تحسين معامل أداء مضخة حرارية عاملة على مبدأ (التربة – ماء)

د. جابر ديبة*

سلمان بربهان**

(تاريخ الإيداع 23 / 11 / 2020. قُبِل للنشر في 26/ 4 / 2021)

□ ملخّص □

نظرا لتكاليف الطاقة المتزايدة وزيادة الاهتمام بالبيئة أجريت دراسات كثيرة حول الأساليب المختلفة ولاسيما في مجال القطاع السكاني والزراعي ومن هذه الوسائل استخدام الطاقة الحرارية الأرضية .

تعتبر المضخات الحرارية العاملة على مبدأ التربة ماء مرغوبة عندما تكون درجة الحرارة الخارجية معتدلة ولكن عندما تنخفض درجة الحرارية الخارجية كثيرا فان قيمة معامل أداء المضخة الحرارية تربة – ماء تبقى ثابتة عند قيم معينة لكل من فصل الصيف و الشتاء.

بسبب التحديات الناتجة عن نضوب الوقود الإحفوري بالإضافة إلى الاحتباس الحراري كان من الضروري تحسين فعالية المضخة الحرارية تربة– ماء وذلك لتلبية احتياجات التدفئة والتكييف.

تم في هذا البحث دراسة تأثير توضع الأنابيب على عمل المضخة الحرارية تربة– ماء عند عمق 2 متر وقياس درجة حرارة الدخول والخروج للماء في حالتي التكثيف والتبخير أي عندما تكون درجة حرارة الأرض أعلى أو اخفض من درجة حرارة دخول الماء.

تم قياس درجة حرارة دخول وخروج الماء لمدة ثلاثة أشهر من عام 2020 وذلك بعد دفن الأنابيب في تربة طينية وتوزيعها ضمنها على طبقات مختلفة العمق يفصل بينها طبقة عازلة من التربة وألواح من الخشب(صمام عاكس يعمل عند التحويل من دارة التدفئة إلى دارة التبريد وذلك من خلال تحكمنا في جهة دخول الماء وخروجه) ومن ثم حساب كميات الحرارة المكتسبة في المبخر والمطروحة من المكثف وصولاً إلى تحديد معامل أداء المضخة الحرارية وجدنا بالمقارنة بين التجربتين عند نفس درجة الحرارة أن كمية الحرارة المطروحة في التربة تكون أكبر في حالة دخول الماء في الأنبوب بشكل متدرج في العمق وخروجه بشكل مباشر من الأنبوب بينما كانت كمية الحرارة الممتصة أكبر عند دخول الماء بالاتجاه العكسي.

الكلمات المفتاحية: مضخة حرارية أرضية – توزع الأنابيب – صمام عاكس– التكثيف – التبخير–التبريد – التدفئة

*أستاذ ، قسم هندسة القوى الميكانيكية ، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

**طالب دراسات عليا(ماجستير)، قسم هندسة القوى الميكانيكية ، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية ، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية. slmanbarbahan@gmail.com

Improve the Performance Coefficient of a Heat Pump Operating on the Principle of (Soil_Water)

Dr. Gaber Debh*
Slman Brbhan**

(Received 23 / 11 / 2020. Accepted 26 / 4 / 2021)

□ ABSTRACT □

Due to the increasing energy costs and the increasing interest in the environment, many studies have been conducted on various methods, especially in the field of the residential and agricultural sectors, and one of these methods is the use of both thermal energy and geothermal energy.

Heat pumps operating on the principle of soil are desirable water when the external temperature is moderate, but when the external temperature decreases a lot, the value of the performance coefficient of the heat pump soil - water remains constant at certain values in summer and winter seasons.

Due to the challenges resulting from the depletion of fossil fuels as well as global warming, it was necessary to improve the efficiency of the soil-water heat pump to meet the heating and air conditioning needs.

In this research, the effect of piping on the work of a soil-water heat pump at a depth of 2 meters was studied, and the temperature of entry and exit of water was measured in the cases of condensation and evaporation, that is, when the ground temperature was higher or lower than the water entry temperature.

The temperature of entry and exit of water and the flow of water can be measured for a period of three months in year 2020, after burial in the soil in heating, through the gradient by combining soil and wood panels. The temperature of the heat and the amount of heat in the air in a heat that reaches a certain temperature in the heat. The depth and its direct exit from the tube while the heat spread was greater when entering the water in the opposite direction.

Keywords: Geothermal heat pump - piping distribution - inverter - condensing - evaporation - cooling – heating

* **Professor, Department of Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineerin, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

** **Master Student, Department of Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering Tishreen University, Lattaki, Syria. slmabarbahan@gmail.com**

مقدمة:

إذا استطعنا سحب الحرارة الفاترة من سطح الأرض على عمق مدروس و وظفناها بالشكل الصحيح نكون قد حصلنا على منبع للحرارة مستدام ومجاني وهذا ما سمي لاحقاً بالتدفئة الأرضية التي تساعد أصحاب المنازل على تدفئة منازلهم وتم ذلك منذ أربعينيات القرن الماضي عندما أدرك المخترع الأميريكي روبرت ويبر انه يستطيع عكس عملية التبريد لاستخراج الحرارة من الأرض حيث يستغل هذا النظام حقيقة أن الأرض لا تحسن توصيل الحرارة في المناطق المعتدلة وعلى بعد بضعة أمتار من سطح الأرض تبقى درجة حرارة التربة قريبة [5]من 10إلى 23 درجة مئوية وهنا يمكن لنوع من الآلات الحرارية والمسماة بالمضخة الحرارية[1] أن تستخدم درجة الحرارة المستقرة تلك لتدفئة المنازل في فصل الشتاء.

بالإضافة إلى امتصاص الحرارة أيضا نستطيع تصريف الحرارة في الأرض وهنا تعمل المضخة الحرارية عمل آلة تبريد وذلك في فصل الصيف وبالتالي بتنا نستطيع الاستفادة من حرارة الأرض على مدار السنة.

من أجل انجاز البحث قمنا بالدراسة باستخدام مبادل حراري أرضي مؤلف من ثلاث طبقات من الأنابيب عند الأعماق (2–1.5–1) م ثم قمنا بقياس كمية الحرارة المطروحة والممتصة من التربة .[3]

حيث قمنا بتجربة طريقة جديدة لتوزيع الأنابيب بالتربة عند عملية الطمر للأنابيب و قمنا أيضا بالعزل بين طبقات الأنابيب بطبقتين من التربة يوجد بينهما طبقة من الألواح الخشبية .

عملية توزيع الأنابيب على طبقات تؤمن لنا ابتكار جديد لما يسمى الصمام الحراري العاكس للمضخة الحرارية الأرضية حيث من خلال التغير في جهة دخول الماء إلى الأنبوب المتدرج أو المباشر نستطيع التحكم في أي وضع نريد من المضخة أن تعمل به وضع تبريد أو تدفئة حيث تبين التجارب أن كل جهة لدخول الماء تؤمن [5] معامل أداء حراري أفضل من الجهة الأخرى وذلك حسب درجة حرارة الماء والأرض في نظامين مختلفين للتدفئة والتبريد.

تتجلى الأهمية لهذا البحث في تحسين معامل الأداء للمضخة الحرارية الأرضية عن طريق ابتكار طريقة جديدة لتوزيع الأنابيب في التربة بحيث تضمن زيادة كمية الحرارة الممتصة في المبادل الحراري الأرضي عندما يعمل كمبخر في دارة التدفئة وزيادة كمية الحرارة المطروحة من المبادل للتربة عندما يعمل كمكثف في دارة التبريد وبالتالي تقليل من استهلاك الطاقة الكهربائية وزيادة مردود المضخة الحرارية الأرضية .

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في زيادة فعالية عمل المضخة الحرارية الأرضية تعمل على مبدأ التربة – الماء بغية الوصول إلى التمثيل الأفضل لها ، خاصةً في ظل التكاليف المرتفعة لإنتاج الطاقة وكذلك زيادة نسبة الانبعاثات الكربونية مما ينعكس سلباً على البيئة وصولاً إلى رفع كفاءة أداء معامل المضخة الحرارية تربة – ماء.

طرائق البحث ومواده:

قمنا باستخدام أنابيب خاصة بالتدفئة الأرضية و مواد للعزل الحراري ، بالإضافة إلى أجهزة قياس درجة الحرارة لإجراء التجربة ، ومن ثم قمنا بتفريغ البيانات التي حصلنا عليها من نتائج التجربة في برنامج الإكسل و من ثم الحصول على المخططات للمقارنة والإستنتاج.

الدراسة العملية:

تم إجراء التجربة وفق الخطوات التالية:

الخطوة الأولى :

إجراء حفرة في التربة على عمق مترين باستخدام أدوات حفر خاصة تسوية لجدران الحفرة للمحافظة على استقرارها وتماسكها.

الخطوة الثانية :

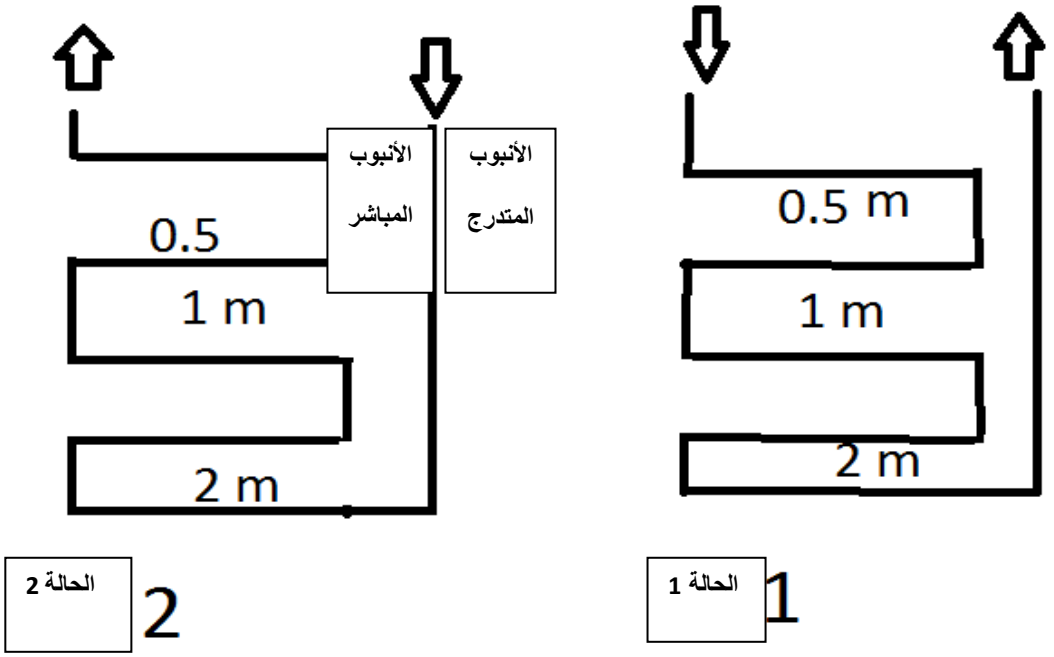
تمرير الأنبوب في التربة مباشرة إلى عمق 2متر ثم تمريره بشكل أفقي في قعر الحفرة ثم تغطية الأنبوب بطبقة من التربة ثم طبقة من الألواح الخشبية وأخيرا ووضع طبقة ثانية من التربة فوق تلك الألواح .

الخطوة الثالثة:

تشكيل طبقة ثانية من الأنابيب وذلك من خلال إمرارها فوق التربة عند عمق 1,5 متر ومن ثم تغطيت هذه الطبقة بطبقة من الألواح الخشبية و طبقة من التربة.

الخطوة الرابعة:

تكرار العملية للمرة الأخيرة عند عمق 1 متر ثم طمر الحفرة بالتربة وصولاً إلى السطح كما أنة تم زرع حساسات في الحفرة عند كل طبقة في الأعماق الثلاثة (1–1,5–2) م وذلك لقياس درجة حرارة التربة وفي النهاية تم الحصول على مبادل حراري مطمور ضمن التربة وأنابيبه متوضعة بشكل طبقات يفصل بينها طبقة عازلة من التربة والألواح الخشبية ولهذا المبادل الحراري اتجاهين لدخول الماء إليه أحدهما مباشر يصل مبشرتاً إلى أكبر عمق في الحفرة والأخر متدرج.



الشكل (1)

شكل توضيحي يبين طريقة توزع الأنابيب ضمن التربة في التجربة

الخطوة الخامسة:

تم إدخال الماء تحت درجة حرارة و تدفق ثابتين ضمن الأنبوب في الاتجاه المتدرج كما في الحالة 1 الشكل (1) ومن ثم قياس درجة حرارة الماء عند خروجها من الأنبوب(المباشر) ثم تم تكرار العملية بشكل معاكس لاتجاهات دخول الماء الحالة 2 الشكل (1) وذلك عند ثلاث درجات حرارة مختلفة للماء جميعها كانت فيها درجة حرارة الماء الداخل أعلى من درجة حرارة الأرض (Tg < Ti) حيث هنا قام المبادل الحراري بطرح الحرارة في التربة .

الخطوة السادسة:

تم إعادة التجربة ككل ثلاث مرات أيضا عند ثلاث درجات حرارة مختلفة للماء جميعها كانت فيها درجة حرارة الماء الداخل أخفض من درجة حرارة الأرض (Tg > Ti) حيث هنا قام المبادل الحراري امتصاص الحرارة من التربة .

النتائج والمناقشة:

تم تفريغ نتائج القياسات في الإكسل وفق الجدول التالي:

الجدول (1): نتائج التجربة عند اتجاهات مختلفة لدخول الماء

DATA	m	W%	Tg3	W%	Tg2	W%	Tg1	Q	TO-TI	To	Ti	Tsh	Ts	
20\6\29 7pm	0.112	66	22.9	60	22.6	50	22	-215	-0.46	23.3	23.76	24	27	**1**
	0.112	66	22.9	60	22.6	50	22	-79	-0.17	23.46	23.63	24	27	**2**
20\7\3 pm 3	0.112	35	26.2	30	25.6	34	24.9	-303	-0.65	25.6	26.25	33	44	**1**
	0.112	35	26.2	30	25.6	34	24.9	-233	-0.5	25.75	26.25	33	44	**2**
20\7\4 pm 3	0.12	21	27	20	26	20	25.2	-1212	-2.6	28.3	30.9	34	37	**1**
	0.112	21	27	20	26	20	25.2	-1090	-2.34	28.56	30.9	34	37	**2**
20\7\13 pm 3	0.112	30	26.9	29	26.7	26	26.5	932.3	2	21	19	31.7	37	**1**
	0.112	30	26.9	29	26.7	26	26.5	1538	3.3	22.3	19	31.7	37	**2**
20\7\14 Am 7	0.112	89	26	70	26	75	25.2	514.9	1.1	22.15	21.05	27.6	29	**1**
	0.112	89	26	70	26	75	25.2	889.5	1.9	22.95	21.05	27.6	29	**2**
20\10\23 6 PM	0.112	49	25	47	25	49	25.1	186.8	0.4	23.4	23	22.1	23	**1**
	0.112	49	24	46	25	48	25.1	467.1	1	24	23	22.1	23	**2**

حيث 1 هي اتجاه دخول الماء من الإنبوب المتدرج

2 هي اتجاه دخول الماء من الإنبوب المباشر

m: التدفق الحجمي ثابت .

W3: الرطوبة النسبية عند عمق 0,5 متر.

Tg3: درجة الحرارة للتربة عند عمق 0,5 متر.

W2: الرطوبة النسبية عند عمق 1متر.

Tg2:درجة الحرارة للتربة عند عمق 1 متر.

W1: الرطوبة النسبية عند عمق 2متر.

Tg1: درجة الحرارة للتربة عند عمق2 متر.

To–Ti: فرق في درجات الحرارة بين دخول الماء وخروجه.

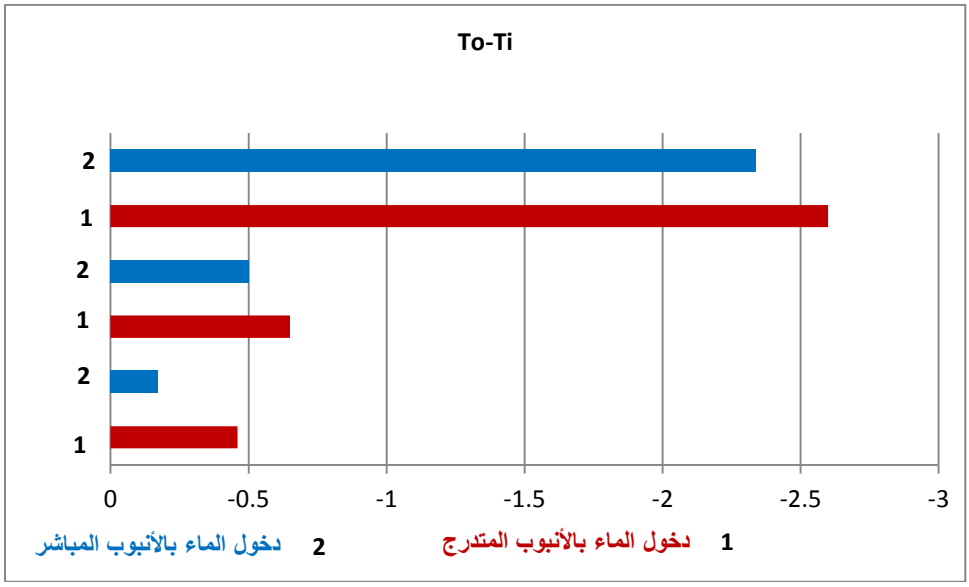
To: درجة حرارة خروج الماء.

Ti: درجة حرارة دخول الماء.

Tsh: درجة الحرارة الخارجية في الظل.

Tsun: درجة الحرارة الخارجية في الشمس.

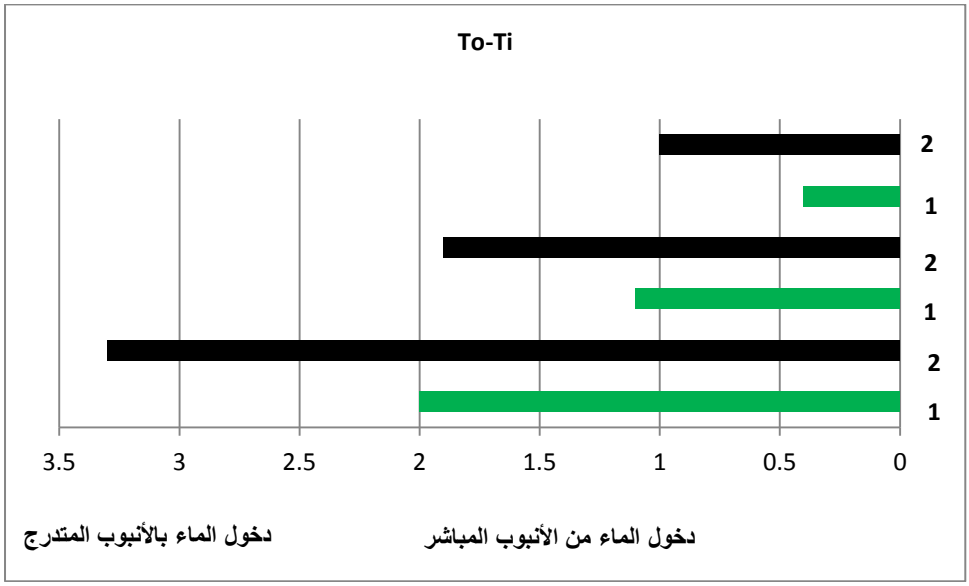
Q: كمية الحرارة الممتصه أو المطروحة من التربة.



مخطط يبين فرق درجات الحرارة بين المدخل والمخرج عندما Tg<Ti وعند اتجاهين مختلفين لدخول الماء
1- دخول الماء بالأنبوب المتدرج-2- دخول الماء بالأنبوب المباشر
وعند ثلاث درجات حرارة مختلفة للماء الداخل والأرض

نلاحظ من المخطط أن الفرق بين درجة حرارة خروج الماء TO ودخوله Ti في الحالة 1 الشكل (1) الذي يدخل فيها الماء بشكل متدرج أكبر من ذات الفرق في الحالة 2 الشكل (1) والذي يدخل فيها الماء بشكل مباشر ذلك عندما تكون حرارة الأرض Tg أقل من درجة حرارة الماء الداخل Ti

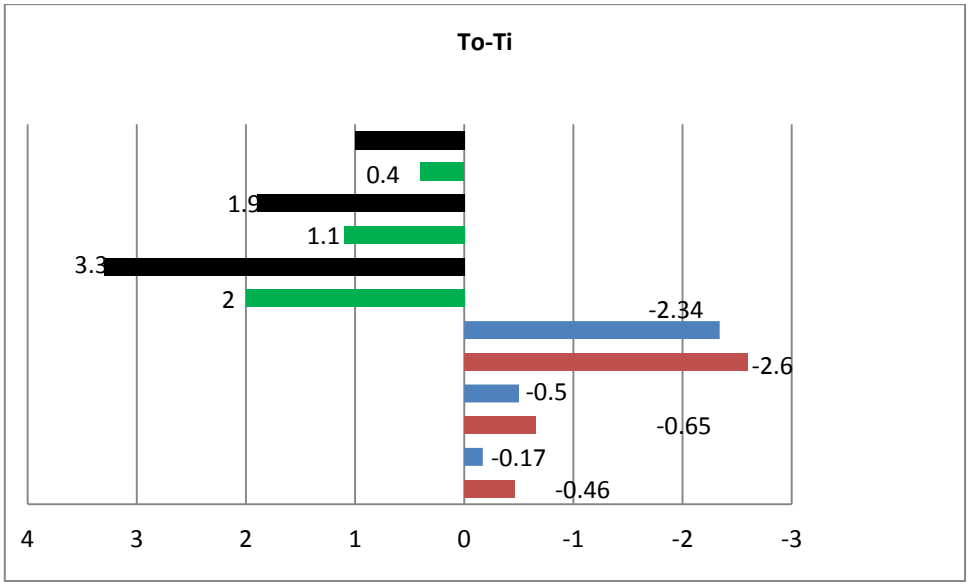
أي عنما: Tg < Ti



مخطط يبين فرق درجات الحرارة بين المدخل والمخرج عندما تكون Tg >Ti وعند اتجاهين مختلفين لدخول الماء
- 1- دخول الماء بالأنبوب المتدرج- 2- دخول الماء بالأنبوب المباشر
وعند ثلاث درجات حرارة مختلفة للماء الداخل والأرض

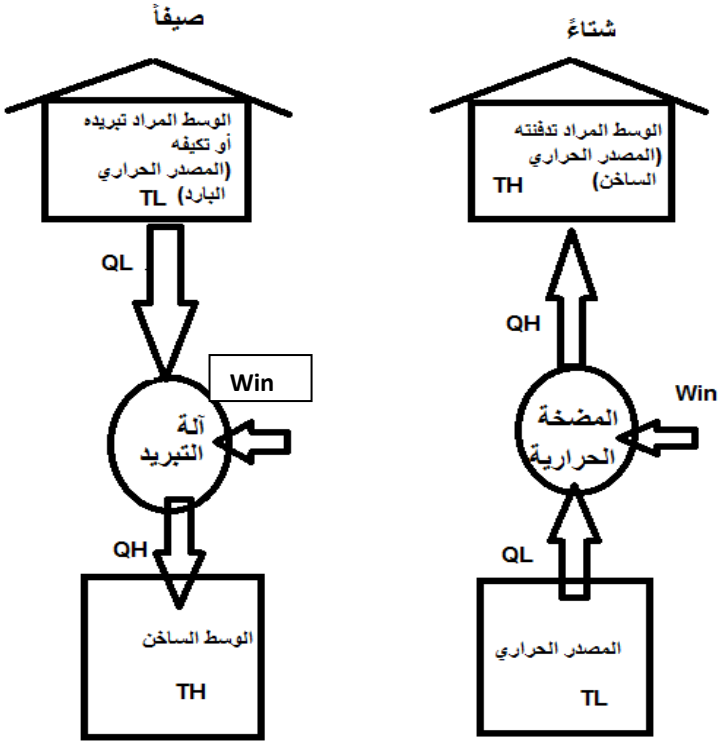
نلاحظ من المخطط أن الفرق بين درجة حرارة خروج الماء TO ودخوله Ti في الحالة 1 الشكل (1) الذي يدخل فيها الماء بشكل متدرج أقل من ذات الفرق في الحالة 2 الشكل (1) والذي يدخل فيها الماء بشكل مباشر ذلك عندما تكون حرارة الأرض Tg أعلى من درجة حرارة الماء الداخل Ti

أي عندما : Tg > Ti



مخطط يبين فرق درجات الحرارة بين المدخل والمخرج عند اتجاهين مختلفين لدخول الماء

1- دخول الماء بالأنبوب المتدرج 2- دخول الماء بالأنبوب المباشر



الشكل (2)مقارنة المضخة الحرارية مع آلة التبريد ،

TH درجة حرارة المصدر الساخن ،

TL درجة حرارة المصدر البارد،

QH كمية الحرارة المطروحة من المضخة الحرارية أو آلة التبريد ،

QL كمية الحرارة المسحوبة من قبل المضخة الحرارية أو إلى آلة التبريد ،

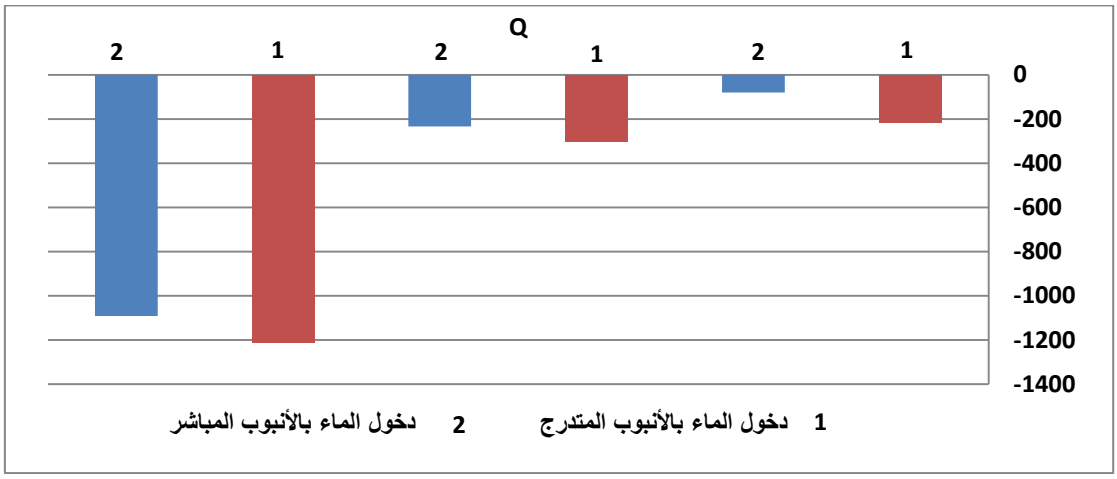
Winالعمل المطلوب تقديمه لانجاز الدارة)

لدينا المعادلة التالية التي تعطينا كمية الحرارة المكتسبة أو المطروحة:

$$Q = m .cp.(To-Ti)$$

Cp: السعة الحرارية للماء.

m: التدفق الكتلي للماء

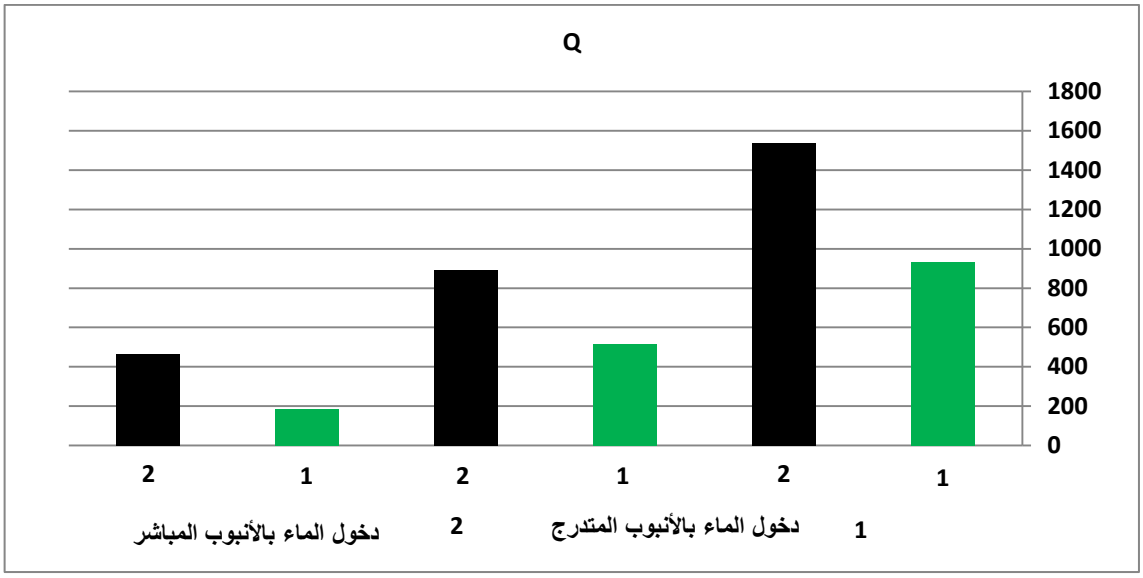


مخطط يبين كمية الحرارة المطروحة في التربة عند اتجاهين مختلفين لدخول الماء
1- دخول الماء بالأنبوب المتدرج -2- دخول الماء بالأنبوب المباشر
وعند ثلاث درجات حرارة مختلفة للماء والأرض

نلاحظ من المخطط أن Q1 كمية الحرارة المطروحة في الحالة 1 الشكل (1) الذي يدخل فيها الماء بشكل متدرج أكبر منQ2 كمية الحرارة المطروحة في الحالة 2 الشكل (1) والذي يدخل فيها الماء بشكل مباشر ذلك عندما تكون حرارة الأرض Tg أقل من درجة حرارة دخول الماء Ti

أي : $Tg < Ti$

$$Q1 > Q2$$



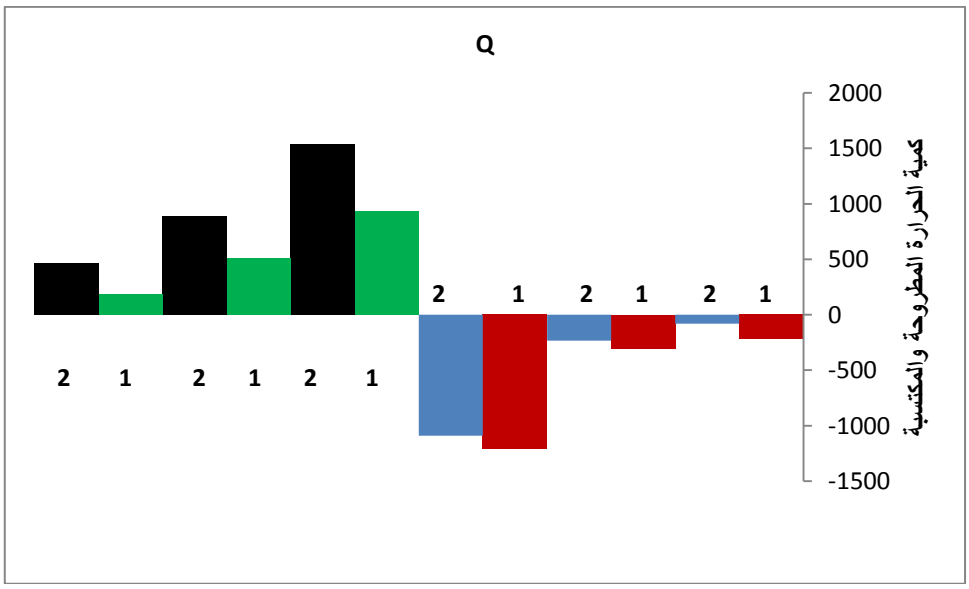
مخطط يبين كمية الحرارة الممتصة من التربة عند اتجاهين مختلفين لدخول الماء
1- دخول الماء بالأنبوب المتدرج 2- دخول الماء بالأنبوب المباشر
وعند ثلاث درجات حرارة مختلفة للماء والأرض

نلاحظ من المخطط أن Q1 كمية الحرارة الممتصة في الحالة 1 الشكل (1) الذي يدخل فيها الماء بشكل متدرج أقل من Q2 كمية الحرارة الممتصة في الحالة 2 الشكل (1) والذي يدخل فيها الماء بشكل مباشر .

ذلك عندما تكون حرارة الأرض Tg أعلى من درجة حرارة دخول الماء Ti

أي : Tg > Ti

Q1<Q2



مخطط يبين كمية الحرارة المطروحة والممتصة من التربة عند اتجاهين مختلفين لدخول الماء
1- دخول الماء بالأنبوب المتدرج 2- دخول الماء بالأنبوب المباشر

عامل الأداء بالنسبة للمضخة الحرارية ولآلة التبريد هو الطاقة الناتجة إلى الطاقة المقدمة::

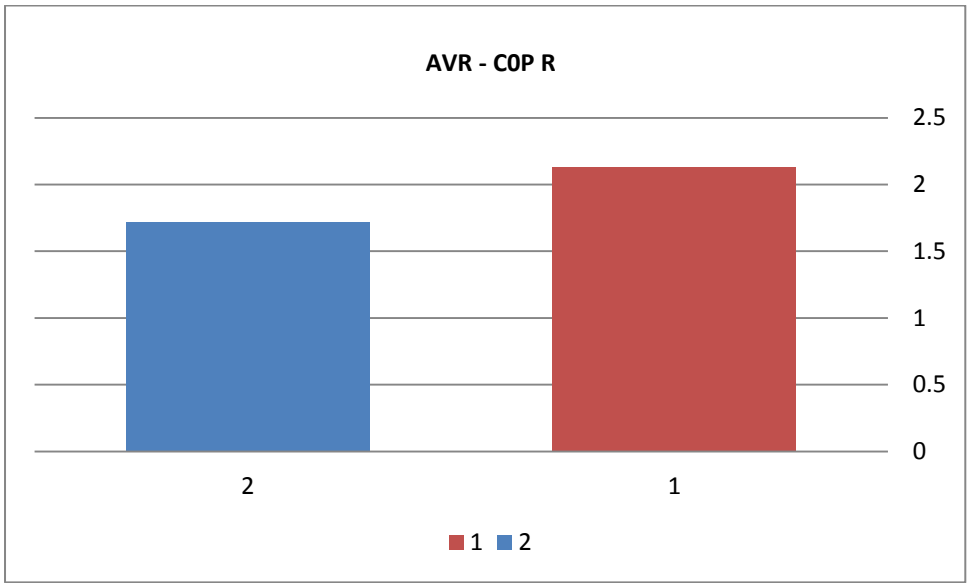
$$\boldsymbol{cop} = \frac{\text{الطاقة الناتجة عن النظام}}{\text{الطاقة المقدمة للنظام}}$$

معامل الأداء من أجل المضخة الحرارية هو:

$$\boldsymbol{cop}\ HP = \frac{QH}{Win}$$

معامل أداء آلة التبريد فهو :

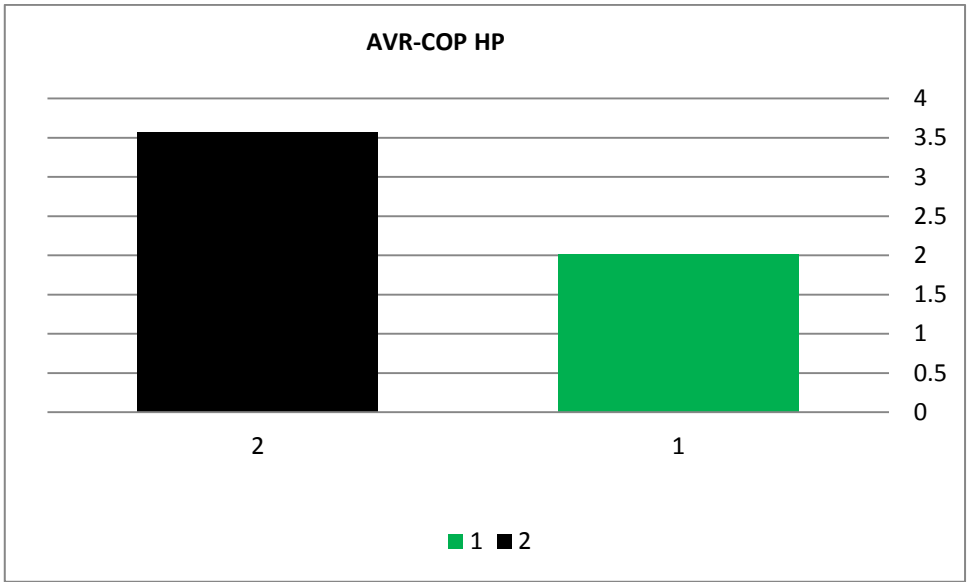
$$\boldsymbol{cop}\ R = \frac{QL}{Win}$$



مخطط يبين متوسط معامل الأداء للمضخة الحرارية الأرضية العاملة وفق دارة التبريد

وفق اتجاهين لدخول الماء في الأنبوب

1- دخول الماء بالأنبوب المتدرج-2- دخول الماء بالأنبوب المباشر



مخطط يبين متوسط معامل الأداء للمضخة الحرارية الأرضية العاملة وفق دارة التدفئة
وفق اتجاهين لدخول الماء في الأنبوب
1- دخول الماء بالأنبوب المتدرج-2- دخول الماء بالأنبوب المباشر

الاستنتاجات والتوصيات:

- ❖ عامل أداء آلة التبريد يتحسن بزيادة كمية الحرارة المطروحة في المكثف إلى التربة، حيث بلغت نسبة التحسين19% في فصل الصيف في حالة دخول الماء بشكل متدرج الحالة 1 الشكل (1) .
- ❖ عامل أداء المضخة الحرارية يتحسن بزيادة كمية الحرارة الممتصة من التربة في المبخر،حيث بلغت نسبة التحسين 43% في فصل الشتاء في حالة دخول الماء بشكل مباشر الحالة 2الشكل (1) .
- ❖ حقق الصمام العاكس في المضخة الحرارية الأرضية نتائج مماثلة للصمام العاكس للمضخة الحرارية الهوائية من حيث القيام بوظيفته في التحويل بين دارة التبريد و التدفئة.
- ❖ بناءً على الاستنتاجات المذكورة نوصي بما يلي :

- استخدام هذا التوزيع للأنابيب ضمن التربة أدى أمكانية إلى الحصول على صمام عاكس للمضخة الحرارية الأرضية بمجرد التبديل في جهة دخول الماء وبالتالي التحكم في عمل المضخة وفق دارتي التبريد والتدفئة لذلك من الضروري متابعة البحث والعمل على إيجاد أشكال توزيع أخرى للأنابيب ضمن التربة يمكن أن تحقق عامل أداء أفضل والعمل وإجراء نمذجة للدارة المحسنة ومقارنة النتائج الرقمية مع النتائج التجريبية من أجل امكانية دراسة تعديلات أخرى.

References:

[1] Popiel C., Wojtkowiak J., Biernacka B., Measurements of temperature distribution in ground. *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 25, pp 301-309. 2001.
[2] De Paepe M., Willems N., 3D Unstructured modelling technique for ground-coupled air heat exchanger. *Proceedings of Clima World Congress*, Napoli Italy, pp. 15-18, 2001.

[3] Hepbasli. Performance evaluation of a vertical ground-source heat pump system in Izmir, Turkey, 2002.
[4] Panagiotis G. Kougias. Improvement of a heat pump coefficient of performance used in greenhouses,2013
[5] Jerzy Wołoszyn, Andrzej Gołaś. Heat pump coefficient of performance stabilisation in GSHP systems., AGH University of Science and Technology ,2016.
[6] Dr Ayob Hassan, Transition heat and mass. ،Faculty of Mechanical and electrical engineering،TishreenUniversity،Lattakia،Syria 2017