تبريد البيوت المحمية بالنظام المغلق للهواء للأنابيب الأرضية

عبد الرحمن عثمان الغنام[١] ، عماد الدين حكمى[٢] ، ، إبراهيم محمد الهلال[٣]

الملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة استخدام النظام المغلق للهواء خلال الأنابيب الأرضية في تبريد البيوت المحمية. وقد تم تحقيق ذلك من خلال دراسة حقلية باستخدام الأنابيب الأرضية في ظل الظروف المناخية الجافة والحارة للمنطقة تحت الدراسة. تم تركيب وإنشاء بيت محمي إهليجي أو نصف دائري الشكل و ملحقاته بالمواصفات الهندسية المناسبة لمكان التجربة. وكانت أهم النتائج هي أنة لا يمكن لنظام التبريد الأرضي بالأنابيب البلاستيكية المغلقة أن يستخدم مستقلاً لتبريد البيت المحمي للوصول إلى درجة الحرارة الملائمة لنمو النبات و يمكن استخدامه في خفض استهلاك الطاقة. وكان أداء نظام التبريد باستخدام الأنابيب البلاستيكية الأرضية قادراً على خفض درجات الحرارة في فصل الصيف حيث قام بخفض درجة الحرارة من ٤٠.٧٩ºم إلى ٦٨.٦ ºم أي بمقدار ١٠.٧٣ºم. وأيضا يمكن أن يستخدم نظام الأنابيب الأرضية مستقلا عندما في فصل الخريف والربيع في حالة الأجواء المعتدلة. وتوصى الدراسة بتطوير تصميم البيت المحمي وذلك بدفن الأنابيب تحت البيت المحمي وذلك لاستغلال المساحة وتقليل عدد المواسير والفقد في درجات الحرارة.

المقدمة

تعرف الزراعة المحمية بأنها إنتاج المحاصيل الزراعية بوسائل غير تقليدية في منشآت خاصة بغرض حمايتها من الظروف الجوية غير المناسبة لضمان عملية التدفئة شتاءً أو التبريد صيفاً وكذلك حماية النباتات من التيارات الهوائية الباردة والساخنة والآفات الزراعية، وتعد الزراعة المحمية أسلوباً متطوراً وعاملاً فاعلاً في زيادة الإنتاجية الزراعية من المحاصيل الزراعية كماً ونوعاً. تستخدم البيوت المحمية بغرض التحكم في العوامل البيئية الملائمة لنمو المحصول مثل درجة الحرارة والرطوبة النسبية وكمية ونوعية الإضاءة وغاز ثاني أكسيد الكربون. للزراعة المحمية مميزات هامة تسهم في التوجه لاستخدام هذه التقنية في الزراعة بالمملكة العربية السعودية لإنتاج محاصيل الخضار و الزينة في غير مواسمها ووقت انعدامها في الأسواق، جودة الإنتاج، خفض الخسائر الناتجة من تغير الأحوال الجوية، رفع إنتاجية الوحدة من المساحة و السماح بوضع برنامج دقيق للإنتاج مما يسهل معه عمليات التسويق. تعتبر الزراعة المحمية إحدى الطرق الحديثة لزيادة الإنتاج النباتي خصوصاً في مجال إنتاج محاصيل الخضر و الزينة على مدار العام وذلك بالاستخدام الأمثل للموارد الطبيعية المتاحة وتحسين العوامل البيئية المحيطة بالنبات

١- استاذ مساعد بقسم هندسة النظم الزراعية، كلية العلوم الزراعية و الأغذية، جامعة الملك فيصل
٢- طالب دراسات عليا بقسم هندسة النظم الزراعية، كلية العلوم الزراعية و الأغذية، جامعة الملك فيصل.
٣- استاذ هندسة المنشآت الزراعية والتحكم البيئى قسم الهندسة الزراعية، كلية علوم الأغذية والزراعة و الأغذية، جامعة الملك سعود

و ضبطها والتغلب على المشكلات التي تواجه الزراعة المكشوفة خصوصاً في ظروف المملكة البيئية القاسية مما يؤدي إلى تحقيق الأمن الغذائي في مجال الإنتاج الزراعي و توفير كمية ونوعية مميزة من المحاصيل الزراعية على مدار السنة وخاصة تلك التي لا تساعد الظروف البيئية زراعتها بطريقة الزراعة المكشوفة.

تم تخصيص الكثير من الدراسات والأبحاث لتحسين وتطوير بيئة البيوت المحمية بغرض توفير الظروف البيئية الملائمة لنمو المحاصيل المختلفة في هذه المنشآت وأصبح الاهتمام برفع الكفاءة والتحكم في بيئة النبات يهم جميع الباحثين في التخصصات الاقتصادية والهندسية والعلمية المختلفة. من أكبر المشاكل الرئيسية التي تواجه بيئة البيوت المحمية هي إرتفاع درجة الحرارة أثناء ساعات النهار خلال فصلي الربيع والصيف مما يتطلب تبريد البيوت خلال هذه الفترة و التي تتراوح بين ٤ إلى ٦ أشهر. وعليه فإن بحث إمكانية إيجاد مصدر بديل أو مكمل لتبريد البيوت المحمية باستخدام الهواء المار في أنابيب أرضية و يناسب المناخ الصحراوي السائد في المملكة يصبح أمراً في غاية الأهمية. إن الهدف الأساسي من تصميم البيوت المحمية هو حماية النباتات من الظروف المناخية القاسية وذلك لتفادي الأثر السلبي لإرتفاع درجة الحرارة على نمو النبات. إن التأثير السلبي لدرجات الحرارة العالية في فصل الصيف له تأثير مباشر على تشغيل البيوت المحمية و كمية الإنتاج كما أن عملية التحكم غير الجيدة لدرجة الحرارة تؤدي إلى إنتاج محاصيل ذات نوعية متدنية (Dole and Wilkins, 1999). يعتبر الإشعاع الشمسي من أهم المتغيرات في بيئة البيت المحمي المؤثرة على نمو النبات. عندما تسقط أشعة الشمس على مادة غطاء البيت المحمي فإن جزء من الإشعاع قد ينعكس وجزء قد يمتص والجزء الأكبر قد ينفذ خلال مادة الغطاء Albright (1990). و عليه فإن نوع مادة الغطاء للبيت المحمي يلعب دوراً هاما في كمية الأشعة الشمسية المنعكسة،الممتصة أو النافذة والتي بدورها تمد البيت المحمي بالضوء والحرارة.

إن البيئة المغلقة للبيت المحمي تعمل على خفض مستوى ثاني أكسيد الكربون تحت المعدل الطبيعي إلى حد بعيد وقد أثبتت البحوث أن مستوى ثاني أكسيد الكربون بين ١٥٠-٢٠٠ جزء بالمليون يقلل من عملية التمثيل الضوئي حيث أن مستوى ثاني أكسيد الكربون ينخفض في البيت المحمي المغلق خصوصاً في اليوم الصحو أو المشمس نسبةً لأن عملية التمثيل الضوئي تستهلك ثاني أكسيد الكربون الموجود في حالى عدم وجود تعويض لهذا الغاز Takakura (1993). لا يمكن التغلب على هذه المشكلة بتوزيع الهواء بواسطة مروحة داخل البيت المحمي و في حالة عند استمرار انخفاض معدل ثاني أكسيد الكربون عن المستوى المطلوب يجب استخدام مصدر خارجي لإكمال النقص. أما في حالة التهوية خلال فترة الربيع والصيف فهي كفيلة بإعادة مستوى تركيز ثاني أكسيد الكربون إلى مستواه الطبيعي Albright (1990). من جهة أخرى فإن زيادة مستوى ثاني أكسيد الكربون بين ٨٠٠-١٠٠٠جزء بالمليون يعمل على زيادة كمية الإنتاج للنبات Kimball (1986) إلا أن التنفس وجد أنه يقل بمقدار ٧% عندما يرتفع ثاني أكسيد الكربون عن ١٢٠٠ جزء بالمليون (Nederhoff and De Graaf, 1993). كذلك وجد Enoch (1990) أن مستوى ثاني أكسيد الكربون المرتفع إلى ١٠٠٠ جزء بالمليون وأكثريؤدي إلى زيادة معدل امتصاص ثاني أكسيد الكربون بين الورقة والهواء المحيط بشرط أن

لا يكون الضوء هو العامل المحدد ويؤثر في زيادة كمية المحصول. بحوث أخرى أدت إلى نتائج مماثلة منها (Ioslovich et al. 1995) و (Hand, 1982; Nederhoff, 1988)
أثبتت تجارب عديدة أن زيادة مستوى ثاني أكسيد الكربون في البيت المحمي يؤدي إلى زيادة في المحصول. فقد أثبت Hand (1982) أن ثاني أكسيد الكربون في حدود ١٠٠٠ جزء بالمليون زاد من كمية المحصول بحوالي ٢٠ - ٤٠ %. من ناحية أخرى فإن نسبة ثاني أكسيد الكربون التي تزداد في البيت المحمي أثاء الليل بسبب عملية التنفس تستهلك أثناء النهار في عملية التركيب الضوئي. لذلك فإن إجراءات زيادة ثاني أكسيد الكربون أكثر فعالية وقت الشتاء عندما يكون البيت المحمي مغلق والزيادة في الإنتاج تستمر بإثراء ثاني أكسيد الكربون. أما التبريد في الربيع والصيف فإن مستوى ثاني أكسيد الكربون يتدنى إلى المستوى الخارجي وهو ٣٣٥ جزء بالمليون بسبب عملية التهوية الخارجية بينما نجد أن استخدام أنظمة الأنابيب الأرضية التبريد لغرض تبريد البيوت المحمية يبقي على كمية ثاني أكسيد الكربون عالية.
يتأثر نمو وتطور النبات بشكل ملحوظ أيضا بالرطوبة النسبية في البيئة المحيطة حيث أن الرطوبة النسبية تتحكم بمعدل النمو وإنتاج النباتات وتركيبها Tobbitts (1979). كذلك فإن الرطوبة لَها علاقة مباشرة بأمراض النباتات Hanan (1998). إن مدى الرطوبة النسبية من ٥٥- ٩٠ % عند ٢٠ºم له تأثير طفيف على الناحية الفسيولوجية للنبات (Grange and Hand, 1987). ومع ذلك فان الرطوبة المنخفضة جداً قَد تَزِيد من معدل التنفس التي بدورها تؤثر على مستوى الماء على الأوراق ويسبب عجز في عملية التمثيل الضوئي. في بعض الحالات فإن انخفاض الرطوبة يمكن أن يحدث الذبُول ويثبط من عملية التمثيل الضوئي El-Sharkawy et al. (1986). تجدر الإشارة إلى أن عملية التهوية في البيت المحمي تهدف إلى التحكم في درجة الحرارة و ذلك فإن زيادة أو نقصان الرطوبة النسبية لا تؤثر في درجة الحرارة . إضافةً إلى أن السطح البارد للبيت المحمي يعمل كحافظ لتشبع لرطوبة و على الرغم من أهمية توازن الكتلة في البيت المحمي لكن نادراً ما تؤخذ هده الأشياء في عملية تصميم نظام التحكم البيئي داخل البيوت المحمية Albright (1990).
يعتبر تبريد البيوت المحمية ضرورة لا غنى عنها خصوصاَ خلال شهور الصيف في منطقة الأحساء بالمملكة العربية السعودية حيث يزيد معدل الحرارة الشهري على ٤٩ºم أو أكثر في بعض المناطق، وهذا يؤدي إلى صعوبة إنتاج معظم المحاصيل الزراعية فضلاً عن انخفاض الرطوبة النسبية في المناطق البعيدة عن السواحل إلى أقل من ١٠% وهو دون الحد المناسب لنمو النبات والتلقيح وعقد الثمار. لذلك لا بد من خفض درجات الحرارة داخل البيوت المحمية ورفع الرطوبة النسبية لتهيئة الظروف المناسبة للنباتات. والطريقة الشائعة والأكثر استخداماً في المملكة لتبريد البيوت المحمية هي طريقة التبريد التبخيري بنظام الوسائد والمراوح حيث يعتمد التبريد في هذا النظام على طريقة تبخر الماء من الوسائد المبللة بالماء وسحب أو دفع الهواء بواسطة المراوح خلال تلك الوسائد. هذا النظام ذو كفاءة عالية إلى حد ما فلقد نجح نظام تبريد البيت المحمي التبخيري إلى حدً كبير في إبقاء درجة حرارة البيت المحمي إلى المستوى المطلوب كما أشار إلى ذلك Chao and Gates (1996) علاوة على ذلك فإن الأنظمة المتوفرة حالياً كافية لضمان بيئة جيدة ولكن مازالت هنالك حاجة لحفظ الطاقة وتحسين النمو

والإنتاج خصوصاً في أجواء مثل ظروف الأحساء والمملكة بشكل عام حيث تشتد الحاجة إلى توفير المياه والطاقة مع وجود درجات الحرارة العالية ومن أهم مشاكل هذه الطريقة انخفاض كفاءة التبريد والذي يرجع إلى زيادة الملوحة في المياه المستخدمة ونمو الطحالب و انسداد وتلف الوسائد مما يسبب مقاومة لتيار الهواء. فعند انسداد الوسائد جزئياً أو كلياً سوف يؤدي هذا إلى قله أو عدم مرور الهواء في الوسائد وبالتالي تتدنى الملامسة بين الهواء والماء مما يخفض من عملية التبخير والتي بدورها تؤدي إلى انخفاض كفاءة عملية التبريد. لقد أشار البراهيم وآخرون (٢٠٠٢) أن الترسبات في وسائد التبريد أدت إلى ارتفاع درجات حرارة البيت المحمي إلى نحو ٣٠ إلى ٥١°م والرطوبة النسبية إلى نحو ٨ إلى المدى ٣٠%. لكن عند تغيير هذه الوسائد المتكلسة بوسائد جديدة فقد تحسنت درجات حرارة البيت المحمي إلى نحو ٢٨ إلى ٣٢°م والرطوبة النسبية إلى نحو ٣٩ إلى ٤٤% وهذا يعني أن كفاءة وسائد التبريد ارتفعت بنسبة ٧٣% و أن استهلاك مراوح التبريد للطاقة الكهربائية إنخفض ببنسبة ٢٢% عما كان عليه الحال في وسائد التبريد المتكلسة. بالإضافة إلى ذلك فإن نظام التبريد بالتبخير هو نظام مفتوح لا يمكن إجراءه تحت ظروف زيادة مستوى ثاني أكسيد الكربون.

إن الأنابيب الأرضية هي وسيلة تمكن من انتقال الحرارة (التبادل الحراري) بين الهواء الذي يسري خلالها وطبقات عميقة في التربة. كما هو معلوم فأن درجة حرارة التربة عند أعماق بعيدة تظل ثابتة ومناسبة على مدار السنة في معظم الترب ولذا فإن استخدام الهواء الساري خلال الأنابيب تحت الأرضية يعمل على التحكم في التحكم درجة حرارة الهواء داخل البيت المحمي. لقد عرف نظام تبريد الهواء خلال الأنابيب الأرضية بواسطة المبادلات الحرارية الأرضية من عدّة سنوات على مقدرته و إمكانيته على رفع وخفض درجة الحرارة داخل البيوت المحمية و كذلك خفض كمية الطاقة المستهلكة في عملية التبريد والتدفئة داخل البيوت المحمية Sharan *et al.*(2004).

هنالك دراسات عديدة اشتملت على استخدام الأنابيب الأرضية كنظام في التحكم بدرجة الحرارة داخل البيت المحمي، فقد قام Al-Ajmi *et al.*(2006) بعمل نمذجة لأنابيب تحت أرضية بطول ٦٠م وعمق ٣م لتبريد بيت سكني في دولة الكويت حيث وجد أن النظام عمل على خفض درجة الحرارة بمقدار ٢.٨°م في منتصف شهر يوليو. دراســـة أخرى في الهند قام بها Sharan *et al.*(2004) حيث قاموا وبتشغيل النظام أثناء فترة الصيف ووجدوا أنه يعمل على خفض درجة الحرارة داخل البيت المحمي أقل من درجة حرارة الهواء الخارجي بنحو ٧°م والتي تمثل ٤٠ % من التبريد، كما أعطت النتائج أيضاً تقليل ٣٤ % من ماء الري والزيادة في كمية المحصول نحو ٢.٧ مرة مقارنة بالحقل المفتوح نتيجة لثبات معدل ثاني أكسيد الكربون.

في اليابان، قام كلاً Qingysuan *et al.*(1994) و Ishihara and Zhaug.(1992) بدراسات تجريبية باستعمال التبريد عن طريق الأنابيب الأرضية، حيث أوضحت النتائج أنه قد حدث خفض لدرجة الحرارة الداخلية للبيت بأكثر من ١°م.

هناك العديد من الباحثين وجدوا أن متوسط درجات الحرارة داخل البيت المحمي أقل بنحو ٥ - ٦ °م من الهواء الخارجي في الصيف. تــم العديد من الدراســات في مناطــق مختلفة من العــالم حيث توصلــوا إلى نجــاح كبيــر نسبيا ومنها Sodha *et al.* (1985) و Sawhney *and Buddhi.* (1999)

و Kittas *et al*. (2001); Lee and Short (2001). ومما يميز النظام المغلق هو مقدرته على الإحتفاظ بمعدل ثاني أكسيد الكربون بعد عملية الإثراء.

إنّ خفض درجة الحرارة وتقليل استهلاك الطاقة في البيوت المحمية يعتبران من الأهداف الرئيسة في كثير من البلدان ويعتبر تحدي كبير أمام مناخ المناطق الصحراوية، حيث يوصف مناخ الصحراء بأنه حار وجاف جداً و بارد شتاءاً وهو يمثل العديد من المناطق في كافة أنحاء العالم. و تعتبر واحة الأحساء بالمملكة العربية السعودية إحدى هذه المناطق، حيث تكون درجة حرارة البيئة المتوسطة حوالي ٤٥°م أثناء شهور الصيف. وبما أن أكثر المحاصيل تنمو وتتطور داخل البيوت المحمية في درجات حرارة بين ٢٢ و ٢٧°م ورطوبة نسبية ضمن مدى ٤٠-٧٥ %، فإن مثل هذه الظروف يجب يتم السيطرة عليها من خلال استعمال وسائل التبريد المختلفة في المناخ الصحراوي. وعلية فإن طرق تخفيض هذا الطاقة مطلب مهم وضروري من حيث المنافع الاقتصادية والبيئية ، خاصة في الفترة من بداية شهر أبريل حتى نهاية شهر أكتوبر حيث يستهلك من هذه الطاقة حول ٧٥-٨٠ % من الطاقة الكهربائية التشغيلية للبيوت المحمية، وبشكل خاص عملية التبريد.

تهدف الدراسة الحالية إلى بحث إمكانية استخدام الهواء الذي يسري خلال أنابيب أرضية Earth Tube Heat Exchangers (ETHE) في نظام مغلق بغرض تبريد بيت محمي خلال أيام الصيف الحارة تحت الظروف المناخية الصحراوية لواحة الإحساء بالمملكة العربية السعودية

المواد و الطرق

تم إجراء هذه الدراسة خلال ثمانية أيام متتالية في نهاية شهر أغسطس ٢٠٠٧م في واحة الإحساء في الجنوب الشرقي للمملكة العربية السعودية، التي تشغل الجزء الجنوبي من المنطقة الشرقية حيث تمتد تقريباً، ما بين خطي العرض ٢٥/٢١° - ٢٥/٣٧ ° شمالاً وخطي الطول ٤٩/٣٣° - ٤٩/٤٦ ° شرقاً. وتحديداً في مقر محطة الأبحاث والتدريب الزراعية التابعة لجامعة الملك فيصل في محافظة الإحساء. تتسم واحة الإحساء بالمناخ القاري حيث التطرف الشديد في درجات الحرارة صعودا وهبوطا، شأنه في ذلك ما هو سائد في معظم مناطق المملكة الصحراوية.

كما أن مناخ الواحة ذو صيف طويل يبدأ في شهر أبريل ويستمر حتى شهر نوفمبر، وتصل درجة الحرارة إلى٤٤°م في شهري يوليو وأغسطس، وفي فصل الشتاء تنخفض إلى نحو ٥.١٥°م في شهر يناير، وقد تنخفض ويظهر الصقيع في ساعات الصباح الباكر، ومتوسط درجة الحرارة السنوي يبلغ ٥.٢٦°م

قبل البدء في تصميم نظام الأنابيب الأرضية للبيت المحمي في هذه الدراسة تم قياس درجة الحرارة للتربة في موقع الدراسة حيث تمت هذه القياسات على فترات مختلفة منها عامي ٢٠٠٣ م و٢٠٠٤ م على أعماق مختلفة وذلك عن طريق تسجيل درجات الحرارة على أعماق مختلفة و ذلك باستخدام مجسات دقيقة موصلة لمسجل بيانات ماركة HOBO Data Logger و الذي تسوقه شركةَ Qnset Technical Support, USA. تمت عملية مسح للنماذج الرياضية

لمحاكاة درجات الحرارة تحت سطح التربة على أعماق مختلفة. وتتشابه معظم هذه النماذج الرياضية في المعادلات الأساسية فالحرارة الجوية والتحت أرضية عبارة عن منحنى جيبي وتختلف فقط في المتغيرات الأخرى. أوضحت النتائج أن درجة حرارة التربة على عمق ١-٣ متر تحت سطح الأرض كانت في شكل منحنى جيبي نسبة لتباين درجات الحرارة خلال شهور السنة و أن درجة حرارة التربة على هذا العمق كانت شبه مستقرة خلال فصلي الصيف و الشتاء. وقد تراوحت درجات الحرارة خلال فصل الصيف بين ٣٢ – ٣٥ درجة مئوية و بين ١٩-٢٠ درجة مئوية خلال فصل الشتاء (Alghannam, 2010). تم تركيب وإنشاء بيت محمي غوطي الشكل و ملحقاته بالمواصفات الهندسية المناسبة بمكان التجربة بطول ٢٩.٢ م، عرض ٩.٢ م، و إرتفاع ٣.٥ م. صممت التجربة على ضوء الأهداف الرئيسة للبحث حيث تم عمل حفرة ذات طول ٢١م وعرض ٩م و عمق ٣ م كما هو موضح بالصورة ١.

صورة ١ : إحدى مراحل الحفر

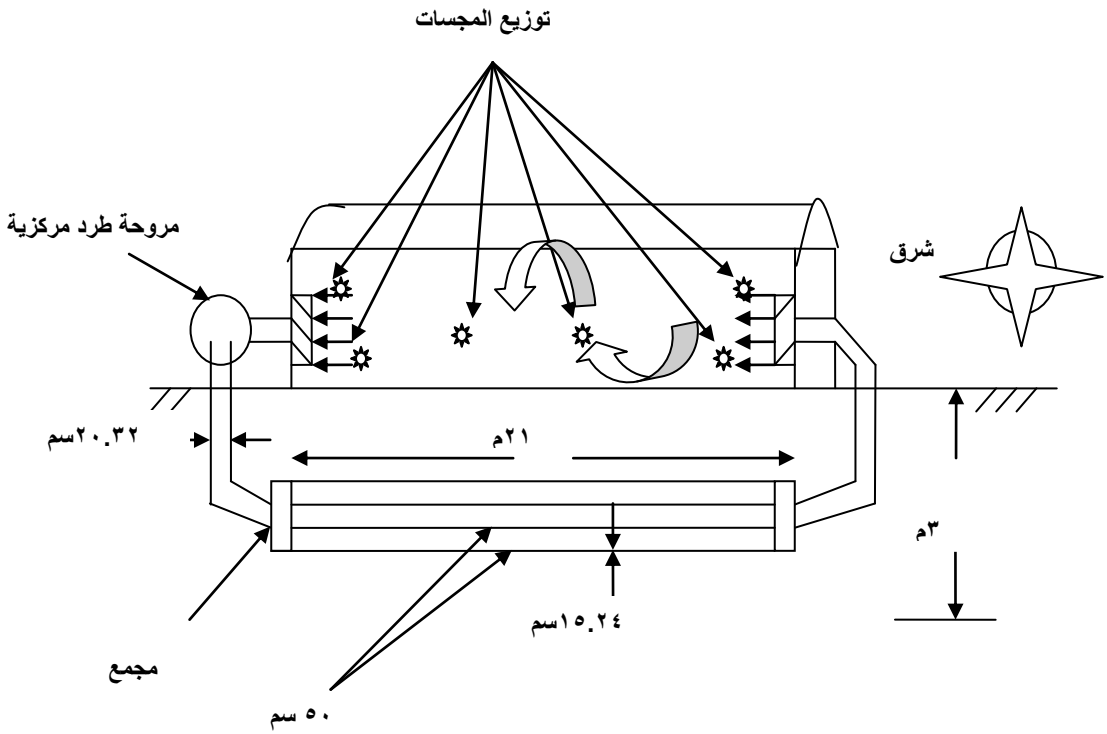
تم إستخدام عدد ٦٨ أنبوب بلاستيكية بطول٤ م وقطر ٠.١٥ م و سماكة ٠.٠٠٣٥ م وتم ترتيب الأنابيب في ١٥ صف كل صف يتكون من ٤.٥ أنبوب و المسافة بين كل صف والآخر ٠.٥ م. تم عمل عدد ٦ مجمعات كلاً منها على شكل متوازي مستطيلات بطول ٢.٧٨ م، عرض ٠.٥ م و إرتفاع ٠.٥ م. بعد ذلك تم عمل فتحات دائرية داخل المستطيل من الأمام بقطر ١.٥٣ م والمسافة ما بين كل فتحة والأخرى تساوي ٠.٥ م و توجد فتحة واحدة من الأعلى بقطر ٠.٢٠٣م. تم ربط نهايات جميع الأنابيب في الصف بواسطة ثلاثة مجمعات كل مجمع يربط خمسة صفوف عند كل نهاية كما هو موضح بالصورة ٢.

صورة ٢: ربط المجمعات الثلاثة بالمواسير

تم ردم الحفرة بالكامل وإخراج الأنابيب من باطن الأرض كما هو موضح بالصورة ٣.

صورة ٣: الأنابيب الخارجة من باطن الأرض عند عمق ٣م

ثم تم توصيل الأنابيب بالبيت المحمي من جهتين: الجهة الأولى هي جهة مروحة الطرد المركزي بقدرة 1.19 kW و التي تعمل على سحب الهواء من داخل البيت المحمي وتمرره عبر الأنابيب أما الجهة الثانية تعمل على دخول الهواء القادم من الأنابيب الأرضية إلى داخل البيت المحمي كما هو موضح بالشكل ١ و الصورة ٤.



شكل ١: رسم تخطيطي للبيت المحمي والأنابيب الأرضية

صورة ٤: توصيل الأنابيب بالبيت المحمي

بهذا الترتيب سوف يتم سحب الهواء الموجود داخل البيت المحمي إلى الأنابيب بصورة مغلقة بحيث تتم عملية تبادل حراري بين طبقات التربة العميقة و الهواء المار عبر الأنابيب. أيضاً لبحث إمكانية استخدام الهواء الذي يسري خلال الأنابيب الأرضية لتبريد البيت المحمي الذي تم تركيبه في مكان التجربة، أستخدم بيت محمي آخر يعمل بالتبريد التبخري و مُشيَد من قبل لإختباره تحت نوعين من ظروف التشغيل؛ النوع الأول تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد أما النوع الثاني لا تشغيل لكلٍ من نظامي التهوية القسرية أو التبريد بالنسبة للبيت المحمي. تم إجراء التجارب خلال الأيام الثمانية للتجربة إبتداءاً من الساعة ٠٦:٠٠ إلى الساعة ١٨:٠٠. تم قياس درجة حرارة الهواءٍ بواسطة المجسات الدقيقة الموصلة لمسجل البيانات ماركة المذكورة سابقاً. تم تخزين البيانات المسجلة و إدخالها في جهاز حاسوب شخصي لحين إستخدامها في تحليل نتائج الدراسة. تم حساب التكلفة الفعلية الإنشائية لبناء البيت المحمي (أنابيب) والبيت المحمي (مقارن) مع تكلفة إنشاء البيت المقارن حيث كانت التكلفة كما هي موضحة بالجدول ١.

جدول ١: حساب التكلفة الإنشائية الفعلية لبناء البيت المحمي (أنابيب) و البيت المحمي (مقارن)

البيت المحمي تبريد أنابيب (أنابيب)		البيت المحمي تبريد تبخيري (مقارن)	
اسم الصنف	التكلفة بالريال	اسم الصنف	التكلفة بالريال
أنابيب بلاستيكية	٦٧٠٠	وسائد	٥٥٠٠
مروحة طرد مركزية	٥٠٠٠	مروحة	٣٦٠٠
غطاء بلاستيكي	٢٧٥٠	غطاء بلاستيكي	٢٧٥٠
حفر	٨٠٠	مضخة مياه	٣٠٠
عمال	١٠٠٠	خزان مياه بعوامة	٢٥٠
-	-	مواسير لإيصال الماء للخلايا	٣٠٠
		عمال	٨٠٠
مجموع التكلفة	١٦٢٥٠ريال	مجموع التكلفة	١٣٥٠٠ريال

النتائج و المناقشة

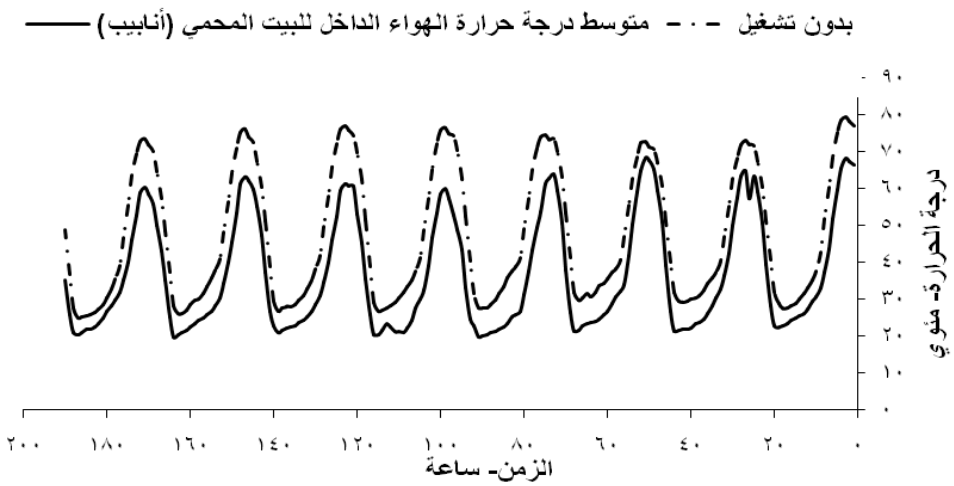
الجدول ٢ يشير إلى مقارنة درجات الحرارة الدنيا، العليا و المتوسطة للهواء داخل البيت المحمي (أنابيب) والبيت المحمي (مقارن – لا تشغيل لكلٍ من نظامي التهوية القسرية و التبريد) خلال الأيام الثمانية للتجربة حيث كان متوسط درجة الحرارة الخارجية ٣٣.١°م. من الجدول يُمكن ملاحظة أن درجات الحرارة الثلاثة بالنسبة للبيت المحمي (أنابيب) أقل مقارنةً بالبيت المحمى (مقارن) و أن الفرق بين البيتين فيما يختص درجة الحرارة العليا كان بمقدار ١٠.٨°م.

جدول ٢: درجات الحرارة الدنيا، العليا و المتوسطة للهواء داخل كل من البيتين المحميين(أنابيب و مقارن) خلال الأيام الثمانية للتجربة (متوسط درجة الحرارة الخارجية ٣٣.١°م).

وجه المقارنة	درجة الحرارة الدنيا (°م)	درجة الحرارة العليا (°م)	درجة الحرارة المتوسطة (°م)
البيت المحمي (أنابيب)	١٩.٦٥	٦٨.٦	٣٦.٥
البيت المحمي (مقارن – لا تشغيل لكلٍ من نظامي التهوية القسرية و التبريد)	٢٤.٩	٧٩.٤	٤٣.٣

الشكل ٢ يوضح مقارنة درجات الحرارة المتوسطة للهواء داخل البيت المحمي (أنابيب) و البيت المحمي (مقارن-لا تشغيل لكلٍ من نظامي التهوية القسرية و التبريد) خلال الأيام الثمانية للتجربة. من الشكل يتضح أن درجة الحرارة المتوسطة للبيت المحمي (أنابيب) أقل من تلك بالنسبة للبيت المحمي (مقارن) أثناء ساعات النهار بينما تتقارب القيم للبيتين أثناء ساعات الليل.

الجدول ٣ يوضح درجات الحرارة الدنيا، العليا و المتوسطة للهواء عند المراوح لكلٍ من البيت المحمي (أنابيب) والبيت المحمي (مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد). من الجدول يتضح أن درجة الحرارة المتوسطة للبيت المحمي (أنابيب) أكبر بمقدار ٤.٣°م عن تلك بالنسبة للبيت المحمي (مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) ويعزى هذا الفرق إلى وجود بعض الرطوبة داخل البيت المحمي (مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) لم يتم التخلص منها وبالتالي أدت إلى خفض درجة الحرارة داخل البيت المحمي.

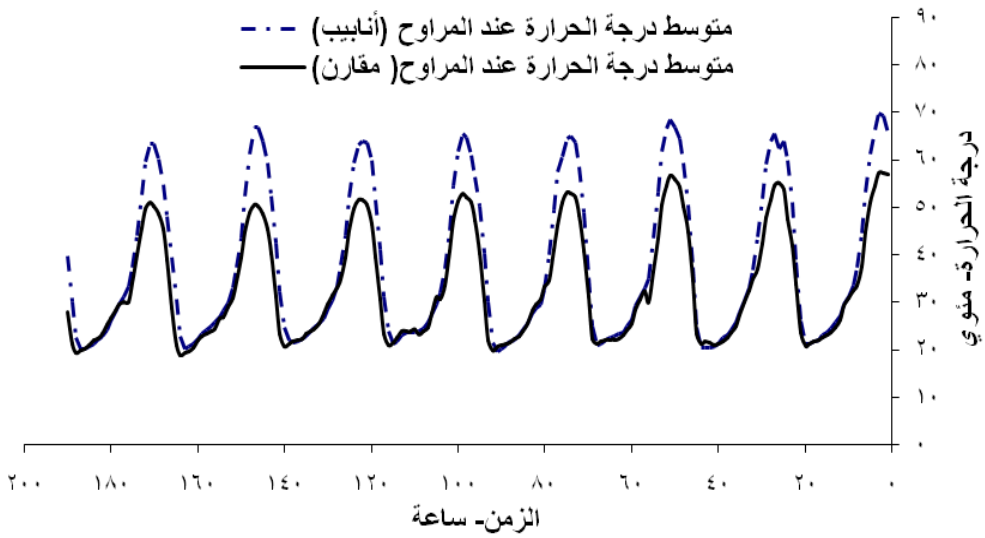


شكل ٢: مقارنة درجات الحرارة المتوسطة للهواء داخل البيت المحمي (أنابيب) و البيت المحمي (مقارن-لا تشغيل لكلٍ من نظامي التهوية القسرية و التبريد) خلال الأيام الثمانية للتجربة

جدول ٣: مقارنة درجات الحرارة الدنيا، العليا و المتوسطة للهواء عند المراوح لكلٍ من البيت المحمي (أنابيب) والبيت المحمي (مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) خلال فصل الصيف

وجه المقارنة	درجة الحرارة الدنيا (°م)	درجة الحرارة العليا (°م)	درجة الحرارة المتوسطة (°م)
مراوح (أنابيب)	١٩.٦	٦٩.٧	٣٧.٥
مراوح (مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد)	١٨.٨	٥٧.٣	٣٣.٢

ويوضح الشكل ٣ يوضح مقارنة درجات الحرارة المتوسطة للهواء عند المراوح لكلٍ من البيت المحمي (أنابيب) والبيت المحمي (مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) خلال الأيام الثمانية للتجربة. من الشكل يتضح أن درجة الحرارة المتوسطة للبيت المحمي (مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) أقل من تلك بالنسبة للبيت المحمي (أنابيب) أثناء ساعات النهار بينما تتقارب القيم للبيتين أثناء ساعات الليل و يُمكن أن يُعزى ذلك إلى تأثير حرارة الإشعاع الشمسي.



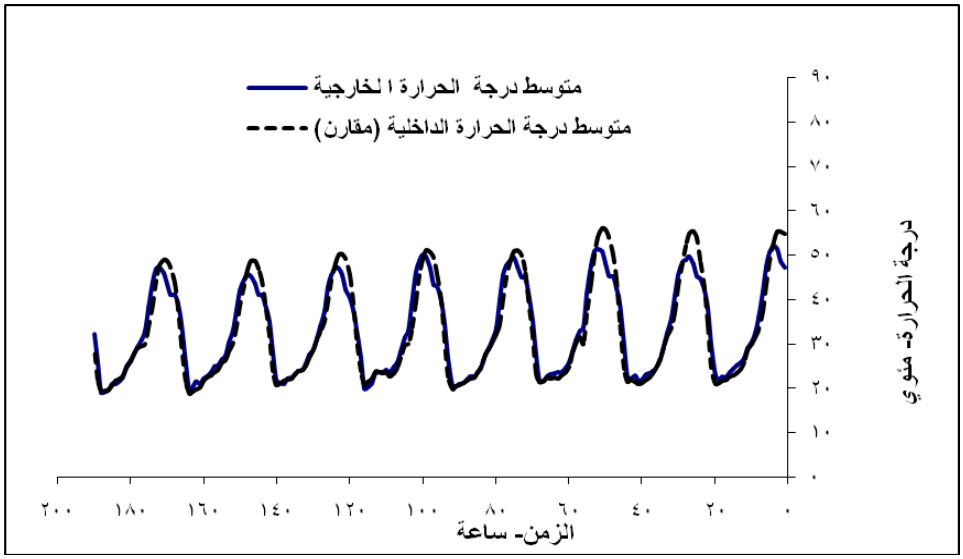
شكل ٣: درجات الحرارة المتوسطة للهواء عند المراوح لكلٍ من البيت المحمي (أنابيب) والبيت المحمي (مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) خلال الأيام الثمانية للتجربة

الجدول ٤ يوضح مقارنة درجات الحرارة الدنيا، العليا و المتوسطة للهواء داخل البيت المحمي (مقارن - تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) مع درجة الحرارة الخارجية خلال فصل الصيف. من الجدول يتضح أن درجات الحرارة الثلاثة للهواء داخل البيت المحمي (مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) و درجة الحرارة الخارجية متقاربة و يُمكن تفسير ذلك إلى حقيقة أن البيت المحمي (مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) يعمل كمجمع شمسي و أن عملية التهوية بنظام المراوح بدون تبريد كانت قادرة على مساواة درجة الحرارة للهواء داخل البيت المحمي (مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) مع درجة الحرارة الخارجية.

جدول ٤: مقارنة درجات الحرارة الدنيا، العليا و المتوسطة للهواء داخل البيت المحمي (مقارن) مع درجة الحرارة الخارجية خلال فصل الصيف

وجه المقارنة	درجة الحرارة الدنيا (°م)	درجة الحرارة العليا (°م)	درجة الحرارة المتوسطة (°م)
درجة الحرارة الهواء داخل البيت (مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد)	١٨.٩	٥٦.٢	٣٢.٧
درجة الحرارة الخارجية	١٩.١	٥٢.٢	٣٣.١

الشكل ٤ يوضح مقارنة بين متوسط درجات الحرارة الخارجية و متوسط درجة حرارة للهواء داخل البيت المحمي (مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) خلال الأيام الثمانية للتجربة. من الشكل يتضح أن هنالك ارتفاع طفيف في متوسط درجات الحرارة للهواء داخل البيت المحمي (مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) مقارنةً بمتوسط درجات الحرارة الخارجية أثناء وقت الذروة خلال ساعات النهار وهو نتيجة بديهية لعملية التجميع الشمسي والتي لم يتمكن نظام التهوية من التغلب عليها. بينما تتقارب قيم متوسط درجات الحرارة خلال ساعات الليل.



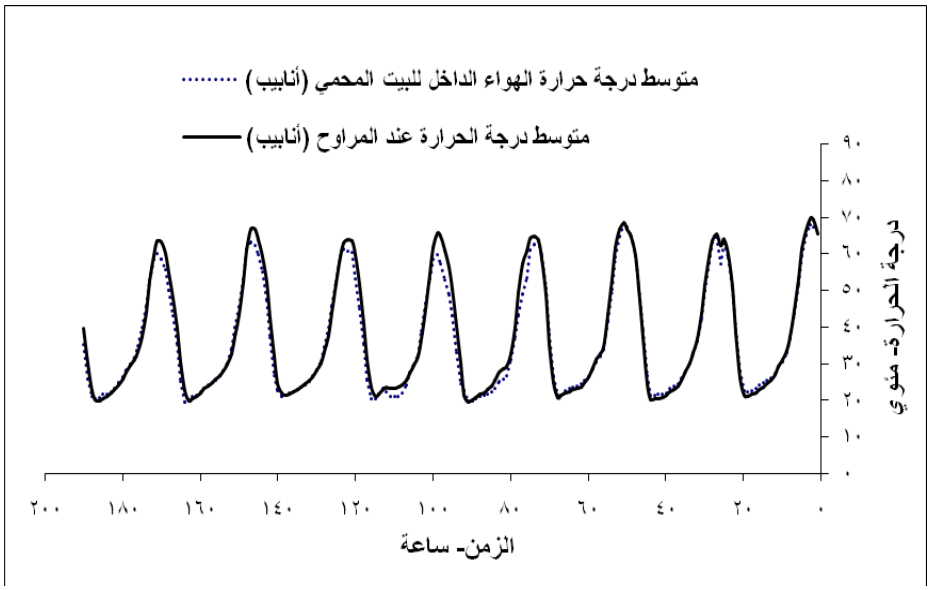
شكل رقم ٤: مقارنة بين متوسط درجات الحرارة الخارجية و متوسط درجة حرارة للهواء داخل البيت المحمي (مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) خلال الأيام الثمانية للتجربة

الجدول ٥ يوضح درجات الحرارة الدنيا، العليا و المتوسطة للهواء الخارج من و الداخل إلى البيت المحمي (أنابيب) خلال فصل الصيف. من الجدول يُمكن ملاحظة أن نظام التبريد بالأنابيب الأرضية غير قادر على تبريد البيت المحمي نسبةً لأن النظام يعمل كحلقة دائرية مغلقة.

جدول ٥: مقارنة بين متوسط درجات الحرارة الهواء الخارج من و الداخل إلى البيت المحمي (أنابيب) خلال فصل الصيف

وجه المقارنة	درجة الحرارة الدنيا (°م)	درجة الحرارة العليا (°م)	درجة الحرارة المتوسطة (°م)
درجة حرارة الهواء الخارج من البيت (أنابيب)	١٩.٦	٦٩.٧	٣٧.٥
درجة حرارة الهواء الداخل إلى البيت (أنابيب)	١٩.٦	٦٨.٢	٣٦.٥

يوضح الشكل ٥ درجات الحرارة المتوسطة للهواء الخارج من و الداخل إلى البيت المحمي (أنابيب) خلال الأيام الثمانية للتجربة. من الشكل يتضح أن هنالك إرتفاع طفيف لدرجات الحرارة المتوسطة للهواء الخارج من البيت المحمي وهو نتيجة حتمية لاكتساب الهواء للحرارة خلال مروره في البيت المحمي و يتراوح الإرتفاع بين ١ م° إلى ٥ م° وهى قيمة مقبولة بالنسبة لطول البيت المحمي.



شكل ٥: درجات الحرارة المتوسطة للهواء الخارج من و الداخل إلى البيت المحمي (أنابيب) خلال الأيام الثمانية للتجربة

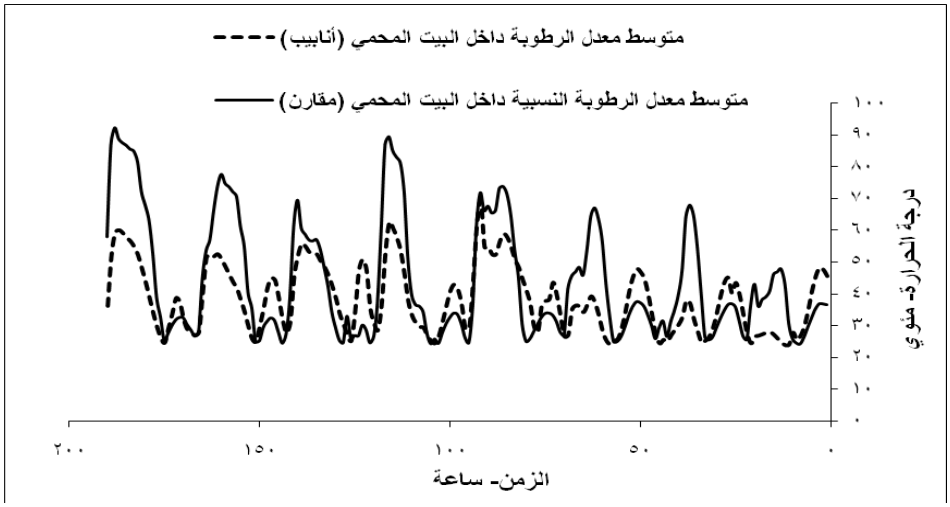
الجدول ٦ يوضح مقارنة أدنى، أعلى و الرطوبة النسبية المتوسطة بين البيت المحمي (أنابيب) والبيت المحمي (مقارن - تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) خلال فصل الصيف. من الجدول يتضح أن حيث الرطوبة النسبية المتوسطة للبيت المحمي (مقارن - تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) أكبر من تلك بالنسبة للبيت المحمي (أنابيب) بمقدار ٥.١%.

جدول ٦: مقارنة أدنى، أعلى و الرطوبة النسبية المتوسطة بين البيت المحمي (أنابيب) والبيت المحمي (مقارن - تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) خلال فصل الصيف.

وجه المقارنة	أدنى رطوبة نسبية (%)	أعلى رطوبة نسبية %	الرطوبة النسبية المتوسطة (%)
البيت (أنابيب)	٢٣.٨	٦٩.٢	٣٨.٣
البيت(مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد)	٤٣.٩	٩٢	٤٣.٤

الشكل ٦ يوضح مقارنة الرطوبة النسبية المتوسطة بين البيت المحمي (أنابيب) والبيت المحمي (مقارن - تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) خلال الأيام الثمانية للتجربة.

من الشكل يتضح أن الرطوبة النسبية المتوسطة للبيت المحمي (مقارن - تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) أكبر من تلك بالنسبة للبيت المحمي (أنابيب) خلال ساعات النهار والليل بينما تتقارب القيم خلال ساعات الليل نسبةً لعملية التهوية في البيت المحمي (مقارن - تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد).



شكل ٦: مقارنة الرطوبة النسبية المتوسطة بين البيت المحمي (أنابيب) والبيت المحمي (مقارن - تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) خلال الأيام الثمانية للتجربة.

الجدول ٧ يوضح مقارنة درجات الحرارة عند الوسائد، في الوسط و عند المراوح للبيت المحمي (أنابيب) و البيت المحمي (مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) خلال فصل الصيف. من الجدول يتضح أن درجات الحرارة للمواقع الثلاثة أكبر للبيت المحمي (أنابيب) من تلك بالنسبة للبيت المحمي (مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد).

جدول ٧: مقارنة درجات الحرارة عند الوسائد، في الوسط و عند المراوح للبيت المحمي (أنابيب) و البيت المحمي (مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية بدون تشغيل نظام التبريد) خلال فصل الصيف.

مقارنة بين	درجة الحرارة عند الوسائد(م°)	درجة الحرارة في الوسط (م°)	درجة الحرارة عند المراوح(م°)
البيت المحمي (أنابيب)	٥٧.٢	٦٠.٥	٦٤.٨
البيت المحمي (مقارن- تشغيل نظام التهوية القسرية)	٥٣	٥٥.١	٥٧.٦

الاستنتاجات:

أن استخدام الهواء الذي يسري خلال الأنابيب الأرضية في نظام مغلق لتبريد بيت محمي خلال أيام الصيف الحارة و تحت الظروف المناخية الصحراوية لواحة الإحساء بالمملكة العربية السعودية لا يمكن أن يستخدم مستقلاً لتبريد البيت المحمي للوصول إلى درجة الحرارة الملائمة لنمو النبات ولكن يمكن استخدامه في خفض استهلاك الطاقة نسبياً بحيث يستخدم مكملاً لنظم التبريد الأخرى. كان أداء نظام التبريد باستخدام الأنابيب البلاستيكية الأرضية قادراً على خفض درجات الحرارة في فصل الصيف حيث قام بخفض درجة الحرارة من ٤٠.٧٩°م إلى ٦٨.٦ °م أي بمقدار ١٠.٧٣°م. وأيضا يمكن أن يستخدم نظام الأنابيب الأرضية مستقلا عندما في فصل الخريف والربيع في حالة الأجواء المعتدلة. وتوصى الدراسة بتطوير تصميم البيت المحمي وذلك بدفن الأنابيب تحت البيت المحمي وذلك لاستغلال المساحة وتقليل عدد المواسير والفقد في درجات الحرارة .وعند عمل مقارنة في تكلفة نظام الأنابيب ونظام التبريد التبخري يلاحظ أن هنالك ارتفاع في التكلفة الأولية التأسيسية لنظام الأنابيب فلقد كلف بناء وتصميم البيت المحمي (أنابيب) مبلغ وقدرة ١٦٢٥٠ ريال سعودى بينما كان المبلغ ١٣٥٠٠ريال سعودى بالنسبة للبيت المحمي (مقارن) ولكن هذه التكلفة لها تبرير على المدى الطويل نظرا لقلة الصيانة المطلوبة وقلة حدوث خلل وعدم استهلاك الكثير من المياه للتبريد كما هو في التبريد التبخيري.

(واحد دولار امريكى = ٣.٧٥ ريال سعودى تقريباً)

المراجع

إبراهيم الهلال ،عبد الرحمن البراهيم، نايف العبادي، (٢٠٠٣). مشروع استغلال أنظمة الخلايا الكهروضوئية في تشغيل البيوت المحمية الزراعية - ملخصات الأبحاث العلمية لبرنامج البحث والتطوير المشترك بين مدينه الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية و مركز الطاقة البترولي الياباني (ص ٨٣ – ٨٧).

Albright L. D. (1990). Environment Control for Animals and Plants. The American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI.

Al-Ajmi F, D. L. Loveday and V.I. Hanby (2006) The cooling potential of earth–air heat exchangers for domestic buildings in a desert climate. Building and Environment 41 (2006) 235–244

Alghannam, A.O. (2010). Mathematical Simulation of soil Subsurface Temperatures, Minufiya J. Agric. Res. Vol.36 No. 3

Chao, K. and R. S. Gates. (1996). Design of Switching Control Systems for Ventilated Greenhouses. Transactions of the ASAE 39(4):1513-1523.

Dole, J. M. and H. F. Wilkins. (1999). Floriculture : Principles and Species.

El-Sharkawy, M. A., J. H. Cock, and A. J. Zandbelt. (1986). Stomatal response to Air Humidity and its relation to Stomatal Density in a wide range of warm Climate Species. Photosynthesis Research. 137-149.Energy conference, 1992.

Enoch, H. Z. (1990). Crop Responses to Aerial Carbon Dioxide. Acta Horticulturae 268.

Grange, R.I., and D. W. Hand. (1987). A review of the Effect of the Atmospheric Humidity on the Growth of the Horticultural Crops. Journal of Horticultural Science. 62: 125-134.

Hand, D. W. (1982). CO_2 enrichment the benetits and problems scientia **Horticulturae 33: 14-43.**

Hannan, J. J. (1998). Greenhouses: Advanced Technology for Protected Horticulture. CRC Press LLC, FL. heat loss calculation. heat transfer under heated ground surface, slab-on grade .

Ioslovich, I.; G. P. Seginer, and M. Borshchevsky (1995). Sub-Optimal Co_2 Enrichment of Greenhouse, J. agrie. Engng Res. 60:117-136.

Ishihara, O. and Q. Zhang (1992). Cooling effects of earth tubes on dwellings.

Kimball, B. A., (1986). CO_2 Stimulation of Growth and Yield under Environmental Restrains. In Carbon Dioxide enrichment of Greenhouse Crops, Vol. II, Physiology Yield and Economics, CRC Press, Boca Raton, FL.

Kittas, C.; T. Bartzanas, and A. Jaffrin (2001). Greenhouse Evaporative Cooling: Measurement and Data Analysis, Transactions of the ASAE Vol. 44(3): 683-689.

Lee, I. B. and Short, T .H. (2001). Verification of Computational Fluid Dynamic Temperature Simulations in Full-Scale Naturally Ventilated Greenhouse, Transactions of the ASAE .V.44 (1): 119-127.

Nederhoff, E. M. (1988). Dynamic optimization of the CO_2 Concentration in Greenhouse: An Experiment with cucumber (cucumber is sati us l.). Acta Hort. 229: 341-348.

Nerdhoff, E. M. and R. De Graaf. (1993). Effects of CO_2 on Leaf Conductance and Canopy Transpiration of Greenhouse Grown Cucumber and Tomato. Journal of Horticulture Science. 68: 925-937

Qingysuan, Z. (1994). Development of residence with solar heating earth cooling, and air circulation. ASHRAE Transactions, 1994. p. 333–41

Sawhney, R. L and D. Buddhi (1999). Thanu NM. An experimental study of summer performance of a recirculation type underground

airpipe air conditioning system. Building and Environment 1999;34:189–96

Sharan, G.; H. Prakash and R. Jadhav (2004). Performance of Greenhouse Coupled to Earth-Tube-Heat-Exchanger in Closed-Loop Mode

Sodha, M. S.; A. K. Sharma and S. P. Singh (1985). Bansal Kumar A. Evaluation of an earth–air tunnel system for cooling/heating of a hospital complex. Building and Environment 1985;20(2):115–22.

Takakura, T. (1993). Climate Under Cover. Digital Dynamic simulation in Plant Bio-Engineering. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.

Tobbitts, T. W. (1979). Humidity and Plants. Bioscience. 29:358-363.

ENGLISH SUMMERY

COOLING GREENHOUSES BY CLOSED SYSTEM OF AIR THROUGH EARTH TUBES

This research aims to study the use of the closed system of air through earth tubes for cooling greenhouses. This had been achieved by a field study using plastic earth tubes under the dry and hot climatic conditions of the region under study. An elliptical or semi-circular shaped greenhouse and its accessories were constructed according to the appropriate engineering specifications of the experiment site. Results showed that the closed systems of air through plastic earth tubes can not be used independently for cooling the greenhouse in order to attain the suitable temperature for plant growth but can be used in reducing energy consumption. The performance of the cooling system was capable to reduce temperatures during winter season from 79.4°C-68.6°C i.e. by a magnitude of 10.8°C. Also the system can be used independently during autumn and spring seasons in case of temperate conditions. The study recommends the development of the greenhouse design by burying the earth tubes beneath the house in order to utilize the space, reduce the numbers of tubes and heat loss.