

## دراسة تأثير تبليل التربة حول الأنابيب على أداء المبادل الحراري هواء - أرض في الساحل السوري

د.م. وسيم محمود مرشد\*

تاريخ الإيداع 9 / 8 / 2021 . قُبل للنشر في 19 / 10 / 2021 )

### □ ملخص □

إن وجود الرطوبة في التربة يعمل على تحسين خواصها الفيزيائية والحرارية ورفع الناقلية الحرارية لها. لذا هدف البحث الى دراسة تأثير التربة المبللة اصطناعياً في الأداء الحراري للمبادل هواء - أرض ومقارنته مع أداء مبادل في تربة جافة. حيث نفذت التجربة في تيشور- محافظة طرطوس في سوريا خلال شهر آب 2020م. تم طمر خطين من أنابيب PVC بطول (30 م) وقطر (15 سم) على عمق (1.5 م) تحت سطح التربة. وقد تم تبليل التربة المحيطة بأحد الخطين بواسطة أنبوب ري بالتنقيط وضع فوق أنبوب الهواء (بـ 10 سم). أي مبادل يعمل في تربة جافة (DE) بينما الآخر يعمل في تربة مبللة (WE). وتم أخذ قراءات درجات الحرارة في نقطة دخول وخروج الهواء من الأنابيب لكلا الخطين بالإضافة الى درجة حرارة الأرض على عمق (1.5 م).

أظهرت النتائج أن كلا النظامين للمبادلين قادر على تبريد الهواء، وبشكل خاص، فإن تبليل التربة حول أنبوب الهواء يحسن من كفاءة عمل المبادل الحراري. فكان متوسط درجات الحرارة عند المخرج (25.30 °C) للمبادل الذي يعمل في تربة الجافة بينما كان (24.75 °C) للمبادل الذي يعمل في تربة المبللة عندما كان متوسط درجة حرارة الهواء الخارجي (27.42 °C) ومتوسط درجة حرارة التربة (19.40 °C) خلال التجربة، وكذلك كان متوسط عامل أداء التبريد مسجلاً القيمة (8.55) من أجل المبادل الذي يعمل في التربة الرطبة بينما سجل القيم (6.86) للمبادل الذي يعمل في تربة جافة.

الكلمات المفتاحية: المبادل الحراري (هواء \_ أرض) ، تبليل التربة، الأداء الحراري.

## Study of the effect of wetting soil around the pipes on performance of the air-earth heat exchanger in the Syrian coast

**\*DR. Wasseem Morshed**

(Received 9 / 8 / 2021 . Accepted 19 / 10 / 2021)

### □ ABSTRACT □

**Abstract:** Presence of the moisture in the soil improves its physical and thermal properties and raises its thermal conductivity. Therefore, The aim of this study was the effect of artificially moistened soil on the thermal performance of the air-to-earth exchanger and compare it with the performance of an exchanger in dry soil. Where the experiment was carried out in Tayshur - Tartous Governorate in Syria during the month of August 2020.

Two lines of PVC pipes, 30 m long and 15 cm in diameter, were buried 1.5 m below the soil surface. The soil surrounding one of the two lines was moistened by means of a drip irrigation tube placed 10 cm above the air tube. One exchanger works in dry soil (DE) while the other works in wet soil (WE). Temperature readings were taken at the point of air entry and exit from the pipes for both lines, in addition to the ground temperature at a depth of 1.5 m.

The results showed that both systems of the exchangers are able to cool the air; in particular, wetting the soil around the air tube can improve the efficiency of the heat exchanger. The average temperature at the outlet was 25.30 °C for the exchanger operating in dry soil, while it was 24.75 °C for the exchanger operating in wet soil, when the average outside air temperature was 27.42 °C and the average soil temperature was 19.40 °C during the experiment. The average cooling performance factor was 8.55 for the exchanger operating in wet soil, while it was recorded at 6.86 for the exchanger operating in dry soil.

**Keywords:** Earth-air heat exchangers, wetted soil, thermal performance.

---

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

## المقدمة والدراسة المرجعية

ازداد الطلب مؤخراً على توفير الظروف الحرارية المناسبة ضمن الأجواء المغلقة باستخدام الطاقات البديلة بشكل عام والاعتماد على المبادل الحراري أرض - هواء (EAHE) بشكل خاص، ويعود ذلك إلى أن الأرض تملك القدرة الكافية - بسبب العطالة الكبيرة - لتكون مصدر حراري في فصل الشتاء وتمتص الحرارة بشكل كبير في فصل الصيف على مدار العام بشكل شبه مستقر على عمق معين ( ALSHEHRI *et al.*, 2019).

إن استخدام المبادل الحراري (أرض - هواء) كتقنية صديقة للبيئة واقتصادية يعتبر خطوة هامة جداً في ظل التغيرات المناخية وارتفاع أسعار مصادر الطاقة، وبالتالي تقليل الانبعاثات الغازية الضارة إضافة لسهولة التركيب والصيانة وكذلك توفير وخصائص الأنابيب المستخدمة بشكل كبير ولمواد متعددة وبأبعاد مختلفة مقارنة بأنظمة التكييف الأخرى (Hamada *et al.*, 2007).

لقد أجريت العديد من الدراسات حول استخدام هذه التقنية في قطاعات مختلفة، فعلى سبيل المثال تم استخدامها في تبريد مباني الثروة الحيوانية التجارية في الولايات المتحدة (Scott *et al.*, 1965) في الستينات من القرن الماضي، وفي أوائل الثمانينات في أوروبا (Mattesson *et al.*, 1981). كما تم استخدام هذه التقنية بعد ذلك كنظام تكييف في البيوت المحمية في أوروبا وأمريكا الشمالية (Faridi *et al.*, 2021). كما أجريت دراسات أخرى في مناطق مختلفة من العالم ((Pfafferott, 2006; Al-Ajmi *et al.*, 2003 وكذلك (Maryanczyk *et al.*, 2014)) على استخدام هذه التقنية كنظام لتكييف الهواء داخل المباني السكنية مثل الكويت، إيطاليا، ألمانيا، بولندا.

هناك الكثير من العوامل المؤثرة في أداء المبادل الحراري منها ما يتعلق بخصائص الأنابيب ومنها ما يتعلق بخصائص التربة والموقع الجغرافي وكذلك الظروف المناخية المحيطة (Liu *et al.*, 2019; Jamshidi and Sadafi, 2020). فقد تم دراسة تأثير خصائص الأنابيب كالطول، القطر، السماكة، الشكل، المادة و عمق الطمر للأنبوب تحت سطح التربة على كفاءة التبريد والتدفئة للمبادل الحراري. جميع هذه الأبحاث أكدت على أن زيادة طول الأنبوب تؤدي إلى زيادة في كفاءة عمل النظام، ولكن استخدام أنابيب أطول فوق (70 م) تجعل النظام بأقل مزايا معنوية بسبب ارتفاع الطاقة المطلوبة لعمل مراوح السحب المستخدمة. حيث بين (Morshed *et al.*; 2018) عندما درس أداء التبريد عند مواقع ذات أطوال مختلفة لنظام مبادل حراري (أرض - هواء) في العراق (محافظة البصرة) مكون من خطين بطول (37م) تباعد بين الأنابيب (5 م) وعمق (2 م) احدهما 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.

أما بما يخص عمق طمر الأنبوب فإنه يجب أن يتم على عمق لا أقل من (120 سم) تحت سطح التربة وذلك لمنع حدوث أي تأثير للإشعاع الشمسي الساقط. كما أن زيادة عمق دفن الأنابيب أكثر من (3 م) يعمل على توفير تحسناً كبيراً في قدرة التبريد لنظام التكييف، لكن بالطبع ترتفع تكلفة الحفر إلى هذه الأعماق (Namgial *et al.*, 2019).

كما أوصى الباحث (Sayed, 2015) بأن تكون المسافة الفاصلة بين الأنابيب لا تقل عن (100 سم) لمنع حدوث تأثير حراري بين أنبوب وآخر مجاور له. و بما أن مادة الأنبوب لها دور كبير في تحديد

الموصلية الحرارية للأنايب. فوجد أن المعدن هو أفضل ناقلية من (PVC) إلا أنها أكثر تكلفة. كما أن السطح لمموج للأنايب يؤدي إلى زيادة التبادلات مع التربة المحيطة بها بسبب زياد مسطح التبادل ، وبالتالي تحسين كفاءة التبريد للنظام.

أما بالنسبة الى العوامل التي تتعلق بالتربة فقد تم دراسة بنية وتركيب التربة وكذلك سطح و رطوبة التربة وخواصها الحرارية في عدة أبحاث (Sharan and Jadhav, 2003; Givoni, 2007; Ghosal and Tiwari, 2006). و أكدت النتائج بأن وجود طبقة خضراء أو طبقة من الحصى فوق سطح التربة تعمل على تخفيف تأثير أشعة الشمس . و هكذا فإن درجة حرارة الأرض تبقى منخفضة و تؤدي بدورها الى تحسين أداء التبريد للنظام. من ناحية أخرى، فإن زيادة نسبة المعادن في التربة تؤدي إلى تحسين التبادل الحراري لأن الخواص الحرارية للتربة تصبح أفضل، وفي نفس السياق ، أظهر جميع الدراسات أن أفضل تبادل حراري وأكبر تبريد في درجة الحرارة الهواء عند المنفذ يحدث مترافقاً مع زيادة في رطوبة التربة ، بالإضافة إلى ذلك، فإن كل هذه العوامل تؤثر على درجة حرارة التربة و التي تعتبر هي الدالة الأساسية في انتقال الحرارة من الهواء إلى التربة و على كفاءة تقنية التبريد ( Le et al., 2020).

### أهمية البحث وأهدافه

تمكن أهمية البحث في دراسة الاستفادة من درجة الحرارة تحت سطح الأرض والتي تكون شبه مستقرة على مدار العام على أعماق معينة من خلال استخدام المبادل الحراري (أرض - هواء) في الظروف المناخية الساحلية في سوريا وتوظيفها في عملية تكييف الأجواء المغلقة كالبيوت المحمية الزراعية والمكاتب ومباني الثروة الحيوانية بطريقة اقتصادية وصديقة للبيئة.

**يهدف البحث** إلى امكانية استخدام المبادل الحراري (أرض - هواء) وتحسين الأداء الحراري والكفاءة له من خلال ما يلي:

- 1- دراسة امكانية استخدام المبادل الحراري (أرض - هواء) في تكييف الأجواء المغلقة محلياً.
- 2 - دراسة تأثير تبليل التربة على الأداء للمبادل الحراري (أرض - هواء).

### مواد وطرائق البحث

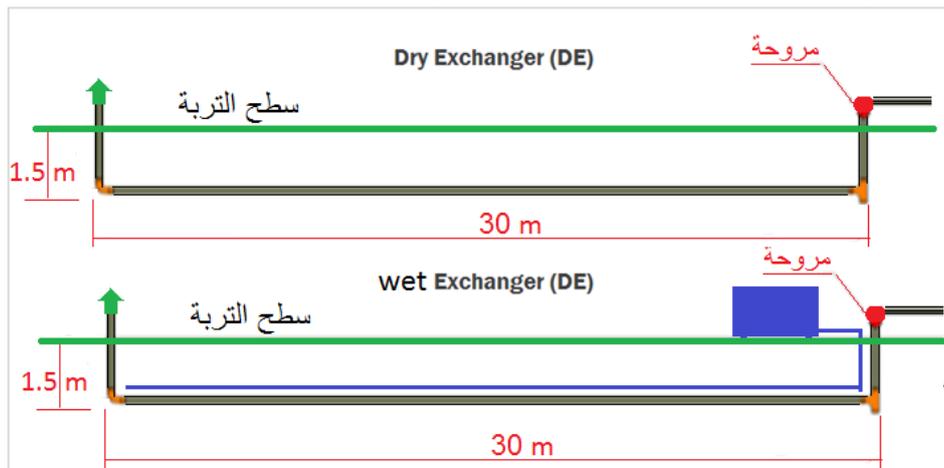
**مكان إجراء البحث:** تم تنفيذ التجربة في محافظة طرطوس -تيشوروهي عبارة عن منطقة زراعية حيث تقع على متوسط ارتفاع عن سطح البحر 200 م.

**المواد المستخدمة في البحث:** استخدمت الأجهزة والأدوات التالية:

- أنابيب وأكواع (PVC) ذات قطر (15.24cm)، وبطول (30m) لكل خط أنابيب.
- أنبوب ري بالتنقيط بطول (30 m)، مع خزان مياه سعة (1 m<sup>3</sup>) ومضخة (P=0.5 HP).
- مروحتي سحب هواء باستطاعة (W125).
- مسجل بيانات - جهازي أردوينو (UNO, MEGA).
- بطارية (12V) للتغذية مع مخفض جهد Ln298n إلى (5V).
- بطاقة ذاكرة لتخزين البيانات (SD Card) سعة (8GB).

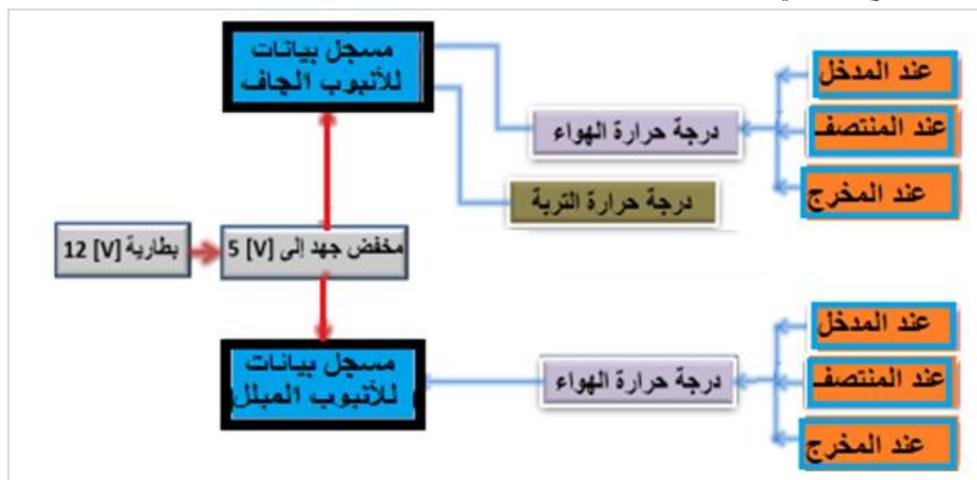
- حساسات لدرجة حرارة الهواء DHT22، عدد (6).
- حساس لدرجة حرارة التربة DS18B20.
- لوحة توصيل، أجهزة إنارة.

**تنفيذ البحث:** تم تركيب خطين من الأنابيب البلاستيكية PVC بطول 30 م وبقطر 15 سم وعلى عمق 1.5 م. حيث تم تبلييل التربة المحيطة بالأنابيب بواحد وسمي بالمبادل الرطب (WE) بينما ترك الخط الآخر بدون ترطيب للتربة المحيطة بالأنابيب وسمي بالمبادل الجاف (DE). حيث تم التبلييل عن طريق أنبوب ري بالتقطيط تم تركيبه فوق خط أنابيب الهواء بشكل تقريبي (10 سم)، وكان البعد بين الثقب والآخر بحدود (30 سم) كما هو مبين في الشكل (1). وكان التبلييل يتم مرة واحدة في اليوم.



الشكل (1) مخطط توضيحي لخطي الأنابيب في المبادل الحراري (أرض - هواء) الجاف والرطب

تم أخذ القياسات (درجات حرارة الهواء) عن طريق حساسات للحرارة في بداية، نهاية ومنتصف الأنابيب كل ساعة لمدة شهر كامل على مدار اليوم، وسجلت البيانات ضمن جداول لكلا المبادلين الرطب والجاف. الشكل (2) يبين التوزيع المنطقي للحساسات.



الشكل (2) يبين توزيع أخذ القياسات على كلا الخطين.

ومن أجل تقييم أداء المبادل الحراري في كلا الخطين وبعد تنظيم البيانات تم حساب كل معامل أداء التبريد كما في المعادلة (1) (Ashrae, 1989):

$$COP \% = \frac{Q_{out}}{W_{in}} * 100 \quad (1)$$

حيث:

COP: معامل أداء التبريد نظام التكييف بتقنية المبادل الحراري (أرض - هواء)،

 $Q_{out}$ : كمية الحرارة المضافة أو المسحوبة من الهواء، ووحدتها الواط W، $W_{in}$ : كمية الطاقة الداخلة وهي كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة من قبل المراوح ووحدتها الواط W.

ولحساب كفاءة التبريد أيضاً تم استخدام المعادلة (2) (Baxter, 1994):

$$\varepsilon = \frac{T_i - T_o}{T_i - T_a} * 100 \quad (2)$$

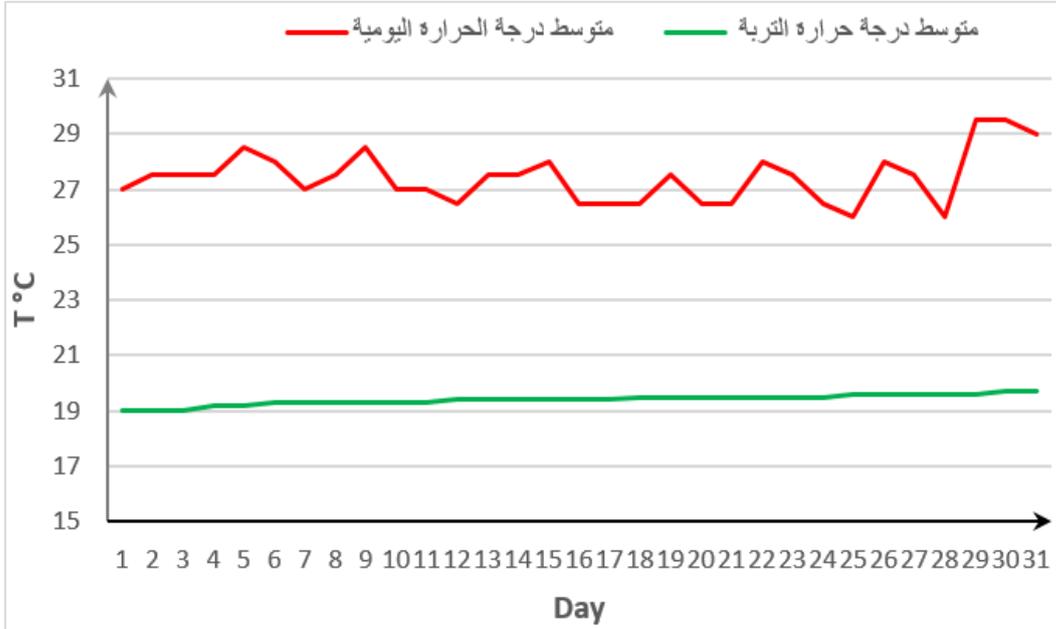
حيث:

 $\varepsilon$ : كفاءة نظام التكييف بتقنية المبادل الحراري أرض - هواء (%)، $T_i$ : درجة حرارة الهواء الداخل في الأنابيب، $T_o$ : درجة حرارة الهواء الخارج من الأنابيب، $T_a$ : درجة حرارة التربة الغير محفورة.

## النتائج والمناقشة

### 1- متوسط درجات حرارة التربة والهواء عن مدخل ومخرج الأنابيب خلال فترة البحث:

لقد سجل متوسط درجات الحرارة اليومية للهواء الخارجي في منطقة الدراسة فروعاً كبيرة مقارنةً مع درجة حرارة التربة على العمق المدروس للأنابيب تحت سطح التربة، ويبين الشكل (3) الخطوط البيانية للتغيرات اليومية لهذه الدرجات خلال شهر آب 2020.



الشكل (3) الخطوط البيانية لمتوسطات درجات الحرارة اليومية ودرجة حرارة التربة خلال شهر آب 2020.

وأظهرت جميع الاختبارات التي طبقت خلال زمن التجربة بأن المبادل الحراري الرطب WE والجاف DE لديهم مقدرة جيدة على تبريد الهواء المحيط في الأجواء المغلقة. وبشكل خاص أظهر المبادل الحراري الرطب قدرة للحصول على أداء حراري أفضل وخصوصاً خلال الظروف المناخية الحرجة (الأوقات الأشد حرارة) في اليوم. حيث سجل كلاً من المتوسط والحد الأعلى والأدنى لدرجة حرارة الهواء الخارجي ( $T_o$ ) في منطقة التجربة وخلال الفترة التجريبية لنظام التبريد في شهر آب  $27.42 \pm 4.32^\circ\text{C}$  و  $35^\circ\text{C}$  و  $20^\circ\text{C}$  على التوالي كما هو موضح في الجدول (1). في نفس الوقت كانت قيم كلاً من المتوسط والحد الأعلى والأدنى لدرجة حرارة الهواء عند مخرج الأنابيب  $25.30 \pm 2.02^\circ\text{C}$ ،  $26.20^\circ\text{C}$  و  $22.40^\circ\text{C}$  للأنابيب الجافة ( $T_d$ )، بينما كانت  $24.75 \pm 2.16^\circ\text{C}$ ،  $22.10^\circ\text{C}$  و  $25.25^\circ\text{C}$  للأنابيب الرطبة ( $T_w$ ) على التوالي. من ناحية أخرى، كان المتوسط والحد الأعلى والأدنى لدرجة حرارة التربة غير محفورة  $19.40 \pm 0.18^\circ\text{C}$ ،  $19.70^\circ\text{C}$  و  $19^\circ\text{C}$  على التوالي. فقد تقاربت هذه النتائج مع النتائج التي حصل عليها الباحثان مرشد و عباس (2020) بالنسبة للمبادل الحراري في تربة جافة.

الجدول (1) يوضح بيانات درجات الحرارة المسجلة خلال فترة التجربة (آب 2020)

	To	Tgr	Td	Tw	To-Tw	To-Td
Mean	27.42	19.40	25.30	24.75	-1.41	-1.25
SD	4.32	0.18	2.02	2.16	1.88	1.13
Min	20.00	19.00	22.40	22.10	-9.50	-8.40
Max	35.00	19.70	26.20	25.25	9.70	8.00

الحد الأعلى: Max، الحد الأدنى: Min، المتوسط: Mean

( $T_o$ ) درجة حرارة الهواء الخارجي، ( $T_w$ ) درجة حرارة الهواء عند المخرج للأنابيب الجافة، ( $T_{gr}$ ) درجة حرارة التربة، ( $T_d$ ) درجة حرارة الهواء عند المخرج للأنابيب الجافة،

## 2- اليوم النموذجي لشهر آب 2020

لقد أظهرت التجربة أن اليوم النموذجي لفترة التجربة كان اليوم السادس من شهر آب 2020. خلال هذا اليوم كانت قيم المتوسط والحد الأعلى والحد الأدنى لدرجة حرارة الهواء الخارجي على الشكل التالي  $27.17^\circ\text{C}$ ،  $35.27^\circ\text{C}$  و  $20.62^\circ\text{C}$  على التوالي، بينما كانت لدرجة حرارة التربة غير المحفورة  $19.09^\circ\text{C}$ ،  $19.20^\circ\text{C}$  و  $19.00^\circ\text{C}$  على التوالي. حيث يبين الشكل (4) الخط البياني لدرجة حرارة الهواء الخارجي في منطقة التجربة ( $T_{out}$ )، ودرجة حرارة التربة ( $T_{ground}$ ) بالإضافة الى درجة حرارة الهواء عند مخرج خطي الأنابيب على مدار اليوم النموذجي خلال فترة البحث. كما يبين التحليل الاحصائي في الجدول (2) الفروق المعنوية ( $p < 0.01$ ) في درجات الحرارة نتيجة لتأثير التبليل للتربة المجاورة لأنبوب المبادل الرطب. فخلال اليوم النموذجي كان هناك فرق معنوي في عمل المبادل الحراري (أرض - هواء) العامل في تربة جافة ( $T_o_d = 24.23^\circ\text{C}$ ) والمبادل الحراري (أرض - هواء) الآخر العامل في تربة رطبة ( $T_o_w = 24.12^\circ\text{C}$ ).

الجدول (2) متوسط المربعات الدنيا، الخطأ المعياري للمتوسطات SEM التأثير المعنوي لإختلاف درجات الحرارة عند مخارج الأنابيب (WE& DR) خلال اليوم النموذجي لفصل الصيف (6 آب 2020).

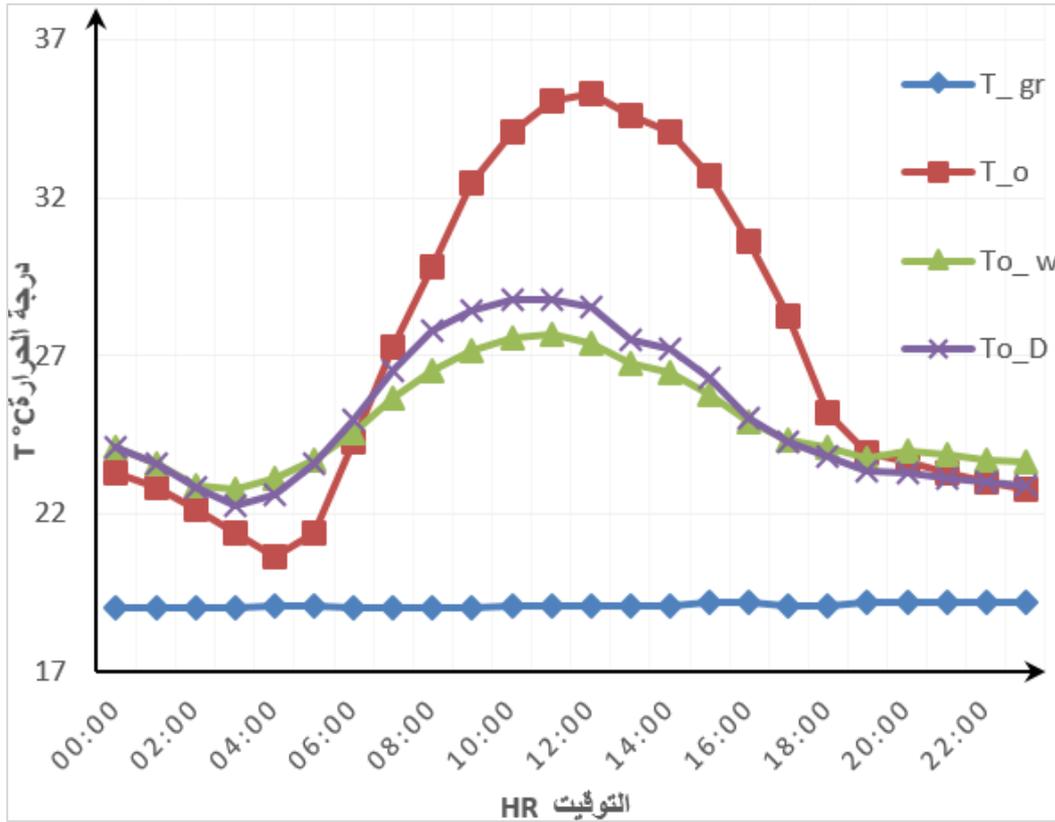
	External	Ground	Outlet_DRY ( $T_o_d$ )	Outlet_WET ( $T_o_w$ )	SEM	Effect, $P \leq$
--	----------	--------	---------------------------	---------------------------	-----	------------------

T, °C	27.17	19.09	24.23a	24.12b	0.036	0.001
-------	-------	-------	--------	--------	-------	-------

<sup>a, b</sup> رموز مختلفة يعني وجود فرق معنوي ( $p < 0.05$ )

لقد أثر تبليل التربة حول الأنابيب بشكل كبير على كلاً من درجة حرارة الهواء الخارج من الأنابيب والرطوبة النسبية للهواء. وخلال وقت النهار كانت الاختلافات أكثر وضوحاً بينما خلال وقت الليل فإن درجات الحرارة للهواء الخارج من كلا الخطين الجاف والرطب متقاربة الى حد ما. حيث تبين أن أستعمال نظام التبريد بتقنية المبادل الحراري (أرض - هواء) في التربة الجافة (DE) أدى الى تبريد جيد لكن درجة حرارة الهواء الخارج من خط الأنابيب في المبادل الجاف كانت ( $To_D = 25.10^{\circ}C$ ) أعلى مندرجة حرارة الهواء الخارج من خط الأنابيب المبادلالرطب (WE) العامل في التربة المبللة ( $To_W = 24.92^{\circ}C$ ).

تظهر هذه النتائج بأن المبادل الحراري الرطب WE لديه قدرة أكبر على التبريد من المبادل الحراري الجاف DE. حيث أن ترطيب التربة حول الأنابيب أدى الى زيادة الحرارة المفقودة عن طريق رفع قيمة الناقلية الحرارية للتربة. ومن هنا، فإن هذه النتائج كانت متطابقة مع العديد من الأبحاث التي تفيد بأن تأثير رطوبة التربة على انتقال الحرارة خلالها كان تأثيراً معنوياً ومعامل تأثير مهم على الأداء الحراري للمبادل الحراري (أرض - هواء (Mathur et al., 2017; Morshed et al., 2018). كما أن استخدام المبادل الحراري أرض - هواء EAHE قابل للتطبيق من أجل تخفيض نفقات تبريد الهواء اللازم داخل المباني والأجواء المغلقة.



الشكل (4) الخطوط البيانية للمتوسطات الساعية لدرجة حرارة الهواء الخارجي ودرجة حرارة الهواء عند مخرج المبادلان الجاف والرطب ودرجة حرارة التربة خلال اليوم النموذجي لفترة البحث (2020 / 8/6).

$T_{gr}$ : درجة حرارة التربة على عمق 1.5 متر،  $T_{o_w}$  = درجة حرارة الهواء عند مخرج الأنبوب الرطب،  $T_{o_d}$  = درجة حرارة الهواء عند مخرج الأنبوب الجاف و  $T_{o}$  = درجة حرارة الهواء الخارجي في موقع التجربة.

### 3- الكفاءة الحرارية والأداء الحراري للمبادل الحراري أرض - هواء EAHE

خلال الفترة الأكثر حرارة خلال شهر آب من عام 2020 م تم اختيار أكثر يوم حار وخلال الأربع ساعات الأكثر حرارة خلال اليوم ( من الساعة 11 الى 15) من أجل حساب الكفاءة الحرارية ومعامل الأداء الحراري لنظام التكييف باستخدام تقنية المبادل الحراري أرض - هواء. حيث كان المتوسط، الحد الأعلى والحد الأدنى للكفاءة الحرارية كالتالي 55.43%، 59.18% و 52.42% من أجل المبادل الرطب ( $EF_w\%$ )، بينما كانت القيم من أجل المبادل الجاف ( $EF_d\%$ ) كالتالي 44.42%، 48.47% و 40.02% كما هو مبين في الجدول(3). أما متوسط معامل الأداء الحراري كان أعلى في المبادل الرطب ( $COP_w = 8.55$ ) مقارنة مع قيمة متوسط الأداء الحراري في المبادل الجاف ( $COP_d = 6.86$ ). وبنفس الاتجاه كان المدى لمعامل الأداء الحراري في المبادل الحراري الرطب [7.77 - 9.69] مقارنة مع قيمته في المبادل الحراري الجاف [5.93 - 7.93] كما هو مبين في الجدول (3).

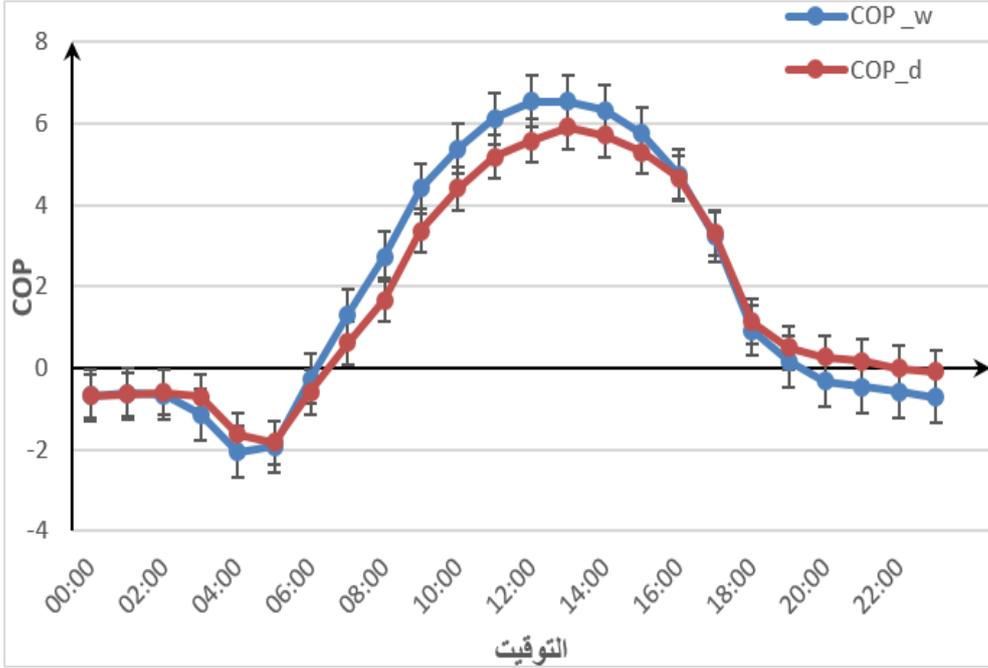
ومنه نلاحظ وجود اختلاف معنوي كبير في معامل التبريد COP لتقنية التبريد بالمبادل الحراري (أرض - هواء) بين المبادل الرطب والمبادل الجاف. وبشكل خاص كان الحد الأعلى والحد الأدنى لقيم معامل أداء التبريد COP في المبادل الرطب دائماً أكبر منهما في المبادل الجاف.

الجدول (3) الكفاءة والأداء الحراريين للمبادل الحراري (أرض - هواء) خلال الفترة الأكثر سخونة في النهار.

	EF_w %	EF_d %	COP_w	COP_d
Mean	55,43	44,42	8,55	6,86
SD	2,20	2,61	0,64	0,64
Min	52,42	40,02	7,77	5,93
Max	59,18	48,47	9,69	7,93

كما يبين الشكل (5) منحني القيم المتوسطة لمعامل الأداء الحراري خلال اليوم النموذجي لفصل الصيف لكل من المبادل الحراري الرطب WE والمبادل الحراري الجاف DE. حيث أن تأثير التبريد للمحيط بالأنبوب أدى الى رفع قيمة معامل أداء التبريد COP (1.69 نقطة) للمبادل الرطب مقارنة مع المبادل الجاف. كما يلاحظ أن نظام التكييف بالمبادل الرطب قاوم بشكل أفضل تقلبات درجة حرارة الأرض وذلك بفضل الزيادة في معامل الموصلية الحرارية للتربة حول الأنبوب بواسطة التبريد.

وهذا ما تؤكدته النتائج التي حصل عليها الباحث (Alghannam (2012) وكذلك الباحث Morshed (2018)؛ حيث بين Alghannam أن قيم معامل الأداء للمبادل الحراري أرض - أنبوب في البيوت الزجاجية (البلاستيكية أو الدفيئة) في تربة رملية ضمن مناخ صحراوي قاحل في المملكة العربية السعودية. حيث وجد قيمة معامل أداء التبريد COP في شهر آب (5.5) خلال اختبارات التبريد. وفي فترة الليل فإن الظروف البيئية انعكست.



الشكل (5) معامل الأداء الحراري لنظام التكييف بالمبادل الحراري (أرض - هواء) خلال اليوم النموذجي لشهر آب 2020.

### الاستنتاجات

- يمكن استخدام تقنية المبادل الحراري (أرض - هواء) كنظام تبريد وتكييف الهواء ويعتمد على الطاقة البديلة في ظروف الساحل السوري باعتباره نظام تكييف صديق للبيئة ونظيف.
- قدرة النظام على تخفيض درجة حرارة الهواء الخارجي في شهر آب 2020 حولي ( $9^{\circ}\text{C}$ ).
- عملية تبليل التربة لها القدرة على تحسين مواصفات التربة الحرارية وبالتالي رفع الأداء الحراري لنظام التكييف بالمبادل الحراري (أرض - هواء).

### التوصيات

- نوصي بمتابعة البحث ودراسة البارامترات الأخرى المؤثرة في أداء المبادل الحراري (أرض - هواء) وصولاً إلى بيانات كافية في عملية استخدام هذه التقنية في التكييف في بلدنا.
- تصميم برنامج محاكاة لنظام التكييف باستخدام المبادل الحراري (أرض - هواء) من أجل الحصول على نتائج متوقعة قبل التنفيذ.

## المراجع

### المراجع العربية

- [1] مرشد، وسيم و عباس، لبنانة. (2020). دراسة تجريبية لاستخدام المبادل الحراري الأنثوي (هواء - أرض) في تبريد البيوت الزراعية في محافظة طرطوس. المجلد 4، العدد 10. مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية.

### المراجع الأجنبية

- [2]Al-Ajmi, F., D.L. Loveday, and V.I. Hanby. 2006. The cooling potential of earth-air heat exchangers for domestic buildings in a desert climate. *Building and Environment*. 41: 235–244.
- [3]Alghannam, A. O. 2012. Investigations of Performance of Earth Tube Heat Exchanger of Sandy Soil in Hot Arid Climate, *Journal of Applied Sciences Research*, 8(6): 3044-3052.
- [4]Alshehri, F., Beck, S., Ingham, D., Ma, L., and Pourkashanian, M. (2019). Techno-economic analysis of ground and air source heat pumps in hot dry climates. *Journal of Building Engineering*, 26, 100825.
- [5]ASHRAE. 1989. *Handbook of Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, GA.
- [6]Baxter D O. Energy exchange and related temperature of an earth-tube heat exchanger in the cooling mode. *Trans. ASAE*.1994; 37 (1): 257 – 267.
- [7]Faridi, H., Arabhosseini, A., Zarei, G., and Okos, M. Degree-Day Index for Estimating the Thermal Requirements of a Greenhouse Equipped with an Air-Earth Heat Exchanger System. *Journal of Agricultural Machinery*, 2021; 11(1), 83-95.
- [8]Ghosal M K, and Tiwari G N. Modeling and parametric studies for thermal performance of an earth to air heat exchanger integrated with a greenhouse. *Energy Conversion and Management* 2006; 47: 1779–1798.
- [9]Givoni B. Cooled soil as a cooling source for buildings. *Associate Editor Matheos Santamouris. Solar Energy*. 2007; 81: 316–328.
- [10]Hamada Y, Saitoh H, Nakamura M, Kubota H, and Ochifuji K. Field performance of an energy pile system for space heating. *Energy and Buildings*. 2007;39: 517–524.
- [11]Jamshidi, N., and Sadafi, N. An evaluation for spiral coil type earth-air heat exchanger at different climate conditions. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2020; 42(24), 3045-3062.
- [12] Le, A. T., Wang, L., Wang, Y., and Li, D. 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*, 2020.
- [13]Liu, Z., Yu, Z. J., Yang, T., Roccamena, L., Sun, P., Li, S., and El Mankibi, M. (2019). Numerical modeling and parametric study of a vertical earth - to-air heat exchanger system. *Energy*, 172, 220-231.
- [14]Maryanczyk, A. F., J. Schnotale, J. Radon, and K. Was. 2014. Experimental measurements and CFD simulation of a ground source heat exchanger operating at a cold climate for a passive house ventilation system. *Energy and Buildings*. 68: 562–570.

[15]Mathur, A., Mathur, S., Agrawal, G. D., and 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.

[16]Matteson, D., M. Schwarz, and J. P. Murphy. 1981. An underground earth tube ventilation system for swine. ASAE paper n. 81-205.

[17]Morshed, W., Leso, L., Conti, L., Rossi, G., Simonini, S., and Barbari, M. 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*, 2018; 11(3), 47-53.

[18]Namgial, D., Singh, K. G., Hans, V. S., Aggarwal, R., and 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.

[19]Pfafferott, J. 2003. Evaluation of earth-to-air heat exchangers with a standardized method to calculate energy efficiency. *Energy and Buildings*. 35: 971–983.

[20]Sayed, H. R. 2015. Using Earth-tube heat exchanger in cooling and heating greenhouses. Cairo university, Egypt.

[21]Scott, NR., RA. Parsons, and TA. Kochler. 1965. Analysis and performance of an earth-air heat exchanger. ASAE Paper. No. 65-840.

[22]Sharan G, and Jadhav R. 2003. Performance of Single Pass earth-Tube Heat Exchanger: An Experimental Study. IIMA Working Papers n. WP. 2003-01-07. Indian Institute of Management Ahmedabad, Research and Publication Department.