

تأثير استخدام الأنابيب الاسمنتية على أداء المبادل الحراري الأنبوبي (هواء-أرض) في تدفئة البيوت المحمية الزراعية في منطقة صافيتا- محافظة طرطوس

د. وسيم مرشد*

م. أحمد إبراهيم**

(تاريخ الإيداع 2022/8/8 . قُبل للنشر في 2023/2/13)

□ ملخص □

إن التقليل من الضرر البيئي وزيادة الجدوى الاقتصادية للمشاريع الزراعية تعتبر من أهم الهواجس التي تعترض طريق تطور الإنتاج الزراعي ، و يعتبر استخدام المبادل الحراري الأنبوبي (هواء-أرض) من الطرق الرائدة في تحقيق هذه الأهداف و غيرها.

في هذه البحث تم استخدام مبادل حراري بأنابيب أسمنتية بطول 30 m وقطر 10.16 cm دفنت على عمق 1.5 m تحت سطح الأرض لتدفئة بيت زراعي محمي في منطقة صافيتا لدراسة مدى تأثير استخدام الأنابيب الأسمنتية في أداء نظام عمل المبادل.

حيث أجريت التجارب في الفترة (من 2021-12-10 حتى 2021-12-31) حيث استخدمت ثلاث سرعات للهواء داخل الأنابيب

(1.2 m/sec ، 1.5 m/sec ، 2 m/sec) و طولين مختلفين لأنابيب المبادل (15 m ، 30 m) .

بينت النتائج أن كفاءة التدفئة ومردود النظام يزدادان مع انخفاض سرعة الهواء داخل الأنبوب و مع زيادة طول الأنبوب حيث وصل أعلى فرق حراري وأعلى قيمة للكفاءة وأعلى مردود عند السرعة 1.2 m/sec والطول 30 m على التوالي إلى (14.8°C ، 60% ، 2.48) على الترتيب.

كلمات مفتاحية : مبادل حراري (هواء - أرض) ، تدفئة البيوت المحمية ، أنابيب أسمنتية.

*مدرس - قسم المكننة الزراعية - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - طرطوس - سوريا .
**طالب ماجستير - قسم المكننة الزراعية - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - طرطوس - سوريا.

The effect of using Cement tubes in performance of the earth-air tubular heat exchanger for heating greenhouses in Safita area

DR. Wasseem Morshed *
Eng. Ahmad Ebraheem **

(Received 8/8/2022 . Accepted 13/2/2023)

□ ABSTRACT

Reducing environmental damage and increasing the economic feasibility of agricultural projects are two of the most important concerns that stand in the way of the development of agricultural production, and the use of the tubular heat exchanger (Earth To air) is one of the leading methods in achieving these goals and others . In this research, a heat exchanger was used with cement pipes 30 m long and 10.16 cm in diameter, which were buried at a depth of 1.5 m under the surface of the ground, to heat a greenhouse in Safita area to study how much the effect of using cement tubes on the performance of exchanger work system. Experiments were conducted from 10-12-2021 until 31-12-2021, where three air speeds were used inside the tubes (1.2 m/s, 1.5 m/s, 2 m/s) and two different lengths of the exchanger tubes (15 m, 30 m).Results showed that the heating efficiency and system coefficient increased with the decrease in the air speed inside the pipe and with the increase in the length of the pipe. The highest thermal difference, the highest value for the efficiency and the highest coefficient at the speed 1.2 m/sec and the length of 30 m reached (14.8 °C, 60%, 2.48) Respectively .

Key words: Earth-to-air heat exchangers (EAHE), Greenhouse Heating, Cement tubes.

*Professor, Department of agricultural mechanization, Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Tartous, Syria.

**Postgraduate Student, Department of agricultural mechanization, Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Tartous, Syria.

1- مقدمة :

يتمتع البيت الزراعي المحمي بتصميم وتركيب بسيط لكنه معقد من حيث ظروف بيئته الداخلية و إمكانية تنظيمها و التحكم بها و على الرغم من أن أغلب أماكن تواجده يمكن أن تكون مستقرة إلا أنه يمكن أن يتواجد في أماكن غير مستقرة مناخياً مما يستدعي المراقبة المستمرة و الدقيقة لبيئته الداخلية و بالتالي التدخل عند اللزوم للحفاظ على ظروفه الداخلية و أهمها الحرارة و الرطوبة ضمن الحدود المطلوبة من أجل نمو النباتات و تقليل ضررها وزيادة الإنتاج (Taner , 2017) .

ركزت الكثير من الدراسات في السنوات الأخيرة على إيجاد وسائل تكييف ذات جدوى في التحكم بالبيئة الداخلية للبيت المحمي كان من أهمها المبادل الحراري الانبوبي (هواء - أرض) ، وهو عبارة عن أنابيب تدفن تحت سطح التربة على عمق معين بهدف الاستفادة من حرارة التربة الثابتة تقريبا عند هذا العمق على مدار العام حيث (التبريد صيفاً ، التدفئة شتاءً) وهذا يعتمد أساساً على قابلية التربة لتخزين الحرارة المعرضة لها تراكمياً و التي يمكن أن تبقى ثابتة لفترة طويلة ، فعند مرور الهواء داخل الأنبوب المدفون في التربة يتم انتقال الحرارة من الهواء الى التربة (التبريد صيفاً) أو بالعكس انتقال الحرارة من التربة الى الهواء (التدفئة شتاءً) على اعتبار أن درجة حرارة التربة على عمق 1.5 m مثلا تكون أعلى من درجة حرارة سطح التربة شتاءً و أقل منها صيفاً (Singh and Sawhney,2018).

تأتي جودة هذا النظام و فعاليته من ارتفاع قيم المردود الخاص به وذلك على اعتبار ان الطاقة الكهربائية المستخدمة لا تتحول أو تضيع على شكل حرارة و إنما تستخدم في تشغيل المراوح المسؤولة عن دفع الهواء داخل الأنابيب وهذا من اهم ما يميزه على غيره من أنظمة التكييف ، كما تبين زيادة المردود مع انخفاض قطر الأنبوب والقطر المثالي للأنبوب (3 - 5 إنش) ، وتفوق الوضعية الأفقية للأنبوب على الوضعية العمودية بمقياس (جودة الأداء الكلفة) بمعدل 10 - 15 %، وزيادة المردود بزيادة الطول والطول المثالي (30 - 50 m) (Nourollahi et al., 2017).

لقد ركزت أغلب الدراسات مؤخراً على البارامترات الفنية للأنابيب (القطر ، الطول ، مادة الأنبوب ، سماكة جدران الأنبوب) وبارامترات الهواء (سرعة الهواء ، درجة حرارته ...) باعتبارها أهم العوامل المؤثرة على مردود النظام ، ففي دراسة أجريت في ولاية جينان في الصين من قبل (Jiang Liu et al., 2017) استخدم فيها أنبوب من البولي إيثيلين بطول 40 m و قطر 0.3 m مدفون على عمق 3.5 m تبين بأن زيادة المردود و زيادة التدفق الحراري تتعلق بزيادة الطول حيث بلغا قيمهما العظمى عند الطول.

وفي دراسة أجريت في الهند قام بها (Singh et al.,2018) استخدم فيها مبادل حراري ذو أنابيب أسمنتية بقطر 25.4 cm كانت مدفونة على عمق 1.5 m حيث استخدم فيها ثلاث سرعات للهواء و ثلاثة أطوال مختلفة للأنابيب وقد تبين ارتفاع أداء النظام بزيادة الطول وانخفاض سرعة الهواء وهذا مماثل لما توصل إليه .Rahul et al., (2015) في الهند أيضاً حيث تبين قدرة النظام على تأمين الحرارة المناسبة للنباتات صيفاً و شتاءً وأن أداء النظام يزداد مع انخفاض سرعة الهواء ومع زيادة الطول .

وفي دراسة أجريت مؤخراً في الساحل السوري قام بها (Morshed et al.,2022) لتدفئة بيت زراعي محمي باستخدام مبادلين حراريين بقطر (10.16 cm، 15.24 cm) بطول 20 m تبين زيادة فعالية التدفئة بزيادة الطول و انخفاض القطر كما ارتفع الفرق الحراري المستحصل عليه و بالتالي تحسن أداء النظام مع انخفاض سرعة الهواء .

لخواص التربة الفيزيائية أيضاً تأثير مهم على عمل المبادل ففي دراسة أجريت في العراق من قبل (Morshed et al., 2018) لمقارنة أداء المبادل عند تركيبه في تربة جافة وفي تربة رطبة، تبين زيادة فعالية التبادل الحراري عموماً بزيادة الرطوبة حول أنابيب المبادل، كما ارتفعت كفاءة التبريد للمبادل نهاراً وكفاءة التدفئة ليلاً في التربة الرطبة عنها في التربة الجافة.

2- أهمية البحث وهدفه :

تكمُن أهمية البحث في تأمين درجات الحرارة المناسبة لنمو المحاصيل المتنوعة داخل البيوت البلاستيكية خلال المواسم المختلفة (صيفاً و شتاءً) بطريقة تمكن من الاستغناء عن طرق التكييف التقليدية و بالتالي رفع الجدوى الاقتصادية لمشاريع البيوت المحمية بزيادة الإنتاج و تقليل التكاليف الدورية (وقود - معدات - صيانة...) وتقليل انبعاثات CO الناتجة عن عمليات التدفئة بالوقود و مركبات الكلوروفورم الناتجة عن معدات التبريد ، بالإضافة الى تقليل الجهود البشرية اللازمة لمراقبة بيئة البيت البلاستيكي بشكل مستمر و التدخل عند الحاجة للمحافظة عليها عند الحدود المقبولة و خاصة في حالات الصقيع التي كان يتم الوقاية منها باستخدام طرق بسيطة وليست ذات فعالية عالية مثل تزييد الماء الامر الذي يحتاج الى طاقة كهربائية طوال فترة الصقيع والتي تعتبر كبيرة اذا ما قورنت بحاجة نظام المبادل الحراري للطاقة .

كما يهدف هذا البحث إلى تقييم أداء المبادل الحراري ذو الأنايبب الأسمنتية في تدفئة البيوت المحمية في منطقة صافيتا (الظروف المناخية في الساحل السوري) ودراسة أهم البارامترات المؤثرة على أداءه.

3- مواد و طرائق البحث :

أولاً : الموقع و المناخ :

اجريت التجارب في محافظة طرطوس منطقة صافيتا (قرية تركب) ، إذ يصنف مناخ المنطقة على أنه متوسطي معتدل بارد نسبياً ، حيث أجري اختبار التدفئة على بيت بلاستيكي بطول 30 m و عرض 8 m مجهز وفق الطريقة النموذجية من حيث عدد القناطر (7) و تباعدها (4.3 m) و ارتفاعها (3.75 m) ومغطى بالشرائح البلاستيكية، الشكل (1) ، الشكل (2) .



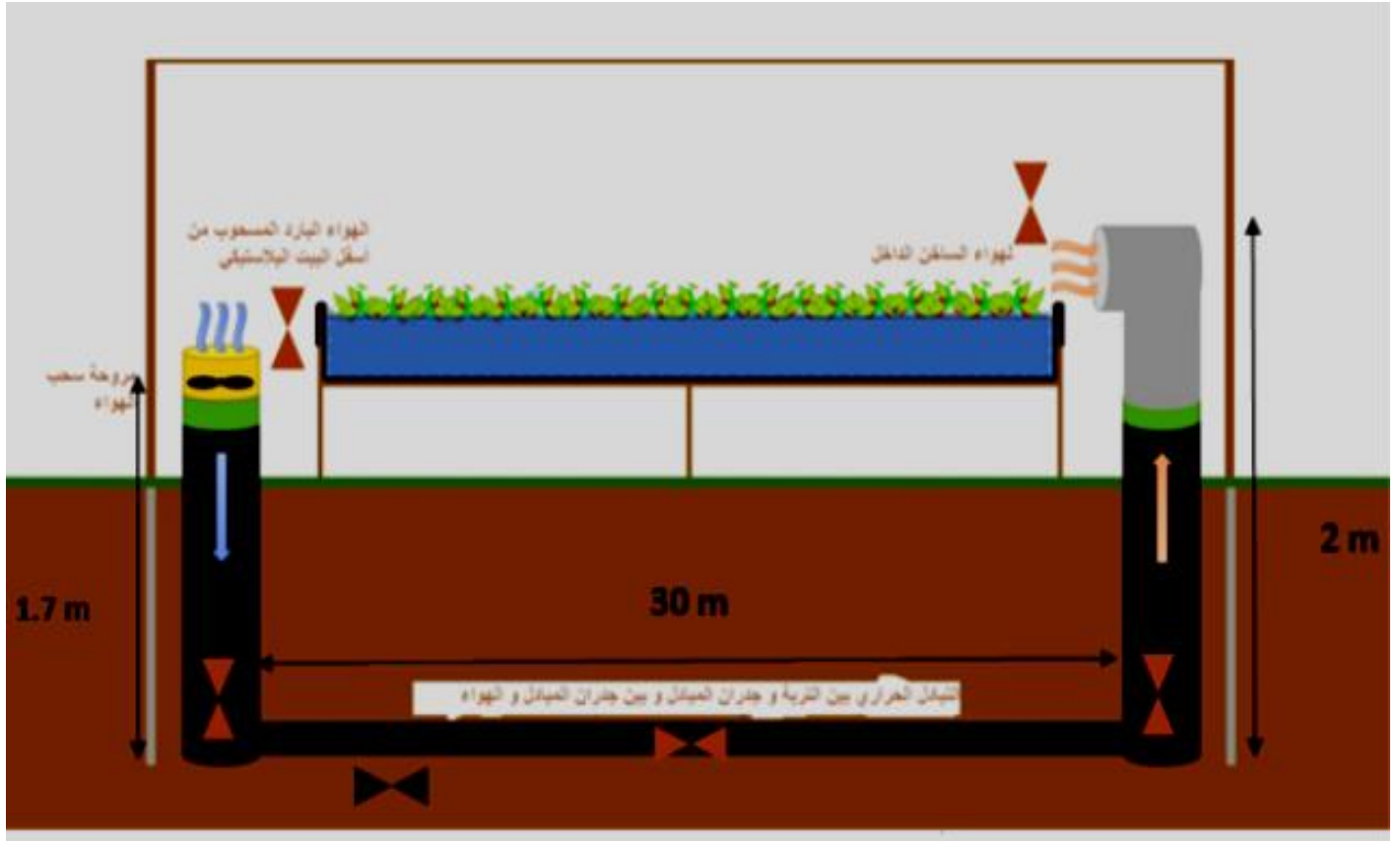
الشكل (1) البيت البلاستيكي المستخدم في الدراسة



الشكل (2) البيت البلاستيكي من الداخل

يتكون نظام المبادل من :

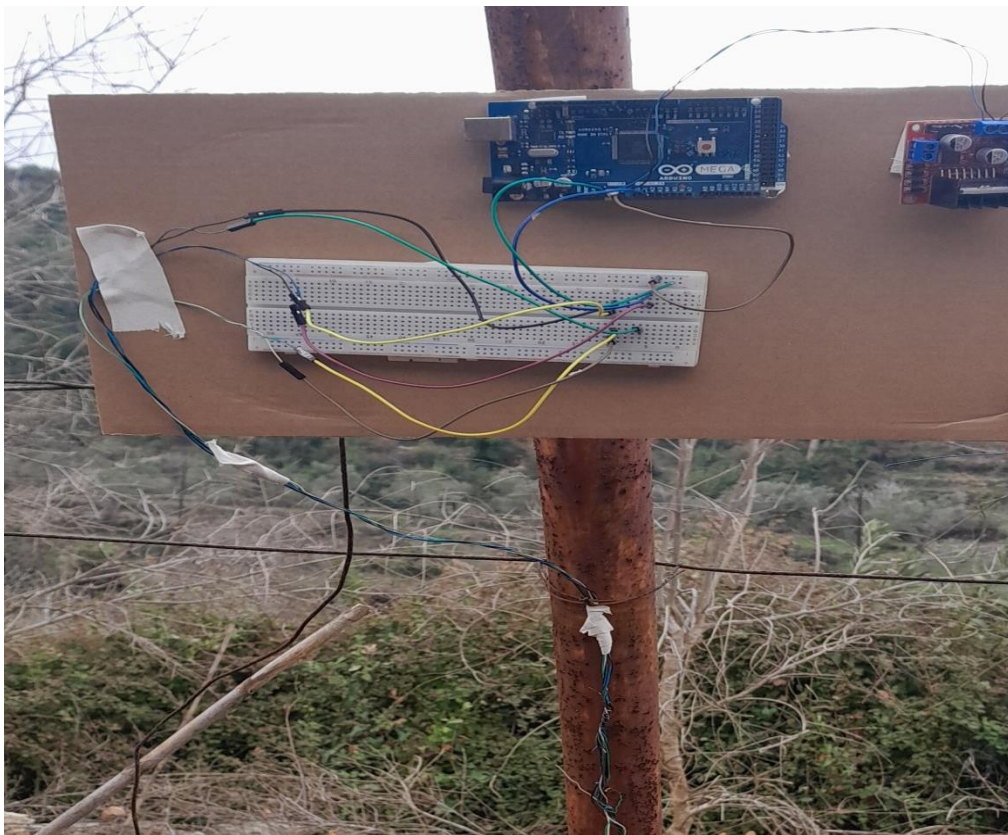
- 1 خط مفرد من الأنابيب الأسمنتية (معامل التوصيل الحراري $1.12 W/m * K^{\circ}$ ، إجهاد ضغط $3000N/m^2$ بطول 30 m و قطر 10.16 cm مدفونة على عمق 1.5 m بجانب البيت البلاستيكي و على كامل طوله.
- 2 مروحة لسحب الهواء بقطر 10.16 cm و استطاعة 65 W.
- 3 حساسات حرارة من نوع ((DHT22 (Am2302).
- 4 جهاز قراءة رقمي Arduino Mega 2560 لمعالجة البيانات و قراءتها و تخزينها عند الحاجة.



الشكل (3) المخطط التصميمي للنظام واماكن توضع الحساسات



الشكل (4) مدخل و مخرج أنبوب المبادل



الشكل (5) توصيل الدارات في البيت البلاستيكي

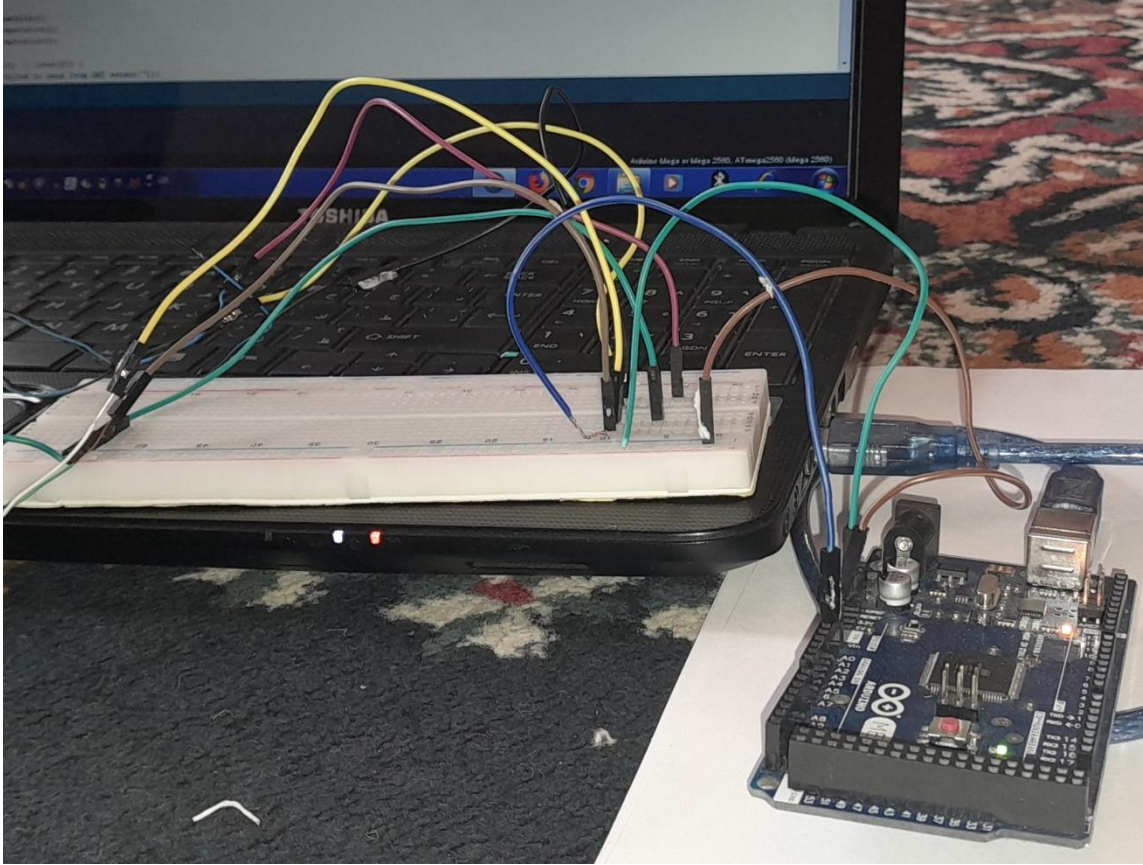
3-1- خطة العمل :



تم استخدام دارة كهربائية بمقاومة متغيرة للحصول على سرعات مختلفة للمروحة بحيث تم استخدام ثلاث سرعات تم قياسها باستخدام جهاز (Anemometer) للتأكد من الحصول على السرعات المطلوبة (1.2 m/s, 1.5 m/s, 2 m/s).

و استخدمت دارة رفع جهد لتشغيل المروحة (12 : 220) ودارة تخفيض جهد (12 : 5) لتشغيل لوح Arduino و الحساسات من المدخرة .

تم استخدام Arduino Mega 2560 لقراءة بيانات الحساسات و زود ببطاقة ذاكرة لتخزين البيانات و تمت برمجته لأخذ درجات الحرارة كل ساعة ، الشكل (6) .



الشكل(6) توصيل الحساسات مع الاردوينو وبرمجته

تم أخذ القراءات كمايلي :

خلال الفترة (10←17) - 2021-12-12 للسرعة 1.2 m/sec

خلال الفترة (18←24) - 2021-12-24 للسرعة 1.5 m/sec

خلال الفترة (25←31) - 2021-12-12 للسرعة 2 m/sec

حيث جمعت درجات الحرارة الساعية مقسمة على ثلاث فترات خلال اليوم ، الفترة النهارية (06:00 ص ← 06:00 م) الفترة المسائية (07:00 م ← 12:00 م) الفترة الليلية(01:00 ص ← 05:00 ص) ، ثم تم حساب متوسطات درجات الحرارة خلال فترة التجربة لنفس الفترة من اليوم لاستخدامها في حساب فعالية التدفئة و معدل الانتقال الحراري و مردود النظام عند السرعات المختلفة و عند الطولين (15 m ، 30 m) للأنبوب وفق العلاقات التالية :

$$\varepsilon = \frac{T_{out}-T_{in}}{T_{soil}-T_{in}} \quad [1]$$

$$Q = \dot{m} * C_p * (T_{out} - T_{in}) \quad [2]$$

$$\mu = \frac{Q}{W} \quad [3]$$

حيث أن :

ε : فعالية التدفئة

$T_{out}, T_{in}, T_{soil}$: درجة حرارة التربة و المدخل و المخرج.

Q : الطاقة الحرارية المكتسبة (الخرج) من عمل المبادل [watt] .

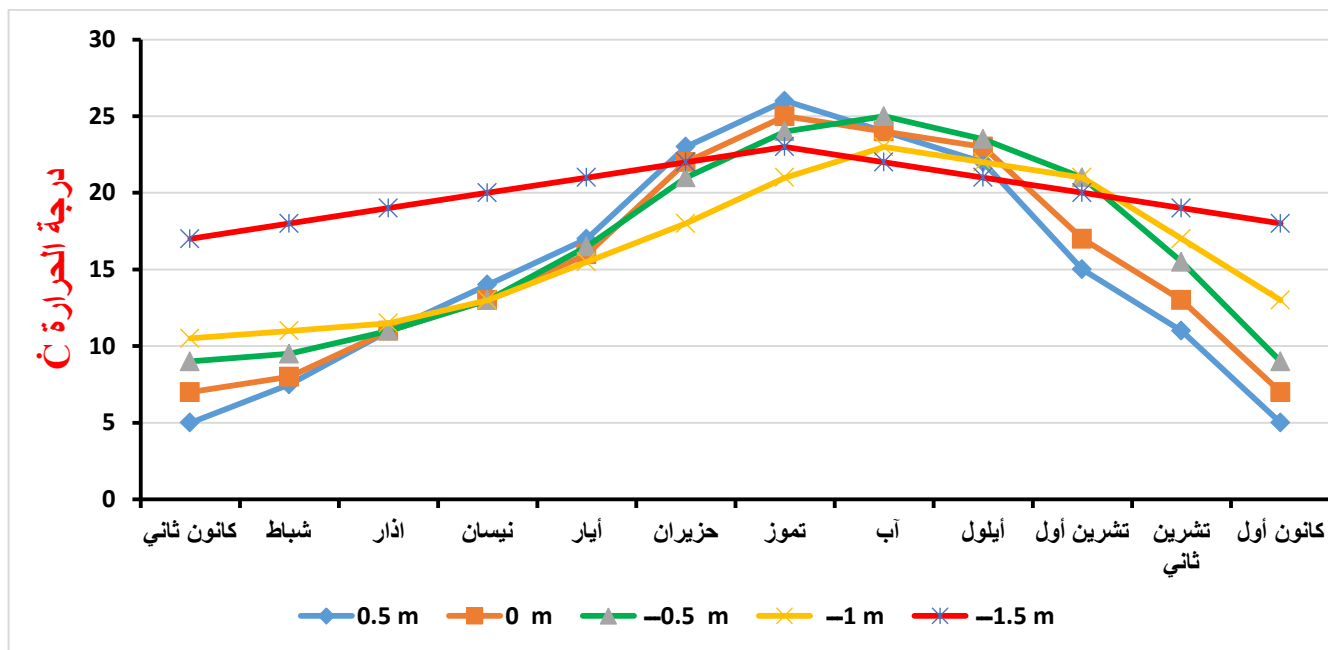
\dot{m} : تدفق الهواء داخل أنابيب المبادل [Kg/sec] .

C_p : السعة الحرارية النوعية للهواء [J/Kg * K°] .

W : الطاقة الكهربائية المستهلكة في لمروحة (الدخل) [watt] .

μ : مردود النظام .

تم تسجيل درجة حرارة التربة على أعماق مختلفة خلال العام 2021 وكانت النتائج كما في المخطط (1) ، حيث تبين استقرار درجة حرارة التربة خلال شهر كانون الأول لعام 2021 عند الدرجة °C (17 – 19) .



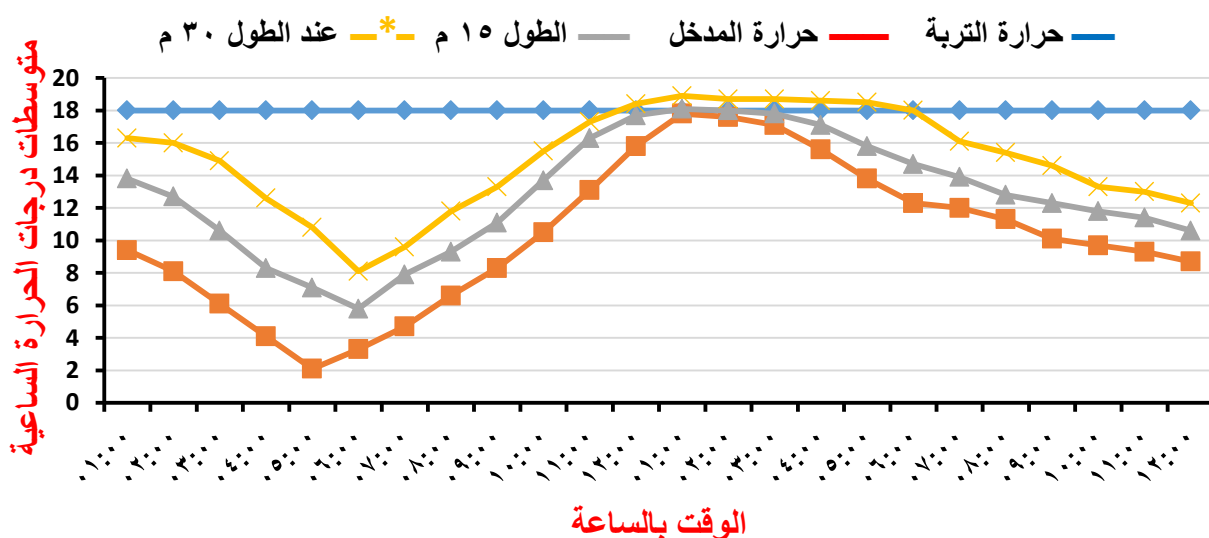
المخطط (1) درجات حرارة التربة عند أعماق مختلفة

4- النتائج و المناقشة :

خلال شهر كانون الأول لعام 2021 اظهرت القياسات لكل من درجة حرارة التربة ودرجة حرارة الهواء الداخل القيم التالية : $(17-19) ^\circ\text{C}$ و $(3.9 \pm 9.36) ^\circ\text{C}$ بين قيمة عليا $18.1 ^\circ\text{C}$ وقيمة دنيا $2.1 ^\circ\text{C}$ على الترتيب. كما بينت درجات الحرارة المسجلة زيادة أداء النظام خلال الفترة الليلية عن أداءه خلال الفترتين النهارية و المسائية وذلك لانخفاض درجة حرارة المدخل بشكل كبير خلال هذه الفترة حيث بلغ متوسط درجات حرارة المدخل $(5.98 \pm 3.1) ^\circ\text{C}$ خلال الفترة الليلية و $(12.3 \pm 5.9) ^\circ\text{C}$ خلال الفترة النهارية و $(10.1 \pm 2) ^\circ\text{C}$ خلال الفترة المسائية حيث أدى ذلك الى زيادة الفروق الحرارية بين حرارة المدخل و المخرج و بالتالي زيادة فعالية التدفئة و زيادة مردود النظام .

تم حساب متوسطات درجات الحرارة الساعية خلال الفترات الثلاث من شهر كانون الاول لعام 2021 لتقييم تأثير طول الأنبوب و سرعة تدفق الهواء بداخله على أداء النظام .

حيث أخذت المتوسطات الساعية لدرجات الحرارة عند بداية و منتصف و نهاية الأنبوب عند استخدام السرعة 1.2 m/sec خلال الفترة $(10 \leftarrow 17) - 2021-12$ كما هو مبين في المخطط (2)، وتبين أن الفرق الحراري بين درجة حرارة المدخل والمخرج وبالتالي مردود النظام قد وصل إلى أعلى قيمة خلال الفترة الليلية من اليوم كما ذكر سابقاً وعند الطول الاكبر للأنبوب (30 m) كما هو مبين الجدول (1) .



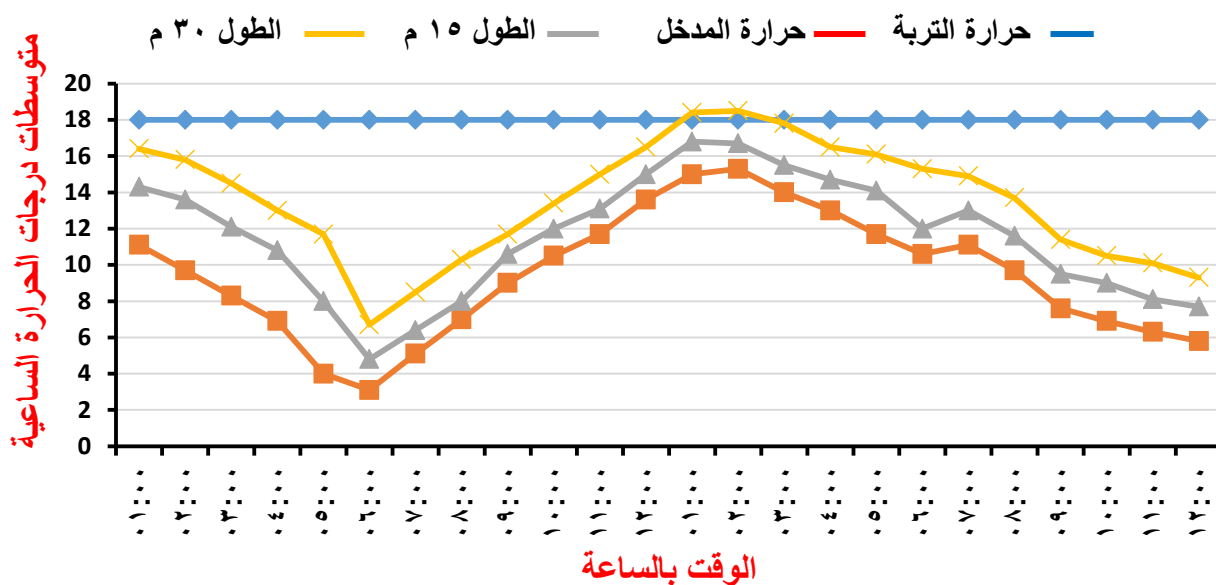
المخطط (2) متوسطات درجات الحرارة الساعية عند بداية ومنتصف ونهاية الانبوب حيث السرعة 1.2 m/sec

الجدول (1) الفرق الحراري وفعالية التدفئة و المردود عند السرعة 1.2 m/sec

المردود		فعالية التدفئة		الفرق الحراري		الفترة الزمنية
30m	15m	30m	15m	30m	15m	
2.48	1.2	%60	% 37	8	4.5	الفترة الليلية (05:00am ← 01:00am)
2.26	1.07	%51	% 30	4.65	2.1	الفترة النهارية (06:00pm ← 06:00am)
2.24	0.99	%48	%25	4	2	الفترة المسائية (12:00pm ← 07:00pm)

كما أخذت المتوسطات الساعية لدرجات الحرارة عند بداية ومنتصف ونهاية الانبوب عند السرعة 1.2 m/sec ، المخطط (3). وتبين أيضا زيادة الفرق الحراري وفعالية التدفئة و المردود خلال الفترة الليلية عن الفترتين النهارية و المسائية وأيضا عند الطول الأكبر (30 m) ولكن لوحظ انخفاض هذه القيم بالمقارنة مع السرعة 1.2 m/sec ، الجدول (2).

كما لوحظ انخفاض تأثير زيادة الطول بزيادة السرعة من 1.2 m/sec إلى 1.5 m/sec حيث بلغ الفرق الحراري بين الطولين حوالي 3.5 °C عند السرعة 1.2 m/sec و 2.48 °C عند السرعة 1.5 m/sec خلال الفترة الليلية كما انخفض تأثير الطول خلال الفترتين النهارية و المسائية حيث بلغ (1.8 و 1.3) °C على الترتيب .



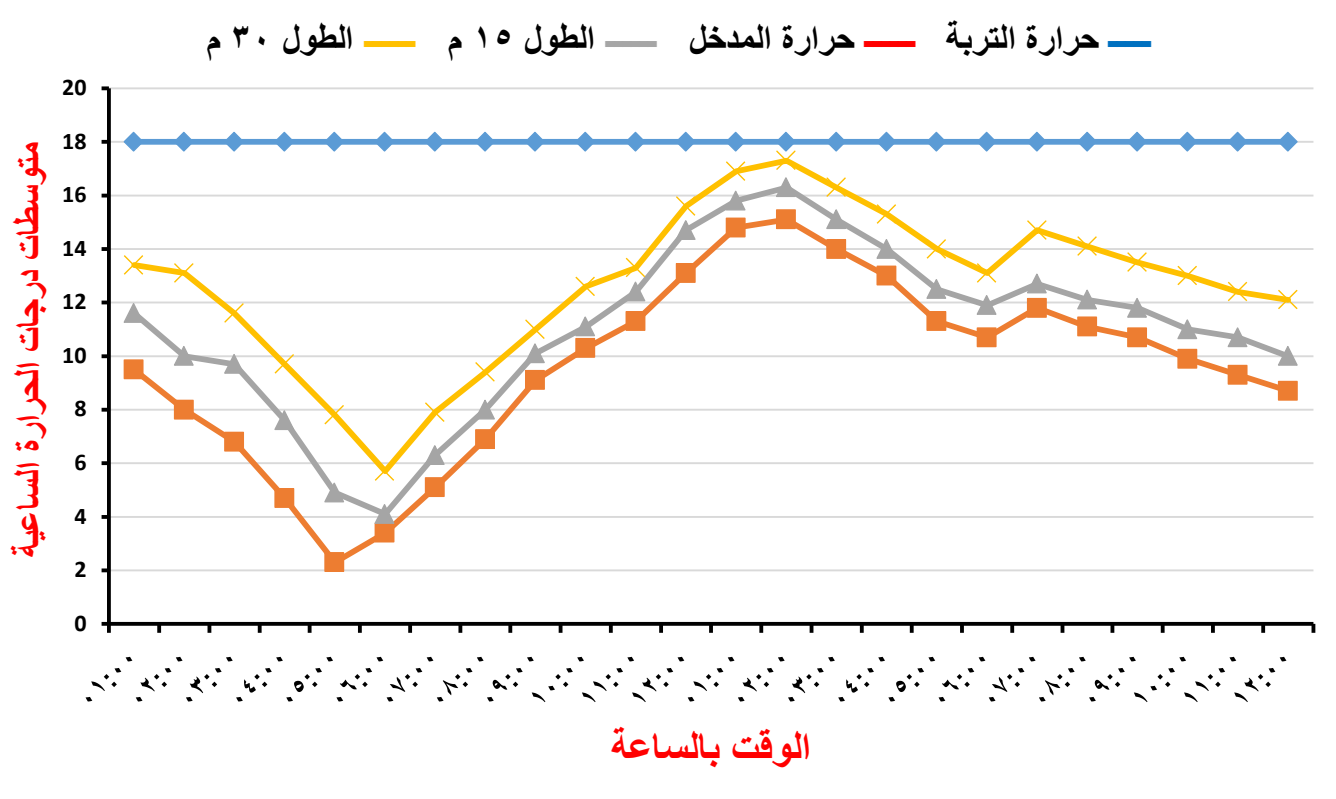
المخطط (3) متوسطات درجات الحرارة الساعية لبدائية ومنتصف ونهاية الأنبوب عند السرعة 1.5 m/sec

الجدول (2) الفرق الحراري وفعالية التدفئة و المردود عند السرعة 1.5 m/sec

المردود		فعالية التدفئة		الفرق الحراري		الفترة الزمنية
30m	15m	30m	15m	30m	15m	
2.3	0.99	%58	% 32	6.2	3.72	الفترة الليلية (05:00am←01:00am)
2.1	0.78	%48	% 23	3.5	1.7	الفترة النهارية (06:00pm ← 06:00am)
2.2	0.85	%37	%19	3.3	2	الفترة المسائية (12:00pm ← 07:00pm)

بنفس الطريقة جمعت المتوسطات الساعية لدرجات الحرارة المسجلة عند بداية ومنتصف و نهاية أنبوب المبادل عند السرعة 2 m/sec المخطط (4) .

لوحظ في هذه الفترة تأثير اختلاف سرعة الهواء داخل الأنبوب على أداء النظام حيث انخفضت قيم الفرق الحراري وفعالية التدفئة و مردود النظام عند استخدام السرعة 2 m/sec عنها عند استخدام السرعتين السابقتين ، كما لوحظ تغير طفيف بدرجة الحرارة تبعاً لزيادة الطول الجدول (3) ، وذلك لان زيادة السرعة تقلل من وقت بقاء الهواء داخل أنابيب المبادل و تقلل من وقت تلامس الهواء مع جدران المبادل و بالتالي تقلل من عمليات انتقال الحرارة إلى الهواء ، كما أن زيادة سرعة الهواء فوق حد معين قد تسبب جريان مضطرب للهواء داخل الأنابيب و بالتالي تخفف من فعاليته في نقل الحرارة .



المخطط (4) متوسطات درجات الحرارة الساعية لبدائية ومنتصف ونهاية الانبواب عند السرعة 2 m/sec

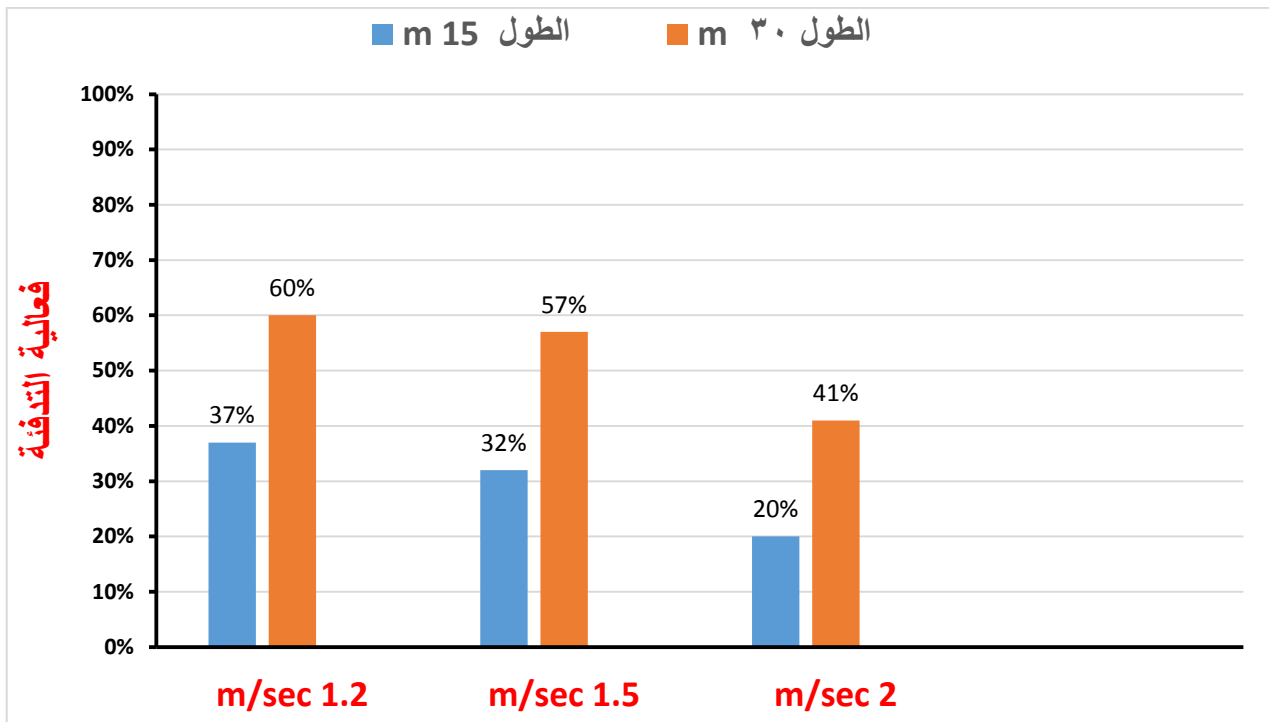
الجدول (3) الفرق الحراري وفعالية التدفئة و المردود عند السرعة 2 m/sec

المردود		فعالية التدفئة		الفرق الحراري		الفترة الزمنية
30m	15m	30m	15m	30m	15m	
2.2	0.86	%41	%20	4.86	2.49	الفترة الليلية (05:00am ← 01:00am)
1.9	0.78	%32	%15	3.5	1.7	الفترة النهارية (06:00pm ← 06:00am)
1.7	0.75	%38	%14	3.3	2	الفترة المسائية (12:00pm ← 07:00pm)

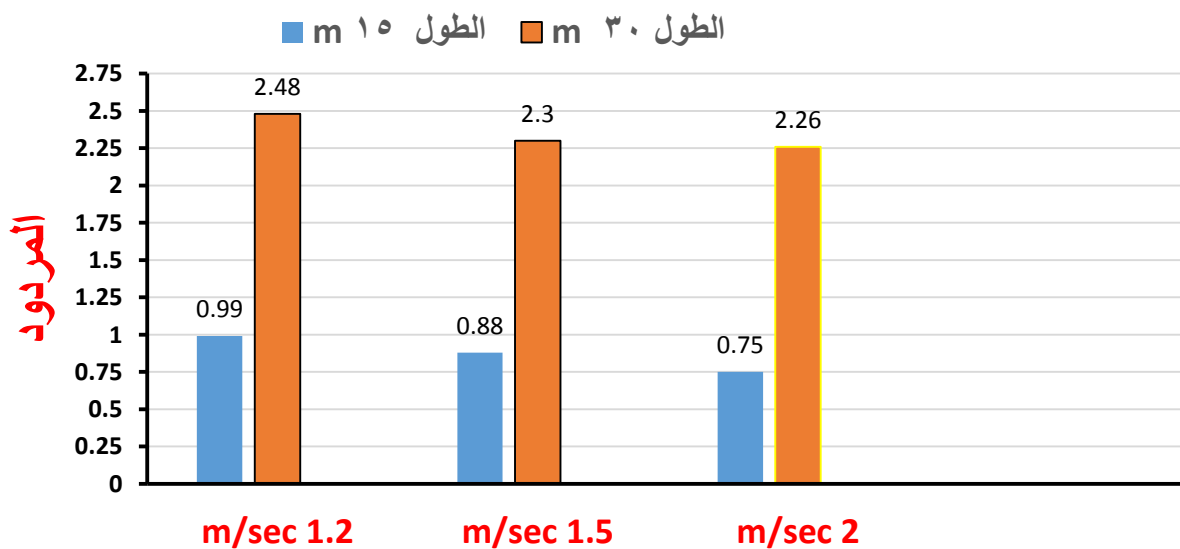
الجدول (4) يبين أقصى فرق حراري تم الحصول عليه عند السرعات الثلاث و عند منتصف و نهاية الانبواب :

الفرق الحراري	الفرق الحراري	السرعة
عند الطول 30 m	عند الطول 15 m	
14.8	6.1	1.2m/sec
11.1	4.3	1.5m/sec
7.6	2.7	2m/sec

وبالتالي يمكن توضيح تأثير تغيير سرعة تدفق الهواء داخل الأنبوب و تأثير اختلاف الطول على فعالية التدفئة وعلى مردود النظام وبالتالي على أداء النظام بشكل عام وفق المخططين التاليين (5 و 6) :



المخطط (5) فعالية التدفئة بتأثير تغير سرعة الهواء داخل الأنبوب و اختلاف طول الأنبوب



المخطط (6) مرود النظام بتأثير تغير سرعة الهواء داخل الأنبوب و اختلاف طول الأنبوب

5- الاستنتاجات و التوصيات :

- 1- بينت التجارب العملية بأن المبادل الحراري ذو الأنابيب الأسمنتية يملك فعالية كافية لتدفئة البيت البلاستيكي بشكل كاف.
- 2- تخفيض سرعة الهواء أدى إلى زيادة كفاءة التدفئة وزيادة مردود النظام.
- 3- زيادة كفاءة التدفئة ومردود النظام بالتدفئة مع زيادة طول الأنابيب.
- 4- زيادة كفاءة التدفئة ومردود النظام بانخفاض درجة حرارة الهواء الداخل.

بناءً على النتائج التي حصلنا عليها نوصي بضرورة العمل على تعميم استخدام الأنابيب الأسمنتية في المبادلات الحرارية الأرضية لتدفئة البيوت المحمية ويفضل استخدام أنابيب بأقطار صغيرة لا تتجاوز 10.16 cm وبأطوال لا تقل عن 30 m ويسرعات هواء منخفضة نسبياً لا تتجاوز 1.2 m/sec لأن هذه الشروط مناسبة لتدفئة البيوت المحمية في الساحل السوري.

6- المراجع :

- 1- Jiang Liu, Di Qin. "Performance Analysis of Earth-air Heat Exchangers in Hot Summer and Cold Winter Areas", 2017.
- 2- R. Singh, R.L. Sawhney, I.J. Lazarus, V.V.N. Kishore. "Recent advancements in earth air tunnel heat exchanger (EATHE) system for indoor thermal comfort application: A review Renewable and Sustainable Energy Reviews".82(2018) 2162-85.
- 3- Rahul Rathee , Atul Lanjewar .” Thermal performance analysis of EAHE with and without fins arrangements”, 2015.
- 4- Ted Tanner. "Controlling Temperature and Humidity in a Greenhouse". growlink CEO,2018.
- 5- Vikas Bansal *, Rohit Misra. "Performance analysis of earth–pipe–air heat exchanger for winter heating", 2009.
- 6- Wasseem Morshed, Loubana Abbasa, Hasan Nazha. "Heating performance of the PVC earth-air tubular heat exchanger applied to a greenhouse in the coastal area of west Syria: An experimental study", 2022.
- 7- Waseem Morshed, Lorenzo Leso, Leonardo Conti, Giuseppe Rossi,Stefano Simonini, Matteo Barbari."Cooling performance of earth-to-air heat exchangers applied to a poultry barn in semi-desert areas of south Iraq",2018.
- 8- Younes Noorollahi, Reza Saeidi, Mohammad Mohammadi , et al . "The effects of Ground Heat Exchanger Parameters Changes on Geothermal Heat Pump Performance -A Review ", 2017.