

## تأثير مادة أنابيب المبادل الحراري هواء\_أرض على أداء المبادل المستخدم في تدفئة البيوت المحمية في محافظة طرطوس

\* أ.د.م سليمان سلامة

\*\* د.م وسيم مرشد

\*\*\* م. هند علي

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٥/٨/٧ . قبل للنشر في ٢٠٢٥/٩/٢٤)

### □ ملخص □

في سبيل التوجه إلى الوسائل الطبيعية والمستدامة في عمليات التحكم بدرجة الحرارة ضمن البيوت المحمية، كانت تقنية المبادل الحراري هواء-أرض من أبرز التقنيات المعتمدة، ومن أجل رفع كفاءة المبادل الحراري واستخدامه بالشكل الأمثل لابد من إجراء الكثير من التجارب لتحديد البارامترات المثلى، فالدراسة الحالية هادفة إلى تحديد مدى تأثير مادة أنابيب المبادل على الأداء.

حيث تم إجراء التجارب على أربعة أنظمة للمبادلات الحرارية هواء أرض في أربعة بيوت بلاستيكية أبعاد كل منها (2,3,12) m، تم دفن الأنابيب على عمق (1.5m) على شكل حرف (U) ضمن البيت المحمي وكانت الأنابيب المستخدمة اثنان منها مصنعة من الحديد وآخرين من الـ (PVC) بأقطار (15.24cm) و (5.08cm)، بسماكة جدار الأنبوب (2.8mm)، وسرعة الهواء ضمن الأنابيب ( $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

بينت النتائج أن لمادة أنابيب المبادل تأثير على الأداء حيث أن النظام ذي الأنابيب المعدنية تفوق على نظام الأنابيب البلاستيكية بمقدار (0.9%) من أجل القطر (5.24cm)، و (1.8%) من أجل القطر (5.08cm).

كما تبين أن لقطر الأنابيب الأثر الأكبر مقارنة بنوع المادة فالنظام ذي القطر الأكبر قد تفوق بمقدار (32.79%) من أجل أنابيب (PVC)، في حين تفوق بمقدار (31.84%) من أجل الأنابيب المعدنية.

**الكلمات المفتاحية:** قطر الأنابيب، مبادل حراري، البيوت المحمية، تدفئة، تبريد.

\*أستاذ في قسم المكننة الزراعية، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس.

\*\*مدرس في قسم المكننة الزراعية، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس.

\*\*\*طالبة دراسات عليا (دكتوراه) في قسم المكننة الزراعية، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس.

## Effect of Earth-air Heat Exchanger Tube Material on the Performance of the Exchanger Used for Heating Greenhouses in Tartous Governorate.

Dr. Soliman Salameh \*  
Dr. Waseem Morshed\*\*  
Eng. Hind Ali\*\*\*

(Received 7/8/2025 . Accepted 24/9/2025)

### □ ABSTRACT □

Because of the orientation towards the natural and sustainable methods for temperature control in greenhouses, earth-to-air heat exchangers have been among the most prominent technologies adopted. In order to improve the efficiency of heat exchangers and utilize them optimally, many experiments must be conducted to determine the optimal parameters. The current study aims to determine the extent to which the heat exchanger tube material affects performance.

Experiments were conducted on four earth-to-air heat exchanger systems in four greenhouses of dimensions (2,3,12)m. Tubes were buried at depth of 1.5m in a U-shape in the greenhouse. Two of the tubes used were made of iron and the other two were made of PVC with diameters of 15.24cm and 5.08cm, with a tube wall thickness of 2.8mm, and the air velocity within the tubes was  $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

The results showed that the material of the exchanger tubes had an effect on performance, where the metal-tube system outperformed the plastic-tube system by 0.9% for the diameter of 15.24cm, and by 1.8% for the diameter of 5.08 cm. It was also found that the tube diameter had the greatest effect compared to the type of material. The system with the largest diameter for PVC tubes had outperformed by 32.79%, and 31.84 % for metal tubes.

**Keywords:** Tubes diameter, heat exchanger, greenhouses, heating, cooling.

---

\*Professor, Department of Agricultural Mechanization, Faculty of Technical Engineering, Tartous University.

\*\*Assistant Prof., Department of Agricultural Mechanization, Faculty of Technical Engineering, Tartous University.

\*\*\*Ph.D Student, Department of Agricultural Mechanization, Faculty of Technical Engineering, Tartous University.

**1- المقدمة:**

تعتبر الزراعة في البيوت المحمية ممارسة زراعية مستدامة، ذات إمكانيات تسمح بالتوفير في استهلاك كل من المياه والطاقة. (Karanisa et al, 2022).

دخلت الزراعة المحمية إلى سورية عام (1972) حيث كانت البداية في دمشق لإنتاج الأزهار، ثم أخذت هذه الزراعة بالانتشار بدعم من وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، وقد لاقت انتشاراً واسعاً في الساحل السوري عموماً ومنطقة بانياس خصوصاً، نظراً لتوفر الظروف المناخية المناسبة للزراعة المحمية، كقلة التقلبات الجوية ودفء الشتاء نسبياً، ما جعل الزراعة المحمية في المنطقة الساحلية تشكل نسبة (98.94%) من إجمالي المساحات المغطاة في القطر حسب إحصائيات عام (2007). (يعقوب وآخرون 2010).

ولتحقيق الاستفادة القصوى من الزراعة المحمية في البيوت البلاستيكية لا بد من معالجة كافة التحديات التي تظهر خلال تطبيقها، خاصة في المناطق القاحلة، ويعتبر التحدي الأكبر هو الوصول إلى الظروف الداخلية الملائمة للإنبات ونمو المزروعات من معدل التهوية، درجة الحرارة والرطوبة النسبية. (Ghani et al, 2019).

حظت تطبيقات التبريد الأرضي (وتحديداً المبادل الحراري هواء- أرض EAHE) باهتمام كبير من بين المواضيع البحثية نظراً لدورها الفعال في تخفيف الحمل الحراري لعمليات التدفئة والتبريد، التي تهدف لتحسين البيئة الداخلية لأي منشأة، فالأرض يمكن أن تمثل وسيلة لتبريد مبنى أو بيت محمي كما يمكن أن تمثل مصدر حراري لمنح الحرارة (التدفئة) خلال الفترات الباردة من السنة، فالتدفئة والتبريد الأرضي من التطبيقات التي تقوم بشكل أساسي على الخصائص الحرارية والتوزيع الحراري لسطح الأرض حيث أن درجة حرارة الأرض تبقى ثابتة خلال العام على عمق (2.5m-3m) (Bisoniya et al, 2013)

واستخدمت لذلك أنظمة المبادلات الحرارية هواء-أرض على نطاق واسع للتبريد والتدفئة والتحكم بالظروف الداخلية للأبنية والبيوت الزراعية المحمية. (Kaushal, 2017)

تستخدم هذه التقنية الأرض إما كمصدر أو كمصرف للحرارة وهي عبارة عن أنبوب وحيد أو عدة أنابيب مدفونة في الأرض من خلالها يتم تمرير الهواء من المحيط أو من داخل المبنى، ونقل الحرارة من الهواء إلى الأرض خلال فصل الصيف (نظام تبريد)، أو من التربة إلى الهواء خلال الشتاء (نظام التدفئة)، الهواء على مخرج الأنابيب يمتزج مع الهواء الداخلي للبناء أو البيت المحمي. (Kaushal, (Bisoniya et al, 2013) & (Ozgener, 2011) 2017).

قام مجموعة من الباحثين (Ozgener et al, 2010) في إزمير في تركيا بتنفيذ دراسة تجريبية لمبادل حراري هواء-أرض (EAHE) ذو حلقة مغلقة بأنبوب على شكل حرف (U) من أجل بيت زراعي محمي، علماً أن مادة الأنبوب هي الـ (PVC) بطول (47m) وقطر (0.56m) مدفون على عمق (3m)، وأنبوب آخر على عمق (15m) وقطر (0.8m)، يعكس اختيار أقطار الأنابيب المختلفة في النظام الذي استخدمه هؤلاء الباحثين محاولة لتحسين كفاءة النظام في ظل ظروف الإنشاء المختلفة، حيث أن التربة الموجودة في موقع التجربة مزيج من الرمل، الطين والحجارة الصغيرة، تم قياس كل من درجة الحرارة والرطوبة في عدة مواقع بما في ذلك مدخل ومخرج النظام، المحيط، والبيئة الداخلية حيث تم استخدام البيانات المقاسة من أجل التحقق من كفاءة الطاقة في الدراسة وقد تبين أن الكفاءة الكلية للنظام هي (60.7%).

قام (Liu et al, 2019) في الصين بالمقارنة بين عدة مواد لأنابيب المبادل الحراري هواء-أرض (Stainless steel, PE, PVC) فوجد أن أنبوب (Stainless steel) قد حقق حرارة مخرج أقل بالمقارنة مع الأنابيب الأخرين في الصيف، لكن أوضحوا أن سماكة جدار الأنبوب هي التي تحدد مدى تأثير مادة الأنبوب فعند سماكة (2mm) كانت حرارة المخرج للأنابيب الثلاثة ( $23.58^{\circ}\text{C}$ ), ( $23.45^{\circ}\text{C}$ ), ( $23.38^{\circ}\text{C}$ ) بينما عن السماكة (10mm) كانت ( $24.22^{\circ}\text{C}$ ), ( $23.69^{\circ}\text{C}$ ), ( $23.34^{\circ}\text{C}$ ).

قام مجموعة باحثين (Morshed et al, 2018) في العراق (في محافظة البصرة) بدراسة نظامين للمبادل الحراري هواء-أرض كلاهما على عمق (2m) وبطول (37m) ، والتباعد بينهما (5m)، إلا أن أحدهما مدفون في تربة جافة و الآخر قد رطب التربة فوقه على بعد (10cm) صناعيا بواسطة أنابيب ترطيب. وقد تم التوصل إلى أن ترطيب التربة حول خط المبادل يحسن من عملية التبادل الحراري حيث كان معامل الأداء نهائياً (تبريد) لنظام المبادل الرطب (6.42) أعلى من الجاف الذي كان (5.07)، وكذلك لئلاً (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.

قام (Mongkon et al, 2013) في تايلاند حيث المناخ الاستوائي بإنجاز دراسة تجريبية على نظام مبادل حراري هواء-أرض أفقي لتبريد بيت محمي زراعي، حيث تم دفن الأنابيب على عمق متر واحد وكانت أنابيب معدنية على ستة صفوف مدفونة بشكل أفعواني، أما أنابيب الدخول والخروج كانت أنابيب (PVC) قطرها (0.08m)، وقد أبدى النظام فعالية عالية في التبريد.

## 2- مشكلة البحث:

من أكبر التحديات التي تواجه الزراعة المحمية هي تأمين البيئة المحيطة لتلائم الزراعة على مدار العام وتأمين الخضار والفواكه في غير موسمها، بما في ذلك تكييف البيت المحمي وضبط درجة حرارته، خاصة ما يواجهه هذه العملية من صعوبات بسبب ارتفاع تكاليف الوقود الأحفوري والتلوث الناجم عن احتراقه من جهة، وصعوبة تأمين الطاقة الكهربائية في الظروف الراهنة من جهة أخرى، حيث يعتبر المبادل الحراري هواء- أرض تقنية واعدة وطريقة فعالة في حل هذه المشكلات إلى حد كبير.

## 3- الهدف من البحث:

يهدف البحث بشكل أساسي إلى تحديد تأثير مادة الأنبوب المستخدم في أداء المبادل الحراري هواء-أرض المستخدم في تكييف البيوت المحمية في محافظة طرطوس من خلال دراسة مقدرة المبادل على إحداث الفرق المطلوب في درجة حرارة الهواء ضمن البيت المحمي عند تغيير مادة الأنابيب المستخدمة في نظام المبادل الحراري EAHE.

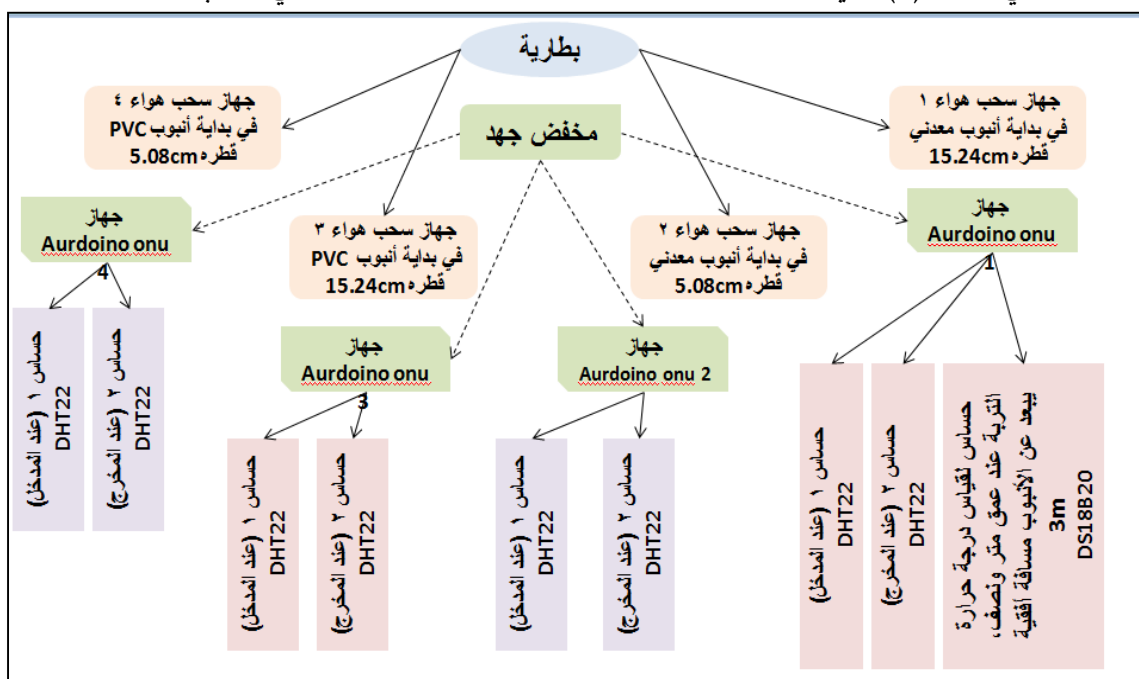
## 4- مواد البحث وطرائقه:

### 4-1- مكان تنفيذ التجربة:

تم إجراء التجارب في بيوت محمية في منطقة حريصون في محافظة طرطوس، حيث تعتبر الزراعة المحمية هي الزراعة الأساسية و مصدر دخل أساسي للكثير من العائلات، وتم ذلك خلال الفترة الممتدة بين 1/2/2025 و 1/3/2025.

### 4-2- التجهيزات والأدوات اللازمة لإجراء البحث:

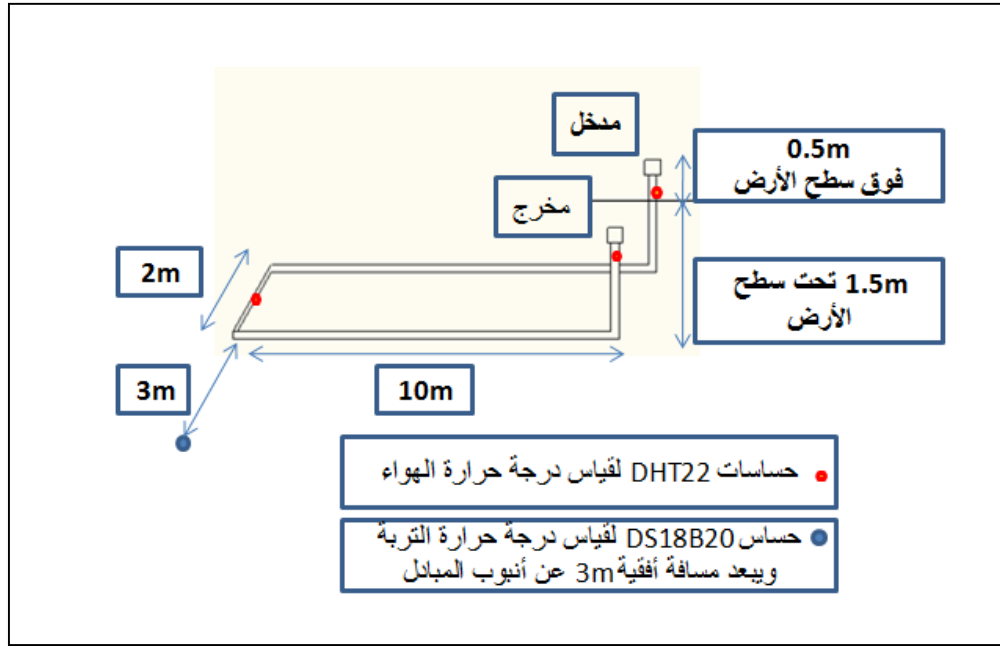
- أنابيب (PVC) بقطر (15.24cm) بطول (26m)، وأنابيب (PVC) بقطر (5.08cm) وطول (26m)، مع الأكواع والوصلات المناسبة.
  - أنابيب معدنية (حديد) بقطر (15.24cm) بطول (26m)، وأنابيب معدنية (حديد) بقطر (5.08cm) وطول (26m)، مع الأكواع والوصلات المناسبة.
  - جهاز سحب هواء.
  - حساسات (DHT22) لقياس درجة حرارة الهواء عدد (12).
  - حساس (DS18B20) لقياس درجة حرارة التربة.
  - جهاز (Aurduino Uno)، عدد (4).
  - دائرة زمن حقيقي (RTC Module DS1307) عدد (4).
  - قارئ ذواكر مع كرت ذاكرة لتخزين القراءات عدد (4).
- وفيما يلي الشكل (1) الذي يبين مخطط توصيل الحساسات والأجهزة المستخدمة في التجربة:



الشكل (١) يبين توصيل الحساسات والأجهزة المستخدمة في التجربة

تم تنفيذ التجربة في أربعة بيوت بلاستيكية أبعاد كل منها (2\*3\*12) m، تم دفن الأنابيب على عمق (1.5m) على شكل حرف (U) ضمن البيت المحمي أي أن دائرة المبادل من النوع المغلق، وتم توصيل الحساسات و جهاز الأوردوينو وبرمجته ليقوم بأخذ القياسات اللازمة لدرجة حرارة الهواء والتربة كل ساعة وتسجيلها خلال هذه الفترة (من 1\2\2025 حتى 1\3\2025).

والشكل (2) يبين مخطط توضيحي لطريقة تمديد أنظمة المبادل الحراري المستخدمة في التجربة:



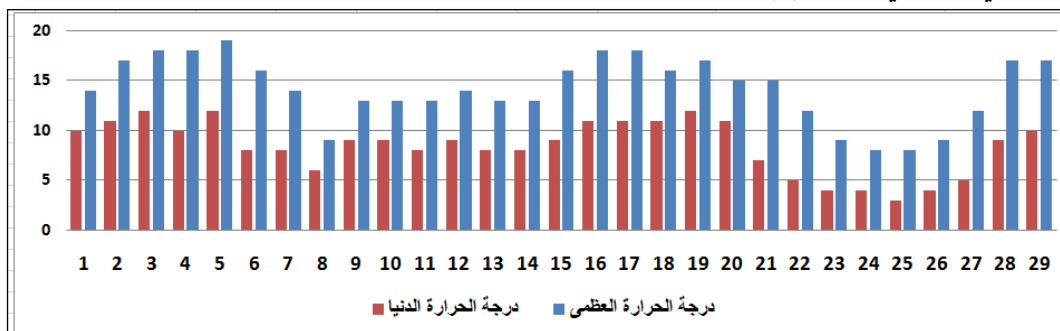
الشكل (٢) يبين مخطط توضيحي لأنظمة المبادل الحراري المستخدمة في التجربة



الشكل (3) يبين كيفية حفر الخنادق وتمديد قسم من الأنابيب التي تم تجربتها وتوصيل الحساسات مع الأوردينو والحاسب وأخذ القراءات

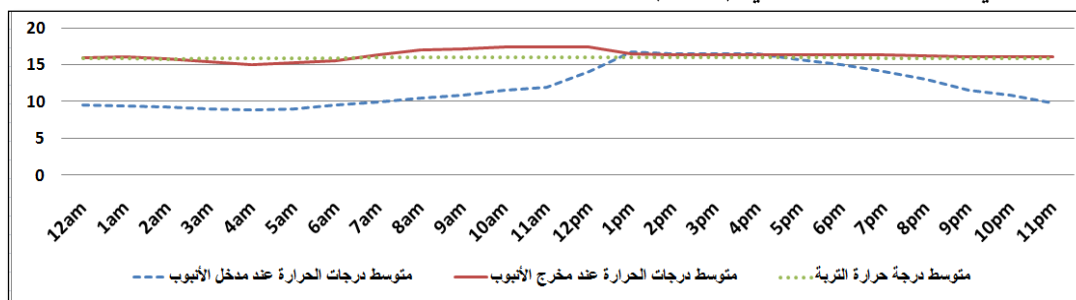
## 5- النتائج:

جمعت درجات الحرارة عند المدخل، والمخرج لكل مبادل خلال الفترة التجريبية، ذلك خلال الفترة الممتدة بين 1/2/2025 و 1/3/2025، وفي هذا الوقت من العام كانت درجات الحرارة العظمى والدنيا في منطقة التجربة كما هي مبينة في الشكل (4).



الشكل (4) يبين درجات الحرارة العظمى والدنيا خلال فترة التجربة

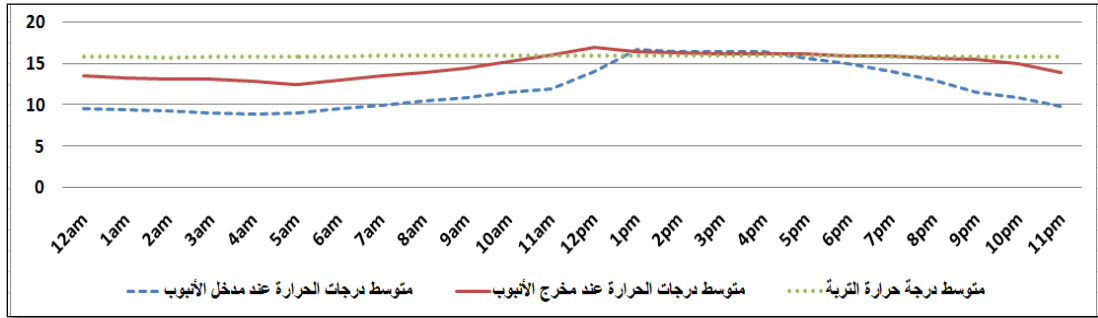
أما الشكل (5)، فهو يمثل متوسطات درجة الحرارة خلال الفترة التجريبية عند كل من مدخل و مخرج الأنبوب المعدني ذي القطر (15.24cm)، بالإضافة إلى متوسطات درجات حرارة التربة عند عمق متر ونصف، والتي كانت شبه ثابتة حوالي (16°C).



الشكل

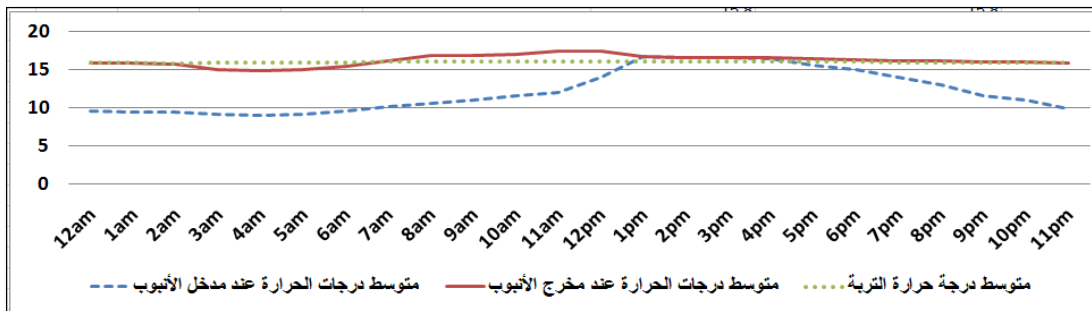
(5) يبين متوسطات درجات الحرارة عند كل من مدخل ومخرج المبادل ذي الأنبوب المعدني بقطر (15.24cm) إضافة إلى متوسطات درجة حرارة التربة عند عمق متر ونصف

وفيما يلي الشكل (6) والذي يبين متوسطات درجات الحرارة عند مدخل ومخرج المبادل ذي الأنبوب المعدني بقطر (5.08cm)، ومتوسطات درجة حرارة التربة والتي كانت شبه ثابتة حوالي (16°C)، ذلك خلال الفترة التي تمت فيها التجربة.



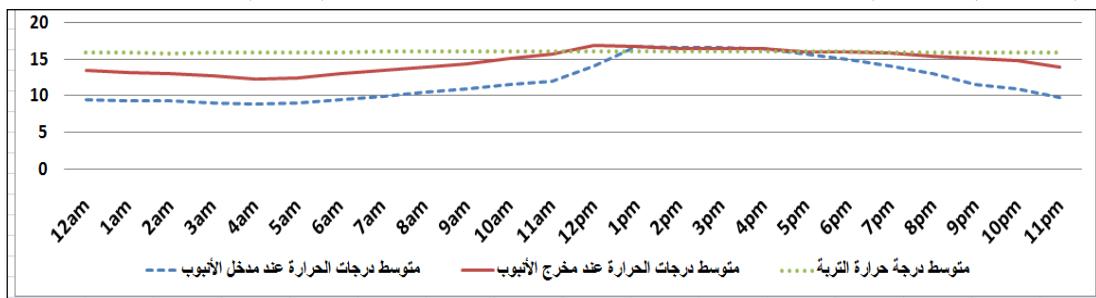
الشكل (6) يبين متوسطات درجات الحرارة عند كل من مدخل ومخرج المبادل ذي الأنابيب المعدني بقطر (5.08cm) إضافة إلى متوسطات درجة حرارة التربة عند عمق متر ونصف.

أما الشكل (7) التالي فهو يبين متوسطات درجات الحرارة عند مدخل ومخرج المبادل ذي الأنابيب المصنوع من (PVC) وبقطر (15.24cm)، إضافة إلى متوسطات درجة حرارة التربة عند العمق (1.5m) خلال فترة التجربة.



الشكل (7) يبين متوسطات درجات الحرارة عند كل من مدخل ومخرج المبادل ذي الأنابيب المصنوع من (PVC) بقطر (15.24cm) إضافة إلى متوسطات درجة حرارة التربة عند عمق متر ونصف

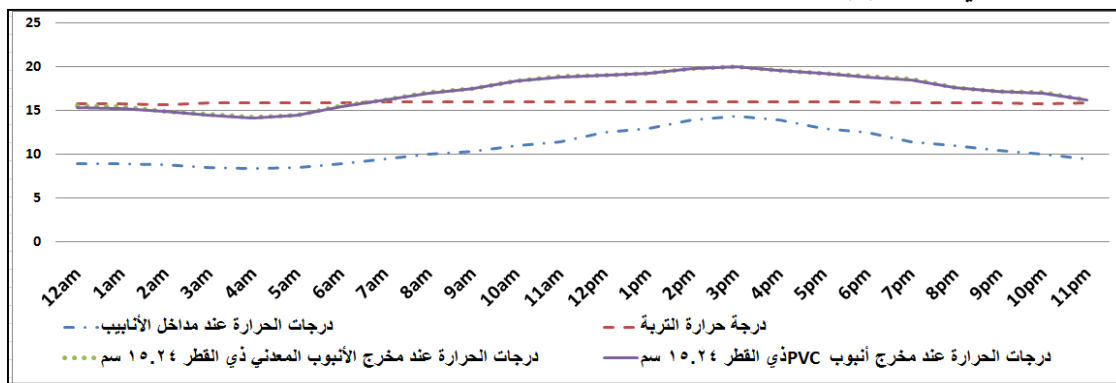
وفي الشكل (8) يلاحظ أن متوسطات درجات الحرارة عند مدخل ومخرج المبادل ذي الأنابيب المصنوع من (PVC) وبقطر (5.08cm)، إضافة إلى متوسطات درجة حرارة التربة عند العمق (1.5m) خلال فترة التجربة.



الشكل (8) يبين متوسطات درجات الحرارة عند كل من مدخل ومخرج المبادل ذي الأنابيب المصنوع من (PVC) بقطر (5.08cm) إضافة إلى متوسطات درجة حرارة التربة عند عمق متر ونصف

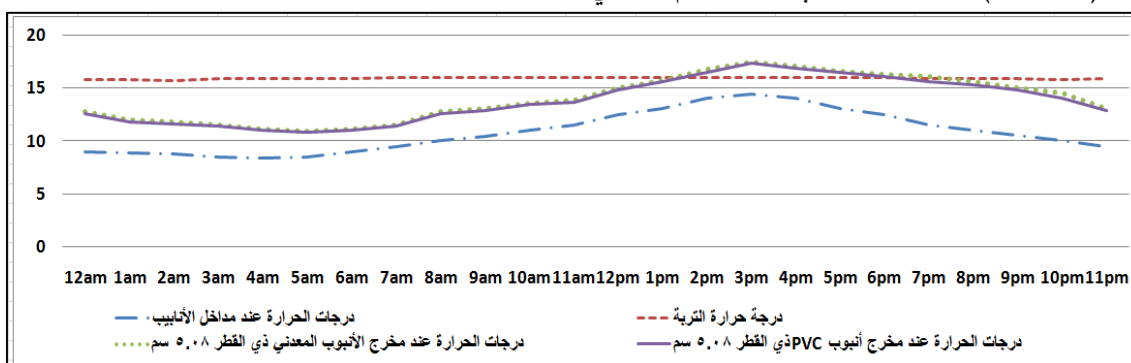
يلاحظ من الأشكال السابقة (5, 6, 7, 8) أن المبادل قد عمل على التبريد والتدفئة خلال اليوم الواحد من خلال التبدلات الحرارية اليومية.

حيث أن درجة حرارة الهواء كانت أعلى عند المخارج منها عند المداخل خلال الفترة الممتدة بين منتصف الليل والواحدة ظهراً، أي أن المبادل عمل على تدفئة الهواء ورفع درجة حرارته، والعكس تماماً منذ الساعة الواحدة ظهراً حتى الرابعة عصراً عمل المبادل على تبريد الهواء وخفض درجة حرارته ذلك بسبب ارتفاع درجات الحرارة في هذا الوقت من النهار ووصولها لأعلى مستوياتها، ليعاود بعدها العمل على تدفئة الهواء ورفع درجة حرارته حتى منتصف الليل. لدراسة تأثير مادة الأنبوب على أداء المبادل الحراري هواء-أرض (EAHE) تم اختيار اليوم التمثيلي للفترة المدروسة و هذا اليوم تم إيجاده عن طريق حساب مجموع الفروق التربيعية بين متوسطات درجات الحرارة الخارجية لكل ساعة من اليوم على مدار الفترة التجريبية ودرجات الحرارة الخارجية لكل يوم عند نفس التوقيت، فيكون اليوم ذو المجموع الأقل هو اليوم التمثيلي، وكان اليوم الموافق لليوم التمثيلي هو اليوم السابع من شهر شباط (7/2/2025)، أما درجات الحرارة عند مداخل ومخارج الأنابيب المعدنية والبلاستيكية (PVC) ذات القطر (15.24cm) ودرجة حرارة التربة فكانت كما في الشكل (9).



الشكل (9) يبين درجات الحرارة عند مداخل الأنابيب و مخارجها من أجل القطر الأكبر، إضافة إلى درجة حرارة التربة عند عمق متر ونصف خلال اليوم التمثيلي.

يعطي الشكل (10) درجات الحرارة عند مداخل ومخارج الأنابيب المعدنية والبلاستيكية (PVC) ذات القطر (5.08cm) ودرجة حرارة التربة خلال اليوم التمثيلي.



الشكل (10) يبين درجات الحرارة عند مداخل الأنابيب و مخارجها من أجل القطر الأصغر، إضافة إلى درجة حرارة التربة عند عمق متر ونصف خلال اليوم التمثيلي.

من المخططين السابقين وجد أنه خلال اليوم التمثيلي كانت درجات حرارة الهواء طيلة اليوم أقل من درجة حرارة التربة عند عمق متر ونصف وهذا أدى إلى أن يكون كل من المبادلات قد عمل على تدفئة الهواء على مدار الأربع وعشرون ساعة، وذلك كون 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).

والجدول التالي يبين متوسطات درجات الحرارة عند مداخل و مخارج الأنابيب الأربعة خلال اليوم التمثيلي:

الجدول (1) يبين متوسطات درجات الحرارة عند مداخل ومخارج الأنابيب الأربعة.

متوسط درجات الحرارة عند المخرج				متوسط درجة حرارة التربة عند عمق 1.5m	متوسط درجة الحرارة عند المداخل
أنبوب PVC		أنبوب معدني			
5.08cm	15.24cm	5.08cm	15.24cm	15.97 C°	10.81 C°
13.73 C°	17.27 C°	13.93 C°	17.38 C°		

من الجدول (1) يلاحظ أن المبادل ذي الأنابيب البلاستيكية قد رفع درجة حرارة الهواء حوالي (59.8%)، (27.01%) من أجل القطرين (15.24cm)، (5.08cm) على التوالي، أي أن الفرق بين أداء المبادلين من أجل (10.16cm) فرق في القطر كان حوالي (32.79%). في حين أن المبادل ذي الأنابيب المعدنية قام برفع درجة حرارة الهواء حوالي (60.7%)، (28.86%) من أجل القطرين (15.24cm)، (5.08cm) على التوالي، بفارق يقدر بـ (31.84%) من أجل (10.16cm) فرق في القطر.

مما سبق وجد أن زيادة قطر الأنبوب قد سببت زيادة في كمية الحرارة المتبادلة و حسنت من أداء المبادل وهذا يتعارض مع نتائج الدراسات المرجعية السابقة حيث أن القطر الأصغر كان أكثر كفاءة في عمل المبادل الحراري (Bisoniya, 2015) & (Morshed et al, 2022)، إلا أن هذه النتيجة يمكن إرجاعها إلى طبيعة التربة التي تم فيها تنفيذ التجربة على عمق متر ونصف حيث أن دفن الأنابيب كان قد تم في تربة طينية على الرغم من أن عمليات الحفر والتحضير للتجربة ودفن الأنابيب كان خلال شهر آب من عام 2024. وهذا بدوره يتفق مع دراسة سابقة تم تنفيذها في محافظة البصرة جنوب العراق للتحكم بدرجة الحرارة في حظيرة دواجن حيث أن ترطيب التربة صناعاً حول المبادل الحراري قد حسن من أداء المبادل في كل من التدفئة والتبريد (Morshed et al, 2018).

كما وجد أن المبادل الحراري باستخدام الأنابيب المعدنية قد تفوق على الأنابيب البلاستيكية في كمية التبادل الحراري من أجل القطر الأكبر بحوالي (0.9%)، أما من أجل القطر الأصغر فقد كان الفرق حوالي (1.8%)، وهذا يعزى إلى الموصلية الحرارية الأعلى للمعادن مقارنة بها للمواد البلاستيكية.

لكن لا بد من الإشارة إلى هذا الفرق قليل مقارنة بالتكاليف العالية للأنابيب المعدنية مقارنة بالأنابيب المصنعة من الـ (PVC).

## 6- الاستنتاجات:

من خلال التجربة وما تقدم نجد أن :

- ازداد أداء المبادل الحراري بازدياد قطر الأنبيب، إذ ارتفعت حرارة الهواء بنسبة (59.8%)، (60.7%)، باستخدام أنابيب بقطر (15.24cm)، مقارنة بـ (27.01%) ، (28.86%) عند استخدام أنابيب بقطر (5.08cm).
- أثر نوع مادة الأنبوب على كفاءة التبادل الحراري، حيث كانت الأنابيب المعدنية أفضل من أنابيب (PVC) بنسبة 0.9% للقطر الكبير وحوالي (1.8%) بالنسبة للقطر الصغير.
- تأثير القطر كان أوضح وأقوى من تأثير مادة الأنبوب في نظام المبادل الحراري هواء-أرض.
- الأنابيب المعدنية تقدم أداء جيد لكن أنابيب (PVC) أقل تكلفة وذات أداء مقبول، ما يجعلها خياراً اقتصادياً فعالاً.

## 7- التوصيات:

- ينصح باستخدام مبادل حراري هواء-أرض لضبط حرارة البيوت المحمية لأنه يحافظ على درجة حرارة مناسبة للزراعة.
- يفضل إجراء دراسات إضافية باستخدام أطوال وأعماق مختلفة للأنابيب لمعرفة الأثر الدقيق لمادة الأنبوب، وتحديد البارامترات المثلى.

## قائمة المراجع:

### المراجع العربية :

1. غسان يعقوب، عمر فاروسي، & هيثم ديب. (2010). الكفاءة الاقتصادية للزراعة المحمية في القطر العربي السوري نموذج البندورة في محافظة اللاذقية. *Tishreen University Journal- Biological Sciences*, 32(1). Series, 32(1).

### المراجع الأجنبية :

- 1- 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..
- 2- Bisoniya, T. S. (2015). Design of earth-air heat exchanger system. *Geothermal Energy*, 3, 1-10.

- 3- Ghani, S., Bakochristou, F., ElBialy, E. M. A. A., Gamaledin, S. M. A., Rashwan, M. M., Abdelhalim, A. M., & Ismail, S. M. (2019). Design challenges of agricultural greenhouses in hot and arid environments A review. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 12(1), 48-70.
- 4- Karanisa, T., Achour, Y., Ouammi, A., & Sayadi, S. (2022). Smart greenhouses as the path towards precision agriculture in the food-energy and water nexus: Case study of Qatar. *Environment Systems and Decisions*, 42(4), 521-546.
- 5- Kaushal, M. (2017). Geothermal cooling/heating using ground heat exchanger for various experimental and analytical studies: Comprehensive review. *Energy and Buildings*, 139, 634-652.
- 6- 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.
- 7- Morshed, W., Leso, L., Conti, L., Rossi, GT., 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.
- 8- Morshed, W., Abbas, L., & Nazha, H. (2022). Heating performance of the PVC earthair tubular heat exchanger applied to a greenhouse in the coastal area of west Syria: An experimental study. *Thermal Science and Engineering Progress*, 27, 101000.
- 9- Mongkon, S., Thepa, S., Namprakai, P., & Pratinthong, N. (2013). Cooling performance and condensation evaluation of horizontal earth tube system for the tropical greenhouse. *Energy and Buildings*, 66, 104-111.
- 10- Ozgener, L., & Ozgener, O. (2010). An experimental study of the exergetic performance of an underground air tunnel system for greenhouse cooling. *Renewable Energy*, 35(12), 2804-2811.
- 11- Ozgener, L. (2011). A review on the experimental and analytical analysis of earth to air heat exchanger (EAHE) systems in Turkey. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(9), 4483-4490.