



الجمهورية العربية السورية  
وزارة التعليم العالي  
جامعة طرطوس  
كلية الهندسة التقنية  
قسم المكننة الزراعية

## دراسة تجريبية لاستخدام المبادل الحراري الأنبوبي (هواء-أرض) في تكييف البيوت المحمية الزراعية في محافظة طرطوس

أطروحة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة المكننة الزراعية  
كلية الهندسة التقنية

إعداد

م. لبانة وفيق عباس

إشراف

د.م. وسيم محمود مرشد

2021م - 1442هـ

## شهادة

نشهد بأن هذا العمل الموصوف في هذه الرسالة "دراسة تجريبية لاستخدام المبادل الحراري الأنبوبي (هواء-أرض) في تكييف البيوت المحمية الزراعية في محافظة طرطوس" هو نتيجة بحث علمي قامت به المرشحة لبانة وفيق عباس وبإشراف الدكتور وسيم محمود مرشد (مدرس في قسم المكننة الزراعية، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس)، وأن أية معلومات أو طرائق أو نتائج أو مراجع أخرى ذكرت في هذه الرسالة قد نسبت إلى مصدرها ومؤلفها في النص وفي قائمة المراجع.

## المرشحة

م. لبانة وفيق عباس

بإشراف

د.م. وسيم محمود مرشد

التوقيع

تاريخ 2021/3/31

## CERTIFICATION

It is hereby certified that the work described in this thesis "**Experimental study of using earth-air tubular heat exchanger for conditioning greenhouses in Tartous Governorate**" is the result of the scientific research conducted by Eng. **Loubana Wafeek Abbas** under the supervision of the **DR. Wasseem Mahmoud Morshed** (Profesor in the Department of Agricultural Mechanization, faculty of Technical Engineering, Tartous University) and any reference to other researcher work has been duly acknowledged in the text.

### Candidate

**Eng. Loubana Wafeek Abbas**

### Supervisor

**DR. Wasseem Mahmoud Morshed**

Signature

Date 31/3/2021

قدمت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات نيل درجة الماجستير في قسم هندسة المكننة الزراعية في كلية الهندسة  
التقنية في جامعة طرطوس.

This thesis has been submitted as a partial fulfillment of the requirement for the degree of  
Master faculty of Technical Engineering in Mechanization Part in Tartous University.

## التصريح

أصرح بأن البحث "دراسة تجريبية لاستخدام المبادل الحراري الأنبوبي (هواء-أرض) في تكييف البيوت المحمية الزراعية في محافظة طرطوس" لم يسبق أن قبل للحصول على شهادة و لا هو مقدم حالياً للحصول على شهادة أخرى.

اسم المرشحة

م. لبانة وفيق عباس

## Declaration

This is declare this work:

**"Experimental study of using earth-air tubular heat exchanger for conditioning greenhouses in Tartous Governorate"**

Has not been submitted for any other degree.

**Candidate name**

**Eng. Loubana Wafeek Abbas**

نوقشت رسالة الماجستير بعنوان "دراسة تجريبية لاستخدام المبادل الحراري الأنبوبي (هواء-أرض) في تكييف البيوت المحمية الزراعية في محافظة طرطوس"

للتالبة المهندسة لبانة وفيق عباس بتاريخ 31/3/2021.

وقد قامت المرشحة لبانة وفيق عباس بإجراء كافة التعديلات المطلوبة من قبل لجنة الحكم.

لجنة الحكم:

السيد الدكتور محمد عبود غانم

المرتبة العلمية: أستاذ في قسم المكننة الزراعية - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس.

السيدة الدكتورة ميساء علي شاش

المرتبة العلمية: أستاذ في قسم المعدات والآليات - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس.

السيد الدكتور وسيم محمود مرشد

المرتبة العلمية: مدرس في قسم المكننة الزراعية - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس.

د.م وسيم محمود مرشد

أ.د. ميساء علي شاش

أ.د. محمد عبود غانم



### قرار لجنة الحكم على رسالة الماجستير

في تمام الساعة/12:30/ من يوم الأربعاء الموافق 31/03/2021 اجتمعت لجنة الحكم المشكلة بموجب قرار مجلس البحث العلمي رقم/ 120/ المتخذ بالجلسة رقم/ 12/ المنعقدة بتاريخ 22/02/2021م، و المؤلفه من السادة:

الدكتور محمد غانم: الأستاذ في كلية الهندسة التقنية بجامعة طرطوس/اختصاص: آلات زراعية/ عضواً.  
الدكتورة ميساء شاش: الأستاذة في كلية الهندسة التقنية بجامعة طرطوس/اختصاص: علم و خواص المواد/عضواً.  
الدكتور وسيم مرشد: المدرس في كلية الهندسة التقنية بجامعة طرطوس/اختصاص: آلات خدمة الحيوان/عضواً و مشرفاً.

و ناقشت رسالة الماجستير التي تقدمت بها طالبة الدراسات العليا المهندسة لبانة و فيق عباس،  
بعنوان:

/دراسة تجريبية لاستخدام المبادل الحراري الأنبوبي (هواء - أرض) في تكييف البيوت الزراعية في محافظة طرطوس/،

و قررت لجنة الحكم الآتي:

- (1) منح الطالبة م. لبانة و فيق عباس درجة و قدرها، رقماً: /92/، كتابة: **أستاذة** و بتقدير: **امياز** في اختصاص هندسة المكننة الزراعية في قسم: هندسة المكننة الزراعية.
- (2) رفع هذا القرار إلى المجالس المختصة لمنحها الدرجة المذكورة و استصدار القرارات اللازمة لتمتعها بحقوق هذه الدرجة و امتيازاتها وفق الأصول النافذة.  
طرطوس، يوم الأربعاء في 31/03/2021م.

رئيس اللجنة  
أ. د. محمد علي

عضواً  
أ. د. ميساء شاش

عضواً  
د. وسيم مرشد

## شكر وتقدير

# Acknowledgments

أتوجه بخالص الشكر والتقدير إلى الدكاترة الأفاضل في كلية الهندسة التقنية بجامعة طرطوس وأخص بالامتنان والعرفان الكبيرين الدكتور وسيم محمود مرشد على صبره ومتابعته الحثيثة ونصائحه الغنية وتشجيعه المستمر طيلة فترة البحث والتي كان لها الدور الكبير في إنجاز العمل. كما أتوجه بالشكر أيضا لأعضاء لجنة الحكم القديرين الأساتذة الدكتورة ميساء علي شاش والدكتور محمد عبود غانم على قراءتهم المتأنية لهذه الدراسة وملاحظاتهم الهامة لإغنائها.

أتقدم بخالص محبتي لعائلتي الكريمة وأصدقائي الرائعين وجميع الأحباء الذين يقدمون دعمهم وتشجيعهم لي دائما، فهم الشركاء الحقيقيون في كل نجاح.

## فهرس المحتويات

## Contents

الصفحة	العنوان
I	شهادة
III	التصريح
IV	إجراء التعديلات المطلوبة
V	قرار لجنة الحكم
VI	شكر وتقدير
VII	فهرس المحتويات
X	فهرس الأشكال
XIII	فهرس الجداول
XIV	المخلص
1	الفصل الأول (الإطار العام للبحث)
1	1.1. مقدمة
3	2.1. الدراسات المرجعية
6	3.1. مشكلة البحث وأهميته
7	4.1. فرضيات البحث
7	5.1. أهداف البحث
7	6.1. منهجية البحث
8	الفصل الثاني (دراسة نظرية)



8	1.2. مقدمة
8	2.2. نظام المبادل الأنبوبي (هواء-أرض)
10	3.2. مكونات نظام المبادل الحراري الأنبوبي (هواء-أرض)
10	4.2. مجالات استخدام نظام المبادل الأنبوبي (هواء-أرض)
12	5.2. أنواع المبادل الحراري الأنبوبي (هواء-أرض)
13	1.5.2. حسب دائرة تدفق الهواء في النظام
14	2.5.2. حسب توضع الأنابيب في التربة
15	1.2.5.2. الوضعية الأفقية
18	2.2.5.2. الوضعية الرأسية
21	<b>الفصل الثالث (القسم العملي)</b>
21	1.3. مقدمة
21	2.3. الأجهزة والأدوات المستخدمة في البحث
22	3.3. موقع تنفيذ الاختبار
23	4.3. مبدأ عمل المبادل الأنبوبي (هواء-أرض)
25	5.3. المبادل الأنبوبي (هواء-أرض) والبارامترات المدروسة
26	6.3. إجراء التجارب
28	7.3. النتائج والمناقشة

28	1.7.3. أداء التبريد
28	1.1.7.3. نتائج تأثير طول وقطر الأنبوب على أداء التبريد
33	2.1.7.3. نتائج تأثير سرعة الهواء خلال الأنابيب (تبريد)
34	2.7.3. أداء التدفئة
34	1.2.7.3. نتائج تأثير الطول والقطر على أداء التدفئة
39	2.2.7.3. نتائج تأثير سرعة الهواء خلال الأنابيب (تدفئة)
40	3.7.3. الاستنتاجات والتوصيات
41	المراجع العلمية
47	Abstract

## فهرس الأشكال

### List of figures

الصفحة	العنوان
10	الشكل (1-2): مكونات النظام (EATHE) (kaushik et al., 2013).
12	الشكل (2-2): أنواع المبادل EAHE حسب المرجع (Agrawal et al., 2019).
13	الشكل (3-2): أنواع المبادل (EAHE) حسب المرجع (Kaushik et al., 2013).
14	الشكل (4-2): نظام (EAHE) ذو حلقة مفتوحة (a)، نظام (EAHE) ذو حلقة مغلقة (b).
14	الشكل (5-2): الوضعيتين الأفقية والرأسية.
15	الشكل (6-2): أشكال مختلفة للتوضع الأفقي لأنابيب المبادل (هواء-أرض) (سلاسل، ملتوي، حلقات، نابضي، حلزوني دوامي، طبقات).
16	الشكل (7-2): نظام المبادل (EAHE) بجانب البيت المحمي.
16	الشكل (8-2): نظام المبادل (EAHE) تحت البيت المحمي.
17	الشكل (9-2): نظام (EAHE) تحت البيت المحمي مع قنوات هواء متفرعة داخله لتهوئته وتبريده.
19	الشكل (10-2): أنابيب مبادل رأسي بشكل حرف U، شبكة من الأنابيب الرأسية U.
19	الشكل (11-2): أنابيب مبادل رأسي بشكل حرف W، والشكل النابضي.
20	الشكل (12-2): أنابيب مبادلات رأسية (هواء-أرض) متحدة المركز.

22	الشكل (3-1): موقع تنفيذ الاختبار.
23	الشكل (3-2): أبعاد البيت المحمي (طول، عرض، ارتفاع).
23	الشكل (3-3): التبادل الحراري بين هواء الأنبوب والتربة.
24	الشكل (3-4): سلوك المبادل خلال اليوم.
24	الشكل (3-5): سلوك المبادل في الصيف والشتاء.
25	الشكل (3-6): المخطط التمثيلي للمبادل ذي القطر (10.16 cm).
26	الشكل (3-7): صور لمراحل تنفيذ الاختبار.
27	الشكل (3-8): المخطط الصندوقي لكيفية ربط الحساسات مع أجهزة القياس.
28	الشكل (3-9): متوسطات درجات الحرارة الساعية لشهر تشرين الأول/2019 عند مدخل خطي المبادل، ومتوسط درجة حرارة التربة.
29	الشكل (3-10): المتوسطات الساعية لدرجات الحرارة خلال شهر تشرين الأول/2019 عند منتصف ونهاية طول الخط ذي القطر (10.16 cm).
29	الشكل (3-11): المتوسطات الساعية لدرجات الحرارة خلال شهر تشرين الأول/2019 عند منتصف وكامل طول الخط ذي القطر (15.24 cm).
31	الشكل (3-12): درجات الحرارة الساعية المسجلة يوم (7-10-2019) لمدخل، منتصف ونهاية الخط (10.16 cm).
31	الشكل (3-13): درجات الحرارة الساعية المسجلة يوم (7-10-2019) لمدخل، منتصف ونهاية الخط (15.24 cm).
33	الشكل (3-14): مقدار الانخفاض في درجات الحرارة الذي أحدثه اختلاف الطول بين

	المدخل والموقعين (10 m, 20 m)، والذي كان $(1.97, 4.6)^{\circ}\text{C}$ ، $1.228, )^{\circ}\text{C}$ (2.93) للخطين (10.16 cm, 15.24 cm) على التوالي.
34	الشكل (3-15): متوسطات درجات الحرارة الساعية لشهر كانون الأول/2019 عند مدخل خطي المبادل، ومتوسط درجة حرارة التربة.
35	الشكل (3-16): المتوسطات الساعية لدرجات الحرارة خلال شهر كانون الأول/2019 عند منتصف وكامل طول الخط ذي القطر (10.16) cm.
35	الشكل (3-17): المتوسطات الساعية لدرجات الحرارة خلال شهر كانون الأول/2019 عند منتصف وكامل طول الخط ذي القطر (15.24) cm.
37	الشكل (3-18): درجات الحرارة الساعية المسجلة يوم (17-12-2019) لمدخل ومنتصف ونهاية الخط (10.16) cm.
37	الشكل (3-19): درجات الحرارة الساعية المسجلة يوم (17-12-2019) لمدخل ومنتصف ونهاية الخط (15.24) cm.
39	الشكل (3-20): مقدار ارتفاع درجات الحرارة الذي أحدثه اختلاف الطول بين المدخل والموقعين (10, 20) cm، والذي كان $(2.83, 6.83)^{\circ}\text{C}$ ، و $(1.68, 4.42)^{\circ}\text{C}$ للخطين $(10.16, 15.24)^{\circ}\text{C}$ على التوالي.

## فهرس الجداول

### List of tables

الصفحة	العنوان
30	الجدول (1-3): متوسطات درجات الحرارة الساعية لشهر تشرين الأول مقسمة لثلاث فترات زمنية خلال اليوم.
32	جدول (2-3): متوسطات درجات الحرارة الساعية لليوم التمثيلي (7-10-2019) مقسمة إلى ثلاث فترات زمنية خلال اليوم.
35	جدول (3-3): متوسطات درجات الحرارة الساعية لشهر كانون الأول مقسمة لثلاث فترات زمنية خلال اليوم.
37	الجدول (4-3): متوسطات درجات الحرارة الساعية لليوم التمثيلي (2019-12-17) مقسمة لثلاث فترات زمنية.

## الملخص

المبادل الحراري (هواء-أرض) هو تقنية جيوحرارية صديقة للبيئة قادرة على خفض استهلاك الطاقة وتكاليفها للتبريد والتدفئة من خلال استخدام درجة الحرارة المستقرة للأرض في تكييف الهواء، لذلك تم في هذا البحث دراسة تأثير ثلاثة بارامترات على أداء التكييف وهي (طول الأنبوب، قطره، وسرعة الهواء داخله) من خلال إجراء تجارب في مناخ حوض البحر الأبيض المتوسط في محافظة طرطوس. حيث دفنت أنابيب المبادل بأقطار (10.16, 15.24) cm على عمق m (1)، وبطول m (20)، واستخدمت سرعتان m/s (1.5, 2). أظهرت النتائج فعالية التبريد والتدفئة لنظام المبادل (هواء-أرض) حيث تحسنت بمقدار % (25.85, 40.8) للتبريد و% (36.28, 56) للتدفئة بزيادة طول الأنبوب إلى m (20) وتقليل القطر من cm (15.24) إلى cm (10.16) على التوالي. لوحظ أيضاً أن خفض سرعة الهواء في الأنبوب من m/s (2) إلى m/s (1.5) حسن أداء المبادل بمقدار °C (5.5) للتبريد و°C (6.99) للتدفئة.

# الفصل الأول

## الإطار العام للبحث

### 1.1.1 مقدمة

البيوت المحمية الزراعية عبارة عن منشآت زراعية مغطاة بمادة منفذة للضوء (زجاج، بلاستيك)، تستخدم لتهيئة البيئة المناسبة لنمو العديد من النباتات خلال أي موسم، وتحقيق أكبر عائد ممكن من وحدة المساحة عن طريق حماية المحاصيل من الظروف الجوية الخارجية. ويسهل داخل البيوت المحمية التحكم ببعض العوامل البيئية المهمة لنمو وإنتاجية النباتات مثل: درجة الحرارة، والرطوبة النسبية، والإضاءة، وتركيز غاز ثاني أكسيد الكربون، بالإضافة إلى عوامل متعلقة بتغذية النباتات ومكافحة الآفات، فضلاً عن أنه يسهل ضمنها أيضاً تنفيذ العمليات الزراعية من زراعة وري وخدمة وجني.

والبيوت المحمية الزراعية ذات أهمية كبيرة لتلبية الاحتياجات الغذائية العالمية المتزايدة نتيجة زيادة عدد السكان، فهي تؤمن المزروعات المختلفة على مدار العام، وتتأثر هذه البيوت وتصميمها وأنظمتها بموقع المكان وتضاريسه (طبوغرافياً)، والمنطقة المناخية، بالإضافة إلى مدى التطور التكنولوجي للمكان الموجودة فيه.

كان الهدف بداية من البيوت المحمية هو فقط إنتاج النباتات في غير مواسمها، لكن مع ملاحظة قدرتها على زيادة الإنتاج وجودته التي زادت من تسويقه، بدأ تطوير البيوت المحمية من مجرد هياكل بسيطة باتجاه تعديل البيئة الداخلية ضمنها، ومن ثم ضبطها والتحكم فيها، وتحسين المواد الهيكلية المصنوعة منها ومواد التغطية، وإضافة أنظمة تحكم حديثة، ومن ثم تأمين متطلبات الطاقة اللازمة لها عن طريق مصادر بديلة للوقود الأحفوري تكون أقل تكلفة وضرر بيئي خاصة لعمليات التدفئة والتبريد التي تعد من أكثر العمليات المستهلكة للطاقة، والتي تزيد تكاليف الإنتاج الزراعي.



وفي حوض البحر المتوسط تقسم البيوت المحمية الزراعية إلى نوعين (Gazquez et al., 2007):

- النوع التقليدي البسيط: وهو ذو هيكل معدني مغطى بغلاف بلاستيكي، تتم التهوية والتبريد فيه بواسطة فتحات تهوية طبيعية، ويتم التظليل يدوياً، أما التدفئة فتتم بالطرق التقليدية التي تعتمد على الوقود الأحفوري أو حرق بقايا النباتات.

- النوع المتطور: وهو عالي التكلفة، وذو تقنية عالية من حيث المواد المكون منها، فهو ذو هيكل من الفولاذ المغلفن ومواد الألمنيوم. تغطي بيوت هذا النوع بالزجاج المختلط مع البولي إيثيلين أو ألواح مزدوجة من PVC، وتتم فيها عمليات التحكم بشكل مؤتمت، كما أنها تحتوي على نظام تظليل متحرك وأنظمة تدفئة متطورة بعضها من مصادر متجددة، ويوجد فيها بالإضافة للتهوية الطبيعية مراوح وأنظمة تبريد تبخيرية أو ذات وسائد أو تعتمد على الأنظمة السلبية كالمبادلات الجيوحرارية، ويتم فيها تفعيل أنظمة التدفئة والتبريد عن طريق حساسات موصولة حسب الحاجة.

تعد الجمهورية العربية السورية بلداً زراعياً، والزراعة المحمية من الزراعات الأساسية التي يعتمد عليها سكان الساحل السوري عامة ومحافظة طرطوس خاصة، فهي تؤمن احتياجات السوق من الخضراوات على مدار العام. وبحسب إحصائيات وزارة الزراعة في سورية، بلغ العدد الكلي للبيوت البلاستيكية عام (2018) (156935) بيتاً، المستثمر منها (150213) بيتاً، منها (96959) بيتاً للبندورة، و(13104) بيتاً للخيار، (9199) بيتاً للباذنجان، و(17918) بيتاً للفليلة، (1227) بيتاً للكوسا، و(1060) بيتاً لنباتات الزينة، و(10746) بيتاً لأنواع أخرى (برهوم، وعبود، 2019).

وبالرغم من ذلك لاتزال البيوت المحمية بسيطة تعتمد الطرق التقليدية لتأمين احتياجات الطاقة للتدفئة والتبريد، لذلك كان لابد من إجراء أبحاث ودراسات للاستفادة من المصادر الطبيعية المتوفرة لتأمين هذه الاحتياجات، ومعرفة مدى كفاءة استخدامها، كالطاقة الحرارية الأرضية عن طريق مبادلات حرارية أنبوبية ودراسة العوامل المؤثرة في أدائها.

## 2.1. الدراسات المرجعية

- عام (2011) في دراسة أجراها الباحث (Ascione et al., 2011) على استخدام المبادل (EAHE) للتدفئة في المناخ الإيطالي في ثلاث مدن (Naples, Rome) ذات المناخ المتوسطي و (Milan) ذات المناخ الرطب شبه المداري، وتبين أن استخدام المبادل أدى إلى توفير الطاقة في المدن الثلاث، لكن للتدفئة كان بشكل أكبر في المدينة الأبرد، أي كلما انخفضت درجات الحرارة. كما وجد أن طول الأنابيب يجب أن يكون مناسباً لا يقل عن 10 m ولا يزيد عن 50 m، وأن العمق 3 m وسرعة الهواء خلال الأنابيب 8 m/s هما الأنسب في المنطقة المدروسة. هذه الدراسة تمت في مواقع ذات مناخ متوسطي قريب من مناخ الساحل السوري لكن طبيعته الجغرافية مختلفة من حيث التربة وأكثر ارتفاعاً عن مستوى سطح البحر مما مكن من التعمق أكثر.
- وفي دراسة أخرى أجراها الباحث (Shukla et al., 2006) في الهند على مبادل ذي ثلاثة صفوف من الأنابيب البلاستيكية المدفونة على عمق 1.5 m، وطول كل صف 11 m، والمسافة بين كل أنبوبين في الصف الواحد 0.6 m. تبين أن طول الأنبوب تأثير كبير في أداء التدفئة والتبريد للمبادل، لكن عندما يكون أكبر من الطول الأمثل فإنه لا يحدث تغيير في قدرة التكييف حتى لو تم تغيير سرعة تدفق الهواء ضمن الأنابيب. لكن هذا الشكل لتوضع أنابيب المبادل يتطلب توفر مساحة كافية لتثبيت المبادل بالقرب من المكان المطلوب تكييفه.
- درس الباحث (Wu et al., 2007) قدرة التبريد لنظام المبادل (EAHE) من أجل أطوال 20, 40, 60 m، وأقطار 0.1, 0.2, 0.3 m، وسرعات هواء ضمن الأنابيب 1, 2, 4 m/s، وأعماق 1.6, 3.2, 5 m، وجد أن زيادة نصف القطر وزيادة السرعة تؤثر سلباً في أداء التبريد، بينما زيادة الطول تؤدي إلى انخفاض ملحوظ بدرجة الحرارة. لكن هذه الدراسة تمت تحت ظروف المناخ الاستوائي في الصين.
- أجرى الباحث (Abbaspour-Fard et al., 2011) دراسة في (Mashhad) شمال شرق إيران على نظام مبادل أنبوبي (هواء-أرض) مكون من أنبوبين أفقيين متوازيين، أحدهما من (PVC) والآخر من الفولاذ المغلفن، والبعد بينهما 0.45 m، تبين أن لعمق دفن أنابيب المبادل التأثير الأكبر في فروق درجات الحرارة لكلا الخطين، وأن أعلى فرق حراري تمت ملاحظته كان عند الطول الكامل والعمق الأكبر وأدنى سرعة هواء مدروسة لكلا الخطين، وكان الأنبوب الفولاذي

المغلفن أفضل من البلاستيكي لكن بفارق بسيط، حيث أن مادة الأنبوب كانت الأقل تأثيراً في الأداء في هذه الدراسة. لكن نظام المبادل كان بطول m (18) اختبر عند العمق m (4, 2) وأدنى سرعة للهواء داخل الأنابيب m/s (4) وذلك تحت ظروف المناخ الإيراني المختلف عن المناخ المتوسطي بالإضافة لاختلاف الطبيعة الجغرافية ونوع التربة.

▪ ودرس الباحث (Sanusi et al., 2014) أداء التبريد للمبادل وتوصل إلى أن أفضل عمق لدفن الأنابيب هو m (1)، حيث كان الفرق بين درجة حرارة الهواء الطلق والتربة على هذا العمق حوالي  $7^{\circ}\text{C}$ . لكن هذه الدراسة أجريت في ماليزيا ذات المناخ الحار الرطب.

▪ قام الباحث (Benhammou and Draoui, 2015) بدراسة أداء التبريد لنظام مبادل (هواء-أرض) خلال شهر تموز، وجد أن درجة الحرارة تنخفض بزيادة طول الأنابيب، موضحاً أن الفرق الحراري الناتج عن زيادة طول الأنابيب يكون أكبر كلما كانت حرارة هواء المدخل أكبر، كما بينت الدراسة ذاتها أن درجة حرارة الهواء الخارج من المبادل تزداد (أي يسوء التبريد) بزيادة مساحة المقطع العرضي للأنبوب وسرعة الهواء. لكن هذه الدراسة أجريت في منطقة في (Adrar) جنوب الجزائر ذات المناخ الصحراوي.

▪ وهذا ما أكد عليه أيضاً الباحث (Sobti and Singh, 2015) في دراسة تحليلية لأداء المبادل، حيث توصل إلى أنه بزيادة قطر الأنبوب ينخفض الضغط، وبالتالي تقل كفاءة الأداء بينما يزداد الأداء الحراري وكفاءة الأداء من أجل أنبوب أطول ذي قطر أصغر مدفون على عمق أكبر وسرعة تدفق هواء أقل.

▪ درس الباحث (Ahmed et al., 2016) تأثير بارامترات طول أنابيب المبادل الحراري (هواء-أرض)، وقطرها، وعمق دفنها، وسرعة تدفق الهواء داخلها، ونوع مادتها، مقارنة الأداء لأربعة أطوال من الأنابيب m (7.5, 15, 30, 60)، وأربعة أقطار مختلفة m (0.062, 0.125, 0.200, )، وأربع سرعات للهواء ضمن الأنابيب m/s (0.41, 1, 1.5, 2). فتبين أن الأنبوب ذا الطول الأكبر m (60) أعطى أفضل أداء، بينما الأقصر m (7.5) كان الأقل كفاءة، وكان ذو القطر الأصغر والعمق الأكبر الأفضل للتبريد. لكن هذه الدراسة تمت في مناخ استوائي حار رطب في أستراليا (Rockhampton) وهو مختلف عن المناخ المتوسطي.

- قام الباحث (Belatrache et al., 2017) بدراسة تأثير الطول والعمق وسرعة الهواء ضمن الأنابيب لأداء التبريد، وجد أن درجة حرارة الهواء داخل المبادل تنخفض بشكل كبير خلال أول  $m$  (25) من طول الأنبوب، حيث يكون الفرق في الحرارة كبيراً بين هواء المدخل  $^{\circ}C$  (46) والتربة، لكن بعد هذا الطول يصبح الفرق الحراري بينهما قليل. وكان العمق الأكبر من الأعماق  $m$  (1, 2, 3, 5) هو الأفضل. لكن نظام المبادل المدروس كان بطول  $m$  (45)، قطر  $mm$  (80)، وسرعة هواء ضمن الأنابيب  $m/s$  (1) وتحت ظروف المناخ الصحراوي.
- درس الباحث (Morshed et al., 2018) نظام مبادل أنبوبي (هواء-أرض) مكون من خطين أحدهما في تربة جافة والآخر رطبت التربة حوله بأنابيب تنقيط ترتفع عنه  $cm$  (10)، توصل إلى أن ترطيب التربة حول خط المبادل يحسن من عملية التبادل الحراري، حيث كان معامل الأداء نهائياً (تبريد) لنظام المبادل الرطب  $(6.41)$  أعلى من الجاف الذي كان  $(5.07)$ ، وكذلك ليلاً (تدفئة) كان أكثر كفاءة، كما وجد أن زيادة طول الأنبوب لكلا الخطين تؤدي إلى زيادة كفاءة التبريد، لكن الثلث الأول من طول الأنبوب هو الأكثر فعالية. لكن المبادل المدروس كان بطول  $m$  (37)، التباعد بين الخطين  $m$  (5)، والعمق  $m$  (2)، وأجريت الدراسة في مناخ شبه صحراوي في العراق (البصرة).
- وفي دراسة أخرى (Singh et al., 2018-a) حول تقليل تكلفة أنظمة التبريد في الهند، وجد أنه كلما ازداد طول الأنبوب تزداد كفاءة أداء المبادل بتغير مقداره  $^{\circ}C$  (3) لكل  $m$  (15)، لكن إلى طول محدد، عندئذ تصل حرارة الهواء لدرجة حرارة الأرض بسرعة. وانخفاض درجة حرارة المخرج عند الطول  $m$  (15) كان  $^{\circ}C$  (10.2)، أما عند الطول  $m$  (30) فكان  $^{\circ}C$  (13.2)، وعند  $m$  (45) كان  $^{\circ}C$  (16). وعند المقارنة بين سرعتي هواء ضمن الأنابيب كان مقدار التبريد أكبر  $^{\circ}C$  (10.2) عند السرعة الأقل. لكن هذه الدراسة كانت لمبادل ذي أنابيب إسمنتية قطرها  $cm$  (25.4)، بطول  $m$  (45) عند سرعتين  $m/s$  (2.5, 4.8) وتحت ظروف مناخ حار جاف.
- وفي دراسة أجراها الباحث (Bansal et al., 2010) في (Ajmer) غرب الهند على نظام مبادل (هواء-أرض) مكون من خطين أفقيين أسطوانيين بقطر  $m$  (0.15)، وطول  $m$  (23, 42) مدفونين على عمق  $m$  (2.7) أحدهما من (steel mild) والآخر من (PVC)، وجد أن نظام المبادل أعطى تبريداً يتراوح بين  $^{\circ}C$  (8-12.7) من أجل سرعات

هواء ضمن الأنابيب تتراوح بين  $m/s$  (2-5)، وأشار إلى أن تأثير مادة الأنبوب في الأداء كان قليلاً بسبب قلة سماكة الأنابيب المستخدمة لذلك يمكن استخدام الأنابيب من المواد ذات السعر الأقل، فتم اختيار أنابيب (PVC) لنظام المبادل المستخدم في هذا البحث لكن بأطوال وأقطار وسرعات هواء مختلفة.

▪ في دراسة أجراها الباحث (Liu et al., 2019) في الصين قارن فيها بين مواد مختلفة لأنابيب مبادل حراري (هواء-أرض) (stainless steel, PE, PVC) فوجد أن أنبوب (stainless steel) حقق حرارة مخرج أقل بالمقارنة مع الأنبوبين الآخرين في الصيف، لكنه أوضح أن سماكة جدار الأنبوب هو الذي يحدد مدى تأثير مادة الأنبوب، فعند سماكة  $mm$  (2) كانت حرارة المخرج للأنابيب الثلاثة  $^{\circ}C$  (23.38, 23.45, 23.58)، بينما عند  $mm$  (10) كانت  $^{\circ}C$  (23.34, 23.69, 24.22)، وبما أن سماكة الأنابيب المستخدمة في البحث قليلة  $mm$  (3) لذلك تم اختيار مادة (PVC).

### 3.1. مشكلة البحث وأهميته

من خلال دراسة واقع البيوت المحمية في الساحل السوري وجد أنها مازالت تعتمد على طرق تقليدية في التدفئة والتكييف حيث يعتبر تأمين الطاقة من أهم المشكلات التي يواجهها العالم اليوم، وفي المجال الزراعي يعد تكييف البيوت المحمية الزراعية من أكثر العمليات المستهلكة للطاقة، حيث يواجه المزارعون صعوبة في تأمين الوقود وارتفاع أسعاره من جهة، والتلوث البيئي الناتج عن احتراقه من جهة أخرى، بالإضافة إلى الحاجة إلى أجهزة تكييف منفصلة للتدفئة شتاءً وأخرى للتبريد صيفاً، فضلاً عن كونها تشغل حيزاً من البيت المحمي على حساب مساحته، وتؤدي النباتات الموجودة بالقرب منها، كما أنها تحتاج إلى وجود عمال لتشغيلها، وهي ذات تكاليف صيانة وإصلاح مرتفعة.

لذلك كان لابد من البحث عن طرق وأساليب أخرى تكون بسيطة وأكثر اقتصادية وصديقة للبيئة تحد من استخدام الوقود الأحفوري لتكييف البيوت المحمية الزراعية، خاصة وأنه لاتزال هذه العمليات تقليدية في منطقتنا.

## 4.1. فرضيات البحث

- ❖ هل يمكن استخدام المبادل الحراري الأنبوبي في تكييف البيوت المحمية الزراعية في الساحل السوري؟ وما مدى كفاءته؟
- ❖ ما هو مقدار تأثير بارامترات الطول، والقطر، وسرعة الهواء داخل الأنابيب في أداء المبادل؟

## 5.1. أهداف البحث

- ❖ دراسة إمكانية استخدام المبادل الحراري الأنبوبي (هواء-أرض) في تكييف البيوت المحمية الزراعية في الساحل السوري.
- ❖ دراسة تأثير بارامترات الطول والقطر وسرعة الهواء داخل أنابيب المبادل.
- ❖ تحديد قيم البارامترات المتوافقة مع ظروف الساحل السوري.

## 6.1. منهجية البحث

يعتمد هذا البحث على منهجين، المنهج الوصفي المتمثل بالدراسة النظرية منه، والمنهج التجريبي الذي يعتمد على التجريب والاختبار لنظام المبادل المدروس.

## الفصل الثاني

### دراسة نظرية

#### 1.2. مقدمة

يتناول هذا الفصل المبادل الأنبوبي (هواء-أرض) من حيث مكوناته، ومجالات استخدامه، وأنواعه حسب التصنيفين الرئيسيين: نوع دائرة النظام، وطريقة توضع الأنابيب.

#### 2.2. نظام المبادل الأنبوبي (هواء-أرض)

إن درجة حرارة الأرض على عمق أكبر من 1 m (1) تحت سطح التربة تكون ثابتة تقريباً على مدار العام، وتدعى هذه الحرارة بدرجة حرارة الأرض المستقرة (The undisturbed temperature)، أي أن تغيراتها الحرارية تكون أقل من الهواء الخارجي، فتبقى أعلى من درجة حرارة الوسط المحيط شتاءً، وأخفض منها صيفاً (Florides and Kalogirou, 2005). لكن مقدار هذا العمق المستقر يختلف من منطقة لأخرى، فقد يكون مثلاً 2 m (1.5, 2) (Bisonya et al., 2013)، أو أكثر من 3 m وذلك بحسب الموقع، والمنطقة المناخية، وحالة الطقس (عاصف، مشمس، غائم)، ووجود رياح، وأمطار، وكثافة إشعاع شمسي، ونسبة رطوبة).

وبالإضافة إلى الفروق الحرارية بين الليل والنهار خلال اليوم الواحد التي تنتقل لعمق تربة أقل من الذي تصل له التغيرات الحرارية الفصلية، فقد يصل تأثير التغيرات اليومية إلى عمق 0.15 m)، أما الفصلية حتى 4 m (4) (Bharadwaj and Bansal, 1981)، فضلاً عن تأثير خصائص التربة (نوعها وخصائصها الفيزيائية والحرارية) وما يغطيها (جرداء-عشب-ثلج.. الخ).

ووفقاً للتوزيع الحراري حسب (Popiel et al., 2001) يمكن تقسيم طبقات التربة بشكل عام إلى:

- المنطقة السطحية: يمكن أن تصل لعمق 1 m حسب المنطقة، ودرجة حرارتها حساسة للتغيرات الحرارية الخارجية المؤقتة، أي تكسب الحرارة وتفقدتها بسرعة مع تقلبات الطقس المؤقتة، فهي تتأثر بالتغيرات الحرارية اليومية بين الليل والنهار.

- المنطقة تحت السطحية: تلي الأولى وتمتد على عمق m (1-8) للتربة الجافة الخفيفة و m (20) للتربة الرملية الثقيلة الرطبة، وتكون درجة حرارتها مستقرة تقريباً وذات فروق حرارية قليلة تتبع للتغيرات الحرارية الفصلية ذات التأثير الأعماق، ولا تتأثر بالتغيرات الحرارية اليومية.
- المنطقة العميقة: تمتد على عمق حوالي m (8-20)، وهي لا تتأثر بالتغيرات الحرارية اليومية والفصلية، حيث أن تغير الحرارة فيها بطيء جداً مع العمق، وتكاد تكون حرارتها ثابتة. تنتقل الحرارة بالإشعاع والحمل إلى سطح التربة ثم تتدفق بالتوصيل والحمل عبر جسم التربة إلى الطبقات الأعماق حتى عمق معين، وبعده تكون التغيرات الحرارية طفيفة بزيادة العمق. هذه الحرارة المنقولة إلى عمق التربة تحتاج إلى ساعات كي تكسبها أو تخسرها، فتصبح حرارتها ليلاً أعلى من حرارة البيئة المحيطة، بمعنى آخر الحرارة المخزنة في أعماق التربة تتغير (تفقد أو تكسبها) بصورة أبطأ بكثير مما هو في الهواء المحيط بالتربة، فتصبح خزان حراري لطاقة الشمس نهاراً. وبنفس الطريقة تكون درجة حرارة الأرض دائماً أعلى من درجة حرارة الهواء الخارجي في فصل الشتاء وأقل منه في فصل الصيف، حيث أن التغيرات الحرارية الفصلية تتغلغل إلى طبقة تربة أكثر عمقاً وأكثر استقرارية من التغيرات الحرارية اليومية (Sharma and Singh, 2017).

وبالتالي الاستقرارية الحرارية الأرضية خاصة هامة يمكن الاستفادة منها في عمليات التدفئة والتبريد من خلال المبادلات الحرارية الأرضية GHE التي هي عبارة عن أنابيب تمتد تحت سطح الأرض للاستفادة من الحرارة المستقرة لباطن التربة عن طريق وسيط نقل حرارة قد يكون هواء أو ماء، فعندما يكون الوسيط الناقل ماء أو غيره من الموائع غير المتجمدة يسمى عندئذ مضخة حرارية أرضية (GSHP) ground source heat pump (Bakirci, 2010)، أما عند استخدام الهواء فيسمى مبادل حراري (هواء-أرض) Earth air heat exchanger (EAHE).

ولتقييم أداء التكييف لنظام المبادل تم حساب فعالية الأداء للمبادل ( $\epsilon$ ) الذي يعبر عن الفرق بين درجات حرارة الهواء المدخل ( $T_{ai}$ ) والمخرج ( $T_{ao}$ ) مقسوماً على الفرق بين درجات حرارة المدخل والتربة ( $T_{soil}$ ) كما يلي (Agrawal et al., 2018):

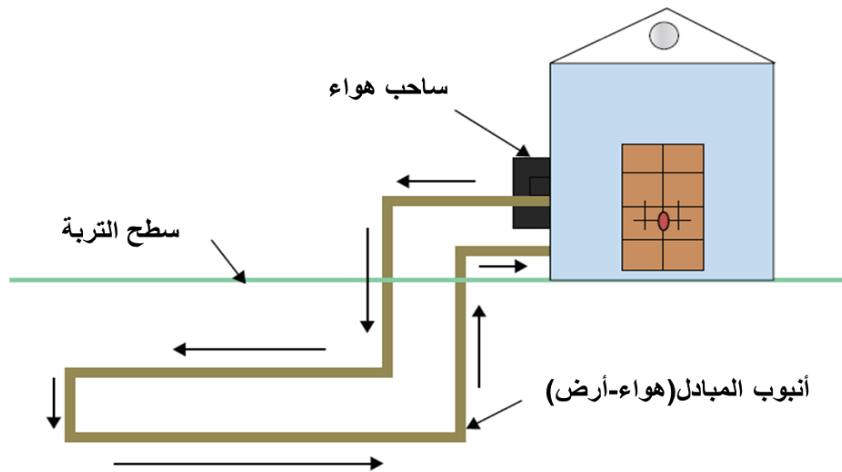
$$\epsilon = (T_{ai} - T_{ao}) / (T_{ai} - T_{soil}) \quad (\%) \quad (1)$$



### 3.2. مكونات نظام المبادل الحراري الأنبوبي (هواء-أرض)

يتكون المبادل الحراري الأنبوبي (هواء-أرض) (EATHE) من جهاز سحب هواء (Air blower) يقوم بسحب الهواء ودفعه ضمن شبكة من خطوط الأنابيب المصنوعة من مواد متينة تتحمل ضغط التربة فوقها، وذات موصلية حرارية جيدة لتسمح بمرور الحرارة خلالها بكفاءة (فولاذ، بلاستيك، اسمنت .. إلخ) الشكل (1-2).

وهذه الخطوط تكون ذات أشكال وتوضعات مختلفة مدفونة تحت سطح التربة على عمق معين غالباً بين 1-3 m في النوع الأفقي وأكثر منه في النوع الرأسي حسب المنطقة ونوع تربتها وخصائصها الحرارية (Kaushik et al., 2013).



الشكل (1-2): مكونات النظام (EATHE) (kaushik et al., 2013).

### 4.2. مجالات استخدام نظام المبادل الأنبوبي (هواء-أرض)

الهواء الخارج من أنابيب المبادل يمكن أن يستخدم مباشرةً للتدفئة أو التبريد إذا كانت حرارته كافية ومناسبة، أي يستخدم كتطبيق بديل لأنظمة التكييف التقليدية، ويمكن أن يستخدم كتطبيق داعم في المناطق الشديدة البرودة أو الحرارة حيث يمرر الهواء الخارج من أنابيب المبادل إلى أجهزة تكييف، وبالتالي تكون مهمته تكييف أولي للهواء، أو يعمل بالتزامن معها مما يقلل من استهلاك الطاقة من كهرباء أو وقود، وتقليل ضرره البيئي (Bisonya et al., 2013).

فبعد استخدام نظام مبادل حراري (هواء-أرض) مكون من m (20) من الأنابيب الأفقية من الحديد المغلف ذات القطر الداخلي m (0.05) مدفونة على عمق m (2) مع مكيف هواء أدى إلى تحسين أدائه بنسبة % (11)، وقلل استهلاك الطاقة بنسبة % (15) (Nadaf et al., 2018).

وقد استخدم نظام المبادل لتكييف البيوت المحمية الزراعية، حيث وجدوا أنه طريقة فعالة لتكييفها، قليلة التكلفة، تحد من استهلاك الوقود وما يرتبط به من ضرر بيئي، بالإضافة لزيادة الإنتاجية، وتوفير التكاليف مقارنة مع أنظمة التكييف التقليدية بالوقود الأحفوري حيث وجدوا أنه يؤمن KW/h (561.6) صيفاً مما يوفر الطاقة بنسبة % (74.3)، و KW/h (177.6) شتاءً بتوفير % (67.3) (Yang et al., 2019). كما أدى استخدامه في الهند إلى تحسين نوعية وكمية المحاصيل، فكانت إنتاجية محصول البندورة صيفاً في المناطق الحارة أعلى بنسبة (2-1.5) مرة، وتوفير المياه المستخدمة في التبريد والري بنسبة % (44) (Jethva and Sharan, 2016).

كما وجدوا في الصين (Shouguang) أنه يمكن استغلال الطاقة الحرارية الأرضية على عمق m (1-4) تحت سطح التربة في تكييف البيوت المحمية الزراعية حيث لاحظوا وجود فرق حراري كبير بين درجات حرارة الهواء وباطن التربة مقداره °C (5-15) صيفاً و °C (10-25) شتاءً، وأنه يمكن أن يحل نظام المبادل مكان أنظمة التكييف التقليدية مما يقلل من تكاليف الإنتاج ويحسن نوعية المحاصيل (Le et al., 2020). كذلك كان نظام المبادل ذو كفاءة عالية شتاءً عند استخدامه لتدفئة البيوت المحمية في تركيا (أزمير) مما أدى إلى رفع درجة الحرارة إلى °C (24.76) بمعدل °C (18.67) (Ozgener and Ozgener, 2011).

وعندما تمت المقارنة بين بيتين محميين زراعيين متطابقين بمساحة m<sup>2</sup> (30) من حجم البيت المحمي، أحدهما مزود بنظام مبادل (هواء-أرض) أفقي، والآخر مزود بأنظمة تقليدية في تايلاند، كان نظام المبادل ذا قدرة جيدة لتبريد البيت المحمي نهاراً، بالإضافة لأن نوعية المحاصيل المزروعة كانت أفضل (Mongkon et al., 2014).

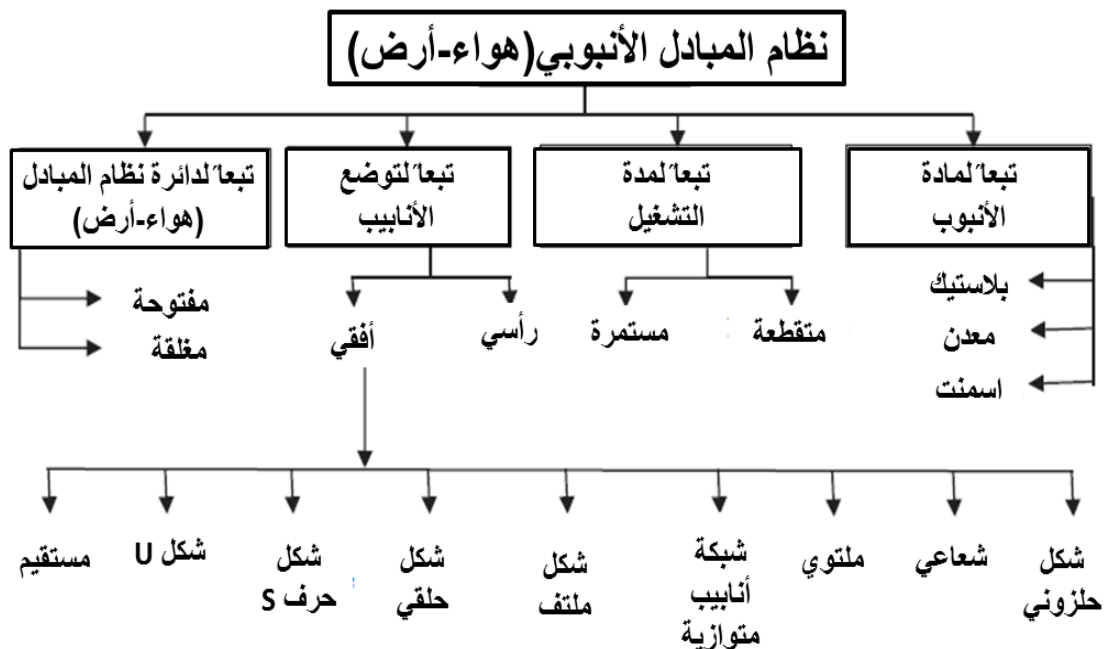
واستخدم أيضاً نظام المبادل (هواء-أرض) لتكييف وتهوية المداخن (Laknizi et al., 2018)، وفي تكييف وتهوية حظائر الحيوانات (Krommweh et al., 2014; Wang et al., 2018) وفي حظائر حدائق الحيوانات لتبريد الهواء صيفاً (Sharma, 2004).

ولم يقتصر استخدام نظام المبادل (هواء-أرض) على البيوت المحمية ومباني الثروة الحيوانية، وإنما استخدم أيضاً في تكييف الأبنية، حيث تشكل الطاقة المستخدمة لتكييف المباني حوالي % (40) من الطاقة المستهلكة عالمياً (Singh et al., 2018). فقد تم استخدامه لتكييف مدرسة في إيطاليا (Chiesa et al., 2014)، ولتهوية وتبريد المباني في الجزائر (Menhoudj et al., 2018).

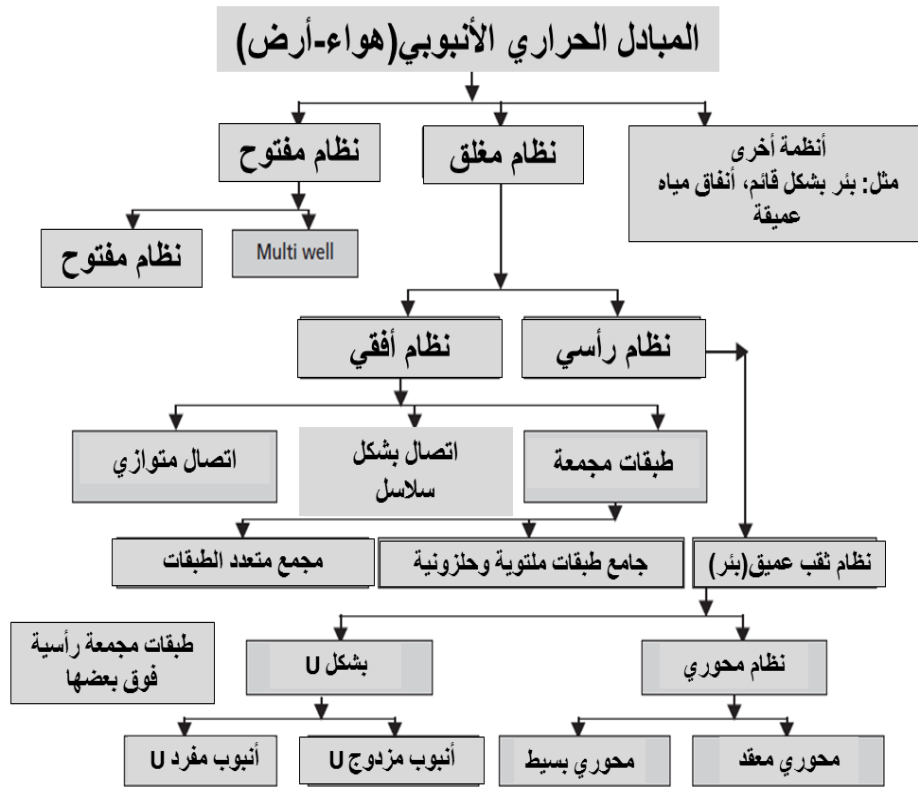
وتوجد استخدامات كثيرة أخرى للمبادل كتبريد وحدات توليد الطاقة (Elminshawy et al., 2019)، فعند استخدامه لتبريد الهواء قبل دخوله مكثف التبريد (air-cooled condenser) لدورة رانكين العضوية لتوليد الطاقة (An organic Rankine cycle) حسن كفاءة توليدها بنسبة % (1-3) (Vidhi et al., 2014). كما استخدم لتحسين أداء التوربينات الغازية لمحطة كهرباء دمياط في مصر عن طريق تبريد الهواء الداخل إلى التوربين، مما زاد من كفاءة أداء التوربين لنسبة تصل إلى % (9) وبالتالي توفير (1.655\*106) دولار خلال فترة (1.2) عام (Barakat et al., 2016).

## 5.2. أنواع المبادل الحراري الأنبوبي (هواء-أرض)

تم تصنيف المبادل الأنبوبي (هواء-أرض) إلى عدة أنواع، لكنها جميعها تنفق على تصنيفين رئيسيين هما: حسب دارة تدفق الهواء (مفتوحة، مغلقة)، وتبعاً لتوضع الأنابيب (أفقي، رأسي) الشكلين (2-2, 3-2).



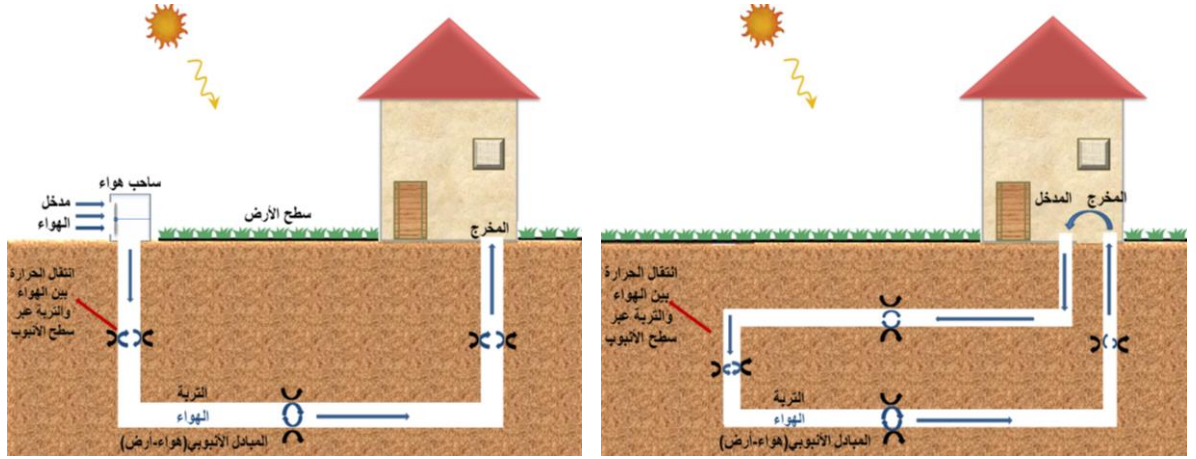
الشكل (2-2): أنواع المبادل EAHE حسب المرجع (Agrawal et al., 2019).



الشكل (2-3): أنواع المبادل (EAHE) حسب المرجع (Kaushik et al., 2013).

### 1.5.2. حسب دائرة تدفق الهواء في النظام

- ❖ **نظام ذو حلقة مفتوحة:** وفيه يتم سحب الهواء الخارجي، ودفاعة ليمر عبر أنابيب المبادل، فتحدث عملية التبادل الحراري عبر جدران الأنابيب للهواء مع التربة (من الأعلى إلى الأقل حرارة)، ثم يتدفق إلى الوسط المراد تكييفه الشكل (4-2.a) (Manik et al., 2018).
- ❖ **نظام ذو حلقة مغلقة:** وفيه يتم سحب الهواء من الوسط المراد تكييفه إلى أنابيب المبادل، لتحدث عملية التبادل الحراري، ومنه يعاد مرة أخرى إلى الوسط، وهكذا تتكرر العملية ضمن دائرة مغلقة الشكل (4-2.b) (Sharan et al., 2004).



(a): نظام ذو حلقة مفتوحة

(b): نظام ذو حلقة مغلقة

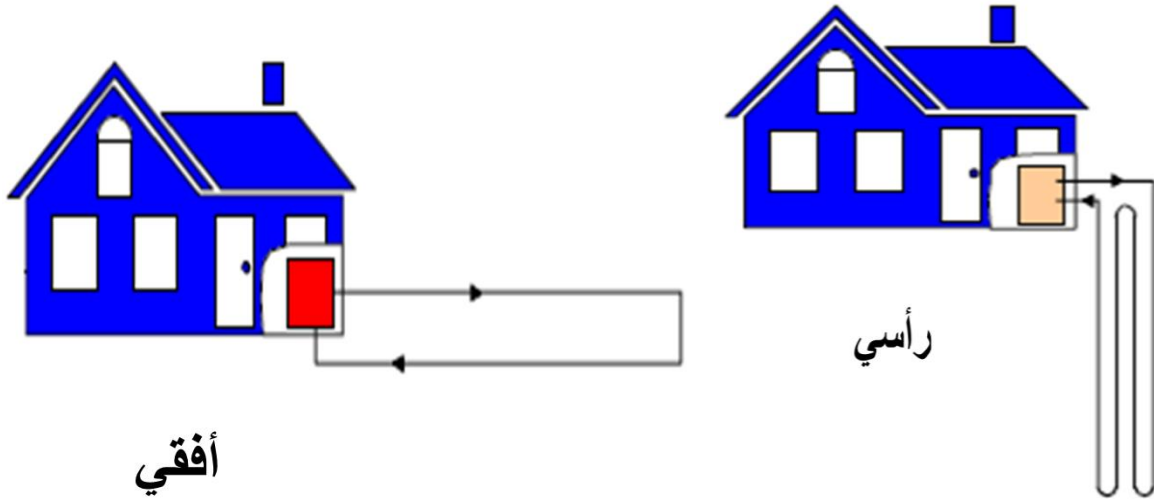
الشكل (4-2): نظام (EAHE) ذو حلقة مفتوحة (a)، نظام (EAHE) ذو حلقة مغلقة (b).

## 2.5.2. حسب توزيع الأنابيب في التربة

تتوضع خطوط المبادلات الحرارية تحت سطح الأرض في وضعيتين رئيسيتين الشكل (5-2):

❖ أفقية Horizontal.

❖ رأسية Vertical.



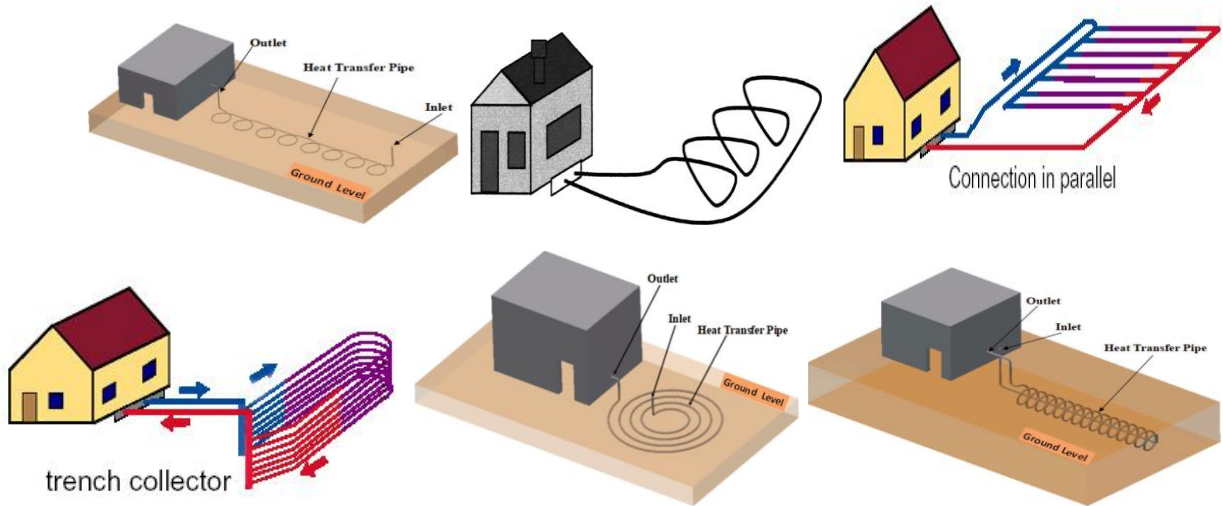
الشكل (5-2): الوضعيتين الأفقية والرأسية.

## 1.2.5.2. الوضعية الأفقية

يتكون المبادل من أنبوب واحد، أو عدد من الأنابيب الأفقية المتصلة معاً. وللتوضعات الأفقية للأنبوب أشكال مختلفة، فقد يكون مستقيماً (straight)، أو ملتويًا (Slinky coil، Slinky)، أو بشكل سلاسل (series)، أو حلزونياً دوامياً (spiral coil)، أو حلزونياً نابضياً (Helical-coil) الشكل (2-6).

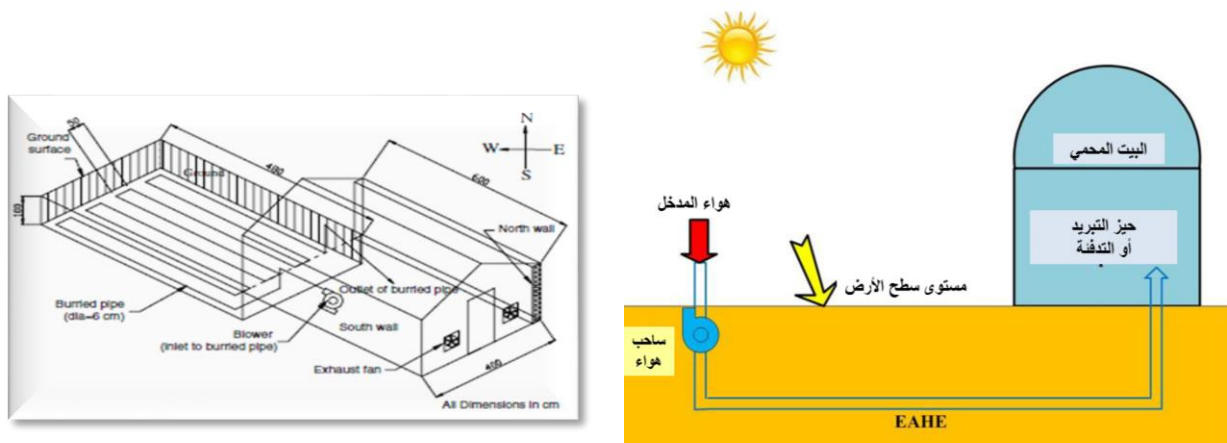
والشكل الأساسي للأنابيب هو المستقيم، لكن وجدت الأشكال الأخرى للحد من مشكلة المساحة التي يتطلبها تثبيت نظام المبادل، كالشكل الحلزوني الدوامي (spiral coil) الذي يكون تدفق الهواء فيه من المحيط إلى المركز أو بالعكس (Jamshidi and Sadafi, 2020)، والشكل الملتوي (Slinky).

ومن الممكن أن يتكون المبادل من مجموعات من الأنابيب الأفقية المتصلة معاً ذات الشكل الواحد، أو الأشكال المختلفة كالنوع الملتوي، أو الحلزوني النابضي مع النوع المستقيم (Agrawal et al., 2019)، وقد تتوضع هذه المجموعات في مستوي أفقي واحد، أو بشكل طبقات أفقية فوق بعضها البعض مجتمعة في مدخل واحد ومخرج واحد، أو تكون ذات مداخل متعددة ومخرج واحد، وهذا يقلل أيضاً من المساحة المطلوبة.

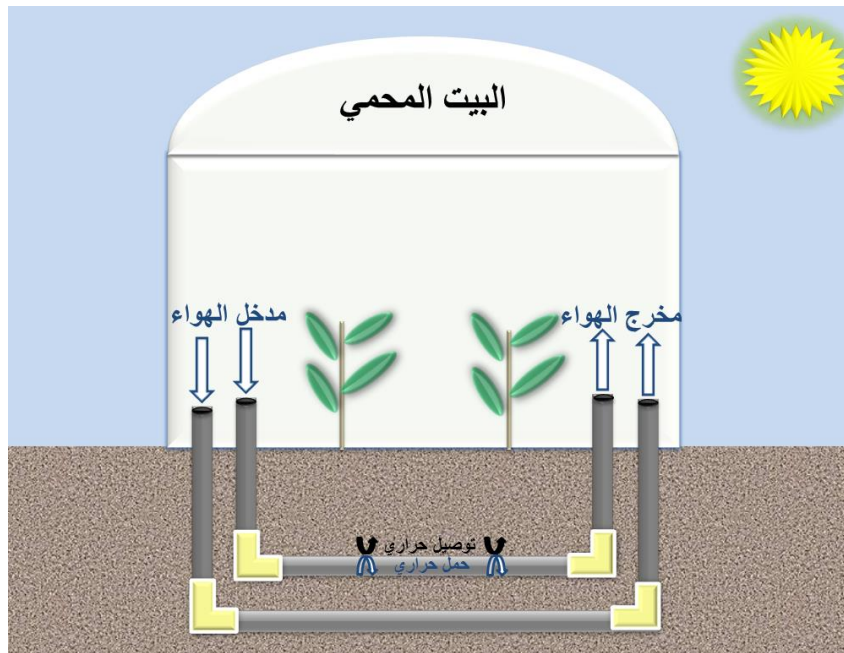


الشكل (2-6): أشكال مختلفة للتوضع الأفقي لأنابيب المبادل (هواء-أرض) (سلاسل، ملتوي، حلقات، نابضي، حلزوني دوامي، طبقات) (Agrawal et al., 2019).

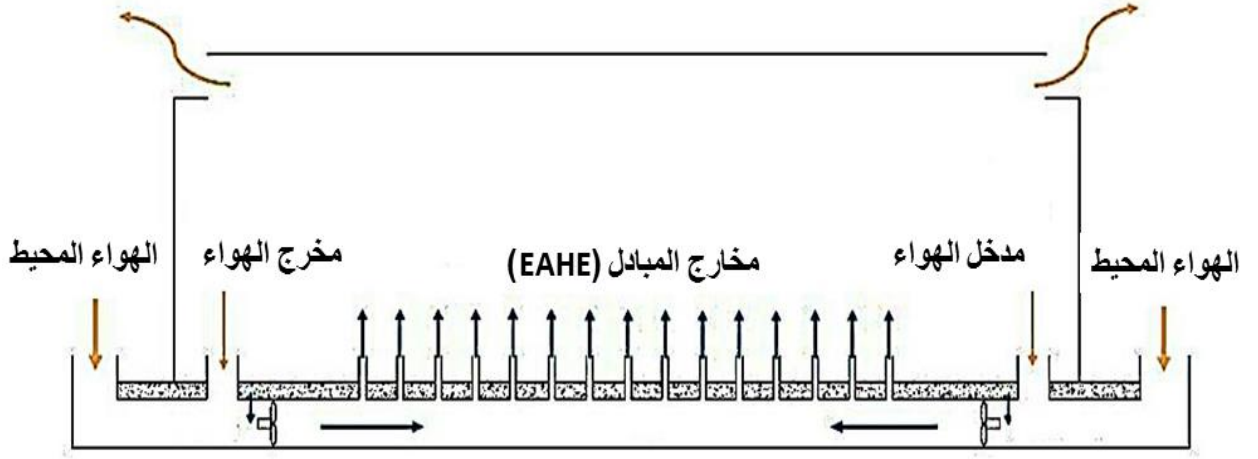
من الممكن أيضاً أن تثبت أنابيب المبادل بجانب البيت المحمي في حال وجود مساحة كافية (Tiwari et al., 2006) أو على امتداد الجانب الطولي له الشكل (7-2)، أو تحت البيت المحمي لتقليل الحيز المشغول (Mavroyanopoulos and Kyritsis, 1986) الشكل (8-2)، ومن الممكن أن يزود المبادل المتوضع تحت البيت المحمي بقنوات متفرعة داخل البيت المحمي لتوزيع الهواء الشكل (9-2).



الشكل (7-2): نظام المبادل (EAHE) بجانب البيت المحمي (Faridi et al., 2021; Tiwari et., 2006)



الشكل (8-2): نظام المبادل (EAHE) تحت البيت المحمي.



الشكل (9-2): نظام (EAHE) تحت البيت المحمي مع قنوات هواء متفرعة داخله لتبريده وتبريده، (Faridi et al., 2021)

وطبيعة بعض المناطق، كالمناطق الصخرية، قد تكون ذات صعوبة في الحفر، فتكون الوضعية الأفقية مناسبة، حيث يمكن أن يكون عمق الحفر قليلاً (1-2) m حسب المنطقة وخصائص التربة. وعادةً يتم استخدام سلسلة طويلة من الأنابيب البلاستيكية المتوازية نموذجياً ذات طول أكبر من (30) m، ويمرر فيها الهواء بحلقة مغلقة أو مفتوحة ليتم تبادل الحرارة مع التربة المحيطة بالأنابيب. وتوجد توضعات كثيرة مختلفة للأنابيب الأفقية.

وعند مقارنة أداء التبريد لنمطين من المبادل يتكونان من أنابيب PVC ذات قطر خارجي (125) mm، وطول الأنبوب الواحد فيها (8.1) m، النمط الأول ذو (5) مجموعات من هذه الأنابيب المتوضعة في مستويات أفقية فوق بعضها البعض، وكل مجموعة على عمق معين (0.4, 0.55, 0.7, 0.85, 1) m على التوالي، والنمط الثاني ذو أنابيب أفقية متوازية مدفونة في مستوي أفقي واحد على عمق واحد (0.4) m، كان أداء التبريد للنمط الأول أفضل، حيث أن أقصى درجة حرارة كانت (23.05)C°، بينما كان (85.33)C° في الوضعية الثانية (Ahmed et al., 2014).

كما وأجريت مقارنات بين الأشكال المختلفة للأنابيب الأفقية ومقارنتها بالشكل الأساسي المستقيم، حيث درست المبادلات الحلزونية الدوامية الأفقية (spiral) وقورنت مع النوع المستقيم، فكان النوع الحلزوني الدوامي أفضل، لأنه يحل مشكلة المساحة التي تتطلبها أنابيب المبادل، وبالتالي يمكن من استخدام أطوال أكبر للأنابيب (Mathur et al., 2017)، وكذلك ضمن الظروف المناخية الجافة كان المبادل ذو الشكل



الحلزوني الدوامي (spiral coil type) هو الأفضل لذات السبب، مما حسن من عملية انتقال الحرارة مقارنة بالمستقيمة (Jamshidi and Sadafi, 2020).

وعندما تمت المقارنة بين ثلاثة أشكال من الأنابيب الأفقية (خطي مستقيم linear، حلزوني نابضي helical، ملتوي بشكل حلقات slinky) كان الشكل الحلزوني النابضي هو الأفضل أداءً (Congedo et al., 2012). لكن في هذا البحث كان الشكل المستقيم هو الأنسب للمساحة المتوفرة فالأنابيب متوضعة إلى جانبي البيت البلاستيكي دون أن تشغل حيزاً كبيراً من الأرض.

#### 2.2.5.2. الوضعية الرأسية

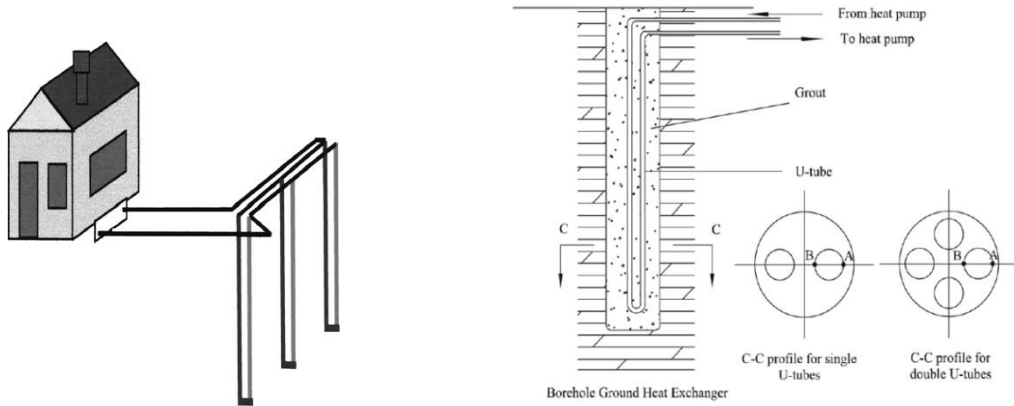
يتكون المبادل الأنبوبي (هواء-أرض) الرأسي من أنبوب أو عدة أنابيب على شكل حرف U (شبكة) متصلة مع بعضها البعض بشكل متوازي بمدخل واحد أو عدة مداخل ومخرج واحد، أو تكون الأنابيب الرأسية محورية.

وهذا التوضع يتطلب عمقاً كبيراً في التربة، غالباً أكبر من 15 m، وبالتالي تكاليف حفر كبيرة، حيث أن الأكثر تكلفة في إنشاء المبادل هو عملية الحفر وتكاليف الأنابيب اللذان يصلان إلى حوالي 70% من التكلفة الإجمالية للمبادل (Agrawal et al., 2018; Agrawal et al., 2020). ومن أجل الأعماق الكبيرة توجد حاجة إلى نوعية أنابيب تتحمل العمق الكبير، وهي أغلى ثمناً من أنابيب التوضع الأفقي، لكنها تتطلب عدد أنابيب (طول أنابيب) أقل، كما أن أنظمة المبادلات الرأسية لا تناسب جميع المناطق، مثلاً الأماكن ذات الطبقات الصخرية وذلك لصعوبة الحفر (Yuan et al., 2012).

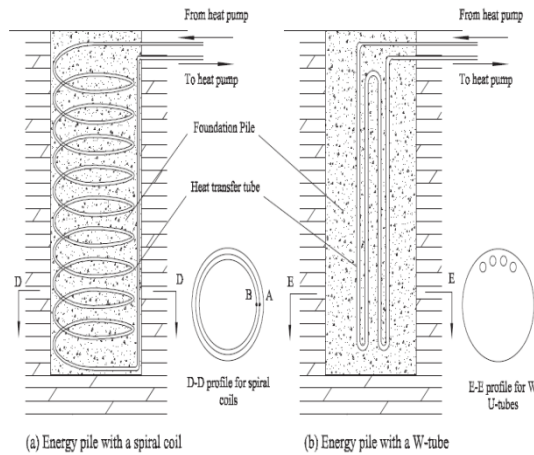
وعندما أجريت مقارنة بين المبادل الحراري الرأسي على شكل حرف U مع أنظمة المبادلات (هواء-أرض) التقليدية الأفقية، وجد أن المبادل الحراري الرأسي أدى إلى توفير في المساحة، واستخدام الطاقة الحرارية لطبقات التربة العميقة بكفاءة أكبر، لكن كما ذكر سابقاً، يمكن أن لا تناسب المبادلات الرأسية طبيعة المنطقة الجغرافية (Liu et al., 2019).

أنواع المبادلات الرأسية حسب (Florides and Kalogirou, 2007):

- أنابيب بشكل حرف U: يتألف النوع البسيط منها من زوج من الأنابيب المستقيمة المتصلة مع بعضها بشكل منحنى في الجزء السفلي، وتتوضع في حفرة على العمق الملائم، حيث يدخل الهواء من أحد الطرفين ويخرج من الآخر بعد أن تتم عملية التبادل، ويمكن وضع عدة أنابيب من هذا الشكل في نفس الحفرة، ويمكن أن تتكون الشبكة من عدة حفر في كل منها عدة أنابيب U، وترتبط أنابيب الحفر مع بعضها بأنبوب لمدخل واحد ومخرج واحد الشكل (10-2)، ولاستخدام أنابيب بطول أكبر استخدمت أنابيب رأسية بشكل حرف W أو بشكل نابضي الشكل (11-2) (Li and Lai, 2012).

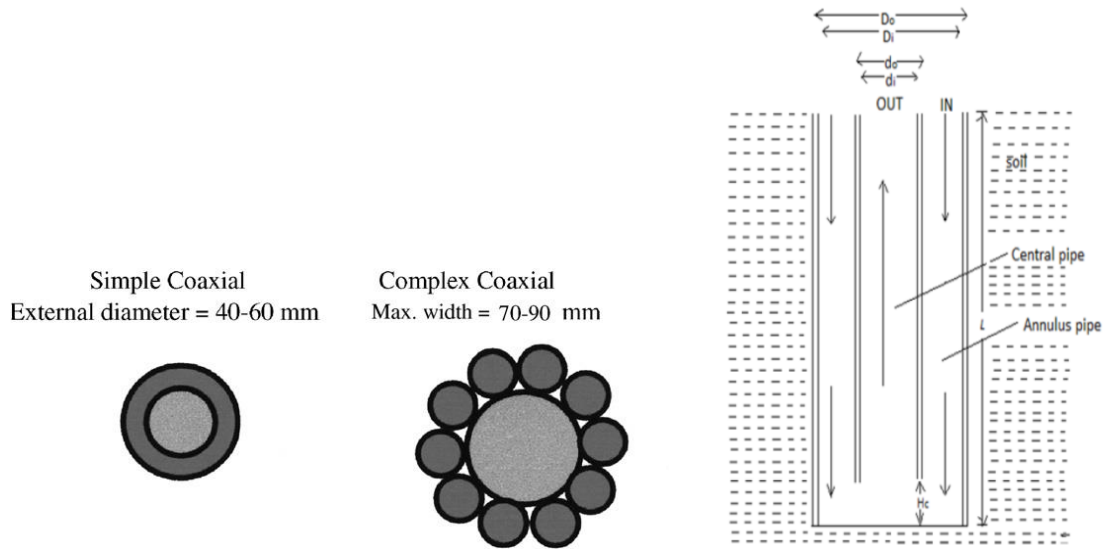


الشكل (10-2): أنابيب مبادل رأسي بشكل حرف U، شبكة من الأنابيب الرأسية U.



الشكل (11-2): أنابيب مبادل رأسي بشكل حرف W، والشكل النابضي.

- أنابيب مركزية أو محورية (Concentric or Coaxial pipes): تكون متوضعة إما بطريقة بسيطة كأنابيب مستقيمة داخل بعضها البعض، بحيث يكون الأصغر قطراً داخل الأكبر قطراً، ومن الممكن أن يكون اتجاه تدفق الهواء فيها من الأنبوب الداخلي للخارجي أو بالعكس، وإما أن تكون الأنابيب محورية ذات وضعيات أكثر تعقيداً الشكل (12-2).



الشكل (12-2): أنابيب مبادلات رأسية (هواء-أرض) متحدة المركز، (Singh and Sharma, 2018).

## الفصل الثالث

### القسم العملي

#### 1.3. مقدمة

يتناول هذا الفصل بدايةً التعريف بالأدوات والأجهزة المستخدمة في إجراء الاختبارات، والتعريف بموقع البحث ومبدأ العمل، والمبادل المدروس، ومراحل تنفيذ الاختبارات، وصولاً إلى النتائج لأداء التبريد والتدفئة، ومن ثم تحليلها ومناقشتها.

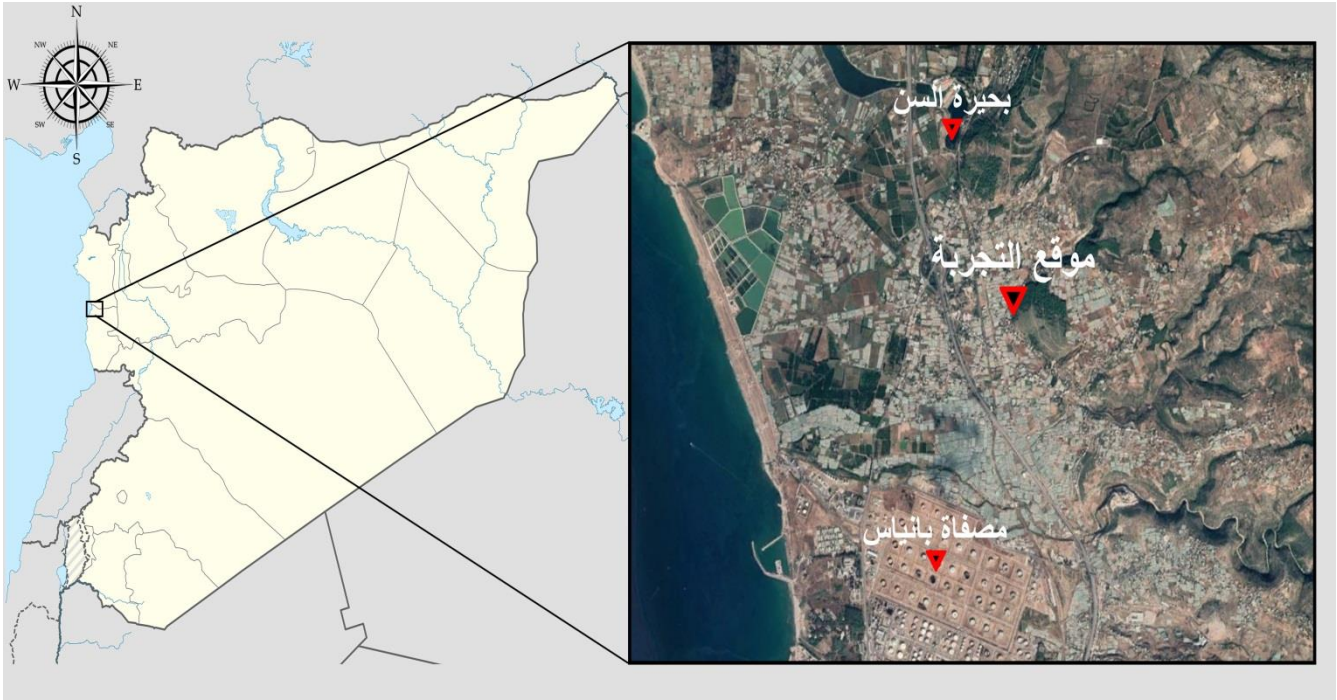
#### 2.3. الأجهزة والأدوات المستخدمة في البحث

تم تنفيذ مبادل حراري أنبوبي (هواء-أرض) لتكييف بيت بلاستيكي، ثم اختبرت فعالية أدائه، ومن أجل ذلك استخدمت الأجهزة والأدوات التالية:

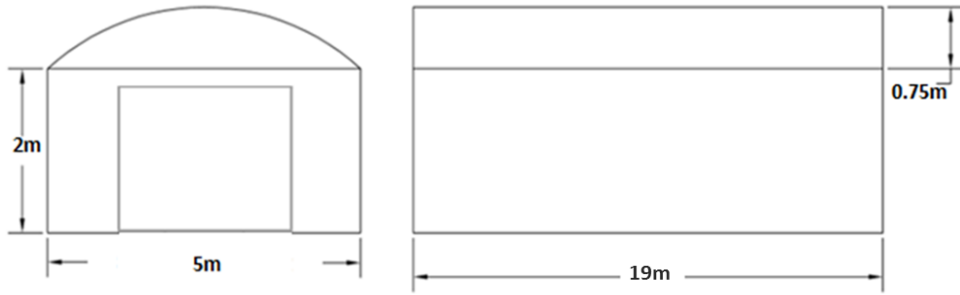
- جهازين لسحب الهواء باستطاعة  $W (125, 85)$ .
- أنابيب وأكواع PVC ذات قطر  $cm (10.16, 15.24)$ ، وبطول  $m (20)$  لكل أنبوب.
- جهازي أردوينو (UNO, MEGA).
- بطارية  $V (12)$  للتغذية مع مخفض جهد  $Ln298n$  إلى  $V (5)$ .
- بطاقة ذاكرة لتخزين البيانات (SD Card) سعة  $GB (8)$  عدد  $(2)$  مع الوحدات الحاملة لها.
- ساعة (RTC)، عدد  $(2)$ .
- لوحة توصيل (Test board)، عدد  $(2)$ .
- أضوية (Led) عدد  $(11)$ .
- مقاومة أومية، عدد  $(2)$ .
- حساسات لدرجة حرارة الهواء DHT22، عدد  $(6)$ .
- حساسات لدرجة حرارة التربة DS18B20، عدد  $(6)$ .

### 3.3. موقع تنفيذ الاختبار

نفذت الدراسة التجريبية في منطقة حريصون الزراعية الواقعة بين مصفاة بانياس وبحيرة السن (35°14'07"N, 35°58'14"E) ذات المناخ الساحلي المتوسطي، حيث ترتفع عن سطح البحر حوالي 5 m (الشكل (1-3)، على بيت بلاستيكي مكون من قضبان حديدية مغطاة بشرائح بلاستيكية، أبعاده (2, 5, 19) m، كما هو موضح بالشكل (2-3). يكون البيت صيفاً شبه مفتوح عن طريق فتح البابين الجانبيين لتأمين بعض التهوية الطبيعية، ومغلق شتاءً. اختبرت وضعية التبريد خلال الفترة من (1-10-2019) حتى (31-10-2019)، حيث كانت درجة حرارة التربة خلال هذه الفترة أقل من درجة حرارة الهواء الخارجي المحيط، أما وضعية التدفئة فاختبرت خلال الفترة من (1-12-2019) إلى (31-12-2019) لانخفاض درجة حرارة الهواء الخارجي عن درجة حرارة باطن التربة.



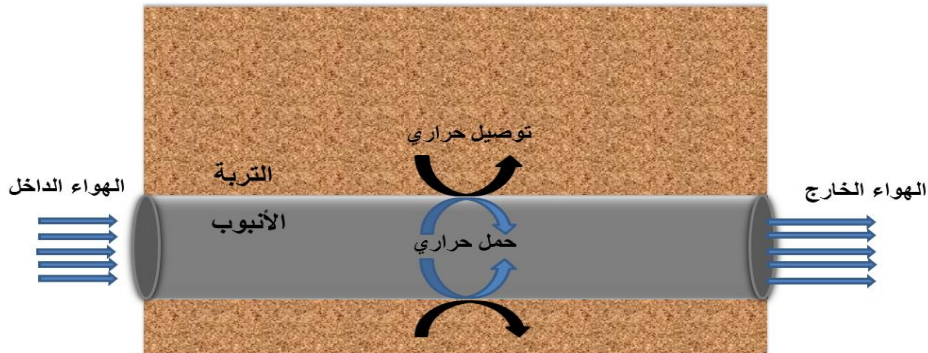
الشكل (1-3): موقع تنفيذ الاختبار.



الشكل (2-3): أبعاد البيت المحمي (طول، عرض، ارتفاع).

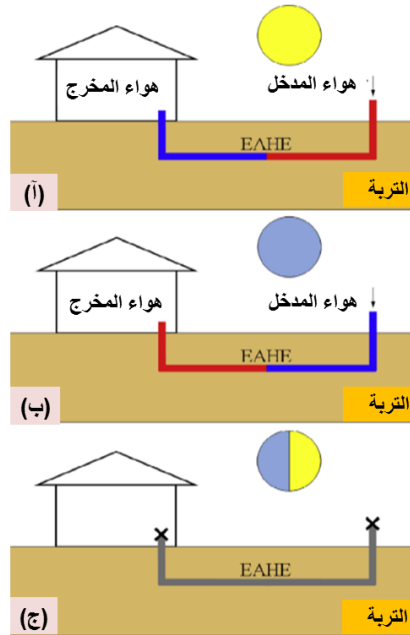
### 4.3. مبدأ عمل المبادل الأنبوبي (هواء-أرض)

يعتمد عمل المبادل الحراري الأنبوبي (هواء-أرض) بشكل أساسي على التبدلات الحرارية اليومية والفصلية المحيطة، حيث يستخدم باطن التربة كمصدر لإعطاء الحرارة شتاءً وامتصاصها صيفاً (تبريد). يتم دفع الهواء الممتص عن طريق ساحب هواء (air blower) ليتدفق عبر أنابيب المبادل كناقل حراري وسيط إلى الوسط المطلوب تكييفه عن طريق عملية تبادل حراري بينه وبين التربة عبر جدران الأنابيب، حيث تنتقل الحرارة من الهواء المتدفق عبر الأنبوب إلى جدرانه بالحمل الحراري، ثم تنتقل عبرها بالتوصيل إلى التربة المحيطة الشكل (3-3).

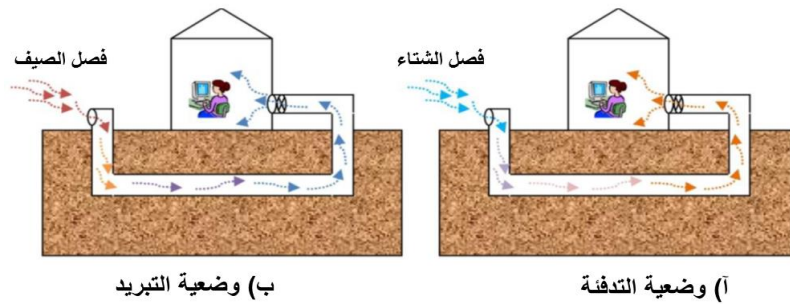


الشكل (3-3): التبادل الحراري بين هواء الأنبوب والتربة

يقوم المبادل بعملية تكييف مزدوجة بشكل تلقائي تبعاً لدرجة حرارة الهواء الداخل إليه، فخلال اليوم الواحد، كما هو مبين في الشكل (3-4)، يكون الإشعاع الشمسي نهائياً عالياً، فتكون درجة الحرارة الداخلية للمبادل أعلى من درجة حرارة التربة المحيطة بمبادل بأنابيب فتحدث عملية تبريد، بينما ليلاً تصبح درجة حرارة الهواء الخارجي الداخل للمبادل أقل من درجة حرارة باطن التربة فتحدث عملية انتقال حرارة معاكسة (تدفئة) (Hamdi, 2018). أي أن أداء المبادل يعتمد بشكل كبير على الفروق الحرارية بين الهواء الداخل للأنايبب والتربة، فكلما ازداد هذا الفرق كلما ازدادت كفاءة الأداء (Rodrigues et al., 2015). وكذلك الأمر في الشتاء يكون الفرق الحراري كبيراً بين هواء المدخل البارد وباطن التربة الأدفأ، فتجرى عملية تدفئة، بينما تنتقل الحرارة باتجاه معاكس صيفاً من الهواء الحار إلى الأرض الأبرد (تبريد) الشكل (3-5) (Bisonya et al., 2013).



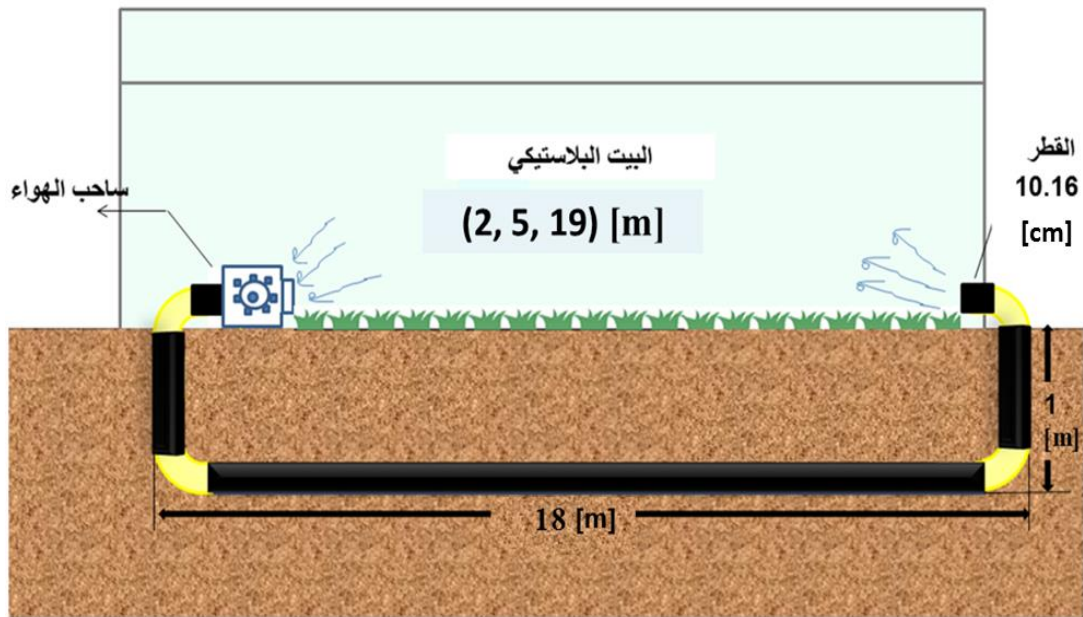
الشكل (3-4): سلوك المبادل خلال اليوم، (Rodrigues et al., 2015).



الشكل (3-5): سلوك المبادل في الصيف والشتاء، (Singh et al., 2018).

### 5.3. المبادل الأنبوبي (هواء-أرض) والبارامترات المدروسة

استخدم لتنفيذ البحث أنابيب بلاستيكية PVC بطول 20 m وقطر (10.16, 15.24) cm، وتم وضع الأنابيب بشكل مستقيم على جانبي البيت المحمي بعمق 1 m تحت سطح التربة، حيث الشكل المستقيم على طول البيت المحمي كان الأنسب للمساحة المتوفرة دون أن يشغل حيزاً كبيراً من الأرض. والشكل (6-3) يوضح مخططاً تمثيلاً لخط المبادل ذي القطر 10.16 cm مع أجزائه، مخطط المبادل الثاني من الجانب الآخر مماثل له تماماً، لكن يختلف بالقطر فقط 15.24 cm.



الشكل (6-3) : المخطط التمثيلي للمبادل ذي القطر (10.16 cm).

بناءً على الدراسات المرجعية فقد تم اختيار الطولين  $(10, 20)$  m لمعرفة مقدار الفرق الحراري الناتج عند كل منهما ضمن ظروف المنطقة المدروسة، والقطرين  $(10.16, 15.24)$  cm لاختبار فعالية أداء المبادل عند كل منهما. كما درست عدة أعماق لدفن الأنابيب، وبشكل عام كان العمق الأكبر هو الأفضل، لكن العمق المناسب يختلف من منطقة إلى أخرى ويتعلق بجغرافية المكان، لذلك تم اختيار العمق  $1$  m لقلّة ارتفاع منطقة الدراسة عن سطح البحر. أما بالنسبة لسرعة الهواء خلال الأنابيب فكانت السرعة الأقل هي الأفضل، لكن مقدار تأثيرها مختلف نسبياً في كل دراسة، فتم اختيار السرعتين  $(1.5, 2)$  m/s لاختبارهما.



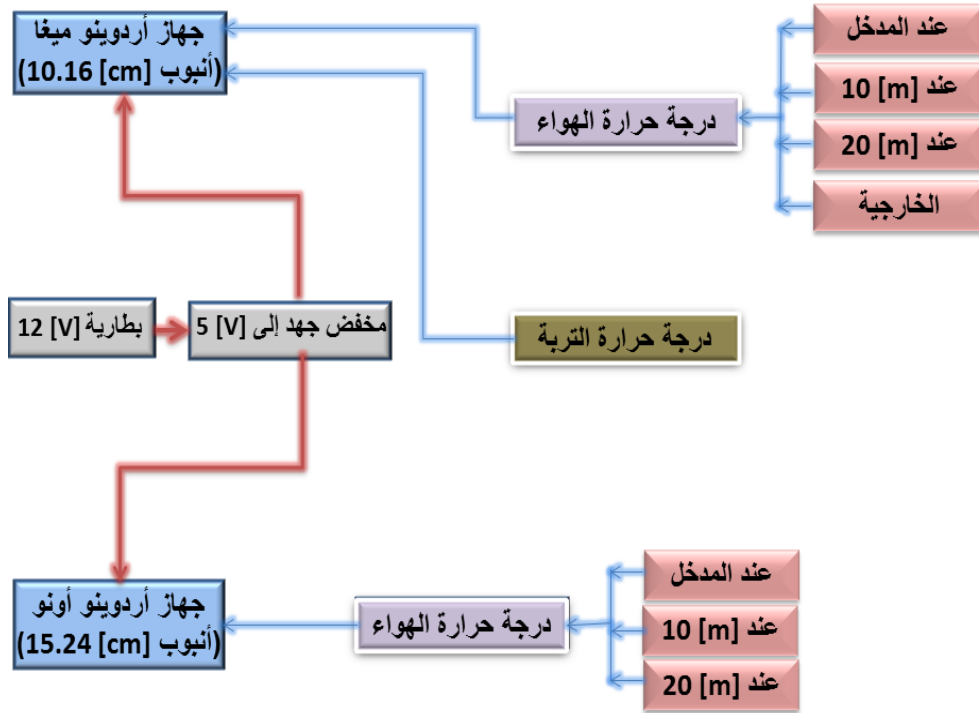
كذلك أوضحت الدراسات أن مادة الأنبوب لها تأثير في الأداء، لكن مقدار هذا التأثير يزداد بزيادة سماكتها، لذلك تم اختيار أنابيب PVC في البحث، لأن السماكة المستخدمة قليلة لا تتجاوز 3 mm من جهة، بالإضافة لتوفرها ورخص ثمنها من جهة أخرى.

### 6.3. إجراء التجارب

تم في البداية حفر خندقين بعمق 1 m على جانبي البيت البلاستيكي، وتم وضع خط الأنابيب في كل منهما، ثم ركب على مدخل كل خط جهاز سحب هواء استطاعته (85, 125) W على التوالي، والشكل (7-3) يوضح مراحل تنفيذ الاختبار. وضع لكل خط مجموعة حساسات موصولة بجهاز أردوينو من أجل قياس درجات الحرارة كل ساعة وتخزينها على بطاقة ذاكرة (SD Card)، حيث تم تثبيت الحساسات عند المدخل والمنتصف ونهاية الأنبوب، بالإضافة لحساس يقيس درجة حرارة التربة بشكل عام، وحساس لدرجة حرارة الهواء الخارجي، والشكل (8-3) يظهر مخطط صندوقي لكيفية ربط الحساسات مع أجهزة القياس.



الشكل (7-3): صور لمراحل تنفيذ الاختبار.



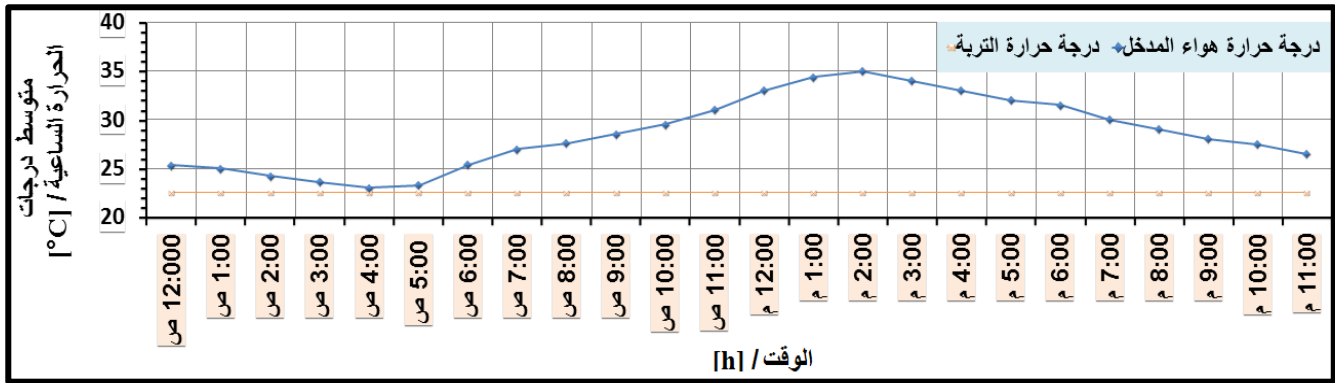
الشكل (3-8): المخطط الصندوقي لكيفية ربط الحساسات مع أجهزة القياس.

وبعد التحقق من صحة عمل الأجهزة والحساسات ردمت التربة فوق خطي الأنابيب، ثم شغل المبادل بتاريخ (2019-10-1). وجمعت بيانات درجات الحرارة كل ساعة عند المواقع الثلاثة (مدخل، منتصف، نهاية الأنبوب) لكلا الخطين على مدار الشهر باستخدام سرعتين للهواء (1.5, 2) m/s، ثم صنفت البيانات لدراسة تأثير بارامترات الطول، والقطر، وسرعة الهواء داخل الأنابيب في أداء المبادل.

## 7.3. النتائج والمناقشة

### 1.7.3. أداء التبريد

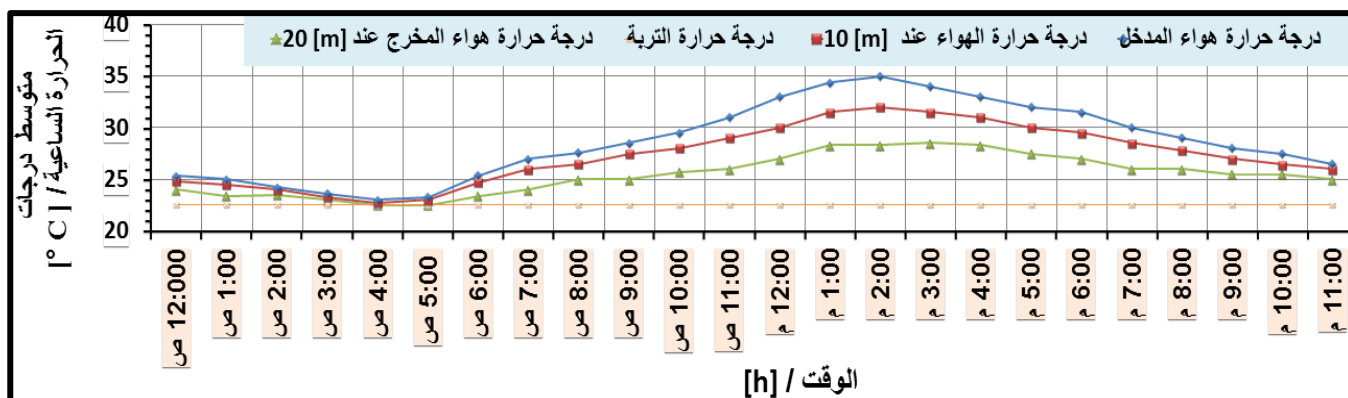
سجلت درجات الحرارة خلال شهر تشرين الأول لعام (2019)، وكان متوسط درجات الحرارة عند مدخل خطي المبادل  $(28.5351 \pm 5.087)^\circ\text{C}$ ، وبلغت أدنى وأعلى قيمة  $(17, 43)^\circ\text{C}$ ، وقد استقرت درجة حرارة التربة بين  $(22-23)^\circ\text{C}$ ، كما هو مبين بالشكل (3-9).



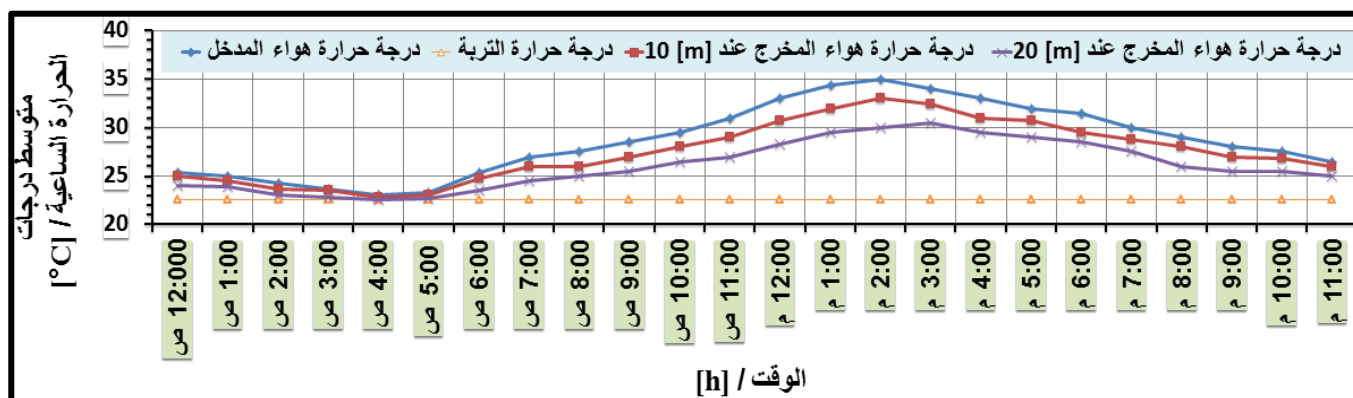
الشكل (3-9): متوسطات درجات الحرارة الساعية لشهر تشرين الأول/2019 عند مدخل خطي المبادل، ومتوسط درجة حرارة التربة.

### 1.1.7.3. نتائج تأثير طول وقطر الأنبوب على أداء التبريد

لدراسة تأثير طول وقطر الأنبوب على أداء التبريد تم حساب فعالية التبريد وفق العلاقة [1]، وقد بينت القيم المقاسة أن الفعالية بلغت قيمة أعظمية خلال شهر تشرين الأول عند الموقعين (10, 20) m للخط ذي القطر cm (10.16) (21.8, 52)% بمقدار انخفاض حراري شهري وسطي  $(1.28, 3.159)^\circ\text{C}$  على التوالي، بينما بلغت للخط ذي القطر cm (15.24) (17.45, 42)% بمقدار انخفاض حراري  $(1.03, 2.5)^\circ\text{C}$  على التوالي. ويوضح الشكلان (3-11, 3-10) متوسطات درجات الحرارة الساعية لمخرجي المبادلين cm (10.16, 15.24) خلال شهر تشرين الأول عند الموقعين (10, 20) m (منهما على التوالي).



الشكل (3-10): المتوسطات الساعية لدرجات الحرارة خلال شهر تشرين الأول/2019 عند منتصف ونهاية طول الخط ذي القطر cm (10.16).



الشكل (3-11): المتوسطات الساعية لدرجات الحرارة خلال شهر تشرين الأول/2019 عند منتصف وكامل طول الخط ذي القطر cm (15.24).

ومن أجل إظهار أثر التغيرات الحرارية على فعالية التبريد تم تقسيم أيام الشهر المدروس إلى ثلاث فترات بناءً على التغيرات الحرارية الملاحظة فيها، الفترة الأولى بعد منتصف الليل بين الساعة (5:00) و(12:00) صباحاً، والفترة الثانية نهاراً بين الساعة (6:00) صباحاً و(6:00) مساءً، والفترة الثالثة ليلاً بين الساعة (7:00) و(11:00) مساءً، وصنفت في الجدول (1-3).

الجدول (1-3): متوسطات درجات الحرارة الساعية لشهر تشرين الأول مقسمة لثلاث فترات زمنية خلال اليوم.

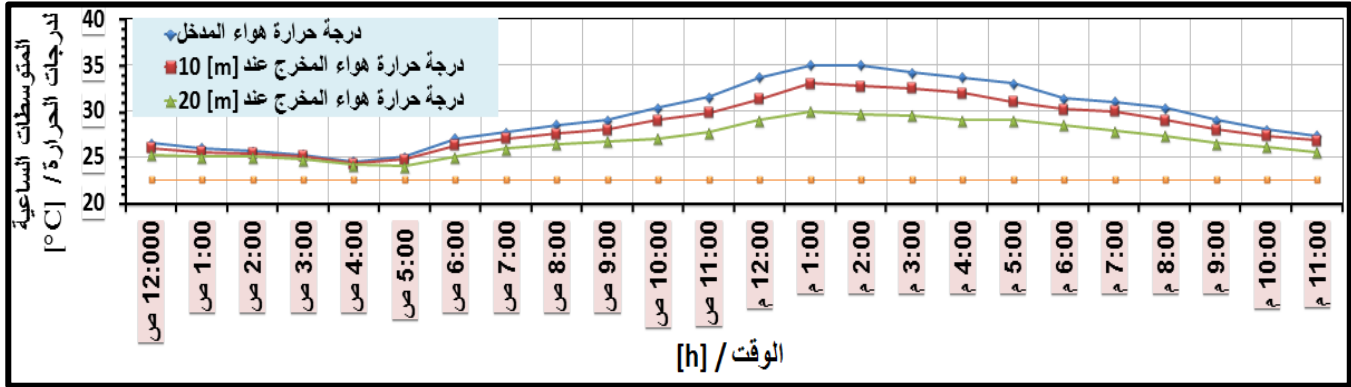
متوسط درجة حرارة المخرج تبعاً للطول [°C]		متوسط درجة حرارة المدخل [°C]	قطر الأنبوب [cm]	الفترات الزمنية [h]
20 [m]	10 [m]			
23±0.6	23.7±0.84	24	10.16	5:00 - 12:00 صباحاً
23.14±0.63	23.75±0.85		15.24	
26.4±1.7	29±2.3	30.74±3.07	10.16	6:00 صباحاً - 6:00 مساءً
27.48±2.3	29.24±2.7		15.24	
25.5±0.4	27±1	28.2±1.35	10.16	7:00 - 11:00 مساءً
25.9±0.96	27.5±1.09		15.24	

يتضح من الجدول (1-3) ما يلي:

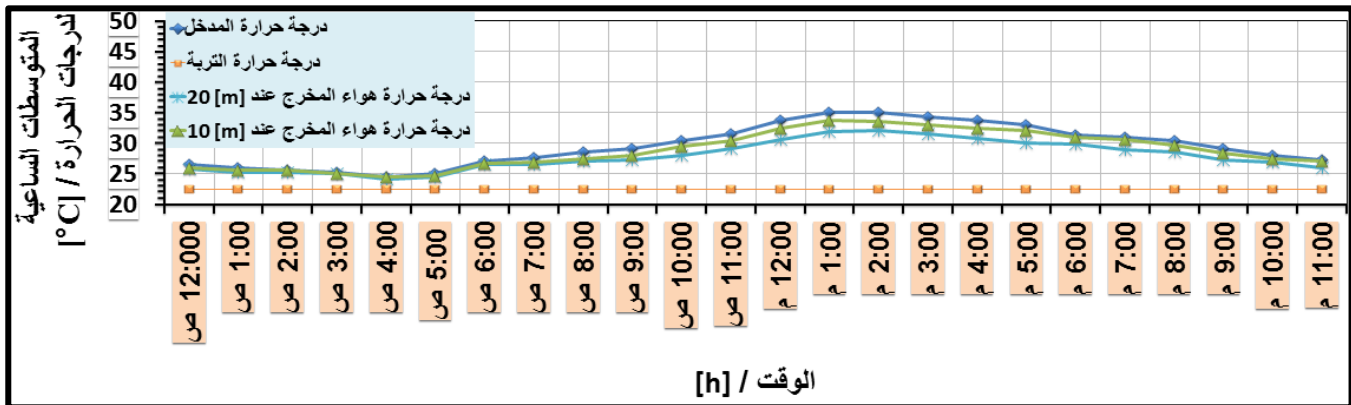
- بعد منتصف الليل بين الساعة (12:00) و(5:00) صباحاً: لم تؤد زيادة الطول إلى فرق حراري يذكر عن منتصف الطول لكلا الخطين بسبب التقارب بين درجتي حرارة التربة والهواء.
- بين الساعة (6:00) صباحاً و(6:00) مساءً: ظهر تأثير فرق الطول بوضوح في أداء التبريد بسبب زيادة درجة حرارة البيئة المحيطة وازدياد الفرق بينها وبين درجة حرارة التربة المحيطة بالأنايب مما أدى لانخفاض مقداره  $(4.34, 1.74)^\circ\text{C}$  لمنتصف ونهاية الخط ذي القطر  $10.16\text{ cm}$  على التوالي، بينما للخط ذي القطر  $15.24\text{ cm}$  كان الانخفاض  $(3.26, 1.5)^\circ\text{C}$  على التوالي.
- بين الساعة (7:00) و(11:00) مساءً: كان مقدار التبريد أقل للخطين بسبب انخفاض درجة حرارة المدخل، فكان الانخفاض للخط ذي القطر  $10.16\text{ cm}$  عند الطولين  $(10, 20)\text{ m}$  بمقدار  $(2.7, 1.2)^\circ\text{C}$  لمنتصف ونهاية الخط على التوالي، وللخط ذي القطر  $15.24\text{ cm}$  كان  $(2.3, 0.7)^\circ\text{C}$  على التوالي.

بناءً على التغيرات الحرارية خلال اليوم الواحد، وكذلك الفروقات الحرارية خلال الشهر فقد تم في هذا البحث تحديد اليوم التمثيلي الذي يعبر عن أي يوم خلال الشهر، ويتم إيجاده عن طريق حساب مجموع الفروق التربيعية بين متوسطات درجات الحرارة الخارجية لكل ساعة من اليوم على

مدار الشهر ودرجات الحرارة الخارجية لكل يوم عند نفس التوقيت، فيكون اليوم ذو المجموع الأقل هو اليوم التمثيلي وكان اليوم التمثيلي لأداء التبريد (7-10-2019). والشكلان (3-13، 3-12) يبينان متوسطات درجات الحرارة الساعية خلال اليوم التمثيلي لمدخل ومنتصف ونهاية الخطين (10.16, 15.24) cm عند الموقعين (10, 20) m، وصنفت في الجدول (3-2).



الشكل (3-12): درجات الحرارة الساعية المسجلة يوم (7-10-2019) لمدخل، منتصف ونهاية الخط (10.16) cm.



الشكل (3-13): درجات الحرارة الساعية المسجلة يوم (7-10-2019) لمدخل، منتصف ونهاية الخط (15.24) cm.

جدول (2-3): متوسطات درجات الحرارة الساعية لليوم التمثيلي (7-10-2019) مقسمة إلى ثلاث فترات زمنية خلال اليوم.

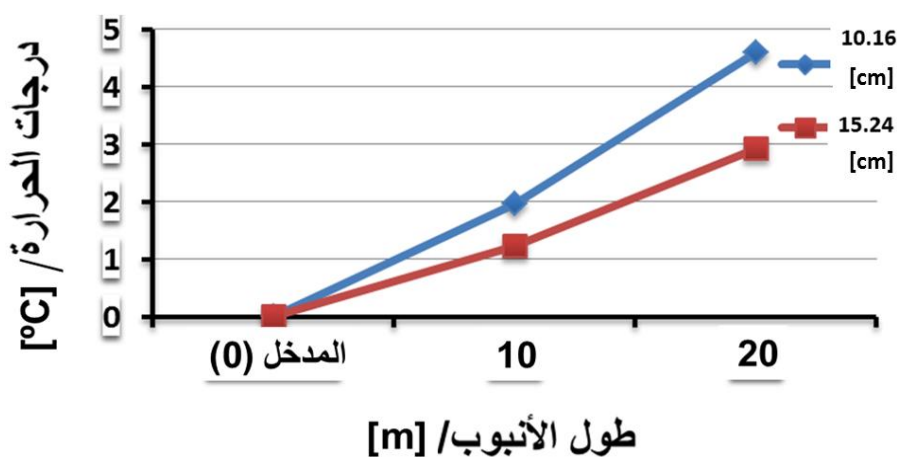
متوسط درجة حرارة المخرج تبعاً للطول [°C]		متوسط درجة حرارة المدخل [°C]	قطر الأنبوب [cm]	الفترات الزمنية [h]
20 m	10 m			
24.6±0.5	25.16±0.6	25.46±0.72	10.16	5:00 - 12:00 صباحاً
24.98±0.58	25.2±0.58		15.24	
27.95±1.6	30±2.3	31.58±2.81	10.16	6:00 صباحاً - 6:00 مساءً
29.29±2	30.53±2.58		15.24	
26.64±0.92	28.22±1.29	29.12±1.54	10.16	7:00 - 11:00 مساءً
27.48±1.2	28.58±1.49		15.24	

يتضح من الجدول (2-3):

- بين الساعة (12:00) و(5:00) صباحاً: كان الفرق الحراري بين الهواء والترية قليلاً، مما أدى إلى تقليل التبريد لكلا الخطين،  $^{\circ}\text{C}$  (0.3, 0.86) للخط ذي القطر cm (10.16) و  $^{\circ}\text{C}$  (0.26, 0.48) للخط ذي القطر cm (15.24) عند الطولين m (10, 20) على التوالي.
- بين الساعة (6:00) صباحاً و(6:00) مساءً: ارتفعت درجات الحرارة خلال النهار، مما أدى إلى زيادة التبريد بمقدار  $^{\circ}\text{C}$  (1.58, 3.63) للخط cm (10.16) و  $^{\circ}\text{C}$  (1.05, 2.29) للخط cm (15.24) عند الطولين m (10, 20) على التوالي.
- مساءً بين الساعة (7:00) و(11:00): ظهر تأثير التبريد، لكن أقل من النهار،  $^{\circ}\text{C}$  (0.9, 2.48) للخط cm (10.16)، و  $^{\circ}\text{C}$  (0.54, 1.64) للخط cm (15.24)، عند الطولين m (10, 20) على التوالي.

وكانت أكثر ساعات اليوم حرارة بين الساعة (11:00) صباحاً و(5:00) مساءً، حيث تراوحت درجات الحرارة عند المدخل بين  $^{\circ}\text{C}$  (31.5-35)، لذلك تم اختيارها لتحليلها إحصائياً بالاعتماد على قيمة معنوية (5%) لاختبار LSD (One Way Anova)، وتبين ما يلي:

كان مستوى المعنوية ( $0.05 > \text{Sig}$ )، مما يدل على وجود تأثير معنوي للطول والقطر في درجات الحرارة، وكان مقدار الانخفاض  $^{\circ}\text{C}$  (1.97, 4.6) بفعالية أداء % (17.41, 40.8) عند الموقعين m (10, 20) للخط ذي القطر cm (10.16)، و  $^{\circ}\text{C}$  (1.228, 2.93) بفعالية أداء % (10.714, 25.85) للخط ذي القطر cm (15.24)، وكان أقل فرق معنوي (1.182, 1.283)، للخطين الأول والثاني على التوالي الشكل (3-14). بالتالي أدت زيادة الطول إلى زيادة مساحة سطح التلامس بين الهواء والتربة (سطح التبادل الحراري) مما سمح بتبادل حراري أكبر، بينما زيادة القطر خفضت من ضغط الهواء داخل الأنابيب، وهذا ما أثر سلباً في عملية التبادل الحراري، وهذا يتفق مع الدراسة المرجعية (Ghosal and Tiwari, 2006) التي تم فيها تكييف بيت محمي باستخدام نظام مبادل (هواء-أرض) ذو أنابيب (PVC) أفقية مدفونة على عمق 1 m وطولها 39 m لكن قطرها 0.006 m وبتوضع متوازي للأنابيب حيث أن كل أنبوب بطول 4.8 m والتباعد بينها 0.5 m.



الشكل (3-14): مقدار الانخفاض في درجات الحرارة الذي أحدثه اختلاف الطول بين المدخل والموقعين (10 m, 20 m)، والذي كان  $^{\circ}\text{C}$  (1.97, 4.6)،  $^{\circ}\text{C}$  (1.228, 2.93) للخطين (10.16 cm, 15.24 cm) على التوالي.

### 2.1.7.3. نتائج تأثير سرعة الهواء خلال الأنابيب (تبريد)

أجري الاختبار على سرعتين 2 m/s و 1.5 m/s، خلال الفترة بين (1-7.10.2019) عند سرعة هواء 2 m/s. وعند المقارنة بين نتائج السرعتين باستخدام برنامج SPSS تم التوصل إلى الآتي:

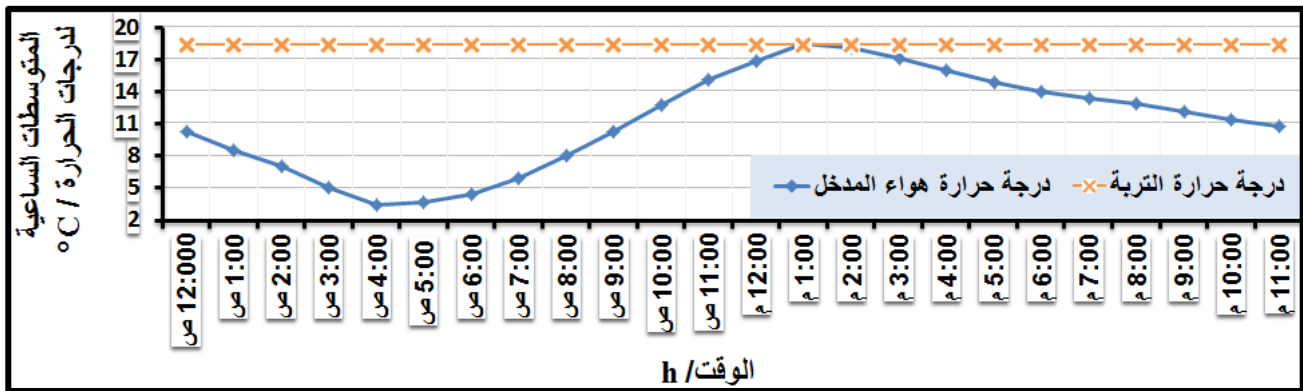
كانت قيمة (T=20.17) بدلالة إحصائية (0.000) أصغر من مستوى المعنوية % (5)، مما يدل على وجود فروق معنوية بين متوسطات درجات الحرارة للخط ذي القطر cm (10.16) عند



السرعتين، وقيمة الفرق  $5.477^{\circ}\text{C}$  لصالح السرعة الأقل  $1.5\text{ m/s}$ ، حيث أدت السرعتان  $1.5, 2\text{ m/s}$  إلى تبريد الهواء بمقدار  $(3.79, 5.55)^{\circ}\text{C}$  على التوالي. تخفيض السرعة أدى إلى زيادة مدة تلامس الهواء مع جدران الأنابيب مما حسن عملية انتقال الحرارة، وهذا يتفق مع ما توصلت إليه دراسة (Bisoniya et al., 2014) استخدم فيها أنبوبين من (PVC) لكن بقطر  $0.1016\text{ m}$ ، وإجمالي طول الأنابيب  $19.228\text{ m}$ ، وعمق الدفن  $2\text{ m}$ ، حيث نفذ الاختبار في الهند واستخدمت فيه السرعات  $2, 3.5, 5\text{ m/s}$  فكانت السرعة الأقل هي الأفضل بمقدار انخفاض  $12.9^{\circ}\text{C}$ .

### 2.7.3. أداء التدفئة

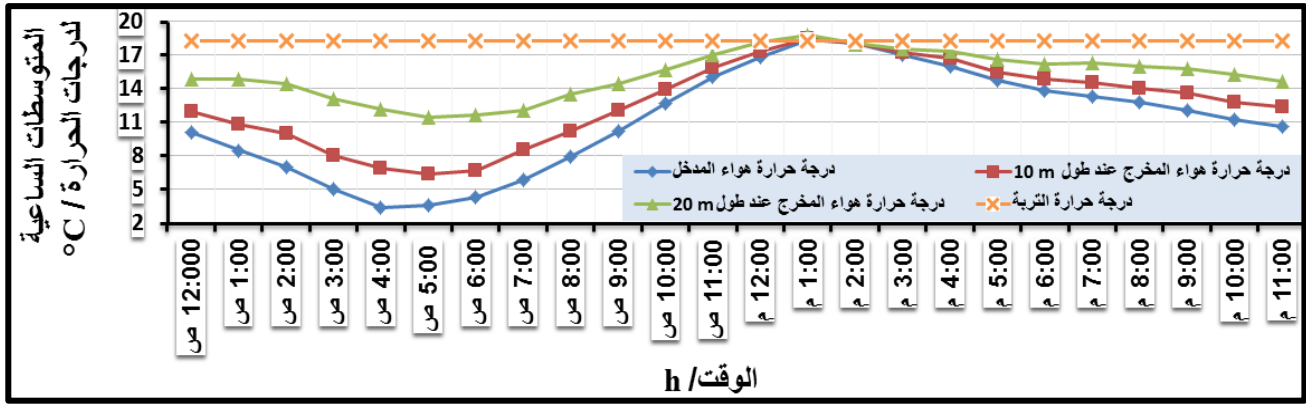
سجلت درجات الحرارة خلال شهر كانون الأول لعام (2019)، وكان متوسط درجة الحرارة الخارجية  $13^{\circ}\text{C}$  ومتوسط درجات الحرارة المسجلة عند مدخل خطي المبادل  $(11.5 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ ، وبلغت أدنى وأعلى قيمة مسجلة  $(2, 24)^{\circ}\text{C}$ ، واستقرت درجة حرارة التربة بين  $18-19^{\circ}\text{C}$  (الشكل 3-15).



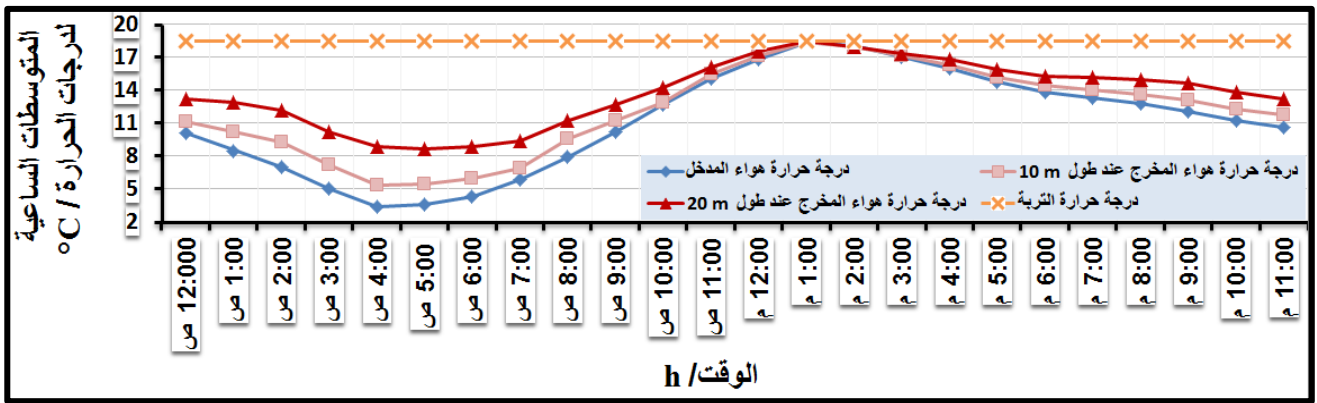
الشكل (3-15): متوسطات درجات الحرارة الساعية لشهر كانون الأول/2019 عند مدخل خطي المبادل، ومتوسط درجة حرارة التربة.

### 1.2.7.3. نتائج تأثير الطول والقطر على أداء التدفئة

تم حساب المتوسطات الساعية لدرجات الحرارة خلال شهر كانون الأول /2019 المسجلة عند المدخل ومنتصف ونهاية الأنبوب لكل من الخطين  $(10.16, 15.24)\text{ cm}$ ، وكانت النتائج كما هو مبين في الشكلين (3-16, 3-17).



الشكل (3-16): المتوسطات الساعية لدرجات الحرارة خلال شهر كانون الأول/2019 عند منتصف وكامل طول الخط ذي القطر (10.16) cm.



الشكل (3-17): المتوسطات الساعية لدرجات الحرارة خلال شهر كانون الأول/2019 عند منتصف وكامل طول الخط ذي القطر (15.24) cm.

وكان الفرق الحراري الذي أحدثه الخطان خلال الفترات الثلاث كما هو مبين في الجدول (3-3).

جدول (3-3): متوسطات درجات الحرارة الساعية لشهر كانون الأول مقسمة لثلاث فترات زمنية خلال اليوم.

متوسط درجة حرارة المخرج تبعاً للطول [°C]		متوسط درجة حرارة المدخل [°C]	قطر الأنبوب [cm]	الفترات الزمنية [h]
20 [m]	10 [m]			
13.4±1.73	9.25±2.5	6.24±2.92	10.16	5:00-12:00 صباحاً
10.98±2.25	8.17±2.76			
15.9±2.6	14.26±4.22	13.13±5.19	10.16	6:00 صباحاً - 6:00 مساءً
14.7±3.66	13.74±4.6			

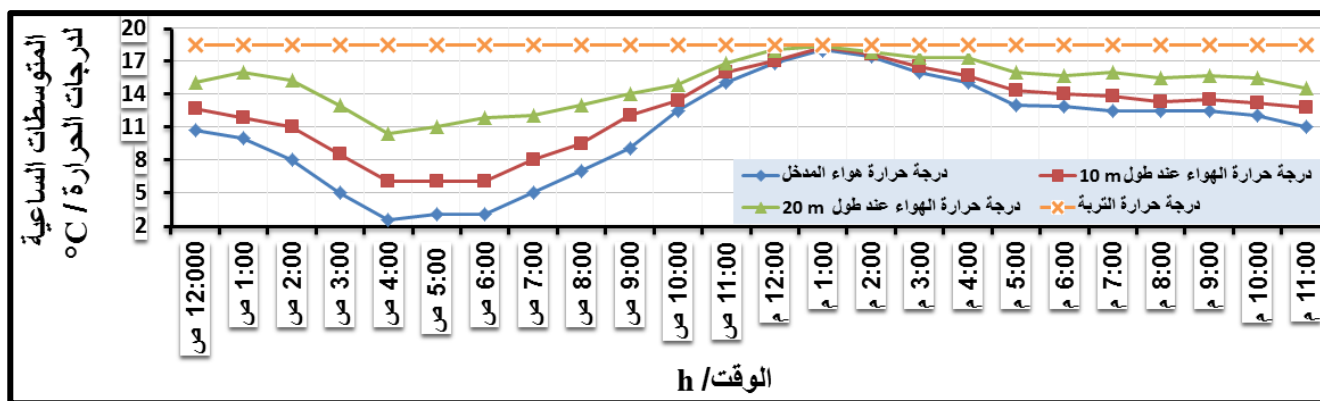
15.5±0.95	13.44±1.4	12.03±0.7	10.16	11:00-7:00 مساءً
14.34±1.22	12.95±1.5		15.24	

من الجدول (3-3) نجد:

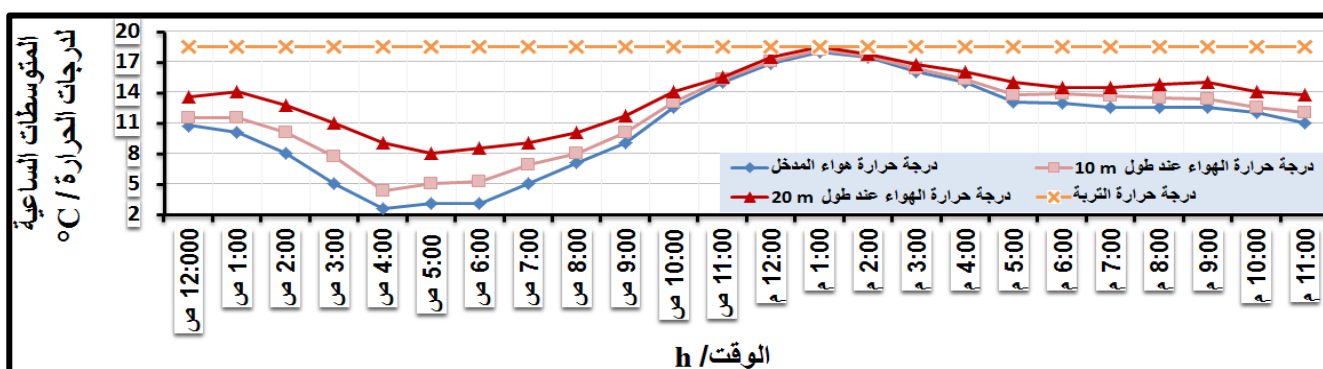
- بعد منتصف الليل بين الساعة (12:00) و(5:00) صباحاً: كانت أكثر ساعات اليوم التي ظهر فيها تأثير التدفئة للمبادل، حيث أدى الخط ذو القطر cm (10.16) إلى رفع درجة الحرارة بمقدار °C (7.21, 3) عند منتصف ونهاية طولها، أما الخط ذو القطر cm (15.24) فرفعها بمقدار °C (4.74, 1.93) على التوالي.
- نهاراً بين الساعة (6:00) صباحاً و(6:00) مساءً: قل الفرق بين درجات حرارة هواء المدخل والتربة، مما أدى إلى رفع حرارة الهواء الخارج من خطي المبادل بمقدار قليل °C (2.77, 1.13) عند منتصف ونهاية طول الخط ذي القطر cm (10.16)، وزيادة °C (1.57, 0.6) لمنتصف ونهاية الخط على الخط cm (15.24) على التوالي.
- مساءً بين الساعة (7:00) و(11:00) مساءً: أدى الخط ذو القطر cm (10.16) إلى رفع درجة الحرارة بمقدار °C (3.47, 1.41) عند منتصف ونهاية طولها على التوالي، أما الخط ذو القطر cm (15.24) فرفعها بمقدار °C (2.31, 0.92).

وبالتالي الطول الكامل للأنبوب (20) أدى إلى خفض درجة حرارة الهواء الخارج من كلا الخطين مقارنة بنصف الطول (10)، وكان الخط ذو القطر cm (10.16) عند الطول الكامل هو الأفضل، حيث أدى إلى رفع الحرارة بمقدار °C (7.21) بعد منتصف الليل.

وتم تحديد اليوم التمثيلي لأداء المبادل في وضعية التدفئة هو (17/12/2019)، حيث تراوحت فيه درجات حرارة المدخل بين قيمتين صغرى وكبرى °C (2.5, 18) وبمتوسط °C (10.84±4.66)، والشكلان (3-18) (3-19) يبينان متوسطات درجات الحرارة الساعية خلال اليوم التمثيلي لمدخل ومنتصف ونهاية الخطين عند الموقعين m (10, 20) منهما.



الشكل (3-18): درجات الحرارة الساعية المسجلة يوم (17-12-2019) لمدخل ومنتصف ونهاية الخط cm (10.16).



الشكل (3-19): درجات الحرارة الساعية المسجلة يوم (17-12-2019) لمدخل ومنتصف ونهاية الخط cm (15.24).

تم تقسيم اليوم التمثيلي إلى ثلاث فترات زمنية تبعاً للتأثير الحراري للمبادل، كما هو مبين في الجدول (3-4).

الجدول (3-4): متوسطات درجات الحرارة الساعية لليوم التمثيلي (17-12-2019) مقسمة لثلاث فترات زمنية.

متوسط درجة حرارة المخرج تبعاً للطول [°C]		متوسط درجة حرارة المدخل [°C]	قطر الأنابيب [cm]	الفترة الزمنية [h]
20 m	10 m			
13.45±2.35	9.33±2.9	6.53±3.5	10.16	5:00-12:00 صباحاً
11.4±2.46	8.3±3.18			
15.6±2.3	13.7±3.8	12.35±4.88	15.24	6:00 صباحاً - 6:00 مساءً
14.2±3.38	13±4.3			
15.44±0.56	13.32±0.37	12±0.65	10.16	7:00-11:00 مساءً
14.4±0.54	12.96±0.68			
			15.24	

من الجدول (3-4) نجد:

- بين الساعة (12:00) و(5:00) صباحاً: ظهر أكبر تأثير للتدفئة بمقدار  $^{\circ}\text{C}$  (2.8, 6.92) للخط cm (10.16) و  $^{\circ}\text{C}$  (1.77, 4.87) للخط cm (15.24) عند الطولين m (10, 20) على التوالي.
- بين الساعة (6:00) صباحاً و(6:00) مساءً: ظهر تأثير التدفئة لنظام المبادل، لكن بشكل أقل بمقدار  $^{\circ}\text{C}$  (1.35, 3.25) للخط cm (10.16) و  $^{\circ}\text{C}$  (0.97, 1.85) للخط cm (15.24) عند الطولين m (10, 20) على التوالي.
- مساءً بين الساعة (7:00) و(11:00): ازداد تأثير التدفئة لانخفاض درجات الحرارة بمقدار  $^{\circ}\text{C}$  (1.32, 3.44) للخط cm (10.16) و  $^{\circ}\text{C}$  (0.96, 2.4) للخط cm (15.24) عند الطولين m (10, 20) على التوالي.

وقعت أكثر ساعات اليوم التي ظهر فيها تأثير التدفئة بين (12:00) و(9:00) صباحاً، حيث تراوحت درجات الحرارة عند المدخل بين  $^{\circ}\text{C}$  (10.7-2.5).

وبالاعتماد على قيمة معنوية % (5) لاختبار (One Way Anova) LSD تبين ما يلي:

بلغ مستوى الدلالة الإحصائية ( $0.05 > 0.000$ )، وكان الفرق المعنوي بين متوسط درجة حرارة هواء المدخل والمخرج في الموقعين m (10, 20) لخط المبادل ذي القطر cm (10.16)  $^{\circ}\text{C}$  (2.83, 6.8) على التوالي، وللخط cm (15.24) كان  $^{\circ}\text{C}$  (1.68, 4.42) الشكل (3-20). وفعالية الأداء % (23.23, 56)، % (13.79, 36.28)، وأقل فرق معنوي (2.35, 2.43) للخطين cm (10.16) و cm (15.24) عند الطولين المدروسين.

النتائج تدل على وجود تأثير معنوي للطول والقطر في درجات الحرارة، حيث أدت زيادة الطول وتقليل القطر إلى رفع درجة حرارة هواء المخرج، هذا يتفق مع ما توصلت إليه دراسة (Sharan & Jadhav, 2003) لكنها أجريت في الهند وكان المبادل ذا أنبوب واحد بطول m (50) وقطر cm (10) مدفون على العمق m (3) وسرعة الهواء داخل الأنبوب m/s (11)، كما كانت درجة حرارة التربة عند العمق المدروس في كانون الثاني  $^{\circ}\text{C}$  (24.2) فكانت أكبر قيمة تسخين تم الحصول عليها فيها عند منتصف ونهاية طول الأنبوب  $^{\circ}\text{C}$  (13.2, 14.7) وأقل قيمة  $^{\circ}\text{C}$  (2.5, 3.6) على التوالي.



الشكل (3-20): مقدار ارتفاع درجات الحرارة الذي أحدثه اختلاف الطول بين المدخل والموقعين (10, 20) cm، والذي كان  $^{\circ}\text{C}$  (2.83, 6.83)، و  $^{\circ}\text{C}$  (1.68, 4.42) للخطين  $^{\circ}\text{C}$  (10.16, 15.24) على التوالي.

### 2.2.7.3. نتائج تأثير سرعة الهواء خلال الأنابيب (تدفئة)

تمت دراسة تأثير سرعة الهواء في أداء التدفئة للمبادل خلال الفترة من (25-12-2019) حتى (31-12-2019) من أجل سرعة  $\text{m/s}$  (1.5) وخلال الفترة (1-1-2020) حتى (7-1-2020) من أجل سرعة  $\text{m/s}$  (2)، وذلك لخط المبادل ذي القطر (10.16) cm، حيث أخذت المتوسطات الساعية لدرجات الحرارة من الساعة (12:00) إلى (9:00) صباحاً التي كان فيها أفضل أداء لنظام المبادل خلال المدة المذكورة سابقاً، وأجري عليها اختبار T. وبينت المقارنة بين نتائج سرعتين  $\text{m/s}$  (1.5, 2) التالي:

كانت قيمة (T=3.69) بدلالة إحصائية (0.002) أصغر من مستوى المعنوية 5%، وبالتالي توجد فروق معنوية بين متوسطات درجات الحرارة للخط ذي القطر (10.16) cm عند سرعتين المختلفتين، وبلغت قيمة الفرق  $^{\circ}\text{C}$  (2.12) لصالح السرعة الأقل  $\text{m/s}$  (1.5)، حيث رفعت السرعتين  $\text{m/s}$  (1.5, 2) درجة حرارة الهواء بمقدار  $^{\circ}\text{C}$  (5.5, 6.99) على التوالي، وهذا يتفق مع ما توصلت إليه دراسة (deldan et al., 2017) على تدفئة بيت زراعي محمي لكن في الهند وباستخدام مبادل ذي أنبوب واحد من (PVC) بطول (42) m وقطر (0.25) m على عمق (3.5) m، كما استخدمت السرعات من  $\text{m/s}$  (2.3) إلى  $\text{m/s}$  (24) فكان أفضل أداء عند أقل سرعة أي بزيادة السرعة ينخفض الأداء.

### 3.7.3. الاستنتاجات والتوصيات

#### ❖ الاستنتاجات:

- ازدادت فعالية التبريد للخط ذي القطر cm (10.16) بمعدل % (40.8) عند زيادة طوله إلى m (20)، بينما ازدادت فعالية التدفئة بمعدل % (56).
- ازدادت فعالية التبريد عند زيادة طول الأنبوب إلى m (20)، وكانت هذه الفعالية أكبر للخط الأقل قطراً، وبلغت % (40.8) للخط ذي القطر cm (10.16) و % (85.25) للخط ذي القطر cm (15.24).
- ازدادت فعالية التدفئة عند زيادة طول الأنبوب إلى m (20)، وكانت هذه الفعالية أكبر للخط الأقل قطراً، وبلغت % (56) للخط ذي القطر cm (10.16) و % (36.28) للخط ذي القطر cm (15.24).
- تناقص سرعة تدفق الهواء داخل الأنابيب من m/s (1.5) إلى m/s (2) زادت التبريد بمقدار °C (5.5)، والتدفئة بمقدار °C (6.99).

#### ❖ التوصيات:

- ينصح باستخدام المبادلات الحرارية الأنبوبية (هواء-أرض) لتكييف البيوت المحمية الزراعية ذات أنابيب بلاستيكية (PVC) وسماكة mm (3) بطول أكبر من m (15)، وقطر cm (10.16) وسرعات هواء بطيئة خلال الأنابيب m/s (1.5).
- إجراء المزيد من الدراسات التجريبية على بارامترات أخرى تؤثر في أداء المبادل وفي مناطق مختلفة وصولاً إلى قاعدة بيانات يمكن بالاعتماد عليها وعن طريق برامج نمذجة ومحاكاة التنبؤ بفعالية الأداء والسلوك الحراري للنظام.

## المراجع العلمية

### Scientific references

- برهوم، بشرى ؛ عبود، غضوب. (2019). الزراعة المحمية.. إنتاج أكبر وتأمين المنتج بغير موسمه. الوكالة العربية السورية للأنباء سانا: <https://www.sana.sy/?p=898680>.
- **Abbaspour-Fard, M. H., Gholami, A., & Khojastehpour, M. (2011).** Evaluation of an earth-to-air heat exchanger for the north-east of Iran with semi-arid climate. *International Journal of Green Energy*, 8(4), 499-510.
- **Agrawal, K. K., Agrawal, G. D., Misra, R., Bhardwaj, M., & Jamuwa, D. K. (2018).** A review on effect of geometrical, flow and soil properties on the performance of Earth air tunnel heat exchanger. *Energy and Buildings*, 176, 120-138.
- **Agrawal, K. K., Misra, R., Agrawal, G. D., Bhardwaj, M., & Jamuwa, D. K. (2019).** Effect of different design aspects of pipe for earth air tunnel heat exchanger system: A state of art. *International Journal of Green Energy*, 16(8), 598-614.
- **Agrawal, K. K., Misra, R., & Agrawal, G. D. (2020).** Improving the thermal performance of ground air heat exchanger system using sand-bentonite (in dry and wet condition) as backfilling material. *Renewable Energy*, 146, 2008-2023.
- **Ahmed, S. F., Khan, M. M. K., Rasul, M. G., Amanullah, M. T. O., & Hassan, N. M. S. (2014).** Comparison of earth pipe cooling performance between two different piping systems. *Energy Procedia*, 61, 1897-1901.
- **Ahmed, S. F., Amanullah, M. T. O., Khan, M. M. K., Rasul, M. G., & Hassan, N. M. S. (2016).** Parametric study on thermal performance of horizontal earth pipe cooling system in summer. *Energy Conversion and Management*, 114, 324-337.
- **Ascione, F., Bellia, L., & Minichiello, F. (2011).** Earth-to-air heat exchangers for Italian climates. *Renewable Energy*, 36(8), 2177-2188.
- **Bakirci, K. (2010).** Evaluation of the performance of a ground-source heat-pump system with series GHE (ground heat exchanger) in the cold climate region. *Energy*, 35(7), 3088-3096.
- **Bansal, V., Misra, R., Agrawal, G. D., & Mathur, J. (2010).** Performance analysis of earth-pipe-air heat exchanger for summer cooling. *Energy and Buildings*, 42(5), 645-648.



- **Barakat, S., Ramzy, A., Hamed, A. M., & El Emam, S. H. (2016).** Enhancement of gas turbine power output using earth to air heat exchanger (EAHE) cooling system. *Energy conversion and management*, 111, 137-146.
- **Belatrache, D., Bentouba, S., & Bourouis, M. (2017).** Numerical analysis of earth air heat exchangers at operating conditions in arid climates. *International journal of hydrogen energy*, 42(13), 8898-8904.
- **Benhammou, M., Draoui, B., Zerrouki, M., & Marif, Y. (2015).** Performance analysis of an earth-to-air heat exchanger assisted by a wind tower for passive cooling of buildings in arid and hot climate. *Energy conversion and management*, 91, 1-11.
- **Bharadwaj, S. S., & Bansal, N. K. (1981).** Temperature distribution inside ground for various surface conditions. *Building and Environment*, 16(3), 183-192.
- **Bisoniya, T. S., Kumar, A., & Baredar, P. (2014).** Cooling potential evaluation of earth-air heat exchanger system for summer season. *Int J Eng Tech Res*, 2(4), 309-316.
- **Bisoniya, T. S., Kumar, A., & Baredar, P. (2013).** Experimental and analytical studies of earth–air heat exchanger (EAHE) systems in India: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 238-246.
- **Chiesa, G., Simonetti, M., & Grosso, M. (2014).** A 3-field earth-heat-exchange system for a school building in Imola, Italy: Monitoring results. *Renewable energy*, 62, 563-570.
- **Congedo, P. M., Colangelo, G., & Starace, G. (2012).** CFD simulations of horizontal ground heat exchangers: A comparison among different configurations. *Applied Thermal Engineering*, 33, 24-32.
- **Deldan, N., Rajan, A., Hans, V. S., & Kaushal, A. (2017).** Evaluation of thermal performance of single pass earth–air heat exchanger in heating mode. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 36(4), 1253-1261.
- **Elminshawy, N. A., Mohamed, A. M. I., Morad, K., Elhenawy, Y., & Alrobaian, A. A. (2019).** Performance of PV panel coupled with geothermal air cooling system subjected to hot climatic. *Applied Thermal Engineering*, 148, 1-9.
- **Faridi, H., Arabhosseini, A., Zarei, G., & Okos, M. (2021).** Degree-Day Index for Estimating the Thermal Requirements of a Greenhouse Equipped with an Air-Earth Heat Exchanger System. *Journal of Agricultural Machinery*, 11(1), 83-95.
- **Florides, G. A., & Kalogirou, S. A. (2005).** Annual ground temperature measurements at various depths.

- **Florides, G., & Kalogirou, S. (2007).** Ground heat exchangers—A review of systems, models and applications. *Renewable energy*, 32(15), 2461-2478.
- **Gázquez, J. C., López, J. C., Pérez-Parra, J. J., Baeza, E. J., Saéz, M., & Parra, A. (2007, October).** Greenhouse cooling strategies for mediterranean climate areas. In *International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management: Greensys2007 801* (pp. 425-432).
- **Hamdi, O., Brima, A., Moummi, N., & Nebbar, H. (2018).** Experimental study of the performance of an earth to air heat exchanger located in arid zone during the summer period. *Journal homepage: <http://iieta.org/Journals/IJHT>*, 36(4), 1323-1329.
- **Jamshidi, N., & Sadafi, N. (2020).** An evaluation for spiral coil type earth-air heat exchanger at different climate conditions. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 42(24), 3045-3062.
- **Jethva, K. R., & Sharan, G. (2016).** Assessment of Environment Control in Arid Area Greenhouse coupled with Earth Tube Heat Exchanger. *Current World Environment*, 11(1), 243.
- **Kaushik, S. C., Lal, S., & Bhargava, P. K. (2013).** Earth–air tunnel heat exchanger for building space conditioning: a critical review. *Nanomaterials and energy*, 2(4), 216-227.
- **Krommweh, M. S., Rösmann, P., & Büscher, W. (2014).** Investigation of heating and cooling potential of a modular housing system for fattening pigs with integrated geothermal heat exchanger. *Biosystems Engineering*, 121, 118-129.
- **Kumar Singh, R., & Sharma, R. V. (2017).** Mathematical Investigation of Soil Temperature Variation for Geothermal Applications. *International Journal of Engineering*, 30(10), 1609-1614.
- **Laknizi, A., Mahdaoui, M., Anoune, K., Bakhouya, M., Abdellah, A. B., & Oussous, H. (2018).** Parametric Study and Energy Performance of an Earth-Air Heat Exchanger for a Poultry House in Morocco. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 8(4), 2047-2056.
- **Le, A. T., Wang, L., Wang, Y., & Li, D. (2020).** Measurement investigation on the feasibility of shallow geothermal energy for heating and cooling applied in agricultural greenhouses of Shouguang City: Ground temperature profiles and geothermal potential. *Information Processing in Agriculture*.

- **Li, M., & Lai, A. C. (2012).** New temperature response functions (G functions) for pile and borehole ground heat exchangers based on composite-medium line-source theory. *Energy*, 38(1), 255-263.
- **Liu, Z., Yu, Z. J., Yang, T., Roccamena, L., Sun, P., Li, S., ... & El Mankibi, M. (2019).** Numerical modeling and parametric study of a vertical earth-to-air heat exchanger system. *Energy*, 172, 220-231.
- **Manik, T. G., Panjaitan, M. L., & Sitorus, T. B. (2018, September).** Simulation of fluid flow in an earth-air heat exchanger with the open loop system. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 420, No. 1, p. 012026). IOP Publishing..
- **Mathur, A., Mathur, S., Agrawal, G. D., & Mathur, J. (2017).** Comparative study of straight and spiral earth air tunnel heat exchanger system operated in cooling and heating modes. *Renewable Energy*, 108, 474-487.
- **Mavroyanopoulos, G. N., & Kyritsis, S. (1986).** The performance of a greenhouse heated by an earth-air heat exchanger. *Agricultural and forest meteorology*, 36(3), 263-268.
- **Menhoudj, S., Benzaama, M. H., Maalouf, C., Lachi, M., & Makhlouf, M. (2018).** Study of the energy performance of an earth—Air heat exchanger for refreshing buildings in Algeria. *Energy and Buildings*, 158, 1602-1612.
- **Mongkon, S., Thepa, S., Namprakai, P., & Pratinthong, N. (2014).** Cooling performance assessment of horizontal earth tube system and effect on planting in tropical greenhouse. *Energy Conversion and Management*, 78, 225-236.
- **Morshed, W., Leso, L., Conti, L., Rossi, G., Simonini, S., & Barbari, M. (2018).** Cooling performance of earth-to-air heat exchangers applied to a poultry barn in semi-desert areas of south Iraq. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(3), 47-53.
- **Nadaf, S. B., Bhoge, D. D., & Sonage, B. K. (2018).** Performance Enhancement of Air Conditioner Using Earth Air Tunnel Heat Exchanger.
- **Ozgener, O., & Ozgener, L. (2011).** Determining the optimal design of a closed loop earth to air heat exchanger for greenhouse heating by using exergoeconomics. *Energy and Buildings*, 43(4), 960-965.
- **Popiel, C. O., Wojtkowiak, J., & Biernacka, B. (2001).** Measurements of temperature distribution in ground. *Experimental thermal and fluid science*, 25(5), 301-309.
- **Rodrigues, M. K., da Silva Brum, R., Vaz, J., Rocha, L. A. O., dos Santos, E. D., & Isoldi, L. A. (2015).** Numerical investigation about the improvement of the thermal potential

of an Earth-Air Heat Exchanger (EAHE) employing the Constructal Design method. *Renewable Energy*, 80, 538-551.

- **Sanusi, A. N. Z., Shao, L., & Zamri, A. A. A. (2014).** Seeking underground for potential heat sink in Malaysia for Earth Air Heat Exchanger (EAHE) application. *Australian Journal of Basic Applied Science*, 8(8), 54-57.
- **Sharan, G., Prakash, H., & Jadhav, R. (2004).** Performance of Greenhouse Coupled to Earth-Tube-Heat-Exchanger in Closed-Loop Mode.
- **Sharan, G., & Jadhav, R. (2003).** Performance of single pass earth tube heat exchanger: An experimental study.
- **Sharma, G. (2004).** Development and some application of earth tube heat exchanger in Gujarat.
- **Shukla, A., Tiwari, G. N., & Sodha, M. S. (2006).** Parametric and experimental study on thermal performance of an earth–air heat exchanger. *International journal of energy research*, 30(6), 365-379.
- **Singh, B., Kumar, R., & Asati, A. K. (2018-a).** Influence of parameters on performance of earth air heat exchanger in hot-dry climate. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 32(11), 5457-5463.
- **Singh, R., Sawhney, R. L., Lazarus, I. J., & Kishore, V. V. N. (2018).** Recent advancements in earth air tunnel heat exchanger (EATHE) system for indoor thermal comfort application: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2162-2185.
- **Singh, R. K., & Sharma, R. V. (2018).** Thermal performance of a co-axial borehole heat exchanger. *Instrumentation, Measure, Metrologie*, 17(3), 455.
- **Sobti, J., & Singh, S. K. (2015).** Earth-air heat exchanger as a green retrofit for Chandīgarh—a critical review. *Geothermal Energy*, 3(1), 1-9.
- **Tiwari, G. N., Akhtar, M. A., Shukla, A., & Khan, M. E. (2006).** Annual thermal performance of greenhouse with an earth–air heat exchanger: An experimental validation. *Renewable Energy*, 31(15), 2432-2446.
- **Vidhi, R., Garg, P., Orosz, M. S., Goswami, D. Y., & Kumar, P. (2014, June).** Ground Cooling System for Improving the Efficiency of Low Temperature Power Generation. In *Energy Sustainability* (Vol. 45868, p. V001T02A047). American Society of Mechanical Engineers.

- **Wang, X., Bjerg, B. S., & Zhang, G. (2018).** Design-oriented modelling on cooling performance of the earth-air heat exchanger for livestock housing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 152, 51-58.
- **Wu, H., Wang, S., & Zhu, D. (2007).** Modelling and evaluation of cooling capacity of earth–air–pipe systems. *Energy Conversion and Management*, 48(5), 1462-1471.
- **Yang, L. H., Huang, B. H., Hsu, C. Y., & Chen, S. L. (2019).** Performance analysis of an earth–air heat exchanger integrated into an agricultural irrigation system for a greenhouse environmental temperature-control system. *Energy and Buildings*, 202, 109381.
- **Yuan, Y., Cao, X., Sun, L., Lei, B., & Yu, N. (2012).** Ground source heat pump system: A review of simulation in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(9), 6814-6822.
- **Ghosal, M. K., & Tiwari, G. N. (2006).** Modeling and parametric studies for thermal performance of an earth to air heat exchanger integrated with a greenhouse. *Energy conversion and management*, 47(13-14), 1779-1798.

# Experimental study of using earth-air tubular heat exchanger for conditioning greenhouses in Tartous Governorate

## Abstract

Earth-to-air heat exchanger (EAHE) system is a geothermal environmental technique able to reduce the energy consumption and their costs for heating/cooling by using undisturbed temperature of the ground for air conditioning. Therefore, in this research the effect of three parameters on air conditioning performance (tube length, diameter and velocity during it) was studied by experiments were carried out in a Mediterranean climate at Tartous Governorate. The exchanger tubes with diameters of (10.16, 15.24) cm were buried at a depth of (1) m and a length of (20) m, and the velocities (1.5, 2) m/s were used. Results showed the efficiency of cooling and heating for the exchanger system (earth-air), as it improved by (25.85, 40.8)% for cooling and (56, 36.28)% for heating by increasing the length of the tube from (10) m to (20) m and reducing the diameter from (15.24) cm to (10.16) cm, respectively. It was also observed that reducing air velocity in the tube from (2) m/s to (1.5) m/s improved the performance of the exchanger by (5.5)°C for cooling and (6.99)°C for heating.

**Syrian Arab Republic**  
**Ministry of Higher Education**  
**Tartous University**  
**Faculty of Technical Engineering**  
**Department of Agricultural Mechanization**



**Experimental study of using earth-air tubular heat  
exchanger for conditioning greenhouses in Tartous  
Governorate**

Study prepared for master Degree in Department of Agricultural  
Mechanization

**Submitted by**  
**Eng. Loubana W. Abbas**  
**Supervised by**  
**Dr. Wasseem M. Morshed**

2021 AD - 1442 AH