GREENHOUSE COOLING AND VENNTILATION

Dr. Ahmed A. Almasoum

Assoc. Prof. of Hort., Faculty of Food Systems,

UAE University, AL-Ain, UAE

E-mail: almasoum@uaeu.ac.ae

Web:almasoum.cjb.net

ازداد الاهتمام في السنوات الأخيرة بزراعة الخضروات في البيوت المحمية حيث بدأ التطبيق الفعلي لها على نطاق تجاري. في محاولة لحل مشكلة نقص الخضروات في أشهر الصيف عندما ترتفع درجة الحرارة الخارجية إلى درجة يستحيل معها زراعة غالبية النباتات تحت الظروف الجوية العادية.

وقد شهدت الزراعة في المنطقة العربية إقبالا كبيراً على البيوت المحمية، حيث توفر هذه البيوت فرصاً أكبر لإنتاج الخضروات في غير موسمها.

وقد ساعد على انتشار الزراعة في البيوت المحمية مجموعة من العوامل منها:

١- نقص كمية المياه الصالحة للزراعة والشرب في كثير من المناطق حيث تعمل الزراعة داخل البيوت المحمية على توفير كميات كبيرة من المياه، وعلى سبيل المثال فإن إنتاج كيلو واحد من الطماطم في البيوت المحمية يحتاج إلى إنفاق ٢٠% فقط مما يصرف عليها من مياه في الحقل المكشوف بطرق الري الحديثة.

٢- غزارة الإنتاج في الزراعة داخل البيوت المحمية إذا ما قورن بالإنتاج تحت ظروف الزراعة التقليدية حيث يبلغ متوسط إنتاج الدونم في الزراعة داخل البيوت المحمية أربعة أضعاف إنتاجه بالطرق التقليدية وتعطي الطماطم مثلا خمسة أضعاف ما تعطيه في الحقول المكشوفة وكذلك بالنسبة للخيار.

٣- يمكن إنتاج الخضروات داخل البيوت المحمية حتى في الأراضي غير القابلة للزراعة كالأراضي الصخرية أو الملحية وذلك داخل أكياس بها أتربة منقولة.

٤- تهدف الزراعة داخل البيوت المحمية إلى إطالة الموسم الزراعي لبعض الخضروات.

٥- قصر دورة رأس المال نظراً للعائدات المربحة السريعة التي تعود بالخير على المزارع.

تعرف البيوت المحمية بأنه عبارة عن هيكل (بناء) لها غطاء من مواد مختلفة يتم فيها توفير الظروف البيئية المثلى لنمو النبات و حمايته من الآفات و قد يتم فيها توفير نظام للتهوية و التدفئة و التبريد. و نستعرض في هذه العجالة نظامي التهوية و التبريد .

أولا: أساسيات التحكم في درجة الحرارة في البيوت المحمية:

يتعين قبل الدخول في تفاصيل طرق التدفئة والتبريد وحساباتهما أن نتعرف أولاً على بعض المصطلحات المستخدمة في هذا المجال، وعلى طرق تنظيم درجة الحرارة، وطرق انتقالها، لما لذلك من أهمية كبيرة في كل من البيوت المدفأة والمبردة على حد سواء.

يعبر عن كمية الحرارة (سواء تلك التي يلزم اكتسابها، أم تلك التي يلزم التخلص منها) بالوحدات الحرارية البريطانية British thermal units (اختصار BTU)، وهي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة رطل واحد من الماء درجة واحدة فهرنهيتية.

ونظراً.. لأن عدد الوحدات الحرارية البريطانية الداخلة في الحساب يكون عادة كبيراً، لذلك فإنه يستعاض عنها بقوة الحصان، وكل قوة حصان تعادل ٣٣٤٧٥ وحدة حرارية بريطانية.

طرق انتقال الحرارة، والاستفادة العملية من ذلك في مجال البيوت المحمية:

تفيد دراسة طرق انتقال الحرارة في 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 ليلاً.

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

هذا.. وتنتقل الحرارة بأربع طرق رئيسية هي ما يلي:

١- الإشعاع Radiation:

يكون الإشعاع على صورة موجات كهرومغناطيسية تتدفق بانتظام خلال الفضاء، وبذلك فإنه انتقال الطاقة في هذه الصورة لا يكون في صورة حرارة، لأن ذلك يتطلب حركة جزئيات، لكن هذا الإشعاع يتحول إلى طاقة حرارية بمجرد تلامسه مع أي سطح. هذا.. وتكتسب البيوت المحمية الحرارة نهاراً من الأشعة الشمسية التي تنفذ من خلال غطاء البيت، ثم تتحول إلى طاقة حرارية عند تلامسها مع التربة والأسطح النباتية وغيرهما من الأجسام الصلبة داخل البيت.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 الذي تمر من خلاله. يكون هذا الفقد الحراري في صورة أشعة طويلة الموجة (تحت الحمراء)، ويستمر ليلاً ونهاراً، طالماً أن درجة حرارة الأجسام داخل البيت أعلى من درجة الحرارة خارج البيت.

ويستفاد من هذه الحقائق فيما يلي:

(أ) يلزم في الجز البارد الاستفادة لأكبر درجة ممكنة من الإشعاع الشمسي نهاراً باختيار التصميم والاتجاه المناسبين للبيت والغطاء المنفذ لأكبر نسبة من أشعة الشمس. كما يفضل أن يكون الغطاء غير منفذ للأشعة تحت الحمراء للاحتفاظ بها داخل البيت ليلاً ونهاراً.

(ب) يلزم في الجو الحار الصحو خفض نفاذية غطاء البيت للإشعاع الشمسي، كما يفضل أن يكون الغطاء منفذاً للأشعة تحت الحمراء ليتم التخلص من الحرارة المكتسبة أولاً بأول.

(ج) أما في الجو المعتدل نهاراً، المائل للبرودة ليلاً (كما هو الحال في فصل الشتاء في المناطق المعتدلة)، فإنه يفضل أن يكون غطاء البيت غير منفذ للأشعة تحت الحمراء، حتى يمكن الاستفادة من هذه الأشعة ليلاً في رفع درجة حرارة البيت عن الجو الخارجي بنحو ٢ – ٣ درجات، دون الحاجة لعملية التدفئة الصناعية التي تكون عادة غير اقتصادية في مثل هذه المناطق.

٢- التوصيل Transmission:

يتم انتقال الحرارة بالتوصيل خلال وسط توصيل من النقط الدافئة إلى الأقل منها حرارة، كما هو 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 سطح مشع إلى الهواء أو الماء المتحرك، فترتفع درجة حرارة الوسط الملامس (الماء أو الهواء) وتقل كثافته، ويبدأ في التحرك لأعلى ليحل محله هواء أو ماء أبرد ليكتسب حرارة من السطح المشع وهكذا. وتلك هي خاصية انتقال الحرارة التي تعتمد عليها طرق التدفئة في البيوت المحمية. كما تفقد البيوت المدفأة جزءاً كبيراً من حراراتها مع الهواء الدافئ المتسرب منها.

٤- الانعكاس Reflection:

حيث تنعكس الحرارة – مثلها في ذلك مثل الضوء – من الأسطح المعدنية المصقولة).

طريقة حساب المساحة الخارجية للبيت:

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

(أ) الجانبان الطوليان للبيت، وهما مستطيلان.

(ب) الجانبان القصيران للبيت، ويتكون كل منهما من:

(١) الجزء السفلي، وهو مستطيل.

(٢) الجزء العلوي (تحت الجمالون)، وهو مثلث يتساوي فيه ضلعان.

(ج) جانبا السقف المنحدران، وهما مستطيلان.

وتحسب أطوال ومساحة الأشكال الهندسية المختلفة كالتالي:

مساحة المستطيل = الطول × العرض

مساحة المثلث الذي يتساوى فيه ضلعان = نصف القاعدة × الارتفاع. هذا.. وتعتبر قاعدة المثلث هي الجانب القصير للبيت، أما ارتفاعه، فهو المسافة من مركز الجمالون إلى الأرض، مطروحاً منها ارتفاع الجانب الرأسي من البيت.

طول الضلع القصير لكل من جانبي السقف المنحدرين (أو وتر مثلث الجمالون)

$$= \sqrt{\text{مربع نصف قاعدة مثل الجمالون} + \text{مربع ارتفاع مثلث الجمالون}}$$

٢- البيوت المفردة النصف أسطوانية Quonset:

يعتبر كل بيت بمثابة نصف أسطوانة، وتحسب مساحته الخارجية بالمعادلة التالية:

المساحة الخارجية للبيت = ½ (٢ ط نق ل + ٢ ط نق^{٢}).

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

٣- البيوت المفردة ذات الشكل النصف أسطواني المحور Modified Quonset:

تتكون الأسطح الخارجية للبيت من:

(أ) الجزء السفلي للبيت، ويتكون من:

(١) الجانبان الطوليان للبيت، وهما مستطيلان.

(٢) الجانبان القصيران للبيت، وهما مستطيلان.

(ب) الجزء العلوي للبيت، ويمكن اعتباره نصف أسطوانة، وتحسب مساحته كما في حالة البيوت النصف أسطوانية.

طريقة حساب حجم البيت:

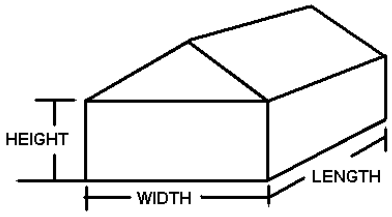
تتوقف قوة التدفئة أو التبريد اللازمين للبيت على حجمه. ويمكن تقدير ذلك في الأنواع المختلفة من البيوت كالتالي:

١- البيوت المفردة ذات الشكل الجمالوني المتناظر الانحدار على جانبي البيت Even Span:

يحسب حجم البيت من المعادلة التالية: (شكل ١)

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

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



GABLE STYLE

٢- البيوت المفردة النصف أسطوانية Quonset:

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

حجم البيت = طول البيت + (½ × ط نق٢)

حيث أن نق = نصف عرض البيت.

٣- البيوت المفردة ذات الشكل النصف أسطواني المحور Modified Quonset:

يتكون البيت من جزءين هما: (شكل ٢)

(أ) الجزء السفلي، وهو متوازي مستطيلات.

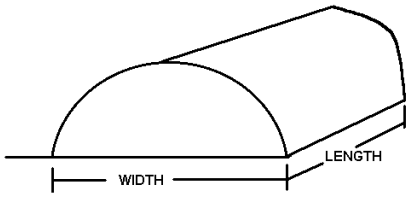
(ب) الجزء العلوي، وهو نصف أسطوانة، فيها نصف القطر يساوي ارتفاع هذا الجزء.

وبالتالي، فإنه يمكن حساب حجم البيت بالمعادلة التالية:

حجم البيت = طول البيت [(عرض البيت × ارتفاع الجزء السفلي)

$$+ [\frac{(\text{ط} \times \text{مربع ارتفاع الجزء العلوي})}{٢}$$

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



GROUND TO GROUND STYLE

٣. منظم الحرارة:

تستخدم منظم الحرارة Thermostat في تنظيم درجة الحرارة داخل البيوت المحمية، حيث يعمل الجهاز (شكل ٣) على التحكم في درجة الحرارة عن طريق التشغيل الآلي لأجهزة التدفئة والتبريد ونظام التهوية، سواء بالتحكم في تشغيل المراوح، أو فتح وغلق منافذ التهوية. ويتم تحديد ذلك مسبقاً بضبط المنظم على درجات الحرارة التي يتم عندها تشغيل أو إيقاف أي من هذه الأجهزة. ومن الأهمية بمكان أن يكون ضبط الحرارة على درجة كبيرة من الحساسية، حتى لا تحدث تغيرات كبيرة عن درجة الحرارة المرغوبة، مما لتكون له تأثيرات ضارة على النباتات، فضلاً عن زيادة استهلاك الوقود دون داع.

ولكي تكون كفاءة منظم الحرارة أعلى ما يمكن، تتعين مراعاة ما يلي بشأنه:

١- يجب أن يوضع المنظم في مكان يمثل متوسط درجة الحرارة في البيت، وعلى أن يؤخذ في الاعتبار موضع أنابيب التدفئة أو المدفئات والتيارات الهوائية. وغالباً ما يوضع المنظم بالقرب من وسط البيت.
٢- يجب أن يكون موضع المنظم قريباً من مستوى القمة النامية للنباتات.
٣- يجب إبعاد المنظم كلية عن أشعة الشمس المباشرة التي تؤدي إلى رفع درجة حرارته عن درجة حرارة الهواء المحيط به. ويتحقق ذلك بوضعه داخل صندوق خشبي، مع دهان السطح الخارجي للصندوق باللون الأبيض أو الفضي لعكس أشعة الشمس.
٤- كما يجب أن يكون المنظم في مكان جيد التهوية، ويتحقق ذلك بجعل جوانب الصندوق على شكل ريش تعلو واحدة فوق الأخرى لتسمح بمرور الهواء من خلاله. ويفضل تزويد جانب الصندوق بمروحة تدفع الهواء داخل الصندوق بسرعة ١٨٠ متر / دقيقة.
٥- تجب إضافة منظم آخر داخل الصندوق مع ضبطه على درجة حرارة ١٠م، بحيث يعطي رنين جرس في منزل المزارع إذا انخفضت درجة الحرارة إلى هذا الحد. ويفيد ذلك في تدارك الأمر في 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 بطارية أو من مولد احتياطي لضمان عمله حتى في حالة انقطاع التيار الكهربائي.
٦- يجب وضع ترمومتر آخر عادي داخل الصندوق للتأكد من دقة عمل منظم الحرارة.

٤: وسائل التوفير في الطاقة اللازمة للتدفئة أو التبريد:

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

وفيما يلي بيان بالطرق والوسائل المتبعة بغرض توفير الطاقة اللازمة للتدفئة أو التبريد في البيوت المحمية:

١- اختيار تصميم البيت وتحديد اتجاهه بما يتناسب والظروف الجوية السائدة في المنطقة، نظراً لأن كلا الأمرين يؤثر على كمية الضوء التي تنفذ داخل البيت، وبالتالي على كمية الطاقة الحرارية التي تصل إلى البيت مع الأشعة الشمسية. هذا.. وقد سبقت مناقشة موضوعي تصميم البيوت واتجاهها.
٢- اختيار نوع الغطاء وسمكه بما يتناسب أيضاً والظروف الجوية السائدة في المنطقة، نظراً لأن الغطاء لا يؤثر فقط على كمية الضوء التي تنفذ داخل البيت، بل يؤثر أيضاً على فقد الحرارة من داخل البيت إلى الخارج، سواء أكان ذلك الفقد بالتوصيل، أم بالإشعاع، أم بالتسرب، وقد سبقت أيضاً مناقشة موضوعي تأثير الغطاء على نفاذية الضوء وعلى فقد الحرارة.

٣- استعمال طبقتين أو ثلاث طبقات من الغطاء بدلاً من طبقة واحدة، نظراً لأن ذلك يقلل معامل التوصيل الحراري للغطاء بدرجة كبيرة. فإذا كان معامل التوصيل الحراري لطبقة واحدة من الغطاء واحداً صحيحاً ، فإن هذه القيمة تنخفض بنسبة ٤٢% ، و ٥٨% عند استخدام طبقتين وثلاث طبقات من الزجاج على التوالي، وبنسبة ٤٠% عند استخدام طبقتين من البوليثيلين. ويعني ذلك انخفاض احتياجات التدفئة والتبريد بنفس النسبة.
٤- ضرورة إقامة البيوت المحمية بجانب مصدات الرياح لخفض معامل سرعة الرياح (W) في حسابات التدفئة.
٥- الاهتمام بحالة البيت ومدى إحكامه، وتغيير الزجاج المكسور أولاً بأول لخفض معامل الإنشاء "C" في حسابات التدفئة.
٦- التقليل – قدر المستطاع – من حركة الهواء الدافئ قريباً من جدران البيت، لأن هذه التيارات الهوائية تزيد من فقد الحرارة بالتوصيل. ويمكن التحكم في ذلك الأمر بالاختيار الأمثل لوضع المدفئات وأنابيب التدفئة في البيت.
٧- يجب توجيه الهواء البارد (في البيوت المبردة) في مسار يتخلل النباتات، مع التقليل – قدر المستطاع – من حركته أعلى النباتات (في قمة البيت) أو أسفلها (في حالة الزراعة على المناضد)، نظراً لأن هذه المسارات تقلل كثيراً من كفاءة عملية التبريد.
٨- الاستفادة القصوى من عملية التهوية في خفض احتياجات التبريد، أو الاستغناء عنها نهائياً في المناطق المعتدلة.
٩- يمكن خفض الفاقد في الحرارة ليلاً بمقدار ٧٠ – ٨٠% في البيوت المحمية التي تتكون أسقفها من طبقتين من الغطاء بدفع رغوة Foam خاصة بين الطبقتين. ويتم ذلك بدفع تيار من الهواء في سائل يتمدد بمقدار ١٠٠٠ ضعف، مكوناً الرغوة التي تنتشر بين طبقتي الغطاء. هذا وتتلاشى الرغوة في خلال نصف ساعة، ويتجمع السائل من جديد في خزان خاص ليتم ضخه من جديد حسب الحاجة. ويمكن استخدام نفس النظام للحماية الجزئية من أشعة الشمس القوية نهاراً.
١٠-تغطية البيوت المحمية بشباك التظليل من أعلى البلاستيك بهدف خفض احتياجات التبريد. وتتوفر الشباك بنسب تظليل تتراوح من ١٠ إلى ٩٠% حسب الحاجة. ويمكن في حالة عدم توفر شباك التظليل رش السطح الخارجي للبيت بالجير في بداية فصل الصيف.
١١-يمكن تحسين التدفئة ليلاً بملء أنابيب بلاستيكية واسعة بالماء، مع جعلها ممتدة على سطح التربة قريباً من خطوط الزراعة، حيث يكتسب الماء كمية كبيرة من الحرارة نهاراً، نظراً لارتفاع حرارته النوعية، ثم يفقدها ليلاً بالإشعاع إلى جز البيت بالقرب من النباتات.

استخدام طبقتين من الغطاء في البيوت المحمية:

سبق أن بينا أن استعمال طبقتين من الغطاء بدلاً من طبقة واحدة يقلل معامل التوصيل الحراري للغطاء بنسبة ٤٠%، ويخفض احتياجات التدفئة – والتبريد – بنفس القدر. ولهذا.. فقد اتجهت الدراسات نحو الاستفادة من هذه الخاصية. وكانت البداية في البيوت البلاستيكية، نظراً لرخص أغطية رقائق البلاستيك كثيراً عن ألواح الزجاج أو الفيبرجلاس.

هذا.. ولتحقيق أكبر قدر من الاستفادة من طبقتين الغطاء في خفض معامل التوصيل الحراري يلزم تأمين مساحة أربعة سنتيمترات من الهواء الساكن dead air space بين الطبقتين تعتبر بمثابة وسادة هوائية air cushion عازلة، لأن نقص المسافة بينهما عن ذلك يقلل من أهميتهما في خفض معامل التوصيل الحراري. وفي حالة تلامسها، فإنهما يعملان معاً كطبقة واحدة، ولا يؤثران على معامل التوصيل. أما في حالة زيادة المسافة بينهما، فإن ذلك يكون مصاحباً بتحركات للهواء المحصور بينهما، فإذا ما وصلت المسافة بينهما إلى ٢٠ سم، تولدت تيارات هوائية تحمل الحرارة من الطبقة الداخلية إلى الطبقة الخارجية، ثم إلى الجو الخارجي، وبذلك تنخفض كفاءتهما في العزل الحراري.

يتم تثبيت طبقتي البلاستيك من خارج البيت. ويفضل أن تكون شريحة البلاستيك الخارجية بسمك ١٥٠ ميكرون، والداخلية بسمك ١٠٠ ميكرون. ويتم تأمين الوسادة الهوائية بين طبقتي البلاستيك بدفع تيار مستمر من الهواء بينهما ويتم ذلك بتخصيص موتور صغير لدفع الهواء motor blower لكل بيت يكون قادراً على دفع ٠,٧٥ – ١,٥٠ م٣ من الهواء / دقيقة، وبقوة نصف حصان تقريباً، ويستهلك ٤٠ وات / ساعة ويجب أن يكون الضغط بين شريحتي البلاستيك ٥ – ٧,٥ مم ماء. ويمكن قياس ذلك بواسطة مانومتر manometer يتم تصنيعه من أنبوبة بلاستيكية شفافة بطول ٦٠ سم تثني على شكل حرف U، وتثبت على لوحة خشبية يوضع أحد طرفيها بين شريحتي البلاستيك، والطرف الآخر داخل البيت، ومع إضافة ١٥ – ٢٠ سم طولي من الماء في الأنبوبة يمكن قراءة الفرق بين مستوى سطح الماء في طرفي الأنبوبة. وكل فرق مقداره ٥ مم يعني ضغطاً مقداره ١ رطل / بوصة مربعة. هذا .. ويمكن تدريج الأنبوبة واستعمال ماء ملون ليمكن رؤيته بسهولة.

ومن أهم مزايا استخدام طبقتين من البلاستيك ما يلي:

١- خفض معامل التوصيل الحراري من ١,٣٥ إلى ٠,٧، ويتبع ذلك توفير احتياجات التدفئة والتبريد بمقدار ٤٠%.
٢- تقليل أو منع ظاهر التكثف، ويتبع ذلك نقص أو انعدام الأضرار التي 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- تكون الشريحة البلاستيكية الثانية بمثابة ضمان لوقاية المزروعات في حالة التلف المفاجئ لإحدى الشريحتين ، خاصة في الجو الشديد البرودة أو الحرارة.

لكن يعاب على استخدام طبقتين من الغطاء خفض نسبة الضوء النافذ إلى داخل البيت بدرجة يسيرة. وبينما يعد هذا الانخفاض في نسبة الضوء النافذ أمراً قليل الأهمية في المناطق المعتدلة، وقد يكون مرغوباً في المناطق الحارة، إلا أنه يعد عيباً كبيراً في المناطق الباردة التي تنخفض فيها شدة الإضاءة كثيراً.

أولا: طرق التبريد

تعد البيوت المحمية المبردة ضرورة لا غنى عنها لإنتاج الخضروات خلال شهور الصيف في بعض دول العالم، والتي من أمثلتها دول الخليج العربي التي يزيد المعدل الشهري لدرجة الحرارة العظمى في معظم أرجائها عن ٤٠°م خلال الفترة من مايو حتى سبتمبر. وقد تصل درجة الحرارة العظمى في بعض أيام الصيف إلى ٤٨ – ٥٠°م، وهو الأمر الذي يستحيل معه إنتاج معظم محاصيل الخضر في الحقول المكشوفة، فضلاً عن انخفاض الرطوبة النسبية في المناطق الداخلية البعيدة عن السواحل إلى مستويات تقل غالباً عن ١٥%، وهي دون الحد المناسب للنمو النباتي، والتلقيح، وعقد الثمار. وحتى يمكن إنتاج الخضر خلال هذه الأشهر الشديدة الحرارة في هذه المناطق، فإنه يتعين خفض درجة الحرارة بمقدار ١٥°م، ورفع الرطوبة النسبية إلى نحو ٧٠ – ٨٠%، ولا يتأتى ذلك إلا داخل البيوت المحمية المبردة.

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

أولا- التبريد بالرذاذ أو الضباب:

يعرف نظام التبريد بالرذاذ أو الضباب mist باسم "التضبيب" misting. ويتم في هذه الطريقة ضخ الماء في ضغط مرتفع لا يقل عن ٤٢ كجم / سم٢ (٦٠٠ رطل / بوصة٢) في أنابيب تثبت أعلى مستوى النباتات، حيث يخرج الماء من رشاشات خاصة على شكل رذاذ دقيق جداً يشبه الضباب،

فيتبخر بسهولة، وبالتالي تنخفض درجة الحرارة، كما ترتفع الرطوبة النسبية، ويلزم لنجاح هذه الطريقة أن تتوفر كميات كبيرة من الماء الخالي تقريباً من الأملاح.

هذا.. وقد يستعمل نظام التبريد بالضباب منفرداً، كما هو الحال في المناطق المعتدلة، أو مع نظام التبريد بمبردات الهواء في المناطق الشديدة الحرارة. ففي المناطق المعتدلة يفيد الضباب في تلطيف جو البيت وخفض درجة الحرارة بعد الظهيرة حين لاتكون التهوية كافية بمفردها لخفض حرارة البيت. كما يساعد الضباب على زيادة الرطوبة النسبية على الدرجة التي تسمح بالعقد الجيد لثمار بعض المحاصيل كالقاوون. أما في المناطق الحارة، فإن الضباب يساعد مع مبردات الهواء في إحداث خفض أكبر في درجة الحرارة، نظراً لأن المبردات قد لا تكفي بمفردها في الفترات الشديدة الحرارة، ويستفاد من ذلك أنه ينصح بتركيب نظام "التضبيب" في جميع البيوت المحمية في المناطق المعتدلة والحارة على حد سواء.

هذا ويمكن الاستفادة من نظام التبريد بالضباب في تزويد النباتات بجزء من مياه الري التي تلزمها. وقد لا تروى النباتات إلا بالرذاذ، لكن يعاب على هذه الطريقة أن أرض البيت تصبح موحلة. ويمكن التغلب على هذه المشكلة بفرض الممرات بالبلاستيك أو بالزراعة في بالات القش المضغوط.

ثانيا :نظام التبريد الصحراوي Desert Cooling System

يطلق عليه أيضاً نظام التبريد بمبردات الهواء Air Coolers أو نظام المروحة والوسادة Fan and Pad System.

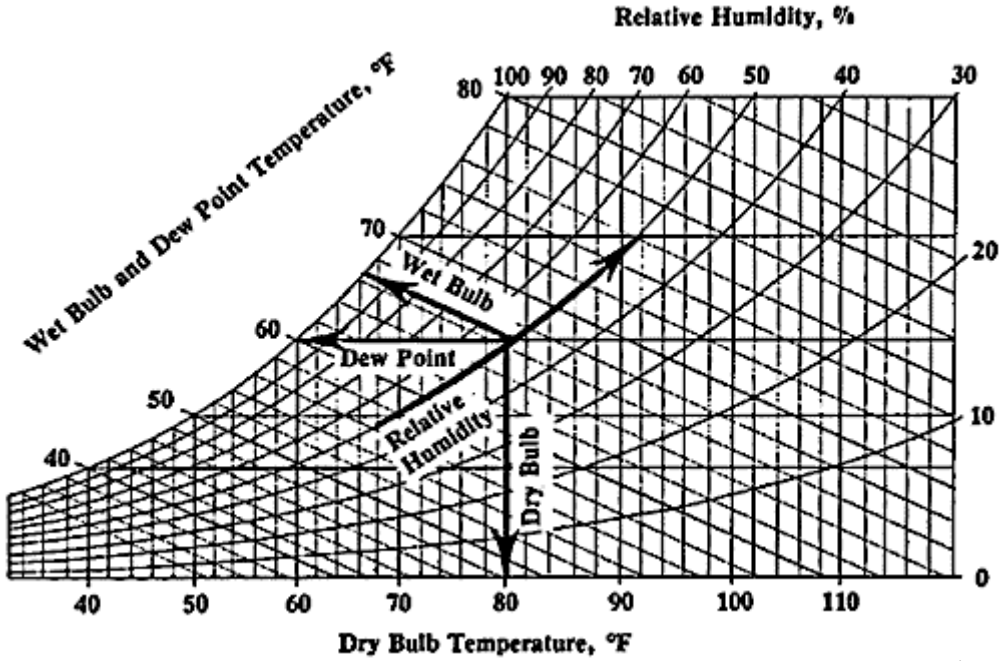
يعتمد التبريد في هذه الطريقة على تبخر الماء من وسائد pads مبتلة عن طريق إجبار تيار من الهواء بالمرور من خلالها. يتم إيصال منظم للحرارة بمروحة كبيرة توجد في أحد جانبي البيت، بينما توجد الوسائل في الجانب الآخر. وعند وصول درجة الحرارة داخل البيت إلى الحد الأقصى المسموح به يقوم المنظم بتشغيل كل من مروحة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

مسار الهواء في البيوت المبردة بنظام المروحة والوسادة.

ويتم التبريد في هذا النظام على أساس أن تبخر الماء تستلزمه طاقة، وأن هذه الطاقة تؤخذ من الوسادة أو الهواء المحيط بها، وعليه.. تنخفض درجة حرارة الهواء الداخل إلى البيت عن الجو الخارجي، وقد يصل الفرق في درجة الحرارة بين الهواء الداخل إلى الوسادة والهواء الخارج منها إلى ٦-٤ أم، لكن ترتفع درجة حرارة الهواء الذي يمر خلال البيت تدريجياً، ويقدر الفرق بين درجتي الحرارة عند الوسادة وعند المروحة بنحو ٣ – ٤ درجات مئوية.

نظرية التبريد التبخيري

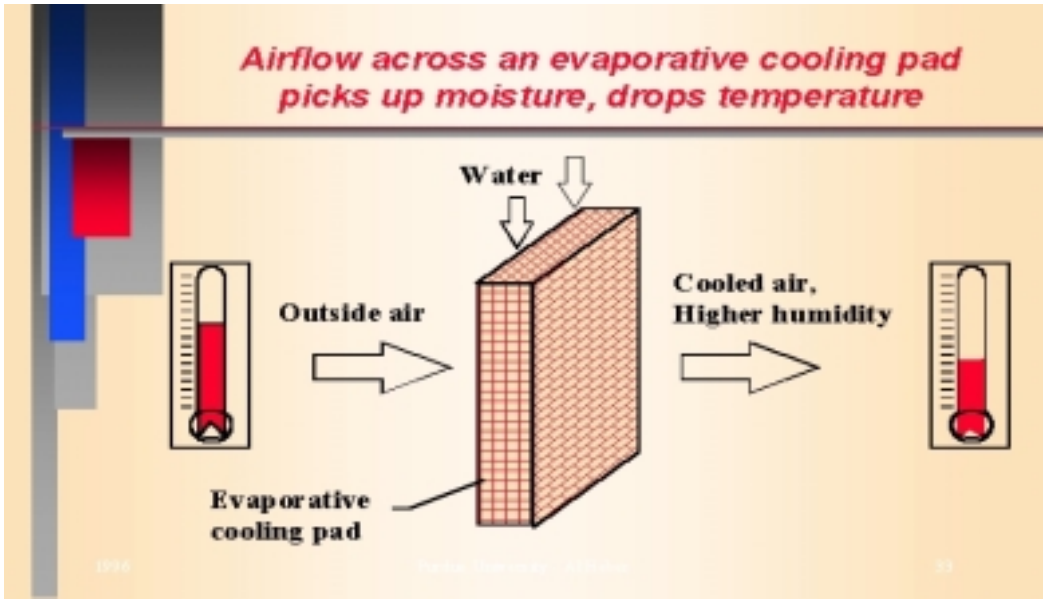
يحدث انتقال كل من الكتلة والحرارة عند تلامس هواء غير مشبع مع رطوبة حرة، والاثنان معزولان حرارياً عن أي مصدر حراري خارجي. ونظراً لأن ضغط البخار لسطح الماء الحر أعلى من ضغط الهواء غير المشبع، فسوف يحدث انتقال للماء نتيجة لهذا الفرق في الضغط. ويتضمن الانتقال حرارة تبخير تعمل على تغيير الحالة من سائل إلى بخار. وتأتي الحرارة المطلوبة لتغيير تلك الحالة من المحتوى الحراري المحسوس لكل من الهواء والماء، مما ينتج عنه انخفاض درجة حرارة كليهما. ويحدث انتقال حرارة بانخفاض درجة الحرارة في منطقة التداخل اللحظية والتي ينشأ عنها فرق في درجة الحرارة خلال مخلوط الهواء – بخار، وذلك لوصول النظام ككل إلى حالة اتزان ثرمو – ديناميكي. ويكون أفضل وصف لهذه العملية عن طريق الخريطة السيكرومترية (شكل ٤).



تطبيق الأساس

نجد عند استخدام أساس التبريد التبخيري في صوبة أن العملية تتم ببطء طالما وجد هواء يتلامس مع سطح ماء حر. ويمكن الإسراع من معدل انتقال الحرارة والكتلة عن طريق زيادة دفع حركة الهواء المار على مساحة أكبر لسطح ماء التبخير. ويتم باستخدام المراوح الحصول طبيعياً على هذه الحركة. ويوجد العديد من الإمكانات بالنسبة لتوفير مساحة أكبر لسطح الماء، ولكن من الناحية العملية لا يوجد إلا طريقتان فقط يمكن استخدام إحداهما. فإما أن يتم حقن الماء مباشرة في المجرى الهوائي في صورة رذاذ دقيق، أو أن يتم دفع الهواء من خلال مواد مسامية مبللة بالماء. ويعتبر استخدام نظام الوسائد المسامية المبللة النظام الشائع الاستخدام (سكل ٥). وتكون عملية إمرار هواء خلال مادة مسامية أو وسادة مبللة بالماء الطريقة الأكثر شيوعاً للحصول على تلامس الهواء بالرطوبة. ويمكن أن تتم عملية إبلال المادة المسامية بالماء عن طريق تنقيط الماء من فوق الحافة العلوية للمادة المسامية المركبة رأسياً، أو بترذيذ الماء على السطح المقابل للهواء، أو عن طريق دوران المادة المسامية التي على شكل أسطوانة أفقية وجزؤها السفلي مغمور في الماء، ويطلق على هذه الطرق على الترتيب بالأنواع ذات المنقطات أو الترذيذ أو الدورانية.

ويتم دفع الماء في نظام الترذيذ في اتجاه مع – بدلا من عكس – سريان الهواء، بحيث يتم التركيب في الموضع بين المادة المسامية والمروحة. ويعتبر ذلك ضرورياً لمنع تجريف قطرات الماء بعيداً عن مادة المبرد، خاصة إذا تم تركيب المبرد في الأجواء الخارجية. وتعتبر القدرة المطلوبة لعملية إبلال المادة المسامية في هذا النظام أكبر منها في المبرد ذي المنقطات.



تصميم المبرد :

تعتمد كفاءة المبرد اعتماداً كبيراً على مدى أداء المادة المسامية. ولكي نصل بالهواء قريباً من درجة التشبع، فإنه يجب تعريض أقصى مساحة مبللة ممكنة من المادة المسامية للهواء المار وبعمق يسمح بالحصول على زمن كاف من تلامس الماء والهواء. ويجب مراعاة استخدام المواد المسامية التي تسبب أقل مقاومة لسريان الهواء، وأن تكون أيضاً قادرة على مقاومة التحلل والاضمحلال والمحافظة على تماسكها وشكلها الأصلي.

وبصفة عامة، يعتبر الوصول إلى مستويات معقولة ومقبولة من متطلبات تصميم الوسادة بالنسبة للأداء المزرعي بسيطاً نسبياً. ولكن يعتبر من الصعوبة تحديد متطلبات مستوى أداء مرتفع بالنسبة لمدى واسع من ظروف التشغيل.

نوع مادة الوسادة:

تتيح المواد المسامية أفضل كفاءة تبريد بالنسبة للمبردات التي تستخدم طريقة التنقيط حيث سريان الماء محدود. ومع أن المواد الجامدة تقاوم التحلل وتعيش مدة أطول من السليولوز، إلا أن تلك المواد لا تتوافر فيها خاصية الماصية مثل "الفتائل – المتناظرة" التي تضمن توزيعاً جيداً للماء(شكل٦). فيجري الماء بالنسبة للمواد الأقل مسامية إلى أسفل المادة المسامية في قطرات كبيرة مخلفاً مساحة سطحية مبللة أقل.

تركيب الوسادة :

يتم تركيب الوسادة بطول أحد جوانب أو نهاية المبنى على أن تركب المراوح الطاردة لهواء العادم على الجانب المقابل. ويكون ارتفاع الوسادة حوالي من ٥. إلى ٢,٥ م عند التركيب رأسياً، وذلك بغرض الحصول على توزيع منتظم لسريان الماء.أما بالنسبة للمناطق ذات تراكيز الأتربة المرتفعة، ففي الغالب ما يؤدي استخدام نظام تنقيط مع وسادة رأسية إلى انسداد كامل للوسادة بجزيئات الأتربة، مما يؤدي إلى إعاقة سريان الهواء. ويعني ذلك انخفاض سعة التبريد الكلية انخفاضاً ملحوظاً. ويسبب استخدام هذا النظام مشكلة خطيرة في البيوت المحمية.

سماكة وكثافة الوسادة :

تزداد المقاومة لسريان الهواء مباشرة بزيادة سماكة الوسادة، بينما يزداد وقت تلامس الهواء المار عبر الوسادة. ولكن يؤدي مرور الهواء من خلال سماكة إضافية للوسادة إلى تناقص فرق ضغط بخار الماء. وينتج عن ذلك انخفاض في معدل البخر بالنسبة لطبقة محدودة باستمرار مرور الهواء خلال الوسادة.وتؤدي زيادة كثافة الوسادة إلى تحسن المسامية الكلية، مما يؤدي إلى توزيع أكثر انتظاماً للماء. وتتطلب زيادة الكثافة أيضاً معدلات مرتفعة من سريان الماء، كما تعمل على زيادة المقاومة لسريان الهواء. وتكون الوسادة الكثيفة بالنسبة للتركيب في اتجاه رأسي إلى حد ما أكثر ارتكازاً – بمفردها عن الوسادات اللينة. وعموماً تحتاج الوسادات مهما كانت كثافتها إلى بعض المرتكزات، وذلك لمنع الارتخاء. ويؤدي أي ارتخاء في أي جزء من أجزاء الوسادة إلى حدوث فتحات في اتجاه سريان الهواء لابد من تداركه، نظراً لتأثيره الواضح على كفاءة التبريد.

سرعة الهواء :

تتغير سرعة الهواء خلال الوسادات عند نقط مختلفة من الوسادة، كما تعتبر صعبة القياس. وتعتبر سرعة دخول أو خروج الهواء من الوسادة، والتي يطلق عليها بسرعة وجه الوسادة أسهل كثيراً من حيث القياس.

وتؤثر سرعة الهواء عند وجه الوسادة على نوع سريان الهواء وزمن التلامس مع مصدر الرطوبة. فيكون السريان رقائقياً عند السرعات المنخفضة، كما يكون لدى الهواء المار خلال الطبقة السطحية من ألياف الوسادة المشبعة بالماء الفرصة لحمل بخار الماء. ويصبح السريان عند ازدياد السرعة مضطرباً ومكسراً للشرائح الطبقية، مما يؤدي إلى زيادة فرصة حمل البخار. ويزداد معدل حمل البخار بسرعة مع زيادة السرعة، خاصة عندما يصبح سريان الهواء مضطرباً.

سريان الماء في الوسائد :

تبقى كفاءة التشبع نسبياً ثابتة بالنسبة لأي مبرد ذي سعة محددة مع تغير خصائص الهواء المراد تبريده. ويوجد استثناء واحد يحدث عندما يكون الهواء جافاً شديد الحرارة، بحيث تزال الرطوبة بمعدل أسرع من دوران الماء لإبلال الألياف. وبناءً على ذلك، فإنه يجب أخذ الظروف القاسية في الاعتبار عند اختيار معدل دوران الماء.

ويمكن الحصول على معدل السريان الأمثل تحت أي ظروف، ولكن تعتبر معدلات السريان الزائدة أقل ضرراً من استخدام معدل سريان ماء غير كاف. وقد تنخفض كفاءة التبريد لحظياً في حالة عدم تشبع الألياف بالماء، نظراً لقلة الرطوبة المتاحة بالنسبة للهواء المار. وتترسب أيضاً المعادن الموجودة في الماء على الألياف بدلاً من انجرافها مع الماء في حالة تبخر كل المياه التي تصل إلى الألياف، الأمر الذي يؤدي إلى خفض الكفاءة.

وتؤدي استخدام ماء زائد عن الحد إلى الإقلال من المساحة السطحية، حيث يتحول سطح الألياف الخشن والمبلل إلى طبقة ملساء مغطاة بالماء. ويؤدي قرب ألياف الوسادة من بعضها إلى عبور الماء بينها عازلة السطح عن التلامس مع الهواء. ويوجد عند استخدام معدل سريان مرتفع للماء ميزة الغسيل المستمر للوسادة وخاصة في الوضع الأفقي، مما يقلل الانسداد بالأتربة وتراكم الأملاح.

المعدلات المرتجعة وسعة الحوض المائي :

تتطلب المحافظة على سطح الوسادة مبللاً باستمرار مع الاقتصاد في استخدام الماء وجود حوض مائي وصمام ارتجاع. ويتوقف حجم الحوض المائي إلى حد ما على نوع المضخة ونوع الوسادة ومعدل الارتجاع.

العوامل المؤثرة على كفاءة التبريد:

تتوقف درجة التبريد التي يمكن تحقيقها بنظام المروحة والوسادة على عاملين رئيسيين هما:

١- معدل سحب الهواء الدافئ من البيت

٢- مساحة سطح الوسائد.

وتتوقف كفاءة التبريد بهذه الطريقة (عند ثبات العاملين السابقين) على كل من منسوب البيت (ارتفاعه عن سطح البحر) وشدة الإضافة به والرطوبة النسبية في الجو الخارجي. والعامل الأخير لا يمكن التحكم فيه، ولذا فإنه لا يؤخذ في الاعتبار عند حساب احتياجات التبريد، لكن يجب أن نتذكر أن أقصى درجة تبريد يمكن الحصول عليها بهذه الطريقة تبلغ حوالي ٨٠% من الفرق بين قراءتي الترمومترين الجاف والمبتل في العراء، وبذلك يزداد التبريد الممكن تحقيقه كلما ازداد الفرق بين القراءتين، أي كلما ازدادت مقدرة الهواء على تبخير الماء، أي كلما انخفضت الرطوبة النسبية. وتصبح فعالية هذه الطريقة في التبريد معدومة تقريباً عندما تصل الرطوبة النسبية إلى حوالي ٨٠%.

هذا .. وتزداد مقدرة الهواء على حمل الرطوبة كلما ارتفعت درجة حرارته.وكقاعدة عامة.. عندما لا يزيد ارتفاع منسوب البيت عن ١٠٠٠ قدم عن سطح الأرض، وعندما لا تزيد شدة الإضاءة داخل البيت عن ٥٠٠٠ قدم – شمعة، فإن معدل سحب الهواء من البيت يجب أن يكون في حدود ٨ قدم^3 في الدقيقة لكل قدم مربع من مساحة البيت، مع افتراض أنه يسمح بفرق سبع درجات فهرنهيتية (حوالي أربع درجات مئوية) بين المروحة والوسادة، وأن المسافة بين المراوح والوسائد تزيد عن ١٠٠ قدماً (حوالي ٣٣ متراً). فإذا أخل بأي من هذه الشروط والفروض لزم استعمال معامل خاص لتصحيح المعدل اللازم لسحب الهواء من البيت عن المعدل المذكور وهو ٨ قدم^3/ دقيقة/ قدم^2 من مساحة البيت. وفيما يلي عرض لهذه الشروط والفروض، وكيفية تأثيرها على عملية التبريد.

١- منسوب البيت (ارتفاعه عن سطح البحر)

من الضروري زيادة معدل سحب الهواء من البيت عند ارتفاع منسوبة عن ١٠٠٠ قدم عن سطح البحر، لأن مقدرة الهواء على التبريد تعتمد على وزنه وليس على حجمه، علماً بأن كثافة الهواء تقل كلما ارتفعنا عن سطح البحر. ولهذا.. يجب استعمال معامل خاص لتصحيح المعدل اللازم لسحب الهواء من البيت يرمز له بالرمز (F_{elev}) ، أو معامل التصحيح الخاص بالمنسوب أو الارتفاع عن سطح البحر (جدول ١).

جدول (١): معامل التصحيح الخاص بالمنسوب أو الارتفاع عن سطح البحر (F_{elev})

الارتفاع عن سطح البحر (قدم)								
أقل من ١٠٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٣٠٠٠	٤٠٠٠	٥٠٠٠	٦٠٠٠	٧٠٠٠	٨٠٠٠
١,٠٠ F_{elev}	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 متقابلة. ويتوقف استخدام الحوائط المختلفة لهذا الغرض على أبعاد البيت، لأن المسافة بين الوسادة والمروحة يجب أن تكون في حدود ٣٣ – ٤٥ متراً. فإذا زادت المسافة عن ذلك يحتاج الأمر إلى مراوح ضخمة. وإذا نقصت المسافة عن ٣٣ م لا ينتشر الهواء المبرد في كل أرجاء البيت، بل يميل في حركته نحو مسار ضيق من الوسادة إلى المروحة. وتلزم في هذه الحالة زيادة سرعة سحب الهواء من البيت لتصحيح ذلك الوضع.

ويستخدم لذلك معامل خاص للتصحيح يرمز له بالرمز (F_{vel})، أو معامل التصحيح الخاص بالمسافة من الوسادة إلى المروحة (جدول ٢).

٣- شدة الإضاءة داخل البيت:

يحتاج الأمر إلى معامل تصحيح ثالث خاص بشدة الإضاءة داخل البيت عند اختلافها عن ٥٠٠٠ قدم – شمعة يرمز لها بالرمز (F_{light})، ويحصل عليه من جدول (٣).

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

يحتاج الأمر إلى معامل تصحيح رابع للفرق الذي يسمح به في درجة الحرارة بين الوسادة والمروحة، لأن المعدل القياسي لسحب الهواء – وهو ٨ قدم^3/ دقيقة/ قدم^2 من مساحة البيت – يأخذ في الاعتبار فرق 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 خاصة يرمز له بالرمز (F_{temp})، ويعرف باسم معامل التصحيح الخاص بالفرق المسموح به في درجة الحرارة بين الوسادة والمروحة، ويحصل عليه من جدول (٤).

جدول (٢) معامل التصحيح الخاص بالمسافة من الوسادة إلى المروحة (F_{vel})

المسافة (قدم)	معامل التصحيح	المسافة (قدم)	معامل التصحيح	المسافة (قدم)	معامل التصحيح
٢٠	٢,٢٤	٥٠	١,١٤	٨٠	١,١٢
٢٥	٢,٠٠	٥٥	١,٣٥	٨٥	١,٠٨
٣٠	١,٨٣	٦٠	١,٢٩	٩٠	١,٠٥
٢٥	١,٦٩	٦٥	١,٢٤	٩٥	١,٠٢
٤٠	١,٥٨	٧٠	١,٢٠	١٠٠	١,٠٠
٤٥	١,٤٨	٧٥	١,١٦		

جدول (٣): معامل التصحيح الخاص بشدة الإضافة داخل الصوبة (F_{light})

شدة الإضاءة (قدم – شمعة)									
	٤٠٠٠	٤٥٠٠	٥٠٠٠	٥٥٠٠	٦٠٠٠	٦٥٠٠	٧٠٠٠	٧٥٠٠	٨٠٠٠
F_{light}	٠,٨٠	٠,٩٠	١,٠٠	١,١٠	١,٢٠	١,٣٠	١,٤٠	١,٥٠	١,٦٠

جدول (٤): معامل التصحيح الخاص بالفرق المسموح به في درجة الحرارة داخل البيت بين المروحة والوسادة (F_{temp}).

الفرق المسموح به في درجة الحرارة (ْف)							
	١٠	٩	٨	٧	٦	٥	٤
(F_{temp})	٠,٧٠	٠,٧٨	٠,٨٨	١,٠٠	١,١٧	١,٤٠	١,٧٥

حساب احتياجات البيت من المراوح والوسائد ومياه التبريد:

يتم حساب احتياجات البيت من المراوح والوسائد بالخطوات التالية:

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

معدل سحب الهواء من البيت تحت الظروف القياسية بالقدم المكعب في الدقيقة
= طول البيت × عرض البيت × ٨

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

(أ) معامل التصحيح الخاص بالمسافة من الوسادة إلى المروحة (F_{vel})

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

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

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

٣- يتم بعد ذلك اختيار المراوح بالعدد والقدر المناسبين. وتثبت المراوح في جدار البيت المقابل للوسائد، بحيث لا تزيد المسافة بين كل مروحتين عن ٢٥ قدماً، وأن يكون توزيعها متجانساً على امتداد البيت، وعلى ارتفاع واحد من سطح الأرض، على أن يكون مركزها في مستوى منتصف النمو النباتي للنباتات المرباة رأسياً.

٤- تحسب مساحة الوسائد اللازمة على أساس أن كل ٢٥٠ قدم مكعب من الهواء المسحوب من البيت في الدقيقة يلزمه قدم مربع من الوسائد الحديثة بسمك ١٠ سم (يزداد هذا المعدل بمقدار الثلثين عند استعمال وسائد القش وبري الخشب... الخ) ونظراً لأن الوسائد يجب أن تمتد بكامل جدار البيت، لذا فإن عرضها يتوقف على المساحة اللازمة منها، كما يمكن التحكم في العرض باختيار السمك المناسب.

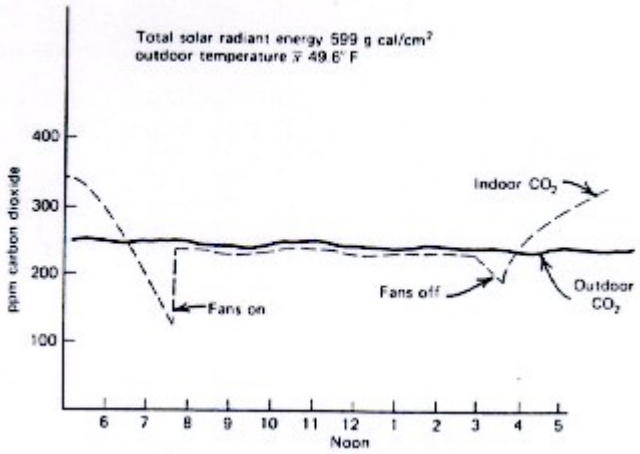
٥- تزود الوسائد بالماء بمعدلات تزيد عن القدر المتبخر منها، حتى لا تتراكم بها الأملاح. والمعدل المناسب هو ٣/١ جالون في الدقيقة لكل قدم طولي من الوسادة (أو حوالي ٠,١٥ لتر / ثانية / متر طولي)، بغض النظر عن عرضها (ارتفاعها). ويعني ذلك أنه لو كان طول الوسادة ٧٥ قدماً، فإنه يلزم ضخ الماء بمعدل ٢٥ جالوناً في الدقيقة. ويجب أن يتسع الخزان لـ ١,٥ جالون من الماء لكل قدم طولي من الوسادة حتى يمكنه استيعاب كل الماء الذي يمر في الوسادة عند توقف التبريد. كما يجب توفير مصدر دائم للماء، نظراً لتبخر جزء منه في عمليات التبريد. ويتحقق ذلك بإيصال خزان الماء بأنبوبة ماء ذات صمام مزود بعوامة، علماً بأنه يمكن أن يتبخر جالون من الماء في الدقيقة لكل ١٠٠ قدم^{٢} من الوسادة في يوم حار جاف.

ثانياً: التهوية

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

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

٢- تؤدي التهوية إلى تجديد هواء البيت، فيمكن بذلك المحافظة على التركيز الطبيعي لغاز ثاني أكسيد الكربون، لان تركيز الغاز يقل سريعاً في البيوت غير الجيدة التهوية لاستنفاذه من قبل النباتات في عمليات البناء الضوئي. (شكل ٧)



٣- غالباً ما تصل الرطوبة النسبية داخل البيوت المحكمة الغلق إلى درجة التشبع. وتحت هذه الظروف يزداد انتشار الأمراض، كما يزداد تكثف قطرات الماء على الجدر الداخلية للبيت في الجو البارد. ولا توجد وسيلة فعالة لإحداث خفض ملموس في الرطوبة النسبية إلا بالتهوية الجيدة، وبذلك فإنها تقلل من فرصة انتشار الأمراض، وتؤدي إلى التخلص من ظاهرة تكثف قطرات الماء وسقوطها على النباتات.

التهوية من خلال منافذ خاصة في الجدران والأسقف

تعتبر أبسط طرق التهوية هي بعمل فتحات خاصة في جدران أو أسقف البيوت المحمية يتم من خلالها تغيير هواء البيت بطريقة طبيعية، حيث يخرج الهواء الداخلي الدافئ الذي يتجمع قرب سقف البيت من الفتحات العلوية ليحل محله الهواء الخارجي البارد من الفتحات الجانبية. والقاعدة في هذه الطريقة للتهوية أنه لكما ازداد اتساع الفتحات، ازدادت سرعة خفض درجة الحرارة داخل البيت، وأمكن المحافظة عليها في المجال المناسب للنمو النباتي. ولتحقيق ذلك يجب ألا تقل مساحة فتحات التهوية عن ١٧% من مساحة البيت. ففي المناطق المعتدلة يجب أن تتسع فتحات التهوية، وتمتد ما بين شرائح البلاستيك المغلقة للبيت. أما في المناطق الحارة، فإن فتحات التهوية يجب أن يزداد اتساعها وتتوزع في جوانب البيت والأسقف، أما في المناطق الباردة التي تنتشر فيها البيوت الزجاجية من النوع الجمالوني المتناظر الانحدار على جانبي البيت، فإن فتحات التهوية توجد غالباً في قمة البيت على جانبي الجمالون. وأيا كان موضع واتساع فتحات التهوية، فإنه يجب غلقها عند اشتداد الرياح، حتى لا تحدث تيارات هوائية شديدة داخل البيت قد يترتب عليها حدوث بعض الأضرار. أما في حالة الرياح الخفيفة، فإنه يمكن تشغيل فتحات التهوية في جانب البيت غير المواجه للرياح.

وعند الرغبة في عدم دخول الحشرات إلى البيت من فتحات التهوية، فإن الفتحات تغطي بشباك خاصة.

ويتم التحكم في فتح وغلق فتحات التهوية بإحدى الطرق الآتية:

١- يدوياً بفتح أو غلق الأبواب أو فتحات التهوية الكبيرة.
٢- يدوياً بإدارة عجلة خاصة تتصل مع فتحات التهوية بأسلاك أو بتروس.
٣- آلياً حيث يتم توصيل فتحة التهوية بمنظم الحرارة الذي يعمل على تشغيل جهاز منافذ التهوية عند ارتفاع درجة الحرارة داخل البيت إلى الحد الأقصى المسموح به.

التهوية بنظام المنافذ والمراوح:

يتبع نظام المنافذ والمراوح للتهوية في البيوت الكبيرة التي لا تفيد معها منافذ التهوية العادية، خاصة في الجو الحار. وتستخدم لأجل ذلك مراوح كبيرة تعمل على طرد الهواء الدافئ خارج البيت من أحد الجانبين ليحل محله هواء خارجي بارد من المنافذ التي توجد في الجانب الآخر. تظل المنافذ

مفتوحة طول الوقت في الجو الحار، بينما يتم توصيل المراوح بمنظم الحرارة الذي يتحكم في تشغيلها عند وصول درجة الحرارة داخل البيت إلى الحد الأقصى المسموح به.

وللحصول على أعلى كفاءة ممكنة يجب أن تكون المراوح المستخدمة قادرة على سحب كل هواء البيت بمعدل مرة في الدقيقة، ويفضل استخدام المراوح ذات السرعتين. أما منافذ التهوية، فيجب أن تكون مساحتها ٤ – ٥ أضعاف مساحة المراوح المستخدمة على الأقل. يتبع هذا النظام عادة في البيوت الكبيرة المجهزة بوسائل التبريد بالمروحة والوسادة، حيث يكتفي فيها بتشغيل المراوح فقط خلال فصل الشتاء حينما تكون درجة الحرارة معتدلة في الجو الخارجي، بينما يتم تشغيل نظام التبريد في الجو الحار.

التهوية بنظام الأنبوبة البلاستيكية

تستخدم في هذا النظام أنبوبة من البوليثيلين بقطر ٥٠ – ٧٥ سم تتدلى من سقف البيت بطوله أعلى مستوى النباتات. توجد بهذه الأنبوبة ثقوب صغيرة على الجانبين في الجهة السفلية يخرج منها الهواء ليتوزع في أرجاء البيت، وهي مسدودة من أحد طرفيها، ومفتوحة من الجانب الآخر على المنفذ الذي يأتيها منه الهواء.

التهوية في الجو البارد:

يفضل اتباع نظام الأنبوبة البلاستيكية للتهوية في الجو البارد، حيث يكون الهواء الخارجي بارداً بدرجة قد تضر بالنباتات القريبة من فتحات التهوية. ولتلافي ذلك يسمح لهذا الهواء بالدخول إلى الأنبوبة البلاستيكية أولاً، حيث يوزع منها بالتدريج في جميع أرجاء البيت.

تثبت مروحة كبيرة ساحبة للهواء في جانب من البيت، بينما يوصل أحد طرفي الأنبوبة البلاستيكية بفتحة في جانب آخر. ويؤدي تشغيل المروحة إلى توليد تفريغ داخل البيت، فيندفع الهواء بالتالي من خارج البيت خلال الفتحة المطلة على الأنبوبة البلاستيكية لتنتفخ الأنبوبة بالهواء الخارجي البارد الذي يخرج من خلال الفتحات الصغيرة ليوزع بالتدريج في جميع أرجاء البيت.

هذا وتغطي الفتحة الخارجية بـ "ريش" خاصة تثبت في إطار خشبي في جدار البيت، وتتصل الأنبوبة البلاستيكية بهذا الإطار من الناحية الداخلية للجدار ويتم فتح هذه "الريش" بمجرد اندفاع الهواء من خلالها إلى داخل الأنبوبة البلاستيكية. وقد يتحكم قفل خاص في فتحها وغلقها، ويتم تشغيله بواسطة منظم الحرارة، حيث يفتح مع تشغيل المروحة في آن واحد. وليس لموقع المروحة الساحبة للهواء أهمية كبيرة، نظراً لأن كل وظيفتها هي توليد تفريغ داخلي طفيف يسمح باندفاع الهواء إلى داخل الأنبوبة البلاستيكية.

التهوية مع المحافظة على تجانس درجة الحرارة داخل البيت

يمكن استخدام نظام الأنابيب البلاستيكية في المحافظة على تجانس درجة الحرارة داخل البيت مع إجراء التهوية في 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 دائماً مملوءة بالهواء.

ففي حالة التهوية يؤدي تشغيل المروحة الساحبة للهواء إلى إحداث تفريغ جزئي في البيت، فيندفع الهواء من خلال الفتحة التي توجد في جدار البيت (والتي تكون مغطاة بريش خاصة تفتح عند اندفاع الهواء من خلالها) لتتلقفه المروحة القريبة المثبتة في طرف الأنبوبة البلاستيكية، وتدفعه داخل الأنبوبة ليتوزع في جميع أرجاء البيت. ويجب أن تكون قدرة المروحة الدافعة للهواء إلى داخل الأنبوبة مساوية لقدرة المروحة الساحبة للهواء من البيت، وإلا تدفق جزء من الهواء الخارجي البارد للداخل إلى البيت على أسفل نحو النباتات، بدلا من سحبه على داخل الأنبوبة البلاستيكية.

أما عندما لا تعمل المروحة الساحبة للهواء داخل البيت (أي عندما ل اتكون هناك حاجة للتهوية)، فإن المروحة الدافعة للهواء إلى داخل الأنبوبة البلاستيكية (والتي تعمل باستمرار) تؤدي على تحريك هواء البيت باستمرار، محققة المزايا الآتية:

١- تجانس درجة الحرارة داخل البيت بتحريك الهواء الدافئ الذي يتجمع أعلى البيت، ومنه تكتل الهواء البارد حول النباتات.
٢- تحريك غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يقل تركيزه حول النبات.
٣- تقليل فرصة الإصابة بالأمراض بتقليل الرطوبة النسبية حول الأوراق.

خطوات لتحسين كفاءة نظام التبريد

١- يجب إزالة الأعشاب والفطريات التي تنمو على سطح الوسائد وذلك للمساعدة في حرية الحركة الهواء من الوسائد وليس عن طريق الفتحات الأخرى وذلك بإضافةAlgaecides, Pesticides, Fungicides مع الماء المستخدم.

٢- يجب إزالة الأملاح المتراكمة لأنها تعيق حركة الهواء. (ارتفاع نسبة الكالسيوم لا نؤثر كثيرا وارتفاع كلوريد الصوديوم عن 5000 ppm يؤدي إلى تراكم الأملاح على الوسائد.

٣- يجب تنظيف الفلتر المستخدم في خزان الماء أولا بأول.

٤- يجب الاهتمام بتنظيف ماء الخزان ولا بد من التخلص من الماء عند ملاحظة الاتساخ.

٥- يجب الاهتمام بصيانة المضخة من حيث التوصيلات الكهربائية في حالة استخدام مضخات الديزل.

٦- لابد من تغطية خزان الماء حتى لا تنمو الفطريات والطحالب عليها(تعامل ببعض المبيدات مثل gribron او Physan .

وللحد من نمو الفطريات يجب اتباع الآتي:

- عدم استخدام الماء من البرك الراكدة.
- استخدام الماء النظيف (ماء الشرب).
- منع الحيوانات من شرب الماء.

٧- يجب التأكد من كفاءة عمل المراوح. ولذلك يجب فحص السيور والموتور.

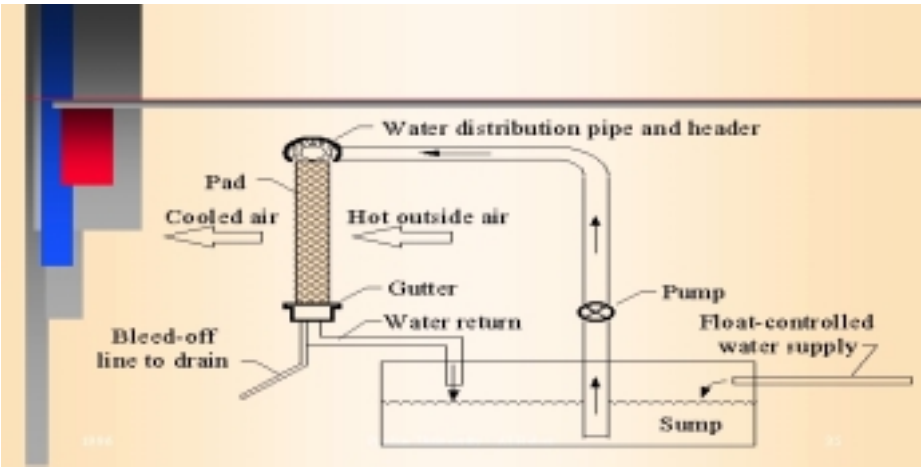
٨- التأكد من سلامة الترموستات.

٩ - إمكانية تظليل الوسائد من الشمس.

١٠- تترك المراوح تعمل لفترة حتى بعد غلق الرشاشات للمساعدة على تجفيف الوسائد وذلك للقضاء على الفطريات.

١١- استخدام الأغشية الخاصة للوقاية من الحشرات.

١٣-التخلص من جزء من ماء الخزان وذلك بتقليل تركيز الأملاح على الوسائل Bleeding off (شكل ٨) .



والخلاصة ان الزراعة المحمية في المنطقة العربية تتسم بالإنتاج المكثف و الاعتماد على العمالة اليدوية. كما تتسم باعتمادها على البلاستيك كمادة لحماية النباتات أكثر بكثير من اعتمادها على الزجاج. و توجه معظم الزراعة المحمية في الوطن العربي إلى إنتاج الخضار و قليل من شتلات و أشجار الفاكهة و نباتات الزينة في الغالب الأعظم للأسواق المحلية.
وقد وصلت الزراعة المحمية إلى قدر مناسب من التطور في بعض الدول العربية إلا أن هناك كثيار من الدول العربية في حاجة إلى تطوير زراعتها المحمية.

المراجع :

١. Mastarlez, J.W.1977. The greenhouse Environment. J.Wiley & Sons.N.Y.
٢. Nelson. V.1995.Greenhouse Operation and Management . 3rd.edition.Prentice Hall.USA.
٣. حسن ، احمد عبدالمنعم . ١٩٩٠.تكنولوجيا الزراعات المحمية (الصوبات) . الدار العربية للنشرز القاهرة.
٤. الدجوي ، علي. ١٩٩٩ . تادليل التطبيقي للزراعات المحمية . مكتبة مدبولي . القاهرة .
٥. ابراهيم ، محمد حلمي .١٩٩٧. تهوية المنشات الزراعية (مترجم).جامعة الملك سعود . السعودية