الفصل الثالث

وسائل التحكم فى العوامل البيئية داخل البيوت المحمية

مقدمة

على الرغم من أن الهدف الرئيسى من الزراعة المحمية كان - وما زال - هو حماية النباتات من الانحرافات الشديدة فى درجات الحرارة ، إلا أن المفهوم العام للزراعة المحمية قد توسع فى السنوات الأخير ليشمل كافة العوامل البيئية - الجوية منها والأرضية - بغرض توفير الظروف المثلى للنمو النباتى لتحقيق أكبر عائدٍ ممكنٍ من وحدة المساحة .

وأهم العوامل البيئية التى يسعى منتج الخضر إلى التحكم فيها فى الزراعات المحمية ما يلى :

١ - درجة الحرارة .

٢ - الرطوبة النسبية .

٣ - شدة الإضاءة والفترة الضوئية .

٤ - نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون .

٥ - بيئة نمو الجذور (التربة والبيئات الصناعية المجهزة) .

٦ - الرطوبة الأرضية .

٧ - العناصر الغذائية .

٨ - الآفات ومسببات الأمراض (سواء منها ما يصيب النباتات عن طريق الجذور ، أم النموات الخضرية) باعتبارها جزءاً من بيئة البيوت المحمية .

ونُلقى الضوء فى هذا الفصل على وسائل التحكم فى العوامل البيئية الأربعة الأولى (درجة الحرارة ، والرطوبة النسبية ، وشدة الإضاءة والفترة الضوئية ، ونسبة غاز ثانى أكسيد الكربون) . كما سبقت لنا مناقشة العوامل الثلاثة التالية (بيئة نمو الجذور ، والرطوبة الأرضية ، والعناصر الغذائية) بالتفصيل فى كتاب «تكنولوجيا إنتاج الخضر» (حسن ١٩٩٧ ب) ، كما نوقش العامل الأخير (الآفات ومسببات الأمراض) فى كتاب «الممارسات الزراعية المتكاملة لمكافحة أمراض وآفات وحشائش الخضر» (حسن ١٩٩٨) ؛ الأمر الذى يتطلب مراجعتهما للتفاصيل ، ولكنّا نلقى - كذلك - مزيداً من الضوء على تلك العوامل الأربعة الأخيرة ووسائل التحكم فيها - فى الزراعات المحمية - فى الفصول الأخرى من هذا الكتاب .

أساسيات التحكم فى درجة الحرارة فى البيوت المحمية

يتعين قبل الدخول فى تفاصيل طرق التدفئة والتبريد وحساباتهما أن نتعرف أولا بعض المصطلحات المستخدمة فى هذا المجال ، وطرق تنظيم درجة الحرارة ، وطرق انتقالها ؛ لما لذلك من أهميةٍ كبيرةٍ فى كلٍّ من البيوت المدفأة والمبردة على حدٍّ سواء .

يعبر عن كمية الحرارة (سواء تلك التى يلزم اكتسابها ، أم تلك التى يلزم التخلص منها) بالوحدات الحرارية البريطانية British thermal units (اختصار Btu) ، وهى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة رطلٍ واحدٍ من الماء درجةٍ فهرنهيتية واحدةً .

ونظراً لأن عدد الوحدات الحرارية البريطانية الداخلة فى الحساب يكون - عادة - كبيراً ؛ لذلك فإنه يستعاض عنها بقوة الحصان ، وكل قوة حصان تعادل ٣٣٤٧٥ وحدةً حراريةً بريطانية .

وفى النظام المترى يُعرّف الكالورى Calorie بأنه كمية الحرارة اللازمة لرفع حرارة جرامٍ واحدٍ من الماء درجةً مئويةً واحدةً . ويعادل الكيلو كالورى k cal ١٠٠٠ كالورى ، أو ٣,٩٦٨ وحدةً حراريةً بريطانية .

وفى الوحدات الدولية يستعمل الجول Joule (اختصارا : J) كمقياس لكمية الحرارة ، وهو يعادل ٠,٢٣٩ كالورى ، أو ٠,٠٠٠٩٥ وحدة حرارية بريطانية .

ولإجراء التحويلات اللازمة .. فإن كل وحدةٍ حراريةٍ بريطانيةٍ تعادل ٢٥٢ كالورى ، أو ١٠٥٥ جولا .

هذا .. والوات Watt (اختصاراً W) يساوى جولا واحداً / ثانية .

طرق انتقال الحرارة واهميتها العملية

تفيد دراسة طرق انتقال الحرارة فى الجوانب التالية :

١ - زيادة كفاءة عملية التدفئة بتقليل فقد الحرارة من داخل البيت إلى خارجه ، مع الاستفادة من الطاقة الشمسية نهاراً ، والحرارة الصادرة من الأجسام الصلبة داخل البيت ليلا .

٢ - زيادة كفاءة عملية التبريد بتقليل اكتساب البيت للحرارة من الجو الخارجى ، مع سرعة التخلص من هذه الحرارة أولا بأول .

وسائل انتقال الحرارة

تنتقل الحرارة بأربع وسائل رئيسيةٍ ؛ هى كما يلى :

١ - الإشعاع Radiation :

يكون الإشعاع على صورة موجاتٍ كهرومغناطيسيةٍ تتدفق بانتظامٍ خلال الفضاء ؛ وبذلك فإن انتقال الطاقة فى هذه الصورة لا يكون فى صورة حرارة ؛ لأن ذلك يتطلب حركة جزيئات ، لكن هذا الإشعاع يتحول إلى طاقة حرارية بمجرد تلامسه مع أى سطح . وتكتسب البيوت المحمية الحرارة نهاراً من الأشعة الشمسية التى تنفذ من خلال غطاء البيت ، ثم تتحول إلى طاقةٍ حراريةٍ عند تلامسها مع التربة والأسطح النباتية وغيرهما من الأجسام الصلبة داخل البيت (جانيك ١٩٨٥) .

وبالمقابل .. فإن الأجسام الدافئة داخل البيت (كالتربة والنباتات) تنطلق منها الحرارة بالإشعاع إلى الأجسام الباردة خارج البيت ، دون أن يكون لهذه الظاهرة تأثير

ملحوظ على درجة حرارة الهواء الذى تمر من خلاله . يكون هذا الفقد الحرارى فى صورة أشعة طويلة الموجة (تحت الحمراء) ، ويستمر ليلا ونهاراً ، مادامت درجة حرارة الأجسام داخل البيت أعلى من درجة الحرارة خارج البيت .

٢ - التوصيل Transmission :

يتم انتقال الحرارة بالتوصيل خلال وسط توصيلٍ من النقط الدافئة إلى الأقل منها حرارة ، كما هى الحال عند فقد الحرارة من البيوت المدفأة ، أو اكتساب البيوت المبردة للحرارة بالتوصيل من خلال الغطاء .

٣ - التلامس أو التخلل أو التسرب Infiltration :

هنا تنتقل الحرارة من سطحٍ مشعٍ إلى الهواء أو الماء المتحرك ؛ فترتفع درجة حرارة الوسط الملامس (الماء أو الهواء) وتقل كثافته ، ويبدأ فى التحرك لأعلى ليحل محله هواء أو ماء أبرد ليكتسب حرارةً من السطح المشع وهكذا . وتلك هى خاصية انتقال الحرارة التى تعتمد عليها طرق التدفئة فى البيوت المحمية . كما تفقد البيوت المدفأة جزءًا كبيراً من حرارتها مع الهواء الدافىء المتسرب منها .

٤ - الانعكاس Reflection :

حيث تنعكس الحرارة - مثلها فى ذلك مثل الضوء - من الأسطح المعدنية المصقولة (Nelson ١٩٨٥) .

الأهمية العملية لدراسة وسائل الفقد الحرارى

يستفاد من دراسة وسائل الفقد الحرارى فى الأمور التالية :

١ - يلزم فى الجو البارد الاستفادة لأكبر درجةٍ ممكنةٍ من الإشعاع الشمسى نهاراً باختيار التصميم والاتجاه المناسبين للبيت والغطاء المنفذ لأكبر نسبةٍ من أشعة الشمس . كما يفضل أن يكون الغطاء غير منفذٍ للأشعة تحت الحمراء للاحتفاظ بها داخل البيت ليلا ونهاراً .

٢ - يلزم فى الجو الحار الصحو خفض نفاذية غطاء البيت للإشعاع الشمسى ، كما

يفضل أن يكون الغطاء منفذاً للأشعة تحت الحمراء ليتم التخلص من الحرارة المكتسبة أولا بأول .

٣ - أما فى الجو المعتدل نهاراً المائل للبرودة ليلا (كما هى الحال فى فصل الشتاء فى المناطق المعتدلة) ، فإنه يفضل أن يكون غطاء البيت غير منفذ للأشعة تحت الحمراء ؛ حتى يمكن الاستفادة من هذه الأشعة ليلا فى رفع درجة حرارة البيت عن الجو الخارجى بنحو ٢ - ٣ درجات ، دون الحاجة إلى عملية التدفئة الصناعية التى تكون - عادة - غير اقتصادية فى مثل هذه المناطق .

وقد سبقت لنا مناقشة موضوع نفاذية الأنواع المختلفة من الأغطية للأشعة تحت الحمراء فى الفصل الثانى ، وذكرنا أن أغطية الزجاج والبولى فينايل كلورايد (سمك ٣٢٥ ميكرونًا) تعد غير منفذة ، بينما تعتبر أغطية الفيبرجلاس ، والبوليستر ، والبولى فينايل كلورايد (سمك ٧٥ ميكرونًا) قليلة النفاذية . وتعتبر أغطية البوليثيلين هى الوحيدة المنفذة للأشعة تحت الحمراء . وعلى الرغم من ذلك . . فإن هذه الأغطية يشيع استخدامها فى المناطق المعتدلة ، لكن من حسن الحظ أن هذه الأغطية غالبًا ما تكون مغطاةً من الداخل ليلا بطبقة من قطرات الماء المتكثفة ، والتى تمنع الفقد الحرارى بالإشعاع ؛ نظراً لأن الماء غير منفذ للأشعة تحت الحمراء .

ونظراً لأهمية هذا الموضوع . . فإننا نلقى عليه مزيداً من الضوء تحت العنوان التالى .

تأثير نوع الغطاء على الفقد الحرارى من البيوت المحمية

يبين جدول (٣ - ١) الفقد الحرارى المتوقع من البيوت المدفأة المغطاة بمختلف أنواع الأغطية . كما يمكن الاستفادة من الجدول نفسه فى تقدير إمكانية التخلص من الحرارة المكتسبة من الجو الخارجى نهاراً فى البيوت المبردة .

ويتضح من الجدول أن هواء البيت يتغير بالكامل - وفى غياب أية تهوية - بمعدل مرتين فى الساعة فى البيوت الزجاجية ، ويصاحب ذلك فقد كبير للحرارة بالتسرب . تلى ذلك بيوت الفيبرجلاس التى يكون الفقد فيها بالتسرب نصف ما فى البيوت

الزجاجية . أما البيوت المغطاة برقائق البلاستيك ، فلا يحدث فيها أى فقد بالتسرب ؛ نظراً لأنها تكون محكمة الإغلاق .

هذا . . إلا أن تقديرات أخرى تشير إلى أن معدل تغير هواء البيوت فى الساعة يبلغ ٠,٥ - ١,٠ مرة فى البيوت المغطاة بطبقتين من رقائق البوليثيلين ، و٠,٧٥ - ١,٥ مرةً فى بيوت الفيبرجلاس والبيوت الزجاجية الحديثة الإنشاء ، و١ - ٢ مرة فى البيوت الزجاجية القديمة التى ما زالت فى حالة جيدة ، و٢ - ٤ مرات فى البيوت الزجاجية القديمة التى لم تعد فى حالة جيدة .

جدول (٣ - ١) : الفقد الحرارى المتوقع من البيوت المدفأة المغطاة بمختلف أنواع الأغطية (Nelson ١٩٨١) .

نوع الغطاء	الفقد الحرارى بالانتقال(أ) (Btu/قدم٢)	الفقد الحرارى بالتسرب(ب) (عدد مرات تغير الهواء/ساعة)	الفقد الحرارى بالاشعاع (٪ من الفقد الكلى)
الزجاج	١,١٣	٢	٤,٤
الفيبرجلاس	٠,٩٥ - ١,٠٠	١	١,٠
البوليستر (Mylar)	١,٠٥	-	١٦,٢
البوليثيلين:			
طبقة واحدة	١,٢٠	صفر	٧٠,٨
طبقتان	٠,٧٠	صفر	-
طبقة واحدة بها خلايا هوائية بقطر ٣/١٦ بوصة	٠,٦٠	-	-

(أ) يعبر عن الحرارة المفقودة بالانتقال بالوحدات الحرارية البريطانية التى تنتقل من خلال قدم مربع من الغطاء فى الساعة عندما تكون الحرارة الخارجية أقل من الداخلية بدرجة فهرنهيتية واحدة .

(ب) يحدث الفقد بالتسرب من خلال المسافات بين أجزاء الغطاء ، ويعبَّر عنها بعدد مرات تغير هواء البيت فى الساعة .

ويبلغ أعلى فقد بالانتقال فى حالة أغطية البوليثيلين ، تليها الأغطية الزجاجية ، فالبوليستر ، فأغطية الفيبرجلاس . وجميعها متقاربة ، لكن معدل الفقد بالانتقال ينخفض كثيراً عند استعمال طبقتين من البوليثيلين العادى ، أو عند استعمال طبقة واحدة بها خلايا هوائية بقطر ٣/١٦ بوصة .

وكما هو متوقع . . فإن النسبة المئوية للفقد الحرارى بالإشعاع تبلغ أقصاها فى البيوت المغطاة بالبوليثيلين ، وتقل كثيراً فى البيوت المغطاة بالبوليستر ، وتكون منخفضة للغاية فى البيوت الزجاجية وبيوت الفيبرجلاس .

ونظراً للارتفاع الكبير فى تكلفة التدفئة فى البيوت المحمية ؛ فقد اتجهت الدراسات نحو إنتاج أنواعٍ من الأغطية تقلل الفقد الحرارى من البيوت المدفأة إلى أدنى مستوى ممكن . ويبين جدول (٣ - ٢) مقارنةً بين الأغطية التقليدية (طبقة واحدة من الزجاج ، أو الفيبرجلاس ، أو البوليثيلين) وعددٍ من الأغطية الأخرى الحديثة فى مقدار الفقد الحرارى الذى يحدث من خلالها .

يتضح من الجدول أن أكثر أنواع الأغطية كفاءةً فى تقليل الفقد الحرارى هو الغطاء المكون من ثلاث طبقاتٍ من الزجاج ، تفصل بين كل طبقتين منها مسافة ٦ مم ، يليها استعمال غطاء أكريلكى Acrylic ذى طبقتين بسمك ١٦ مم ، أو غطاء من البولى كربونات Polycarbonate ذى طبقتين بسمك ١٦ مم . وبالمقارنة . . فإن أقل أنواع الأغطية كفاءةً فى تقليل الفقد الحرارى هو غطاء الفيبرجلاس ، فغطاء البوليثيلين من طبقةٍ واحدةٍ بسمكٍ يتراوح بين ٥٠ ميكرونًا و ١٥٠ ميكرونًا ، فغطاء الزجاج العادى المكون من طبقةٍ واحدة . أما باقى الأغطية المذكورة فى الجدول ، فإنها تعد وسطًا فى هذا الشأن .

طريقة حساب احتياجات التدفئة

تستخدم المعادلة التالية لحساب الاحتياجات الحرارية اللازمة لتدفئة البيوت المحمية بالوحدات الحرارية البريطانية فى الساعة :

$$H = [A_1 + (A_2 \times R)] \times T \times G \times W \times C$$

حيث إن :

H احتياجات التدفئة مقدرة بالوحدات الحرارية البريطانية فى الساعة .

A_1 مساحة غطاء البيت بالقدم المربع .

A_2 مساحة جدران البيت المصنوعة من مواد أخرى غير مادة الغطاء .

جدول (٣ - ٢) : الفقد الحرارى من مختلف أنواع أغطية البيوت المحمية .

نـــــوع الغطـــاء	الفقد الحرارى (U)[1]		الفقد بالاشعاع
	Btu	W	(٪ من الفقد الكلى)
الزجاج			
طبقة واحدة	١,١٣	٦,٤٠	٤,٤
طبقتان يفصل بينهما مسافة ٦ مم	٠,٦٥	٣,٦٨	
ثلاثة طبقات يفصل بين كل اثنين منها مسافة ٦ مم	٠,٤٧	٢,٦٦	
البولى فينايل كلورايد	٠,٩٢	٥,٢١	
الفيبرجلاس	١,٢٠	٦,٨٠	١,٠
الاكريلك			
طبقة واحدة بسمك ٣ مم	١,٠٠	٥,٦٧	
طبقتان بسمك ١٦ مم	٠,٥٨	٣,٢٩	
طبقتان بسمك ٨ مم	٠,٦٤	٣,٦٣	
البولى كاربونات			
طبقتان بسمك ١٦ مم	٠,٥٨	٣,٢٩	
طبقتان بسمك ٦,٥ مم	٠,٦٩	٣,٩١	
البوليثيلين			
طبقة واحدة بسمك ٥٠ - ١٥٠ ميكرونًا	١,١٥	٦,٥٢	٧٠,٨
طبقتان	٠,٧٠	٣,٩٧	
البوليستر (ميلار Mylar)	١,٠٥	٥,٩٥	١٦,٢
البولى فينايل فلورايد			
طبقة واحدة			٣٠,٠
طبقتان	٠,٧٦	٤,٣١	

(أ) U هى مجموع الفقد الحرارى الناتج من التوصيل والاشعاع ، وتقدر إما بالـ Btu لكل قدم مربع / ساعة / فرق درجة واحدة فهرنهيتية بين الحرارة داخل وخارج البيت ، أو بالـ W لكل متر مربع / ساعة / فرق درجة واحدة مئوية بين الحرارة داخل وخارج البيت .

R مقاومة مادة جدران البيت (غير الغطاء) لتوصيل الحرارة (معبرًا عنها ، بالمقارنة بتوصيل الحرارة فى مادة الغطاء) . ويوضح جدول (٣ - ٣) قيمة R حسب المادة التى تصنع منها جدران البيت .

T أكبر فرق متوقع فى درجة الحرارة بين خارج البيت وداخله بالفهرنهيت .

G معامل التوصيل الحرارى للغطاء حسب أكبر فرقٍ متوقعٍ فى درجة الحرارة بين خارج البيت وداخله . ويبين جدول (٣ - ٤) قيمة G حسب الفرق المتوقع فى درجة الحرارة .

W معامل سرعة الرياح . يستخرج هذا المعامل من جدول (٣ - ٥) .

C معامل الإنشاء . تتحدد قيمته بحالة البيت ، وكيفية إنشائه ، ومدى إحكامه ، ويستخرج من جدول (٣ - ٦) حسب حالة البيت (Mastalerz ١٩٧٧) .

جدول (٣ - ٣) : المعامل R للمادة التى تتكون منها جدران البيت السفلية إن وجدت .

مادة جدران البيت السفلية ومواصفاتها	R
الواح اسبستوس الأسمنت Asbestos Cement Board معرجة بسمك ٩,٥ مم	٠,٩٤
اسمنت :	
سمك ١٠ سم	٠,٧٦
سمك ١٥ سم	٠,٦٧
قوالب اسمنتية :	
سمك ١٠ سم	٠,٥٨
سمك ٢٠ سم	٠,٤٦
قوالب طوب (طابوق) سمك ٢٠ سم	٠,٤٣

جدول (٣ - ٤) : معامل التوصيل الحرارى لغطاء البيت (المعامل G للزجاج [أ]) حسب أكبر فرقٍ متوقعٍ فى درجة الحرارة بين خارج البيت وداخله .

أكبر فرق متوقع لدرجة الحرارة بين خارج البيت وداخله (فـ)	معامل التوصيل G للزجاج
٥٠	١,٠٩
٥٥	١,١٠
٦٠	١,١١
٦٥	١,١٢
٧٠	١,١٣
٧٥	١,١٤

(أ) تلزم جداول بقيمٍ أخرى للمعامل G عندما يكون غطاء البيت من مواد أخرى غير الزجاج .

جدول (٣ – ٥) : معامل سرعة الرياح W .

سرعة الرياح (كيلو متر/ ساعة) (أ)	معامل سرعة الرياح W (ب)	معامل سرعة الرياح البديل (جـ)
٢٤ أو أقل	١,٠٠	١,١٠
٣٢	١,٠٤	١,١٤
٤٠	١,٠٨	١,١٨
٤٨	١,١٢	١,٢٢
٥٦	١,١٦	١,٢٦

(أ) تؤدى زيادة سرعة الرياح عن ٢٤ كيلو متراً فى الساعة إلى زيادة احتياجات التدفئة بنسبة ٤٪ لكل زيادة قدرها ثمانية كيلو مترات / ساعة فى سرعة الرياح .

(ب) يعتبر معامل سرعة الرياح بمثابة معامل تصحيح لمعامل التوصيل الحرارى لمادة غطاء البيت بسبب تأثير زيادة سرعة الرياح على كفاءة الغطاء فى توصيل الحرارة .

(جـ) تستخدم هذه القيم البديلة عندما تدفع أجهزة التدفئة بتيار الهواء الدافئ نحو غطاء البيت .

جدول (٣ – ٦) : معامل الإنشاء C (أ) .

نوع البيت وحالته	معامل الإنشاء C
هيكل البيت من المعادن فقط وشرائح الزجاج بعرض ٦٠ سم	١,٠٨
هيكل البيت من الخشب والمعادن وشرائح الزجاج بعرض ٤٠ أو ٥٠ سم	١,٠٥
هيكل البيت من الخشب وشرائح الزجاج بعرض ٥٠ سم	
البيت محكم الإغلاق	١,٠٠
البيت متوسط الإحكام	١,١٣
البيت غير محكم	١,٢٥
هيكل البيت من الخشب والغطاء من الفيبرجلاس	٠,٩٥
هيكل البيت من المعدن والغطاء من الفيبرجلاس	١,٠٠
هيكل البيت معدنى والغطاء بلاستيكى :	
طبقة واحدة	١,٠٠
طبقتان بينهما فراغ هوائى قدره ٢,٥ سم	٠,٧٠

(أ) يغير هذا المعامل من الاحتياجات الكلية المحسوبة للتدفئة ، ويعتمد على مادة هيكل البيت ، وغطائه ، ومدى إحكامه .

وعلى الرغم من دقة المعادلة السابقة فى تقدير الاحتياجات الحرارية اللازمة ، إلا

أنها تتطلب بياناتٍ كثيرةً ربما لا تتوفر لدى المزارع العادى ؛ لذا فإنه يشيع استخدام صورٍ أخرى منها أكثر تبسيطًا من السابقة ، وفيها تحسب احتياجات التدفئة كالتالى :

$$H = u\ A\ (t_i - t_o)$$

حيث إن :

H هى احتياجات التدفئة مقدرةً بالوحدات الحرارية البريطانية فى الساعة .

u ثابت يتوقف على نوع غطاء البيت (وهو الموضح تحت العمود "Btu" فى جدول (٣ - ٢) .

A مساحة البيت الخارجية بالقدم المربع .

t_i درجة الحرارة الداخلية بالفهرنهيت .

t_o درجة الحرارة الخارجية بالفهرنهيت .

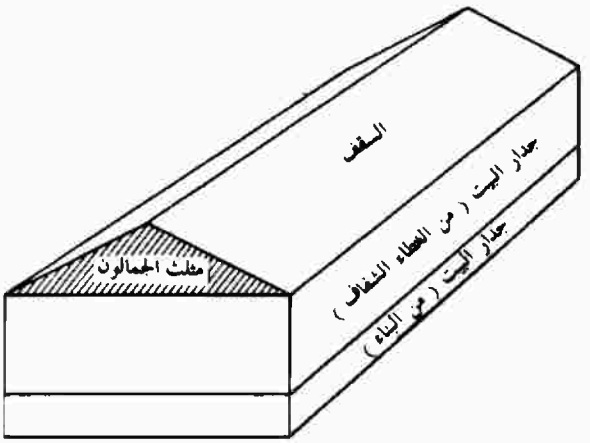
وعلى الرغم من تأثّر قيمة u بسرعة الرياح ، إلا أن القيم المبينة فى جدول (٣ - ٢) هى المتفق عليها ، على أساس أن متوسط سرعة الرياح يبلغ حوالى ٢٤ كم / ساعة . ولبيان تأثير الرياح فى هذا الشأن ، فإن قيمة u المتفق عليها لغطاء زجاجى من طبقة واحدة - وهى ١,١٣ - تنخفض إلى ١,٠٥ عندما لا يكون البيت معرضًا للرياح ، وتزيد إلى ١,١٥ فى حالة تعرض البيت للرياح .

ويعنى استخدام هذه المعادلة أنه فى حالة البيوت البلاستيكية المغطاة بطبقةٍ واحدةٍ من البوليثيلين يلزم ١١٥٠ وحدةً حراريةً بريطانية / ساعة / ١٠٠٠ قدم^2 من المساحة الخارجية للبيت لكل درجةٍ فهرنهيتية واحدة من الفرق فى درجات الحرارة داخل وخارج البيت (Sheldrake وآخرون ١٩٦٢ ،و Sheldrake ١٩٦٧) .

طريقة حساب المساحة الخارجية للبيت المحمى

يتطلب حساب احتياجات التدفئة (وكذلك التبريد) فى البيوت المحمية معرفة المساحة الخارجية للبيت . ويمكن تقدير ذلك فى الأنواع المختلفة من البيوت ، كما يلى :

١ - البيوت المفردة ذات الشكل الجمالونى المتناظر الانحدار على جانبى البيت : Even Span



شكل (٣ - ١) : رسم تخطيطى للبيت الجمالونى المتناظر الانحدار على الجانبين even span ، يبين الأجزاء المختلفة من البيت اللازمة لحساب مساحته الخارجية واحتياجات التدفئة .

تتكون الأسطح الخارجية من (شكل ٣ - ١) مما يلى :

أ - الجانبان الطوليان للبيت ؛ وهما مستطيلان .

ب - الجانبان القصيران للبيت ؛ ويتكون كل منهما من :

(١) الجزء السفلى، وهو مستطيل.

(٢) الجزء العلوى (تحت الجمالون) ؛ وهو مثلث يتساوى فيه ضلعان .

جـ - جانبا السقف المنحدران ؛ وهما مستطيلان .

وتحسب أطوال ومساحة الأشكال الهندسية المختلفة كالتالى :

مساحة المستطيل = الطول × العرض

مساحة المثلث الذى يتساوى فيه ضلعان = نصف القاعدة × الارتفاع . وتعتبر قاعدة المثلث هى الجانب القصيرللبيت ، أما ارتفاعه ، فهو المسافة من مركز الجمالون إلى الأرض ، مطروحا منها ارتفاع الجانب الرأسى من البيت .

طول الضلع القصير لكل من جانبى السقف المنحدرين (أو وتر مثل الجمالون)

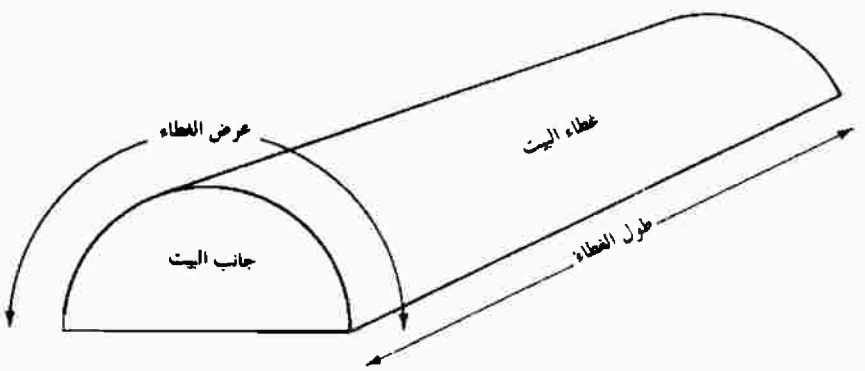
= √مربع نصف قاعدة مثلث الجمالون + مربع ارتفاع مثلث الجمالون

٢ - البيوت المفردة النصف أسطوانية Quonset :

يعتبر كل بيتٍ بمثابة يصف أسطوانة (شكل ٣ - ٢) وتحسب مساحته الخارجية بالمعادلة التالية :

المساحة الخارجية للبيت = $\frac{1}{2}$ (٢ ط نق ل + ٢ ط نق^{٢}) .

حيث إن ط = ٣,١٤٢ ، ونق = ارتفاع البيت ، و ل = طول البيت .



شكل (٣ - ٢) : رسم تخطيطى للبيت النصف أسطوانى quonset يبين الأجزاء المختلفة من البيت اللازمة لحساب مساحته الخارجية واحتياجات التدفئة .

٣ - البيوت المفردة ذات الشكل النصف أسطوانى المحور Modified quonset :

تتكون الأسطح الخارجية للبيت من :

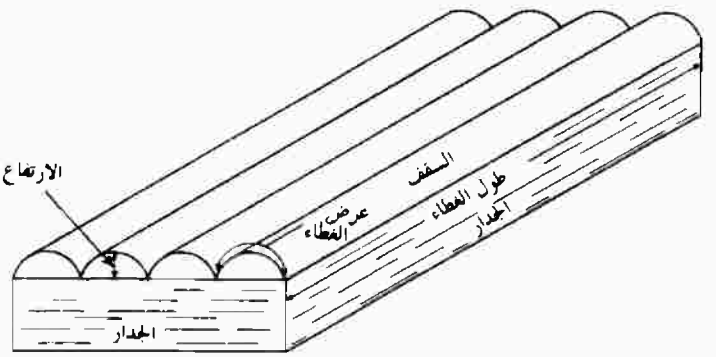
أ - الجزء السفلى للبيت ، ويتكون من :

(١) الجانبان الطوليان للبيت ، وهما مستطيلان .

(٢) الجانبان القصيران للبيت ، وهما مستطيلان .

ب - الجزء العلوى للبيت ، ويمكن اعتباره نصف أسطوانة ، وتحسب مساحته كما فى حالة البيوت النصف أسطوانية .

ويبين شكل (٣ - ٣) مجمعًا من البيوت المتصلة ذات الشكل النصف أسطوانى المحور .



شكل (٣ - ٣) : رسم تخطيطى لمجموعة من البيوت المتلاصقة ، كل منها على شكل نصف أسطوانىّ محور modified quonset يبين الأجزاء المختلفة للبيت اللازمة لحساب مساحته الخارجية واحتياجات التدفئة .

طريقة حساب حجم البيت

تتوقف قوة التدفئة أو التبريد اللازمين للبيت على حجمه . ويمكن تقدير ذلك فى الأنواع المختلفة من البيوت كالتالى :

١ - البيوت المفردة ذات الشكل الجمالونى المتناظر الانحدار على جانبى البيت even span :

يقدر حجم البيت من المعادلة التالية :

$$V = L \times [(He \times W) + (\frac{Hr \times W}{2})]$$

حيث إن V = حجم البيت ، و L = طول ، و He = ارتفاع الجانب الرأسى من البيت ، و W = عرض البيت ، و Hr = ارتفاع مثلث جمالون السقف .

كما يمكن حساب حجم البيت بطريقةٍ مختصرةٍ كما يلى (مع الرجوع إلى شكل ٣ - ٤ أ بخصوص الرموز المستخدمة فى المعادلة) :

$$V \text{ (حجم البيت)} = \frac{h+H}{2} \times L \times W$$

٢ - البيوت المفردة النصف أسطوانية Quonset :

يعتبر كل بيت بمثابة نصف أسطوانة ، ويحسب حجمه بالمعادلة التالية :

حجم البيت = طول البيت × (١/٢ × ط نق^{٢})

حيث إن نق = نصف عرض البيت .

٣ - البيوت المفردة ذات الشكل النصف أسطوانى المحور Modified quonset :

يتكون البيت من جزأين ؛ هما :

أ - الجزء السفلى ، وهو متوازى مستطيلات .

ب - الجزء العلوى ، وهو نصف أسطوانة ، فيها نصف القطر يساوى ارتفاع هذا الجزء .

وبالتالى ، فإنه يمكن حساب حجم البيت بالمعادلة التالية :

حجم البيت = طول البيت [(عرض البيت × ارتفاع الجزء السفلى) + (ط × مربع ارتفاع الجزء العلوى) / ٢]

حيث إن ط = ٣,١٤٢ ، ومربع ارتفاع الجزء العلوى = نق^{٢} .

٤ - البيوت المفردة المستندة إلى مبنى (يراجع شكل ٣ - ٤ ب) :

$$V \text{ (حجم البيت)} = \frac{h+H}{2} \times L \times W$$

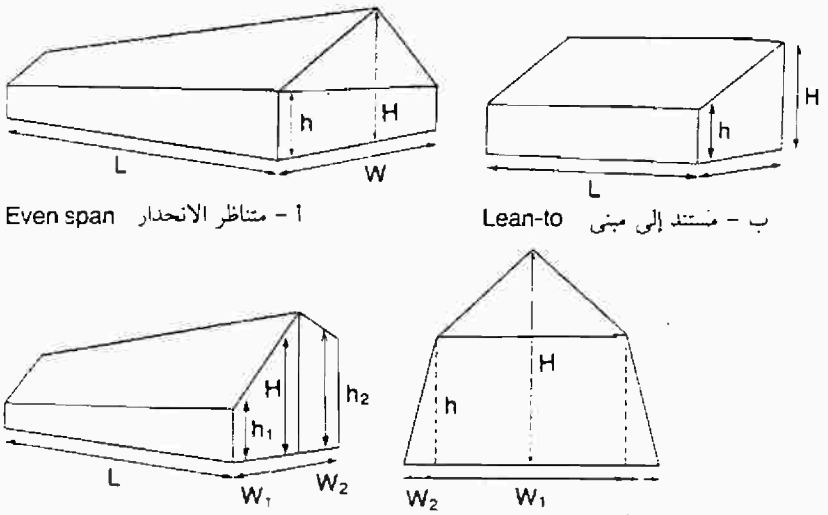
٥ - البيوت المفردة ثلاثة أرباع الجمالون Three-quarter span (يراجع شكل ٣ - ٤ جـ) :

$$V \text{ (حجم البيت)} = \left(\frac{h_1+H}{2} \times L \times W_1\right) + \left(\frac{h_2+H}{2} \times L \times W_2\right)$$

٦ - البيوت المفردة ذات الشكل الجمالونى والجوانب المنحدرة Sloping sides

(يراجع شكل ٣ - ٤ د) :

$$V \text{ (حجم البيت)} = \left(\frac{h+H}{2} \times W_1\right) + (h \times W_2)$$



أ - متناظر الانحدار Even span

ب - مستند إلى مبنى Lean-to

جـ - ثلاثة أرباع الجمالون Three-quarter span

د - جمالون بجوانب منحدرة Sloping sides

شكل (٣ - ٤) : أشكال بعض أنواع البيوت المحمية وطريقة حساب أحجامها . يراجع المتن للتفاصيل (عن Boatfield & Hamilton ، ١٩٩٠) .

منظم الحرارة

يستخدم منظم الحرارة Thermostat فى تنظيم درجة الحرارة داخل البيوت المحمية ، ويعمل الجهاز على التحكم فى درجة الحرارة عن طريق التشغيل الآلى لأجهزة التدفئة والتبريد ونظام التهوية ، سواء بالتحكم فى تشغيل المراوح ، أم فتح وإغلاق منافذ التهوية . ويتم تحديد ذلك - سلفًا - بضبط المنظم على درجات الحرارة التى يتعين عندها تشغيل أو إيقاف أيٍّ من هذه الأجهزة . ومن الأهمية بمكانٍ أن يكون منظم الحرارة على درجةٍ كبيرةٍ من الحساسية ؛ حتى لا تحدث تغيرات كبيرة عن درجة الحرارة المرغوبة ؛ مما تكون له تأثيرات ضارة على النباتات ، فضلا على زيادة استهلاك الوقود دون داع .

ولكى تكون كفاءة منظم الحرارة أعلى ما يمكن ، تتعين مراعاة ما يلى بشأنه :

١ - يجب أن يوضع المنظم فى مكانٍ يمثل متوسط درجة الحرارة فى البيت ، على أن يؤخذ فى الحسبان موضع أنابيب التدفئة أو المدفئات والتيارات الهوائية . وغالبًا ما يوضع المنظم بالقرب من وسط البيت .

٢ - يجب أن يكون موضع المنظم قريبًا من مستوى القمة النامية للنباتات .

٣ - يجب إبعاد المنظم كليةً عن أشعة الشمس المباشرة التى تؤدى إلى رفع درجة حرارته عن درجة حرارة الهواء المحيط به . ويتحقق ذلك بوضعه داخل صندوقٍ خشبيٍّ ، مع طلاء السطح الخارجى للصندوق باللون الأبيض أو الفضى لعكس أشعة الشمس .

٤ - كما يجب أن يكون المنظم فى مكانٍ جيد التهوية ، ويتحقق ذلك بجعل جوانب الصندوق على شكل ريشٍ تعلو واحدة فوق الأخرى لتسمح بمرور الهواء من خلاله . ويفضل تزويد جانب الصندوق بمروحةٍ تدفع الهواء داخل الصندوق بسرعة ١٨٠ مترًا / دقيقة .

٥ - تجب إضافة منظمٍ آخر داخل الصندوق مع ضبطه على حرارة ١٠م ؛ بحيث يعطى رنين جرس فى منزل المزارع إذا انخفضت درجة الحرارة إلى هذا الحد . ويفيد ذلك فى تدارك الأمر فى حالة فشل أجهزة التدفئة ؛ حيث يكون هناك متسع من الوقت قبل انخفاض الحرارة إلى درجة التجمد . كما يجب أن يكون مصدر الطاقة لهذا المنظم من بطاريةٍ أو من مولدٍ احتياطيٍّ لضمان عمله حتى فى حالة انقطاع التيار الكهربائى .

٦ - يجب وضع ترمومترٍ آخر عاديٍّ داخل الصندوق ؛ للتأكد من دقة عمل منظم الحرارة .

وسائل التوفير فى الطاقة اللازمة للتدفئة أو التبريد

لا تعتبر دراسة أساسيات التحكم فى درجة الحرارة فى البيوت المحمية كاملةً ، دون الإشارة إلى الوسائل المستخدمة بغرض توفير الطاقة اللازمة للتدفئة أو التبريد ؛ لأن تطبيقها يفيد فى تحقيق قدرٍ أكبر من التحكم فى درجة الحرارة داخل البيوت .

وفيما يلى بيان بالطرق والوسائل المتبعة بغرض توفير الطاقة اللازمة للتدفئة أو التبريد فى البيوت المحمية :

١ - اختيار تصميم البيت وتحديد اتجاهه بما يتناسب والظروف الجوية السائدة فى المنطقة ؛ نظراً لأن كلا الأمرين يؤثر على كمية الضوء التى تنفذ داخل البيت ؛ ومن ثم على كمية الطاقة الحرارية التى تصل إلى البيت مع الأشعة الشمسية ، وقد سبقت مناقشة كلا الأمرين .

٢ - اختيار نوع الغطاء وسمكه بما يتناسب أيضًا والظروف الجوية السائدة فى المنطقة ؛ نظراً لأن الغطاء لا يؤثر فقط على كمية الضوء التى تنفذ داخل البيت ، بل يؤثر أيضًا على فقد الحرارة من داخل البيت إلى الخارج ، سواء أكان ذلك الفقد بالتوصيل ، أم بالإشعاع ، أم بالتسرب ، وقد سبقت أيضًا مناقشة موضوعى تأثير الغطاء على نفاذية الضوء ، وعلى فقد الحرارة .

٣ - استعمال طبقتين أو ثلاث طبقات من الغطاء بدلا من طبقة واحدة ؛ نظراً لأن ذلك يقلل معامل التوصيل الحرارى للغطاء بدرجة كبيرة . فإذا كان معامل التوصيل الحرارى لطبقة واحدة من الغطاء واحداً صحيحًا ، فإن هذه القيمة تنخفض بنسبة ٤٢٪ ، و٥٨٪ عند استخدام طبقتين وثلاث طبقات من الزجاج على التوالى ، وبنسبة ٤٠٪ عند استخدام طبقتين من البوليثيلين (جدول ٣ - ٢) . ويعنى ذلك انخفاض احتياجات التدفئة والتبريد بالنسبة نفسها.

٤ - ضرورة إقامة البيوت المحمية بجانب مصدات الرياح لخفض معامل سرعة الرياح (W) فى حسابات التدفئة (جدول ٣ - ٥) .

٥ - الاهتمام بحالة البيت ومدى إحكامه ، وتغيير الزجاج المكسور أولا بأول لخفض معامل الإنشاء C فى حسابات التدفئة (جدول ٣ - ٦) .

٦ - التقليل - قدر المستطاع - من حركة الهواء الدافىء قريبًا من جدران البيت ؛ لأن هذه التيارات الهوائية تزيد من فقد الحرارة بالتوصيل . ويمكن التحكم فى ذلك الأمر بالاختيار الأمثل لوضع المدفئات وأنابيب التدفئة فى البيت .

٧ - يجب توجيه الهواء البارد (فى البيوت المبردة) فى مسار يتخلل النباتات ، مع التقليل - قدر المستطاع - من حركته أعلى النباتات (فى قمة البيت) أو أسفلها (فى حالة الزراعة على المناضد) ؛ نظرًا لأن هذه المسارات تقلل كثيرًا من كفاءة عملية التبريد .

٨ - الاستفادة القصوى من عملية التهوية فى خفض احتياجات التبريد ، أو الاستغناء عنها نهائيًا فى المناطق المعتدلة .

٩ - يمكن خفض الفاقد فى الحرارة ليلا بمقدار ٧٠٪ - ٨٠٪ فى البيوت المحمية التى تتكون أسقفها من طبقتين من الغطاء بدفع رغوة foam خاصة بين الطبقتين . ويتم ذلك بدفع تيارٍ من الهواء فى سائلٍ يتمدد بمقدار ١٠٠٠ ضعف ، مكونًا الرغوة التى تنتشر بين طبقتى الغطاء . هذا . . وتتلاشى الرغوة فى خلال نصف ساعة ، ويتجمع السائل من جديدٍ فى خزانٍ خاصٍّ؛ ليتم ضخه من جديدٍ حسب الحاجة . (ويمكن استخدام النظام نفسه للحماية الجزئية من أشعة الشمس القوية نهارًا) (Collins & Jensen ١٩٨٣) .

١٠ - تغطية البيوت المحمية بشباك التظليل من أعلى البلاستيك ؛ بهدف خفض احتياجات التبريد . وتتوفر الشباك بنسب تظليل تتراوح بين ١٠٪ و٩٠٪ حسب الحاجة . ويمكن فى حالة عدم توفر شباك التظليل رش السطح الخارجى للبيت بالجير فى بداية فصل الصيف .

١١ - يمكن تحسين التدفئة ليلا بملء أنابيب بلاستيكيةٍ واسعةٍ بالماء ، مع جعلها ممتدةً على سطح التربة قريبًا من خطوط الزراعة ؛ حيث يكتسب الماء كميةً كبيرةً من الحرارة نهارًا ؛ نظرًا لارتفاع حرارته النوعية ، ثم يفقدها ليلا بالإشعاع إلى جو البيت بالقرب من النباتات (شكل ٣ - ٥ ، يوجد فى آخر الكتاب) .

ويذكر Tüzel (١٩٩٤) أن استعمال هذه الأنابيب فى البيوت البلاستيكية فى تركيا أدى إلى زيادة محصول الطماطم بنسبة ٣٠٠٪ ، فى الوقت الذى أدت فيه الأنابيب إلى خفض درجة الحرارة العظمى بمقدار ٢,٤°م ، وزيادة درجة الحرارة

الصغرى - ليلا - بمقدار : ١,٣٦م على ارتفاع ٥٠سم من سطح التربة ، و١,٤٩م على ارتفاع ١٠سم من سطح التربة ، و٠,٦٨م على عمق ١٠سم فى التربة .

١٢- استعمال ستائر حرارية متحركة Mobile Thermal Screens تُضم نهارًا لتسمح بنفاذ الأشعة الشمسية ، وتُفرد ليلاً لتمنع نفاذ الأشعة تحت الحمراء التى تنبعث من التربة والنباتات داخل البيت (عن Koning ١٩٨٨) . هذا . . ولم يجد Pirard وآخرون (١٩٩٤) أية اختلافات بين خمسة أنواع من الستائر الحرارية (هى : ستائر البوليثيلين ، والبوليستر ، والبوليستر المغطى بالألومنيوم بنسبة ٥٠٪ ، أو ٧٥٪ أو ١٠٠٪) ؛ حيث وفّرت جميعها فى استهلاك الطاقة بنسبة ٢٠٪ .

وقد قارن Abak وآخرون (١٩٩٤) استعمال غطاء البوليثيلين المفرد مع كلٍّ من الغطاء المزدوج ، والغطاء المزدوج مع ستارة من البوليستر المغطى بالألومنيوم ، والغطاء المفرد مع ستارة من البوليثيلين ، ووجدوا أن استعمال غطاءٍ مفردٍ مع ستارةٍ متحركةٍ من البوليثيلين أعطى أعلى محصولٍ كليٍّ من الطماطم (١٠,٣٣كجم /م^{٢} مقارنةً بـ ٨,٦٦ كجم/ م^{٢} فى الكنترول) ، وكان ذلك مُصَاحبًا بارتفاع قدره ٣,٤م فى درجة الحرارة الصغرى .

الغطاء البلاستيكى المزدوج وأهميته

سبق أن بينا أن استعمال طبقتين من الغطاء البلاستيكى بدلا من طبقةٍ واحدةٍ يقلل معامل التوصيل الحرارى للغطاء بنسبة ٤٠٪ ، ويخفض احتياجات التدفئة - والتبريد - بالقدر نفسه . ولهذا . . فقد اتجهت الدراسات نحو الاستفادة من هذه الخاصية . وكانت البداية فى البيوت البلاستيكية ؛ نظرًا لرخص أغطية رقائق البلاستيك كثيرًا عن ألواح الزجاج أو الفيبرجلاس .

هذا . . ولتحقيق أكبر قدر من الاستفادة من طبقتى الغطاء فى خفض معامل التوصيل الحرارى يلزم تأمين مسافة أربعة سنتيمترات من الهواء الساكن dead air space بين الطبقتين تعتبر بمثابة وسادةٍ هوائيةٍ air cushion عازلة ؛ لأن نقص المسافة بينهما عن ذلك يقلل من أهميتهما فى خفض معامل التوصيل الحرارى . وفى حالة

تلامسهما ، فإنهما يعملان معًا كطبقة واحدة ، ولا يؤثران على معامل التوصيل . أما فى حالة زيادة المسافة بينهما ، فإن ذلك يكون مصاحبًا بتحركات الهواء المحصور بينهما ، فإذا ما وصلت المسافة بينهما إلى ٢٠سم ، تولدت تيارات هوائية تحمل الحرارة من الطبقة الداخلية إلى الطبقة الخارجية ، ثم إلى الجو الخارجى ؛ وبذلك تنخفض كفاءتهما فى العزل الحرارى .

يتم تثبيت طبقتى البلاستيك من خارج البيت . ويفضل أن تكون شريحة البلاستيك الخارجية بسمك ١٥٠ ميكروناً ، والداخلية بسمك ١٠٠ ميكرون. ويتم تأمين الوسادة الهوائية بين طبقتى البلاستيك بدفع تيار مستمر من الهواء بينهما ، ويجرى ذلك بتخصيص موتور صغير لدفع الهواء motor blower لكل بيت يكون قادراً على دفع ٠,٧٥ - ١,٥٠م^{3} من الهواء / دقيقة ، وبقوة نصف حصان تقريبًا ، ويستهلك ٤٠ وات / ساعة . ويجب أن يكون الضغط بين شريحتى البلاستيك ٥ - ٧,٥مم ماء . ويمكن قياس ذلك بواسطة مانومتر manometer يتم تصنيعه من أنبوبة بلاستيكية شفافة بطول ٦٠سم تُثنى على شكل حرف U ، وتُثبت على لوحة خشبية يوضع أحد طرفيها بين شريحتى البلاستيك ، والطرف الآخر داخل البيت ، ومع إضافة ١٥ - ٢٠ سم طولى من الماء فى الأنبوبة يمكن قراءة الفرق بين مستوى سطح الماء فى طرفى الأنبوبة . وكل فرق مقداره ٥ مم يعنى ضغطًا مقداره رطل واحد / بوصة مربعة . هذا . . ويمكن تدريج الأنبوبة واستعمال ماء ملون ليمكن رؤيته بسهولة .

ومن أهم مزايا استخدام طبقتين من البلاستيك ما يلى :

١ - خفض معامل التوصيل الحرارى من ١,٣٥ إلى ٠,٧ ، ويتبع ذلك توفير احتياجات التدفئة والتبريد بمقدار ٤٠٪ ، وارتفاع درجة الحرارة الصغرى أثناء الليل .

٢ - تقليل أو منع ظاهرة التكثف ، ويتبع ذلك نقص أو انعدام الأضرار التى تصاحب تساقط قطرات الماء على النباتات .

٣ - زيادة مقدار الضوء النافذ نتيجة لقلة أو انعدام ظاهرة التكثف .

٤ - يكون من الأسهل الاحتفاظ بدرجة حرارة ثابتة داخل البيت .

٥ - زيادة المحصول .

٦ - تكون الشريحة البلاستيكية الثانية بمثابة ضمان لوقاية المزروعات فى حالة

التلف المفاجىء لإحدى الشريحتين ، خاصة فى الجو الشديد البرودة أو الحرارة (Sheldrake ١٩٦٩ و١٩٧١ ، و Nelson ١٩٨٥ ، و Campiotti وآخرون ١٩٩١) .

لكن من عيوب استخدام طبقتين من الغطاء خفض نسبة الضوء النافذ إلى داخل البيت بدرجة يسيرة (جدول ٣ - ٧) . وبينما يعد هذا الانخفاض فى نسبة الضوء النافذ أمرًا قليل الأهمية فى المناطق المعتدلة ، وقد يكون مرغوبًا فى المناطق الحارة ، إلا أنه يعد عيبًا كبيرًا فى المناطق الباردة التى تنخفض فيها شدة الإضاءة كثيرًا .

جدول (٣ - ٧) : تأثير وجود طبقتين من الغطاء على نفاذيته للضوء .

الغطاء	نفاذية الغطاء للضوء (٪) فى حالة وجود	
	طبقة واحدة	طبقتين
زجاج (سمك ٣,٢مم)	٨٨ - ٨٩	٧٨ - ٨٠
فيبرجلاس (سمك ٦,٤مم)	٨٦	٧٥ - ٧٧
بوليثيلين (سمك ١٠٠ ميكرون)	٩١ - ٩٢	٨٣ - ٨٤
بولى فينايل كلورايد (سمك ١٠٠ ميكرون)	٩٢ - ٩٣	٨٦ - ٨٧

ويؤيد ذلك دراسة أُجريت فى البرتغال (خلال الفترة من يناير إلى يولية) قُورن فيها تأثير استعمال غطاء من البوليثيلين (بسمك ٢٠٠ ميكرون) أو غطاءين (بسمك ٢٠٠ ميكرون + ٨٠ ميكرونًا) ، مع الزراعة فى الحقل المكشوف ؛ حيث وُجد ما يلى :

١ - كانت حرارة الهواء ليلا تحت الغطاء المزدوج أعلى بمقدار درجتين مما فى الحقل المكشوف ، وأعلى بمقدار درجة واحدة مما تحت الغطاء المفرد .

٢ - كان الإشعاع المؤثر فى عملية البناء الضوئى أقل تحت الغطاء المزدوج بمقدار ٢٠٪ مقارنة بالإشعاع تحت الغطاء المفرد ، وبلغ ٥٥٪ فقط من إجمالى الإشعاع فى الحقل المكشوف .

٣ - كانت حرارة التربة أعلى عندما استعمل غطاء مزدوج ، مقارنة باستعمال غطاء مفرد ، وذلك فى شهر يناير ، ولكن ارتفعت درجة حرارة التربة بسرعة أكبر بكثير

تحت الغطاء المفرد مقارنةً بالغطاء المزدوج خلال الشهور التالية ؛ حتى أصبح الفارق بينهما ٣ - ٤°م (أعلى تحت الغطاء المفرد) فى شهر مايو .

٤ - كانت النباتات تحت الغطاء المزدوج أطول منها تحت الغطاء المفرد ؛ بسبب زيادة استطالة سلامياتها .

٥ - أدى استعمال الغطاء المزدوج إلى نقص المحصول الكلى بنسبة ٤,٦٪ ، ولكن لم يختلف استعمال الغطاء المزدوج معنويًا عن استعمال الغطاء المفرد فى كلٍّ من المحصول المبكر وعدد الثمار الكلى (Vargues وآخرون ١٩٩٤) .

كذلك وجد Başçetinçelik وآخرون (١٩٩٤) أن نمو نباتات الطماطم لم يختلف تحت الغطاء البلاستيكى المزدوج عنه تحت الغطاء المفرد ، على الرغم من أن الغطاء المزدوج أدى إلى نقص نفاذ الأشعة المؤثرة فى عملية البناء الضوئى - إلى داخل البيت - بمقدار ٥٪ - ١٠٪ ، ونقص نفاذ الإشعاع الكلى بمقدار ٢٥٪ - ٢٩٪ مقارنةً بالغطاء المفرد .

طرق التدفئة

تتعدد وتتنوع الطرق المستخدمة فى تدفئة البيوت المحمية ، ولكل طريقة الظروف الخاصة التى تناسبها . ويمكن توصيل جميع نظم التدفئة بمنظم الحرارة الذى يتحكم فى تشغيلها ؛ بحيث تظل درجة الحرارة دائمًا فى الحدود المسموح بها . ويستثنى من ذلك التدفئة بالمدفئات الغازية ، ومدافئ الكيروسين ، والبارافين ، حيث يتم تشغيلها يدويًا خلال فترة انخفاض درجة الحرارة . هذا . . ويفضل نظام التدفئة المركزية Centeral heating فى تجمعات البيوت المتصلة .

ويلزم فى جميع نظم التدفئة التى تعتمد على الكهرباء فى تشغيلها لتوليد الحرارة أن يوجد مصدر إضافى للتدفئة، أو مولد كهربائى احتياطى للاستعانة بأى منهما فى حالة انقطاع التيار الكهربائى.

وفيما يلى عرض للطرق المتبعة فى تدفئة البيوت المحمية :

التدفئة بأنابيب الماء الساخن وأنابيب البخار

يعتمد كلا النظامين على تسخين الماء فى غلايات boilers ، ثم نقله فى صورة ماءٍ

ساخنٍ أو بخارٍ فى أنابيب خاصةٍ إلى داخل البيت الذى تتم تدفئته بالإشعاع الحرارى من الأنابيب .

وفى حالة التدفئة بأنابيب الماء الساخن hot water pipes يتم تسخين الماء فى مراجل خاصة ، ثم يدفع فى شبكة أنابيب التدفئة داخل البيت بمضخةٍ خاصةٍ تعمل بصورةٍ دائمةٍ . وعندما تصل درجة الحرارة داخل البيت إلى حدها الأقصى يقوم منظم الحرارة بتحويل دوران الماء آليًا ليستمر داخل الأنابيب فقط ، دون الرجوع إلى المراجل . وعندما يبرد الماء داخل الأنابيب ، وتصل درجة الحرارة داخل البيت إلى الحد الأدنى المسموح به يقوم منظم الحرارة بفتح الصمام الذى يسمح بدوران الماء داخل المراجل ، ثم إلى الأنابيب ؛ وبذلك يعاد تسخينه . وقد يُوَصَّل المنظم بالمضخة مباشرة ؛ بحيث لا يضخ الماء إلا عند انخفاض درجة حرارة البيت إلى الحد الأدنى المسموح به .

وإلى جانب منظم الحرارة السابق الذى يتحكم فى حركة دوران الماء فى الأنابيب ، فإنه يوجد منظم آخر لحرارة الماء (aquastat) يتصل بالمرجل ، ويتحكم فى إشعال جهاز تسخين الماء وإطفائه تلقائيًا للمحافظة على درجة حرارة الماء ، والتى تكون عادة فى حدود ٨٠م - ٨٥م .

أما فى حالة التدفئة بأنابيب البخار steam pipes ، فإن الماء يتم تسخينه إلى درجة حرارة ١٠٢م ، بحيث يتحول إلى بخارٍ تحت ضغطٍ خفيفٍ يصل إلى حوالى ٠,٣٥ كجم / سم^{٢} . وينظم صمامٌ آليٌّ دورانَ البخار داخل الأنابيب ، وفى فتح الصمام الذى يسمح بإدخال البخار إليها . هذا . . وتكون أنابيب التدفئة مائلةً قليلا من أجل إعادة الماء الناتج من تكثف البخار مرةً أخرى إلى المرجل ؛ لإعادة تبخيره واستعماله فى التدفئة من جديد .

ويعيب هذا النظام عدم تجانس التدفئة داخل البيت ؛ نظرًا لأن الهواء المجاور للأنابيب يكون ساخنًا بدرجةٍ كبيرةٍ ؛ الأمر الذى قد يضر بالنباتات القريبة منها .

ويمكن الاستفادة من مرجل البخار فى تعقيم التربة أيضًا (عرقاوى ١٩٨٤) .

هذا . . وقد كان المتبع قديمًا استعمال أنابيب حديديةٍ بقطر ١٠ سم للتدفئة . هذه الأنابيب كان يعيبها ضعف كفاءتها ؛ نظرًا لبطء إشعاع الحرارة منها ، فضلا على

صعوبة تداولها ، نظرًا لضخامتها . وقد تغير ذلك الآن إلى استعمال أنابيب بقطر ٥سم للماء الساخن ، وبقطر ٣ - ٣,٥سم للبخار .

ويمكن تقدير الطول اللازم من الأنابيب لتدفئة البيت إذا علمت احتياجات التدفئة من الوحدات الحرارية البريطانية فى الساعة ؛ لأن كل ٣٠سم طولية من الأنابيب تشع :

١٦٠ وحدةً حراريةً بريطانية / ساعة فى حالة الأنابيب بقطر ٥ سم ، وعند استخدام ماء حرارته ٨٢م .

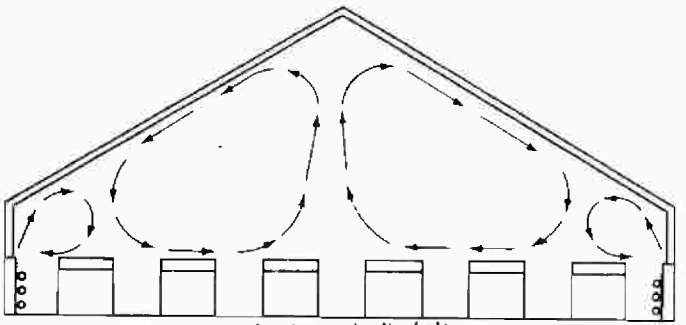
٢١٠ وحدات حرارية بريطانية / ساعة فى حالة الأنابيب بقطر ٣,٥ سم ، وعند استخدام بخار حرارته ١٠٢م .

١٨٠ وحدةً حراريةً بريطانية / ساعة فى حالة الأنابيب بقطر ٣ سم ، وعند استخدام بخار حرارته ١٠٢م .

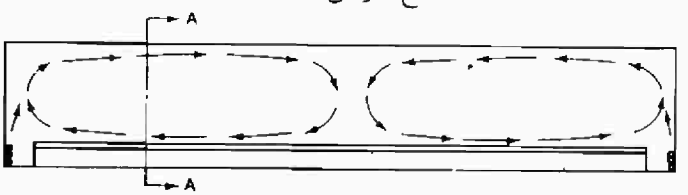
وطبيعى أن يزيد الطول اللازم من الأنابيب عن محيط البيت ؛ الأمر الذى يستلزم معه عمل عدة طبقات من الأنابيب .

ولا يجوز تكديس كل الأنابيب قرب الجدر الجانبية للبيت ؛ نظرًا لأن ذلك يؤدى إلى تولد تيارات هوائية غير مرغوبة ؛ حيث يتصاعد الهواء الدافئ مباشرة موازيًا لجدار البيت حتى يصل إلى السقف ، ثم يتحرك جانبيًا إلى أن يتقابل مع تيار مقابل له من الجانب الآخر ؛ فيتجه إلى أسفل منتصف البيت بعد أن يكون قد برد من جراء تلامسه مع جدران البيت والسقف ، وبعد ذلك يمر على النباتات وهو بارد ؛ فلا تتحقق بذلك الفائدة المرجوة من التدفئة ، (شكل ٣ - ٦ أ) . ولهذا السبب يجب توزيع الأنابيب بحيث يكون بعضها بامتداد خطوط الزراعة أو أعلى مستوى النباتات إلى جانب الأنابيب الجانبية (شكل ٣ - ٦ ب) . وتجدر الإشارة إلى أن تكدس الأنابيب بعضها فوق بعض يقلل من فاعليتها ، إلى درجة تجعل كل خمس أنابيب متقاربة توازى فى كفاءتها أربع أنابيب منفردة .

وقد استخدم نوع جديد من الأنابيب ذو سطح خارجى كبير، يطلق عليه اسم الأنابيب الزعنفية أو المجنحة fin pipes ، وهى أنابيب عادية ، إلا أن لها عديدًا من

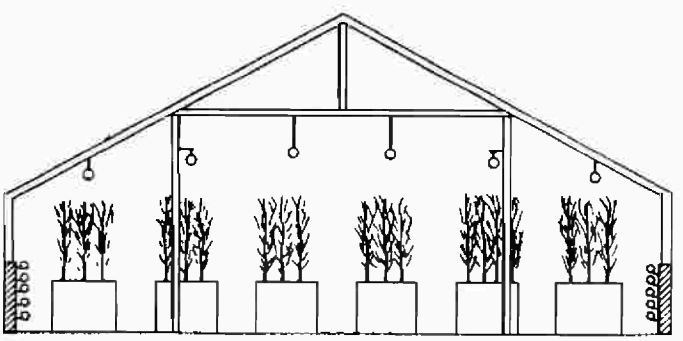


المقطع العرضى A - A



قطاع طولى

(أ)



(ب)

شكل (٣ - ٦) : (أ) مسار التيارات الهوائية عند وجود أنابيب التدفئة على جانبى البيت . (ب) أنابيب للتدفئة على جانبى البيت ، وأخرى أعلى مستوى النباتات للتغلب على مشكلة تحرك الهواء خلال النباتات بعد أن يفقد حرارته .

الأسطح المعدنية الرقيقة البارزة التى تعمل على زيادة مسطحها الخارجى ؛ ومن ثم زيادة فعاليتها فى إشعاع الحرارة إلى الهواء المحيط بها . ولهذه الأنابيب المقدرة على إشعاع الحرارة بما يعادل ٤ - ٥ أضعاف الأنابيب العادية .

التدفئة بتيارات الهواء الدافىء

تستخدم فى التدفئة بنظام تيارات الهواء الدافئ Circulating Warm Air مراوح كهربائية ؛ لتحريك الهواء الذى يتم إنتاجه بمدافئ كهربائية أو بوحدات تدفئة تعمل بالنفط أو بالغاز . والطريقة الثانية أرخص من استعمال المدافئ الكهربائية ، وفيها يتم حرق النفط أو الغاز خارج البيت ؛ حيث تطلق نواتج الاحتراق بالجو الخارجى ، بينما يدفع تيار الهواء الدافئ المحيط بوحدة حرق الوقود بواسطة مراوح كهربائية فى أنابيب بلاستيكية مثقبة تمتد أعلى مستوى النباتات بطول البيت ؛ حتى يتوزع بصورة متجانسة فى جميع أنحاء البيت .

المدافئ الكهربائية

تعتبر المدافئ الكهربائية Electric Heaters أنظف وأسهل طرق التدفئة ، لكن يعيبها ارتفاع تكاليفها . وقد تنطلق الحرارة منها من خلال أنابيب مشعة ، أو بواسطة المراوح .

مدافئ الكيروسين أو البارافين

لا تستخدم مدافئ الكيروسين أو البارافين إلا فى البيوت الصغيرة الحجم . وهى قليلة التكاليف وسهلة الاستعمال ، لكن يعيبها أنه لا يمكن ربط تشغيلها بمنظم للحرارة ، كما تنطلق منها بعض الغازات السامة التى تضر بالنباتات ؛ مثل : غاز ثانى أكسيد الكبريت . ولتلافى هذه العيوب يراعى أن يستعمل فى تشغيلها وقود ذو نوعية جيدة ، مع تشغيلها بصورة سليمة تقلل من انطلاق الغازات السامة .

ويجب توصيل الهواء إلى المدفأة بأنبوبة خاصة تمتد إلى خارج البيت ؛ نظرًا لأنها تحتاج إلى الأكسجين لعملها ، بينما تكون البيوت البلاستيكية غالبًا محكمة الإغلاق . وكقاعدة عامة . . تلزم بوصة مربعة (٦,٢٥ سم^{٢}) من مقطع الأنبوبة الموصلة للهواء لكل ٢٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية (Btu) ؛ وعليه . . يجب أن تكون مساحة مقطع الأنبوبة الموصلة للهواء نحو ٣٠٠ سم^{٢} لتشغيل مدفأة قوتها ١٠٠٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية .

التدفئة بالطاقة الشمسية

يعمل نظام التدفئة بالطاقة الشمسية Solar Heating على مبدأ تخزين الحرارة الناتجة من أشعة الشمس نهارًا بواسطة تسخين الماء وحفظه فى خزانات لإعادة استخدامه فى التدفئة ليلا .

تُجمع الحرارة من أشعة الشمس بواسطة ألواح خاصة مطلية باللون الأسود لزيادة قدرتها على امتصاص الحرارة التى لا تلبث أن تنتقل منها بالتوصيل إلى طبقة رقيقة من الماء تمر بداخلها ، ويدور الماء من أنابيب التسخين إلى خزان متصل بها ببطء بواسطة مضخة خاصة توجد فى خزان الماء . وتقوم مضخة أخرى بدفع الماء الساخن للدوران فى شبكة أنابيب التدفئة فى البيت .

وتجدر الإشارة إلى أن كفاءة هذه الطريقة فى التدفئة تتأثر بشدة ، وتنخفض كثيرًا فى الجو الملبد بالغيوم ؛ الأمر الذى يدعو إلى تجهيز البيت بنظام تدفئة احتياطى كمواقد الكيروسين مثلا (عرقاوى ١٩٨٤) .

كما يستفاد من الطاقة الشمسية فى تدفئة نوع من البيوت المحمية يطلق عليها اسم Solar Green houses . وقد أُنشئت أول مجموعة من هذه البيوت بمعهد الأبحاث الزراعية الوطنى (INRA) فى Montfavet بفرنسا ، وهى بيوت زجاجية تتكون أسقفها من طبقتين من الزجاج : العلوية منهما زجاج عادى، والسفلية عبارة عن نوع خاص يمتص الأشعة تحت الحمراء . ويمر على طبقة الزجاج السفلية تيار مستمر من الماء يقوم بامتصاص الحرارة نهارًا ، ويستخدم فى التدفئة ليلا ، ويحفظ الماء فى مخازن تحت الأرض خارج البيت . وعندما تتغير حرارة الماء بدرجة كبيرة ، فإنه يخلط بماء جوفى يسحب أولا بأول بطلمبات خاصة ، علمًا بأن حرارة الماء الأرضى تتراوح دائمًا بين ١٢م و١٥م .

وبهذه الطريقة لا تحتاج هذه البيوت إلى أية تدفئة أو تبريد ،ولكن المحصول يقل فيها قليلا ؛ نظرًا لضعف شدة الإضاءة بها شتاءً .

التدفئة بالاشعة تحت الحمراء

يؤدى استخدام الأشعة تحت الحمراء فى التدفئة إلى رفع درجة حرارة النباتات

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 ، والتى 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 ، فضلا على انخفاض الرطوبة النسبية فى المناطق الداخلية البعيدة عن السواحل إلى مستوياتٍ تقل غالبًا عن ١٥٪ ، وهى دون الحد المناسب للنمو النباتى ، والتلقيح ، وعقد الثمار .

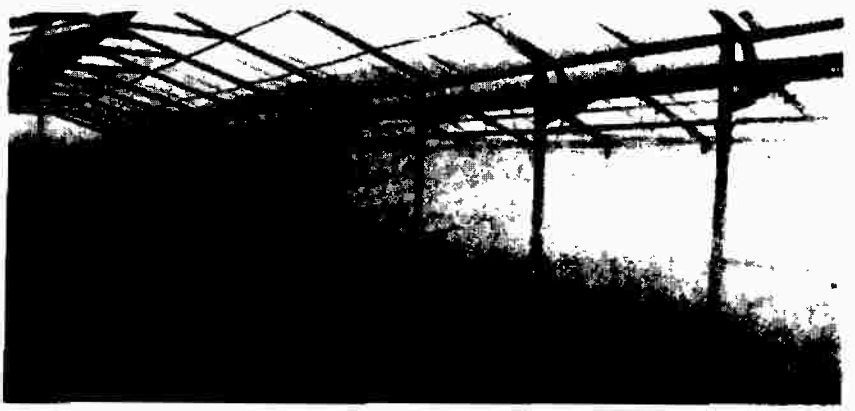
وحتى يمكن إنتاج الخضر خلال هذه الأشهر الشديدة الحرارة فى هذه المناطق ،

فإنه يتعين خفض درجة الحرارة بمقدار ١٥م ، 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 ؛ نظرًا لارتفاع تكاليفه ، ولكنه قد يستخدم فى البيوت المخصصة للبحوث العلمية .

التبريد بالرذاذ أو الضباب

يعرف نظام التبريد بالرذاذ أو الضباب mist باسم « التضبيب» 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 بشابير خاصة على شكل رذاذ دقيق جدًا 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 - تقريبًا - من الأملاح .



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

وقد يستعمل نظام التبريد بالضباب منفردًا ، كما هى الحال فى المناطق المعتدلة ، أو مع نظام التبريد بمبردات الهواء فى المناطق الشديدة الحرارة . ففى 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 خفضٍ أكبر فى درجة الحرارة ؛ نظرًا 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 حدٍّ سواء .

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

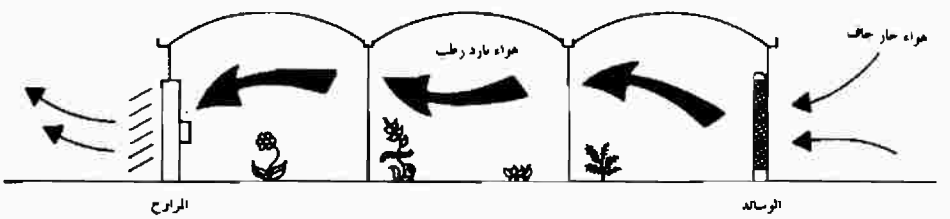
ومن ناحيةٍ أخرى . . استُعمِل الرذاذ مع شباك التظليل - خارجيًا - فى خفض درجة الحرارة داخل الصوبات . فمثلا . . قام Willits & Peet (١٩٩٤) بوضع شباك من البوليثيلين الأسود - توفر تظليلا بنسبة ٥٥٪ - خارجيًا ، وعرضها للرذاذ يومًا ، مع تركها دون رذاذٍ يومًا آخر . . وهكذا بالتبادل - يوميًا - لمدة ٩ أسابيع (ابتداءً من ١٠ يولية فى ولاية كارولينا الشمالية الأمريكية) ، وكان تشغيل الرذاذ لمدة ٣٠ ثانيةً 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 التوفير فى كمية المياه والطاقة المستهلكة فى عملية التبريد) ، وخفضت درجة الحرارة القصوى للأوراق بنسبة ٨,٣٪ ، وللتربة بنسبة ١٧,٦٪ مقارنة بمعاملة الشاهد التى بُرِّدت 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

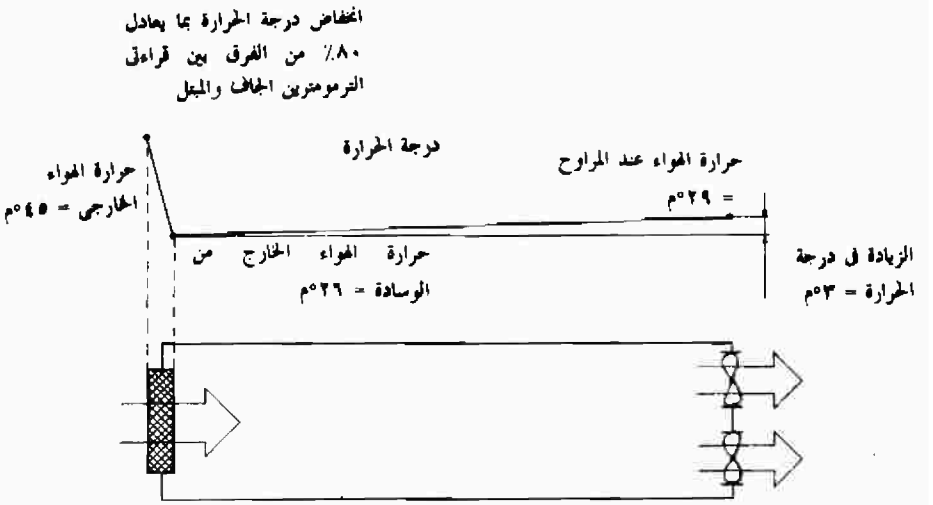
يعتمد التبريد فى هذه الطريقة على تبخر الماء من وسائد pads مبتلةٍ عن طريق إجبار تيار من الهواء بالمرور من خلالها . يتم إيصال منظم للحرارة بمروحةٍ كبيرةٍ توجد فى أحد جانبى البيت ، بينما توجد الوسائد فى الجانب الآخر . وعند وصول درجة الحرارة داخل البيت إلى الحد الأقصى المسموح به يقوم المنظم بتشغيل كل من مروحةٍ ومضخة ماء . تقوم المضخة بدفع تيار من الماء أعلى الوسائد لجعلها رطبة بصفةٍ دائمة ، بينما يؤدى تشغيل المروحة إلى إحداث تفريغ داخل البيت ، يتبعه اندفاع الهواء من خلال الوسائد المبتلة ؛ حيث يتبخر جزء من الماء ؛ ومن ثم يكون الهواء الداخل إلى البيت بارداً أو رطبًا (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 الداخل إلى البيت عن الجو الخارجى ، وقد يصل الفرق فى درجة الحرارة بين الهواء الداخل إلى الوسادة والهواء الخارج منها إلى ٦ - ١٤°م ، لكن ترتفع درجة حرارة الهواء الذى يمر خلال البيت تدريجيًا ، ويقدر الفرق بين درجتى الحرارة عند الوسادة وعند المروحة بنحو ٣ - ٤ درجات مئوية (شكل ٣ - ٩) .

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



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

الوسائد Pads

كانت الوسائد تصنع من أكياسٍ شبكيةٍ مملوءة بأية مادةٍ ماصةٍ للماء وذات سطحٍ كبير ؛ مثل القش ، أو «برى» الخشب ، أو ما شابه ذلك من المواد ، إلا أن هذه النوعية لم يعد لها استعمال كبير فى الوقت الحاضر ؛ نظرًا لضعف كفاءتها ، وضرورة تغييرها سنويًا .

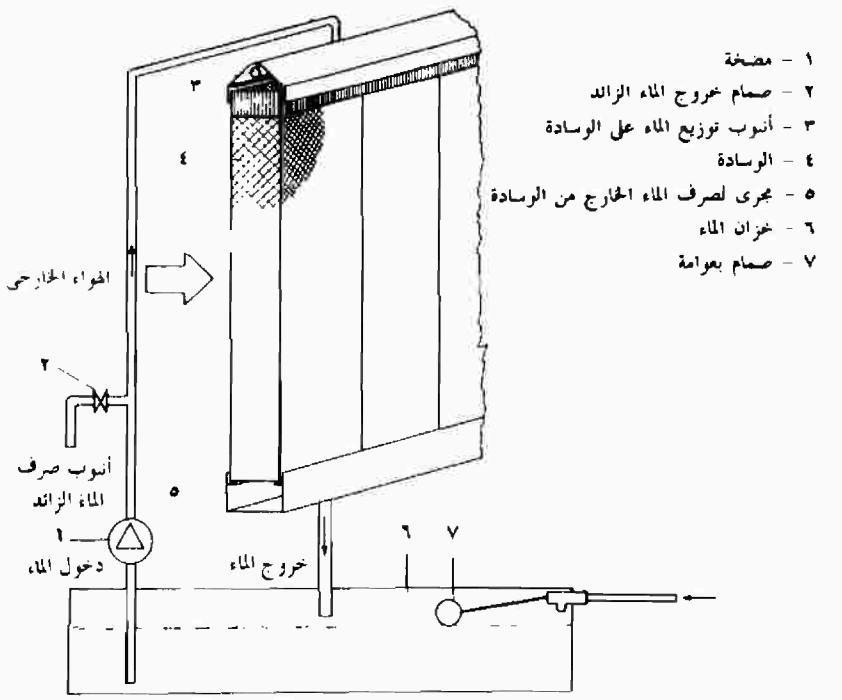
أما الوسائد الحديثة ، فإنها تتكون من ورقٍ سيليلوزيٍّ معرجٍ ، ومشبعٍ بأملاح غير ذائبة ، وبمواد تزيد من صلابة الورق مع بعض المواد التى تساعد على البلل (شكل ٣ - ١٠ ، يوجد فى آخر الكتاب) . وتستخدم هذه الوسائد لمدة ١٠ سنوات أو أكثر. وهى تتوفر بسمك يتراوح بين ١٠سم و٣٠سم ، علمًا بأن زيادة السمك تعنى نقص المسطح العام للوسادة الذى يجب توفره لتحقيق التبريد اللازم ، وتستعمل الوسائد السميكة (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 .

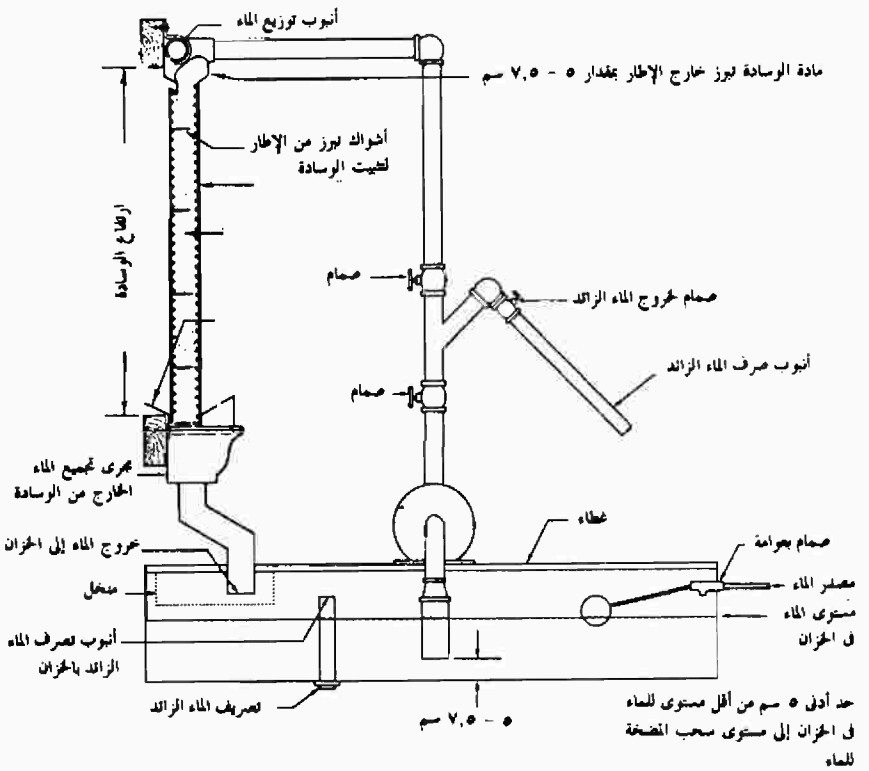
يصل الماء إلى الوسادة من خلال أنبوبة (بلاستيكية غالبًا) تثبت أفقيًا أعلى الوسادة وبامتداد طولها ، تكون هذه الأنبوبة مسدودة من طرفيها ، وتوجد بأسفلها ثقوب كل نحو ١٠ سم ، وتتصل من منتصفها بمصدر الماء . ولا يجوز أن يصل إليها الماء من أى موقع آخر ، خاصة عندما يزيد طول الوسادة عن ٢٢ مترًا .

وتوضع مصفاة أسفل الأنبوبة لتوزيع الماء بتجانس قبل أن يسقط على الوسادة . وربما لا توجد مثل هذه المصفاة ، لكن يجب أن تكون ثقوب الأنبوبة فى هذه الحالة متقاربة بدرجة تسمح بحسن توزيع الماء على الوسادة بانتظام . وتثبت الوسادة أسفل المصفاة فى وضع رأسى . ونظرًا لأن الوسادة تتمدد بالبلل وتنكمش بالجفاف ، فإنها توضع داخل شبكة سلكية .

ويوجد مجرى أسفل الوسادة لتلقى الماء الزائد الذى ينتقل بعد ذلك إلى خزان للماء يوجد أسفل المجرى ، وهو الذى يضخ منه الماء إلى أعلى الوسادة ، ويغطى السطح العلوى لهذا المجرى ؛ حتى لا تتجمع به أية بقايا أو شوائب .



شكل (٣ - ١١) : التركيب العام للوسادة ، وكيفية تزويدها بالماء اللازم للتبريد .

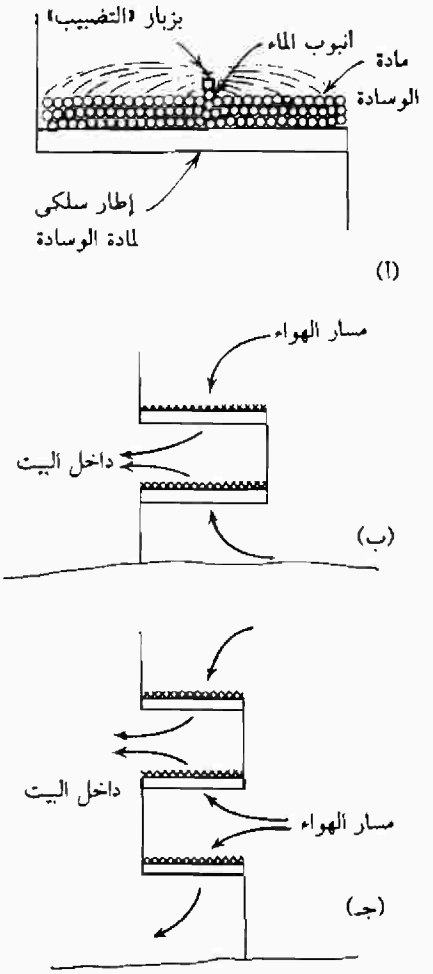


شكل (٣ - ١٢) : التركيب الدقيق لمكونات الوسادة وملحقاتها (عن Hanan وآخرين ١٩٧٨) .

ويُعَوَّض 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 «بعوامة» . هذا . . ومن المفضل تزويد النظام بمرشح للماء يوضع قبل المضخة ، ويمكن تنظيفه بإعادة مرور الماء من خلاله فى الاتجاه العكسى flushable filter .

كما توجد وسائد أفقية توضع فيها مواد ؛ مثل الفيرميكيوليت أو قُشارة « بَرْوةُ » الخشب على شبكةٍ سلكيةٍ ؛ لتعمل كمسطحٍ للتبخر مع السماح بمرور الهواء من خلالها . ويحافظ على الوسادة رطبةً باستمرارٍ بواسطة «التضبيب» (شكل ٢١ - ١٢ أ) . كما

قد يوجد عدد من الوسائد الأفقية التى تثبت بعضها فوق بعضٍ على جانب البيت من الخارج « شكل ٢١ - ١٢ ب ، جـ) .



شكل (٣ - ١٣) : الوسائد الأفقية : (أ) وسادة من مواد ذات سطحٍ ماصٍّ وكبير ؛ مثل الفيرميكيوليت أو بَرْوَة الخشب ، (ب) طبقتان من الوسائد العادية بوضع أفقى ، (جـ) ثلاث طبقات من الوسائد العادية بوضعٍ أفقيٍّ (عن Mastalerz ١٩٧٧) .

تتعرض 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 لفترةٍ وجيزةٍ 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 فترةٍ تتراوح بين سنتين وثلاث سنوات من الاستعمال ، وهى لا تتلف الوسائد ، ولكنها قد تسدّ منافذ الماء فيها ؛ الأمر الذى يقلل من كفاءتها فى التبريد . وتعالج هذه المشكلة بحقن محلول هيبوكلوريت الصوديوم (محلول تبييض 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 لتراً من محلول هيبوكلوريت الصوديوم شهرياً لجعل ٣٠ متراً من الوسائد التى بسمك ١٥ سم خاليةً 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 تحضيراتٍ تجاريةٍ خاصةٍ تقتل النموات الفطرية ، والبكتيرية ، والطحلبية (Biocides) فى الوسائد ؛ مثل التحضير التجارى Oakite الذى يضاف إلى خزان مياه الوسائد مرةً أو مرتين أسبوعياً .

المروحة Fan

يجب أن تثبت المروحة فى جانب البيت الذى لا يواجه الرياح ، فى حين تكون الوسادة فى الجانب المواجه للرياح ؛ حتى تكون الرياح مساعدةً 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 عاملا مهمًا إلا بقدر ما تكون مراوح إحدى مجموعتى البيوت غير مقابلةٍ لوسائد المجموعة المجاورة ؛ لأن ذلك يؤدى إلى طرد الهواء الساخن من المجموعة الأولى ليدخل فى البيوت المجاورة . ويحسن فى هذه الحالة أن تكون وسائد مجموعتى البيوت متقابلةً ، لكن هذه المشكلة تقل تدريجياً بزيادة المسافة بين مجموعتى البيوت ، حتى تنعدم تمامًا عندما تكون المسافة بينهما ٢٠ مترًا أو أكثر .

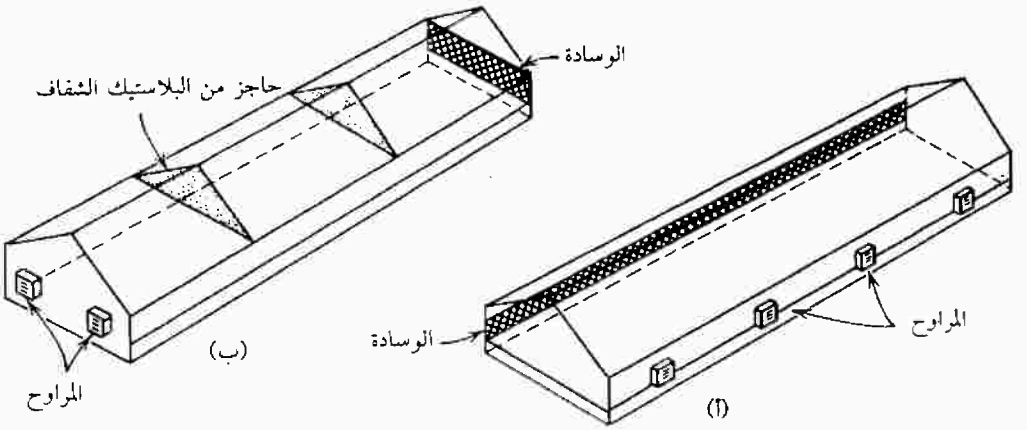
وفى حالة استعمال أكثر من مروحتين فى البيت الواحد يفضل أن يكون لبعضها سرعتا تشغيلٍ ؛ ليمكن تحقيق أكبر قدرٍ من التحكم فى معدل سحب الهواء من البيت ؛ سواء أكان ذلك عند التبريد ، أم التهوية .

مسار الهواء المبرد

يفضل أن يكون مسار الهواء المُبرّد باتجاه عرض البيت ، وموازيًا لخطوط الزراعة ، وفى مستوى النمو النباتى . ولتحقيق ذلك يجب وضع الوسائد فى مستوى النباتات أو أعلى قليلا (شكل ٣ - ١٤) ؛ حتى تزيد فرصة مرور الهواء البارد من خلال النباتات ، لكن نظرًا لأن تيار الهواء يجد مقاومةً من النباتات ، فإننا نجد أن مسار الهواء يتجه إلى أعلى بزاوية ٧ درجات (أى بمعدل مترٍ لكل ثمانية أمتار) تاركًا جيوبًا غير مبردةٍ فى مستوى النمو النباتى .

ويمكن تصحيح ذلك الوضع بتثبيت شرائح من البوليثيلين الشفاف تتدلى من قمة البيت عموديًا على مسار الهواء ، حتى تجبره على أن يسلك مسارًا سفليًا بين النباتات . تثبت هذه الشرائح كل عشرة أمتار . ويجب أن يكون طرفها المتدلى بعيدًا بعدًا كافيًا عن قمة النباتات ؛ حتى لا تعوق حركة الهواء (شكلا ٣ - ١٤ ب ، ٣ - ١٥ هـ) .

كما تظهر مشكلة أخرى إذا كانت الوسائد قريبةً من سطح التربة ، وكانت النباتات مرباةً على مناضد ؛ لأن الهواء المبرد يتسرب فى هذه الحالة من تحت المناضد ، دون المرور على النباتات (شكل ٣ - ١٥ د) . ويمكن التغلب على المشكلة بتثبيت شرائح بلاستيكيةٍ تحت المناضد مقابل الوسائد (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 أمتارٍ من قمة البيت لإجبار الهواء المبرد على اتخاذ مسارٍ سفليٍ بين النباتات .

هذا . . ويبين شكل (٣ - ١٥ أ ، ب ، جـ) مسارات الهواء فى حالات الأوضاع المختلفة للوسائد والمراوح والأماكن التى تكون درجة حرارتها أكثر ارتفاعًا من بقية أجزاء البيت بسبب عدم وجودها فى مسار التحركات الهوائية . يلاحظ بالشكل أن درجة الحرارة تكون أكثر ارتفاعًا 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 الطوليّين أن مركز البيت تكون حرارته أعلى من باقى أرجاء البيت ؛ وذلك بسبب عدم وجوده فى مسار التيارات الهوائية (Mastalarez ١٩٧٧) .

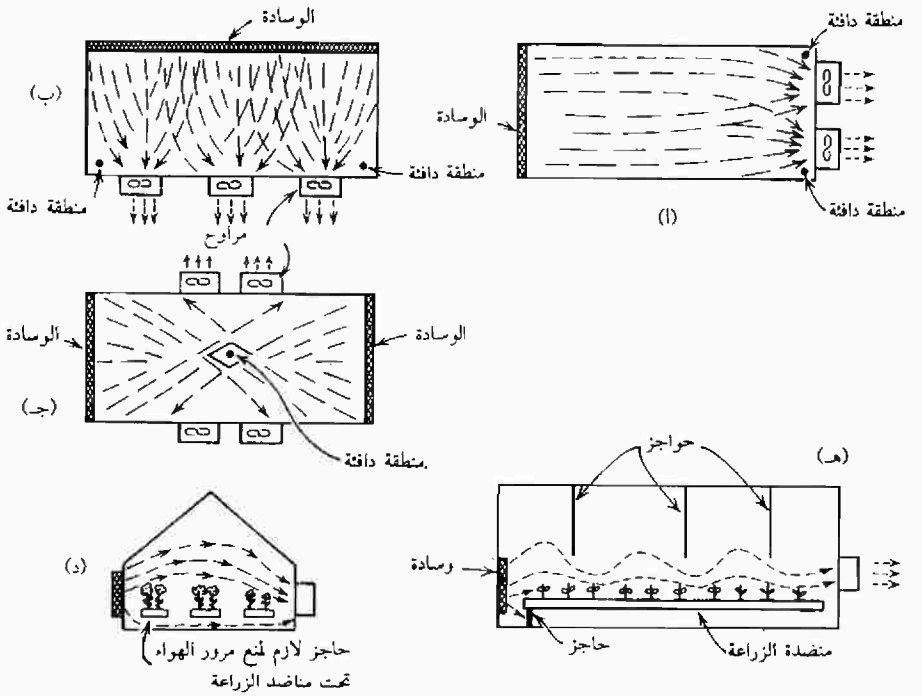
العوامل المؤثرة على كفاءة التبريد

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

أولا : عوامل خاصة بتصميم نظام التبريد . . وتشمل :

١ - معدل سحب الهواء الدافئ من البيت .

٢ - مساحة سطح الوسائد .

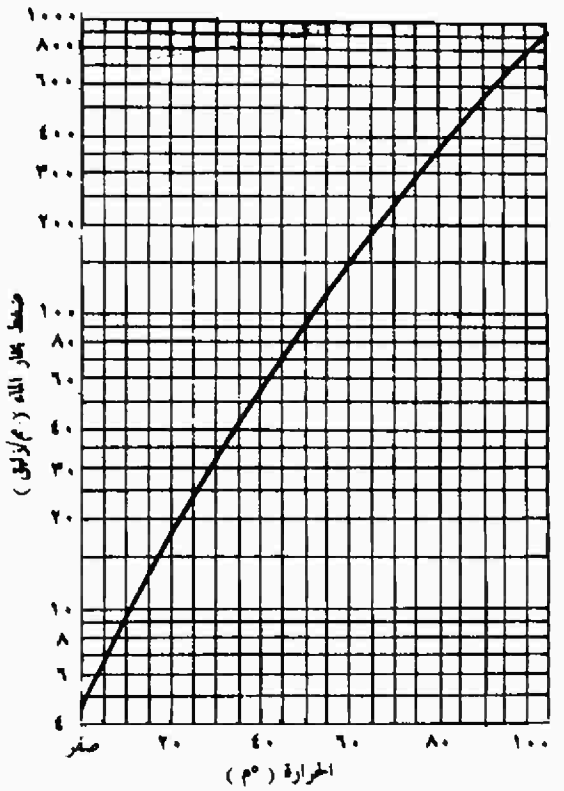


شكل (٣ - ١٥) : مسارات الهواء داخل البيوت المبردة فى حالات الأوضاع المختلفة للمراوح والوسائد : (أ) على امتداد الجانبين القصيرين للبيت . (ب) على امتداد الجانبين الطويلين للبيت . (جـ) الوسائد على امتداد الجانبين القصيرين ، والمراوح فى الجانبين الطويلين للبيت . (د) عوائق أعلى النباتات وتحت مناضد الزراعة لإجبار الهواء المبرد على اتخاذ مسارٍ بين النباتات (Mastalerz ١٩٧٧) .

ثانيًا : الرطوبة النسبية للهواء الخارجى :

وهذا العامل لا يمكن التحكم فيه ؛ ولذا . . فإنه لا يؤخذ فى الحسبان عند حساب احتياجات التبريد ، لكن يجب أن نتذكر أن أقصى درجة تبريد يمكن الحصول عليها بهذه الطريقة تبلغ حوالى ٨٠٪ من الفرق بين قراءتى الترمومترين الجاف والمبتل خارج البيت ؛ وبذلك يزداد التبريد الممكن تحقيقه كلما ازداد الفرق بين القراءتين ؛ أى كلما ازدادت مقدرة الهواء على تبخير الماء ، أى كلما انخفضت الرطوبة النسبية . وتصبح فعالية هذه الطريقة فى التبريد معدومةً تقريبًا عندما تصل الرطوبة النسبية إلى حوالى ٨٠٪ .

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 تلقائيًا (بفرض عدم زيادة محتواه الرطوبى) ؛ وبذا . . تزداد كفاءة عملية التبريد بنظام المروحة والوسادة . وتتضح هذه العلاقة فى جدول (٣ - ٨) ، وشكل (٣ - ١٧) .

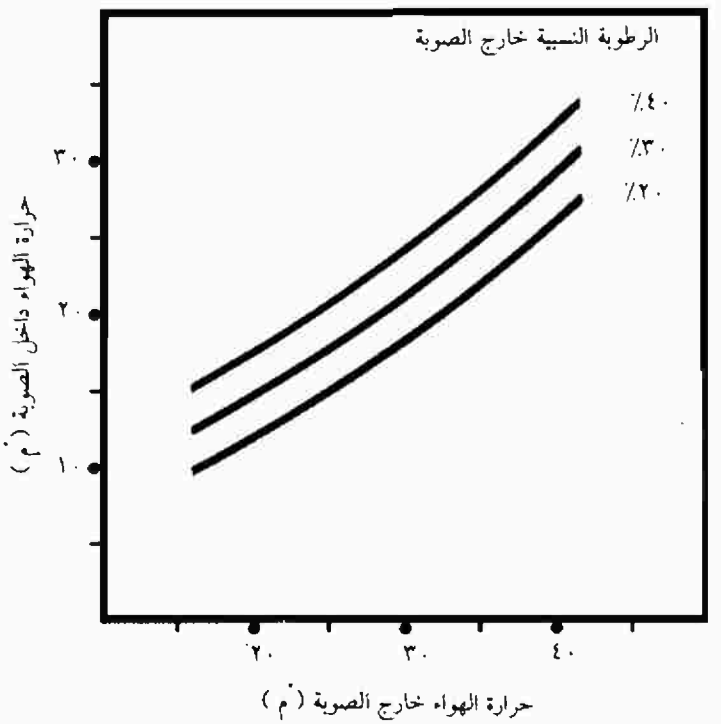
جدول (٣ - ٨) : كفاءة التبريد بنظام المروحة والوسادة (على أساس أن التبريد يكون فى حدود ٨٠٪ من الفرق بين درجة حرارة الترمومترين الجاف والمبتل) عند اختلاف الرطوبة النسبية فى الجو الخارجى من ٥ - ٢٠٪ وحرارة الهواء الداخل إلى الصوبة من ٣٠ - ٤٥م (عن كتالوج شركة Munters) .

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

ثالثا : 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 ، علمًا بأن كثافة الهواء تقل كلما ارتفعنا عن سطح البحر . ولهذا . . يجب استعمال معاملٍ خاصٍ لتصحيح المعدل اللازم لسحب الهواء من البيت يرمز إليه بالرمز (F_{elev}) ، 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)								
	أقل من ٣٠٠	٣٠٠	٦٠٠	٩٠٠	١٢٠٠	١٥٠٠	١٨٠٠	٢١٠٠	٢٤٠٠
F_{elev}	١,٠٠	١,٠٤	١,٠٨	١,١٢	١,١٦	١,٢٠	١,٢٥	١,٣٠	١,٣٦

٢ - المسافة من الوسائد إلى المراوح :

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

نقصت المسافة عن ٣٠م لا ينتشر الهواء المبرد فى كل أرجاء البيت ، بل يميل فى حركته نحو مسار ضيق من الوسادة إلى المروحة . وتلزم فى هذه الحالة زيادة سرعة سحب الهواء من البيت لتصحيح ذلك الوضع . ويستخدم لذلك معامل خاص للتصحيح 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 ثالث خاص 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 فى درجة الحرارة بين الوسادة والمروحة :

يحتاج الأمر إلى معامل تصحيح رابع للفرق الذى يسمح به فى درجة الحرارة بين الوسادة والمروحة ؛ لأن المعدل القياسى لسحب الهواء - وهو ٢,٥ م^3 / دقيقة / م^2 من مساحة البيت - يأخذ فى الحسبان فرقاً قدره ٤ درجات مئوية (أو ٧ درجات فهرنهيتية) بين درجة حرارة الهواء الداخل إلى البيت بعد مروره على الوسادة ودرجة حرارة الهواء الخارج من البيت عند المروحة . ويمكن تصحيح ذلك باستخدام معامل خاص يرمز إليه بالرمز (F_{temp}) ، ويعرف باسم معامل التصحيح الخاص

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	٨٠٠٠
كيلو لكس klux	٤٣,١	٤٨,٤	٥٣,٨	٥٩,٢	٦٤,٦	٧٠,٠	٧٥,٣	٨٠,١	٨٦,١
F_{light}	٠,٨٠	٠,٩٠	١,٠٠	١,١٠	١,٢٠	١,٣٠	١,٤٠	١,٥٠	١,٦٠

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^3 فى الدقيقة لكل متر مربع من مساحة البيت) ، مع افتراض أنه يسمح بفرق سبع درجات فهرنهيتية (حوالى أربع درجات مئوية) بين المروحة والوسادة ، وأن المسافة بين المراوح والوسائد تزيد على ١٠٠ قدم (حوالى ٣٠ مترًا) .

فإذا أُخِل بأيٍّ من هذه الشروط والفروض لزم استعمال المعامل الخاص لتصحيح المعدل اللازم لسحب الهواء من البيت عن المعدل المذكور وهو ٢,٥ م^3 / دقيقة / م^2 من مساحة البيت .

حساب احتياجات البيت من المراوح والوسائد ومياه التبريد

يمر حساب احتياجات البيت من المراوح والوسائد بالخطوات التالية :

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

معدل سحب الهواء من البيت تحت الظروف القياسية بالمتر المكعب فى الدقيقة

= طول البيت بالمتر × عرض البيت بالمتر × ٢,٥

٢ - يلى ذلك تصحيح المعدل ليتناسب مع الظروف الخاصة بالبيت ؛ وذلك بضرب المعدل المحسوب من الخطوة السابقة فى معامل التصحيح الأكبر من أحد المعاملين التاليين :

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

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

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

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

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

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

مستوى التظليل	الإشعاع الشمسى(١) (وات W / م٢)	معدل سحب الهواء (م٣ / م٢ من مساحة البيت / ساعة)
١٠	٨١٠	٢٥٤
٢٠	٧٢٠	٢٢٥
٣٠	٦٣٠	١٨٩
٤٠	٥٤٠	١٦٩

(١) أجريت الحسابات على أساس أن شدة الإشعاع الشمسى خارج البيت ٩٠٠ وات W / م٢ .

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

يكون توزيعها متجانسًا على امتداد البيت ، وعلى ارتفاعٍ واحدٍ من سطح الأرض ، على أن يكون مركزها فى مستوى منتصف النمو النباتى للنباتات المرباة رأسيًا .

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

٥ - تحسب مساحة الوسائد اللازمة على أساس أن كل ٤٥م^3 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 وقُشارة الخشب . . . إلخ) . ونظرًا 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 جالونًا فى الدقيقة لكل قدمٍ طولية من الوسادة التى تكون بسمك ١٠سم (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 مترٍ طوليٍّ من الوسادة ؛ حتى يمكنه استيعاب كل الماء الذى يمر فى الوسادة عند توقف التبريد .

كما يجب توفير مصدرٍ دائمٍ للماء ؛ نظرًا لتبخر جزءٍ منه فى عمليات التبريد . ويتحقق ذلك بإيصال خزان الماء بأنبوبة ماءٍ ذات صمامٍ مزودٍ بعوامة ، علمًا بأنه يمكن أن يتبخر ٠,٤١ لترًا من الماء فى الدقيقة لكل مترٍ مربعٍ من الوسادة فى يومٍ حارٍّ جافٍّ .

مثال :

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

وأنها مزودة بشباك تظليل تجعل شدة الإضاءة بداخلها ٥٠٠٠ قدم - شمعة (٥٣,٨ klux) ، وأنه يسمح بفرق قدره ٤ درجات مئوية فى الحرارة بين الوسادة والمروحة . وأن الوساند السيليلوزية التى يُراد استعمالها يبلغ سمكها ١٠ سنتيمترات .

تكون الحسابات حسب التسلسل التالى :

١ - المعدل اللازم لسحب الهواء من الصوبة

= عرض الصوبة × طول الصوبة × ٢,٥

= ١٥ × ٣٠ × ٢,٥ = ١١٢٥ م^{٣} / دقيقة

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

$$F_{temp} \times F_{light} \times F_{elev} = F_{house}$$

وبالاعتماد على البيانات المتوفرة لدينا عن الصوبة ، وجداول (٣ - ٩ ، و٣ - ١١ ، و٣ - ١٢) . . نجد أن :

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

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 مترًا ؛ وبذا يُختار الضلعان الواقعان فى نهايتى الصوبة ، والتى تبلغ المسافة بينهما ٣٠ مترًا .

ويعنى ذلك أن $F_{vel} = ١,٠$

٤ - يُضرب معدل سحب الهواء المتحصل عليه من الخطوة الأولى (١١٢٥م^{٣} / دقيقة) فى 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 = ١١٢٥ × ١,١٢ = ١٢٦٠ م^{٣} / دقيقة .

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

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

١٢٦٠ ÷ ٢ = ٦٣٠ م^{٣} / دقيقة .

ويتم تركيب المروحتين فى أحد الجانبين القصيرين للصوبة ، على مسافاتٍ متساويةٍ من الجانبين وبينهما .

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

١٢٦٠ م^{٣} / دقيقة ÷ ٧٥م^{٣} / دقيقة = ١٦,٨ م^{٢} 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 :

١٦,٨م^{٢} ÷ ١٥ م = ١,١ مترًا .

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

٧,٤ لترًا / دقيقة × ١٥ م = ١١١ لترًا / دقيقة .

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

١٨,٦ لتر × ١٥م = ٢٧٩ لترًا (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 «السيبداج» (أو ماء الجير) من الخارج لخفض نفاذيته للإشعاع الشمسى .

٣ - وضع أغطية متنوعة على غطاء الصوبة (مثل شباك 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 شباك يتراوح عرضها بين ٣٢٥سم و٨٦٠سم .

كذلك يتوفر غطاء آخر مزدوج من الشباك يحقق تظليلا قدره ٩٩٪ ويوفر نحو ٧٥٪ من طاقة التبريد اللازمة ، ويطلق عليه اسم LS11 + LS7 . يوضع الغطاء LS7 على غطاء البيت مباشرةً ، وهو غطاء ذو لون أخضر يُصنع من البوليستر Polyster ، ولاينفذ سوى نسبة ضئيلة من الضوء الأخضر ، بينما يعتبر منفذاً لكلٍّ 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 أيضًا نحو ٧٥٪ من الإشعاع الحرارى الصادر من التربة والأجسام الصلبة الأخرى داخل البيت أثناء الليل . وبالمقارنة بالشباك السوداء . . فإن درجة الحرارة تحت هذا الغطاء المزدوج تكون أكثر انخفاضًا فى أثناء النهار وأكثر ارتفاعًا فى أثناء الليل .

التهوية

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

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

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

الطبيعى لغاز ثانى أكسيد الكربون ؛ لأن تركيز الغاز يقل سريعًا فى البيوت غير الجيدة التهوية لاستنفاذه من قبل النباتات فى عمليات البناء الضوئى . هذا . . ويؤدى انخفاض تركيز ثانى أكسيد الكربون (بسبب سوء التهوية) ، مع زيادة شدة الإضاءة إلى نقص شديد فى الكفاءة التمثيلية للنبات (Stanghellini ١٩٩٤) .

٣ - غالبًا ما تصل الرطوبة النسبية داخل البيوت المحكمة الإغلاق إلى درجة التشبع . وتحت هذه الظروف يزداد انتشار الأمراض ، كما يزداد تكثف قطرات الماء على الجدر الداخلية للبيت فى الجو البارد . ولا توجد وسيلة فعالة لإحداث خفضٍ ملموسٍ فى الرطوبة النسبية إلا بالتهوية الجيدة ؛ وبذلك فإنها تقلل من فرصة انتشار الأمراض ؛ وتؤدى إلى التخلص من ظاهرة تكثف قطرات الماء وسقوطها على النباتات .

جدول (٣ - ١٣) : تأثير معدل التهوية على درجة حرارة الصوبة ؛ مقارنة بالحرارة خارجها (عن Hanan وآخرين ١٩٧٨) .

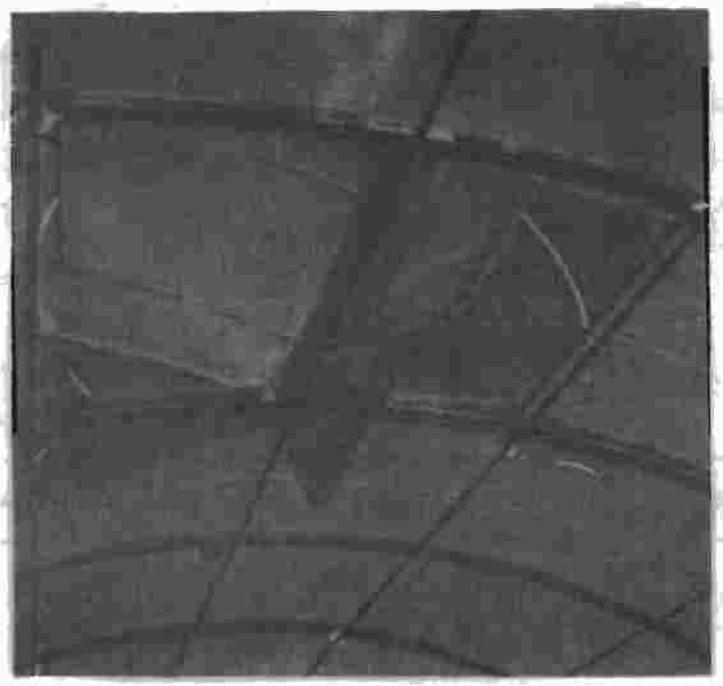
معدل تغيير هواء الصوبة فى الدقيقة	الارتفاع المتوقع فى درجة الحرارة داخل الصوبة عنه خارجها (°م)
نصف مرّة	٩ - ١٠
ثلاثة أرباع المرة	٦ - ٧
مرّة واحدة	٤ - ٦
مرّتان	٢ - ٣

التهوية من خلال منافذ خاصة فى الجدران والأسقف

تعتبر أبسط طرق التهوية هى بعمل فتحات خاصة فى جدران أو أسقف البيوت المحمية يتم من خلالها تغيير هواء البيت من الفتحات العلوية ليحل محله الهواء الخارجى البارد من الفتحات الجانبية .

والقاعدة فى هذه الطريقة للتهوية أنه كلما ازداد اتساع الفتحات ، ازدادت سرعة خفض درجة الحرارة داخل البيت ، وأمكن المحافظة عليها فى المجال المناسب للنمو النباتى . ولتحقيق ذلك يجب ألا تقل مساحة فتحات التهوية عن ١٧٪ من مساحة البيت ، والأفضل زيادتها إلى ٣٠٪ .

فمثلا . . يبين شكل (٣- ٢٠) فتحات صغيرة للتهوية فى بيت بلاستيكى تناسب المناطق الباردة ، ولكنها لا تكفى للمناطق المعتدلة أو الحارة . ففى المناطق المعتدلة يجب أن تتسع فتحات التهوية ، وتمتد ما بين شرائح البلاستيك المغلفة للبيت (شكلا ٢ - ٩ ، ٣ - ٢١) .



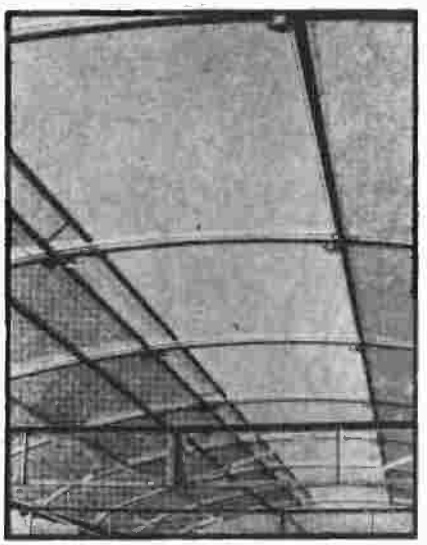
شكل (٣ - ٢٠) : فتحات صغيرة للتهوية تناسب المناطق الباردة .

أما فى المناطق الحارة ، فإن فتحات التهوية يجب أن يزداد اتساعها وتتوزع فى جوانب البيت والأسقف ، كتلك المبينة فى أشكال (٢ - ٨ ، و ٣ - ٢٢ ، و ٣ - ٢٣) .

أما فى المناطق الباردة التى تنتشر فيها البيوت الزجاجية من النوع الجمالونى المتناظر الانحدار على جانبى البيت ، فإن فتحات التهوية يجب إغلاقها عند اشتداد الرياح ؛ حتى لا تحدث تيارات هوائية شديدة داخل البيت قد يترتب عليها حدوث بعض الأضرار . أما فى حالة الرياح الخفيفة ، فإنه يمكن تشغيل فتحات التهوية فى جانب البيت غير المواجه للرياح .

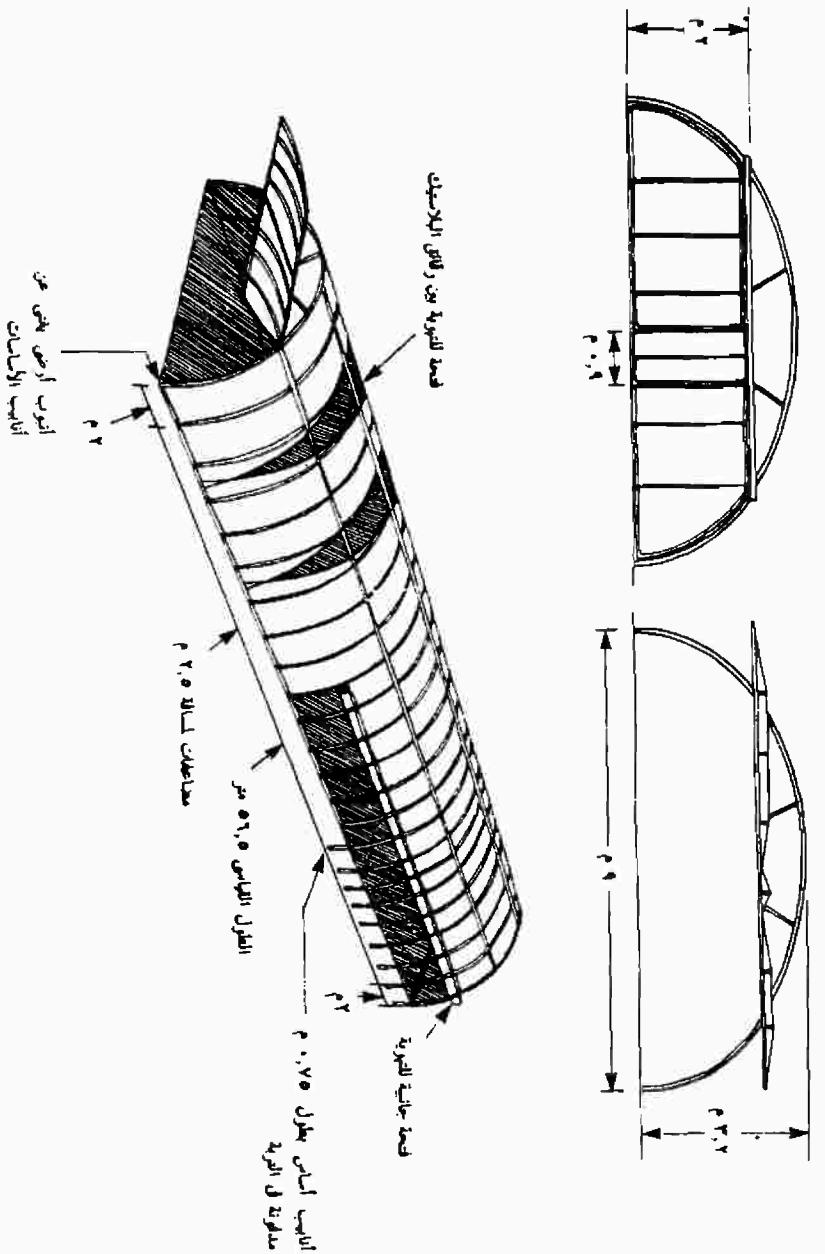
وعند الرغبة فى عدم دخول الحشرات إلى البيت من فتحات التهوية ، فإن الفتحات

شكل (٣ - ٢١) : فتحات كبيرة للتهوية تمتد بين شرائح البلاستيك المغلفة للبيت ، وتناسب المناطق المعتدلة .

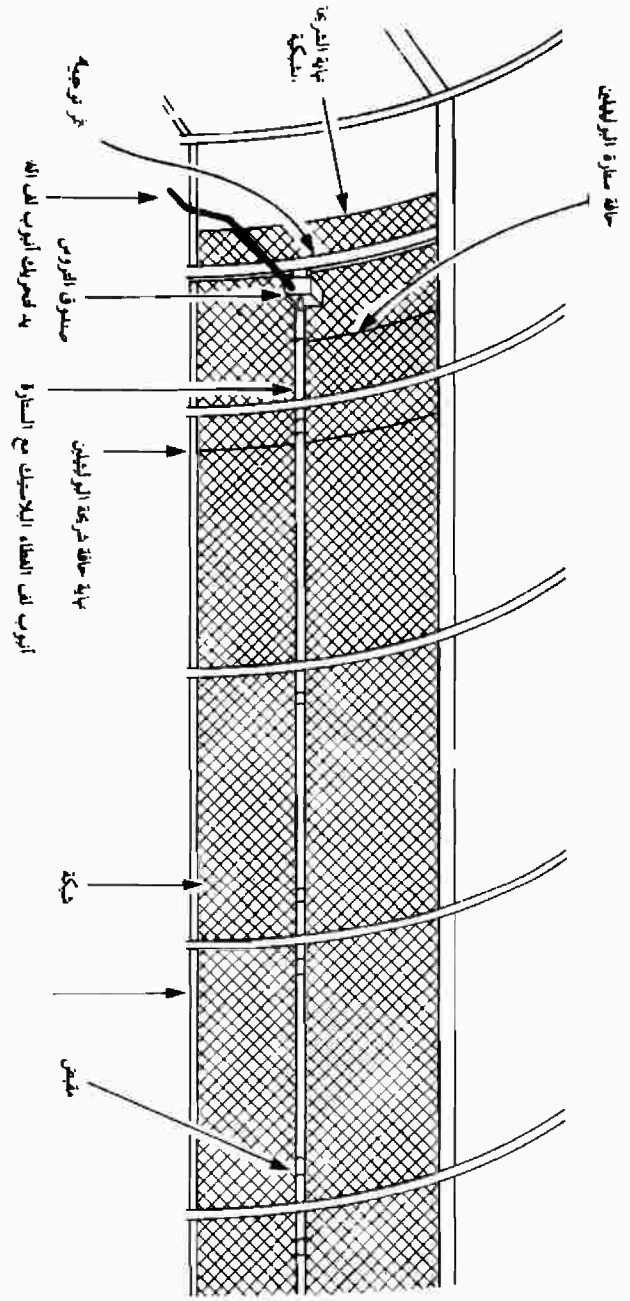


شكل (٣ - ٢٢) : فتحات واسعة للتهوية فى سقف البيت تناسب المناطق الحارة (عن Clovis Lande – إنجلترا) .

تغطى بشباك خاصة ، كتلك المبينة فى شكل (٣ - ٢٣) ، والتى تظهر تفاصيلها ، وكيفية التحكم فى فتحها وإغلاقها فى شكل (٣ - ٢٤) .



شكل (٣ – ٢٣) : أنواع مختلفة من فتحات التهوية الواسعة بين شرائح البلاستيك ، وبامتداد الجانبين الطويلين ، مع إمكانية رفع الأبواب إلى أعلى لزيادة التهوية (عن شركة Fordinbridge – إنجلترا) .



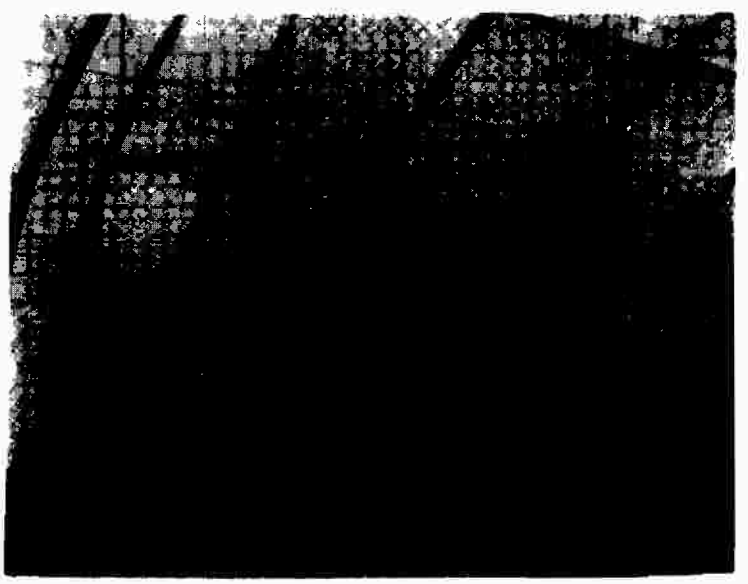
شكل (٣ - ٢٤) : تخطيط لفتحة تهوية بامتداد الجانب الطولى للبيت يُبين الغطاء الشبكى للفتحة ، وكيفية التحكم فى فتحها وإغلاقها (عن شركة Fordinbridge - إنجلترا) .

ويتم التحكم فى فتح وإغلاق فتحات التهوية بإحدى الطرق الآتية :

١ - يدويا بفتح أو إغلاق الأبواب أو فتحات التهوية الكبيرة .

٢ - يدويا بإدارة عجلة خاصة تتصل مع فتحات التهوية بأسلاك ، كما فى شكلى (٣ - ٢٥ ، ٣ - ٢٦) ، أو بتروس ، كما فى شكل (٣ - ٢٧) . يستعمل فى هذا النظام سلك فولاذى بقطر ٣مم يتصل بعجلة .

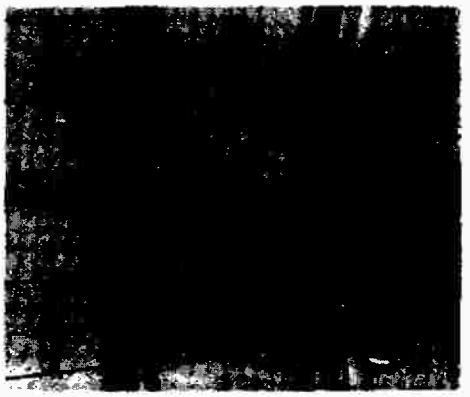
٣ - آليا كما فى شكل (٣ - ٢٨) ؛ حيث يتم توصيل فتحة التهوية بمنظم الحرارة الذى يعمل على تشغيل جهاز منافذ التهوية عند ارتفاع درجة الحرارة داخل البيت إلى الحد الأقصى المسموح به .



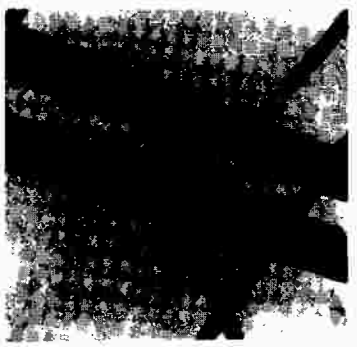
شكل (٣ - ٢٥) : نظام التحكم فى فتح وإغلاق منافذ التهوية بإدارة عجلة خاصة تتصل مع فتحات التهوية بأسلاك (عن Roverto - هولندا) .

التهوية بنظام المنافذ والمراوح

يتبع نظام المنافذ والمراوح للتهوية فى البيوت الكبيرة التى لا تفيد معها منافذ التهوية العادية ، خاصة فى الجو الحار . وتستخدم لأجل ذلك مراوح كبيرة تعمل على طرد



شكل (٣ - ٢٦) : نظام آخر للتحكم فى فتح وإغلاق منافذ التهوية بإدارة عجلة خاصة تتصل مع فتحات التهوية بأسلاك (عن Roverto - هولندا) .



شكل (٣ - ٢٧) : نظام التحكم فى فتح وإغلاق منافذ التهوية بإدارة عجلة خاصة تتصل مع فتحات لتهوية بتروس ، ويمكن تشغيلها آليًا (عن H.A.G - إنجلترا) .

الهواء الدافىء خارج البيت من أحد الجانبين ليحل محله هواء خارجى بارد من المنافذ التى توجد فى الجانب الآخر . تظل المنافذ مفتوحة طوال الوقت فى الجو الحار ، بينما يتم توصيل المراوح بمنظم الحرارة الذى يتحكم فى تشغيلها عند وصول درجة الحرارة داخل البيت إلى الحد الأقصى المسموح به .

وللحصول على أعلى كفاءة ممكنة يجب أن تكون المراوح المستخدمة قادرةً على سحب كل هواء البيت بمعدل مرة فى الدقيقة ، ويفضل استخدام المراوح ذات السرعتين . أما منافذ التهوية ، فيجب أن تكون مساحتها ٤ - ٥ أضعاف مساحة المراوح المستخدمة على الأقل (Sheldrake ١٩٧١) .

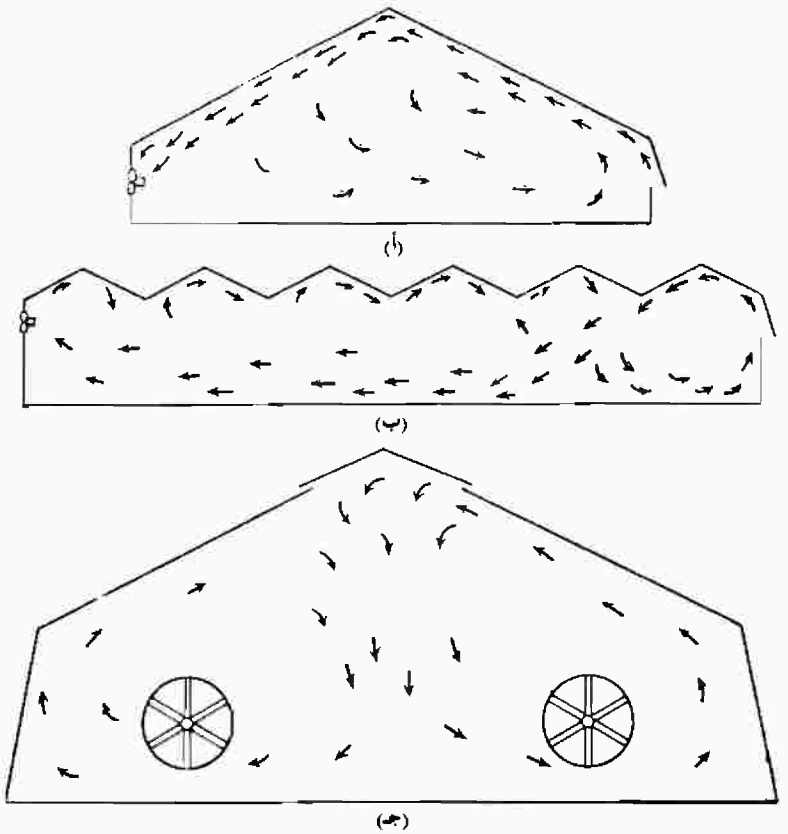
شكل (٣ - ٢٨) : نظام التحكم الآلى فى فتحات التهوية (عن J.t.provence - فرنسا) .

يتبع هذا النظام عادةً فى البيوت الكبيرة المجهزة بوسائل التبريد بالمروحة والوسادة ؛ حيث يكتفى فيها بتشغيل المراوح فقط خلال فصل الشتاء حينما تكون درجة الحرارة معتدلةً فى الجو الخارجى ، بينما يتم تشغيل نظام التبريد فى الجو الحار .

ويبين شكل (٣ - ٢٩) مسار التحركات الهوائية داخل البيت عند اتباع هذا النظام فى التهوية ، وذلك فى كلٍّ من البيوت المفردة ذات الشكل الجمالونى المتناظر الانحدار والبيوت الكبيرة المتصلة بنظام القنوات والخطوط .

التهوية بنظام الأنبوبة البلاستيكية المعلقة

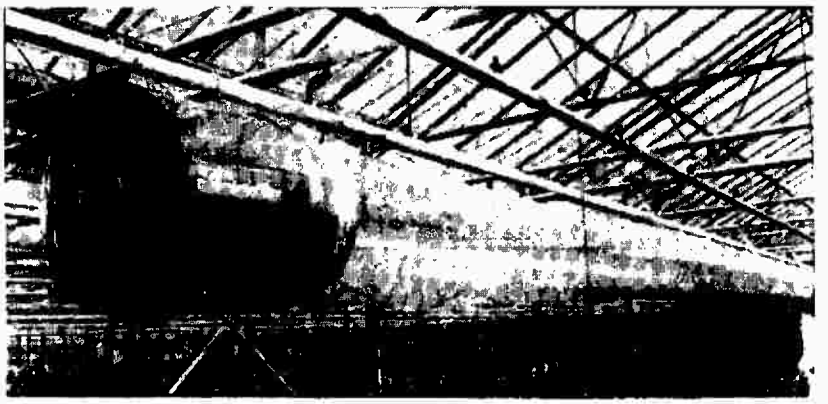
تستخدم فى هذا النظام للتهوية أنبوبة من البوليثيلين بقطر ٥٠ - ٧٥ سم تتدلى من سقف البيت بطوله أعلى مستوى النباتات (شكل ٣ - ٣٠) . توجد بهذه الأنبوبة ثقوب صغيرة على الجانبين فى الجهة السفلية يخرج منها الهواء ليتوزع فى أرجاء البيت، وهى مسدودة من أحد طرفيها ، ومفتوحة من الجانب الآخر على المنفذ الذى يأتيها منه الهواء .



شكل (٣ - ٢٩) : مسار التحركات الهوائية عند التهوية . (أ) فى بيتٍ مفردٍ على شكل جمالون متناظر الانحدار ؛ مع وجود فتحة التهوية فى جانب البيت ؛ والمراوح الساحبة للهواء فى الجانب الآخر . (ب) فى مجموعةٍ من البيوت المتصلة على شكل القنوات والخطوط بنظام التهوية السابق نفسه . (جـ) فى بيتٍ مفردٍ على شكل جمالون متناظر الانحدار ؛ مع وجود فتحات التهوية فى قمة البيت .

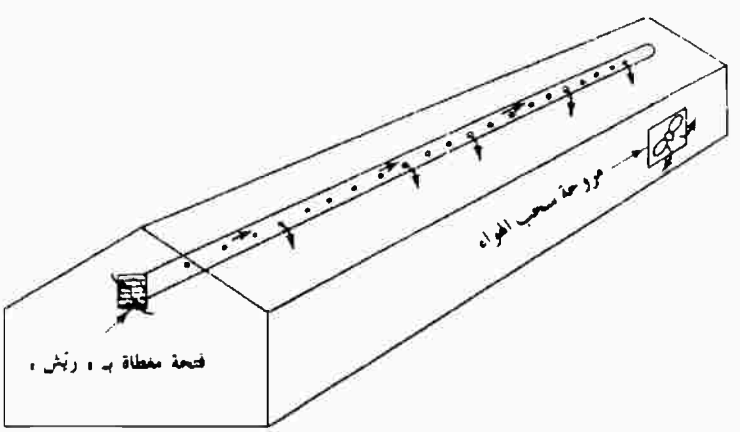
التهوية فى الجو البارد

يفضل اتباع نظام الأنبوبة البلاستيكية للتهوية فى الجو البارد ؛ حيث يكون الهواء الخارجى باردا بدرجة قد تضر بالنباتات القريبة من فتحات التهوية . ولتلافى ذلك يسمح لهذا الهواء بالدخول إلى الأنبوبة البلاستيكية أولا ؛ حيث يتوزع منها بالتدريج فى جميع أرجاء البيت .



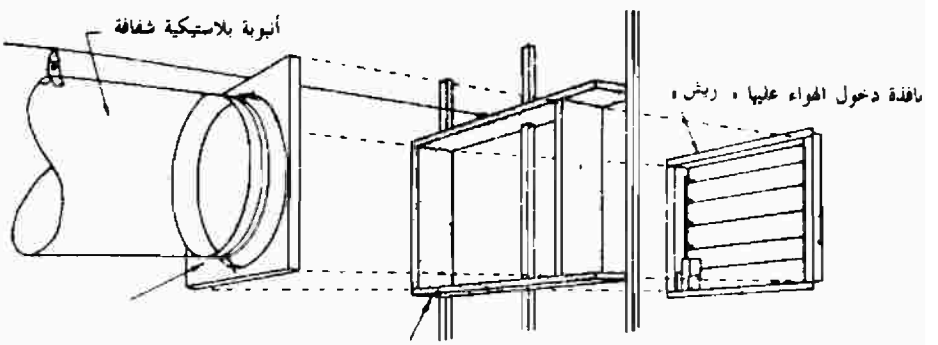
شكل (٣ - ٣٠) : أنبوبة بلاستيكية تتدلى من سقف البيت بطوله أعلى مستوى النباتات ، ويمكن أن تستخدم فى التهوية فى الجو البارد ، وفى توزيع الهواء الدافئ ، وفى المحافظة على تجانس درجة الحرارة داخل البيت .

ويوضح شكل (٣ - ٣١) الكيفية التى يتم بها عمل هذا النظام : تثبت مروحة كبيرة ساحبة للهواء فى جانب من البيت ، بينما يوصل أحد طرفى الأنبوبة البلاستيكية بفتحة فى جانب آخر . ويؤدى تشغيل المروحة إلى توليد تفريغ داخل البيت ؛ فيندفع الهواء بالتالى من خارج البيت خلال الفتحة المطلة على الأنبوبة البلاستيكية لتنتفخ الأنبوبة بالهواء الخارجى البارد الذى يخرج من خلال الفتحات الصغيرة ليوزع بالتدريج فى جميع أرجاء البيت .



شكل (٣ - ٣١) : تخطيط للكيفية التى تتم بها التهوية فى الجو البارد بنظام الأنبوبة البلاستيكية (عن Nelson ١٩٨٥) .

هذا . . وتغطى الفتحة الخارجية بـ « ريش » خاصة تثبت فى إطار خشبى فى جدار البيت ، وتتصل الأنبوبة البلاستيكية بهذا الإطار من الناحية الداخلية للجدار (شكل ٣ - ٣٢) . ويتم فتح هذه « الريش » بمجرد اندفاع الهواء من خلالها إلى داخل الأنبوبة البلاستيكية . وقد يتحكم قفل خاص فى فتحها وإغلاقها ، ويتم تشغيله بواسطة منظم الحرارة ؛ حيث يفتح مع تشغيل المروحة فى آن واحد . وليس لموقع المروحة الساحبة للهواء أهمية كبيرة ؛ نظرا لأن كل وظيفتها هى توليد تفريغ داخلى طفيف يسمح باندفاع الهواء إلى داخل الأنبوبة البلاستيكية .



شكل (٣ - ٣٢) : تخطيط يوضح مكان اتصال الأنبوبة البلاستيكية بفتحة التهوية التى توجد فى جدار البيت .

ويجب أن تُعْطَى أهمية خاصة لقدرة المروحة على سحب الهواء من البيت ؛ نظرا لتأثير ذلك على كفاءة عملية التهوية . وتختلف التقديرات فى هذا الأمر من ٠,٤٦ - ١,٢٢ مترًا مكعبًا من الهواء المسحوب من البيت فى الدقيقة لكل مترٍ مربعٍ من مساحة البيت بمتوسط قدره ٠,٨٤ م^3 فى الدقيقة .

تعمل التهوية بهذا المعدل - تحت الظروف القياسية - على عدم ارتفاع درجة الحرارة داخل البيت لأكثر من ٨ْم عن الجو الخارجى . فإذا أُريدت المحافظة على فرق أقل فى درجة الحرارة بين الهواء الداخلى والخارجى ، وجبت زيادة معدل دخول الهواء البارد . ويستخدم لأجل ذلك معامل التصحيح (F_{winter}) المبين فى جدول

(٣ - ١٤) ، والذى يطلق عليه اسم معامل التهوية للفرق المسموح به فى درجة الحرارة .

هذا . . والظروف القياسية المشار إليها هى ألا يزيد منسوب البيت على ٣٠٥م على سطح البحر ، وألا تزيد شدة الإضاءة داخل البيت على ٥٠٠٠ قدم - شمعة (٥٣,٨ klux) فإذا اختلفت الظروف الحقيقية عن القياسية ، لزم تصحيح معدل سحب الهواء باستعمال معاملات التصحيح التى سبقت الإشارة إليها فى جدولى (٣ - ٩ ، ٣ - ١١) .

جدول (٣ - ١٤) : معامل تصحيح التهوية للفرق المسموح به فى درجة الحرارة بين داخل وخارج البيت (F_{winter}) .

الفرق المسموح به فى درجة الحرارة بين داخل وخارج البيت (م)									
١٠	٩,٤	٨,٩	٨,٣	٧,٨	٧,٢	٦,٧	٦,١	٥,٦	٥,٠
٠,٨٣	٠,٨٨	٠,٩٤	١,٠٠	١,٠٧	١,١٥	١,٢٥	١,٣٧	١,٥٠	١,٦٧

F_{winter}

كذلك يجب الاهتمام بحساب عدد الأنابيب البلاستيكية اللازمة للتهوية ، ومساحة الثقوب بها ، لأن كل أنبوبة بقطر ٧٥سم تكفى لتهوية نحو ٩ أمتار من عرض البيت (أى ٤,٥م على كل جانب من جانبيها) .

وتكون الثقوب عادة صغيرة ، لكن مساحتها الإجمالية يجب أن تكون فى حدود ١,٥ - ٢ ضعف مساحة مقطع الأنبوبة . ونظرا لأن الأنبوبة تمتد بطول البيت ؛ لذلك تجب فى حالة البيوت الطويلة زيادة المسافة بين الثقوب ؛ حتى تظل مساحتها الإجمالية فى الحدود المشار إليها . هذا . . وغالبا ما تكون المسافة بين الثقوب ٦٠ - ٩٠ سم.

التهوية بنظام الأنبوبة البلاستيكية ، مع المحافظة على تجانس درجة الحرارة داخل البيت

يمكن استخدام نظام الأنابيب البلاستيكية فى المحافظة على تجانس درجة الحرارة داخل البيت مع إجراء التهوية فى الجو البارد . ولتحقيق ذلك . . تثبت المروحة الساحبة للهواء والأنبوبة البلاستيكية كالعادة ، لكن دون إيصال طرفها المفتوح بجدار البيت ، بل يظل على بعد ٦٠ - ١٢٠ سم من الفتحة الموجودة بالجدار . وتثبت على

الطرف المفتوح للأنبوبة مروحة دافعة للهواء تعمل باستمرار ؛ فتظل الأنبوبة دائما مملوءة بالهواء .

ففى حالة التهوية يؤدى تشغيل المروحة الساحبة للهواء إلى إحداث تفريغ جزئيّ فى البيت ، فيندفع الهواء من خلال الفتحة التى توجد فى جدار البيت (والتى تكون مغطاة بـ«ريّش» خاصة تفتح عند اندفاع الهواء من خلالها) ، لتتلقفه المروحة القريبة المثبتة فى طرف الأنبوبة البلاستيكية ، وتدفعه داخل الأنبوبة ليتوزع فى جميع أرجاء البيت . ويجب أن تكون قدرة المروحة الدافعة للهواء إلى داخل الأنبوبة مساويةً لقدرة المروحة الساحبة للهواء من البيت ، وإلا تدفق جزء من الهواء الخارجى البارد الداخل إلى البيت إلى أسفل نحو النباتات ، بدلا من سحبه إلى داخل الأنبوبة البلاستيكية .

أما عندما لا تعمل المروحة الساحبة للهواء من داخل البيت (أى عندما لا تكون هناك حاجة إلى التهوية) ، فإن المروحة التى تدفع الهواء إلى داخل الأنبوبة البلاستيكية (والتى تعمل باستمرار) تؤدى إلى تحريك هواء البيت باستمرار ، محققةً المزايا الآتية :

١ - تجانس درجة الحرارة داخل البيت بتحريك الهواء الدافئ الذى يتجمع أعلى البيت ، ومنع تكتل الهواء البارد حول النباتات .

٢ - تحريك غاز ثانى أكسيد الكربون الذى يقل تركيزه حول النبات .

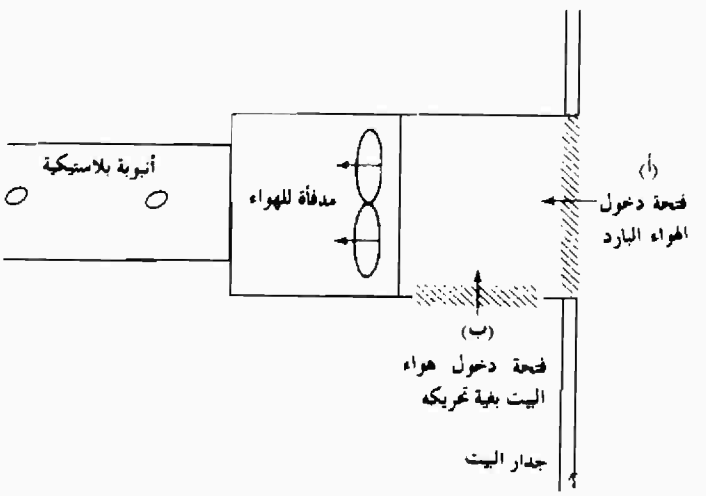
٣ - تقليل فرصة الإصابة بالأمراض بتقليل الرطوبة النسبية حول الأوراق (Sheldrake ١٩٦٧) .

التهوية والتدفئة بنظام الأنبوبة البلاستيكية ، مع المحافظة على تجانس درجة الحرارة داخل البيت

يحدث أحيانا فى فصل الشتاء أن تحتاج البيوت إلى التهوية نهارا والتدفئة ليلا . ويمكن تحقيق ذلك بنظامٍ واحدٍ تستخدم فيه أنبوبة بلاستيكية مثقبة ، كما فى حالة التهوية . ينتهى طرف الأنبوبة قبل جدار البيت بنحو ٦٠سم ؛ حيث تحاط هذه المسافة بما يشبه الصندوق ، كما فى شكل (٣ - ٣٣) . ويوضع جهاز التدفئة مقابل الفتحة (ب) بالشكل ، أما الفتحة (أ) ، فهى فى جدار البيت لدخول الهواء البارد عند

الحاجة إلى التهوية . وكلتا الفتحتين مغطاة بـ «ريّش» خاصة ، ويمكن إحكام غلقها . وتثبت فى بداية الأنبوبة مروحة دافعة للهواء داخل الأنبوبة .

عندما ترتفع درجة الحرارة داخل البيت إلى الحد الأقصى المسموح به تفتح الفتحة (أ) وتغلق الفتحة (ب) ، وتعمل المروحة الساحبة للهواء التى توجد فى مكان آخر بالبيت ؛ فيندفع الهواء البارد الخارجى من الفتحة (أ) ، ومنه إلى الأنبوبة البلاستيكية من خلال المروحة التى تعمل باستمرار .

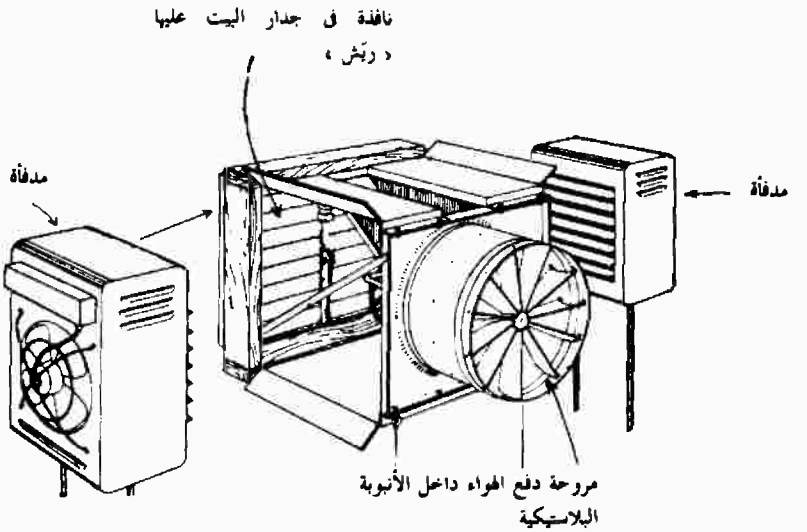


شكل (٣ - ٣٣) : تخطيط يوضح كيفية استخدام نظام الأنبوبة البلاستيكية فى التهوية ، والتدفئة ، والمحافظة على تجانس درجة الحرارة داخل البيت .

وعندما تنخفض درجة الحرارة داخل البيت إلى المجال المناسب تقفل الفتحة (أ) ، وتفتح الفتحة (ب) ، وتتوقف المروحة الساحبة للهواء من البيت عن العمل ، لكن يستمر تشغيل المروحة التى تدفع الهواء إلى داخل الأنبوبة ؛ حيث تمتلئ بهواء البيت ؛ فتعمل بذلك على تجانس درجة الحرارة داخل البيت .

ومع استمرار انخفاض درجة الحرارة ليلا يبدأ جهاز التدفئة فى العمل مع استمرار الوضع على ما هو عليه (الفتحة « أ » مغلقة ، والفتحة « ب » مفتوحة ، والمروحة الساحبة للهواء من البيت لا تعمل ، والمروحة الدافعة للهواء داخل الأنبوبة تعمل) ؛

فيندفع الهواء الساخن إلى داخل الأنبوبة ليتم توزيعه فى أرجاء البيت . ويوضح شكل (٣ - ٣٤) تجسيما لهذا النظام مع استعمال مدفأتين .



شكل (٣ - ٣٤) :رسم مجسم بنظام الأنبوبة البلاستيكية فى التهوية عند استخدامه أيضاً فى التدفئة، وفى المحافظة على تجانس درجة الحرارة داخل البيت (عن Hannan وآخرين ١٩٧٨) .

استعمال مراوح التوزيع المحركة للهواء فى البيوت المحمية غير المهواة

درس Fernandez & Bailey (١٩٩٤) تأثير مراوح التوزيع المحركة للهواء داخل الصوبة Air Recirculation Fans على تجانس الظروف البيئية فيها ، ومدى تأثر ذلك بطول نباتات الطماطم النامية بها ، ووجدا ما يلى :

١ - قل التجانس الذى أحدثته مراوح توزيع الهواء كلما ازدادت شدة الإضاءة خارج الصوبة .

٢ - كان متوسط قياسات العوامل البيئية فى الأيام المشمسة - خلال فترة الدراسة - كما يلى : الإشعاع الشمسى خارج البيت ٤٤٥ وات/ م^{٢} ، ودرجة الحرارة داخل الصوبة ٣٠°م ، وضغط بخار الماء داخل الصوبة ٣,٧٨ كيلو باسكال ، وتركيز غاز ثانى أكسيد الكربون ٦٣٠ جزءاً فى المليون .

٣ - تحت هذه الظروف . . كانت الاختلافات فى العوامل البيئية المقيسة داخل الصوبة - فى حالة عدم تشغيل مراوح التوزيع - كما يلى : ٧م فى حرارة الصوبة ، وكيلو باسكال واحد فى ضغط بخار الماء ، و ١٥٠ جزءاً فى المليون فى تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون .

٤ - وعند تشغيل مراوح التوزيع كانت الاختلافات فى العوامل البيئية داخل الصوبة كما يلى : ١,٦م فى حرارة الصوبة ، و٠,٣ كيلو باسكال فى ضغط بخار الماء ، و ٢٠ جزءاً فى المليون فى تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون .

٥ - أدى نمو النباتات إلى ضَعْف تجانس سرعة حركة الهواء فى مختلف أنحاء الصوبة ؛ حيث كانت النسبة بين أعلى وأقل سرعة هواء ٢ : ١ فى الصوبة الخالية ، مقارنةً بـ ٧ : ١ عندما بلغ طول النباتات ٢,٦م . وكانت أقل سرعة للهواء - عند وجود نباتات طويلة فى الصوبة - خلال الأجزاء السفلى من النموات الخضرية .

٦ - حدثت أضرار بسيطة بأوراق وثمار النباتات المواجهة لمراوح التوزيع مباشرة .

الرطوبة النسبية

تزداد قدرة الهواء على حمل الرطوبة كلما ارتفعت درجة حرارته (شكل ٣ - ١٦) ؛ وبذا . . فإن أى ارتفاع ، أو انخفاض فى درجة حرارة هواء الصوبة (دون أى تغير فى كمية بخار الماء المطلقة التى يحملها الهواء) تؤدى - تلقائيًا ، وعلى التوالى - إلى انخفاض أو ارتفاع فى رطوبته النسبية ، يتوقف مداه على مقدار الارتفاع أو الانخفاض فى درجة الحرارة .

ويترتب على ذلك ارتفاع الرطوبة النسبية فى هواء الصوبة فى الحالات التالية :

١ - عند انخفاض درجة الحرارة ليلاً .

٢ - عند انخفاض درجة الحرارة نهاراً بفعل التبريد .

٣ - عند زيادة محتوى الهواء من بخار الماء بفعل التبريد بنظام المروحة والوسادة ، أو بالتبريد بالزذاذ mist تحت ضغط عالٍ .

٤ - عند وجود قصور فى عملية التهوية ؛ بسبب تراكم بخار الماء الناتج من التبخر من التربة ، والنتح من النباتات .

كما تنخفض الرطوبة النسبية فى هواء الصوبة فى الحالات التالية :

١ - عند العناية بإجراء التهوية بصورة مناسبة .

٢ - عند إجراء التدفئة الصناعية شتاءً ، وخاصة عند ممارسة التدفئة - مع التهوية - على فترات ؛ للتخلص من الرطوبة التى تتراكم أولا بأول .

وبذا . . فإنه يمكن التحكم فى الرطوبة النسبية - سواء بالارتفاع ، أم بالانخفاض - بملاحظة الأمور التى أسلفنا بيانها . كما يمكن إجراء هذا التحكم آليًا بوضع مقياس للرطوبة humidistat فى الصوبة ، وتوصيله بأىٍ من جهاز « المست Mist » ، أو مروحة التبريد الصحراوى ، أو مروحة التهوية ، أو منافذ التهوية ؛ بحيث تبقى الرطوبة النسبية فى المدى المناسب لأطول فترة ممكنة .

ومن أبرز أضرار الرطوبة النسبية الشديدة الانخفاض (الأقل من ٢٥٪) ضَعْف عقد الثمار ؛ بسبب جفاف المياسم وحبوب اللقاح فى هذه الظروف .

أما الرطوبة النسبية الشديدة الارتفاع (الأعلى من ٩٠٪) فإن مضارها كثيرة ، كما يلى :

١ - يؤدى أى انخفاض فى درجة الحرارة (كما يحدث ليلا) إلى تكثف الندى على النموات النباتية ؛ الأمر الذى يعمل على ظهور الإصابات المرضية الفطرية والبكتيرية وسرعة انتشارها .

٢ - يتكثف الندى كذلك على الغطاء البلاستيكى ، ثم يتجمع على شكل قطرات تتساقط على النباتات ؛ لتُحْدِثَ بها أضرارًا . ومن ناحية أخرى . . فإن تكثف الندى على الغطاء البلاستيكى يفيد فى منع نفاذ الأشعة تحت الحمراء التى تنطلق من التربة والنباتات أثناء الليل ؛ الأمر الذى يرفع قليلا من درجة حرارة الصوبة فى الليالى الباردة .

٣ - تؤدى الرطوبة النسبية العالية - ذاتها - إلى انتشار عديد من الأمراض الفطرية ؛ مثل البياض الزغبى ، والعفن الرمادى Grey mould .

٤ - تزداد - بشدة - الأضرار التى تحدثها ملوثات الهواء - التى تنتج عن الاحتراق غير الكامل للوقود المستخدم فى تدفئة البيوت المحمية ، أو لأجل تزويدها بغاز ثانى أكسيد الكربون - عندما يكون ذلك مصاحبًا بارتفاع فى الرطوبة النسبية لهواء البيت ،

وخاصة عندما تكون النباتات قد تعرضت لرطوبة عالية قبل تعرضها للملوثات الهواء . ويتوقف مدى الضرر على نوع الملوثات (لأن بعضها - مثل SO_2 - يؤثر على وظائف الثغور) ، والوقت الذى تتعرض فيه النباتات لها (لأن الأضرار المحتملة لموثات الهواء تزداد نهارًا أثناء انفتاح الثغور) .

ولكن الرطوبة النسبية العالية تكون مطلوبة عند مكافحة ذبابة البيوت المحمية البيضاء Trialeurodes vaporariorium بالفطر Verticillium lecanii . تحتاج جراثيم الفطر إلى رطوبة عالية لمدة ١٠ ساعات لكى تنبت ، على أن تتوفر رطوبة عالية مرةً أخرى - بعد ذلك - عندما يبدأ الفطر فى التجرثم من جديد (عن Grange & Hand ١٩٨٧) .

هذا . . وتتباين نتائج الدراسات حول تأثير الرطوبة النسبية على النمو النباتى . فبينما تُظهر معظم دراسات حجرات النمو تحسنًا فى نمو الشتلات مع الارتفاع المستمر فى الرطوبة النسبية ليلا ونهارًا ، نجد تباينًا واضحًا فى تأثير الرطوبة النسبية على المحصول تحت ظروف البيوت المحمية . ففى المدى الرطوبى الذى تتعرض له النباتات - عادةً - فى البيوت المحمية (٠,٢ - ١,٠ كيلوباسكال kPa) - وفى غياب الإصابات المرضية - أدت زيادة الرطوبة النسبية إلى زيادة المحصول فى الخيار ، ونقصه فى الطماطم ، بينما لم يتأثر محصول الفلفل .

ويتبين من دراسات Bakker (١٩٩٠) أن نمو نباتات الباذنجان لم يتأثر بمستوى الرطوبة الجوية ، بينما نقص المحصول عند استمرار ارتفاع الرطوبة ، وازداد ذبول وانكماش كأس الثمرة (وهو أحد العيوب الفسيولوجية الهامة التى تؤثر سلبيًا على مظهر الثمار وقيمتها التسويقية ، وتشجع على إصابتها بالأعفان أثناء التخزين) عند استمرار انخفاض الرطوبة النسبية . هذا . . بينما أدت زيادة الرطوبة النسبية نهارًا إلى زيادة حجم الثمار .

ومن المعروفة أن للرطوبة النسبية تأثيرًا كبيرًا على امتصاص الكالسيوم وتوزيعه فى النبات ؛ ذلك لأن الكالسيوم يتحرك فى النبات مع تيار الماء الذى يفقد بالنتح ؛ وبذا . . نجد أن نقص الرطوبة النسبية يؤدى إلى زيادة معدل النتح ؛ وبالتالى زيادة

امتصاص الكالسيوم . كما يتجمع الكالسيوم فى الأوراق والسبلات (التى تكون الكأس فى الثمار) ؛ لأنها تنتح ، بينما لا يصل سوى القليل من العنصر إلى الثمار ؛ لأنها لا تنتح إلا قليلا ؛ وبذا يمكن أن تظهر عيوب فسيولوجية - تنتج عن نقص الكالسيوم - مثل تعفن الطرف الزهرى فى الطماطم والفلفل ، والثمار الإسفنجية Pillowy Fruit فى الخيار .

وبينما تؤدى زيادة الرطوبة النسبية إلى نقص امتصاص عنصر الكالسيوم - بسبب خفضها لمعدل النتح - فإن ذلك يساعد على انتقال الكالسيوم إلى الثمار ، وخاصة أثناء الليل .

التحكم فى الإضاءة

يمكن التحكم فى الإضاءة فى البيوت المحمية من خلال التحكم فى كلٍّ من شدة الإضاءة والفترة الضوئية ، سواء بالزيادة أم النقصان .

التحكم فى شدة الإضاءة

خفض شدة الإضاءة

يتطلب الأمر خفض شدة الإضاءة فى حالاتٍ خاصةٍ ؛ هى :

١ - خلال فصل الصيف فى الجو الصحو بالمناطق الحارة ؛ حيث تزداد شدة الإضاءة بدرجةٍ كبيرةٍ ، ويتحول جانب كبير من الإشعاع الشمسى إلى طاقةٍ حراريةٍ ؛ فترتفع بذلك درجة الحرارة كثيراً داخل البيوت .

٢ - عند إنتاج بعض نباتات الزينة (نباتات الظل) .

ويتم التحكم فى شدة الإضاءة بصورةٍ جيدةٍ باستعمال شباك التظليل البلاستيكية المناسبة التى تُحدث تظليلا بدرجاتٍ تتراوح بين ١٠٪ و٩٠٪ حسب الحاجة . كما يمكن خفض شدة الإضاءة برش غطاء البيت من الخارج بالجير ، إلا أن ذلك يترك رواسب يصعب التخلص منها عند حلول فصل الشتاء .

زيادة شدة الإضاءة

نجد فى المناطق الشمالية الباردة أن أشعة الشمس تسقط على سطح الأرض خلال فصل الشتاء بزاوية صغيرة كما تكون السماء ملبدةً بالغيوم معظم ساعات النهار . ويتبع ذلك أن تكون الإضاءة ضعيفةً فى هذه المناطق ؛ مما يستلزم توفير بعض الإضاءة الصناعية فى البيوت المحمية . ومما يساعد على جعل هذه الإضاءة الإضافية أمراً اقتصادياً فى هذه المناطق أن البيوت المحمية تظل مغلقةً خلال فصل الشتاء بسبب برودة الجو ؛ مما يستدعى تغذية البيوت بغاز ثانى أكسيد الكربون. وقد أوضحت عديد من الدراسات أن استفادة النباتات من غاز ثانى أكسيد الكربون المضاف تزداد مع زيادة شدة الإضاءة .

مصادر الإضاءة الصناعية فى البيوت المحمية

من أهم مصادر الإضاءة الصناعية التى يمكن أن تستعمل فى الزراعات المحمية ما يلى :

١ - المصابيح المتوهجة Incadescent Lamps ، أو (لمبات) التنجستين :

وهى مصابيح (لمبات) يتوهج فيها فتيل من التنجستين Tungsten Filament تبعث اللمبة بالضوء من الفتيل الذى يسخن بدرجة كبيرة ، مرسلاً أشعة تبدأ من الطيف الأزرق (٣٥٠ مللى ميكرون) ، وتستمر حتى طيف الأشعة الحمراء (٧٥٠ مللى ميكرون) ، ويكون ضوء لمبات التنجستين غنيا فى محتواه من الأشعة تحت الحمراء التى تفقد فى صورة حرارة . ولا يتحول إلى ضوء سوى ٧٪ فقط من إجمالى الإشعاع الصادر منها . ولهذا . . فلمبات التنجستين تعد قليلة الكفاءة فى زيادة الإضاءة اللازمة لعملية البناء الضوئى ، إلا أنها تفيد فى زيادة تدفئة النباتات ، وفى التحكم فى إزهار النباتات التى تتأثر بالفترة الضوئية فى إزهارها

وبصورة عامة . . فإن لمبات التنجستين لا تستعمل فى الإضاءة فى البيوت المحمية ؛ بسبب إنتاجها لقدر زائد من الطاقة الحرارية . وعلى الرغم من أن نوعية الضوء الذى ينبعث منها يناسب بعض النباتات . . إلا أنها لا تصلح كمصدر للضوء الصناعى عند استعمالها بشدة إضاءة منخفضة بالقدر الذى يلزم لتجنب الحرارة الزائدة ، والتى تكون ضارةً فى أحيان كثيرة .

٢ - المصابيح الفلورية (النيون) Fluoresent Lamps :

تبعث لمبات الفلورسنت بضوءٍ منخفضٍ فى الأشعة الحمراء ، لا يحتوى على أية أشعة تحت حمراء ؛ ولذا نجد أن اللمبات تكون باردةً . ويحتوى ضوء لمبات الفلورسنت على بقية ألوان الطيف بصورةٍ قريبةٍ من تلك الموجودة فى أشعة الشمس (جانيك ١٩٨٥) .

وتعتبر لمبات الفلورسنت أكثر استعمالاً فى حجرات النمو منها فى البيوت المحمية .

ومن أنواع اللمبات الفلورسنتية ذات الكفاءة العالية نوع يعرف باسم الأبيض البارد Cool white ، ونوع آخر يعرف باسم الأبيض الدافئ Warm white، وكلاهما يحول نحو ٢٠٪ من الطاقة الكهربائية المستهلكة إلى طاقة ضوئيةٍ (مقارنةً بنحو ٥٪-٧٪ فقط فى لمبات التنجستين) ، وأكثرهما استعمالاً النوع الأبيض البارد . وفى كليهما يميل الطيف إلى السيادة فى منطقة الضوء الأزرق .

وتتوفر أنواع أخرى من اللمبات الفلورسنتية تحتوى على فوسفورٍ يشع طيفاً ذا موجاتٍ ضوئية أكثر مناسبةً لعملية البناء الضوئى ؛ مثل لمبات مجموعة Plant Gowth A التى يزيد إشعاعها فى مدى الضوء الأحمر ، ولمبات مجموعة Plant Growth B التى يكثر إشعاعها فى مدى الموجات التى يزيد طولها على ٧٠٠ مللى ميكرون .

ومن أهم العوامل التى تحد من استعمال اللمبات الفلورسنتية انخفاض شدة الإضاءة المنبعثة منها ؛ الأمر الذى يستدعى زيادة عدد اللمبات التى يتعين استخدامها لتأمين الإضاءة المناسبة ؛ وهو ما يعنى زيادة التكاليف ، مع زيادة التظليل الناشئ عن الـ fixtures المستخدمة فى تثبيت اللمبات فى مكانها .

ويعمل الجمع بين لمبات التنجستين ولمبات الفلورسنت على تحقيق نوعٍ من التكامل والتوازن بينهما ؛ حيث تكون الأشعة الناتجة منهما أقرب من طيف أشعة الشمس أكثر من أيٍّ منهما منفردةً ، ويقل انطلاق الطاقة الحرارية ، وتزداد كفاءة استهلاك الطاقة الكهربائية مقارنةً باستعمال لمبات التنجستين منفردة .

٣ - مصابيح التفريغ ذات الشدة العالية High Intensity Discharge Lamps :

أنواعها كثيرة جدًّا ، ويستعمل بعضها فى الزراعات المحمية . ومن أمثلتها لمبات

التفريغ الزئبقية ذات الضغط العالى High-Pressure Mercury Discharge Lamps. يتشابه الطيف المنبعث منها - جزئياً - مع طيف اللمبات الفلورسنتية . وتحتوى بعض أنواعها (مثل الطراز : MBFR/U) على مسحوقٍ فلورسنتيٍ يغطى السطح الداخلى لزجاج المصباح ؛ يحول معظم الأشعة فوق البنفسجية إلى موجاتٍ من الضوء المرئى ، وخاصة من الطيف الأحمر ؛ الأمر الذى يجعل الضوء الصادر من المصباح أكثر صلاحيةً للنمو النباتى . ويزيد كفاءتها - فى تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية مرئيةٍ - إلى ١٣٪ .

تتوفر كذلك - منها - مصابيح الهاليدات المعدنية ذات الضغط العالى Hih-Pressure Metal Halide ، وهى تحَول ٢٠٪ من الطاقة الكهربائية المستهلكة إلى طاقةٍ ضوئيةٍ فى المدى المفيد للنبات (من ٤٠٠ إلى ٧٠٠ مللى ميكرون) . ويعيبها أنها أكثر تكلفة من مصابيح الزئبق ذات الضغط العالى High-Pressure Mercury Lamps ، وتدوم لفترةٍ أقل منها ، كما تفقد كفاءتها بسرعة .

وتعتبر مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالى High-Pressure Sodium Lamps أكثر انتشاراً وأقل تكلفة . ويسود فى الطيف الناتج منها الموجات الطويلة ، وخاصةً موجات الضوء الأصفر (٥٨٩ مللى ميكرون) ، كما ينتشر طيفها ليشمل الضوء المرئى (من ٤٠٠ إلى ٧٠٠مللى ميكرون) ، ويستمر حتى ٨٥٠ مللى ميكرون . ويعد الإشعاع فى هذا المجال (من ٧٠٠ - ٨٥٠ مللى ميكرون) ضرورياً لزيادة طول الساق والوزن الطازج ، وتبكير الأزهار فى معظم الأنواع النباتية . وتتميز هذه المصابيح بأنها عاليـة الكفاءة ؛ حيـث تحول ٢٥٪ مـن الطاقة الكهربائية المستهلكة إلـى ضوءٍ مرئيٍ (من ٤٠٠ - ٨٠٠ مللى ميكرون) ، وبأنها يمكن أن تستعمل - بكفاءةٍ - لمدة ٢٤ ألف ساعة .

كذلك تتوفر مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض Low-Pressure Sodium Lamps ، وهى أكثر المصابيح كفاءة على الإطلاق ؛ حيث إنها تحول ٢٧٪ من الطاقة الكهربائية المستعملة إلى طاقةٍ ضوئيةٍ مرئيةٍ ، وتخدم لمدة ١٨ ألف ساعة . ومـن مميزاتها - كذلك - إمكان وضعها أقرب إلى النباتات - مقارنةً بلمبات الضغط العالى -

دون الخشية من ارتفاع حرارة النباتات ؛ الأمر الذى يفيد فى زيادة كفاءة استهلاك الكهرباء ، وزيادة تجانس الإضاءة .

ولكن يعيب مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض أن معظم طيفها يكون قريبا من ٥٨٩مللى ميكرون ، مع نسبة قليلة جداً فى المجال الموجى ٧٠٠ - ٨٥٠مللى ميكرون ؛ الأمر الذى يؤدى - حال استعمالها منفردة - إلى جعل بعض النباتات - مثل الخس - أبهت لوناً ، وأصغر حجماً . ويمكن تجنب هذه المشكلة بجعل نحو ١٠٪ من الإضاءة المتوفرة للنباتات من مصابيح متوهجة (لمبات تنجستين) ، أو من الإضاءة الطبيعية .

ويوضح شكل (٣ - ٣٥) أطوال الموجات الضوئية التى تبثها مختلف أنواع المصابيح التى ورد بيانها (عن Nelson ١٩٨٥) .

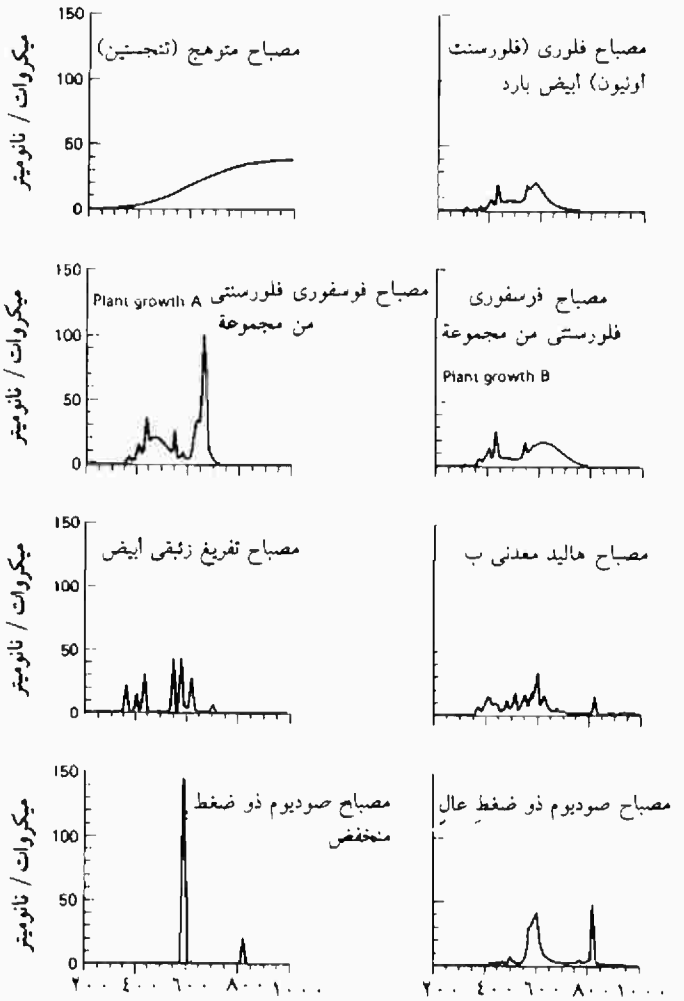
وإلى جانب الإضاءة الصناعية، فإن الاختيار الأمثل لشكل البيت واتجاهه ومادة الغطاء.. كل ذلك يساعد على زيادة نفاذية الضوء إلى داخل البيت.

كذلك فإن تنظيف أغطية البيوت من الأتربة التى تتراكم عليها خلال فصل الصيف يفيد كثيراً فى زيادة نفاذيتها لأشعة الشمس عند الحاجة إلى ذلك خلال فصل الشتاء. ويعتبر ذلك الإجراء ضرورياً فى بداية فصل الشتاء فى المناطق الباردة والمعتدلة على حدٍ سواء. وأفضل طريقة للتنظيف هى رش الغطاء أولاً بمحلول ٥٪ من حامض الأوكساليك، ثم غسله بالماء. ويجب تجنب استعمال ماء به نسبة مرتفعة من الجير، حتى لا يترك رواسب على الغطاء (Anon ١٩٨٠).

الاستعمال التجارى للإضاءة الصناعية

لاتستعمل الإضاءة الصناعية على النطاق التجارى إلاّ فى المناطق التى تنخفض فيها شدة الإضاءة الطبيعية إلى درجةٍ يضعف معها النمو النباتى ؛ حيث تؤدى الإضاءة الصناعية إلى زيادة النمو النباتى والمحصول . ويطبق ذلك على نطاقٍ تجاريٍ فى أوروبا شمال خط عرض ٥٠° ، وفى أمريكا الشمالية شمال خط عرض ٤٠° .

وقد تستعمل الإضاءة الصناعية فى هذه المناطق طوال موسم النمو ، ولكن الأكثر شيوعًا هو استعمالها فى المراحل المبكرة من النمو النباتى ، وخاصة فى المشاتل ؛ حيث تكون النباتات متزاحمةً فى مساحةٍ محدودة .



شكل (٣ - ٣٥) : الطيف الصادر عن مختلف أنواع المصابيح الكهربائية المستعملة فى الزراعات المحمية .

فمثلاً . . تبدأ زيادة الإضاءة لبادرات الطماطم من مرحلة الإنبات ، وتستمر لفترة أسبوعٍ واحدٍ إلى ثلاثة أسابيع ؛ بشدة ٥٠٠٠لكس Lux (٤٦٥ قدم شمعة) ، لمدة ١٢ ساعة يوميًا ، على ألا تزيد فترة الإضاءة الكلية (الطبيعية والصناعية معًا) على

١٦ ساعة . تجعل هذه المعاملة الشتلات أسرع نمواً ؛ بحيث تصل إلى الحجم المناسب للشتل فى وقتٍ قصيرٍ نسبياً .

ووجد أن تعريض نباتات الطماطم الصغيرة لإضاءة شدتها ٥٠ ، و ١٠٠ ، و ١٥٠ ميكرومول/ ثانية/ م^{2} ($umol.s^{-1}.m^{-2}$) - بطولٍ موجّي يتراوح بين ٤٠٠ مللى ميكرون و ٧٠٠ مللى ميكرون ـ أدى إلى زيادة المحصول المبكر خلال الأسابيع الثلاثة الأولى من الحصاد بنسبة ١٩٪ ، و ٣١٪ ، و ٤٢٪ على التوالى .

كما تستعمل مع بادرات الخيار إضاءة صناعية شدتها ٣٠٠٠ - ٥٠٠٠ لكس (٢٨٠ - ٤٦٥ قدم شمعة) ، ومع الخس إضاءة شدتها ٧٥٠٠ لكس ، إلى جانب الإضاءة الطبيعية . وقد وجد أن نمو الخس لمدة ١٠ أيام تحت إضاءة صناعية مستمرة شدتها ٥٠٠٠لكس (٤٦٥قدم شمعة) يعادل النمو الذى يحدث خلال ستة أسابيع - تحت ظروف الإضاءة الطبيعية - فى هذه المناطق .

وقد وجد Blain وآخرون (١٩٨٧) - فى كندا ـ أن زيادة شدة الإضاءة بمقدار ٣٠٠ ميكرومول/ ثانية / م٢ ($300\ um.s^{-1}/\ m^{-2}$) لمدة ١٨ساعة يوميًا - بالإضافة إلى الإضاءة الطبيعية - أحدثت زيادةً كبيرةً فى نمو نباتات الخيار ومحصولها .

وقد وجد أن زراعات الخس الرومين المحمية تستجيب لزيادة فترة الإضاءة - من ١٦ساعة إلى ٢٤ساعة - عند استعمال مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالى ؛ وذلك بزيادة محصول الخس بنسبة ٥٠٪ ، مقارنةً باستعمال المصابيح الفلورية (النيون) عند مستوى شدة الإضاءة نفسه، على الرغم من أن استهلاك الكهرباء كان أقل فى النوع الأول بمقدار ٣٦٪ ، مقارنة بالاستهلاك فى النوع الثانى . وكان مرد ذلك إلى زيادة نسبة الأشعة التى تنبعث من مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالى من الموجات التى يتراوح طولها بين ٧٠٠مللى ميكرون و٨٥٠ مللى ميكرون (Koontz وآخرون ١٩٨٧) .

وعلى الرغم من تأكيد جميع الدراسات التى أجريت على الخس فى الزراعات المحمية استجابته الكبيرة لزيادة شدة الإضاءة ، سواء بزيادة المحصول ، أم بقصر فترة الإنتاج . . إلا أن ذلك يكون مصاحَباً - غالباً - بزيادة فى شدة الإصابة باحتراق حواف الأوراق ، وهو عيب فسيولوجى ذو علاقة بكلٍّ من نقص الكالسيوم ومعدلات النمو العالية التى تحدث فى الظروف المثلى للنمو (Gaudreau وآخرون ١٩٩٤) .

كما أدت زيادة شدة الإضاءة لمدة ساعتين قبل شروق الشمس وساعتين أخريين بعد الغروب - فى إيطاليا - من لمبات فلورية بقوة ٦٥وات - إلى تبكير أول زهرة مؤنثة بمقدار ١٥يوماً فى الفاصوليا ، و ٩ أيام فى كلٍّ من الكوسة والخيار ، وإلى زيادة المحصول الكلى بنسبة ٦٧٪ ، و ٢٤٪ ، و ١٤٪ فى المحاصيل الثلاثة على التوالى (Foti وآخرون ١٩٩١) .

ويستدل من دراسات Warren Wilson وآخرين (١٩٩٢) على أن نباتات الخيار والطماطم التى يبلغ طولها نحو مترين تستقبل نحو ٧٦٪ - من أشعة الشمس الساقطة عليها - على الأسطح العلوية للأوراق ، بينما يفقد نحو ١٨٪ من الإشعاع فى الفراغات التى توجد بين النباتات . ويؤدى وجود بوليثيلين أبيض على سطح التربة إلى عكس الضوء الذى يصل إليه - إلى أعلى - الأمر الذى يجعل الأسطح السفلية للأوراق تستقبل نحو ١٣٪ من الإضاءة التى تستقبلها الأسطح العلوية .

التحكم فى الفترة الضوئية

يعتبر التحكم فى الفترة الضوئية بالزيادة أو بالنقصان إحدى المعاملات الزراعية الروتينية فى الإنتاج التجارى لبعض نباتات الزهور ؛ بغية التحكم فى موعد إزهرها . أما فى محاصيل الخضر ، فليس لذلك الأمر أهمية تذكر إلا فى الحالات التالية :

١ - فى البيوت المحمية المخصصة لأغراض البحوث كالدراسات الخاصة بالتأقّت الضوئى .

٢ - فى المناطق الشمالية شتاءً عندما تكون الفترة الضوئية أقصر مما يلزم للنمو النباتى الجيد .

هذا . . ويتم تقصير الفترة الضوئية بسواتر من القماش الأسود تثبت على حوامل خاصة أعلى النباتات ؛ لتمنع وصول الضوء إليها بعد عددٍ معينٍ من ساعات النهار . وتحركُ هذه السواتر يدويًا أو آلياً فى الوقت المحدد يوميا .

ويفضل استعمال ستائر ذات سطحٍ خارجيٍّ عاكسٍ للضوء ؛ حتى لا تتجمع الحرارة تحتها ؛ الأمر الذى قد يسبب أضراراً للنباتات . ويمكن الحد من هذه المشكلة بسحب الستارة من السابعة مساء وليس قبل ذلك .

أما زيادة طول الفترة الضوئية فإنها تتم بالإضاءة الصناعية . وإذا كان الهدف من

وراء ذلك هو تحسين ظروف النمو فى المناطق الشمالية شتاءً (حيث يكون النهار فيها قصيراً للغاية) ، فإن المصابيح تتم إضاءتها لعدة ساعات يوميًا ابتداءً من قبل الغروب بنحو ساعة أو ساعتين . أما إذا كان الهدف من زيادة طول الفترة الضوئية هو تحفيز نباتات النهار الطويل (أو نباتات الليل القصير) على الإزهار . . فإن ذلك يتم بتوفير الإضاءة الصناعية - لفترة قصيرة - فى منتصف فترة الظلام ؛ حيث تتحول صبغة الفيتوكروم Phytochrome Pigment - التى تتراكم فى النباتات أثناء الظلام -سريعًا - إلى الصورة Pfr - بمجرد تعرض النباتات للضوء ؛ الأمر الذى يحفز نباتات النهار الطويل على الإزهار .

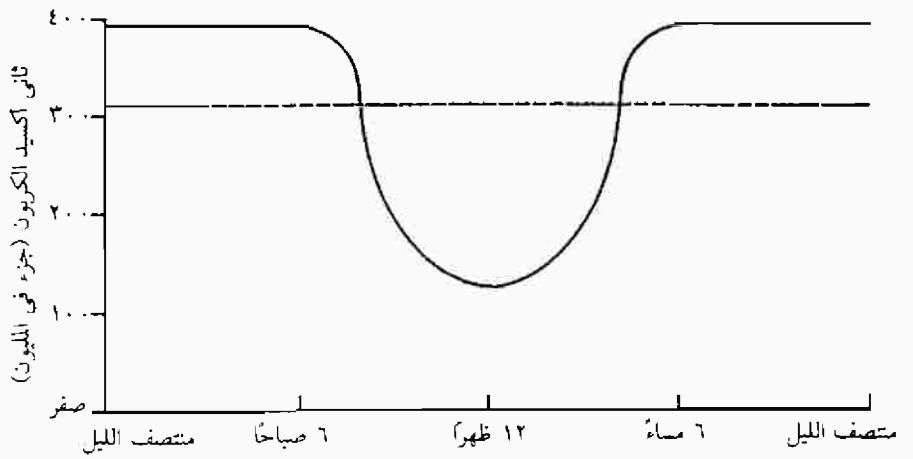
وتستعمل المصابيح المتوهجة (التنجستين) فى كسر فترة الظلام الطويلة ؛ لأن نسبةً كبيرةً من الضوء الذى ينبعث منها يكون فى منطقة الضوء الأحمر المطلوب للصبغة Pr . كما يتم إحداث التأثير المطلوب بشدة إضاءةمنخفضة للغاية لاتتعدى ١١ - ٢٢ لكس (١ - ٢ قدم شمعة) فى معظم النباتات ، ولكن تستعمل - عادةً - إضاءة شدتها ١٠٨لكس (١٠ قدم شمعة) ، كما ينبغى وصول الضوء إلى الأوراق المكتملة النمو ؛ لتأمين إحداث التأثير المطلوب .

ويمكن جعل صبغة الفيتوكروم فى الصورة Pfr - دائما - بتوفير وميضٍ من الضوء - بشدة ١٠٨لكس (١٠قدم شمعة) - لمدة ثانية واحدة كل خمس ثوانٍ . وعلى الرغم من أن ذلك يوفر فى الطاقة الكهربائية المستهلكة ، إلا أنه يزيد من التكلفة الإنشائية لاحتياج هذا النظام إلى مفتاح تشغيلٍ ذى قدرةٍ كبيرةٍ على التحمل .

التحكم فى نسبة ثانى أكسيد الكربون فى هواء البيوت المحمية

تستهلك النباتات غاز ثانى أكسيد الكربون فى عملية البناء الضوئى . فإذا ظلت البيوت المحمية مغلقةً لفترةٍ طويلة - كما هى الحال فى المناطق الباردة خلال فصل الشتاء - فإن تركيز الغاز ينخفض إلى معدلاتٍ شديدة الانخفاض يقل معها معدل البناء بدرجةٍ كبيرة . وقد أثبتت عديد من الدراسات أن نسبة الغاز تنخفض حول النموات النباتية النشطة فى البيوت المحمية أثناء النهار ، وقد يستمر هذا الانخفاض لفترات طويلة (شكل ٣-٣٦) . ويصاحب ذلك نقص فى معدل البناء الضوئى يصل إلى ٥٠٪ عند انخفاض تركيز الغاز إلى ١٦٠ جزءاً فى المليون (٠,٠١٦٪) . وعلى العكس من ذلك . . فإن معدل البناء الضوئى يزداد بمقدار ٥٠٪ عند زيادة تركيز الغاز

من ٣٣٥ إلى ١٠٠٠ جزء فى المليون (أى من التركيز الطبيعى ٠,٠٣٣٥٪ إلى ٠,١٪) وقد تصل الزيادة فى البناء فى الضوئى إلى ١٠٠٪ إذا كانت الزيادة فى تركيز الغاز مصحوبة بإضاءةٍ قويةٍ وحرارةٍ مرتفعةٍ بالقدر المناسب للنمو النباتى (عـن Slack& Hand ١٩٨٤)

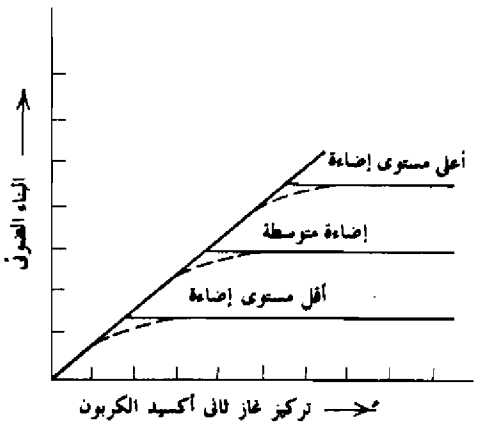


شكل (٣ - ٣٦) : التغيرات فى نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون فى البيوت المحمية المغلقة (الخط البيانى المتصل) ، مقارنة بنسبة الغاز فى الهواء الطلق (الخط المتقطع) (عن Ball ١٩٨٥)

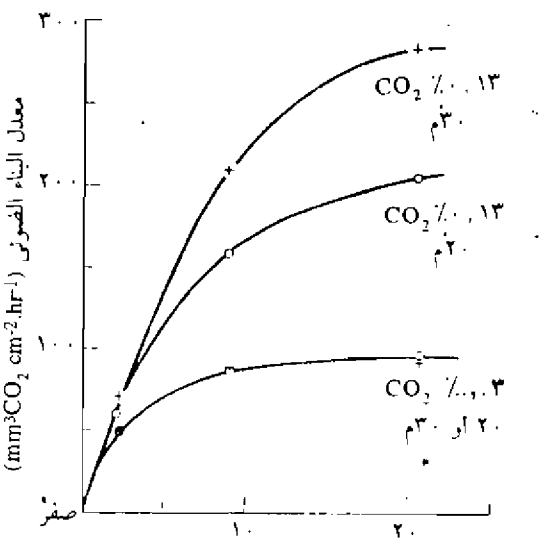
ويخضع تأثير زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون على معـدل البناء الضـوئى لقانـون العامـل المحـدد Principle of the limiting factor كما هـو مبيـن فـى شكل (٣ - ٣٧) . فتؤدى زيادة تركيز الغاز إلى زيادة معدل البناءالضوئى إلى أن يصبح مستوى الإضاءة عاملا محددا ؛ فتتوقف الزيادة فى معدل البناء الضوئى. ومع زيادة مستوى الإضاءة تستمر الزيادة فى معدل البناء الضوئى مع زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون ؛ حتى يصبح الضوء عاملاً محدداً مرةً ثانيةً. .وهكذا .

ويبين شكل (٢ -٣٨) كيف يتفاعل كل من تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون وشدة الإضاءة ودرجة الحرارة فى التأثير على معدل البناء الضوئى فى الخيار ؛حيث نجد فى جميع المنحنيات بالشكل أن معدل البناء الضوئى يزداد تدريجياً بزيادة شدة الإضاءة ، لكن الزيادة تظل محدودةً فى التركيز المنخفض للغاز أيًا كانت درجة الحرارة . ومع

زيادة تركيز الغاز يزداد معدل البناء الضوئى ، لكن هذه الزيادة تكون أكبر فى درجة الحرارة المرتفعة (٣٠م) منها فى درجة الحرارة المنخفضة (٢٠م) (عن Mastalerz ١٩٧٧) .



شكل (٣ - ٣٧) : تأثير شدة الإضاءة على الزيادة التى تحدث فى معدل البناء الضوئى عند زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون (نظرية العامل المحدد) .



شكل (٣ - ٣٨) : تتداخل درجة الحرارة مع شدة الإضاءة فى التأثير على الزيادة التى تحدث فى معدل البناء الضوئى فى الخيار عند زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون .

وتتوقف الزيادة فى النمو - عند زيادة تركيز الغاز - على المحصول المزروع ، وحالته، وعمره ، والظروف البيئية الأخرى. فقد أوضحت عديد من الدراسات استجابة الطماطم والخيار والخس لهذه المعاملة . وعمومًا . . تكون الاستجابة كبيرة عندما يكون المحصول المزروع بحالة جيدة ، خاصة فى المراحل المبكرة من النمو ، وعندما تكون الإضاءة جيدة والحرارة مناسبة، مع الاهتمام بالتسميد.

هذا . . ولا توجد أية خطورة على الإنسان من جراء زيادة تركيز الغاز فى البيوت المحمية حتى التركيز المناسب الذى يتراوح - عادة - بين ١٠٠٠ و١٥٠٠ جزء فى المليون؛ لأن الإنسان يتحمل زيادة تركيز الغاز حتى ٥٠٠٠ جزء فى المليون، ولكن زيادته لأكثر من ذلك تؤدى إلى الاختناق ؛ لعدم قدرة الرئتين على أداء وظيفتهما بكفاءة تحت هذه الظروف.

مصادر غاز ثانى أكسيد الكربون المستخدم فى البيوت المحمية

من أهم مصادر غاز ثانى أكسيد الكربون المستخدم فى البيوت المحمية مايلى :

١- بعض أنواع المحروقات، مثل الكيروسين، والبارافين Paraffin، وغاز البروبان Propane، والغاز الطبيعى حيث يؤدى احتراقها فى مواقد خاصة إلى إنتاج غاز ثانى أكسيد الكربون، لكن يجب أن تكون هذه المحروقات على درجة عالية من النقاوة ، نظرًا لأن الكبريت الموجود بها قد يتحول إلى ثانى أكسيد الكبريت الذى يذوب فى الماء بسهولة، ثم يتحول إلى حامض كبريتوز، ثم إلى حامض كبريتيك؛ مما يؤدى إلى احتراق أوراق النبات. ويتم التحكم فى تركيز الغاز فى الصوبة بالتحكم فى معدل الاحتراق، أو فى كمية المحروقات المستعملة.

كما يجب أن يكون الاحتراق تامًا، لأن الاحتراق غير التام يتبعه إنتاج غازات الإيثيلين، وأول أكسيد الكربون، وكلاهما ضار بالنباتات، والثانى سام للإنسان ، ولهذا . . تستخدم مواقد خاصة لإنتاج الغاز. وعند تشغيلها يجب معايرتها باستمرار لتعطى دائمًا لهبًا صافيًا، مع توفير أكسجين كاف لتمام احتراق الوقود.

٢ - ينتج الغاز أيضًا بتسامى غاز ثانى أكسيد الكربون الصلب (الثلج الجاف) بوضعه فى أسطوانات خاصة تعلق فى اماكن متفرقة من البيت، ويتم التحكم فى

معدل انطلاق الغاز منها باستعمال عدادٍ خاصّ لتدفق الغاز ، أو باستعمالٍ منظم .

٣ - كما ينتج الغاز بتبخير ثانى أكسيد الكربون السائل - والمضغوط فى أنابيب خاصة - من خلال أنابيب بوليثلين مثقبة ؛ كتلك المستعملة فى تهوية البيوت (Quarrell & Ace ١٩٧٥) .

وإلى جانب المصادر التى سبق بيانها ، فإن تهوية البيوت المحمية تفيد فى المحافظة على التركيز الطبيعى للغاز فى هواء البيت ، ويجب ألاّ تتاخر التهوية لأكثر من ساعتين بعد شروق الشمس . كذلك يؤدى تحلل الأغطية العضوية للتربة Organic Soil Mulches إلى زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون ، ولكن لا يمكن التحكم فى تركيز الغاز الناتج بهذه الطريقة .

حساب احتياجات البيوت من غاز ثانى اكسيد الكربون

العوامل المؤثرة على احتياج البيوت من الغاز

تتأثر احتياجات البيوت المحمية من غاز ثانى أكسيد الكربون بالعوامل التالية :

١ - السرعة التى يتغير بها هواء البيت :

يتغير هواء البيت باستمرار ، حتى لو كان محكم الإغلاق وفى غير فترات التهوية ؛ وذلك بسبب وجود منافذ وشقوقٍ يتسرب منها الهواء للخارج . وتختلف سرعة تغيير الهواء حسب نوع البيت . فالبيوت الزجاجية المعتنى بها يتغير فيها ربع إلى ضعفى هواء البيت كل ساعةٍ بصورةٍ طبيعيةٍ وبدون تهويةٍ ، ويتوقف ذلك على سرعة الهواء فى الجو الخارجى . وفى المتوسط يتغير هواء البيت مرة كل ساعةٍ . وبالمقارنة . . فإن هواء البيوت البلاستيكية المحكمة الإغلاق يتغير بمعدل نصف إلى ثلثى مرةٍ فى الساعة .

٢ - طريقة إضافة الغاز :

فالغاز المضاف فى صورةٍ نقيةٍ تكون حرارته مساويةً تقريباً لحرارة البيت أو أقل قليلاً ، فيبقى فى المنطقة المحيطة بالنباتات ، خاصة أن الغاز يضاف - عادةً - من خلال ثقوبٍ دقيقةٍ فى أنبوبةٍ بلاستيكيةٍ تمتد بجانب النباتات ، أما الغاز الناتج من احتراق الوقود ، فإن حرارته تكون أعلى بكثيرٍ من حرارة الهواء داخل البيت (خاصة

عندما تقع أجهزة حرق الوقود داخل البيت) . ويؤدى ذلك إلى خفة وزنه وتصاعده لأعلى بسرعة ؛ حيث يتراكم فى قمة البيت قريبا من فتحات التهوية ؛ مما يزيد من فرصة فقده إلى خارج البيت ، خاصةً عندما لا تكون فتحات التهوية محكمة الإغلاق .

٣ - سرعة استنفاذ النباتات للغاز :

تتوقف سرعة استهلاك النباتات للغاز على حجم النمو النباتى ، ودرجة الحرارة ، وشدة الإضاءة . وتتراوح الكمية المفقودة - عادةً - بين صفر و ٧,٥كجم من الغاز/ فدان/ ساعة . ويحدث أقصى استهلاك للغاز عندما يكون النمو النباتى مغطيًا للمساحة المزروعة تمامًا ، مع توفر إضاءة قوية .

٤ - تنفس الكائنات الدقيقة ، وتحلل المادة العضوية :

يؤدى تنفس الكائنات الدقيقة فى التربة وتحلل المادة العضوية التى توجد بها إلى إنتاج كميات محسوسة من الغاز تتصاعد إلى جو البيت . وتزداد هذه الكميات المنتجة طبيعيًا بصورة جوهرية عند استعمال بالات القش المضغوط فى الزراعة ؛ فيزيد تركيز الغاز بعد الزراعة بفترة قصيرة إلى ٠,٧ - ١,٠٪ ،ثم تنخفض النسبة لتستقر بعد عدة شهور عند حوالى ٠,٠٤٪ .

حساب كمية الغاز اللازمة

إذا أُخذت جميع العوامل المؤثرة على احتياجات البيوت من الغاز فى الحسبان ، فإن الكمية اللازمة منه تقدر فى المتوسط بنحو ١٥ - ٤٥كجم/ فدان/ ساعة لإيصال تركيز الغاز إلى ٠,١٪ . ويمكن القول بأنه عندما تستنفد النباتات ٧,٥كجم/ من الغاز/ فدان / ساعة تحت الظروف الطبيعية ، فإن الكمية اللازمة من الغاز (للفدان فى الساعة) تقدر بنحو ٢٠كجم عندما يتغير هواء البيت مرة كل ساعة، وبنحو ٣٠ كجم عندما يتغير هواء البيت مرةً كل ثلثى ساعة . ويمكن بذلك حساب الكمية اللازمة من المحروقات ، علمًا بأنها تنتج الغاز بمعدل ١,٥كجم عند احتراق أىٍّ من الكميات التالية :

- ١/٢ كجم من البروبان propane .
- ١/٢ لتر من البارافين paraffin.

therms ٠,٢٣ من الغاز الطبيعى (Allen ١٩٧٣) .

طريقة تقدير تركيز الغاز

يلزم توفر الأجهزة الخاصة بتقدير تركيز الغاز بدقة فى جو البيت ، وأبسطها هى الأجهزة التى تعتمد فى عملها على تغير لون مركب كيمائى حساس للغاز بدرجة تعتمد على تركيز الغاز ؛ وبذلك يمكن تقدير التركيز من اللون المشاهد. كما تتوفر أجهزة قياس دقيقة ، ولكنها مرتفعة الثمن .

ولمزيد من التفاصيل عن استخدامات غاز ثانى أكسيد الكربون فى البيوت المحمية يراجع المؤلف الخاص بذلك للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين (Amer . Soc . Agr. Eng . ١٩٨٠) .

الحالات التى لاتجدى فيها التغذية بغاز ثانى أكسيد الكربون

لا تفيد التغذية بغاز ثانى أكسيد الكربون إلاّ فى المناطق الباردة ؛ حيث تظل البيوت المحمية محكمة الإغلاق للمحافظة على درجة الحرارة بها ؛ مما يؤدى إلى استهلاك الغاز فى عملية البناء الضوئى . ويعتبر خط عرض ٣٥° (شمال أو جنوب خط الاستواء) هو الحد الفاصل بين المناطق التى يمكن فيها التغذية بالغاز ، وتلك التى لا تناسبها إضافة الغاز ففى خطوط العرض الأقل من ذلك، ترتفع درجة الحرارة داخل البيوت المحمية شتاءً إلى الحد الذى يتطلب تهويتها ؛ مما يستحيل معه زيادة تركيز الغاز.

كذلك فإن إضافة الغاز. لا تجدى إلا خلال ساعات النهار ؛ حتى يمكن الاستفادة منه فى عملية البناء الضوئى .

ولا تكون الإضافة مجدية - عادةً - إلا خلال فترة انخفاض درجة الحرارة من أكتوبر حتى مايو . وتزيد الاستفادة من إضافة الغاز عند الاهتمام بالإضاءة ورفع درجة الحرارة (Nelson ١٩٨٥)

هذا . . إلا أن أحدث الدراسات (Ioslovich وآخرون ١٩٩٥) تفيد إمكانية تبادل التهوية مع التغذية بغاز ثانى أكسيد الكربون على فترات بالتناوب ، وذلك بإجراء التهوية كلما ارتفعت درجة الحرارة ، ثم إطلاق الغاز عندما تتوقف التهوية .

ومن أهم مشاكل التغذية بغاز ثانى أكسيد الكربون فى البيوت المحمية ما يلى :

١ - حالات التسمم للإنسان التى تنشأ عند زيادة تركيز الغاز عن ٥٠٠٠ جزء فى المليون ، ولكن النباتات لا تستجيب لأية زيادةٍ فى تركيز الغاز عن ٢٠٠٠ جزء فى المليون ، ولا تجب زيادة تركيز الغاز عن ذلك .

٢ - زيادة الرطوبة النسبية بدرجةٍ كبيرةٍ عند استعمال المحروقات فى زيادة تركيز الغاز .

٣ - تلوث الهواء بالغازات الكبريتية إذا استُعْمِلَ فى زيادة تركيز الغاز محروقات تحتوى على نسبةٍ عاليةٍ من الكبريت .

٤ - تسرب المحروقات الغازية - ذاتها - إلى هواء البيت .

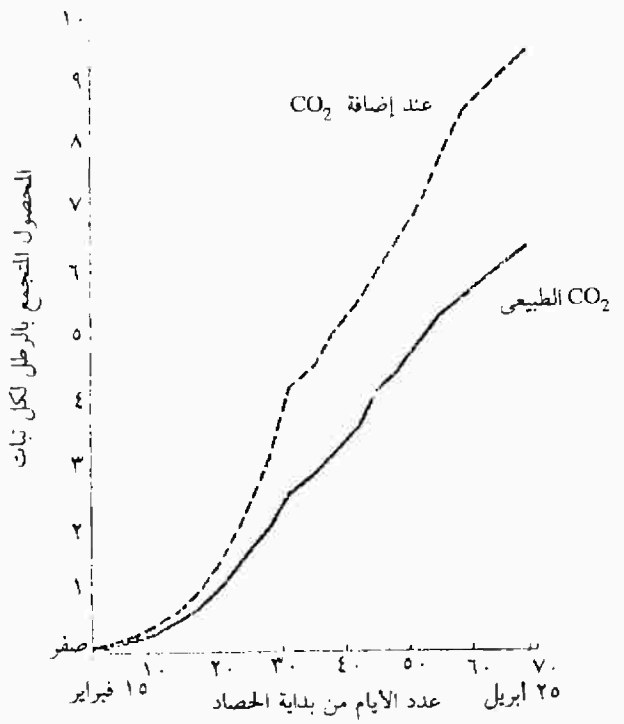
الاستجابة للتغذية بغاز ثانى اكسيد اكربون فى محاصيل الخضر

درست الاستجابة للتغذية بغاز ثانى أكسيد الكربون فى عددٍ من محاصيل الخضر ، لكنها تركزت على ثلاثة محاصيل ؛ وهى : الطماطم ، والخيار ، والخس .

١ - الطماطم :

وجد فى دراسة أُجريت على الطماطم فى البيوت المحمية أن زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون إلى ١٢٠٠ جزء فى المليون أدت إلى زيادة المحصول المبكر بنسبة ١٥٪ ، والمحصول الكلى بنسبة ٨٪ (Hand & Soffe ١٩٧١) . كما أوضح Knecht & O'Leary (١٩٧٤) أن زيادة تركيز الغاز من ٤٠٠ إلى ٨٠٠ جزء فى المليون أحدثت زيادة جوهرية فى المحصول وحجم الثمار . كذلك وجد أن زيادة تركيز الغاز لمدة ٦,٥ ساعة يوميًا أدت إلى التبكير فى النضج ، وزيادة وزن الثمرة ، وزيادة المحصول الكلى بنسبة ٣٥٪ ، وذلك بالمقارنة بزيادة قدرها ٣١٪ و٢٤٪ فى محصولى الفلفل والباذنجان على التوالى . ويبين شكل (٣ - ٣٩) تأثير المعاملة بالغاز على محصول الطماطم (عن Wittwer & Honma ١٩٧٩) .

وقد أوضحت دراسات Nilsen وآخرين (١٩٨٣) أن الإضاءة العالية ليست ضروريةً فى الطماطم لكى تحدث استجابة جيدة لزيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون ؛ فقد ازداد معدل البناء الضوئى جوهريًا فى كل المعاملات ؛ بما فى ذلك أقل المستويات ، لكن الحرارة المرتفعة كانت عاملا محددًا ، فازدادت الاستجابة لزيادة تركيز



شكل (٣ - ٣٩) : تأثير المعاملة بغاز ثانى أكسيد الكربون على المحصول فى الطماطم .

الغاز مع ارتفاع درجة الحرارة . وقد صاحبت الزيادة فى معدل البناء الضوئى زيادة جوهرية فى المحصول الطازج والجاف .

ويستدل من دراسات Behboudian & Lai (١٩٩٤) على أن زيادة تركيز الغاز أدت إلى خفض معدل النتح ، وزيادة معدل البناء الضوئى ، مقارنةً بمعاملة الشاهد ، وحدثت أكبر استجابة عند زيادة تركيز الغاز إلى ٧٠٠ جزء فى المليون مع حرارة ٢٥م نهاراً ، و١٦م ليلا .

وفى المقابل . . وجد Lee & Lee (١٩٩٤ أ) أن زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون إلى ٨٠٠ جزء فى المليون - لفترات طويلة - أدت إلى نقص نفاذية الأوراق لبخار الماء ، ونقص معدل النتح منها (وخاصة فى الأوراق الوسطى على الساق) ، وارتفاع درجة حرارتها (وخاصة فى الأوراق التى فى قمة النبات) . كما أدت المعاملة بالغاز إلى زيادة معدل البناء الضوئى فى البداية ، ثم انخفاضه إلى مستوى البناء الضوئى فى

نباتات معاملة الشاهد بعد شهرٍ من بداية المعاملة ، مع استمرار انخفاضه إلى مستوى أدنى من نباتات الشاهد - غير المعاملة بالغاز - بعد ذلك .

وفى دراسةٍ أخرى (Lee & Lee ١٩٩٤ ب) وَجِدَ أن معاملة نباتات الطماطم بغاز ثانى أكسيد الكربون (بتركيز ٨٠٠ أو ٢٤٠٠ جزء فى المليون) لفتراتٍ طويلةٍ أدت إلى : زيادة محتوى الأوراق من النشا فى الثامنة صباحًا ، ونقص محتواها من الكلوروفيل والبروتين الذائب ، ونقص نشاط إنزيم RuBPCase ، مقارنةً بمعاملة الشاهد .

٢ - الخيار :

أوضحت عديد من الدراسات أن نبات الخيار يستجيب لزيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى البيوت المحمية ، بشرط توفر إضاءةٍ جيدةٍ وحرارةٍ مناسبة . وقد كانت الاستجابة فى صورة زيادةٍ فى نمو الأوراق ، والتفريع ، والإزهار ، والمادة الجافة ، والمحصول المبكر ، والمحصول الكلى . فمثلا . . وجد Hopen & Ries (١٩٦٢) أن نباتات الخيار استجابتَ للزيادة فى تركيز الغاز من ٣٥٠ حتى ٢١٥٠ جزءًا فى المليون . وعلى الرغم من أن هذه الاستجابة حدثت أيًا كانت شدة الإضاءة ، إلا أن الاستجابة لزيادة تركيز الغاز كانت أكبر مع ازدياد شدة الإضاءة من ٣٠٠ إلى ١٤٠٠ قدم - شمعة . وقد تمثلت هذه الاستجابة على شكل زيادةٍ فى الوزن الطازج ، والوزن الجاف للنبات ؛ وطول النبات ، وعدد الثمار بالنبات . كما أوضحت دراسات Slack & Hand (١٩٨٤) أن نباتات الخيار تستجيب للزيادة فى تركيز الغاز حتى ١٠٠٠ جزء فى المليون شتاءً ، وحتى ٤٥٠ جزءًا فى المليون صيفًا ، وكانت الاستجابة على شكل زيادة فى المحصول ومتوسط وزن الثمرة . وقد كانت العلاقة طرديةً بين المحصول ومتوسط تركيز الغاز فى جو البيت ، وكانت المعاملات اقتصاديةً على الرغم من احتياج البيوت إلى التهوية صيفًا .

٣ - الخس :

يعتبر الخس من الخضر التى تستجيب بصورةٍ جيدةٍ لزيادة تركيز غاز ثانى أكسيد

الكربون فى البيوت المحمية ، دون أن تتأثر نباتات الخس سلبيًا بنواتج احتراق الوقود المستخدم فى إنتاج الغاز . فقد وجد أن زيادة تركيز الغاز إلى ٣ - ٦ أضعاف التركيز الطبيعى يحدث التأثيرات التالية :

أ - تبكير النضج مدة ١٠ أيام على الأقل ؛ مما يسمح بزراعة محصولٍ إضافيٍّ من الخس فى الموسم نفسه .

ب - زيادة المحصول بمقدار ٤٠٪ إلى ١٠٠٪ ، وتكون الزيادة فى المحصول أكبر فى الأصناف السريعة النمو .

جـ - زيادة نسبة المادة الجافة .

إلا أن الاستجابة العالية لزيادة تركيز الغاز تتطلب ما يلى :

أ - زيادة درجة الحرارة بمقدار ٦°م - ٨°م نهارًا و٣°م ليلا .

ب - زيادة معدلات الرى .

جـ - زيادة معدلات التسميد ، خاصة بالنسبة للسماد الآزوتى (Wittwer & Honma ١٩٧٩) .

٤ - محاصيل خضرٍ أخرى :

أوضحت دراسات Trembly وآخرين (١٩٨٧) أن زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون - عند إنتاج شتلات الكرفس فى البيوت المحمية - أدت إلى زيادة مساحة الأوراق والوزن الجاف لكلٍّ من النموين الخضرى والجذرى ، ولكن لم يكن للمعاملة أية تأثيراتٍ جوهريةٍ على مقاييس النمو عند الحصاد .

وفى دراسةٍ أجريت تحت ظروف الحقل - ولكن مع بقاء النباتات داخل حجيراتٍ cages بلاستيكيةٍ بارتفاع ١٨٠سم - أدت زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون - من خلال أنابيب مثقبةٍ - إلى ٨٠٠ - ٩٠٠ جزءًا فى المليون إلى زيادة الوزن الطازج للنباتات بنسبة ٢٣٪ فى البصل ، و٨٪ فى الجزر ، وزيادة الوزن الجاف بنسبة ١٨٪ فى الخس ، و١٩٪ فى الجزر ، و١٧٪ فى البقدونس ، ولكن لم يتأثر محصول الكرات

أبو شوشة ، والكرنب الصينى ، والكرفس ، والكرفس اللفتى بمعاملة ثانى أكسيد الكربون (Mortensen ١٩٩٤) .

اضرار زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون

أوضحت دراسات Schwarz (١٩٩٣) أن أعراض التسمم بغاز ثانى أكسيد الكربون ظهرت على ٧ أنواع نباتية بعد ٦ أيام من تعريضها لتركيز ١٠٠٠٠ جزء فى المليون من الغاز ، وقد تضمنت الدراسة كلا من : الفاصوليا ، والطماطم ، والخس ، والفجل ، وفول الصويا ، والقمح ، والذرة . تميزت أعراض التسمم بظهور درجات مختلفة من الاصفرار بالأوراق ، وتأخّر فى النمو والتطور الطبيعيين للنباتات ، وظهرت على أوراق الذرة خطوط واضحة مميزة . أما الجذور فلم يُحْدِثْ تعريضُها لهذا التركيز المرتفع من الغاز أية أعراضٍ ملحوظةٍ على النباتات .

برمجة الاحتياجات البيئية باستعمال العقل الإليكترونى (الحاسوب)

يستخدم العقل الإليكترونى فى البيوت المحمية لتنظيم التحكم فى كافة العوامل البيئية ، والتى منها :

١ - درجات حرارة الليل والنهار ، مع إجراء التعديلات اللازمة - تلقائيًا - للاستفادة القصوى من ضوء الشمس .

٢ - نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون .

٣ - الرطوبة الأرضية (الرى الأرضى والرى بالرذاذ) .

٤ - تركيز العناصر السمادية فى المحاليل المغذية ، وتنظيم حقنها فى مياه الرى .

٥ - التركيز الكلى للأملاح فى مياه الرى .

٦ - قياسات الأرصاد الجوية خارج البيت (وهى : درجة الحرارة ، والرطوبة النسبية ، والأمطار ، وسرعة الرياح واتجاهها ، وشدة الإضاءة ، والإشعاع الكلى) مع تعديل التدفئة ، والتهوية ، والإضاءة فى البيت ، وتشغيل الستائر الحرارية Thermal Screens حسب الظروف الخارجية ؛ وبما يقلل احتياجات الطاقة إلى حدها الأدنى .

وقد يمكن التحكم فى أجهزة العقل الإليكترونى من مكان التحكم المركزى أو من مكتب التشغيل . ويعطى الجهاز إنذارًا على صورة رنينٍ فى الموقع أو عن طريق الهاتف (التليفون) على الأرقام التى تحدد لهذا الغرض .

وبهذه الطريقة يمكن إدارة مجموعةٍ كبيرةٍ من البيوت المحمية بأقل عددٍ من العاملين وبأمانٍ أكبر ، مع عدم الحاجة إلى رقابةٍ دائمةٍ طوال ساعات الليل والنهار (للتفاصيل . . تفضل مراجعة نشرات الشركات المتخصصة فى إنتاج هذه الأجهزة ؛ مثل : Priva بهولندا ، و Soil-less Cultivation Systems Ltd بإنجلترا) .

وإلى جانب استعمال العقول الإليكترونية فى التحكم فى العوامل البيئية . . فإنها تستخدم - كذلك - فيما يعرف بـ «النظم الخبيرة» ، التى يمكن الاستعانة بها فى تحديد البرامج الخاصة بمختلف العمليات الزراعية التى تناسب شتى الظروف البيئية ، وفى التعرف على مسببات كافة الظواهر غير العادية ، مرضيةً كانت ، أم غير مرضيةٍ ، ووسائل علاجها والتغلب عليها . وما زالت هذه النظم الخبيرة فى مصر فى بداياتها . وتتوقف دقتها - كليةً - على مدى دقة ، وشمولية ، واتساع نطاق المعلومات التى يُغَذَّى به الحاسوب ، وجميعها أمور تعتمد على العامل البشرى .