

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

د. وسيم مرشد*

م. لبانة عباس**

تاريخ الإيداع 2020/ 9/1. قُبِلَ للنشر في 2020/12/ 15

□ ملخّص □

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. تبحث هذه الدراسة في تأثير ثلاثة بارامترات هي طول الأنبوب، قطره وسرعة الهواء في داخله على أداء التبريد لمبادلي حرارة (هواء-أرض). أجريت التجارب في مناخ حوض البحر المتوسط في محافظة طرطوس، سورية. طمرت أنابيب المبادلين على عمق 1 m، طول 20 m، وأقطار (10.16 cm, 15.24 cm) مع سرع للهواء داخلهما (1.5 m/s, 2 m/s) على التوالي. ركب المبادلان على طول بيت بلاستيكي، واختبرا من 1-10-2019 حتى 7-11-2019. أظهرت النتائج تأثير هام للبارامترات المدروسة على أداء التبريد للمبادل. تراوحت درجة حرارة التربة بين $22-23^{\circ}\text{C}$ ، و درجة حرارة هواء المدخل $17-43^{\circ}\text{C}$ داخل البيت الزراعي. أما فعالية التبريد لنظام المبادل (هواء-أرض) فقد تحسنت إلى % (42.428, 48.436) بزيادة طول الأنبوب إلى 20 m، وتقليل القطر من 15.24 cm إلى 10.16 cm على التوالي. لوحظ أيضاً أن خفض سرعة تدفق الهواء في الأنبوب من 2 m/s إلى 1.5 m/s سبب زيادة في فرق درجة الحرارة الكلية بين المدخل والمخرج من 3.79°C إلى 5.55°C .

كلمات مفتاحية: مبادل حرارة (هواء-أرض)، فعالية التبريد، سرعة تدفق الهواء.

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

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

DR. Wasseem Morshed *
Eng. Loubana Abbas **

(Received 1 /9 /2020. Accepted 15/ 12/2020)

□ 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 conditioning of air. This study investigates the influence of three parameters pipe length, pipe diameter, and air velocity on cooling performance of the two exchangers (earth-air). Tests were carried out in a Mediterranean climate at Tartous Governorate, Syria. the exchanger pipes were buried at 1 m deep, 20 m length, (10.16 cm, 15.24 cm) diameter for each exchanger respectively with two velocities (1.5-2) m/s. Two exchangers were set up along a plastic greenhouse and tested from 1-10-2019 to 7-11-2019. Results showed a significant effect of the parameters on the exchanger cooling performance. Soil temperature ranges between [22-23]°C and inlet air temperature [17-43]°C inside the greenhouse. The Cooling efficiency of EATHE system improved to (42.428, 48.436) % and outlet air temperature decreased with increasing of pipe length to 20 m, and decreasing pipe diameter from 15.24 cm to 10.16 cm respectively. It is also observed that The decrease of air flow velocity during the pipe from 2 to 1.5 m/s caused increasing in the total temperature difference between inlet and outlet air from 3.79°C to 5.55°C .

Key words: Earth-to-air heat exchangers (EAHE), Cooling efficiency, Air flow velocity.

*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:

إن درجة حرارة الأرض على عمق غالباً أكبر من 1 m تحت سطح التربة تكون ثابتة تقريباً على مدار العام، حيث تبقى أعلى من درجة حرارة الوسط المحيط شتاءً وأخفض منها صيفاً، لكن ثبات درجة حرارة التربة على عمق معين تختلف من منطقة لأخرى (SHARMA and SINGH, 2017).

وبالتالي يمكن الاستفادة من هذه الخاصية في عمليات التكييف من خلال المبادلات الحرارية الأنبوبية (هواء-أرض) (EAHE) التي هي عبارة عن أنابيب تمتد تحت سطح الأرض لتستفيد من درجة الحرارة المستقرة لباطن التربة (Omer, 2008; BAKIRCI, 2010). حيث أن المبادل الحراري الأنبوبي (هواء-أرض) هو إحدى تقنيات التكييف السلبية، أي تعتمد على درجة حرارة باطن التربة وبالتالي ذات استهلاك طاقة منخفض أو معدوم. أظهر الباحثان (ROSA et al., 2018; ALSHEHRI et al., 2019) بأن هذه المبادلات تقوم بعملية تبريد للهواء الداخل إليها طالما أن درجة حرارته أعلى من درجة حرارة التربة المحيطة بالأنابيب ويتحول تلقائياً للتدفئة عندما تنخفض درجة حرارة الهواء الداخل إليه عن درجة حرارة التربة حول الأنابيب. يوجد الكثير من العوامل المؤثرة على أداء المبادل لكن مقدار تأثيرها على الأداء يختلف حسب ظروف كل منطقة. تتعلق بعض هذه العوامل بمواصفات الأنابيب كنوع مادتها وطولها وقطرها، حيث أن عملية التبادل الحراري بين الهواء والتربة تتم عبر سطح الأنبوب، وبما أن طول وقطر الأنبوب يؤثران على مساحة سطحه وبالتالي لهما تأثير كبير على الأداء الحراري للمبادل، كذلك سرعة تدفق الهواء داخل أنابيب المبادل ذات دور هام في عملية التبادل الحراري من حيث تأثيرها على مدة تلامس الهواء مع جدران الأنابيب، وقد أجريت العديد من الدراسات التجريبية والتحليلية الحاسوبية حول هذه البارامترات وتأثيرها.

توصل (Abbaspour-Fard et al., 2011) في دراسة أجراها على تأثير طول الأنبوب في أداء نظام مبادل أنبوبي (هواء-أرض) مكون من أنبوبين أفقيين متوازيين قطرها 0.1 m بطول 18 m ، أحدهما من PVC والآخر من الفولاذ الطري المغلفن، إلى أن أعلى فرق لدرجات الحرارة للنظام كان عند الطول الكلي للأنبوبين.

وأكد (Ascione et al., 2011) أن الطول المناسب للأنبوب يلعب دوراً كبيراً في أداء النظام، ويفضل أن لا يقل عن 10 m ولا يزيد عن 50 m في دراسة أجراها حول المبادلات الحرارية في إيطاليا، وأن سرعة تدفق الهواء المنخفضة خلال أنابيب المبادل هي الأفضل، حيث ينخفض الضغط وتنخفض متطلبات الطاقة الكهربائية لمروحة السحب.

وهذا ما أكده كذلك الأمر الباحثان (Benhammou & Draoui, 2015) في دراسة بارامترية لأداء التبريد لنظام مبادل (هواء-أرض) جنوب الجزائر (Adrar)، أن درجة الحرارة تنخفض بزيادة طول الأنابيب، موضحاً أن الفرق الحراري الناتج عن زيادة طول الأنابيب يكون أكبر كلما كانت درجة حرارة هواء المدخل أكبر، ودرجة حرارة الهواء الخارج من المبادل تزداد (أي يسوء التبريد) بزيادة قطر الأنبوب.

ويلعب قطر الأنبوب دوراً هاماً في أداء المبادل وهذا ما أكده (Sobti & Singh, 2015) في دراسة تحليلية لأداء المبادل في الهند (Chandigarh)، حيث توصلوا إلى أنه بزيادة قطر الأنبوب ينخفض الضغط، وبالتالي

تقل كفاءة الأداء بينما يزداد الأداء الحراري وكفاءة الأداء من أجل أنبوب أطول ذي قطر أصغر مطمور على عمق أكبر وسرعة تدفق هواء أقل.

كما وجد (Ahmed et al., 2016) في دراسة لأداء التبريد لنظام المبادل حول تأثير بارامترات القطر والطول لأنابيب المبادل في مناخ استوائي حار رطب في استراليا (Rockhampton)، أن الأنابيب ذي الطول الأكبر أعطى أفضل أداء والأقصر أقل كفاءة وذلك عندما قارن الأداء لأطوال أربعة أنابيب (7.5 m, 15 m, 30 m, 60 m). وبين أن الأنبوب ذو القطر الأصغر والسماكة الأقل كان الأكثر كفاءة في التبريد عندما قارن أربعة أقطار مختلفة للأنابيب (0.062 m, 0.125 m, 0.2 m, 0.4 m) ذات سماكات مختلفة (0.04, 0.08, 0.01, 0.02).

وبين (Morshed et al., 2018) عندما درس أداء التبريد عند مواقع ذات أطوال مختلفة لنظام مبادل (هواء-أرض) في العراق (محافظة البصرة) مكون من خطين بطول 37 m، تباعد 5 m، عمق 2 m، أحدهما في تربة جافة، والآخر رطبت التربة حوله، وجد أن زيادة طول الأنبوب لكلا الخطين تؤدي لزيادة كفاءة التبريد لكن الثلث الأول من طول الأنبوب هو الأكثر فعالية.

وبين (Bisoniya et al., 2014, a; Bisoniya et al., 2014, b) في دراسة في الهند (Bhopal) على أداء التبريد لمبادل مكون من أنبوبين PVC، القطر الداخلي 0.1016 m، الطول 19.228 m طمرت على عمق 2 m، أن السرعة الأقل لتدفق الهواء هي الأفضل في التبريد وذلك عندما قارن بين تأثير ثلاث سرعات (2 m/s, 3.5 m/s, 5 m/s).

وهذا ما أكده الباحثون (Rosa et al., 2018) في البرتغال (Coimbra) أن زيادة سرعة تدفق الهواء في أنابيب المبادل تؤدي لانخفاض التبادل الحراري من وإلى الأرض لوضعيته والتدفق والتبريد على حد سواء لكن بنسب مختلفة.

وأكد (Namgial et al., 2019) في دراسته في الهند (Ludhiana) لأداء مبادل (هواء-أرض) مكون من خط واحد من PVC بطول 42 m وقطر 0.25 m مدفون على عمق 3.5 m أنه تتخض كفاءة الأداء لنظام المبادل بزيادة السرعة.

2- أهمية البحث، وأهدافه:

تأتي أهمية هذا البحث من كونه يستخدم طريقة اقتصادية ونظيفة للتخلص من الحرارة الزائدة الموجودة ضمن البيوت البلاستيكية وذلك من خلال الاستفادة من استقرار درجة حرارة التربة وإمكانية استخدامها لهذا الغرض حيث تعتبر الزراعات المحمية البلاستيكية من الزراعات الرئيسية في الساحل السوري لإنتاج الخضراوات والفواكه في جميع المواسم، وإن ارتفاع درجات الحرارة في بعض الأشهر تؤثر على إنتاجية وجودة المحاصيل الزراعية ومازالت البيوت المحمية البلاستيكية في المنطقة الساحلية تعتمد على التهوية الطبيعية والتظليل كونها أبسط وأوفر من طرق التبريد الحديثة الآلية، ولكن في بعض الأحيان تكون هذه الطرق غير قادرة على تأمين الظروف المناخية المناسبة للمحاصيل.

عالمياً تبين أنه يمكن الاستفادة من استقرارية حرارة باطن التربة كمصدر طبيعي للطاقة متوفر وقابل للاستخدام بطريقة بسيطة واقتصادية ونظيفة وقابلة للاستثمار في التكيف في المجال الزراعي عن طريق مبادلات حرارية (هواء-أرض). بالإضافة لتمييز هذه المبادلات بقيامها بعملياتي التبريد والتدفئة والانتقال بينهما تلقائياً تبعاً للفرق الحراري بين الهواء الداخل إليها ودرجة حرارة التربة حول الأنابيب.

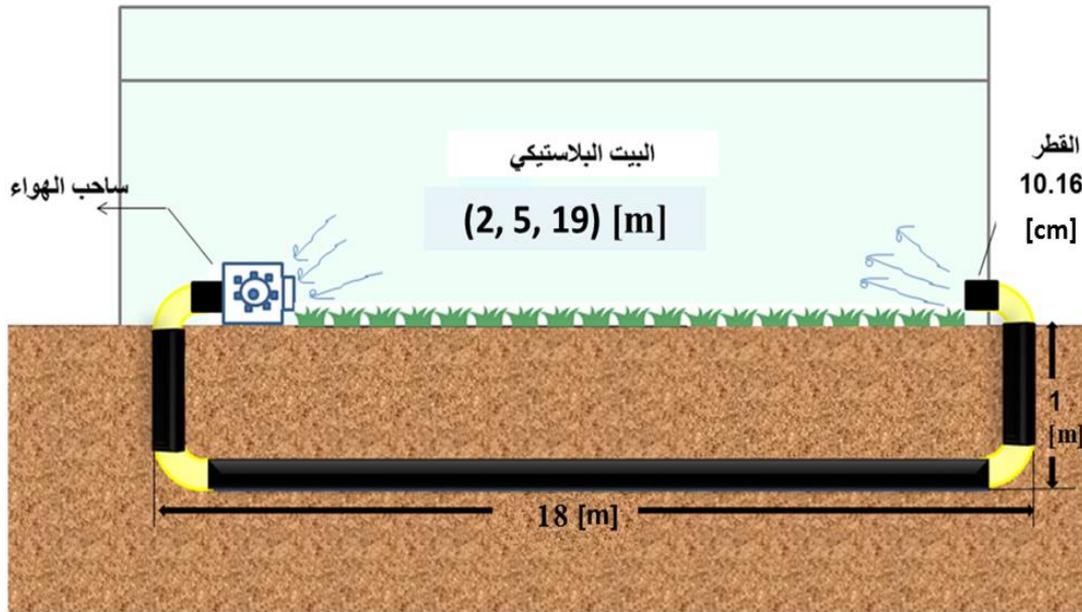
يهدف هذا البحث إلى إجراء التجربة الأولى في الساحل السوري لاستخدام هذا المبادل في تبريد البيوت البلاستيكية لمعرفة مدى فعالية استخدامه في منطقتنا، بالإضافة لدراسة بعض العوامل المؤثرة على أدائه وهي طول، قطر أنبوب المبادل وسرعة تدفق الهواء ضمنه.

3- مواد البحث، وطرائقه:

مكان التنفيذ والمواد المستخدمة في البحث:

نفذت التجربة في محافظة طرطوس مدينة بانياس (حريصون) ذات المناخ الساحلي المتوسطي الواقعة بين مصفاة بانياس وبحيرة السن ($35^{\circ}14'07''N$, $35^{\circ}58'14''E$)، متوسط الارتفاع عن سطح البحر حوالي 5 m. تم تشغيل المبادل خلال الفترة من (1-10-2019) وحتى (7-11-2019).

يتكون نظامي المبادل من خطين متوازيين من أنابيب بلاستيكية PVC معامل توصيله الحراري 0.2 W/m.k مغمورين على عمق 1 m تحت سطح التربة، طول كل خط 20 m، قطر الخطين (10.16, 15.24) cm على التوالي، تم وضع كل منهما إلى جانب من البيت البلاستيكي ذي الأبعاد (2 m, 5 m, 19 m). الشكل (1) يبين المخطط التمثيلي للمبادل الحراري الأول المستخدم ذي القطر 10.16 cm، المبادل الثاني من الجانب الآخر مماثل له يختلف بالقطر فقط 15.24 cm.



الشكل(1): المخطط التمثيلي للمبادل الحراري ذي القطر 10.16 cm.

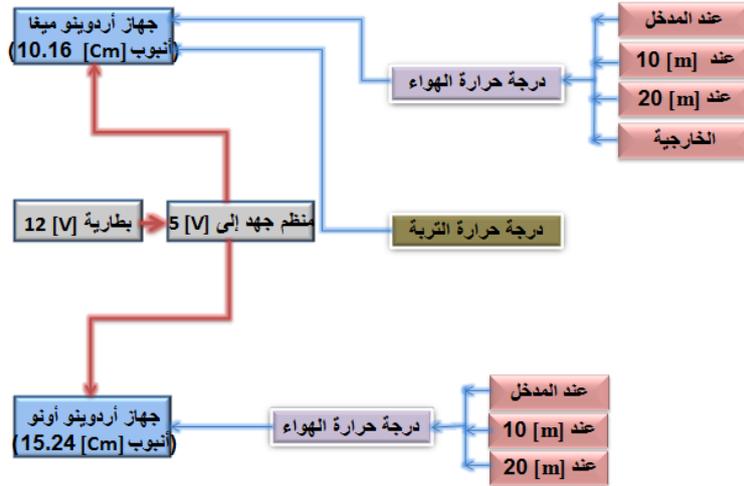


الشكل (2): صور لمراحل تنفيذ التجربة.

بعد حفر خندق بعمق 1 m إلى جانبي البيت البلاستيكي وتركيب خطي الأنابيب فيها، وضع على مدخل كل خط جهاز سحب للهواء باستطاعة قدرها 85 W للخط الذي قطره 10.16 cm واستطاعة قدرها 125 W للخط الآخر ذي القطر 15.24 cm، وقد تم قياس سرعة الهواء المسحوب بواسطتهما والمتدفق في أنابيب المبادل بواسطة جهاز الأنيمومتر (Anemometer)، ثم ثبتت حساسات درجة حرارة الهواء والتربة ووصلت بجهاز الأردوينو وتم اختبارها، الشكل (2) يوضح ذلك.

وضع لكل خط جهاز أردوينو عند المخرج، وصلت به حساسات درجات حرارة الهواء المثبتة عند المدخل، المنتصف والطول الكامل، بالإضافة لحساس يقيس درجة حرارة التربة بشكل عام، وحساس لدرجة حرارة الهواء الخارجي، الشكل (3) يظهر المخطط البرمجي للحطين والحساسات لكل خط.

بعد التحقق من صحة عمل الأجهزة والحساسات ردمت التربة فوق خطي الأنابيب، وشغل المبادل في 1-10-2019. تمت برمجة جهازي الأردوينو لتقيس الحساسات درجات الحرارة كل ساعة، وتخزنها على بطاقة ذاكرة (SD Card) لكي تفرغ البيانات منها لاحقاً كل يومين وتعاد للعمل. كما تم تغذية الأجهزة والحساسات من بطارية 12 V موصولة مع مخفض جهد إلى 5 V لتلائم عمل الحساسات وجهاز اردوينو، أما تغذية أجهزة سحب الهواء فكانت من شبكة الكهرباء العامة.



الشكل(3): المخطط البرمجي للتجربة.

جمعت بيانات درجات الحرارة عند المواقع الثلاثة (مدخل، منتصف، نهاية الأنبوب) خلال الفترة من 1-10-2019 حتى 31-10-2019 عند السرعة 2 m/s، والفترة 1-11-2019 حتى 7-1-2019 عند السرعة 1.5 m/s ثم صنفت لتحليلها. تم تحديد اليوم المثالي لشهر تشرين الأول وذلك لإجراء التحليل الإحصائي لتأثير كل من طول وقطر الأنبوب على أداء التبريد للمبادل فكان 7-10-2019، حيث تم الحصول عليه عن طريق حساب درجات الحرارة الخارجية الساعية المتوسطة على مدار الشهر ليخرج منها درجات الحرارة الساعية لكل يوم عند نفس التوقيت، ثم تربيع هذه الفروق الساعية وجمعها لكل يوم فيكون اليوم ذو الفرق الأقل هو اليوم المثالي.

4- النتائج والمناقشة:

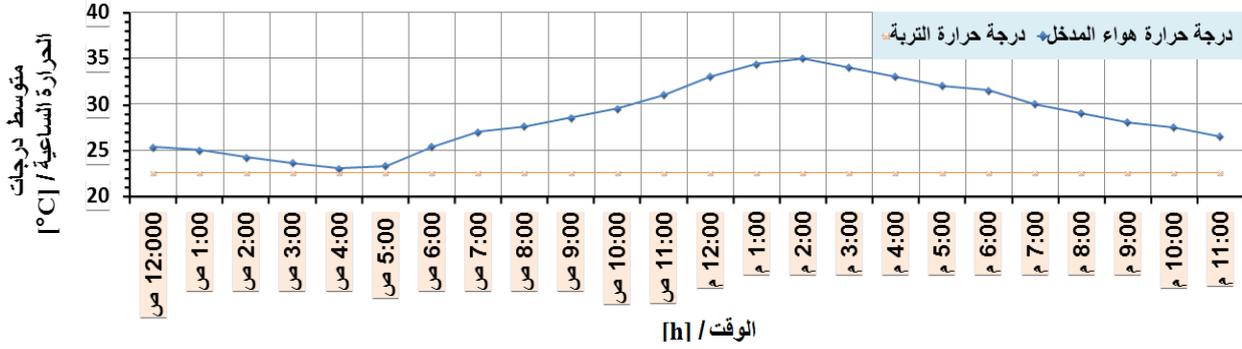
خلال شهر تشرين الأول لعام 2019 كان متوسط درجات الحرارة المسجلة عند مدخل خطي المبادل $(28.5351 \pm 5.087)^\circ\text{C}$ ، أدنى وأعلى قيمة $(17, 43)^\circ\text{C}$ ، واستقرت درجة حرارة التربة بين $22-23^\circ\text{C}$ كما هو موضح في الجدول(1).

جدول(1): متوسطات درجات الحرارة عند المدخل، الانحراف المعياري، أكبر وأصغر قيمة لدرجات حرارة هواء المدخل خلال شهر تشرين الأول 2019.

درجة حرارة التربة $[\text{°C}]$	درجة حرارة المدخل $[\text{°C}]$	
[22-23]	28.5351	المتوسط
	5.08783	الانحراف المعياري (Std)
	17	القيمة الصغرى (Min)

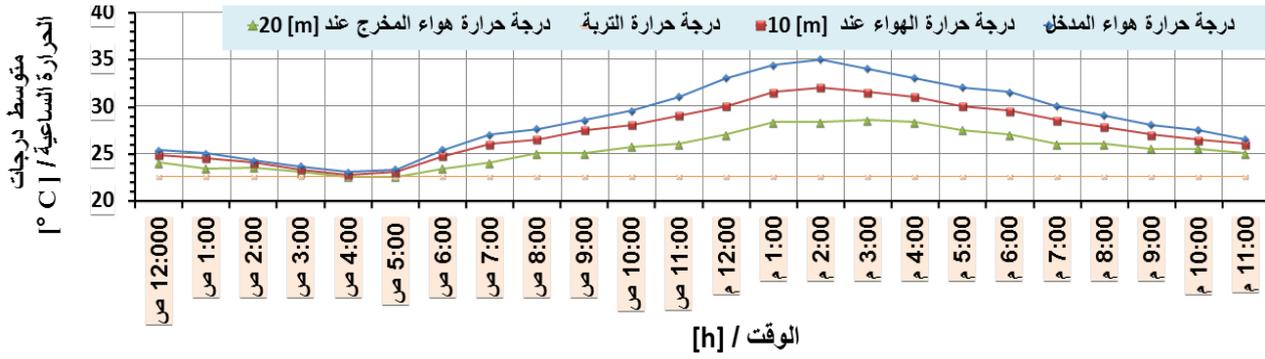
القيمة الكبرى (Max) 43

يظهر الشكل (4) أنه بعد منتصف الليل من الساعة 12:00 حتى 5:00 صباحاً كان متوسط درجات حرارة الهواء الداخل للمبادل $(24 \pm 0.93)^\circ\text{C}$ قريب من درجة حرارة التربة، أما نهاراً من الساعة 6:00 صباحاً إلى 6:00 مساءً كان متوسط درجات حرارة الهواء عند مدخل الخط $(30.91 \pm 3.07)^\circ\text{C}$ ، أما مساءً بين الساعة 7:00 حتى 11:00 كان متوسط درجات حرارة هواء المدخل $(28.2 \pm 1.35)^\circ\text{C}$.



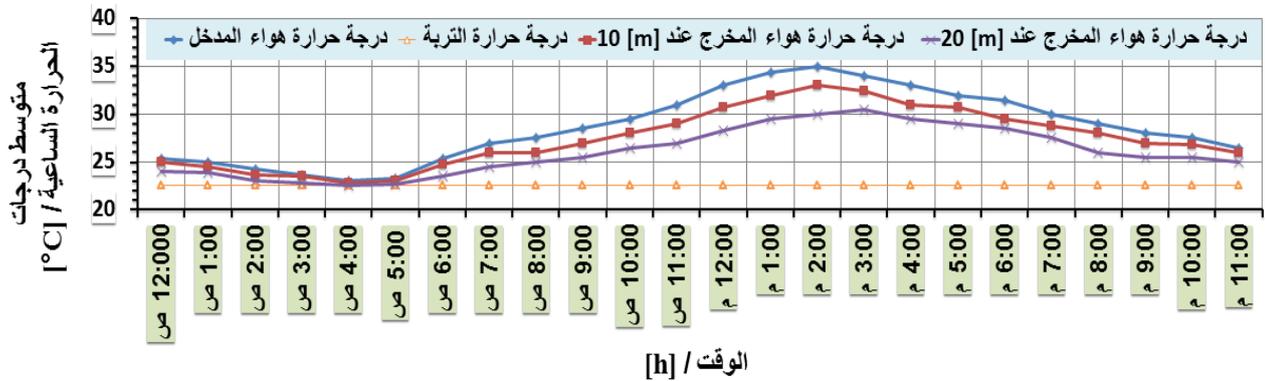
الشكل (4): متوسطات درجات الحرارة الساعية لشهر تشرين الأول/ 2019 عند مدخل خطي المبادل، ومتوسط درجة حرارة التربة.

تم حساب المتوسطات الساعية لدرجات الحرارة خلال شهر تشرين الأول/ 2019 المسجلة عند المدخل، منتصف ونهاية الأنبوب لكل من الخطين (10.16 cm, 15.24 cm) كما هو مبين في الشكلين (6, 5). بعد منتصف الليل بين الساعة 12:00 و 5:00 صباحاً كان متوسط درجة حرارة الهواء الداخل للخطين 24°C قريب من درجة حرارة التربة $[22-23]^\circ\text{C}$ مما أدى لانخفاض درجة حرارة الهواء عند مخرج خط المبادلين (10.16, 15.24) cm لقيم صغيرة ولم تؤد زيادة الطول لفرق يذكر عن المنتصف حيث كان متوسط درجة الحرارة $(23.7, 23)^\circ\text{C}$ لمنتصف ونهاية الخط 10.16 cm على التوالي بينما للخط 15.24 cm كان $(23.75 \pm 0.85)^\circ\text{C}$ للمنتصف، و $(23.14 \pm 0.63)^\circ\text{C}$ لنهاية الأنبوب. نهاراً من الساعة 6 صباحاً إلى 6 مساءً كان متوسط درجة حرارة الهواء عند مدخل الخطين 30.74°C ، أما عند منتصف ونهاية الخط 10.16 cm كان $(29, 26.4)^\circ\text{C}$ حيث ظهر تأثير فرق الطول بوضوح بانخفاض $(1.74, 4.34)^\circ\text{C}$ لمنتصف ونهاية الخط على التوالي بفرق 2.6°C عن منتصف الطول، وللخط 15.24 cm كان $(29.24 \pm 2.7, 27.48 \pm 2.3)^\circ\text{C}$ بانخفاض مقداره 1.5°C بفرق 3.26°C لنهاية الخط عن المنتصف. مساءً بين الساعة 7:00 و 11:00 مساءً كان متوسط درجة حرارة هواء المدخل 28.2°C ، وعند المنتصف ونهاية الخط 10.16 cm كان $(27, 25.5)^\circ\text{C}$ بانخفاض $(1.2, 2.7)^\circ\text{C}$ على التوالي، وللخط 15.24 cm كان $(27.5 \pm 1.09, 25.9 \pm 0.96)^\circ\text{C}$ بانخفاض 0.7°C . وبالتالي الطول الكامل للأنبوب 20 m أدى لخفض درجة حرارة الهواء الخارج من كلا الخطين مقارنة بنصف الطول 10 m، وكان الخط ذو القطر 10.16 cm عند الطول الكامل هو الأكثر تبريداً بمقدار 4.34°C .



الشكل(5): المتوسطات الساعية لدرجات الحرارة خلال شهر تشرين الأول/2019 عند منتصف وكامل طول الخط ذي القطر

.10.16 cm



الشكل(6): المتوسطات الساعية لدرجات الحرارة خلال شهر تشرين الأول/2019 عند منتصف وكامل طول الخط ذي القطر

.15.24 cm

لتقييم أداء التبريد لنظام المبادل تم حساب فعالية أداء التبريد للمبادل (ϵ) الذي يعبر عن الفرق بين درجات حرارة هواء المدخل (T_{ai}) والمخرج (T_{ao}) مقسوماً على الفرق بين درجات حرارة المدخل والتربة (T_{soil}) كما يلي (Agrawal et al, 2018):

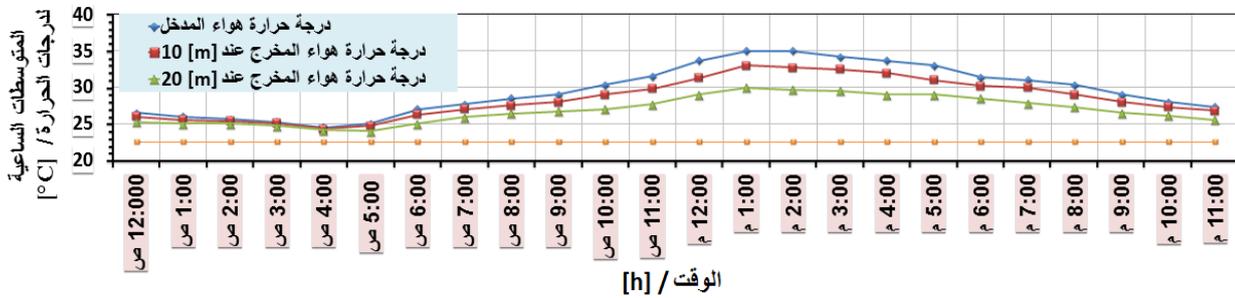
$$\epsilon = (T_{ai} - T_{ao}) / (T_{ai} - T_{soil}) \quad [\%]$$

حيث كانت فعالية أداء التبريد خلال شهر تشرين الأول عند الموقعين (10 m, 20 m) للخط 10.16 cm (21.8, 48.436) % بمقدار انخفاض في درجة الحرارة الشهرية الوسطية $^{\circ}C(1.28, 3.159)$ ، ومن الخط الآخر 15.24 cm كانت الفعالية % (17.45, 42.428) بمقدار انخفاض حراري $^{\circ}C(1.03, 2.5)$ على التوالي.

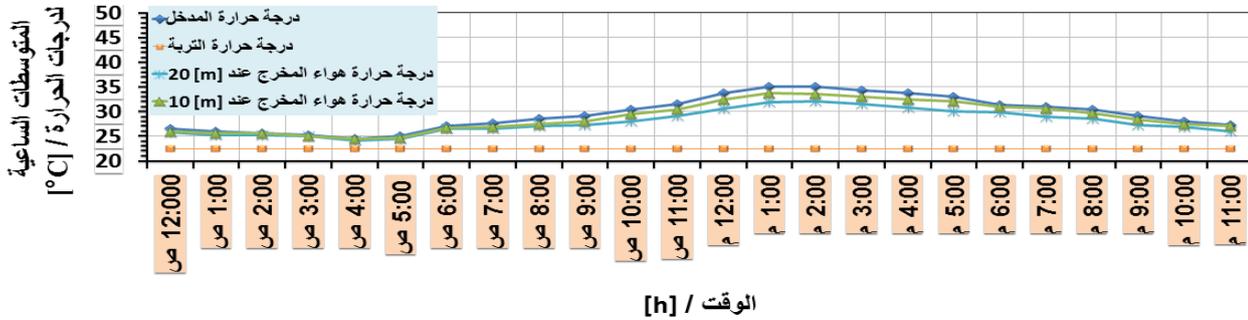
اليوم المثالي:

كما ذكرنا سابقاً فقد تم تحديد اليوم المثالي لشهر تشرين الأول لإجراء التحليل الإحصائي، وكان هو اليوم السابع من الشهر. تراوحت فيه درجات حرارة المدخل بين قيمتين صغرى وكبرى $^{\circ}C(24.5, 35)$ بمتوسط

29.5 ± 3.375 °C)، والمتوسط اليومي لدرجات حرارة المخرج عند الطولين (10m, 20m) للخط ذي القطر (10.16 cm, 15.24 cm) كان $(28.45 \pm 2.72, 26.85 \pm 1.87)$ °C و $(28.79 \pm 3, 27.83 \pm 2.4)$ °C، وعلى التوالي. كما هو مبين في الشكلين (7, 8) أنه بين الساعة 12:00 و 5:00 صباحاً كان متوسط درجة حرارة المدخل (25.46 ± 0.72) °C بين قيمتين صغرى وكبرى $(24.5, 26.5)$ °C، ومتوسط درجة حرارة المخرج للخطين (10.16 cm, 15.24 cm) $(25.16 \pm 0.6, 24.6 \pm 0.5)$ °C، و $(25.2 \pm 0.58, 24.98 \pm 0.58)$ °C على التوالي. أما خلال النهار بين الساعة 6:00 صباحاً و 6:00 مساءً كان متوسط درجة حرارة المدخل (31.58 ± 2.81) °C بين قيمتين صغرى وكبرى $(27, 35)$ °C، ومتوسط درجة حرارة المخرج للخطين كان $(30 \pm 2.3, 27.95 \pm 1.6)$ °C، و $(30.53 \pm 2.58, 29.29 \pm 2)$ °C على التوالي. بينما مساءً بين الساعة 7:00 و 11:00 كان متوسط درجة حرارة المدخل (29.12 ± 1.54) °C بين قيمتين صغرى وكبرى (27.3, 31) و متوسط درجة حرارة المخرج للخطين (10.16 cm, 15.24 cm) $(28.22 \pm 1.29, 26.64 \pm 0.92)$ °C و $(28.58 \pm 1.49, 27.48 \pm 1.2)$ °C على التوالي.



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



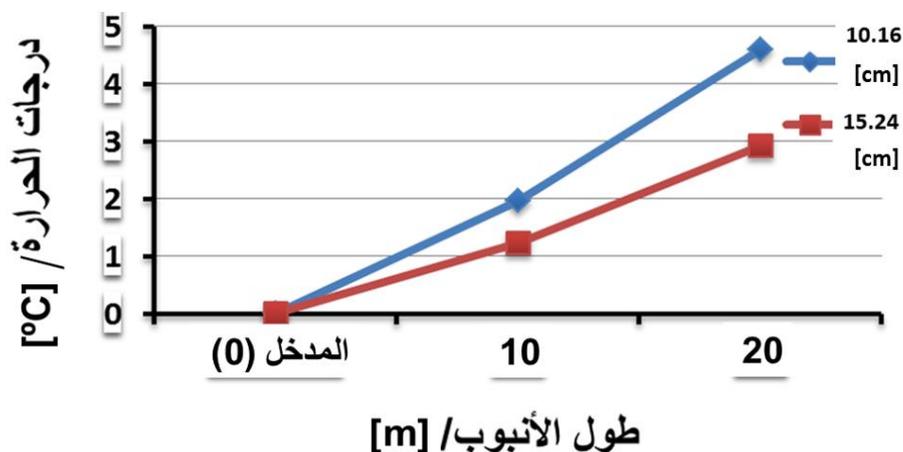
الشكل(8): درجات الحرارة الساعية المسجلة يوم 7-10-2019 لمدخل، منتصف ونهاية الخط ذي القطر 15.24 cm.

كانت أكثر فترات اليوم ارتفاعاً في درجات الحرارة هي بين الساعة 11:00 صباحاً و 5:00 مساءً حيث تراوحت درجة الحرارة عند المدخل بين $[31.5-35]$ °C. تم استخدام تحليل التباين الأحادي (ANOVA) (one-way analysis of variance) وهو اختبار تتم فيه المقارنة بين متوسطات المجموعات المدروسة لمعرفة وجود فروق في الأداء بينها من عدمها ومن ثم التوصل إلى سبب هذه الفروق (Bewick et al., 2004). من الجدول (2) بالاعتماد على قيمة معنوية % 5 كان مستوى الدلالة الإحصائية ($0.05 > \text{Sig}$)، والفرق المعنوي بين متوسط درجة حرارة الهواء المدخل والمخرج في الموقعين (10 m, 20 m) لخط المبادل ذي القطر 10.16 cm كان $(1.8, 4.6)$ °C على

التوالي، وللخط 15.24 cm كان $^{\circ}\text{C}$ (2.93, 1.228)، مما يدل على وجود تأثير معنوي للطول والقطر على درجات الحرارة حيث أدت زيادة الطول وتقليل القطر إلى تخفيض درجة حرارة هواء المخرج.

جدول(2): درجات الحرارة المقاسة عند موقعين مختلفين (10 m, 20 m) من الخطين (10.16 cm, 15.24 cm) خلال أكثر ساعات اليوم 7-10-2019 حرارة بين الساعة 11:00 صباحاً و5:00 مساءً.

قطر الأنبوب [cm]	L طول الأنبوب [m]	AVE متوسط درجات الحرارة $^{\circ}\text{C}$	STD الانحراف المعياري لدرجات الحرارة $^{\circ}\text{C}$	Sig مستوى المعنوية	ΔT الفرق الحراري $^{\circ}\text{C}$	LSD أقل فرق معنوي	ϵ فعالية التبريد [%]
4	مدخل (1)	33.7	1.22	.000	1-2 1.8	1.182	-
	(2) 10 m	31.75	1.12		1-3 4.6		17.33
	(3) 20 m	29.13	0.74		3-2 2.63		41.4
6	مدخل (1)	33.7	1.22	.001	1-2 1.228	1.283	-
	(2) 10 m	32.5	1.138		1-3 2.93		11.189
	(3) 20 m	30.8	1.06		3-2 1.7		25.85



الشكل(9): مقدار الانخفاض في درجات الحرارة الذي أحدثه اختلاف الطول بين المدخل والموقعين (10 m, 20 m)، والذي كان $^{\circ}\text{C}$ (1.8, 4.6)، $^{\circ}\text{C}$ (1.228, 2.93) للخطين (10.16 cm, 15.24 cm) على التوالي.

خلال الفترة بين 10-2019-1-7 [1-7] عند سرعة تدفق هواء 2 m/s متوسط درجات حرارة هواء مخرج الخط 10.16 cm عند الطول 20 m كان $^{\circ}\text{C}$ (25.78±0.322)، عندما كان متوسط درجة حرارة هواء المدخل $^{\circ}\text{C}$ 29.57 ودرجة حرارة التربة $^{\circ}\text{C}$ [22-23]، بينما متوسط درجة حرارة هواء المخرج عند سرعة تدفق هواء $^{\circ}\text{C}$ 25.857 ودرجة حرارة تربة $^{\circ}\text{C}$ [20-21]. من الجدول(3) عند المقارنة بين نتائج السرعتين (2 m/s, 1.5 m/s) كانت قيمة $T=20.17$ بقيمة احتمالية 0.000 أصغر من مستوى الدلالة 5 %، وبالتالي توجد فروق معنوية بين متوسطات درجات الحرارة للخط ذي القطر 10.16 cm عند السرعتين المختلفتين، وقيمة الفرق $^{\circ}\text{C}$ 5.477 لصالح السرعة الأقل 1.5 m/s حيث أدت السرعتين (2 m/s, 1.5 m/s) لتبريد الهواء بمقدار $^{\circ}\text{C}$ (5.55, 3.79) على التوالي. وقد تم الحصول على نتائج مشابهة في دراسات عديدة أخرى منها (Singh et al., 2018) لكن أجريت لتبريد غرفة في مناخ حار جاف في الهند، وكانت الأنابيب اسمنتية ذات قطر 25.4 cm وعمق [m] 1.5، استخدم فيها ثلاث سرعات (2.5 m/s, 3.4 m/s, 4.8 m/s) ودرست ثلاثة أطوال (15 m, 30 m, 15 m).

الجدول(3): نتائج اختبار T لدرجات حرارة هواء مخرج الخط 10.16 cm عند الطول الكامل وفقاً لسرعتين

(1.5 m/s, 2 m/s).

T_{inlet} متوسط درجات حرارة المدخل [$^{\circ}\text{C}$]	T_s درجة حرارة التربة [$^{\circ}\text{C}$]	التحليل الإحصائي لدرجات حرارة هواء المخرج للخط 10.16 cm بالطول الكامل 20 m							ΔT_{in-out} الفرق بين متوسط درجة حرارة المدخل والمخرج
		V سرعة تدفق الهواء [m/s]	N عدد القراءات	T_{outlet} متوسط درجات حرارة المخرج [$^{\circ}\text{C}$]	STD الانحراف المعياري	T	Sig.(2-taild) مستوى المعنوية	$T_{\Delta outlet}$ الفروق بين متوسطات درجات حرارة المخرج [$^{\circ}\text{C}$]	
29.57	[22-23] تشرين أول	2	7	25.78	0.322	20.17	.000	5.477	3.79
25.857	[20-21] تشرين ثاني	1.5	7	20.307	0.641				5.55

5- الاستنتاجات والتوصيات:

تم الاستفادة في هذه الدراسة من انخفاض درجة حرارة باطن الأرض عن درجة حرارة الهواء المحيط وذلك في تبريد بيت بلاستيكي في محافظة طرطوس عن طريق مبادل حراري (هواء-أرض)، مما أدى إلى خفض درجات الحرارة بمعدل 6.7°C .

كان لبارامترات القطر والطول تأثير ملحوظ على أداء مبادلي الحرارة (10.16 cm, 15.24 cm) حيث أنه خلال أكثر ساعات النهار ارتفاعاً في درجات الحرارة ليوم 7-10-2019 كانت فعالية أداء التبريد للمبادل ذي القطر 10.16 cm عند طول الخط 20 m هي الأفضل % 41.4 مقارنة مع الفعالية عند الطول 10 m

% 17.33 لنفس الخط من جهة ومع فعالية التبريد للخط ذي القطر 15.24 cm عند الطول (10 m, 20 m) من جهة أخرى % (11.189, 25.85) على التوالي، فزيادة الطول سببت زيادة مساحة سطح التلامس بين الهواء والتربة (سطح التبادل الحراري) مما سمح بتبادل حراري أكبر، بينما زيادة القطر خفضت من ضغط الهواء داخل الأنابيب هذا ما أثر سلباً على عملية التبادل الحراري وعلى أداء المبادل ذي القطر ذي الأكبر. كما كان لسرعة تدفق الهواء خلال الأنابيب تأثير هام على الأداء فكانت السرعة الأفضل 1.5 m/s لأنها أدت لزيادة مدة تلامس الهواء مع جدران الأنابيب مما أدى لانتقال الحرارة بشكل أفضل، حيث خفضت درجة الحرارة بمقدار 5.55°C مقارنة بالسرعة 2 m/s التي خفضتها 3.79°C .

لذلك نوصي باستخدام المبادلات الحرارية الأنبوبية (هواء-أرض) لتبريد البيوت الزراعية البلاستيكية على أن تستخدم أنابيب بلاستيكية بطول لا يقل عن 15 m، ذات أقطار صغيرة، وأن تكون سرعة تدفق الهواء بطيئة خلال الأنابيب مما يعطي أداء أفضل.

المراجع:

- 1-SHARMA, R. V., & SINGH, R. (2017). *Mathematical Investigation of Soil Temperature Variation for Geothermal Applications*. International Journal of Engineering, 30(10), 1609-1614.
- 2-Omer, A. M. (2008). *Ground-source heat pumps systems and applications*. Renewable and sustainable energy reviews, 12(2), 344-371.
- 3-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.
- 4-Rosa, N., Santos, P., Costa, J. J., & Gervásio, H. (2018). *Modelling and performance analysis of an earth-to-air heat exchanger in a pilot installation*. Journal of Building Physics, 42(3), 259-287.

- 5–Alshehri, F., Beck, S., Ingham, D., Ma, L., & Pourkashanian, M. (2019). *Techno-economic analysis of ground and air source heat pumps in hot dry climates*. Journal of Building Engineering, 26, 100825.
- 6–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.
- 7–Ascione, F., Bellia, L., & Minichiello, F. (2011). *Earth–to–air heat exchangers for Italian climates*. Renewable Energy, 36(8), 2177–2188.
- 8–Benhammou, M., & Draoui, B. (2015). *Parametric study on thermal performance of earth–to–air heat exchanger used for cooling of buildings*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 44, 348–355.
- 9–Sobti, J., & Singh, S. K. (2015). *Earth–air heat exchanger as a green retrofit for Chandigarh—a critical review*. Geothermal Energy, 3(1), 1–9.
- 10–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.
- 11–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.
- 12–Bisoniya, T. S., Kumar, A., & Baredar, P. (2014, a). *Cooling potential evaluation of earth–air heat exchanger system for summer season*. Int J Eng Tech Res, 2(4), 309–316.
- 13–Bisoniya, T. S., Kumar, A., & Baredar, P. (2014, b). *Parametric analysis of Earth-air heat exchanger system based on CFD modelling*. Int J Power Renew Energy Syst, 1, 36–46.

- 14–Namgial, D., Singh, K. G., Hans, V. S., Aggarwal, R., & Singh, A. (2019). *Performance of Thermo Hydraulic Designed Single Pass Earth Air Heat Exchanger*. International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology, 12(1), 55–62.
- 15–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.
- 16–Bewick, V., Cheek, L., & Ball, J. (2004). *Statistics review 9: one-way analysis of variance*. Critical care, 8(2), 130.
- 17–SINGH, B.; KUMAR, R.; &ASATI, A. K. (2018). *Influence of parameters on performance of earth air heat exchanger in hot-dry climate*. Journal of Mechanical Science and Technology, 32(11), 5457–5463.