

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم الهندسة الميكانيكية

تخصص الطاقات المتجددة

مشروع نهاية دورة الماجستير

تحت عنوان :

دراسة عددية لأداء المبادل
الحراري الأرضي
الهوائي الأفقي لتبريد هواء المباني

من إعداد الطلبة :

- قنيول خديجة إكرام

- دني أسامة المبروك

أعضاء لجنة المناقشة :

الأستاذ بلحاج محمد	مشرف
الأستاذ بن حوية لمين	رئيس اللجنة
الأستاذ تقار محمد	مناقش

السنة الجامعية : 2022 - 2023



شكر و عرفان

في البداية نود أن نشكر السيد محمد بلحاج ، على الطريقة التي أشرف
بها على عملنا

وعلى الطريقة التي علمنا بها خلال سنوات رحلتنا في قسم الهندسة
الميكانيكية.

والشكر موصول أيضاً لجميع أعضاء لجنة التحكيم على

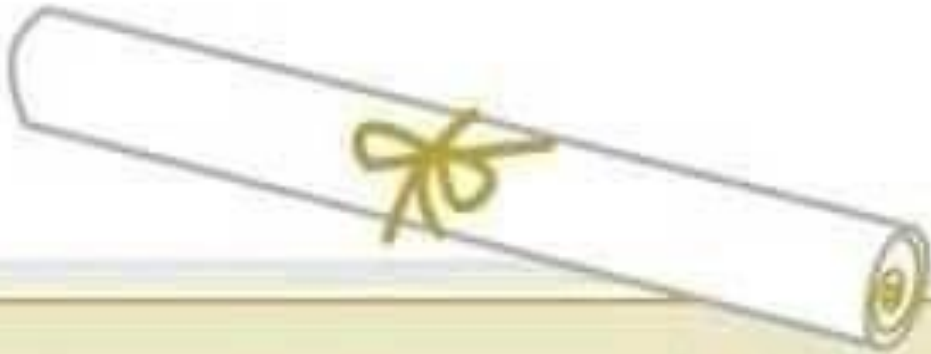
اهتمامهم بعملنا وونحن نعرب عن امتناننا العميق لهم.

نود بشكل خاص أن نشكر جميع زملائنا في برنامج ماجستير

الطاقة المتجددة في السنة الثانية.

وكذلك جميع المعلمين وكل من ساهم بشكل مباشر أو غير مباشر

في إنجاز هذا العمل. وهكذا فإن موظفي قسم الهندسة الميكانيكية وخاصة
السيد شريف



إهداء

إلى من أوصى الله بهما خيرا و إحسانا ،
إلى من شعرت بعجزي عن رد فضلها....

والديّ اصل وجودي

إلى أحن صدر ألجأ إليه و التي سهرت وكانت معي في
أسوأ حالاتي و ضغوطات و زرعت في روحي حب المثابرة
و الاتقان ، ها قد حانت الفرصة ان تعرف ان لها شبلا
ينتظر ليقدم لها روحه كهدية بسيطة جزاءا
لتضحياتها و وقوفها معنا طيلة حياتها فهي بالدرجة
الأولى من صنعتي أمي دنيتي وعافيتي

إلى أعظم سند وعيني الثاني إلى من قال فيه الله في
كتابه العزيز انه هو من سيشد عضدي و ارتكز عليه
حين عثراتي أخي كتفي

إلى أعظم نعمة من الله علي إلى اللواتي يبقين الأقرب
مهما تسرب الحب إلى اتربة النفوس ...أخواتي
وأولادهم فاطمة الام الثانية حين يغيب المنبع
.... لمياء رغم بعد المسافات إلى انها قريبة
للقلب نسيبة آخر العنقود ومدللتني

إلى الحاملين عرضنا وسند لحبيبتي خير رجال في
ظهورنا أنور ، سليم

إلى عائلتي عمراني و دني من صغيرهم لكبيرهم .

إلى نفسي التي أرهقتها وليس بخسارة في سبيل العلم
لأتم هذا العمل المتواضع وما الكمال إلا لله

فاللهم لك الحمد على توفيقني.

أسامة

إهداء

أهدي ثمرة جهدي المتواضع
إلى من وهبوني الحياة والأمل، والنشأة على شغف
الاطلاع والمعرفة، ومن علموني أن أرتقي سلّم
الحياة بحكمة وصبر؛
براء، وإحسانا ووفاءً لهما والدي العزيز، رحمه
الله عليه ووالدي العزيزة. حفزه الله
إلى من وهبني الله نعمة وجودهم في حياتي إلى
العقد المتين
من كانوا عوناً لي في رحلة بحثي: إخواني
وأخواتي.
إلى من كاتفتني ونحن نشق الطريق معا نحو
النجاح في مسيرتنا العلمية
وأخيراً إلى كل من ساعدني، وكان له دور من
قريب أو بعيد في إتمام هذه الدراسة

إكرام

ملخص :

يهدف هذا العمل لدراسة العوامل المؤثرة لتطوير محاكاة عددية لتدفق الهواء ونقل الحرارة المشترك في نظام حراري أرضي الهدف الرئيسي هو معرفة أداء المبادل الحراري في تكييف درجة الحرارة للهواء. يستخدم برنامج Matlab لحل معادلات نقل الحرارة وتدفق الهواء في أنبوب المبادل. وذلك باللعب على قيم الطول والقطر و سرعة الهواء الداخل، تظهر النتائج التي تم الحصول عليها لأول حالة (تغيير الطول والقطر معا) أن درجة الحرارة الدنيا (في حالة التبريد) عند مخرج الأنبوب هي 27°C ، وذلك عند سرعة ثابتة 1 متر/ثانية . بالنسبة للتغير في السرعة والقطر معا فإن درجة الحرارة الدنيا التي تم الحصول عليها هي 20°C درجة مئوية ، وهي درجة حرارة الأرض. أظهرت النتائج تأثير المعلومات المختلفة على أداء المكثف، بما في ذلك الخصائص الفيزيائية للتربة، ومعدل التدفق ، والخصائص الفيزيائية للأنبوب ، وهندسة المبادل . أدت دراسة تأثير المعلومات إلى النتائج التالية: درجة حرارة السائل عند مخرج أنبوب المبادل الحراري أرض-هواء تتناسب مع طول الأنبوب وتتناسب عكسيا مع معدل تدفق السائل في الأنبوب المبادل الحراري أرض-هواء. من حيث الكفاءة الحرارية، فإن البولين كمادة أنبوب امتصاص أفضل من بعض المواد الأخرى التي تم اختبارها (كالفولاذ والبلاستيك المقوى). بالنسبة للتطبيقات ذات درجات الحرارة المتوسطة، يكون الماء أكثر ملاءمة كسائل لنقل الحرارة، بينما يكون الزيت أكثر ملاءمة لتطبيقات درجات الحرارة العالية.

الكلمات المفتاحية : نقل الحرارة ، أنبوب، الطاقة الحرارية الأرضية ، المبادلات الحرارية ، سائل نقل الحرارة.

Résumé :

Cette thèse est consacrée au développement d'une simulation numérique de la circulation de l'air et du transfert de chaleur dans un système de chauffage géothermique. L'objectif principal est de comprendre les performances de l'échangeur de chaleur dans la régulation de la température de l'air. Le logiciel Matlab est utilisé pour résoudre les équations de transfert de chaleur et de flux d'air dans le tube de l'échangeur. En variant la longueur, le diamètre et la vitesse de l'air d'admission, les résultats obtenus pour le premier cas (variation de la longueur et du diamètre ensemble) montrent que la température minimale (en mode de refroidissement) à la sortie du tube est de 27°C pour une vitesse constante 1 m/s . Pour la variation de la vitesse et du diamètre ensemble, la température minimale obtenue est de 20°C , qui correspond à la température du sol. Les résultats montrent l'impact de différents paramètres sur les performances du condenseur, y compris les propriétés physiques du sol, le débit, les caractéristiques physiques du tube et le design de l'échangeur. L'étude de l'impact des paramètres a conduit aux résultats suivants : la température du fluide à la sortie du tube de l'échangeur géothermique est proportionnelle à la longueur du

tube et inversement proportionnelle au débit de liquide dans le tube de l'échangeur géothermique. En ce qui concerne l'efficacité thermique, le polyéthylène est un meilleur matériau de tube d'absorption par rapport à d'autres matériaux testés comme l'acier et le plastique renforcé. Pour les applications à températures moyennes, l'eau est plus appropriée comme fluide de transfert de chaleur, tandis que l'huile est plus appropriée pour les applications à températures élevées.

Mots clés : Transfert de chaleur, tube, énergie thermique du sol, échangeurs de chaleur, fluide de transfert de chaleur.

Abstract

This thesis is dedicated to the development of a numerical simulation of air flow and heat transfer in a ground heat exchange system. The main objective is to understand the performance of the heat exchanger in temperature conditioning of the air. The Matlab program is used to solve the heat transfer equations and air flow in the exchanger tube. By manipulating the values of length, diameter, and inner air velocity, the obtained results for the first case (changing both length and diameter) show that the minimum temperature (in the cooling case) at the tube outlet is 27 °C, at a fixed flow rate of 1 m/s. As for the change in velocity and diameter together, the lowest temperature obtained is 20 °C, which is the ground temperature. The results show the effect of different parameters on the condenser performance, including the physical properties of the soil, flow rate, physical properties of the tube, and heat exchanger design. The study of parameter effects led to the following results: the liquid temperature at the outlet of the ground-air heat exchanger tube is proportional to the tube length and inversely proportional to the liquid flow rate in the tube. In terms of thermal efficiency, polyethylene is a better tube material than other tested materials (such as steel and reinforced plastic). For medium temperature applications, water is more suitable as a heat transfer fluid, while oil is more suitable for high temperature applications.

Keywords : heat transfer, tubes, ground heat energy, heat exchangers, heat transfer fluid.

فهرس المحتويات :

	شكر وعرافان
	إهداء
	إهداء
	ملخص
I	فهرس المحتويات
III	فهرس الأشكال
IV	فهرس المخططات البيانية
V	فهرس الجداول
V	جدول التسميات
1	مقدمة عامة
الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحراري	
3	أولا : الطاقة الحرارية الأرضية
3	1. تعريف الطاقة الحرارية الأرضية
3	2. تاريخ الحرارة الأرضية
6	3. إستعمالات الطاقة الحرارية الأرضية
7	4. المخطط الحراري للأرض
8	5. أنواع الطقة الحرارية
11	6. إيجابيات وسلبيات الطاقة الحرارية الأرضية
15	ثانيا : المبادلات الحرارية (أرض-هواء)
15	1. تعريف المبدلات الحرارية
16	2. تصنيف المبادلات الحرارية
18	3. أنواع الإنتقال الحراري
23	ثالثا : المبادل الحراري (أرض-هواء)
23	1. تعريف المبادل الحراري (أرض-هواء)

24	2. أنواع المبادل الحراري أرض-هواء
25	3. الأنابيب المستعملة في المبادل الحراري أرض-هواء
27	4. مبدأ عمل المبادل الحراري أرض-هواء
29	5. نمذجت ومعلومات المبادل الحراري أرض-هواء
32	6. آثار بيئية واقتصادية لاستغلال للمبادل الحراري أرض-هواء
33	7. إيجابيات وسلبيات المبادل الحراري أرض-هواء
35	خلاصة الفصل
الفصل الثاني : نمذجة المبادل الحراري أرض - هواء	
36	مقدمة
37	الدراسة النظرية
37	1. التبادل الحراري أرض-هواء
40	2. إنخفاض الضغط
41	3. تأثير الخواص الحرارية للأرض
41	4. تأثير عمق الدفن
43	5. تأثير هندسة المبادل
44	6. الظروف المناخية للأغواط
45	دراسة رقمية (محاكاة)
51	خاتمة الفصل
الفصل الثالث : عرض النتائج ومناقشتها	
52	مقدمة
53	1. تأثير طول الأنبوب على درجة حرارة الهواء عند الخروج من المبادل
55	2. تأثير طول الأنبوب على كمية الحرارة
56	3. تأثير سرعة الهواء على درجة حرارة الهواء عند الخروج من المبادل

59	4. تأثير سرعة الهواء على كمية حرارة الهواء عند الخروج من المبادل
60	5. تأثير التوصيل الحراري للأنبوب
61	6. تطبيق عددي
62	7. نتائج الأنسيس
64	الخاتمة
65	فهرس المراجع

فهرس الأشكال

رقم	عنوان	صفحة
01	تقنية تسمح بالتقاط البخار لتشغيل الآلات المخصصة لضخ الماء الساخن من المنطقة	3
02	إحدى محطات توليد الطاقة الكهربائية بإيسلندا	4
03	منبع ساخن	5
04	المخطط الحراري	8
05	طبقات الأرض ودرجة حرارتها	8
06	الطاقة الحرارية الأرضية منخفضة الطاقة	9
07	رسم بياني يوضح آلية عمل محطات البخار الجاف	10
08	طاقة حرارية أرضية عالية الطاقة	11
09	تصنيف المبادلات الحرارية	17
10	أنواع الإنتقال الحراري	18
11	إنتقال الحرارة بالتوصيل	19
12	إنتقال الحرارة بالحمل الحراري	20
13	إنتقال حراري بالإشعاع	22

23	مبادل حراري أرضي	14
23	أنواع المبادل الحراري الأرضي	15
24	المبادل الحراري الأرضي العمودي	16
24	المبادل الحراري الأرضي الأفقي	17
28	مبدأ عمل المبادل الحراري أرض-هواء	18
30	تصميم الانابيب	19
37	مخطط حراري للمبادل أرض-هواء	20
37	توازن الحرارة لأنبوب مدفون	21
44	أرشيف الأحوال الجوية الأغواط لسنة 2022	22
45	رسم الخطوط لتشكيل الأنبوب	23
46	إجراءات التعبئة	24
47	الشبكية	25
48	الشكل النهائي الشبكية	26
62	تطور درجة الحرارة داخل الأنبوب	27
62	تكبير لقيم درجة حرارة الهواء	28
63	التغير في درجة الحرارة للهواء داخل الأنبوب	29

فهرس المخططات البيانية

رقم	عنوان	صفحة
01	تأثير الخواص الحرارية للأرض على الطاقة المتبادلة	41
02	تأثير عمق الدفن على درجة حرارة التربة.	42
03	تأثير قطر الأنبوب على الطاقة المتبادلة	42
04	درجة الحرارة بدلالة الطول	53
05	درجة الحرارة بدلالة الطول عند سرعة 1 م/ث	54

54	درجة الحرارة بدلالة الطول عند سرعة 2 م/ث	06
55	كمية الحرارة عند سرعة 0,5 م/ث	07
56	كمية الحرارة عند سرعة 1 م/ث	08
56	كمية الحرارة عند سرعة 3 م/ث	09
57	درجة الحرارة بدلالة السرعة عند طول الأنبوب 10 متر	10
58	درجة الحرارة بدلالة السرعة عند طول الأنبوب 20	11
58	درجة الحرارة بدلالة السرعة عند طول الأنبوب 40 م	12
59	كمية حرارة الهواء في أنبوب بطول 10 متر	13
59	كمية حرارة الهواء في أنبوب بطول 20 متر	14
60	كمية حرارة الهواء في أنبوب بطول 40 متر	15
61	تأثير التوصيل الحراري للأنبوب على الطاقة المتبادلة	16

فهرس الجداول

رقم	عنوان	صفحة
01	الخصائص الحرارية للمكونات الرئيسية للتربة	43
02	الخصائص الحرارية للمواد المستخدمة	50

التسميات

الرمز	التسمية	الوحدة
T_{sol}	Température du sol	[°C]
T_{air}	Température de l'air	[°C]
S	Surface d'échange	[m]
λ_{sol}	Conductivité thermique du sol	[W/m.K]
λ_{tube}	Conductivité du tube	[W/m.K]
λ_{air}	Conductivité thermique de l'air	[W/m.K]

hcv	Coefficient d'échange convectif	[w/m2. °k]
t	Temps	[s]
cp	Chaleur spécifique	[j/kg.K]
r1	Rayon intérieur de tube enterré	[m]
r2	Rayon extérieur de tube enterré	[m]
r3	Rayon de la couche adiabatique du sol	[m]
L	Longueur du tube	[m]
x	Cordonnée horizontale	[m]
α	Diffusivité thermique	[m2 /s]
R	Résistance thermique	[m.K/W]
Ts	Température de sortie	[°C]
γ	Masse volumique de l'air	[kg /m3]
ρ	Masse volumique	[Kg/m3]
Λ	Coefficient de perte de charge	Pa
Symbole	Désignation	Unité
Pr	Nombre de prentdl	
Nu	Nombre de nusselt	
Re	Nombre de reynolds	
A	Amplitude des variations de température	[°C]
ω	Pulsation	[Rad/s]
τ	Déphasage.	[Rad]

مقدمة

مقدمة :

إن مصطلح الطاقة المتجددة (Renewable Energy) يعبر عن الطاقة الناتجة من عمليات طبيعية، دون تدخل الانسان، وتتجدد بصورة دائمة. ويوجد في الطبيعة عدّة أنواع منها مثل اشعة الشّمس، والطّاقة الحراريّة الجوفية، والرياح، وأمواج البحر، وطاقة المياه الجارية او الساقطة من المنحدرات، بالإضافة الى طاقة الكتلة الحيويّة بأشكالها المختلفة. ومن اهم مزايا الطّاقة المتجددة بأنّها غير نافذه ومجانيه بالإضافة الى انها طاقه نظيفه. أمّا مفهوم الطّاقة البديلة فإنّه يعبر عن اي مصدر للطاقة يمكن استخدامه بديلا عن الوقود الأحفوري، وغالباً ما يكون من مصادر الطاقة غير التقليدية والتي لا تؤثر في الطبيعة بصورة كبيرة مثل ما يؤثر حرق الوقود الاحفوري.

تُعرّف الطاقة الحرارية الأرضية بأنها طاقة حرارية تُستخدم من درجة حرارة الأرض المستمدة من النواة الأرضية وتُخزن بالتربة والصخور على عمق مُعين. يعتبر الطاقة الحرارية الأرضية مصدراً نظيفاً ومُتجدداً للطاقة، حيثُ يمكن استخدامها في توليد الكهرباء وتدفئة وتبريد المباني. تُعتبر استخدامات الطاقة الحرارية الأرضية عديدة ومتنوعة، مثل التدفئة المركزية للمباني والمنازل، تدفئة المياه، وتوليد الكهرباء. بالإضافة إلى ذلك، فإن استخدام الطاقة الحرارية الأرضية يُعتبر مستداماً وصديقاً للبيئة، حيث أنه لا يُحدث انبعاثات ضارة للغازات الدفيئة ولا يعتمد على الوقود الأحفوري.

بالاستفادة من الطاقة الحرارية الأرضية، يمكن تحقيق التوازن بين الاستدامة والتكلفة، حيثُ تعتبر تقنية الطاقة الحرارية الأرضية حلاً فعالاً واقتصادياً لتلبية احتياجات الطاقة المتنامية في المجتمعات المختلفة.

وتعتمد عملية استخدام الطاقة الحرارية الأرضية في موضوعنا اليوم بشكل خاص الحرارة السطحية واستغلالها ، وهذا يتمثل في ما يعرف بالمبادل حراري هواء-أرض، والذي يطلق عليه عادة "بئر كندي"، والذي شهد نمواً مهماً خلال السنوات القليلة الماضية. يتم

استخدامه لتدفئة المنزل وتبريده بالاستفادة من الهواء الذي يمر خلال أنبوب مدفون في عمق معين. نظرًا لأن درجة حرارة الأرض أقل تقلبًا من درجة حرارة الهواء الخارجي، يتيح ذلك وصول الهواء إلى المنزل بدرجة حرارة أقل. في فصل الشتاء، يتم تسخين الهواء قبل دخوله المنزل، أما في فصل الصيف، يتم تبريده. وبالتالي، يعتبر هذا النظام هو أبسط نظام تدفئة باستخدام الطاقة الجيوحرارية للمنزل، حيث لا يتطلب استهلاك كهرباء سوى اللازمة لتشغيل مروحة تدور الهواء بها، والتي بدورها يمكن ربطها بالطاقة الشمسية ليصبح نظام التكييف يعمل بالطاقة المتجددة .

تصميم النظام أمر حساس نسبيًا بسبب عدد المتغيرات التي يتعين تحسينها: الطول، القطر وعدد الأنابيب، العمق، المسافة بين الأنابيب، وتدفق التهوية. والتغير في درجة حرارة الأرض طوال السنة ، الدليل التصميمي المقدم هنا يهدف إلى تقديم معايير موضوعية لاختيار هذه الخصائص المختلفة.

يستند هذا العمل على محاكاة عددية للتبادل الحراري بواسطة اضطراب الحرارة في أنبوب مدفون في الأرض. يسمح هذا بتسليط الضوء على تأثير القطر والطول والتدفق الحجمي وفرق درجة حرارة الأرض والهواء المدخل على التدفق الحراري المقدم بواسطة المبادل الحراري.

لتحقيق الهدف المحدد في هذا العمل، قمنا بمعالجة هذه المشكلة في ثلاثة فصول

أساسية:

الفصل الأول : يتضمن الفصل الأول دراسة ديموغرافية متعلقة بالأسس الأساسية لتقنية التبريد بواسطة المبادل الحراري تحت الأرض، بالإضافة إلى نظرة عامة عن هذه التقنية.

الفصل الثاني : فقد خصص لدراسة النمذجة الرياضية والرقمية لأداء المبادل الحراري الأفقي أرض-هواء.

الفصل الثالث : عرض النتائج ومناقشتها.

الفصل الأول :
مفاهيم عامة عن الطاقة
الأرضية والمبادلات الحرارية

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

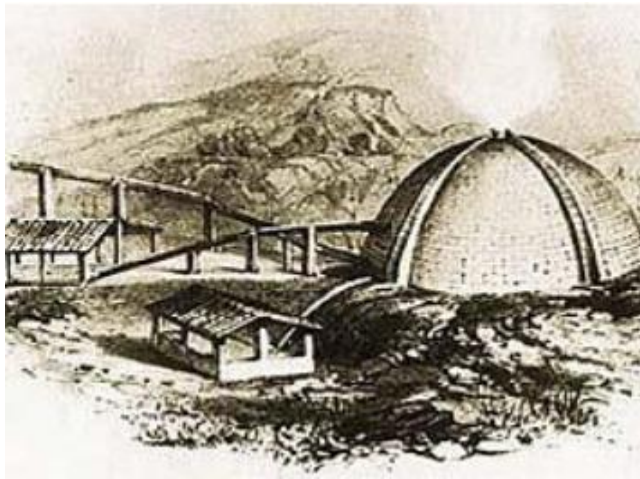
أولاً : الطاقة الحرارية الأرضية :

1. تعريف الطاقة الحرارية الأرضية :

الطاقة الحرارية الأرضية هي استخدام واستغلال الحرارة الطبيعية الباطنية للأرض، كمصدر طاقة محلي وتنافسي ومستدام ومقبول بيئياً واجتماعياً ، لتوليد الكهرباء ولتطبيقات الحرارة المختلفة والمتنوعة.

2. تاريخ الحرارة الأرضية :

تعد الحرارة الأرضية من أقدم أنواع الطاقة التي يستخدمها الإنسان. حيث قام باكتشاف واستغلال الطاقة الحرارية الأرضية منذ آلاف السنين ، إذ لا يمكن تحديد التاريخ الدقيق لاكتشافها ولكن وتشير الأدلة الأثرية إلى أن الاستغلال المباشر للطاقة الحرارية الأرضية حدث قبل 10000 عام على الأقل في أمريكا الشمالية، حيث استغل الهنود الحمر الينابيع الساخنة وحمامات السباحة الطبيعية لأغراض الطهي والاستحمام والدفع. وكذلك تم استغلال الينابيع الساخنة في اليابان طوال العصور القديمة وحتى الآن، فكانت أول شكل من أشكال الطاقة الحرارية الأرضية المستخدمة هناك، فقد تم العثور أيضاً على معسكرات ما قبل التاريخ في اليابان مبنية حول البراكين والينابيع الساخنة، وكانت المناطق البركانية أقطاب جذب بسبب الينابيع الساخنة التي يمكن استخدامها للتدفئة أو طهي الطعام أو الاستحمام فقط.



الشكل 01 : تقنية تسمح بالنقاط

البخار لتشغيل الآلات المخصصة

لضخ الماء الساخن من المنطقة [1].

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

ففي العصور القديمة، استخدم الإغريق والرومان الينابيع الساخنة لبناء وتسخين الحمامات، حيث إن تاريخ تسخين المساحات الحرارية الأرضية يعود على الأقل إلى مدينة بومبي الرومانية خلال القرن الأول الميلادي. فقد اقتصرَت هذه الاستخدامات للطاقة الحرارية الأرضية في البداية على المواقع التي يمكن الوصول فيها إلى الماء الساخن والبخار فقط .

على الرغم من أن أول نظام تدفئة للمناطق في العالم قد تم تركيبه في فرنسا، في القرن الرابع عشر، إلا أنه لم تبدأ المدن الأخرى، وكذلك الصناعات، في إدراك الإمكانيات الاقتصادية لموارد الطاقة الحرارية الأرضية حتى أواخر القرن التاسع عشر. بدأ أول استخدام صناعي للطاقة الحرارية بإيطاليا في أواخر القرن الثامن عشر، حيث تم استخدام البخار القادم من الفتحات الطبيعية والثقوب المحفورة لتشغيل مطحنة. وفي عام 1904 اخترع الأمير ببيرو جينوري كونتي أول محطة للطاقة الحرارية الأرضية في حقل Larderello للبخار الجاف في توسكانا بإيطاليا[1].

وعام 1972، تم إنشاء جمعية الطاقة الحرارية الأرضية (GEA) لتطوير موارد الطاقة الحرارية الأرضية حول العالم لتوليد الكهرباء واستخدامات الحرارة المباشرة. بحلول عام 2015، كان أكثر من 80 دولة تستخدم الطاقة الحرارية الأرضية ، إما بشكل مباشر أو بالشراكة مع GHPs، وكان القادة هم الصين وتركيا وأيسلندا واليابان والمجر والولايات



المتحدة.. في عام 2016 أصبح استخدام الطاقة الحرارية الأرضية لإنتاج الكهرباء في 24 دولة حول العالم.

الشكل 02 : إحدى محطات توليد الطاقة

الكهربائية بإيسلندا [2].

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

تم توصيل الحرارة الجوفية إلى المساكن الأولى في الولايات المتحدة في عام 1892 واستخدمت معظم المدن الحرارة الجوفية بحلول عام 1970. أكبر وأشهر نظام تدفئة المنطقة الحرارية الأرضية موجود في ريكيافيك ، أيسلندا ، حيث تلقى 99 في المائة من المدينة المياه الحرارية الأرضية لتدفئة المساحات ابتداءً من الثلاثينيات. تضمنت تطبيقات الاستخدام الصناعي المباشر المبكرة استخراج مركبات البورات من موانع الطاقة الحرارية الأرضية في لارديريللو بإيطاليا خلال أوائل القرن التاسع عشر.

منذ القرن العشرين وحتى يومنا هذا نمت الحركة الصناعية والانتاجية، مدفوعة باحتياجات الطاقة المتزايدة باستمرار لدعم الحضارة الحديثة، لذا فمستقبل الطاقة الحرارية الأرضية واعد خاصة مع التطور التكنولوجي وتوجه العالم نحو دراسة وتطوير واستغلال مصادر الطاقة المجددة، ولأنها مصدر متجدد للطاقة يمكن استخدامها لتوليد الكهرباء وتوفير استخدامات الحرارة المباشرة. مع ذلك، من المهم ملاحظة أنه يمكن استنفاد موارد الطاقة الحرارية الأرضية إذا تجاوز معدل استخراج الحرارة معدل إعادة الشحن الطبيعي للحرارة. وتتوسع استخدامات الطاقة الحرارية الأرضية باطراد مع تطور تقنيات المبادلات الحرارية[3].



الشكل 03 : منبع ساخن

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

3. إستعمالات الطاقة الحرارية الأرضية :

تُعدّ استغلال الطاقة الحرارية الأرضية أحد أهم وسائل التنمية المستدامة وتوفير الطاقة البديلة. يعتمد هذا النوع من الاستغلال على استخدام حرارة الأرض الداخلية المستمدة من الطاقة الحرارية الجوفية أو العبور عبر المسام أو الماء الجوفي الساخن الذي يُستخدم لتوليد الكهرباء أو تدفئة وتبريد المباني.

إن الاستفادة من الطاقة الحرارية الأرضية توفر العديد من المزايا، حيث يمكن استخدامها على مدار العام دون الاعتماد على ظروف الطقس الخارجية. كما أنها تعتبر واحدة من أكثر مصادر الطاقة نظافةً والتي يُصنّف تحت فئة الطاقة المتجددة. يُعتقد أن الطاقة الحرارية الأرضية يمكن أن تلبّي احتياجات العديد من المناطق حيث تتوفر التكنولوجيا والموارد الطبيعية اللازمة.

علاوة على ذلك، يعتبر الاستفادة من الطاقة الحرارية الأرضية طريقة اقتصادية ومستدامة لتوليد الكهرباء. فالحفاظ على الطاقة وتقليل الانبعاثات الضارة تعزز الاستفادة البيئية وتوفر الفوائد الاقتصادية على المدى الطويل. وبالتالي، يمكن استغلال الطاقة الحرارية الأرضية في مختلف المجالات بغية توفير مصادر طاقة مستدامة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري.

نذكر بعض الأمثلة عن استعمال الطاقة الحرارية الأرضية

- نظام تسخين الأرض: يُستخدم في تدفئة المباني السكنية والتجارية وتسخين المياه باستخدام أنابيب تمرر بها المياه الساخنة المستمدة من الطاقة الحرارية الأرضية.
- التبريد الأرضي: يُستخدم في تبريد المباني باستخدام أنظمة التبريد الأرضية الجيوثيرمالية المستمدة من الطاقة الحرارية الأرضية لتبريد الهواء بشكل فعال واقتصادي.

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

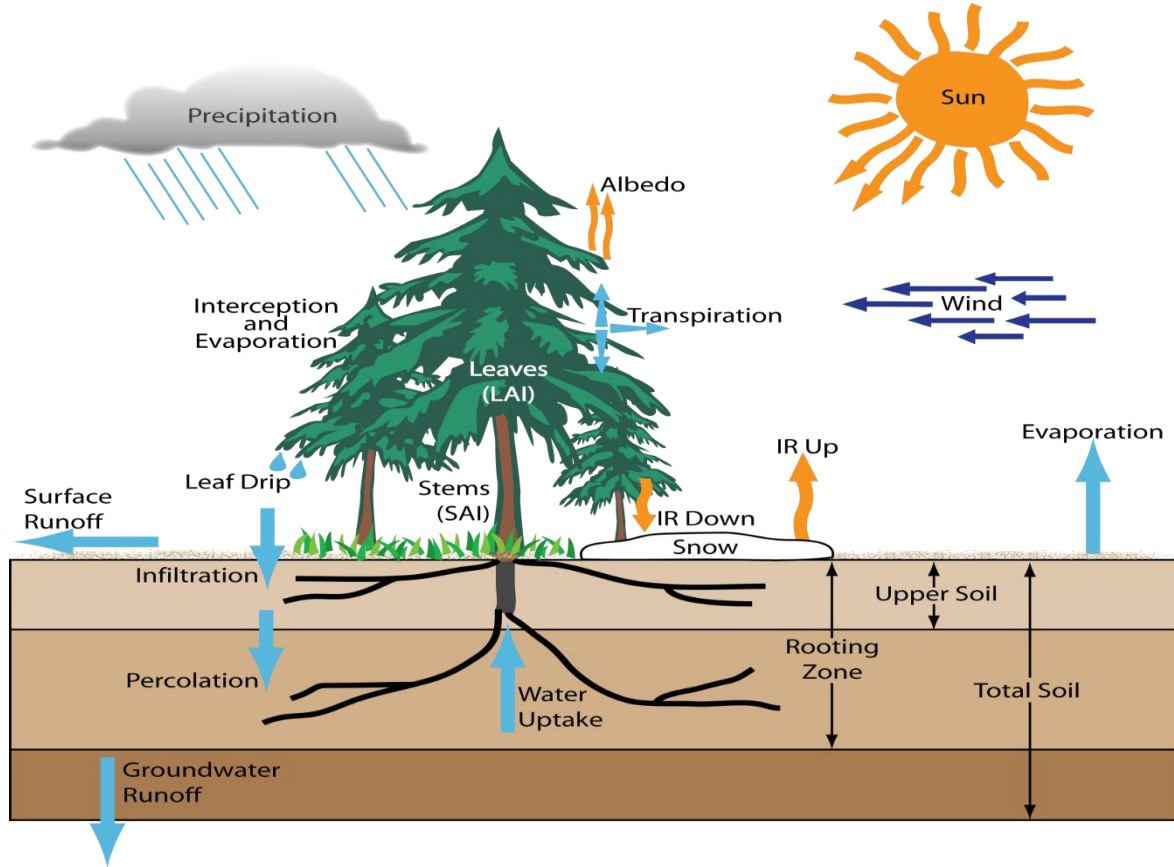
- توليد الكهرباء: يُستخدم في توليد الكهرباء باستخدام أنظمة الطاقة الحرارية الجيوثيرمالية التي تستخدم البخار المستمد من الطاقة الحرارية الأرضية لتشغيل التوربينات وتوليد الكهرباء.
- تدفئة الماء الساخن الصناعي: يُستخدم في تدفئة الماء الساخن المستخدم في الصناعات المختلفة باستخدام أنظمة التدفئة الأرضية التي تعتمد على الطاقة الحرارية الأرضية.
- الزراعة الحرارية: يُستخدم في توفير الحرارة اللازمة لتنمية المحاصيل الزراعية في المستنقعات الحرارية التي تُسخَّن باستخدام الطاقة الحرارية الأرضية، مما يساعد على زيادة إنتاجية المحاصيل وتقليل استخدام الموارد الطبيعية.

4. المخطط الحراري للأرض :

يتم إجراء التحقيقات على التربة وتغيراتها اليومية والسنوية في العديد من الأماكن المختلفة في جميع أنحاء العالم ، وهناك مؤلفات شاملة عن طبقات التربة العلوية، يمكن أن يكون التباين اليومي في درجات الحرارة كبيراً إلى حد ما، ويحدث تغير هام في درجة الحرارة سنوياً إلى عمق كبير. يصعب ملاحظة التغير اليومي في درجة الحرارة إلى أعماق أكبر من 50 إلى 70 سم ، اعتماداً على ظروف التربة والغطاء السطحي وكثافة الإشعاع. يصل التباين السنوي في درجات الحرارة إلى عمق كبير.

تتكون الطاقة الواردة (الموجهة نحو سطح الأرض) من أشعة الشمس أو الموجات القصيرة من الشمس والإشعاع الحراري أو الإشعاع طويل الموجة من الغلاف الجوي. إذ تستقبل التربة عملياً كل طاقتها من الشمس. لذلك يرتبط اختلاف درجة حرارة التربة ارتباطاً وثيقاً بارتفاع الشمس. يستخدم الإشعاع الشمسي الداخل بطرق مختلفة. يعكس السطح جزء كبير منه. (حوالي 20 في المائة تمتصها النباتات الخضراء). تُستخدم الطاقة المتبقية لتسخين التربة والهواء، والتبخّر، والتمثيل الضوئي، وغيرها... [4].

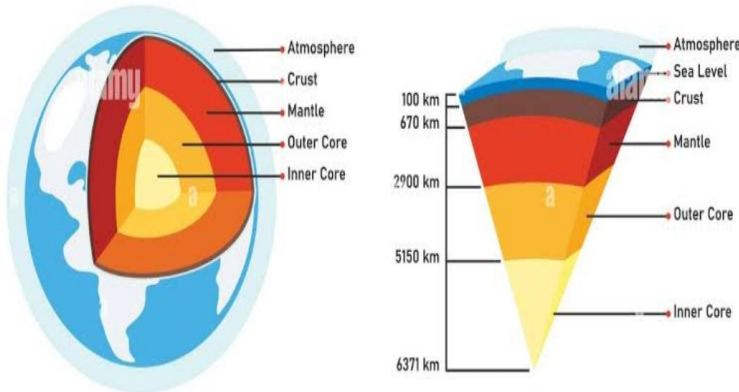
الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية



الشكل 04 : المخطط الحراري

5. أنواع الطاقة الحرارية الأرضية :

إن الطاقة الحرارية الأرضية هي مصدر مثير للاهتمام للغاية للطاقة لأنها لا تعتمد على الظروف الخارجية (الطقس وما إلى ذلك) ، فهي "نظيفة" نسبيًا ولا تتضرب. وعندما نتحدث عن الطاقة الحرارية الأرضية، يجب أن نتحدث عن أنواع الطاقة الحرارية الأرضية، في طبقات الأرض المختلفة والتي تتمثل في:



الشكل 05 : طبقات الأرض

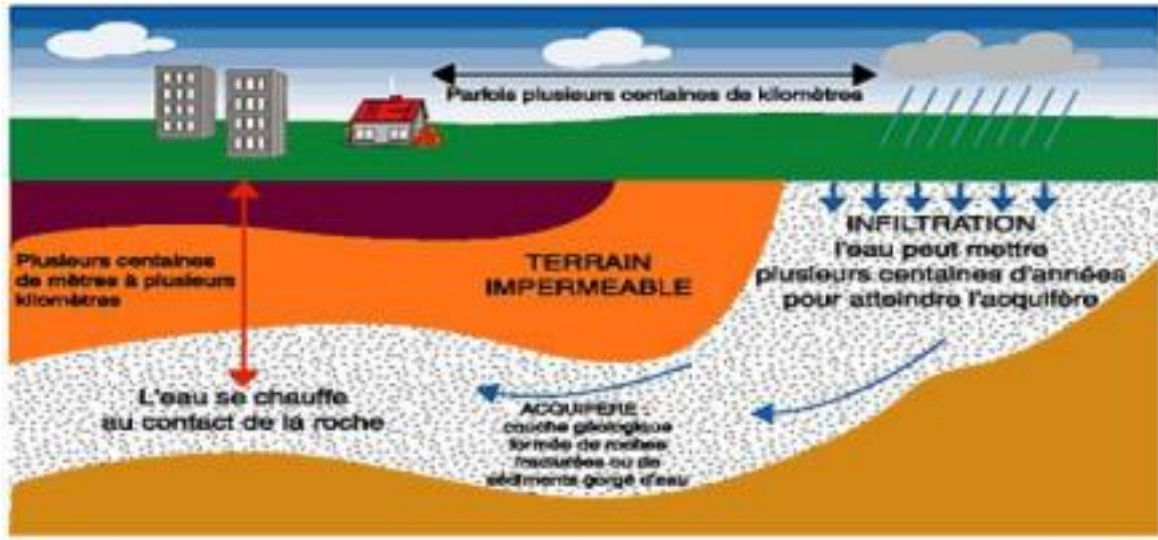
ودرجة حرارتها

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

1.5 - طاقة حرارية أرضية منخفضة للغاية :

الطاقة الحرارية الجوفية عند درجات حرارة أقل من 40 درجة مئوية. والتي تكون على عمق أقل من 30 متراً، إذ يتم استخدام درجة الحرارة المنخفضة جداً هذه للتدفئة أو التبريد حسب الحاجة إذا تم إضافة نظام مضخة حرارية.

ففي كل نقطة على الكوكب، بما في ذلك مناطق الطابق السفلي البلوري، من الممكن التقاط وتحويل الحرارة المخزنة في الطبقات السطحية من باطن الأرض على عمق بضعة أمتار لتدفئة المنازل باستخدام مضخات الحرارة الجوفية.



الشكل 06 : الطاقة الحرارية الأرضية منخفضة الطاقة

2.5 - طاقة حرارية جوفية منخفضة الطاقة :

الطاقة الحرارية الجوفية بدرجات حرارة تتراوح من 40 درجة مئوية إلى 90 درجة مئوية. غالباً ما تكون على أكثر من 100 إلى 400 متر ، إذ يكون مستوى درجة الحرارة منخفضاً جداً بحيث لا يكون له كفاءة مثيرة للاهتمام في تحويل الحرارة إلى الكهرباء ، وهو مثالي لتدفئة العمارات وتطبيقات صناعية معينة بالإضافة إلى عمليات تكييف الهواء.

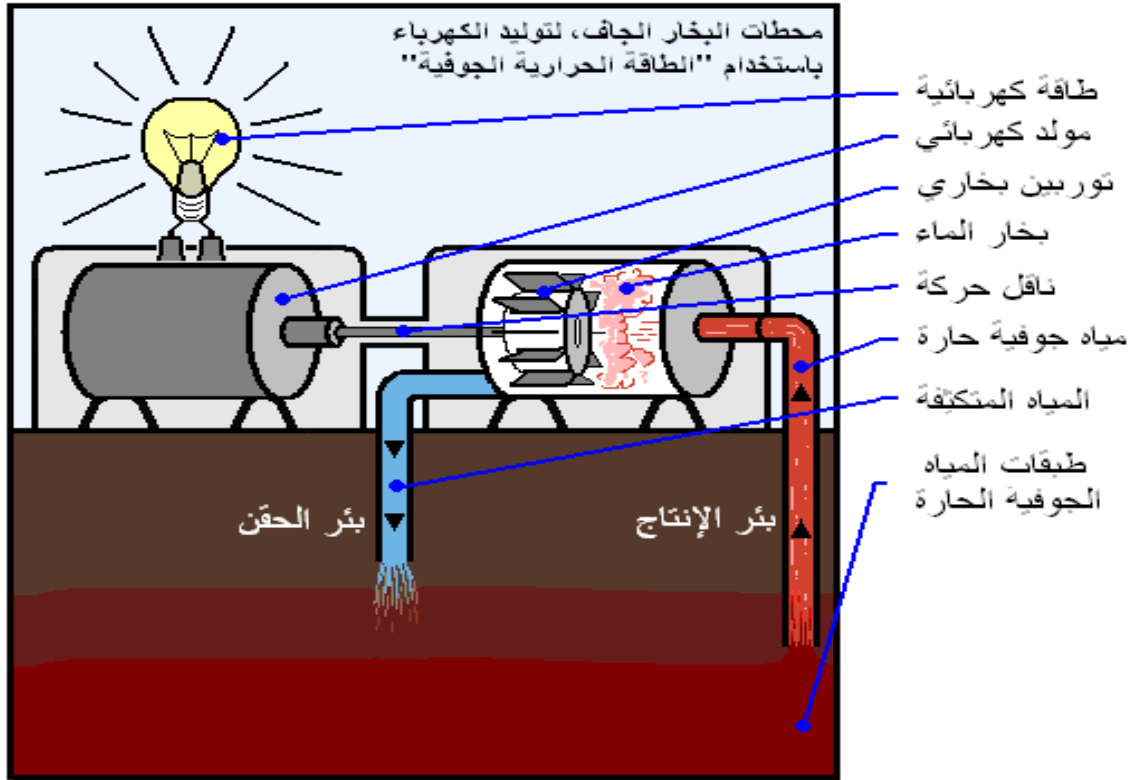
الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

3.5 - طاقة حرارية أرضية متوسطة الطاقة :

من بضعة أمتار تحت سطح الأرض، وعمومًا على عمق ضحل (أقل من 1000 متر)، تكون درجة حرارة الأرض ثابتة طوال العام ، يستمد هذا الشكل من الطاقة الحرارية الأرضية الفردية الطاقة من باطن الأرض باستخدام مسبار عمودي واحد (أو أكثر).

توجد موارد الطاقة المتوسطة الموجودة في العديد من الأماكن حول العالم في نفس البيئة الجيولوجية مثل الطاقة الحرارية الأرضية عالية الطاقة ، لكنها تختبئ أيضًا في أحواض رسوبية على أعماق تتراوح من 2000 إلى 4000 متر.

تحدث الطاقة الحرارية الجوفية متوسطة الطاقة أيضًا في عدد كبير من المناطق المحلية للغاية حيث تحدث الانقطاعات في الصخور ، وهي عيوب يمكن من خلالها أن ترتفع المياه بسهولة إلى السطح ، مما يشير إلى وجودها بواسطة الينابيع الساخنة.

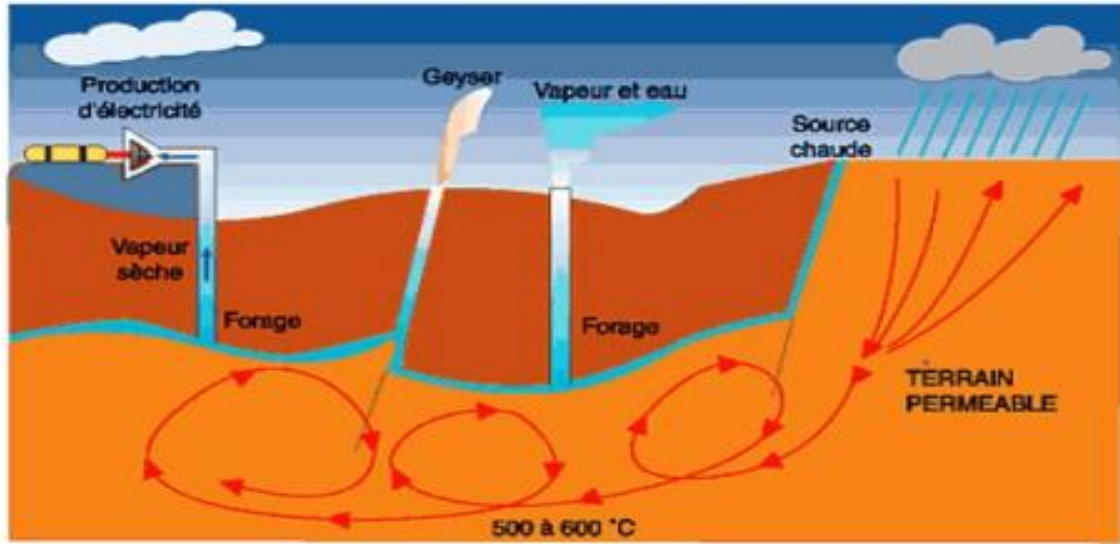


الشكل 07 : رسم بياني يوضح آلية عمل محطات البخار الجاف

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

4.5 - طاقة حرارية أرضية عالية الطاقة :

الموارد الحرارية الأرضية عالية الطاقة التي تتجاوز درجة حرارتها 150 درجة مئوية تقع بين 1500 و 3000 متر في العمق ، في مناطق جغرافية ذات تدرج حراري أرضي مرتفع بشكل غير طبيعي.



الشكل 08 : طاقة حرارية أرضية عالية الطاقة

يتم إجراء حفر للوصول إلى هذه الصخرة. بعد ذلك ، يتم إجراء التكسير بالماء تحت ضغط مرتفع لتحسين نفاذية هذا الصخر. يُحقن الماء في هذا الكسر عبر حفرة بئر ثانية، ويُسخن بالتلامس مع الصخر ، ثم يُضخ إلى السطح. بمساعدة المبادل الحراري ، تسخن الطاقة الحرارية وتحول السائل العامل إلى غاز تحت الضغط. هذا الأخير ينتج الكهرباء عن طريق تشغيل مولد توربيني. يتم حقن الحرارة المهذرة في شبكة تدفئة المنطقة. يتم إرجاع المياه التي تم ضخها إلى الأرض بعد التبريد.

6. إيجابيات وسلبيات الطاقة الحرارية الأرضية :

تعتبر تكنولوجيا استخدام الطاقة الحرارية الأرضية أحد أهم وسائل ترشيد استغلال الموارد الطبيعية وتحقيق الاستدامة البيئية. فبدلاً من الاعتماد على مصادر طاقة تلوثية ومحدودة مثل الوقود الأحفوري، يمكننا الاستفادة من حرارة الأرض لتدفئة وتبريد المباني.

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

كما يسهم استخدام هذه التكنولوجيا في توفير موارد طبيعية قيمة مثل المياه والمحروقات. وبهذه الطريقة، نساهم جميعاً في الحفاظ على بيئتنا للأجيال القادمة.

لاستخدام الطاقة الحرارية الأرضية العديد من الفوائد نذكر منها:

- الطاقة الحرارية الأرضية هي مصدر طاقة نظيف وقليل الانبعاثات، حيث تعتمد على استخدام حرارة الأرض الطبيعية التي تنتج عن تفاعلات الطبقة الداخلية للأرض.
- يمكن أن توفر الطاقة الحرارية الأرضية توفيراً كبيراً في فاتورة الطاقة، حيث تعتبر تقنية فعالة واقتصادية لتدفئة وتبريد المباني.
- تعتبر الطاقة الحرارية الأرضية مصدراً ثابتاً ومتجدداً طوال العام، وبالتالي لا يعتمد على الظروف الجوية مثل الرياح أو أشعة الشمس.
- الأنظمة الأرضية الحرارية تحتاج إلى صيانة بسيطة وملحوظة أقل من غيرها من أنظمة الطاقة المتجددة، مما يقلل من التكاليف التشغيلية على المدى الطويل.
- الأنظمة الأرضية الحرارية لا تصدر اهتزازات أو ضجيج عند التشغيل، مما يجعلها خياراً هادئاً ومريحاً للمستخدمين.
- يمكن أن تكون الأنظمة الأرضية الحرارية مرنة وقابلة للتوسعة، مما يسمح بتوصيلها بعدد أكبر من المباني أو المستخدمين حسب الحاجة.
- بالإضافة إلى توفير التدفئة والتبريد، يمكن أيضاً استخدام الطاقة الحرارية الأرضية لتوليد الكهرباء بواسطة نظام الاحتراق الداخلي المزدوج.
- تساهم استخدام الطاقة الحرارية الأرضية في تقليل الاعتماد على المصادر الأحفورية للطاقة وتقليل التلوث البيئي.
- النظام الأرضي الحراري يمكن أن يساهم في زيادة قيمة العقارات والممتلكات التي تستخدم هذه التكنولوجيا الحديثة والمستدامة.

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

- العمر الافتراضي لأنظمة الطاقة الحرارية الأرضية طويل جدًا، ومن المتوقع أن تدوم لعقود وتعتبر استثمارًا مستدامًا على المدى الطويل.
- تعتبر الطاقة الحرارية الأرضية هي واحدة من أكثر مصادر الطاقة فائدة. إذ إنها ليست نوعًا متجددًا من الطاقة فحسب، بل إنها موجودة أيضًا في معظم المجالات، وتتفوق حتى على بعض المصادر التقليدية في العديد من الجوانب.
- من المزايا الرئيسية للطاقة الحرارية الأرضية هي أنها مصدر مستدام للطاقة متوفر دائمًا، على عكس طاقة الرياح والطاقة الشمسية.
- من السهل حساب الطاقة المتولدة من موارد الطاقة الحرارية الأرضية لأنها لا تتقلب بنفس الطريقة مثل مصادر الطاقة الأخرى، مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. هذا يعني أنه يمكننا التنبؤ بإخراج الطاقة من محطة للطاقة الحرارية الأرضية بدرجة عالية من الدقة.
- بالرغم من كل هذه المميزات إلا أن استغلال الطاقة الحرارية الأرضية يواجه العديد من التحديات والتي نذكر منها :
 - تكلفة تركيب أنظمة الطاقة الحرارية الأرضية عالية وقد لا تكون متاحة للجميع. حيث يتطلب التركيب العديد من النفقات مثل حفر الآبار وتمديد الأنابيب، وهو عمل مكلف ويحتاج إلى تخطيط واستعداد جيدين.
 - قد يواجه المستخدمون تحديات تقنية في تشغيل وصيانة أنظمة الطاقة الحرارية الأرضية. يجب أن يتم توفير فريق فني مهرة لمراقبة وصيانة الأنظمة بشكل دوري لضمان عملها بشكل صحيح وفعال.
 - قد تواجه الحكومات والمؤسسات قيودًا قانونية وتنظيمية عند استخدام الطاقة الحرارية الأرضية. قد تتطلب بعض البلدان إجراءات تصريح وتراخيص صارمة لتركيب أنظمة

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

- الطاقة الحرارية، وهذا يمكن أن يزيد من تكلفة المشروع ويطيل الوقت اللازم للتنفيذ.
- قد يتأثر أداء أنظمة الطاقة الحرارية الأرضية بعوامل خارجية مثل تغيرات درجات الحرارة أو التغيرات في محتوى المياه الجوفية. قد يحدث تراكم للرواسب في الأنابيب أو انسدادات تؤثر بشكل سلبي على تدفق المياه وبالتالي تأثير كفاءة الاستخدام.
- قد يواجه المستخدمون صعوبة في الحصول على تمويل لتركيب أنظمة الطاقة الحرارية الأرضية، حيث قد يكون المستثمرون غير متأكدين من العائد المالي على المدى الطويل بسبب الاستثمار الكبير المطلوب.
- الطاقة الحرارية الأرضية تحتاج إلى مساحة كبيرة لتركيب الآبار والأنابيب، وقد لا تكون هذه المساحة متاحة في المناطق الحضرية المكتظة.
- بعض البلدان قد تكون معرضة لمخاطر زلازل وثوران البراكين، مما يزيد من خطر التلف الجيولوجي ويؤدي إلى انقطاع في إمدادات الطاقة الحرارية، إذ يمكن أن يؤثر التلف الجيولوجي على الأنابيب والآبار مما يتطلب تكاليف إصلاح وصيانة مستمرة.
- قد يكون من الصعب إجراء توسعات لأنظمة الطاقة الحرارية الأرضية، خاصة في حالة زيادة استهلاك الطاقة أو زيادة عدد المستخدمين.
- التوافر المحلي للمياه الجوفية يمكن أن يكون تحدياً، حيث قد لا تكون المياه الجوفية متوفرة بشكل كافٍ في المناطق الصحراوية أو الجافة.
- التمدد والانكماش الحراري يمكن أن يؤثر على الأنابيب ويسبب تلفاً في النظام مع مرور الوقت.
- قد يكون من الصعب تجاوز العقبات البيروقراطية والقانونية الخاصة بتركيب أنظمة الطاقة الحرارية الأرضية، مما يزيد من تكلفة المشروع ويطيل الوقت الذي يستغرقه التنفيذ.

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

- واحدة من أكبر عيوب الطاقة الحرارية الأرضية هي أنها خاصة بالموقع.
- تحتاج محطات الطاقة الحرارية الأرضية إلى أن تُبنى في أماكن يمكن الوصول فيها إلى الطاقة ، مما يعني أن بعض المناطق غير قادرة على استغلال هذا المورد[5].

ثانيا : المبادلات الحرارية (أرض-هواء)

1. تعريف المبادلات الحرارية :

المبادل الحراري هو جهاز مسؤول عن نقل الحرارة من سائل إلى مائع مجاور. في الواقع، يمكن القول أن القدرة على الحفاظ على الحرارة المنتجة في الصناعة وإعادة استخدامها.

تقوم المبادلات الحرارية بنقل الحرارة على النحو الأمثل من سائل (سائل أو غاز) إلى سائل آخر، بسبب محدودية موارد الطاقة وزيادة الأسعار والحواجر المتعلقة بحماية البيئة واستخدام هذا الجهاز في الصناعة معقولة وفعالة من حيث التكلفة، اعتمادًا على التطبيق والمساحة المستخدمة ونوع السوائل المستخدمة، فإن هذه الأجهزة (المبادلات الحرارية) لها تصميمات مختلفة مع سبائك مختلفة، ولكنها غالبًا ما تتبع مبدأ واحدًا، مثل الحرارة (الحرارة أو البرودة). يتم نقلها بين سائلين (سائل أو غاز) دون أن تتلامس المادتان أو تتصادم مع بعضهما البعض في بعض المحولات، يقوم السائلين بنقل الحرارة أو الطاقة من خلال التلامس المباشر. على سبيل المثال، مبرد المياه المنزلي هو مبادل حراري بنظام اتصال مباشر ثنائي السوائل.

يمكن للمبادلات الحرارية إجراء عمليات نقل الحرارة بين سائلين أو أكثر ويمكن إجراء هذه العملية بين "سائل وسائل" و "غاز وغاز" وأيضًا بين "سائل وغاز" بواسطة المبادلات الحرارية.

هناك تطبيقات مختلفة في استخدام المبادلات الحرارية ، اعتمادًا على نوع الاستخدام ، يمكن أن تكون التدفئة أو التبريد.

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

من بين المبادلات الحرارية ، يتم استخدام نوعين من المبادلات الحرارية ذات الغلاف والأنبوب والمبادلات الحرارية للوحة أكثر من الحالات الأخرى.

2. تصنيف المبادلات الحرارية :

يمكن تصنيف المبادلات الحرارية بثلاثة أنماط تدفق مختلفة:

1.2 - تدفق مع التيارات المشتركة (Parallel flow heat exchang) :

وهي عبارة عن تدفقات متوازية من السوائل وفي نفس الاتجاه. بحيث تدخل السوائل إلى محول الطاقة بالتوازي وفي نفس الاتجاه ويتم إرسالها إلى نفس المخرج. وتجدر الإشارة إلى أنه: في تيار متجانس ، لا يمكن أن تصل درجة حرارة السائل البارد الخارج من المبادل إلى درجة حرارة السائل الناتج الساخن.



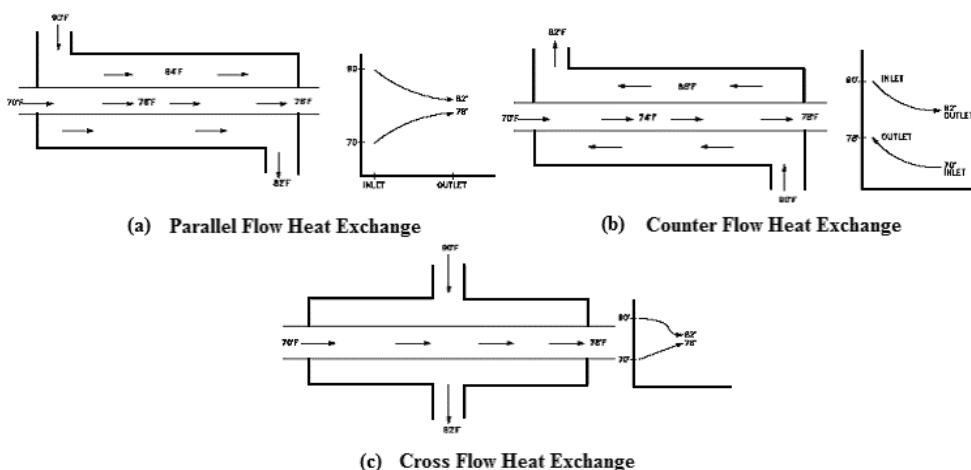
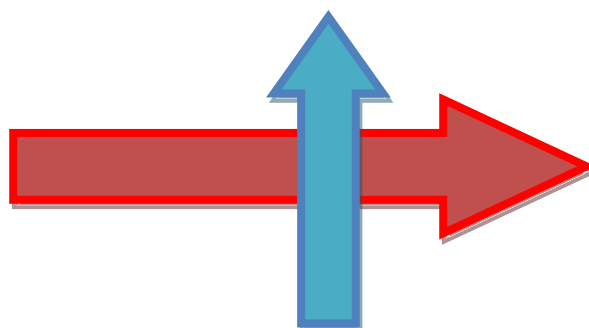
2.2 - تدفق عكس التيار (Counter flow heat exchang) :

مثل التدفق المتوازي ، إلا أنه تتحرك السوائل بالتوازي مع بعضها البعض، ولكنها تمر عبر محول الطاقة في الاتجاه المعاكس. يتميز التدفق غير المحاذي للسوائل بكفاءة أعلى من التدفق المحاذي ، بحيث يمكن أن تكون درجة حرارة السائل الناتج البارد (في حالة التبريد) أعلى من درجة حرارة السائل الساخن الناتج لدينا.



3.2 - تدفق مع التيارات المتقاطعة (Cross flow heat exchange) :

في التدفق العمودي (المتقاطع) ، كما يوحي اسمه، لا تتبادل السوائل الحرارة بالتوازي ، ولكنها تتصادم بشكل غير مباشر وأفقياً مع بعضها البعض ، وبالتالي يحدث انتقال درجة الحرارة. هذه هي الطريقة التي تعمل بها المبادلات الحرارية المبردة بالهواء.



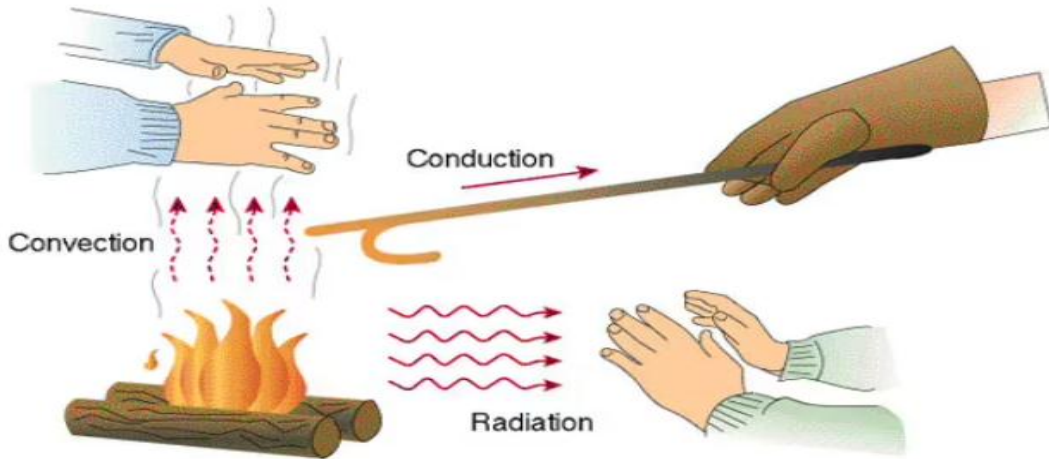
الشكل 09 : تصنيف المبادلات الحرارية

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

3. أنواع الإنتقال الحراري :

يؤدي أي فرق في درجة الحرارة داخل جسم ما أو بين أجسام أو أنظمة مختلفة إلى انتقال الحرارة، حتى يتحقق التوازن في درجة الحرارة. ومن الممكن أن تتم عملية انتقال الحرارة هذه بثلاث طرق مختلفة :

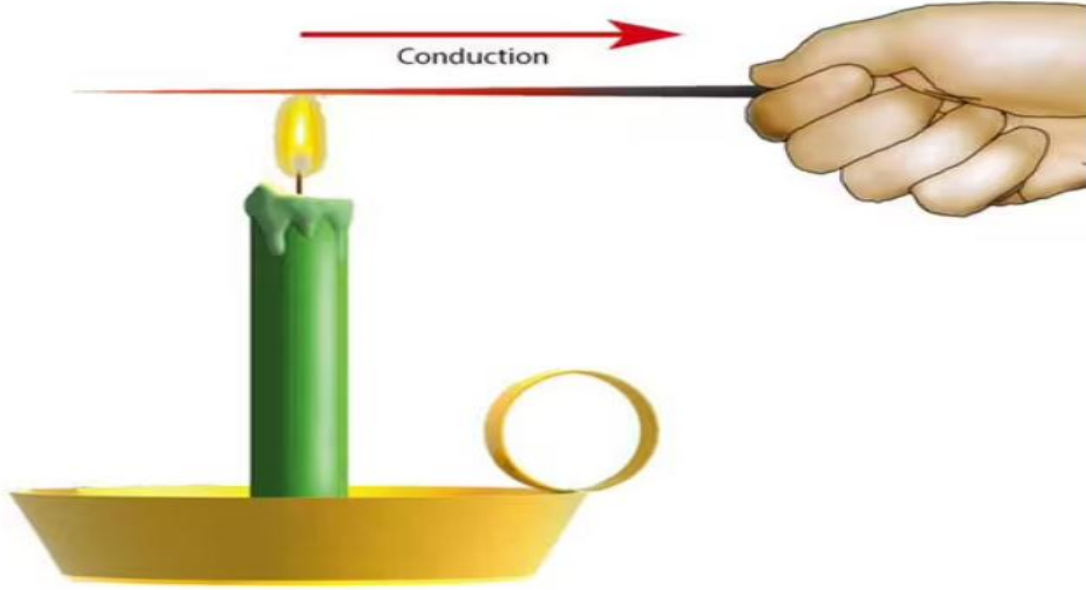
- عبر التوصيل Conduction
- عبر الحمل الحراري Convection
- عبر الإشعاع Radiation



الشكل 10 : أنواع الإنتقال الحراري

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

1.3 - إنتقال الحرارة بالتوصيل (Conduction) :



الشكل 11 : إنتقال الحرارة بالتوصيل

إنتقال الحرارة بالتلامس المباشر بين الجسيمات. ويحدث هذا الأمر بين الأجسام الصلبة أو الطبقات الرقيقة من السوائل أو الغازات. تفقد الذرات المتحركة جزءًا من طاقتها الحركية إلى الذرات المجاورة الأقل حركة.

ويعبر عنه بالصيغة الرياضية التالية: $Q = -K.A.t. \Delta T / \Delta X$

بحيث :

Q : الطاقة الحرارية (جول J)

K : معامل الناقلية الحرارية -الموصلية- (واط/متر.كلفن) (W/m.K)

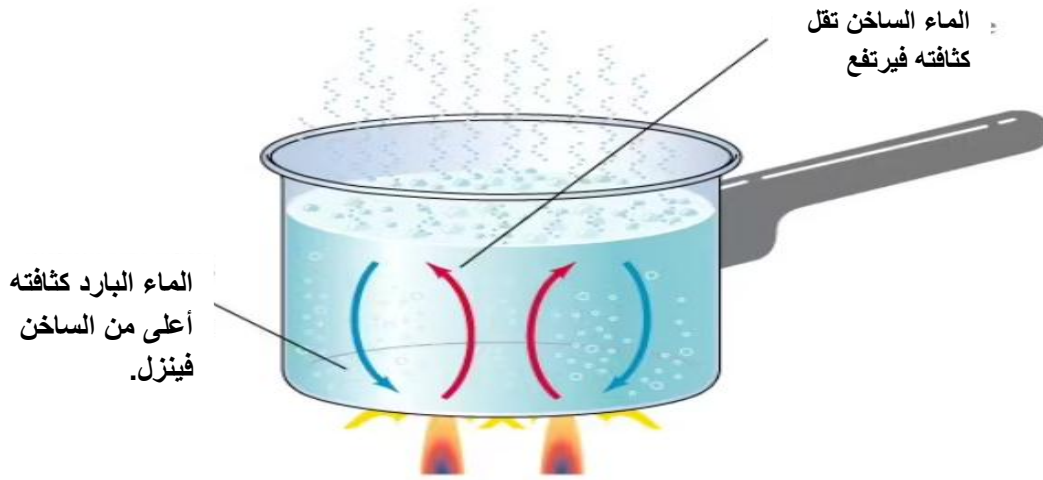
A : مساحة التلامس (التبادل الحراري) (متر²) (m²)

t : الزمن (ثانية) (S)

ΔT : التغير في درجة الحرارة (البارد - الساخن) (كلفن K) أو (سيليسيون C°)

ΔX : المسافة (متر) (m)

2.3 - الانتقال الحراري بالحمل الحراري (Convection) :



الشكل 12 : إنتقال الحرارة بالحمل الحراري

وهو انتقال الحرارة بين السطح الصلب الساخن والمائع (غاز أو سائل) الساكن أو المتحرك المجاور، يعززه امتزاج جزء من المائع بآخر. وقد يحدث في صورة حمل حراري حر، من خلال الحركة الطبيعية في الوسط نتيجة للفرق في الكثافة بسبب الاختلافات في درجة الحرارة. وقد يحدث أيضاً في صورة حمل حراري قسري نتيجة حركة المائع بفعل العوامل الميكانيكية، كالمروحة أو المضخة. ينتج الحمل الحراري القسري مستوى انتقال حرارة أعلى بشكل كبير نتيجة لسرعات الامتزاج الأعلى.

ويعبر عنه بالصيغة الرياضية التالية: $Q = -h.A.t.\Delta T$

بحيث :

Q : الطاقة الحرارية (جول J)

K : معامل انتقال الحرارة Heat Transfer Coefficient (واط/متر²×كلفن (W/m².K)

A : مساحة التلامس (التبادل الحراري) (متر مربع m²)

t : الزمن (ثانية S)

ΔT : التغير في درجة الحرارة (البارد- الساخن) (كلفن K)

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

دول العالم تعمل على تطوير وتحسين تكنولوجيا المبادل الحراري أرض-هواء في العديد من الصناعات والتطبيقات. وتشمل بعض هذه المجهودات:

1- تطوير تكنولوجيا المبادل الحراري الهوائي في مجال التدفئة والتبريد المنزلي والتجاري. يتم استخدام المبادل الحراري الهوائي لنقل الحرارة بين هواء التكييف والهواء الخارجي، مما يساعد في توفير الطاقة وتحسين كفاءة التبريد والتدفئة.

2- تطوير مبادلات حرارية هوائية فعالة في مجال الصناعات الكيميائية والبتروولية. يتم استخدام المبادلات الحرارية الهوائية في هذه الصناعات للتحكم في درجة الحرارة وتبريد العمليات، وتقليل استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة الإنتاج.

3- تطوير نظم المبادلات الحرارية الهوائية في مجالات الطاقة المتجددة والمحطات الحرارية. تستخدم هذه النظم لتبريد السائل التبريد لمحطات الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية والطاقة الرياحية، وتحسين كفاءة الحرارة المتولدة في محطات توليد الطاقة الحرارية.

4- تطوير مبادلات حرارية هوائية في مجال الصناعات الغذائية والدوائية. يتم استخدام المبادلات الحرارية الهوائية في هذه الصناعات لتجفيف وتبريد المنتجات الغذائية والأدوية، وتحسين جودة المنتجات وإطالة عمر الصلاحية.

تتنافس الدول في تطوير تكنولوجيا المبادل الحراري أرض-هواء والسعي لتحقيق أعلى كفاءة وأقل استهلاك للطاقة في هذه العمليات. وتتضمن بعض الدول الرائدة في هذا المجال الولايات المتحدة والصين وألمانيا واليابان وكوريا الجنوبية وغيرها.

3.3 - الإنتقال الحراري بالإشعاع:



الشكل 13 : إنتقال حراري بالإشعاع

يقصد به انتقال الحرارة بواسطة الموجات الكهرومغناطيسية. عندما تقف في الشمس ، تشعر بالدفء بسبب الموجات الكهرومغناطيسية ، وخاصة الأشعة تحت الحمراء -أي بمعنالضوء المرئي ولا مرئي- التي تنتقل من الشمس إلى الأرض. بالإضافة إلى الشمس ، تقوم المصابيح الكهربائية والمكاوي والميكرويف أيضاً بنقل الحرارة عبر الإشعاع. لاحظ أنه على عكس التوصيل أو الحمل الحراري، لا يحتاج نقل الحرارة بالإشعاع إلى أي مادة للمساعدة في النقل. [7].

ويمثل بالصيغة الرياضية التالية : $Q = -K.A.t. \Delta T / \Delta X$

بحيث :

Q : الطاقة الحرارية (جول J)

K : معامل الناقلية الحرارية -الموصلية- (واط/متر²كلفن (W/m.K)

A : مساحة التلامس (التبادل الحراري) (متر مربع m²)

t : الزمن (ثانية S)

ΔT : التغير في درجة الحرارة (البارد- الساخن) (كلفن K)

ΔX : المسافة (متر m).

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

ثالثا : المبادل الحراري (أرض-هواء) :



الشكل 14 : مبادل حراري أرضي

1. تعريف المبادل الحراري (أرض-هواء) :

المبادل الجوي-الأرضي (échangeur air-sol ECAS) هو نظام حراري أرضي منخفض الطاقة للغاية يستخرج الطاقة الحرارية الموجودة في الأرض لتبريد أو تسخين الهواء المتدفق للمبنى. وتتكون من أنبوب أو أكثر مدفونين على عمق معين في الأرض ليسمح بنقل الحرارة بين الهواء والأرض لتبريد الهواء خلال الصيف وتسخينه في الشتاء.

يتمثل مبدأ هذا النظام في حقن تدفق الهواء من الخارج إلى داخل المبنى بمروحة لضمان تدفق الهواء اللازم، إذ يُجبر الهواء على النزول عبر الأنابيب، فيتم التبادل الحراري بين الهواء والأرض.

الشكل 15: أنواع المبادل

الحراري الأرضي

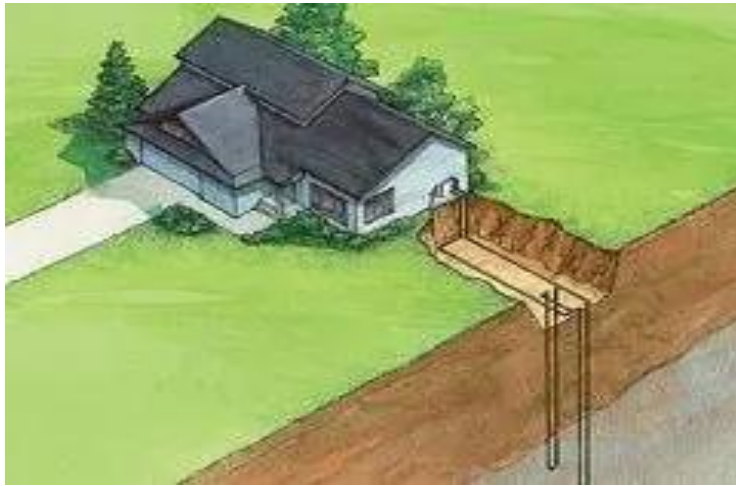


الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

2. أنواع المبادل الحراري أرض-هواء :

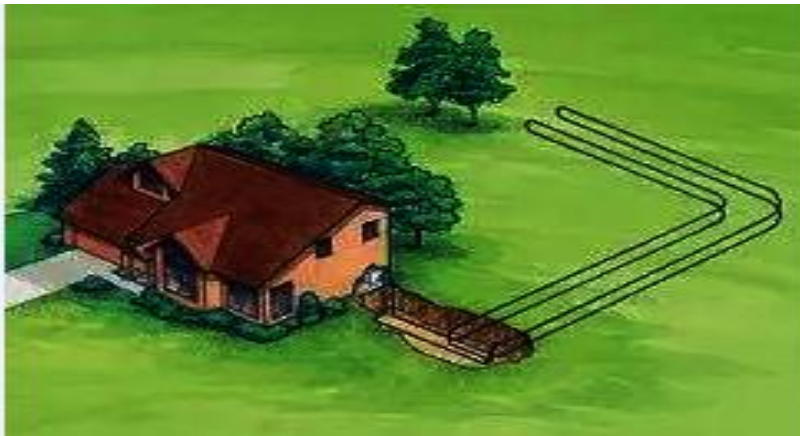
يوجد نوعان للمبادل الحراري أرض-هواء:

- **مبادل حراري عمودي** : من على عمق 20 مترًا ، تكون درجة حرارة باطن الأرض ثابتة ولا تعد تعتمد على النهار أو الليل، أو حتى على الفصول. و يُقدَّر العلماء أن درجة الحرارة تزداد بمقدار 1 درجة مئوية كل 33 مترًا. هذا المصدر الحراري الأرضي مناسب تمامًا لمنشآت التدفئة اللامركزية مثل المنازل العائلية والمباني الصغيرة والمنازل وقاعات المدينة والمدارس والقاعات متعددة الأغراض.



الشكل 16 : المبادل الحراري الأرضي العمودي

- **مبادل حراري أفقي** : وهي النظام الأكثر فعالية من حيث التكلفة والشائع للمنازل السكنية ، عندما تتوفر مساحة كافية لوضع نظام ، ومن السهل حفر الخنادق. يتم وضع الأنابيب في الخنادق بطول 20 مترًا كأدنى حد لتحقيق كفاءته.



الشكل 17 : المبادل الحراري الأرضي الأفقي

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

3. الأنابيب المستعملة في المبادل الحراري أرض-هواء:

يستخدم الأنابيب في تصميم المبادل الحراري أرض-هواء لنقل الهواء الساخن أو البارد. تعتبر خاصية النقل الحراري الفعالة للأنابيب هي المعيار الأساسي عند اختيار نوع الأنابيب المستخدمة في تصنيع المبادلات الحرارية. تستخدم الأنابيب المصنوعة من مواد مختلفة في المبادل الحراري أرض-هواء. من أمثلة هذه المواد:

1. النحاس: يستخدم على نطاق واسع في صناعة المبادلات الحرارية نظرًا لقدرته على نقل الحرارة بشكل فعال وسرعة انتقالها. كما يتميز النحاس بمقاومته للتآكل والتآكل بالحرارة وقدرته على التحمل العالي.

2. الألومنيوم: يستخدم الألومنيوم في تصنيع المبادلات الحرارية بفضل مقاومته للتآكل وخفة وزنه ومرونته. تعد الأنابيب من الألومنيوم ذات كفاءة عالية في نقل الحرارة وتفرغ الحرارة الزائدة.

3. الفولاذ المقاوم للصدأ: يستخدم الفولاذ المقاوم للصدأ في تصنيع المبادلات الحرارية بسبب متانته وقدرته على تحمل درجات الحرارة العالية والتأثيرات الكيميائية. يوفر الفولاذ المقاوم للصدأ حماية كبيرة ضد التآكل والأكسدة.

يتم اختيار نوع الأنابيب المستخدمة في المبادلات الحرارية أرض-هواء وفقًا لمتطلبات التطبيق المحددة. تُعتبر عوامل مثل درجة حرارة التشغيل وعوامل البيئة وميزانية المشروع ومتطلبات الكفاءة الحرارية كلها عوامل مؤثرة في اختيار نوع الأنابيب.

تستخدم أنابيب PVC (كلوريد البولي فينيل) في تصنيع المبادلات الحرارية أرض-هواء أيضًا. يتميز PVC بعدة خصائص تجعله مناسبًا لهذا التطبيق:

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

1. مقاومة للتآكل: يتمتع PVC بمقاومة عالية للتآكل الكيميائي والأكسدة، مما يجعله مناسباً لتطبيقات المبادلات الحرارية حيث يتعرض الأنابيب للمياه والهواء وغيرها من العوامل البيئية.

2. مرونة: تعتبر الأنابيب PVC مرنة وسهلة التركيب، مما يجعلها خياراً جيداً لتصنيع المبادلات الحرارية أرض-هواء التي تحتاج إلى تركيب سريع وسهل.

3. توفير التكاليف: يعتبر PVC مادة بأسعار معقولة ومتاحة بسهولة، مما يساهم في توفير تكاليف التصنيع.

ومع ذلك ، يجب مراعاة بعض العوامل عند استخدام الأنابيب PVC في المبادلات الحرارية. على سبيل المثال، يجب تحديد درجة حرارة التشغيل المسموح بها للأنابيب PVC حيث أن PVC لديه حدود درجة حرارة أقل من المواد الأخرى مثل النحاس أو الفولاذ المقاوم للصدأ. يجب أيضاً مراعاة احتمالية تأثر PVC بالأشعة فوق البنفسجية والتعرض للأشعة الشمس المباشرة، حيث يمكن أن يؤدي ذلك إلى تدهور المادة على المدى الطويل.

يمتاز استخدام أنابيب PVC عن المواد الأخرى في عدة جوانب، وهي:

1. مقاومة التآكل: تتمتع أنابيب PVC بمقاومة عالية للتآكل الكيميائي والأكسدة، مما يجعلها مناسبة للاستخدام في العديد من التطبيقات حيث يكون التآكل مشكلة محتملة، مثل المياه المالحة أو المواد الكيميائية العاملة في الصناعات.

2. سهولة التركيب: يتميز PVC بخفة وزنه ومرونته، مما يجعله سهل التركيب والتشكيل في أي هندسة تطبيقية. بالإضافة إلى ذلك، فإنه يمكن أن يتم تثبيت الأنابيب بسهولة عن طريق استخدام المواد اللاصقة أو الوصلات أو المشابك.

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

3. **مقاومة للصدمات:** تتميز أنابيب PVC بمقاومتها للصدمات، مما يجعلها مناسبة للاستخدام في التطبيقات التي قد تتعرض للصدمات مثل الأنابيب المدفونة في الأرض أو الموجودة في بيئات صناعية قاسية.

4. **توفير التكاليف:** تتمتع أنابيب PVC بتكلفة منخفضة مقارنة بالمواد الأخرى مثل النحاس أو الفولاذ المقاوم للصدأ، مما يجعلها اقتصادية ومتوفرة بكميات كبيرة في السوق.

5. **متانة:** تعتبر أنابيب PVC مادة متينة وتتحمل الاستخدام الشاق والتعرض لعوامل البيئة المختلفة مثل أشعة الشمس والرطوبة والطقس السيئ.

6. **سهولة الصيانة:** تتطلب أنابيب PVC صيانة أقل مقارنة بالمواد الأخرى. فهي غير قابلة للصدأ ولا تتأثر بالآبار المسامية أو الترسبات الكلسية التي قد تحدث في المواد الأخرى.

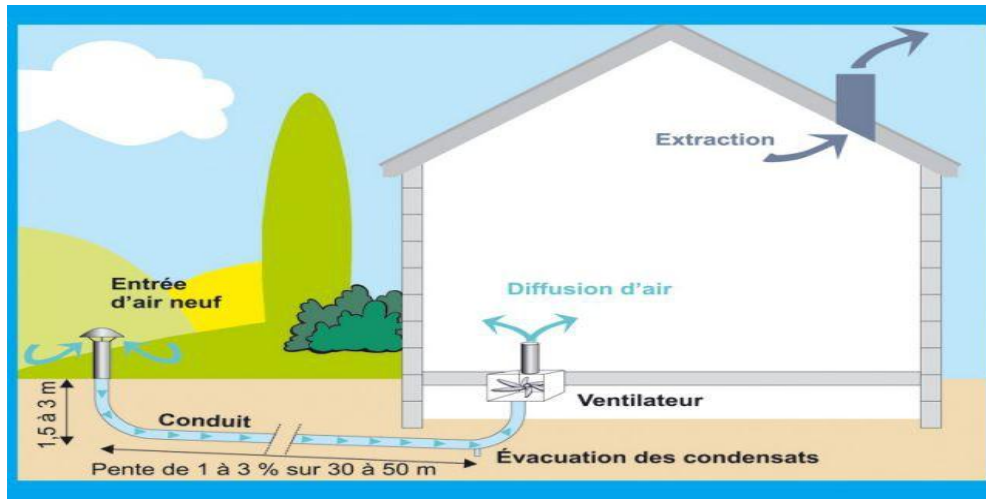
ومع ذلك، يجب مراعاة بعض العوامل مثل درجة الحرارة والضغط الذي يعمل عليها النظام المائي، حيث يتم تحديد القوة والمرونة المطلوبة للأنابيب PVC بناءً على هذه العوامل. كما يجب اتخاذ إجراءات السلامة اللازمة عند تركيب واستخدام الأنابيب PVC، بما في ذلك تجنب التعرض للحرارة الشديدة أو المواد الكيميائية القوية التي قد تؤثر على متانة وأداء الأنابيب.

4. مبدأ عمل المبادل الحراري أرض-هواء:

تعتبر تكنولوجيا المبادل الحراري الأرض-هواء نظامًا فعالاً يستخدم لتهوية المباني وتلطيف الهواء الداخلي، يمكن استخدامه في أي نوع من المباني ، بغض النظر عما إذا كانت سكنية أو تجارية أو صناعية (إذا توفرت شروط معينة). حيث يتم تمرير الهواء المتجدد من المحيط الخارجي للمسكن المراد تكييفه عبر قناة تحت الأرض لتكييف درجة حرارته ، يتم غالبًا استخدام عمق حوالي 3 أمتار للقناة المدفونة لتحقيق

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

هذا الهدف. يستند مبدأ المبادل الحراري أرض-هواء إلى استغلال الطاقة الحرارية للأرض بشكل سلبي، ويعمل النظام عادة بشكل معكوس في فصل الشتاء لتسخين الهواء الخارجي البارد مسبقاً بواسطة الأرض، وفي فصل الصيف لتبريد الهواء الخارجي الساخن. يعتبر هذا النظام فعالاً لتوفير الطاقة في الشتاء والصيف على حد سواء. لضمان أداء النظام الجيد، يجب أن يكون منحدر الأنبوب تحت الأرض بين 1 و 3% لتسهيل تصريف المياه المكثفة وتجنب تراكمها في البئر. ويجب أيضاً تجهيز النظام بنظام تصريف المياه المكثفة لمنع نمو الجراثيم والبكتيريا، وتغير نوعية الهواء في النظام. ويجب أن يتم تحديد تصميم النظام استناداً إلى هيكل المبنى وشروطه التحجيم. [8].



الشكل 18 : مبدأ عمل المبادل الحراري أرض-هواء

بدأت بحوث عن المبادلات الحرارية الهوائية الأرضية بعد زيادة اهتمام العالم بالطاقة واستدامتها بعد أزمة النفط في عام 1979 وبعد ذلك، توقفت هذه البحوث بشكل مؤقت في عام 1985، ولكن منذ عام 1995 استأنف عدد قليل من الباحثين الدراسات حول أداء المبادلات الهوائية الأرضية وتأثيرها على تكييف الهواء في المباني، إذ يعتمد هذا النظام على القوانين الفيزيائية لانتقال الحرارة والتوازن الحراري في الأرض.

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

ومن خلال استخدام هذه القوانين، يمكن تقدير مستوى درجة حرارة الهواء المار عبر القناة المدفونة.

بشكل عام، يتم تسخين الهواء النقي من الخارج أو تبريده في فصل الشتاء والصيف على التوالي من خلال المرور بالقناة المدفونة، مما يسمح بتوفير الطاقة في كلا الفصلين.

5. نمذجة ومعلومات المبادل الحراري أرض-هواء :

إن تحليل وتحديد معلومات التحجيم للمباني يجعل من الممكن تقييم تأثير المعلومات المختلفة على الأداء والسلوك الحراري للمبادل الجوي الأرضي وتمييز أهمها. ويجب أخذ هذه المعلومات في الاعتبار عند تحديد حجم المبادل الجوي-الأرضي، وبالتالي نمذجته. تعتمد معايير اختيار الأنبوب على القوة الميكانيكية والمتانة والضغط والتوصيل الحراري. يمكن أن يتكون المبادل الحراري من أنبوب واحد أو من عدة أنابيب مثبتة بالتوازي. يعتمد تكوين شبكة الأنابيب على حجم السطح المتاح. تتم معالجة جدران الأنابيب لتقليل نمو الميكروبات التي يمكن أن تلوث الهواء النقي. تم إجراء دراسات تتعلق بتلوث الهواء وأظهرت أن تركيز النمو المحتمل للبكتيريا الضارة يمكن أن ينخفض بسبب تدفق الهواء. تعد نمذجة المبادل الحراري أمرًا دقيقًا للغاية نظرًا لعدد المعلومات التي سيتم تحسينها: الطول والقطر وعدد الأنابيب وعمق الدفن والمسافة بين الأنابيب وتدفق التهوية ودرجة حرارة المبنى والمحيط الخارجي له.

• طول الانبوب :

يحدد طول الأنابيب سطح التبادل وزمن بقاء الهواء في الأنابيب. لقد ثبت من خلال العديد من الدراسات أن المبادل الذي يقل طوله عن 20 مترًا، لا يسمح بالحصول على درجة حرارة مخرج مساوية لدرجة حرارة الأرض، لأن كفاءة التبادل متوسطة. من ناحية أخرى، بعد 40 مترًا، لم تعد الكفاءة تزيد بشكل ملحوظ. ويفضل استخدام

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

عدة أنابيب ذات أطوال معقولة (20 م إلى 40 م) بدلاً من أنبوب واحد بطول كبير، (Tiers & Peuportier 2008) لاحظ أنه كلما زاد طول الأنبوب، زاد فقدان الضغط، مما يؤدي إلى زيادة استهلاك الطاقة لكل مروحة.



الشكل 19 : تصميم الانابيب

- **درجة حرارة المخرج :** ترتبط درجة حرارة مخرج الأنبوب المدفون ارتباطاً مباشراً بدرجة حرارة الأرض. إذ تتناقص قيمتها بشكل حاد مع العمق. ولذلك يجب دفن الأنبوب بعمق كافٍ لتحقيق أقصى استفادة من القصور الذاتي للأرض. لا يؤثر نوع التربة بشكل كبير على درجة حرارة المخرج في حالة المبادل الهوائي الأرضي المكون من أنبوب واحد، بشرط ألا يكون معدل التدفق مرتفعاً جداً.

- **قطر الأنبوب:**

يحدد عدد الأنابيب وقطرها القسم الإجمالي للأنابيب التي سيتم من خلالها تدوير الهواء، مما يؤثر على كل من سرعة تدفق الهواء وسطح الاتصال بين الهواء والأرض. تعطي الأنابيب ذات القطر الصغير أداءً حراريًا أفضل، ولكن مع انخفاض كبير في الضغط. (De Paepe & Janssens 2003) يرتبط قطر الأنبوب

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

وتدفق الهواء بسرعة الهواء الذي ينتقل عبر الأنبوب. لذا يجب ألا يتجاوز ذلك 3 أمتار في الثانية حتى لا يحدث فقدان كبير في الضغط في الأنبوب. تختلف جودة التبادل قليلاً حسب القطر. ومن أجل الحصول على تدفق كبير، يجب أن يتراوح الأخير بين 15 و 25 سم، كلما زاد معدل التدفق، كلما زاد طول الأنبوب.

• المسافة بين الأنابيب :

كما أن المسافة بين الأنابيب مهمة جداً، لأنها تؤثر على درجة حرارة جزء التربة الموجود بين هذه الأنابيب، مما يقلل محلياً من القدرة التخزينية للتربة. ووفقاً لـ (Hollmuller 2002) فإن مسافة 40 سم ستكون كافية للحفاظ على تأثير التخزين الحراري للتغيرات اليومية. ومن ناحية أخرى، يتطلب التخزين الحراري الموسمي مسافة تبلغ حوالي 3 أمتار، وهو أمر غير ممكن بشكل عام من الناحية العملية. على أية حال، إذا تم وضع عدة أنابيب في مكان قريب، فيجب أن تكون متباعدة بشكل كافٍ حتى تتمكن التربة من التجدد.

• عمق الدفن :

ويؤثر عمق الدفن على نوعية العزل بين الغلاف الجوي والأنابيب المدفونة. يعتمد حساب عمق الدفن على طبيعة التربة (التوصيل الحراري، الانتشار الحراري، السعة الحرارية) والتبادل الحراري بين سطح التربة والمناطق المحيطة بها: عن طريق الإشعاع مع الشمس والسماء وعن طريق الحمل الحراري مع البيئة المحيطة -هواء-. (Hollmuller 2002) يوضح أن التغيرات في درجة حرارة الهواء الخارجي تصبح أكثر تخميداً وخروجاً عن الطور بسبب الأرض مع زيادة العمق.

• تدفق الهواء :

يؤثر تدفق الهواء في الأنابيب في نفس الوقت على التبادل الحراري بين الهواء والأنابيب وعلى الطاقة الحرارية الموردة للمبنى. ويجب تحديد المعدل الأمثل، ويجب

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

أن يتوافق معدل التدفق الإجمالي قبل كل شيء مع احتياجات تجديد الهواء في الغرفة أو المنطقة المراد تهويتها. أثناء التبريد في الصيف، يجب أن يكون معدل التدفق أعلى منه أثناء التسخين المسبق. في الشتاء حيث يكون معدل التدفق الصحي فقط ضرورياً.

6 . آثار بيئية واقتصادية لاستغلال للمبادل الحراري أرض-هواء :

1- تقليل الاعتماد على استهلاك الطاقة الكهربائية : باستخدام المبادل الحراري أرض-هواء، يمكن تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية المستخدمة في تدفئة وتبريد المباني والمعدات الصناعية. هذا يؤدي إلى تقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري المرتبطة بإنتاج الطاقة.

2- حفظ المياه : بدلاً من استخدام أنظمة التبريد التقليدية التي تحتاج إلى استهلاك مياه كبير، يستفيد المبادل الحراري أرض-هواء من حرارة الأرض لتبريد الهواء أو الماء . وبالتالي، يمكن تقليل استخدام الماء في أنظمة التبريد.

3- الحد من التلوث البيئي : بفضل استخدام المبادل الحراري أرض-هواء، يمكن تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية مثل الفحم والنفط والغاز الطبيعي . هذا يحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري والتلوث البيئي المرتبط بها.

4- استخدام موارد متجددة : المبادل الحراري أرض-هواء يعتمد على الطاقة الحرارية الطبيعية المخزنة في الأرض، وهي مصدر متجدد ومستدام . بالتالي، يمكن الاعتماد على المبادل الحراري أرض-هواء كبديل للطاقة الأحفورية وتقليل استنزاف الموارد غير المتجددة.

5- تحسين جودة الهواء الداخلي : باستخدام المبادل الحراري أرض-هواء، يمكن تحسين جودة الهواء الداخلي في المباني والمصانع . حيث يتم تنقية وتنقية الهواء المدخل قبل نقله إلى الداخل، مما يقلل من انتشار الملوثات والروائح الضارة.

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

7. إيجابيات وسلبيات المبادل الحراري أرض-هواء :

• المزايا :

- استهلاك منخفض للكهرباء.
- الاستثمار في الواقع مؤجل لدفع الآبار في الأرض.
- تكلفة الطاقة منخفضة جدًا مقارنة بتكييف الهواء التقليدي.
- الصيانة محدودة.
- تكلفة الصيانة منخفضة جدًا مقارنة بتكييف الهواء التقليدي.
- المبادلات الحرارية أرض-هواء لا تستخدم المبردات أو الضواغط وتستهلك القليل من الكهرباء، وبالتالي لا تسبب أي تلوث للهواء ولا تنتج مخلفات تلوث البيئة أو المحيط .
- إمكانية التكامل مع أنظمة تكييف الهواء الأخرى.
- إمكانية ربط المبادل بصندوق تهوية ميكانيكية مزدوج التدفق (VMC).

• السلبيات :

- فعالية شبكات مكافحة القوارض غير الكاملة .
- صعوبات في تنظيف القناة (القنوات) بشكل صحيح.
- التنظيف المنتظم للمرشحات اللازمة.
- المخاطر الصحية إذا تم صيانتها بشكل سيء (تطور الكائنات المسببة للأمراض "داء الفيلقيات").
- قد يتطلب تركيب النظام مساحة كبيرة في الأرض لتركيب الأنابيب والمعدات اللازمة.
- قد يتسبب في ضجيج واهتزازات غير مرغوب فيها بسبب تشغيل المروحة في الوحدة الخارجية.

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

- قد يكون للأنابيب تأثير على جمالية المناظر الطبيعية أو الهندسية للمبنى.
- قد يكون للأنابيب تأثير سلبي على انسيابية الهواء حول المبنى أو في فناءه.
- قد يتسبب في زيادة استهلاك الكهرباء بسبب تشغيل المروحة الكهربائية وأجهزة الضغط والتحكم.
- قد يتطلب صيانة دورية وتنظيف للأنابيب لضمان أداء المبادل الحراري.
- قد يكون هناك تأثير سلبي على الصحة العامة بسبب تسرب الغازات الضارة أو الروائح الكريهة من الأنابيب.

الفصل الأول : مفاهيم عامة عن الطاقة الأرضية والمبادلات الحرارية

خلاصة الفصل :

في هذا الفصل، قدمنا سياق الطاقوي والاقتصادي والبيئي على المستوى العالمي والوطني للمساهمة في ترشيد استهلاك الطاقة في المباني والتقليل من انبعاثات الغازات الدفيئة، تم استكشاف العديد من البدائل التقنية. إحدى هذه التقنيات هي المبادل الحراري الجوي-أرضي، وهو ذو مبدأ بسيط من الناحية الفنية. إذ يعتمد على استغلال الطاقة الحرارية الأرضية، حيث إن مبدأ التبريد باستخدام مبادلات الحرارة هواء-أرض هو مبدأ راسخ، ولكن سلوك مثل هذا النظام يعتمد على الظروف المناخية وطبيعة التربة. وبالتالي فإن دراسة السلوك الحراري الديناميكي لمبادل الحرارة هواء-أرض ليس عالمياً ويجب دراسته في إطار المناخ والتربة وظروف حمل المبنى -مثل الأحمال الحرارية والأحمال البيئية- على أداء المبادل. هذه الدراسات الشاملة تساعد بالإضافة إلى التطور التكنولوجي الذي نشهده في يومنا والذي مازال في تقدم تسهم في تحسين تصميم وأداء نظام المبادل الحراري وتقديم توصيات لتحسين الكفاءة والاستدامة البيئية لمباني مما يعكس إيجاباً علينا.

الفصل الثاني :

نمذجة المبادل الحراري
أرض-هواء

الفصل الثاني : نمذجة المبادل الحراري أرض-هواء

مقدمة :

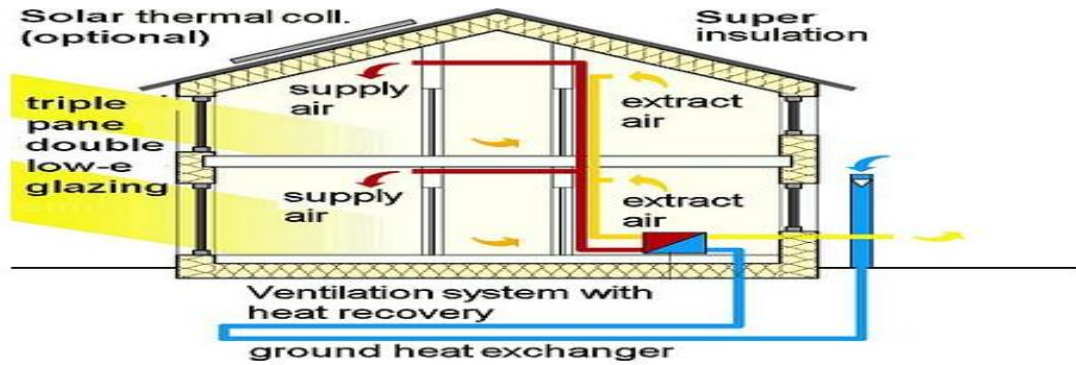
هدفنا من هذا الفصل هو دراسة أداء المبادل الحراري نظرياً باستخدام المعادلات الفيزيائية اعتماداً على الظروف والعمليات الفيزيائية المتوفرة، وفي الجزء الثاني سنعمل على التحقق عددياً في أداء نقل الحرارة الذي يحدث في المبادل الحراري أرض-هواء ، مع التركيز على التطورات الحرارية للنموذج. لقد أنجزنا ذلك من خلال فحص توزيع درجة الحرارة في النظام ، وكذلك تقييم فعالية المبادل الحراري من خلال حساب معدل التبادل الحراري داخل النظام وكمية الطاقة المطلوبة لتشغيل الجهاز. تم تقدير فعالية المبادل الحراري من خلال مقارنة معدل نقل الحرارة الفعلي بأقصى معدل ممكن لانتقال الحرارة ، والذي يتم حسابه على أنه ناتج معدل تدفق الكتلة . تم استخدام برنامج ديناميكيات الموائع الحسابية (CFD) ، وتحديدًا برنامج Ansys 19.2.

يمكن استخدام هذه النتائج لتحسين تصميم وتشغيل المبادل الحراري لتحسين أداء نقل الحرارة.

الفصل الثاني : نمذجة المبادل الحراري أرض-هواء

الدراسة النظرية

التبادل الحراري أرض-هواء :

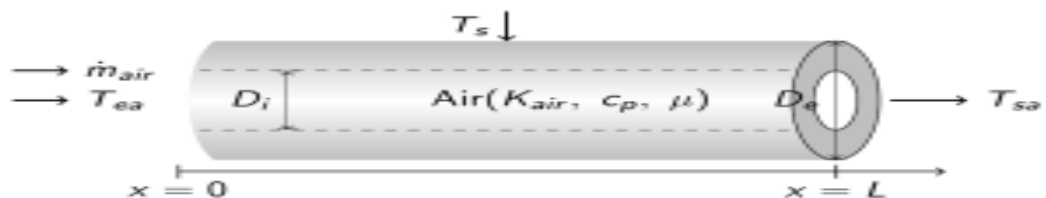


الشكل 20 : مخطط حراري للمبادل أرض-هواء

يحدث التبادل الحراري في نظام مبادل الهواء والترية عن طريق الحمل الحراري داخل الأنبوب والتوصيل عبر جدران الأنبوب. لتحديد معدل التبادل الحراري ، يجب إنشاء توازن حراري على حجم التحكم مع تبسيط الافتراضات [9].

الافتراضات هي:

- يحدث التبادل الحراري في حالة مستقرة ، أي تظل درجات الحرارة ثابتة في الأرض وعلى جدار الأنبوب.
- التربة وسيط متجانس له خصائص فيزيائية ثابتة.



الشكل 21 : توازن الحرارة لأنبوب مدفون

الفصل الثاني : نمذجة المبادل الحراري أرض-هواء

كمية الحرارة المتبادلة للوحدة من الزمن تعادل كمية التدفق الحراري مضروبة في المساحة. أي يعطي توازن الحرارة في العلاقة التالية [10]:

$$(1) \quad dQ = \dot{m}.c p_p dT = \frac{T_s - T}{R_{tot}}$$

تتكون المقاومة الحائطية من جهة مقاومة التوصيل ومن الجهة الأخرى مقاومة الحمل .

$$(2) \quad R_{tot} = R_{conv} + R_{cond}$$

عند اعتبار الجدار سميكًا نسبيًا أمام نصف القطر للأنبوب ، يمكن تقريبه بأنه جدار مستو. إذن ، فإن المقاومة بالتوصيل هي نسبة سمك الجدار على التوصيلية الحرارية للجدار.

$$(3) \quad R_{cond} = \frac{e}{k}$$

حيث :

e : سمك الجدار بالمتري (m).

k : الموصلية الحرارية واط/م.كلفن (W/m.K).

بالنسبة للأنبوب المستعمل مصنوع من مادة بلاستيكية (مثل PVC أو PE)
بسمكة $e = 5\text{mm}$ وموصلية حرارية $\lambda = 0.16 \text{ W/m.K}$ ، فإن المقاومة الحرارية
هي $R = 0.031 \text{ m}^2/\text{W}$ (متراً مربعاً × كلفن / واط).

تعتمد المقاومة الحرارية بالحمل القسري على سرعة حركة سريان الهواء.

$$(4) \quad R_{conv} = \frac{1}{h\pi D_i dx}$$

الفصل الثاني : نمذجة المبادل الحراري أرض-هواء

بحيث :

h : معامل التبادل الحراري للهواء بالحمل (واط/متر².كلفن) (W/m².K) .

و يعطى معامل التبادل بالحمل الحراري بالعلاقة التالية :

$$h = \frac{Nu_D K_{air}}{D_i} \quad (5)$$

يتم حساب رقم نسلت باستخدام ارتباط كولبورن [10]:

$$Nu = 0.224 Re^{0.8} Pr^{0.33} \quad (6)$$

حيث Re هو رقم رينولدز:

$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi D_i \mu} = cp_p dT \quad (7)$$

و Pr هو رقم براند :

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \quad (8)$$

بالتالي تكون معادلة المقاومة الحائطية الكلية من الشكل :

$$R_{tot} = R_{conv} + R_{con} = \frac{1}{h\pi D_i dx} + \frac{\ln\left(\frac{D_e}{D_i}\right)}{2\pi K_i dx} \quad (9)$$

ونعتبر :

$$U = 1/\left(\frac{1}{h\pi D_i dx} + \frac{\ln\left(\frac{D_e}{D_i}\right)}{2\pi K_i dx}\right) \quad (10)$$

حيث :

U : معامل النقل الحراري الكلي (واط/متر².كلفن) (W/m².K)

الفصل الثاني : نمذجة المبادل الحراري أرض-هواء

لدينا :

$$(11) \quad \frac{dT}{(T_s - T)} = \frac{U \cdot dx}{\dot{m} \cdot c}$$

يعطي تكامل المعادلة (11) مع شروط الحدود :

$$(13) \quad \begin{cases} T_{(x=0)} = T_{ea} \\ T_{(x=L)} = T_{sa} \end{cases}$$

أي :

$$(14) \quad \int_{T_{ea}}^{T_{sa}} \frac{dT}{T - T_s} = - \int_0^L \frac{U \cdot dx}{\dot{m} \cdot c}$$

لذلك يمكننا الحصول على درجة حرارة المخرج :

$$(15) \quad T_{sa} = T_s + (T_{ea} - T_s) e^{-\frac{U \cdot L}{\dot{m} \cdot c}}$$

هذا التبادل الحراري يؤدي إلى تغير درجة حرارة الهواء. عندئذٍ ، تكون القوة المتبادلة:

$$(16) \quad dQ = \dot{m} \cdot C (T_{sa} - T_{ea})$$

بحيث :

$\dot{m}$: هو التدفق الحجمي بالمتري³ في الثانية (m³/s)

C : هو الحرارة الكتلية للهواء 1000 الجول/كغ.كلفن

2. إنخفاض الضغط :

يتيح حساب انخفاض الضغط إمكانية تغيير حجم المروحة التي سيتم اقترانها بالمبادل الجوي-الأرضي.

الفصل الثاني : نمذجة المبادل الحراري أرض-هواء

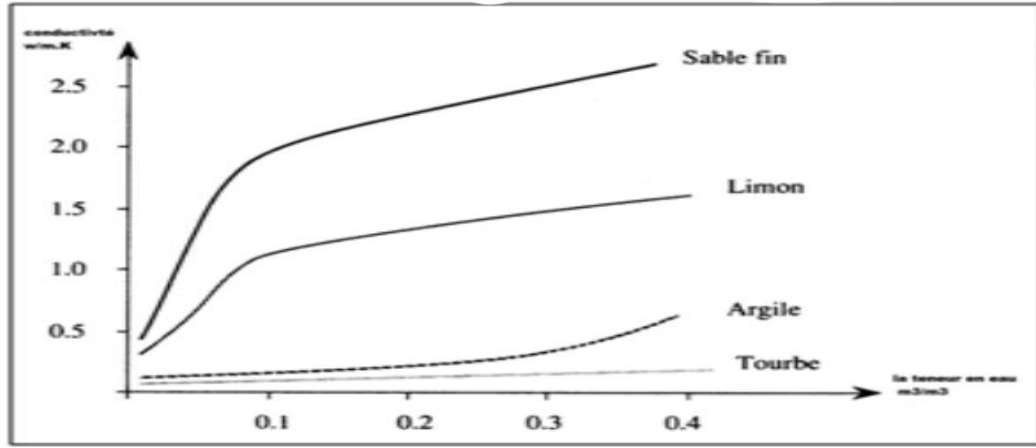
أ. إنخفاض الضغط الخطي : يتم حساب ضياع الضغط الخطي باستخدام الصيغة

$$\Delta P_{lin} = f \frac{L}{D_i} \frac{\rho V^2}{2} \quad (17) \quad \text{التالية:}$$

ب. خسائر الضغط المفرد : تصادف خسائر الأحمال المفردة أو المحلية في المرفقين والممرات الثانوية وتحولات الأنابيب. وتحسب هذه الخسائر بالصيغة التالية :

$$\Delta P_{sin} = \xi \rho \frac{V^2}{2} \quad (14)$$

3. تأثير الخواص الحرارية للأرض :



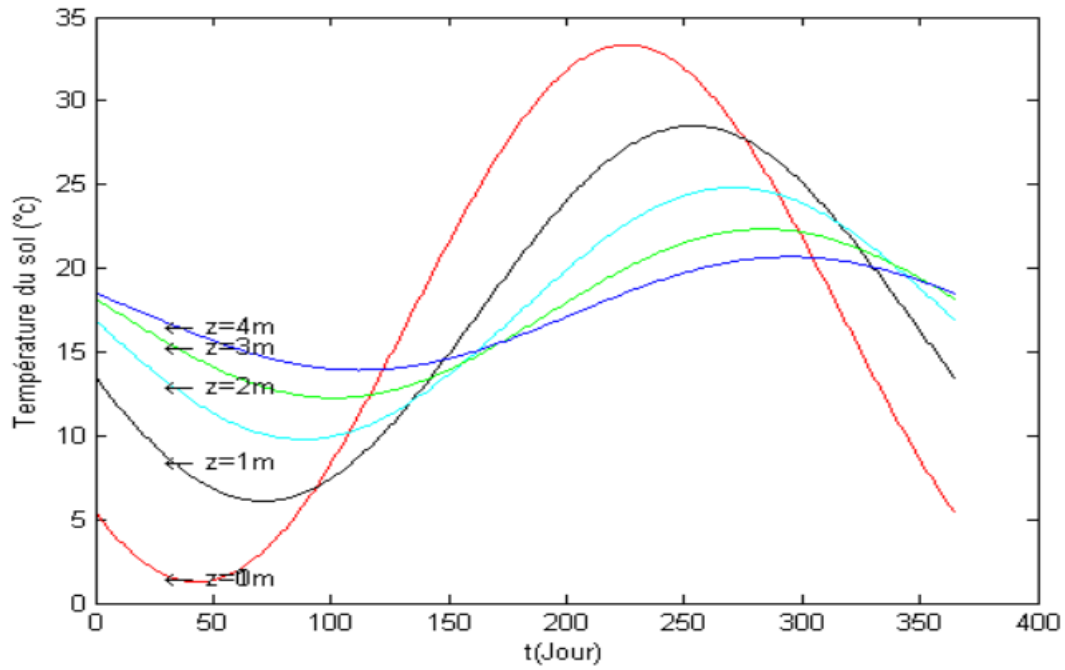
مخطط بياني 01 : تأثير الخواص الحرارية للأرض على الطاقة المتبادلة [11].

4 . تأثير عمق الدفن :

يتم حساب درجة حرارة التربة وفقاً للمعادلة التالية :

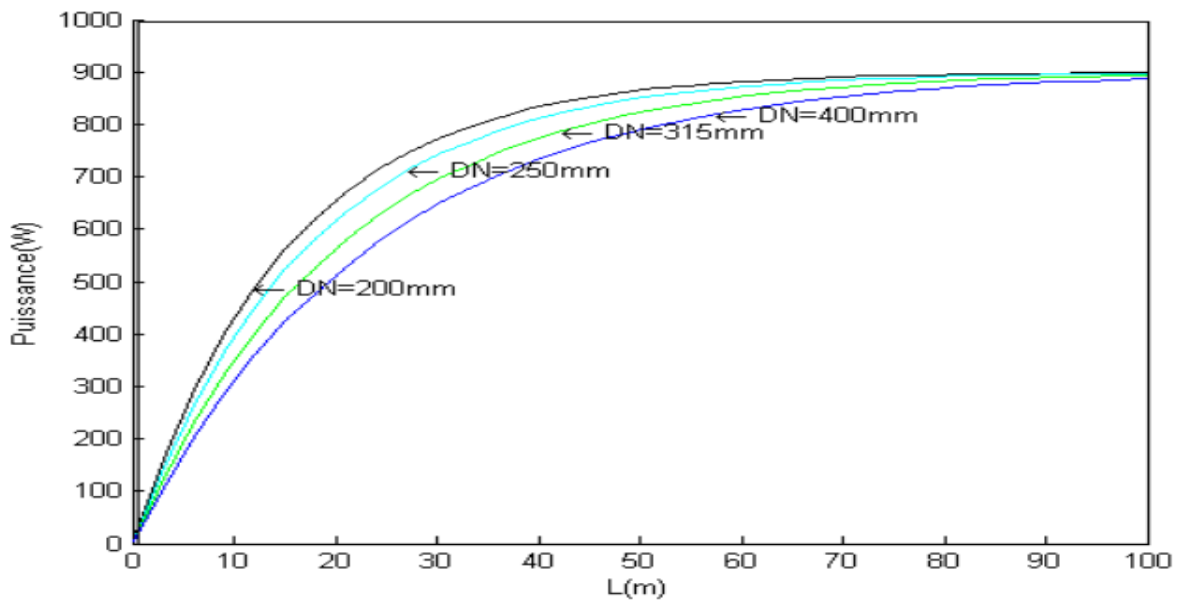
$$T(z, t) = T_{moy} - T_{amp} \exp\left\{-z \times \left(\frac{\pi}{365 \times \alpha_{sol}}\right)^{\frac{1}{2}}\right\} \times \cos\left\{\frac{2\pi}{365} \times (t - t_{shift} - \frac{z}{2} \times \left(\frac{\pi}{365 \times \alpha_{sol}}\right)^{1/2})\right\} \quad (18)$$

الفصل الثاني : نمذجة المبادل الحراري أرض-هواء



مخطط بياني 02 : تأثير عمق الدفن على درجة حرارة التربة [12].

يوضح الشكل أن درجة حرارة التربة تزداد أثناء فترة التسخين مع العمق وتنخفض أثناء فترة التبريد. تميل نحو قيمة ثابتة لأعماق أكبر من 2 متر. تشير الزيادة في درجة الحرارة إلى زيادة الطاقة المتبادلة.



مخطط بياني 03 : تأثير قطر الأنبوب على الطاقة المتبادلة [12]

الفصل الثاني : نمذجة المبادل الحراري أرض-هواء

5 . تأثير هندسة المبادل :

وفقاً للشكل، تزداد الطاقة المتبادلة للأقطار الصغيرة وهذا يرجع إلى حقيقة أن التدفق مضطرب بالنسبة للأقطار الصغيرة ؛ لذلك فإن معامل التبادل بالحمل الحراري مهم.

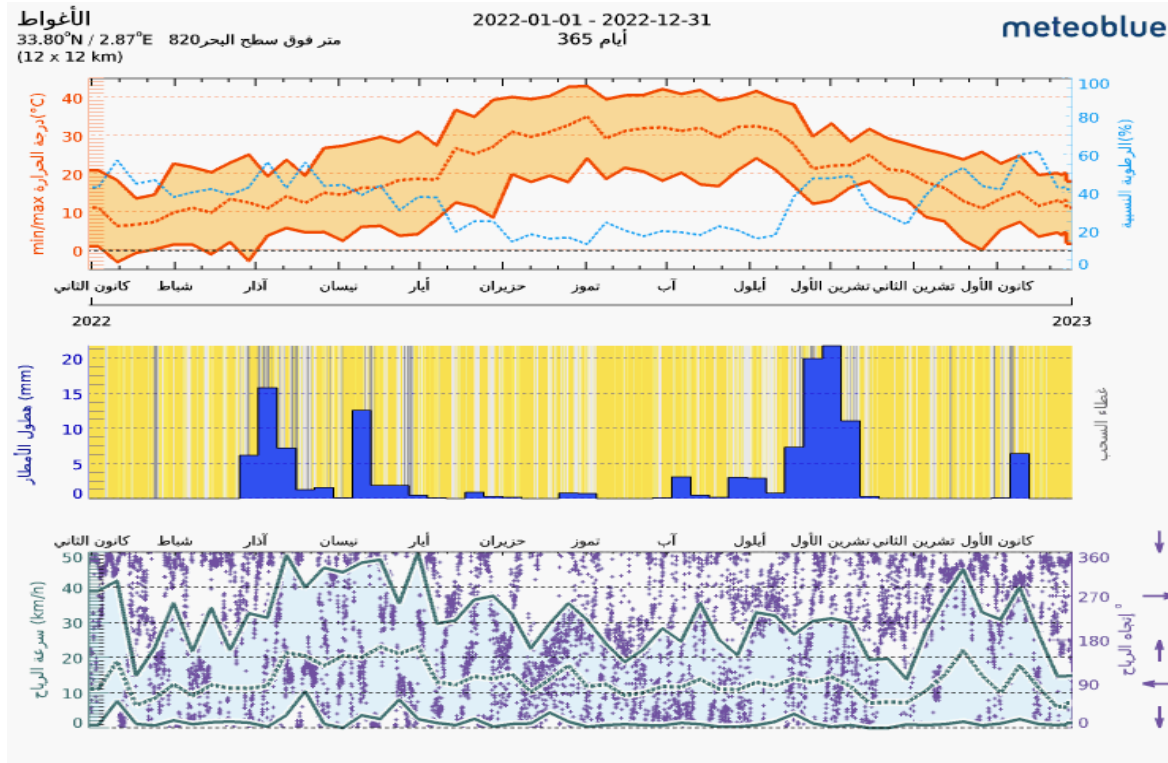
Thermal Conductivity λ (W/m.K)	Specific Heat C_p (J/kg.K)	Density ρ (kg/m ³)	
0.024	1000	1.2	الهواء
2	3300	710	التربة جافة
2.9	800	2650	المعادن (متوسط)
2	0.91 إلى 1.18	1700 إلى 2200	الرمل
1.5	800	2800	الخرسانة
0.16	501.48	680	البلاستيك
2.20	2100	920	الزجاج
0.585	4200	1000	الماء

الجدول 01 : الخصائص الحرارية للمكونات الرئيسية

الفصل الثاني : نمذجة المبادل الحراري أرض-هواء

6. الظروف المناخية للأغواط :

وفقاً لبيانات الأرصاد الجوية لمدينة الأغواط المقدمة من الموقع الوطني للأرصاد الجوية، يبلغ متوسط درجة الحرارة العظمى 35 درجة مئوية ومتوسط درجة الحرارة الصغرى 10 درجة مئوية. الشهر الأكثر سخونة هو جوان وأبرد شهر هو جانفي. يبلغ متوسط درجة الحرارة السنوية 20 درجة مئوية. يشير المصدر نفسه إلى أنه تم تسجيل درجة حرارة دنيا قدرها 3- درجة مئوية ودرجة حرارة قصوى قدرها 45 درجة مئوية خلال السنوات الخمس الماضية [13].



الشكل 22 : أرشيف الأحوال الجوية الأغواط لسنة 2022 [14]

الفصل الثاني : نمذجة المبادل الحراري أرض-هواء

7. دراسة رقمية (محاكاة) :

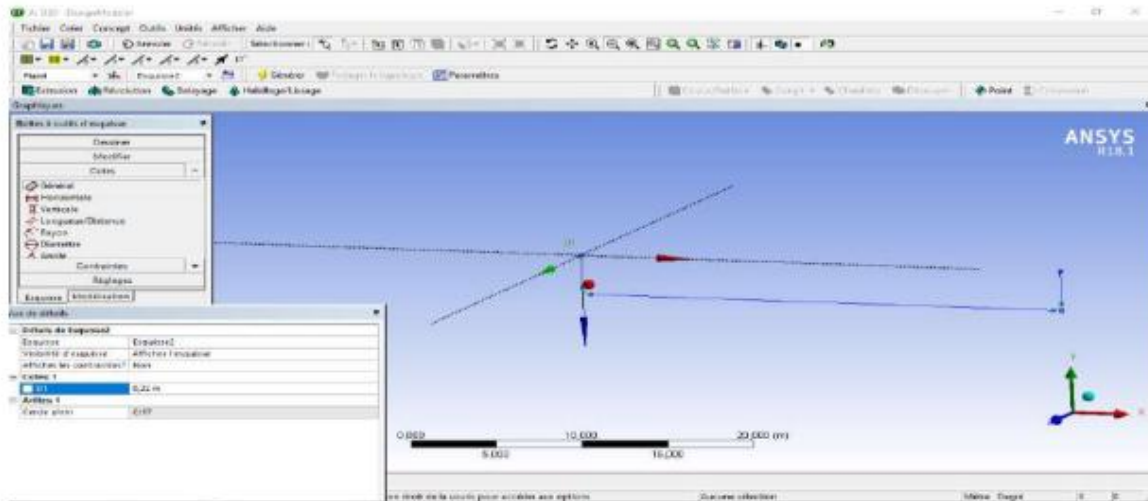
- هندسة النموذج :

من أجل إنشاء الهندسة المعتمدة في دراستنا، نبدأ باستخدام مصمم نماذج البرمجيات المطبق (workbench) في طاولة عمل ANSYS.

تم اختيار هندسة المبادل الحراري بحيث تكون على شكل أنبوب أسطواني على شكل حرف U بمدخلين لدخول وخروج الهواء. الأنبوب يبلغ قطره الخارجي 210 مم وسمكها 5 مم بطول 20 متر.

بدأنا خطوات مختلفة خلال هذه العملية، والتي سنتناولها أدناه:

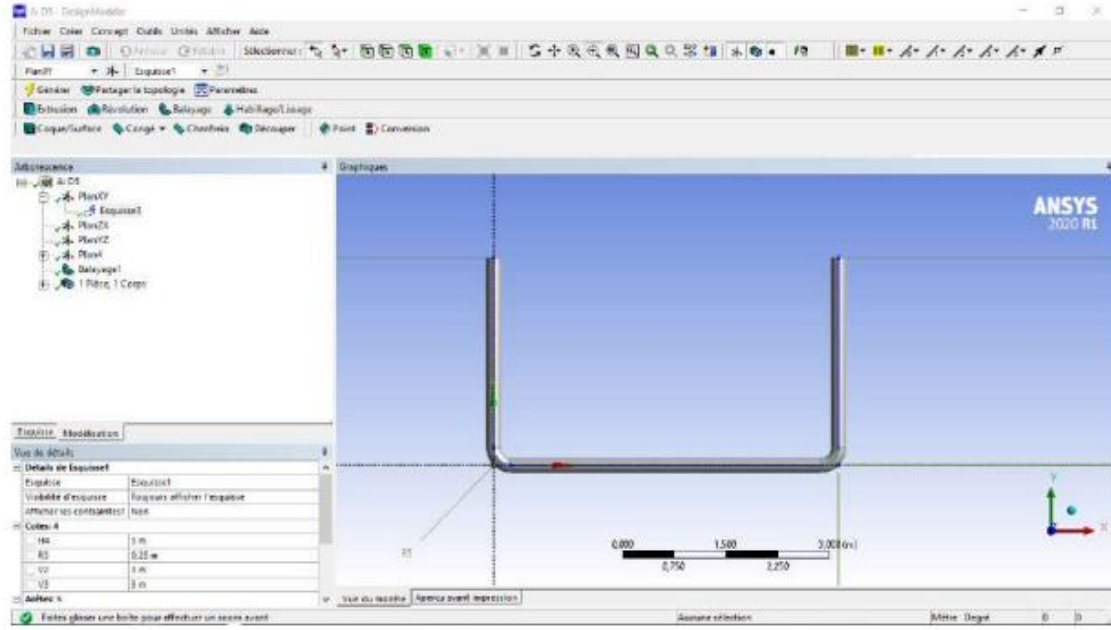
- بدأنا برسم خطوط مستقيمة في نظام الإحداثيات (X,Y) للوصول إلى الشكل المراد لإنشاء الشكل الأساسي للأنبوب ثم باستخدام أداة المساح ليشكل أنبوب على طول المسار.



الشكل 23 : رسم الخطوط لتشكيل الأنبوب

الفصل الثاني : نمذجة المبادل الحراري أرض-هواء

- الآن باستخدام أداة التعبئة، نقوم بتعبئة المحتوى الداخلي، من خلال تحديد مخرج الأنبوب، وهذا من شأنه التعريف بالهواء كي يتمكن البرنامج من قراءته كمائع .



الشكل 24 : إجراءات التعبئة

وبهذا نكون قد قمنا بتحضير النموذج الهندسي ، من ثم ننتقل إلى المرحلة الثانية من العملية وهي إعداد الشبكة.

- إعدادات الشبكة :

تعد الشبكات خطوة مهمة في أي محاكاة لديناميكا الموائع الحسابية (CFD) ، بما في ذلك تلك التي تتم باستخدام منصة عمل Ansys. في محاكاة CFD ، يتم تقسيم هندسة النموذج (النظام) الذي نحن بصدد محاكاته إلى خلايا صغيرة أو ما يعرف بـ العقد ، والتي تُستخدم لحساب خصائص تدفق السوائل ونقل الحرارة. تُعرف هذه العملية بالتشابك. لذا ، فإن السبب الرئيسي وراء قيامنا بتشبيك الهندسة في منصة عمل Ansys هو تمثيل

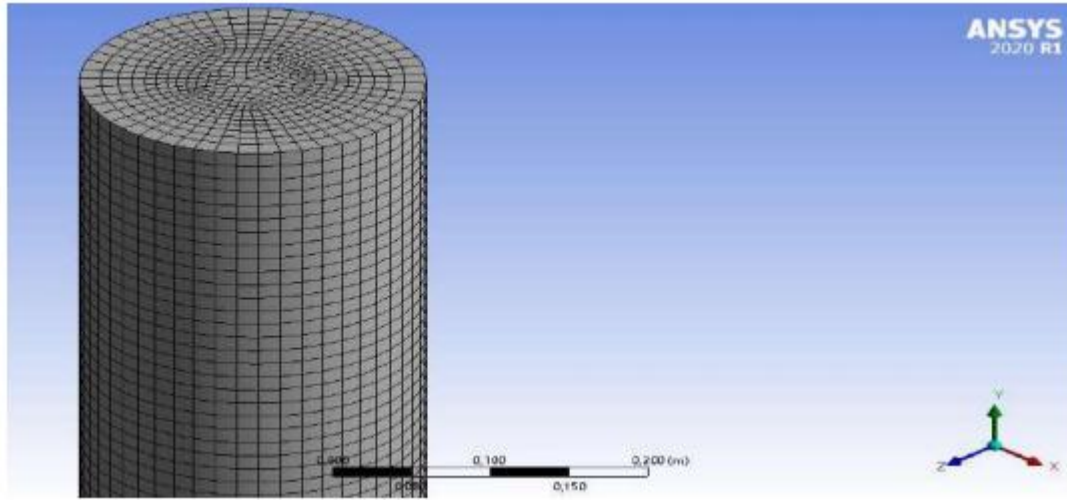
الفصل الثاني : نمذجة المبادل الحراري أرض-هواء

الهندسة الفيزيائية للنموذج الذي يتم محاكاته بدقة. تضمن الشبكة الدقيقة أن نتائج محاكاة CFD موثوقة وتوفر تمثيلاً واقعياً للنظام المادي الفعلي. إن نوع الشبكة المستخدمة في محاكاة CFD يؤثر أيضاً على دقة النتائج، لذلك يعد اختيار طريقة الشبكة المناسبة أمراً بالغ الأهمية للحصول على نتائج دقيقة.

وفيما يلي مخطط عام لعملية تشبيك أنبوب المبادل الحراري في منصة عمل Ansys.

أ. استيراد ملف الهندسة :

بعد إنشاء هندسة المبادل الحراري سواء على منصة عمل Ansys أو أي برنامج آخر، نقوم باستيراد ملف الهندسة، وربطه بإحدى أدوات الشبكة (التشبيك) في منصة عمل Ansys، من الأفضل استخدام شبكة منظمة ، حيث يمكنها توفير دقة وتحكم أفضل في حجم الشبكة. في حالتنا استخدمنا طريقة ربط شبكة رباعية السطوح للأنايبب للحصول على أقصى وأفضل كفاءة.

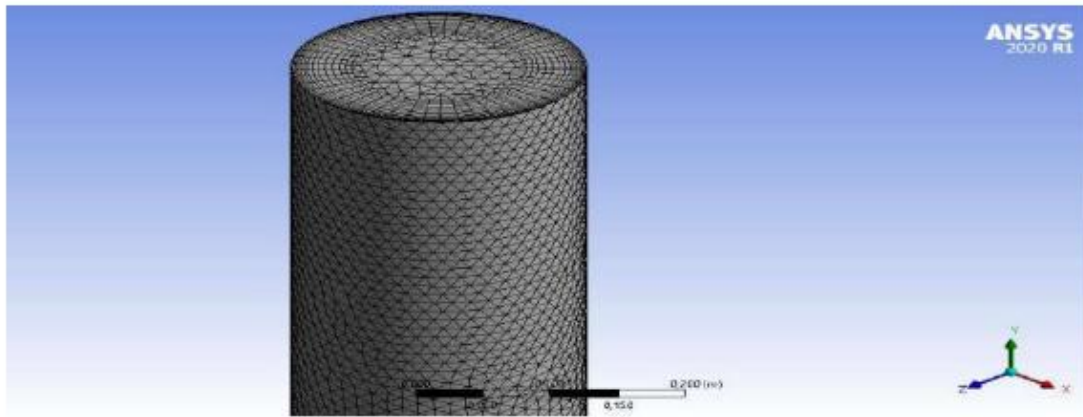


الشكل 25 : الشبكة

الفصل الثاني : نمذجة المبادل الحراري أرض-هواء

ب. تحديد إعدادات الشبكة

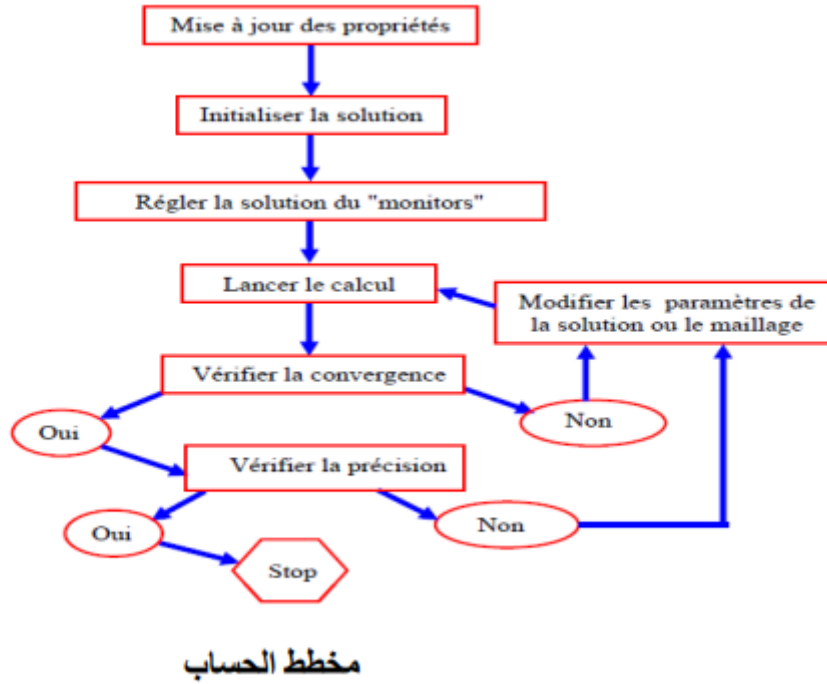
تتضمن هذه الخطوة تحديد حجم عناصر الشبكة وإعداد الطبقات الحدودية لتحديد عناصر التحكم في جودة الشبكة. لذلك اخترنا حجم عنصر 1 سم لشبكتنا، نظرًا لأن حجم النظام الكبير لا يوفر مستوى أعلى من التفاصيل ولكنه يتطلب المزيد من الموارد الحسابي ، فهذا ما حدث بالضبط لأن الحجم الضخم لأنبوب المبادل الحراري فقط الذي لدينا بطول 30م وقطر 0,2م ، أجبرنا على تجنب استخدام حجم عناصر الشبكة كبير نوعا ما ، خاصة وأن لدينا جهاز حاسوب بطيئ من نوع TOSHIBA ذي المعالج من نوع Intel (R) core™ i5-6200 CPU @ 3.40GHz



الشكل 26 : الشكل النهائي للشبكة

العدد النهائي للشبكة 595604 عقدة، بمساحة تبلغ $5,6 \text{ m}^2$ أي (5,6 متر²) .
لذا فإحصائيات هذه الشبكة ملائمة نظرًا للحجم الكبير للنظام المدروس ومحدودية قدرتنا على الحساب.

الفصل الثاني : نمذجة المبادل الحراري أرض-هواء



- إدخال خصائص النظام الفيزيائية :

بعد الانتهاء من تخطيط الشبكة نعود إلى واجهة منصة العمل ونختار الأداة set up لنعد البرنامج من أجل الشروع في عملية المحاكاة، في واجهة الأداة نجد خيار الطاقة ، نقوم بتفعيله مع خيار طبيعة حركة المائع (مستقر أم مضطرب) ، ثم نحدد نوع المائع والمواد المستخدمة في النظام ، بعد ذلك نقوم بادخال الشروط النهائية لكل لمواد النظام.

ومن ثم ندخل بعض الاعدادات مثل نسبة الخطأ وعدد المحاولات والعمليات وشروط نقطة التوقف ومن ثم عرض النتائج بأدوات خاصة في برنامج الأنسيس .

الفصل الثاني : نمذجة المبادل الحراري أرض-هواء

- خصائص المواد المستخدمة :

يعطي الجدول أدناه الخصائص الفيزيائية والشروط النهائية لجميع المواد المستخدمة :

$\lambda_{pvc} = 0.16 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$	Conductivité thermique de la conduite
$\rho_a = 1.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$	Masse volumique de l'air
$C_{pa} = 1000 \text{ J Kg}^{-1}\text{K}$	Capacité thermique de l'air
$\lambda_{sol} = 2.9 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$	Conductivité du sol
$C_{sol} = 700 \text{ J Kg}^{-1}\text{K}$	Capacité thermique du sol
$\rho_{sol} = 2000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$	Masse volumique du sol
$L = 100 \text{ m}$	longueur de gaine
$\Delta T = 17 \text{ }^\circ\text{C}$	Différence entre les températures Max et Min
$T_m = 27 \text{ }^\circ\text{C}$	Température moyenne pour la période donné
$T_{air_e} = 2 \text{ }^\circ\text{C}$	Température d'entré pour l'air
$e = 5 \text{ mm}$	épaisseur de la conduite
$q = [45 \ 75 \ 110 \ 140] \text{ m}^3$	Débit volumétrique
$\omega = 2\pi/86400 \text{ rad/s}$	Fréquence angulaire

الجدول 02 : الخصائص الحرارية للمواد المستخدمة

في دراستنا الرقمية سنتطرق إلى حالتين من حيث الخصائص وتأثيرها إلا أننا نركز على الحالة الأولى والتي هي أهم نقطة في هذه الدراسة :

- الحالة الأولى : دراسة تبريد الهواء (فصل الصيف).
- الحالة الثانية : دراسة تسخين الهواء (فصل الشتاء).

الفصل الثاني : نمذجة المبادل الحراري أرض-هواء

ملخص الفصل :

مثل أي مبادل حراري ، فإن المبادل الجوي-الأرضي يضع مصدرين مختلفين لدرجة الحرارة في تلامس حراري. في حالة المبادل الجوي-الأرضي ، أحد هذه المصادر هو الهواء الذي يدور في الأنابيب والآخر هو الأرض الموضوعة على اتصال مع الأنابيب. خلال الموسم الحار ، المصدر الساخن هو الهواء ومصدر البرد الأرض. ينعكس هذا خلال موسم البرد. وبالتالي ، فإن درجة حرارة الهواء في الأنابيب ودرجة حرارة الأرض الملامسة للأنابيب تشكل متغيري الإدخال للمبادل. بالنسبة لمبادل السوائل، يحدث التوصيل والحمل الحراري بشكل متزامن ومحلي بين مدخلين مائعين ومخرجين للسوائل. من ناحية أخرى ، فإن الأرض هنا غير متحركة وكل كتلتها الموجودة بالقرب من الأنابيب تشارك في التبادل عن طريق التوصيل. لذلك تتغير درجة حرارة الأرض الملامسة للأنابيب أثناء التبادل الحراري. يشير التعبير "في المنطقة المجاورة" إلى أن الطاقة المستلمة أو المنقولة من الأرض تنتقل إلى مسافة غير محددة من الأنابيب التي لم تعد درجة حرارة الأرض بعدها تتأثر بالمبادل ، أي درجة حرارة الأرض غير المضطربة.

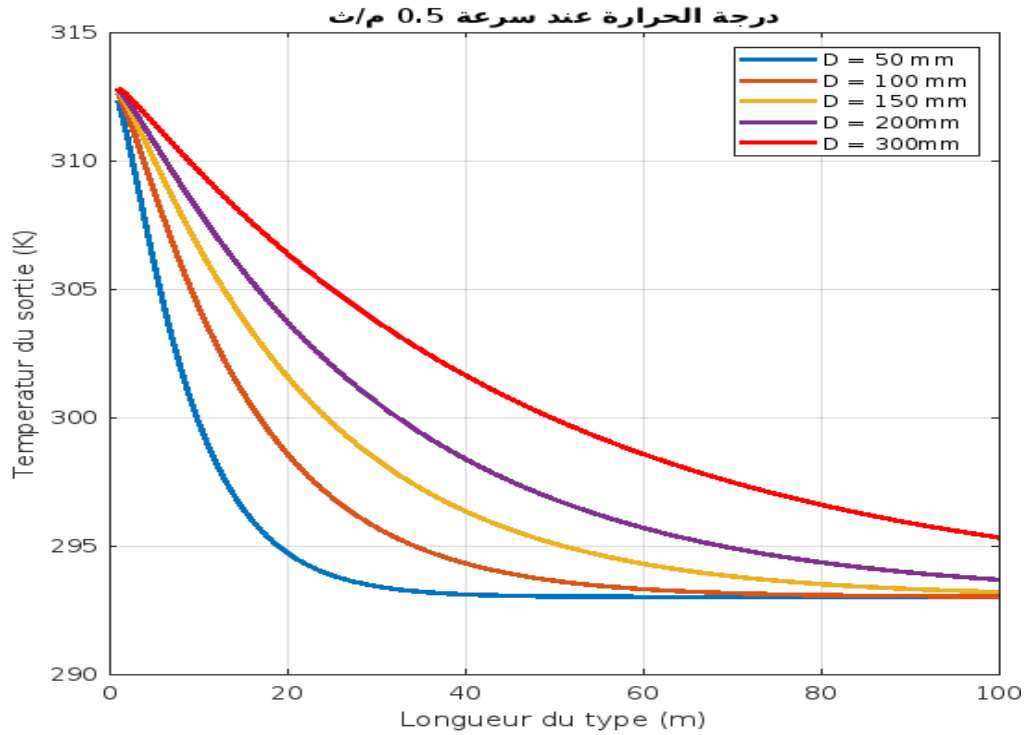
الفصل الثالث :

عرض النتائج ومناقشتها

مقدمة :

خلال هذا الفصل الحالي نركز على المناقشة والتحليل النتائج العددية التي تم الحصول عليها من النماذج ثنائية الأبعاد للتأثيرات المختلفة التي تم التطرق إليها في الدراسة الرقمية للمبادلات الحرارية. تتضمن هذه الحالات (سواء التبريد أو التسخين) تأثير قطر الأنبوب وتأثير الطول وكذلك تأثير التدفق (السرعة)، والهدف الرئيسي من هذا التحليل هو تقييم خصائص وكفاءة التبادل الحراري لكل نوع من أنواع المبادلات الحرارية من حيث مجال درجة الحرارة ، والمجال الديناميكي ، وأخيراً دراسة الكفاءة الحرارية، من خلال فحص هذه النتائج نهدف بالدراسة إلى تحديد أنسب نظام نقل الحرارة للتطبيقات العملية. يتم عرض النتائج ومقارنتها من خلال التصورات، بما في ذلك المعالم والمخططات والانسيابية. يمكن أن توفر نتائج هذه الدراسة آفاق قيمة في اسغلال المبادلات الحرارية، مما يساعد المهندسين على تحسين أدائها لتطبيقات مختلفة.

1 . تأثير طول الأنبوب على درجة حرارة الهواء عند الخروج من المبادل :



المخطط البياني 1.3 : درجة الحرارة بدلالة الطول

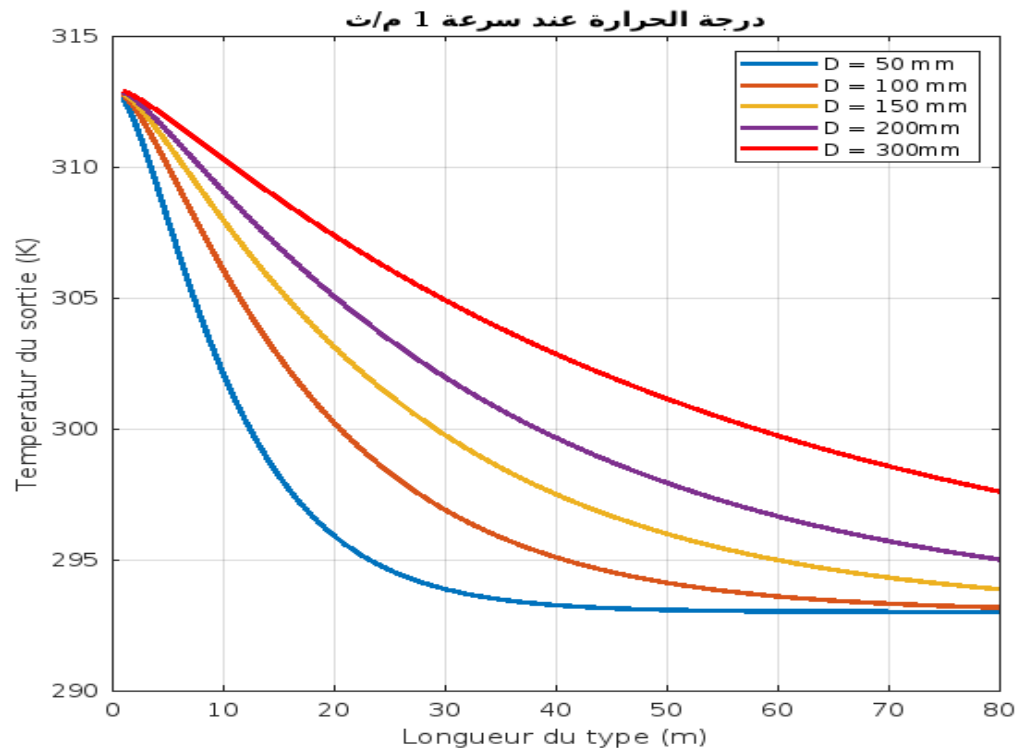
ندرس في هذا المخطط تأثير طول الأنبوب على درجة الحرارة الهواء عند السرعة

$V_a = 0.5 \text{ m/s}$ بالنسبة إلى أقطار أنبوب مختلفة $D = 50 : 300 \text{ m}$ ، والذي

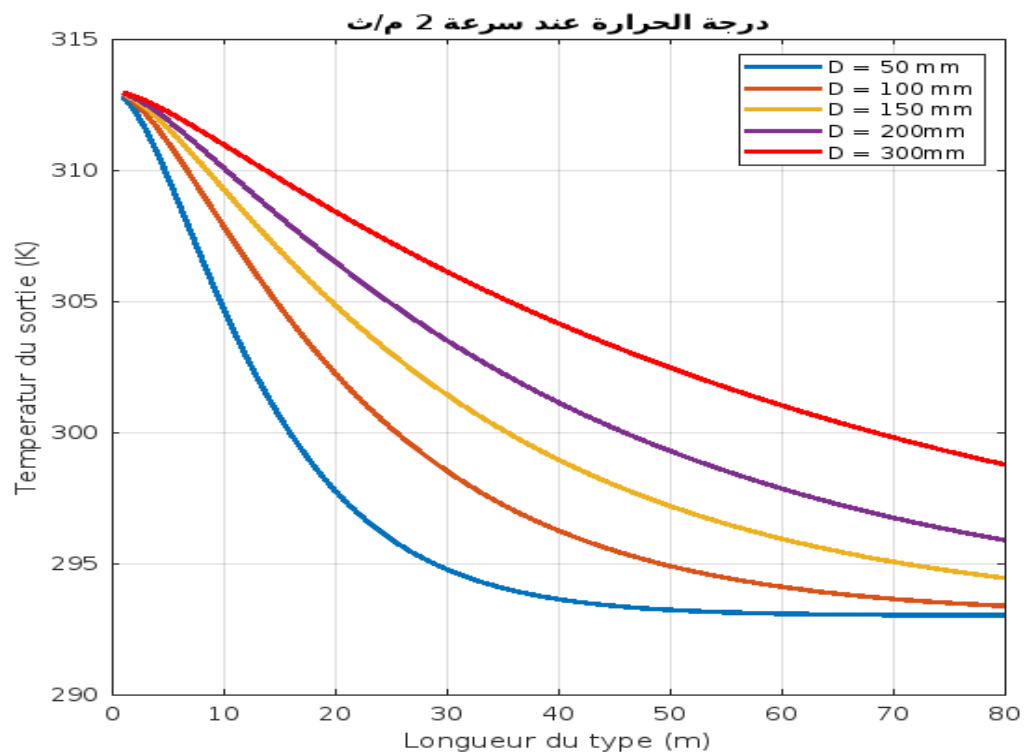
نلاحظ في هذه البيانات هو مايلي :

- نجد أنه كل ما ازداد طول الأنبوب تنخفض درجة الحرارة الهواء عند خروجه T_{sa} في حالة التبريد .

- و هذا ناتج عن الزيادة في مساحة التبادل الحراري بين الأنبوب و الأرض والتي تؤدي التي تؤدي إلى زيادة في كمية الحرارة المفقودة من الهواء ، ومنه نتحصل على درجة حرارة خروج أكثر انخفاض إلى أن تتوقف هذه الظاهرة عند الوصول إلى حالة التوازن الحراري بين الأرض والهواء ، أما بالنسبة لتأثير الأقطار فنلاحظ كذلك كلما كان القطر أصغر كلما كان طول الأنبوب اللازم لتبريد الهواء أقل طولاً وبالتالي أقل تكلفة .



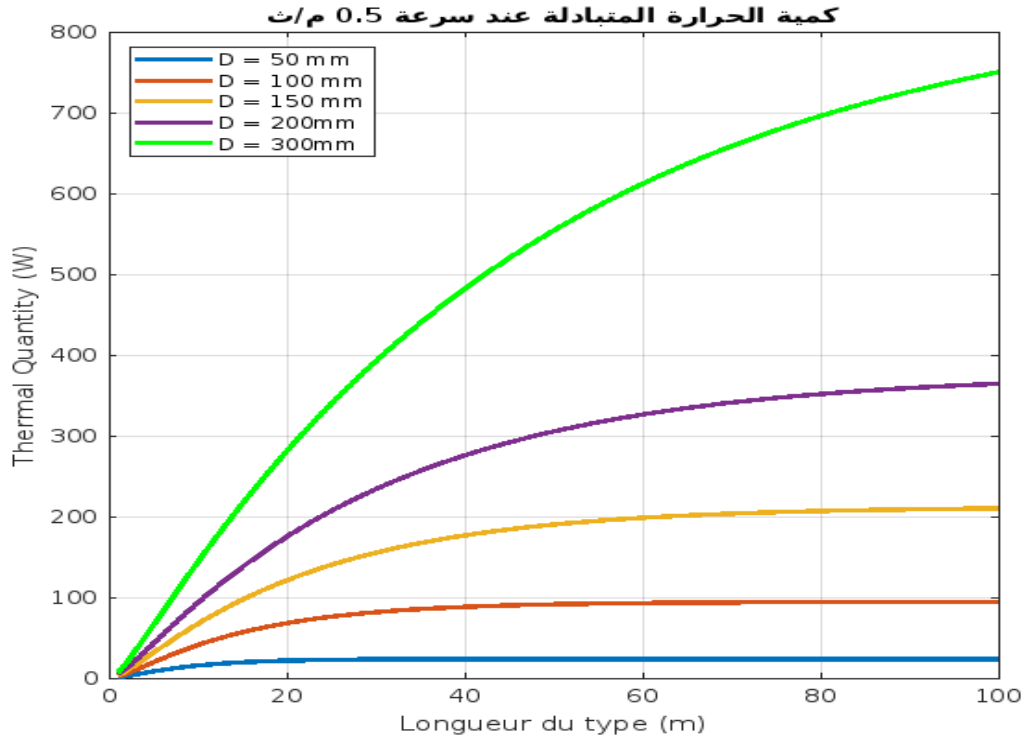
المخطط البياني 2.3 : درجة الحرارة بدلالة الطول عند سرعة 1 م/ث



المخطط البياني 3.3 : درجة الحرارة بدلالة الطول عند سرعة 2 م/ث

أما بالنسبة للشكلين (2.3) و (3.3) فنلاحظ عند تغير السرعة $V_a = 1 : 2 \text{ m/s}$ نلاحظ ان سرعة دخول الهواء إذا تجاوزت حد معين تنعكس نتيجة سلبا على درجة حرارة خروج الهواء وبالتالي زيادة في طول الأنبوب اللازم لتبريد الهواء

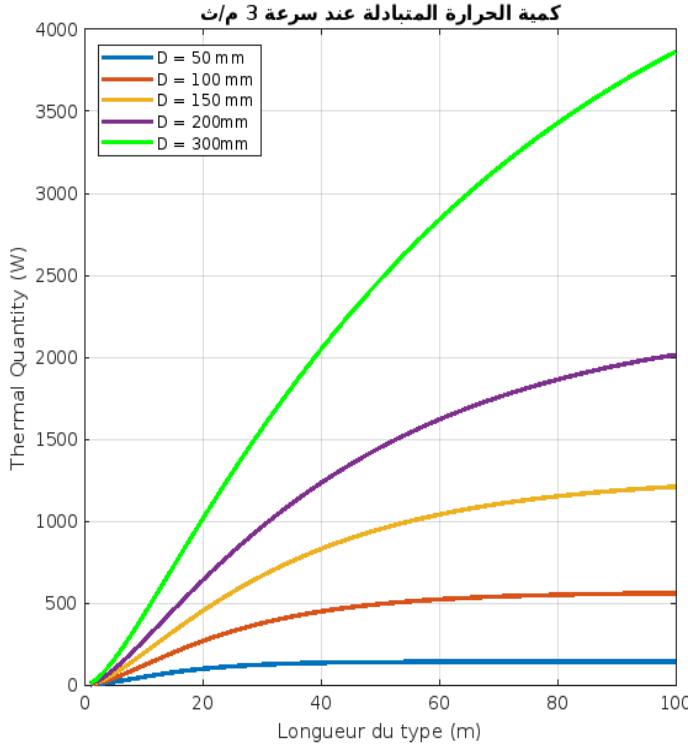
2. تأثير طول الأنبوب على كمية الحرارة :



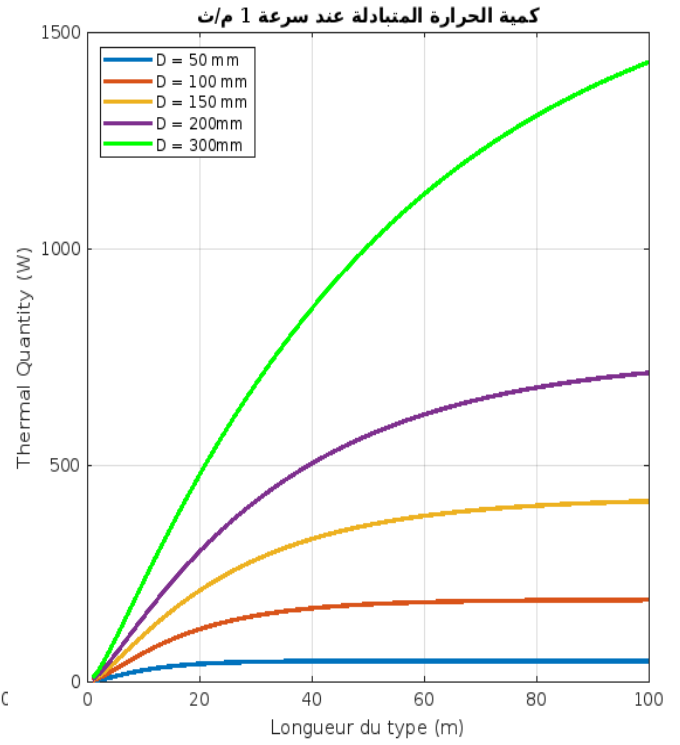
المخطط البياني 4.3 : كمية الحرارة عند سرعة 1 م/ث

في هذا الشكل ندرس التغيرات التي تحدث لكمية الحرارة المفقودة من طرف الهواء أثناء عملية تبريده باتجاه الارض بدلالة طول الأنبوب عند قيم مختلفة للقطر، فنلاحظ ما يلي:

أن كمية الحرارة تزداد طردا كلما ازداد طول الأنبوب وهذه الزيادة ناتجة عن الزيادة في مساحة التبادل الحراري بين الأرض والأنبوب والهواء معا، أما بالنسبة لتأثير القطر فنلاحظ الفرق الكبير بين القطرين $D = 50 \text{ mm}$ والقطر $D = 300 \text{ mm}$ ، مما يدل على أن الزيادة في تدفق الهواء (يعني القطر) تزيد من معدل انتقال الحرارة وبالتالي يفقد الهواء كمية حرارة عالية حتى يصل إلى مرحلة التوازن الحراري مع الأرض.



المخطط البياني 6.3 : كمية الحرارة عند
سرعة 3 م/ث

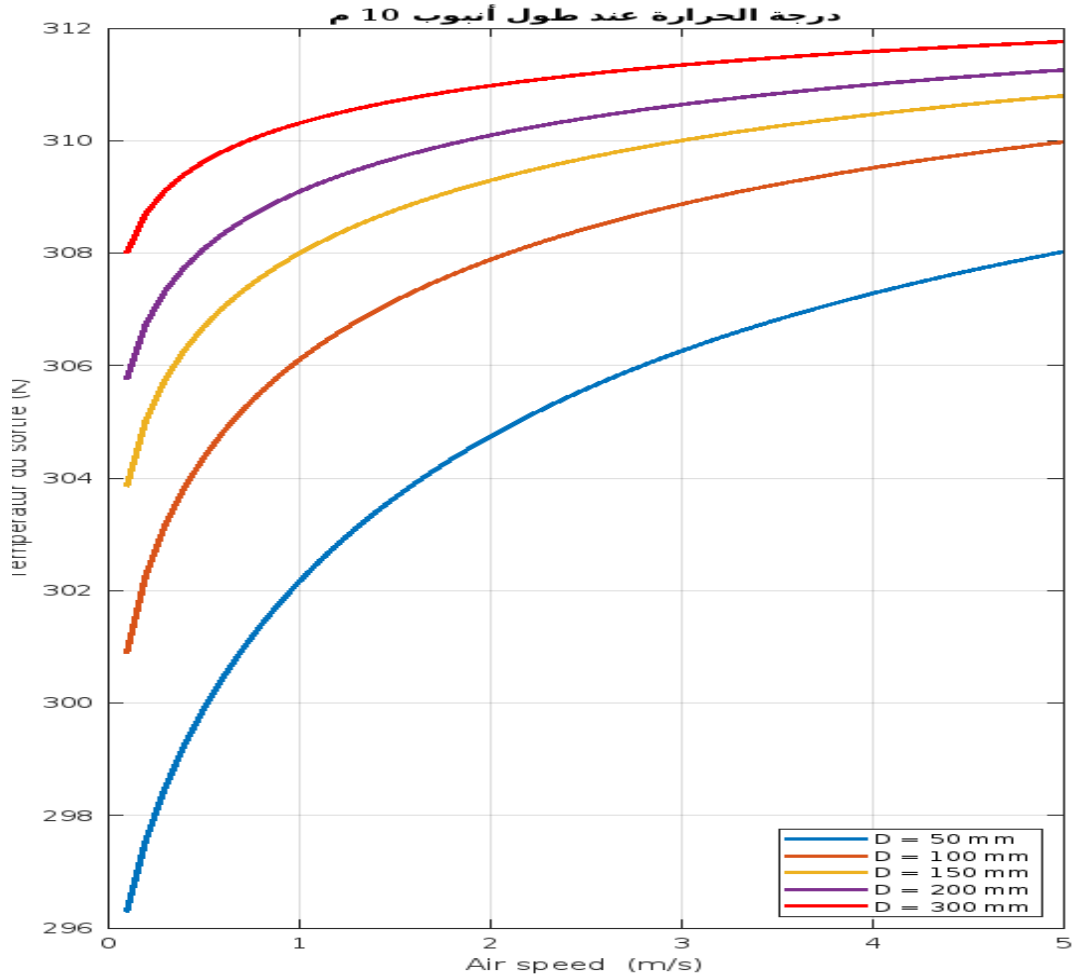


المخطط البياني 5.3 : كمية الحرارة عند
سرعة 1 م/ث

أما بالنسبة للشكلين (5.3) و (6.3) فنلاحظ أنه كلما زادت سرعة دخول الهواء قلت كمية الطاقة الحرارية للهواء مما تنعكس سلباً على درجة حرارة خروج الهواء .

3. تأثير سرعة الهواء على درجة حرارة الهواء عند الخروج من المبادل :

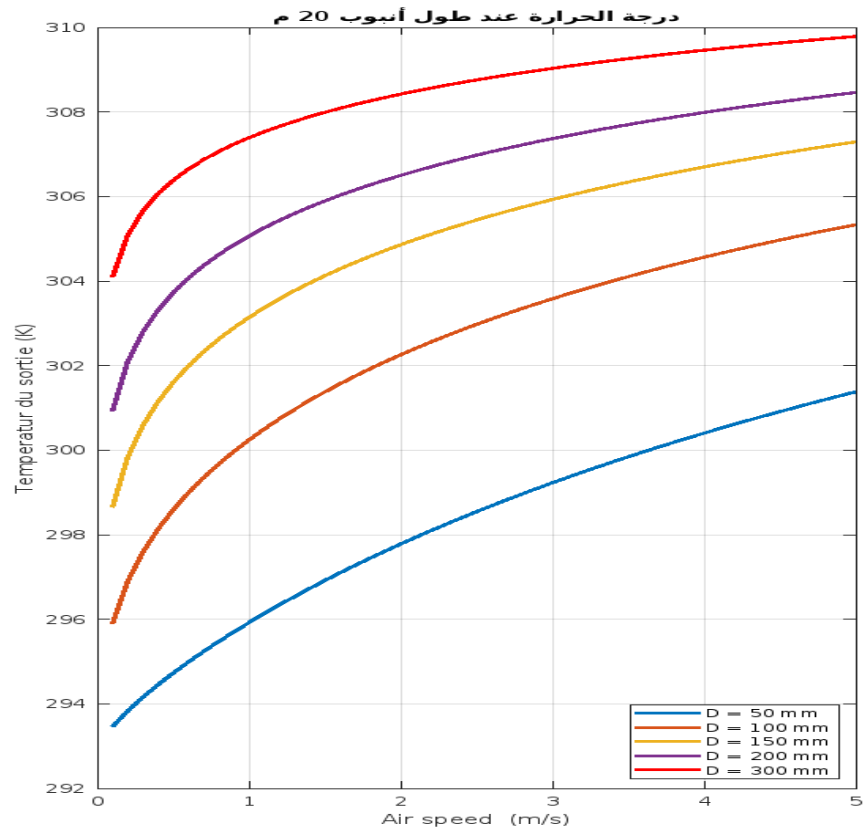
ندرس في هذا الجزء تأثير سرعة دخول الهواء على درجة حرارته، فعند طول أنبوب 10 متر ، بالنسبة إلى أقطار الأنابيب المختلفة $D=50 : 300$ m ، والذي نلاحظه في هذه البيانات هو أنه كلما زادت سرعة الدخول ارتفعت درجة حرارة الهواء عند الخروج وهذا بسبب أن الزيادة في السرعة تقلل من زمن التبادل الحراري بين الأرض والهواء، وبالتالي يخرج الهواء بدون طرح الحرارة اللازمة لتبريده .



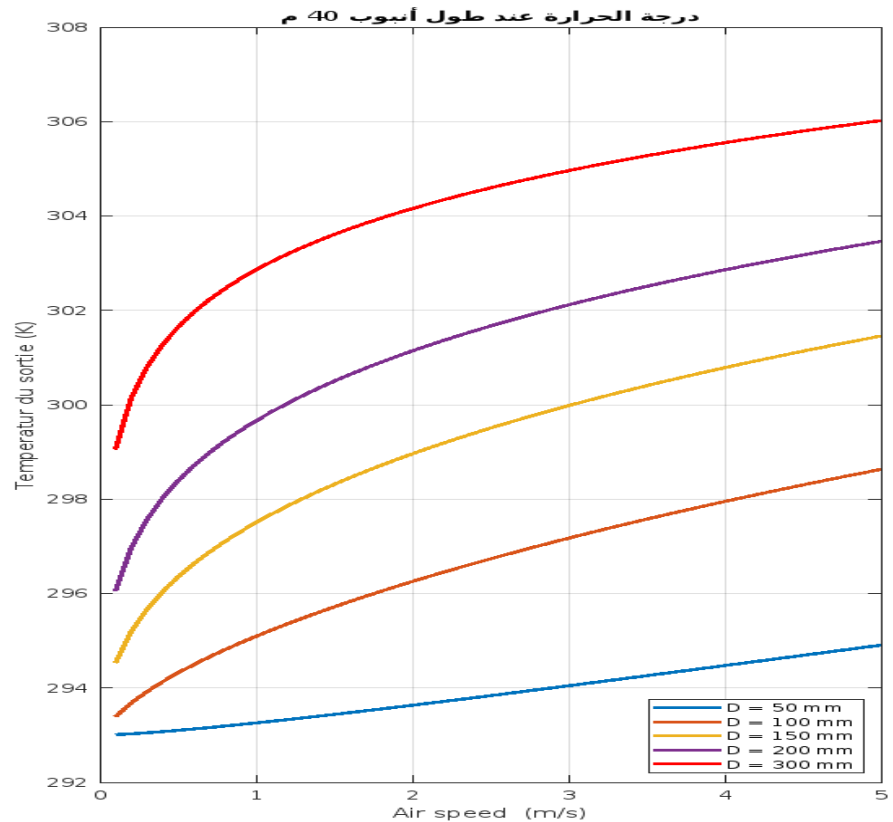
المخطط البياني 7.3 : درجة الحرارة بدلالة السرعة عند طول الأنبوب 10 متر

- أما بالنسبة للشكلين الموائين فيمثلان الزيادة في طول الأنبوب مع التغير في السرعة حيث نلاحظ أنه كلما زاد طول الأنبوب قلت درجة حرارة الهواء وهو ما ذكرناه مسبقاً تساعدنا هذه الأشكال في تحديد السرعة المناسبة بالنسبة للطول للحصول على درجة حرارة الهواء المناسبة .

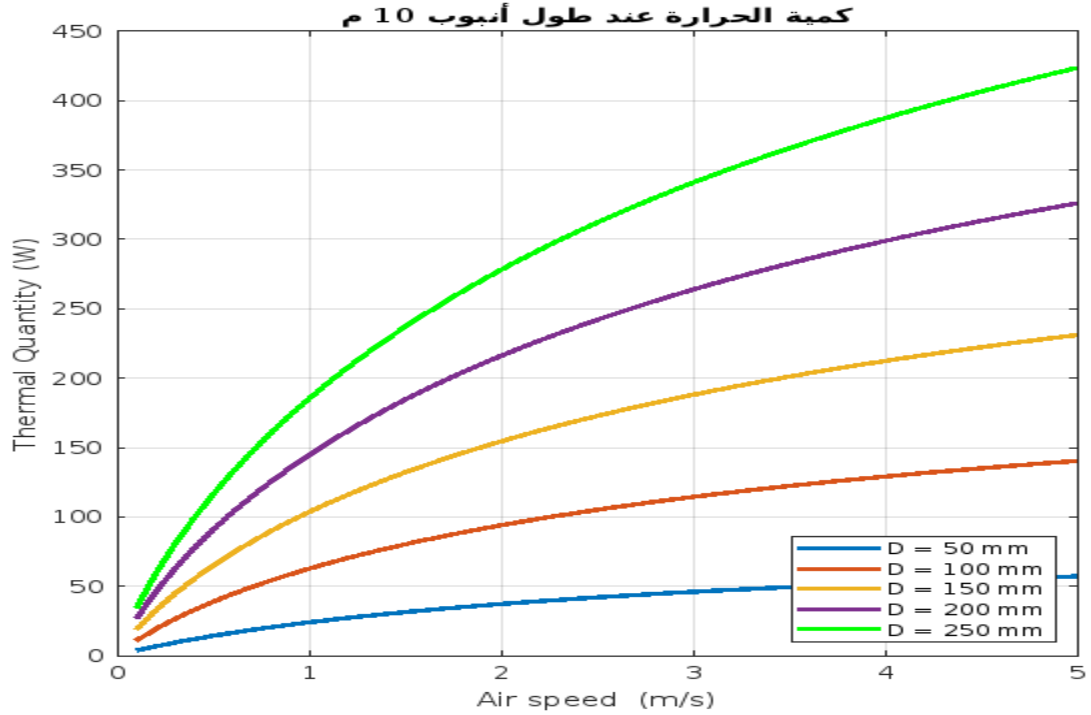
المخطط البياني 8.3 :
درجة الحرارة بدلالة
السرعة عند طول
الأنبوب 20 م



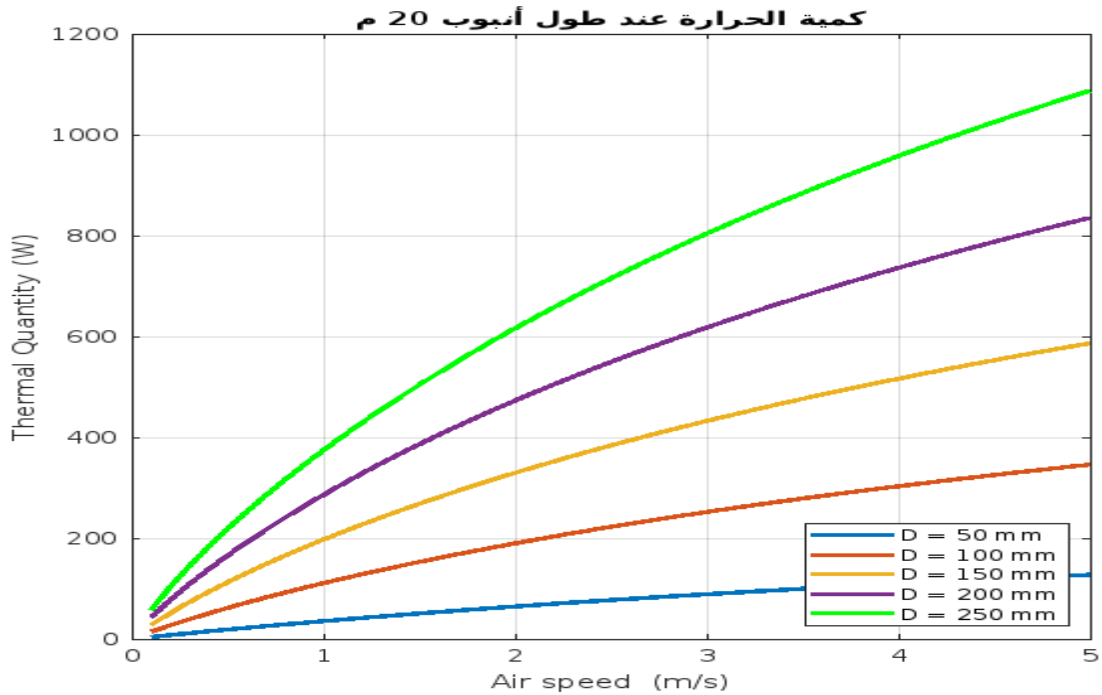
المخطط البياني 9.3 :
درجة الحرارة بدلالة
السرعة عند طول
الأنبوب 40 م



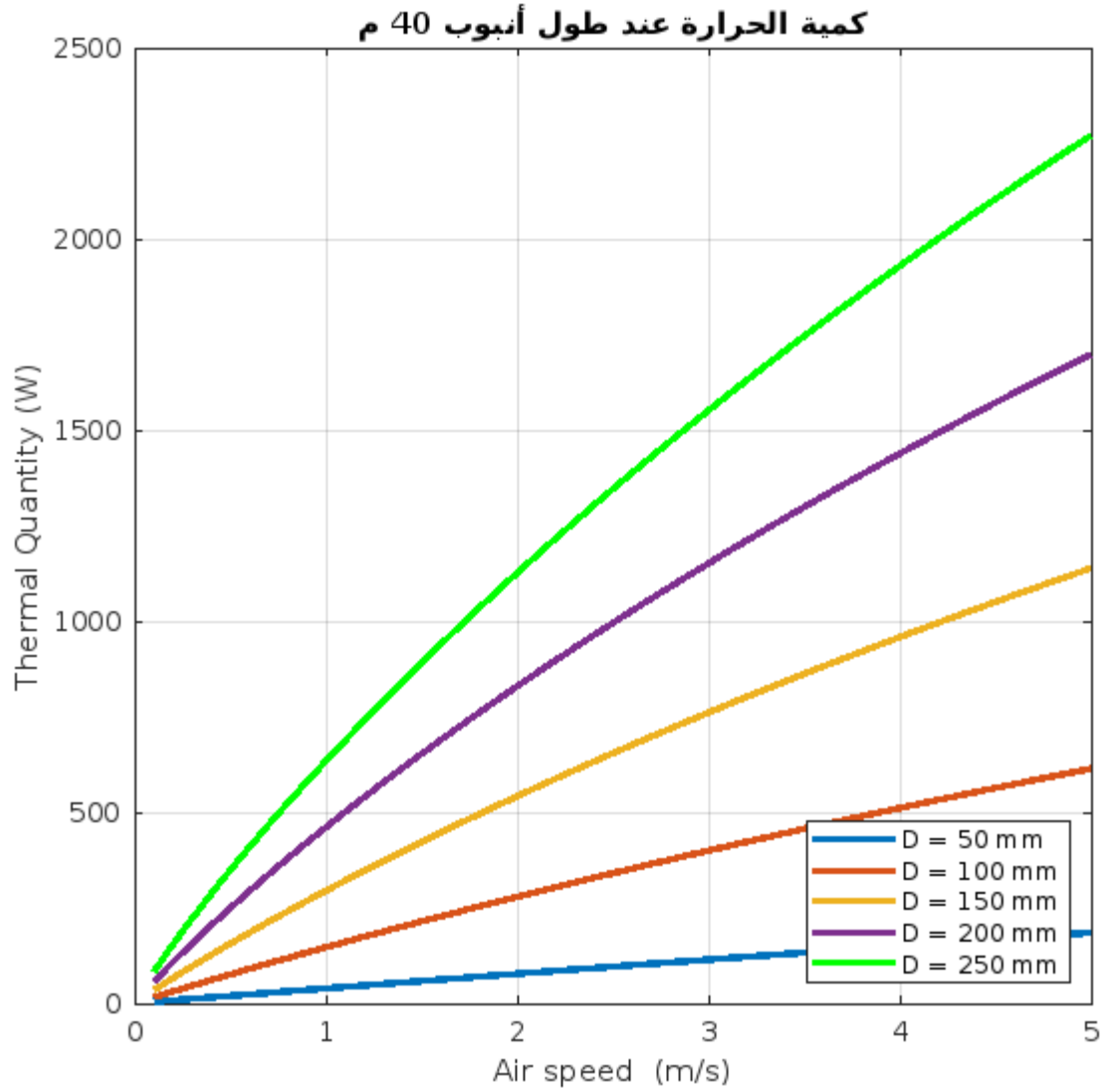
4. تأثير سرعة الهواء على كمية حرارة الهواء عند الخروج من المبادل



المخطط البياني 10.3 : كمية حرارة الهواء في أنبوب بطول 10 متر



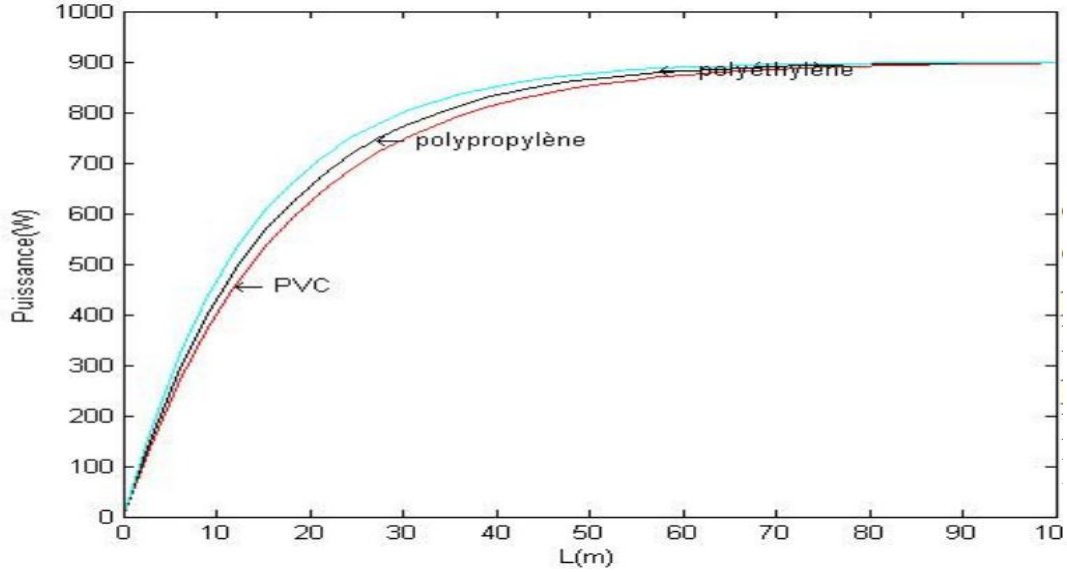
المخطط البياني 11.3 : كمية حرارة الهواء في أنبوب بطول 20 متر



المخطط البياني 12.3 : كمية حرارة الهواء في أنبوب بطول 40 متر

5. تأثير التوصيل الحراري للأنبوب.

في الشكل التالي دراسة سابقة للمواد الأكثر استخدامًا في المبادل الحراري أرض-هواء ، مثل PP و PE و PVC ، [12] لأنها مواد غير معدنية بطبيعتها ومانع للتآكل وغير مكلفة.



مخطط بياني 13.3 : تأثير التوصيل الحراري للأنبوب على الطاقة المتبادلة

وفقاً للمخطط ، يكون للتوصيل الحراري للأنبوب تأثير ضعيف للأطوال التي لا تقل عن 40 متراً وما يتجاوز هذه القيمة يكون التأثير صفرياً.

وفقاً للمخططات التي هي نتائج للمعادلات توازن الحرارة وانخفاض الضغط ، يمكن ملاحظة أن المعلومات المؤثرة في درجة حرارة الهواء داخل مبادل حراري أرضي هي: تدفق الهواء ، والخصائص الحرارية للأرض ، والتوصيل الحراري للأنبوب ، وطول الأنابيب وهندسة المبادل (شكل المسار).

6. تطبيق عددي :

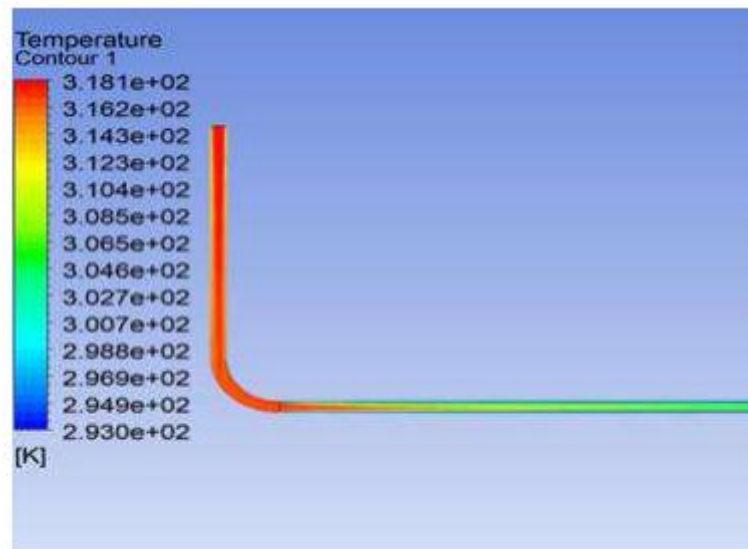
الأبعاد المستعملة في حساب درجة الحرارة النهائية للهواء في مبادل حراري أرضي- هواء بمعطيات سابقة ومما استتجنه من ناحية اختيارها هي $D = 25 \text{ mm}$ و $L = 30 \text{ m}$ والمواد المستعملة في الأنبوب هي البولي بروبلين ذو التوصيل الحراري 0.16 W/m.K

7. نتائج الأنسيس :



الشكل 28 : تطور درجة الحرارة داخل الأنبوب

يدخل الهواء عند درجة حرارة عالية 318 كلفن. عند المرور عبر الأنابيب يحدث لها تحول حراري، حيث تنتقل الحرارة إلى الأرض بالحمل الحراري، وفي هذه الحالة يكون انتقال الحرارة سريعاً نسبياً، حيث يصل الهواء إلى منتصف القناة الأفقية، ويحمل درجة حرارة عالية تبلغ حوالي 300 كلفن، وعند المخرج حوالي 296 كلفن، وتعتبر درجة حرارة مقبولة لتبريد المبنى.



الشكل 29 : تكبير لقيم درجة حرارة الهواء

كانت هذه تجربة للمبادل في حالة استعمال مبادل حراري أرض هواء بطول 25 متر وقطر 200 مم مع سرعة ثابتة تقدر بـ 1م/ث

الشكل 30 :

التغير في درجة
الحرارة للهواء
داخل الأنبوب



و ما نلاحظه من نتائج المحاكاة ببرنامج الأنسيس أنها تؤكد ما ذكرناه مسبقا في تحليل المخططات البيانية المتحصل عليها من برامج الماتلاب والذي طبق مبدأ التوازن الحراري وبالتالي يمكن القول أنه يمكن لهذا النظام تحقيق النتائج المطلوبة إذا توفرت الشروط.

الخاتمة

في هذه الدراسة ، كنا مهتمين باستخدام مبادل جوي-أرضي في عملية التكييف الحراري في قطاع السكن. والذي لا يتطلب طاقة لأن مصدره هو حرارة الأرض التي تكون معتدلة عند مستويات قريبة من السطح، يتم تطبيق هذه التقنية بواسطة مبادل حراري هواء/أرض التي تعتمد على أنابيب تكون مدفونة في التربة، ويتم على مستوى الأنابيب التبادل الحراري للهواء والذي يوفر حرارة مقبولة داخل المبنى، ولتحقيق هذا الهدف ، أنشأنا أولاً نموذجاً رياضياً يعتمد على توازن الحرارة.

بعد ذلك، تم إجراء دراسة بارامترية نهتم فيها بتأثيرات التدفق، وعمق الدفن، وموصلية الأنبوب ، وموصلية الأرض ، وهندسة أنابيب المبادل ، على الطاقة الحرارية المتبادلة.

تم إجراء دراسة حالة تقريبية لمدينة الأغواط لحساب مكاسب الطاقة. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن نظام المبادل جو-أرض يبرد الهواء الخارجي بمقدار 7 درجات مئوية إلى 13 درجة مئوية. وبغرض الحصول على أداء حراري أفضل للمبادل الحراري (هواء/أرض)، هذه بعض المعلومات التي تم جمعها من مختلف المصادر نقترح أن يتبع المصنعون توصيات معينة أثناء التنفيذ العملي لمثل هذا الجهاز :

أن يكون قطر الأنبوب 200 مم (دراستنا في المذكرة) .

وأن يكون العمق ثلاثة أمتار متر تحت الأرض .

وكذلك الطول الأمثل هو 20-30 متر.

بالنسبة لمادة الانبوب يرجح استخدام بولي كلوريد الفينيل عالية الضغط بسبب المزايا العديدة التي توفرها، خاصة وانها صلبة وأيضاً أقل تكلفة من المواد المعدنية ، وتتمتع بمقاومة جيدة للتآكل في وجود التربة.

لضمان انتقال جيد للحرارة بين السائل الموجه من خلال المبادل المدفون والأرض، يجب ألا تتجاوز سماكة المبادل 5 مم كأفضل تقدير .



قائمة

المراجع

1. Energies , 'La Géothermie en France', Revue BRGM, 1978.
2. J. Goguel, 'La Géothermie', Edition Doin, Paris, 1975.
3. C. Castany, 'Principes et Méthodes de l'Hydrogéologie', Edition Dunod Université, 1982.
4. H. Cristopher et H. Armstead, 'La Géothermie, Exploration – Forage – Exploitation', Edition du Moniteur, Paris, 1978.
5. Installation d'une sonde géothermique – Photo : Steve Heap ,
Shutterstock.
6. International Energy Agency, Air Infiltration and Ventilation Center,
Ventilation Information Paper No. 11, 2006, "Use of Earth to Air Heat
Exchangers for Cooling"
7. https://web.archive.org/web/20120426032503/http://www.archiv.solarbau.de/monitor/doku/proj02/dokuproj/Wagner_Euro00.pdf.
8. F.W. Dittus, L.M.K. Boelter, "Heat transfer in automobile radiators of the
tubular type", Univ. California, Berkeley Publ. Eng., vol. 2, 1930, pp.
443–461..
9. Peretti, C., et al., The design and environmental evaluation of earth-to-
air heat exchangers (EAHE). A literature review. Renewable and
Sustainable Energy Reviews, 2013.
10. Faculté des Sciences et Techniques–Mohammedia, Département de
Physique, B.P. 146 Yasmina. 20658 Mohammedia,.
11. <http://ashrae-meteo.info/>.
12. <http://www.footprintnetwork.org>.