل ٢١ - ١٢ أ) . كما

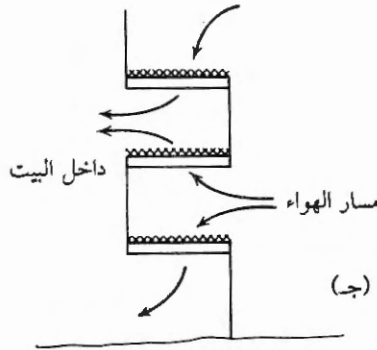
قد يوجد عدد من الوسائد الأفقية التي تثبت بعضها فوق بعض على جانب البيت من الخارج « شكل ٢١ - ١٢ ب ، ج » .



(أ)



(ب)



(ج)

شكل (٣ - ١٣) : الوسائد الأفقية : (أ) وسادة من مواد ذات سطح ماصّ وكبير ؛ مثل الفيرميكيوليت أو برّوة الخشب ، (ب) طبقتان من الوسائد العادية بوضع أفقي ، (ج) ثلاث طبقات من الوسائد العادية بوضع أفقيّ (عن Mastalerz ١٩٧٧) .

تعرض الوسائد لمشكلتين رئيسيتين ؛ هما : تراكم الأملاح بها ، ونمو الطحالب عليها . وتعالج مشكلة الأملاح إما بزيادة معدل مرور الماء من خلال الوسائد - كثيراً - عن معدل تبخره ، وإما بتنظيم عمل مضخة الماء ؛ بحيث تستمر فى ضخ الماء عليها لفترة وجيزة بعد توقف المروحة عن العمل ؛ الأمر الذى يعمل على غسيل الأملاح التى ربما تكون قد تراكمت عليها .

أما الطحالب فهى قد تنمو على الوسائد السيليلوزية بعد فترة تتراوح بين ستين وثلاث سنوات من الاستعمال ، وهى لا تتلف الوسائد ، ولكنها قد تسد منافذ الماء فيها ؛ الأمر الذى يقلل من كفاءتها فى التبريد . وتعالج هذه المشكلة بحقن محلول هيبوكلوريت الصوديوم (محلول تبيض الغسيل التجارى) بتركيز ١٪ فى مصدر مياه الوسادة ؛ وهو ما يكفى لجعل تركيز الكلورين فى الماء المستعمل بين ٣ و ٥ أجزاء فى المليون . ويكفى نحو ١١٤ لترًا من محلول هيبوكلوريت الصوديوم شهريًا لجعل ٣٠ مترًا من الوسائد التى بسمك ١٥ سم خالية من النمو الطحلبى .

ومن أهم عيوب استعمال هيبوكلوريت الصوديوم أنه يرفع رقم حموضة (pH) الماء ؛ الأمر الذى يؤدى إلى ليونة الوسادة إذا ارتفع الـ pH عن ٩,٠ (كما يجب ألا ينخفض الرقم عن ٦,٠) .

ومن بدائل حقن هيبوكلوريت الصوديوم فى مياه الوسائد : رشه على الوسائد على فترات ، وحقن فوق أكسيد الأيدروجين Hydrogen Peroxide لتجنب ارتفاع الـ pH ، واستعمال تحضيرات تجارية خاصة تقتل النموات الفطرية ، والبكتيرية ، والطحلبية (Biocides) فى الوسائد ؛ مثل التحضير التجارى Oakite الذى يضاف إلى خزان مياه الوسائد مرة أو مرتين أسبوعيًا .

المروحة Fan

يجب أن تثبت المروحة فى جانب البيت الذى لا يواجه الرياح ، فى حين تكون الوسادة فى الجانب المواجه للرياح ؛ حتى تكون الرياح مساعدة لعمل المروحة ، وليست معاكسة لها . وإذا تعذر ذلك ، فلا بد من زيادة كفاءة المروحة بمقدار ١٠٪ .

أما إذا وجد عدد من البيوت المتجاورة ، فإن اتجاه الرياح لا يكون عاملاً مهماً إلا بقدر ما تكون مراوح إحدى مجموعتي البيوت غير مقابلة لوسائل المجموعة المجاورة ؛ لأن ذلك يؤدي إلى طرد الهواء الساخن من المجموعة الأولى ليدخل في البيوت المجاورة . ويحسن في هذه الحالة أن تكون وسائل مجموعتي البيوت متقابلة ، لكن هذه المشكلة تقل تدريجياً بزيادة المسافة بين مجموعتي البيوت ، حتى تنعدم تماماً عندما تكون المسافة بينهما ٢٠ متراً أو أكثر .

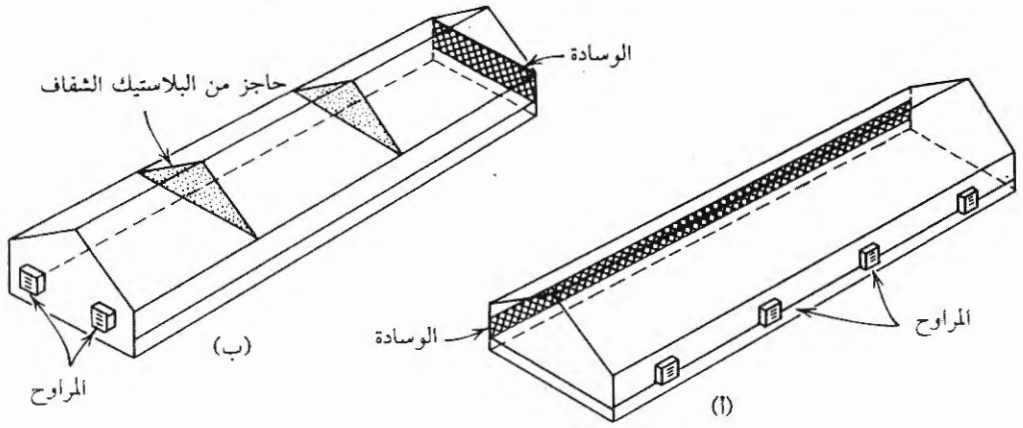
وفي حالة استعمال أكثر من مروحتين في البيت الواحد يفضل أن يكون لبعضها سرعتها تشغيل ؛ ليتمكن تحقيق أكبر قدر من التحكم في معدل سحب الهواء من البيت ؛ سواء أكان ذلك عند التبريد ، أم التهوية .

مسار الهواء المبرد

يفضل أن يكون مسار الهواء المبرد باتجاه عرض البيت ، وموازيًا لخطوط الزراعة ، وفي مستوى النمو النباتي . ولتحقيق ذلك يجب وضع الوسائل في مستوى النباتات أو أعلى قليلاً (شكل ٣ - ١٤) ؛ حتى تزيد فرصة مرور الهواء البارد من خلال النباتات ، لكن نظراً لأن تيار الهواء يجد مقاومة من النباتات ، فإننا نجد أن مسار الهواء يتجه إلى أعلى بزاوية ٧ درجات (أى بمعدل متر لكل ثمانية أمتار) تاركاً جيوباً غير مبردة في مستوى النمو النباتي .

ويمكن تصحيح ذلك الوضع بتثبيت شرائح من البوليثلين الشفاف تتدلى من قمة البيت عمودياً على مسار الهواء ، حتى تجبره على أن يسلك مساراً سفلياً بين النباتات . تثبت هذه الشرائح كل عشرة أمتار . ويجب أن يكون طرفها المتدلى بعيداً بعدد كافياً عن قمة النباتات ؛ حتى لا تعوق حركة الهواء (شكلاً ٣ - ١٤ ب ، ٣ - ١٥ هـ) .

كما تظهر مشكلة أخرى إذا كانت الوسائل قريبة من سطح التربة ، وكانت النباتات مريأة على مناخذ ؛ لأن الهواء المبرد يتسرب في هذه الحالة من تحت المناخذ ، دون المرور على النباتات (شكل ٣ - ١٥ د) . ويمكن التغلب على المشكلة بتثبيت شرائح بلاستيكية تحت المناخذ مقابل الوسائل (شكل ٣ - ١٥ هـ) .



شكل (٣ - ١٤) : وضع المراوح والوسائد فى البيوت المحمية . (أ) على امتداد الجانبين الطويلين للبيت . (ب) على امتداد الجانبين القصيرين للبيت ، مع تثبيت حواجز من البلاستيك الشفاف تتدلى كل عشرة أمتار من قمة البيت لإجبار الهواء المبرد على اتخاذ مسارٍ سفليٍّ بين النباتات .

هذا .. ويبين شكل (٣ - ١٥ أ ، ب ، ج) مسارات الهواء فى حالات الأوضاع المختلفة للوسائد والمراوح والأماكن التى تكون درجة حرارتها أكثر ارتفاعاً من بقية أجزاء البيت بسبب عدم وجودها فى مسار التيارات الهوائية . يلاحظ بالشكل أن درجة الحرارة تكون أكثر ارتفاعاً فى أركان البيت بالجانب الذى توجد فيه المراوح . كذلك يلاحظ فى حالة البيوت الكبيرة التى قد توضع فيها الوسائد فى الجانبين القصيرين والمراوح فى الجانبين الطويلين أن مركز البيت تكون حرارته أعلى من باقى أرجاء البيت ؛ وذلك بسبب عدم وجوده فى مسار التيارات الهوائية . (Mastalarez ١٩٧٧) .

العوامل المؤثرة على كفاءة التبريد

تتوقف درجة التبريد التى يمكن تحقيقها بنظام المروحة والوسادة على ثلاث مجموعاتٍ من العوامل ؛ هى :

أولاً : عوامل خاصة بتصميم نظام التبريد .. وتشمل :

١ - معدل سحب الهواء الدافئ من البيت .

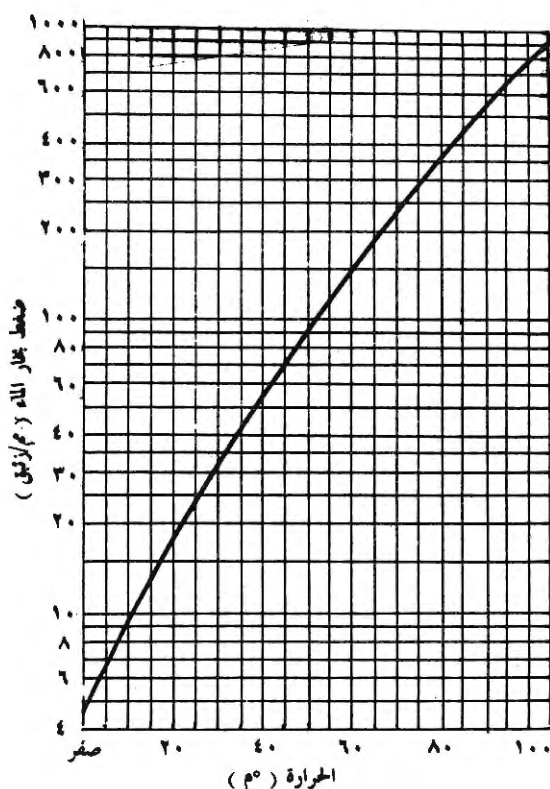
٢ - مساحة سطح الوسائد .

ثانيًا : الرطوبة النسبية للهواء الخارجى :

- ۱۲۲

هذا . . وتزداد قدرة الهواء على حمل الرطوبة كلما ارتفعت درجة حرارته (شكل

٣ - ١٦) .



شكل (٣ - ١٦) : العلاقة بين درجة حرارة الهواء وقدرته على حمل الرطوبة .

ومع زيادة قدرة الهواء على حمل الرطوبة - عند ارتفاع درجة حرارته - فإن رطوبته النسبية تنخفض تلقائياً (بفرض عدم زيادة محتواه الرطوبى) ؛ وبذا . . تزداد كفاءة عملية التبريد بنظام المروحة والوسادة . وتتضح هذه العلاقة فى جدول (٣ - ٨) ، وشكل (٣ - ١٧) .

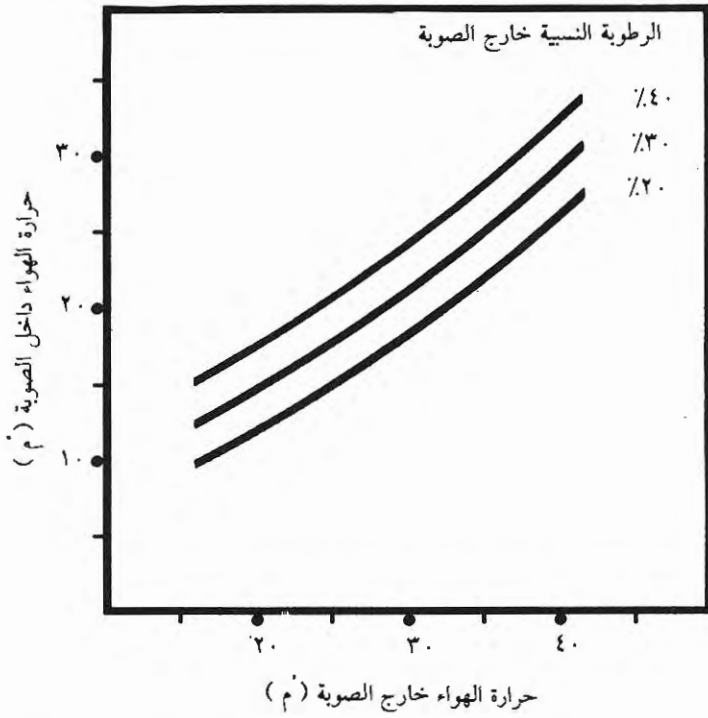
جدول (٣ - ٨) : كفاءة التبريد بنظام المروحة والوسادة (على أساس أن التبريد يكون في حدود ٨٠٪ من الفرق بين درجة حرارة الترمومترين الجاف والمبتل) عند اختلاف الرطوبة النسبية في الجو الخارجى من ٥ - ٢٠٪ وحرارة الهواء الداخلى إلى الصوبة من ٣٠ - ٤٥ م° (عن كتالوج شركة Munters) .

الظروف الخارجية		الظروف داخل الصوبة بعد مرور الهواء من وسادة التبريد	
الرطوبة النسبية (%)	الحرارة (م°)	الرطوبة النسبية (%)	الحرارة (م°)
٥	٤٥	٦٢	٢٤
٥	٤٠	٦٣	٢١
٥	٣٥	٦٥	١٩
٥	٣٠	٦٦	١٦
١٠	٤٥	٦٦	٢٦
١٠	٤٠	٦٧	٢٣
١٠	٣٥	٦٩	٢٠
١٠	٣٠	٧٠	١٧
٢٠	٤٥	٧٣	٢٩
٢٠	٤٠	٧٣	٢٦
٢٠	٣٥	٧٤	٢٢
٢٠	٣٠	٧٤	١٩

ثالثاً : عوامل يتم تصحيح احتياجات التبريد على أساسها .. وهى كما يلى :

١ - منسوب البيت (ارتفاعه عن سطح البحر) :

من الضرورى زيادة معدل سحب الهواء من البيت عند ارتفاع منسوبه عن ٢٠٠ متر عن سطح البحر ؛ لأن مقدرة الهواء على التبريد تعتمد على وزنه وليس على حجمه ، علماً بأن كثافة الهواء تقل كلما ارتفعنا عن سطح البحر . ولهذا .. يجب استعمال معاملٍ خاصٍ لتصحيح المعدل اللازم لسحب الهواء من البيت يرمز إليه بالرمز (Felev) ، أو معامل التصحيح الخاص بالمنسوب أو الارتفاع عن سطح البحر (جدول ٣ - ٩) .



شكل (٣ - ١٧) : العلاقة بين درجة حرارة خارج البيت وداخله عند اختلاف نسبة الرطوبة فى الهواء الخارجى من ٢٠% - ٤٠% (عن كتالوج شركة Sita) .

جدول (٣ - ٩) : معامل التصحيح الخاص بالمنسوب أو الارتفاع عن سطح البحر (F_{elev}) .

الارتفاع عن سطح البحر (متر)									
٢٤٠٠	٢١٠٠	١٨٠٠	١٥٠٠	١٢٠٠	٩٠٠	٦٠٠	٣٠٠	٣٠٠ من أقل	
١,٣٦	١,٣٠	١,٢٥	١,٢٠	١,١٦	١,١٢	١,٠٨	١,٠٤	١,٠٠	F _{elev}

٢ - المسافة من الوسائد إلى المراوح :

يجب أن تكون الوسائد والمراوح متقابلة . ويتوقف استخدام الحوائط المختلفة لهذا الغرض على أبعاد البيت ؛ لأن المسافة بين الوسادة والمروحة يجب أن تكون فى حدود ٣٠ - ٦٠ متراً . فإذا زادت المسافة عن ذلك يحتاج الأمر إلى مراوح ضخمة . وإذا

نقصت المسافة عن ٣٠م لا ينتشر الهواء المبرد في كل أرجاء البيت ، بل يميل في حركته نحو مسار ضيق من الوسادة إلى المروحة . وتلزم في هذه الحالة زيادة سرعة سحب الهواء من البيت لتصحيح ذلك الوضع . ويستخدم لذلك معامل خاص لتصحيح يرمز إليه بالرمز (F_{vel}) ، أو معامل التصحيح الخاص بالمسافة من الوسادة إلى المروحة (جدول ٣ - ١٠) .

جدول (٣ - ١٠) : معامل التصحيح الخاص بالمسافة من الوسادة إلى المروحة (F_{vel}) .

المسافة (م)	معامل التصحيح	المسافة (م)	معامل التصحيح	المسافة (م)	معامل التصحيح
٦,٠	٢,٢٤	١٥,٠	١,٤١	٢٤,٠	١,١٢
٧,٥	٢,٠٠	١٦,٥	١,٣٥	٢٥,٥	١,٠٨
٩,٠	١,٨٣	١٨,٠	١,٢٩	٢٧,٠	١,٠٥
١٠,٥	١,٦٩	١٩,٥	١,٢٤	٢٨,٥	١,٠٢
١٢,٠٠	١,٥٨	٢١,٠	١,٢٠	٣٠,٠	١,٠٠
١٣,٥	١,٤٨	٢٢,٥	١,١٦		

٣ - شدة الإضاءة داخل البيت :

يحتاج الأمر إلى معامل تصحيح ثالثٍ خاصٍ بشدة الإضاءة داخل البيت عند اختلافها عن ٥٠٠٠ قدم - شمعة (٥٣,٨ klux) يرمز لها بالرمز (F_{light}) ، ويحصل عليه من جدول (٣ - ١١) ؛ ويرجع ذلك إلى زيادة الطاقة الحرارية المتحصل عليها من الشمس مع زيادة شدة الإضاءة .

٤ - الفرق المسموح به في درجة الحرارة بين الوسادة والمروحة :

يحتاج الأمر إلى معامل تصحيح رابعٍ للفرق الذي يسمح به في درجة الحرارة بين الوسادة والمروحة ؛ لأن المعدل القياسي لسحب الهواء - وهو ٢,٥ م^٣ / دقيقة / م^٢ من مساحة البيت - يأخذ في الحسبان فرقاً قدره ٤ درجات مئوية (أو ٧ درجات فهرنهايت) بين درجة حرارة الهواء الداخل إلى البيت بعد مروره على الوسادة ودرجة حرارة الهواء الخارج من البيت عند المروحة . ويمكن تصحيح ذلك باستخدام معاملٍ خاصٍ يرمز إليه بالرمز (F_{temp}) ، ويعرف باسم معامل التصحيح الخاص

وسائل التحكم فى العوامل البيئية داخل البيوت المحمية

بالفرق المسموح به فى درجة الحرارة بين الوسادة والمروحة ، ويحصل عليه من جدول (٣ - ١٢) .

جدول (٣ - ١١) : معامل التصحيح الخاص بشدة الإضاءة داخل الصوبة (Flight) .

شدة الإضاءة								
قدم - شمعة	٤٠٠٠	٤٥٠٠	٥٠٠٠	٥٥٠٠	٦٠٠٠	٦٥٠٠	٧٠٠٠	٧٥٠٠
كيلو لكس klux	٤٣,١	٤٨,٤	٥٣,٨	٥٩,٢	٦٤,٦	٧٠,٠	٧٥,٣	٨٠,١
Flight	٠,٨٠	٠,٩٠	١,٠٠	١,١٠	١,٢٠	١,٣٠	١,٤٠	١,٥٠

جدول (٣ - ١٢) : معامل التصحيح الخاص بالفرق المسموح به فى درجة الحرارة داخل البيت بين المروحة والوسادة (F_{temp}) .

الفرق المسموح به فى درجة الحرارة (°م)						
٥,٦	٥,٠	٤,٤	٣,٩	٣,٣	٢,٨	٢,٢
(F_{temp}) ٠,٧٠	٠,٧٨	٠,٨٨	١,٠٠	١,١٧	١,٤٠	١,٧٥

وكقاعدة عامة .. عندما لا يزيد ارتفاع منسوب البيت على ١٠٠٠ قدم (٣٠٠ متر) عن سطح الأرض ، وعندما لا تزيد شدة الإضاءة داخل البيت على ٥٠٠٠ قدم - شمعة (٥٣,٨ klux) ، فإن معدل سحب الهواء من البيت يجب أن يكون فى حدود ٨ أقدام مكعبة فى الدقيقة لكل قدم مربعة من مساحة البيت (٢,٥ م^٣ فى الدقيقة لكل متر مربع من مساحة البيت) ، مع افتراض أنه يسمح بفرق سبع درجات فهرنهايتية (حوالى أربع درجات مئوية) بين المروحة والوسادة ، وأن المسافة بين المراوح والوسائد تزيد على ١٠٠ قدم (حوالى ٣٠ متراً) .

فإذا أُخِلَّ بأيٍّ من هذه الشروط والفروض لزم استعمال المعامل الخاص لتصحيح المعدل اللازم لسحب الهواء من البيت عن المعدل المذكور وهو ٢,٥ م^٣ / دقيقة / م^٢ من مساحة البيت .

حساب احتياجات البيت من المراوح والوسائد ومياه التبريد

يُمر حساب احتياجات البيت من المراوح والوسائد بالخطوات التالية :

١ - يحسب أولاً المعدل اللازم لسحب الهواء من البيت تحت الظروف القياسية السابقة الذكر ، ويقدر ذلك بالمعادلة التالية :

$$\text{معدل سحب الهواء من البيت تحت الظروف القياسية بالمتري المكعب في الدقيقة} = \text{طول البيت بالمتري} \times \text{عرض البيت بالمتري} \times ٢,٥$$

٢ - يلي ذلك تصحيح المعدل ليتناسب مع الظروف الخاصة بالبيت ؛ وذلك بضرب المعدل المحسوب من الخطوة السابقة في معامل التصحيح الأكبر من أحد العاملين التاليين :

أ - معامل التصحيح الخاص بالمسافة من الوسادة إلى المروحة (F_{vel}) (جدول ٣ - ١٠) .

ب - معامل التصحيح للبيت (F_{house}) علماً بأن :

$$F_{elev} = F_{house} \quad (\text{جدول ٣ - ٩}) \quad F_{light} \times (\text{جدول ٣ - ١١}) \quad F_{temp} \times (\text{جدول ٣ - ١٢})$$

ويجب أن يكون المعدل المحسوب كافياً لتغيير هواء البيت كله بمعدل ١,٥ - ٢ مرة في الدقيقة .

ويعتبر جدول (٣ - ١٣) مرشداً للاستدلال به على صحة حسابات معدل سحب الهواء من الصوبة .

جدول (٣ - ١٣) : معدلات سحب الهواء من الصوبة عند اختلاف مستوى التظليل داخل الصوبة .

معدل سحب الهواء (م ^٣ / م ^٢ من مساحة البيت / ساعة)	الإشعاع الشمسي (١) (وات / م ^٢)	مستوى التظليل
٢٥٤	٨١٠	١٠
٢٢٥	٧٢٠	٢٠
١٨٩	٦٣٠	٣٠
١٦٩	٥٤٠	٤٠

(١) أجريت الحسابات على أساس أن شدة الإشعاع الشمسي خارج البيت ٩٠٠ وات / م^٢ .

٣ - يتم بعد ذلك اختيار المراوح بالعدد والقدر المناسبين . وتثبت المراوح في جدار البيت المقابل للوسائد ؛ بحيث لا تزيد المسافة بين كل مروحتين على ٧,٥ م ، وأن

يكون توزيعها متجانساً على امتداد البيت ، وعلى ارتفاع واحد من سطح الأرض ، على أن يكون مركزها فى مستوى منتصف النمو النباتى للنباتات المرباة رأسياً .

٤ - يراعى ألا تزيد سرعة الهواء الذى يمر من خلال الوسائد على ١,٥ متر / ثانية ؛ نظراً لأن السرعات الأعلى من ذلك يصاحبها تفريغ كبير داخل البيت ؛ مما يؤثر على كفاءة المراوح .

٥ - تحسب مساحة الوسائد اللازمة على أساس أن كل ٤٥ م^٣ من الهواء المسحوب من البيت فى الدقيقة يلزمه متر مربع من الوسائد الحديثة بسمك ١٠ سم (يزداد هذا المعدل بمقدار الثلثين عند استعمال وسائد القش وقشارة الخشب ... إلخ) . ونظراً لأن الوسائد يجب أن تمتد بكامل جدار البيت (شكل ٣ - ١٨ ، يوجد فى آخر الكتاب) ؛ لذا فإن عرضها يتوقف على المساحة اللازمة منها ، كما يمكن التحكم فى العرض باختيار السمك المناسب .

٦ - تزود الوسائد بالماء بمعدلات تزيد على القدر المتبخر منها ؛ حتى لا تتراكم بها الأملاح (شكل ٣ - ١٩ ، يوجد فى آخر الكتاب) والمعدل المناسب هو ٠,٦ جالوناً فى الدقيقة لكل قدم طولية من الوسادة التى تكون بسمك ١٠ سم (أو حوالى ٧,٤ لترًا / دقيقة / متر طولى) ، بغض النظر عن عرضها (ارتفاعها) . ويعنى ذلك أنه لو كان طول الوسادة ١٥ م ، فإنه يلزم ضخ الماء بمعدل ١١١ لترًا فى الدقيقة .

ويجب أن يتسع الخزان لـ ٢٠ لترًا من الماء لكل متر طولى من الوسادة ؛ حتى يمكنه استيعاب كل الماء الذى يمر فى الوسادة عند توقف التبريد .

كما يجب توفير مصدر دائم للماء ؛ نظراً لتبخر جزء منه فى عمليات التبريد . ويتحقق ذلك بإيصال خزان الماء بأنبوبة ماء ذات صمام مزود بعوامة ، علماً بأنه يمكن أن يتبخر ٠,٤١ لترًا من الماء فى الدقيقة لكل متر مربع من الوسادة فى يوم حارٍ جافٍ .

مثال :

يراد إجراء الحسابات اللازمة لتصميم عملية تبريد صوبة تبلغ أبعادها ١٥ م × ٣٠ م بنظام المروحة والوسادة ، علماً بأن الصوبة تقع على ارتفاع ٩٠٠ م من سطح البحر ،

وأنها مزودة بشباك تظليل تجعل شدة الإضاءة بداخلها ٥٠٠٠ قدم - شمعة (٥٣,٨ klux) ، وأنه يسمح بفرق قدره ٤ درجات مئوية في الحرارة بين الوسادة وال مروحة ، وأن الوسائد السيليولوزية التي يُراد استعمالها يبلغ سمكها ١٠ سنتيمترات .

تكون الحسابات حسب التسلسل التالي :

١ - المعدل اللازم لسحب الهواء من الصوبة

$$= \text{عرض الصوبة} \times \text{طول الصوبة} \times ٢,٥$$

$$= ١٥ \times ٣٠ \times ٢,٥ = ١١٢٥ \text{ م}^٣ / \text{دقيقة}$$

٢ - يُحسب معامل التصحيح للصوبة F_{house} كما يلي :

$$F_{\text{temp}} \times F_{\text{flight}} \times F_{\text{elev}} = F_{\text{house}}$$

وبالاعتماد على البيانات المتوفرة لدينا عن الصوبة ، وجداول (٣ - ٩ ، ٣ - ١١ ، ١٢) .. نجد أن :

$$F_{\text{house}} = ١,١٢ \times ١,٠ \times ١,٠ = ١,١٢$$

٣ - يراجع معامل التصحيح الخاص بالمسافة من الوسادة إلى المروحة F_{vel} (جدول ٣ - ١٠) ، ويتم اختيار جدارين متقابلين تبلغ المسافة بينهما أقرب ما تكون إلى المدى المسموح به وهو ٣٠ - ٦٠ متراً ؛ وبذا يُختار الضلعان الواقعان في نهايتي الصوبة ، والتي تبلغ المسافة بينهما ٣٠ متراً .

$$\text{ويعنى ذلك أن } F_{\text{vel}} = ١,٠$$

٤ - يُضرب معدل سحب الهواء المتحصل عليه من الخطوة الأولى (١١٢٥ م^٣ / دقيقة) في أى من معاملى التصحيح : F_{house} ، أو F_{vel} - أيهما أكبر - (الأكبر هو F_{house} فى هذا المثال) ؛ وبذا يكون المعدل اللازم لسحب الهواء من الصوبة = ١,١٢ × ١١٢٥ = ١٢٦٠ م^٣ / دقيقة .

٥ - يُحسب عدد المراوح اللازمة للصوبة على ألا تزيد المسافة بينها (بين مراكزها) على ٧,٥ ؛ وبذا يكون العدد اللازم من المراوح ١٥ ÷ ٧,٥ = ٢ مروحة .

٦ - تحسب قوة سحب الهواء التى تجب أن تعمل بها المروحة الواحدة ؛ وهى :

$$1260 \div 2 = 630 \text{ م}^3 / \text{دقيقة} .$$

ويتم تركيب المروحتين فى أحد الجانبين القصيرين للصوبة ، على مسافات متساوية من الجانبين وبينهما .

٧ - تحسب مساحة الوسائد اللازمة ، علما بأنه يلزم متر مربع من الوسائد لكل ٧٥ م^٣ من الهواء الذى يلزم سحبه من خلالها فى كل دقيقة ؛ وهو ما يعنى أنه يلزم :

$$1260 \text{ م}^3 / \text{دقيقة} \div 75 \text{ م}^3 / \text{دقيقة} = 16,8 \text{ م}^2 \text{ من الوسائد للصوبة} .$$

٨ - يجب تثبيت الوسائد - بالمساحة التى تلزم منها - على امتداد جانب الصوبة المخصص لها ؛ أى بامتداد ١٥ مترًا فى هذا المثال ؛ وهو ما يعنى أنها يجب أن تكون بارتفاع :

$$16,8 \text{ م} \div 15 \text{ م} = 1,1 \text{ مترًا} .$$

٩ - يتم بعد ذلك تحديد قدرة الموتور اللازمة لضخ الماء على الوسادة ؛ بحيث يكون الضخ بمعدل ٧,٤ لترًا فى الدقيقة لكل متر طولى من الوسادة ؛ أى :

$$7,4 \text{ لترًا} / \text{دقيقة} \times 15 \text{ م} = 111 \text{ لترًا} / \text{دقيقة} .$$

١٠ - يحدد بعد ذلك الحجم اللازم لخزان مياه الوسادة ؛ بحيث يتسع لنحو ١٨,٦ لترا لكل متر طولى من الوسادة ؛ أى :

$$18,6 \text{ لتر} \times 15 \text{ م} = 279 \text{ لترًا} \text{ (عن Nelson ١٩٨٥)} .$$

استعمال وسائل متنوعة للحد من ارتفاع درجة الحرارة

من أهم الوسائل الأخرى - التى تتبع للحد من ارتفاع درجة حرارة البيوت المحمية أثناء النهار فى المناطق الحارة - ما يلى :

١ - التهوية ؛ وهى موضوع العنوان الرئيسى التالى .

٢ - رش غطاء الصوبة بـ «السيداج» (أو ماء الجير) من الخارج لخفض نفاذيته للإشعاع الشمسى .

٣ - وضع أغطية متنوعة على غطاء الصوبة (مثل شبك البوليثيلين المنفذة للضوء بدرجات مختلفة) ؛ بهدف خفض نفاذية الإشعاع الشمسى إلى داخل الصوبة ، وخفض استهلاك الطاقة اللازمة لعملية التبريد .

وتتنوع الأغطية المستعملة لهذا الغرض باختلاف الشركات المنتجة لها . فمثلا . . يتوفر الغطاء LS50 (إنتاج شركة Ludvig Svensson International الهولندية) الذى يحقق تظليلا بنسبة ٥٠٪ ، ويوفر الطاقة اللازمة لعملية التبريد بنسبة ٥٥٪ . كذلك . يصنع هذا الغطاء من ثلاثة مكونات ؛ هى البولى أوليفين ، والبوليثيلين ، والألومنيوم Polyolefin / Pet / Alu ، ويتوفر على شكل شبك يتراوح عرضها بين ٣٢٥سم و ٨٦٠سم .

كذلك يتوفر غطاء آخر مزدوج من الشبك يحقق تظليلا قدره ٩٩٪ ويوفر نحو ٧٥٪ من طاقة التبريد اللازمة ، ويطلق عليه اسم LS11 + LS7 . يوضع الغطاء LS7 على غطاء البيت مباشرة ، وهو غطاء ذو لون أخضر يُصنع من البوليستر Polyster ، ولاينفذ سوى نسبة ضئيلة من الضوء الأخضر ، بينما يعتبر منفذاً لكل من الضوء الأزرق والضوء الأحمر ؛ أى ينفذ الموجات الضوئية الضرورية لعملية البناء الضوئى . أما الغطاء LS11 فإنه يُصنع من الألومنيوم ، وهو يوضع على الغطاء LS7 من الخارج . يعكس غطاء الألومنيوم نحو ٩٥٪ من الإشعاع الضوئى الساقط على البيت أثناء النهار ، كما يعكس أيضاً نحو ٧٥٪ من الإشعاع الحرارى الصادر من التربة والأجسام الصلبة الأخرى داخل البيت أثناء الليل . وبالمقارنة بالشبك السوداء . . فإن درجة الحرارة تحت هذا الغطاء المزدوج تكون أكثر انخفاضاً فى أثناء النهار وأكثر ارتفاعاً فى أثناء الليل .

التهوية

توجه عناية كبيرة نحو نظام التهوية فى البيوت المحمية ؛ لأنها تحقق المزايا التالية :

١ - تعمل التهوية على خفض درجة الحرارة سريعاً داخل البيوت المحمية ؛ فتقل بذلك احتياجات التبريد ، كما يمكن عند اتباع نظام جيد للتهوية الاستغناء عن التبريد كلية خلال فصل الصيف فى المناطق المعتدلة ، وخلال فصل الشتاء فى المناطق الحارة .

٢ - تؤدى التهوية إلى تجديد هواء البيت ؛ فيمكن بذلك المحافظة على التركيز