

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء



مجال: علوم المادة

شعبة: الفيزياء

مذكرة ماستر أكاديمي

تخصص فيزياء الأرصاد الجوية

مقدمة من طرف الطالبين: مازوزي محمد التجاني - زناقي أحمد تيجاني

بعنوان:

تأثير العوامل المناخية والهندسية على كفاءة مبادل حراري  
(أرضي - جوي) في منطقة ورقلة

نوقشت يوم : 2022/06/16

أمام اللجنة :

رئيسا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ تعليم العالي	بن مبروك لزهري
مناقشا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ محاضر " أ "	تليلي صالح
مؤطرا	وحدة البحث (URAER) غرداية	أستاذ بحث قسم " أ "	قدور عبد المجيد
مساعد مؤطر	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ محاضر "ب"	بن بلقاسم خلف الله

الموسم الجامعي: 2021-2022

## الإهداء

الحمد لله الذي وهبنا التوفيق والسداد والصلاة والسلام على الحبيب  
المصطفى واله ومن أوفى أما بعد الحمد لله الذي وفقنا ومنحنا  
الثبات وأعانتنا على إتمام هذا العمل المتواضع  
اهدي عملي هذا إلى من له الفضل في وجودي أبي الغالي.  
إلى من سهرت وتعبت من اجلي أمي الغالية أدامك الله بخير  
وعافية.

إلى إخوتي وأخواتي أدام الله محبتنا.

إلى رفاق الدرب حفظكم الله من كل سوء.

إلى كل من لهم أثر في حياتي، وإلى كل من أحبهم قلبي ونسيهم  
قلمي.

## إهداء

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله صلى الله عليه وسلم ، الحمد لله والشكر لله على فضله وتوفيقه

وامتنانه الذي بفضلته أتمنا هذا العمل. بعدها اهدي عملي

إلى من كان سبب في وجودي أبي حفظك الله ورعاك.

إلى من كانت الجنة تحت أقدامها أمي أدامك الله لي بصحة وعافية.

إلى الروح التي سكنت قلبي وكانت بحرا صافيا يجري بفيض الحب جعل الله قلبي خير مسكن لك

إلى من سميتها أمي (نادية) حفظك الله لي.

إلى كل العائلة الكريمة التي ساندتني ولا تزال.

إلى أصدقائي فؤاد حليم إسماعيل.

إلى زملائي احمد سيد علي مسعود والى كل زملائي في الكلية

إلى الأستاذ المشرف "قدور عبد المجيد" والأستاذ المساعد "بن بلقاسم خلفا لله" كل

الشكر و الاحترام والتقدير لهما على كل ما قدموه لنا.

## شكر وتقدير

الحمد لله على كثير عطائه وله نسجد سجود الجامدين والشاكرين لأن وفقنا لإتمام هذا العمل

### المتواضع

والشكر لكل معلم وأستاذ نفعنا بعلمه من أول مرحلة دراسة حتى هذه اللحظة.

كما نرفع كلمة الشكر إلى الدكتور المشرف " قدور عبد المجيد " ومساعدته الدكتور " بن

بلقاسم خلفه الله " على تواضعهم وسمو أخلاقهم وكذا تشجيعهم لنا من خلال توجيهاتهم عبر مختلف

مراحل هذا العمل فالله شكر وألفه تقدير لهما على تعبههم ومجهوداتهم اتجاهنا

وكما أشكر لجنة المناقشة كل من الأستاذ بن مبروك لزهر أستاذ تعليم العالي جامعة قاصدي

مرباح ورقلة والأستاذ الدكتور تليلي صالح أستاذ محاضر أ جامعة قاصدي مرباح ورقلة على

قبولهم مناقشة هذه المذكرة المتواضعة

ونشكر كل من مد لنا يد العون من قريب وبعيد ونشكر كل قسم الفيزياء

وفى الأخير لا يسعنا إلا أن ندعو الله عز وجل أن يرزقنا الرشاد والعفاف والغنى وأن يجعلنا هداة

مهتدين.

## الفهرس

الصفحة	الموضوع
I	الإهداء
III	شكر وتقدير
IV	الفهرس
VII	قائمة الأشكال
VIII	قائمة الرموز
X	قائمة الجداول
IV	قائمة الاختصارات
XII	المقدمة العامة

### الفصل I : عموميات حول الطاقة الحرارية الأرضية

01	I. 1 مقدمة
02	I. 2 الطاقة الحرارية الأرضية
02	I. 2. 1 مفاهيم عامة
03	I. 2.2 أنواع الطاقة الحرارية الأرضية
04	I. 1.2.2 الطاقة الحرارية الأرضية المنخفضة للغاية
05	I. 2.2.2 الطاقة الحرارية الأرضية منخفضة الطاقة
05	I. 3.2.2 الطاقة الحرارية الأرضية عالية الطاقة
05	I. 3 الموارد الحرارية الأرضية في الجزائر
06	I. 4 تصنيف المناطق المناخية في الجزائر
07	I. 5 الوضعية والخصائص المناخية لمنطقة ورقلة
07	I. 1.5 الحرارة السنوية
09	I. 2.5 الرطوبة السنوية
10	I. 3.5 الرياح السنوية

- 11 I. 4.5 قياسات الإشعاع الشمسي السنوي
- 12 I. 5.5 قياسات الشمس
- 13 I. 6 إيجابيات و سلبيات الطاقة الحرارية الأرضية

## الفصل II : المبادل الحراري و النمذجة الرياضية

- 14 1.II مقدمة
- 14 2.II المبادل الحراري الأرضي الجوي
- 15 3.II مبدأ عمل المبادل الحراري الأرضي الجوي
- 16 1.3.II نظام الدائرة المغلقة
- 16 2.3.II النظام المفتوح
- 17 4.II العوامل الرئيسية التي تؤثر على كفاءة المبادل الحراري
- 17 1.4.II خصائص التربة
- 17 1.1.4.II السعة الحرارية
- 18 2.1.4.II التوصيل حراري
- 19 3.1.4.II الانتشار الحراري
- 19 2.4.II السطح المناخي
- 19 3.4.II الخصائص الفيزيائية للأنايب
- 19 4.4.II عدد الأنايب
- 20 5.4.II طول الأنايب
- 20 6.4.II قطر الأنايب
- 21 7.4.II المسافة بين الأنايب
- 21 8.4.II مواد الأنايب
- 21 9.4.II العوامل الأخرى
- 21 5.II الوصف الرياضي للمبادل الحراري (الأرضي - الجوي)

21	1.5 .II فاعلية كسب الطاقة من قبل المبادل
22	2.5 .II حساب درجة حرارة الهواء عند نهاية المبادل
23	1.2.5 .II المقاومات الحرارية
26	3.5 .II نسبة درجة الحرارة لمبادل حراري من الأرض إلى الهواء
27	4.5 .II معدل التبادل الحراري
27	5.5 .II كفاءة المبادل الحراري

### الفصل III : دراسة حالة مبادل حراري في منطقة ورقلة

32	1 .III مقدمة
32	2 .III تأثير العمق في تغيير درجة حرارة الأرض
33	3 .III تأثير العوامل الهندسية للمبادل الحراري
33	1.3 .III تأثير القطر على أداء المبادل الحراري
35	2.3 .III تأثير طول على أداء المبادل الحراري
36	4 .III تأثير سرعة الهواء على أداء المبادل الحراري
39	الخلاصة
41	قائمة المصادر

## قائمة الأشكال

الصفحة	اسم الشكل	الرقم
03	طريقة تسخين الصوابات باستخدام الطاقة الحرارية الأرضية	الشكل (1 .I)
03	طرق استغلال الطاقة الحرارية الأرضية	الشكل (2 .I)
04	خريطة لموارد الطاقة الحرارية الأرضية العالمية	الشكل (3.I)
08	تغيرات درجة الحرارة السنوية لمنطقة ورقلة لسنة 2020	الشكل (4 .I)
09	تغيرات الرطوبة القصوى والرطوبة الدنيا لمنطقة ورقلة لسنة 2020	الشكل (5.I)
10	تغيرات سرعة الرياح السنوية لمنطقة ورقلة لسنة 2020	الشكل (6.I)
11	تغيرات شدة الإشعاع الشمسي لمنطقة ورقلة لسنة 2020	الشكل (7 .I)
12	ساعات التشمس السنوي لمنطقة ورقلة سنة 2020	الشكل (8 .I)
15	مبادل حراري ارضي جوي	الشكل (1 .II)
16	نظام حلقة الهواء المغلقة	الشكل (2 .II)
17	نظام حلقة الهواء المفتوحة	الشكل (3 .II)
20	مبادل حراري ارضي _جوي على شكل شبكة من الأنابيب	الشكل (4 .II)
32	تغيرات درجة الحرارة السنوية في أعماق مختلفة ( بالساعة )	الشكل (1.III)
34	تغيرات درجة الحرارة السنوية للمبادل حسب أقطار مختلفة ( بالساعة )	الشكل (2 .III)
35	تغيرات درجة الحرارة السنوية للمبادل حسب أقطار مختلفة ( بالشهر )	الشكل (3 .III)
35	تغيرات درجة الحرارة السنوية للمبادل حسب سرعات مختلفة ( بالساعة )	الشكل (4 .III)
36	تغيرات درجة الحرارة السنوية للمبادل حسب سرعات مختلفة ( بالشهر )	الشكل (5 .III)
37	تغيرات درجة الحرارة السنوية للمبادل حسب أطوال مختلفة ( بالساعة )	الشكل (6 .III)
38	تغيرات درجة الحرارة السنوية للمبادل حسب أطوال مختلفة ( بالشهر )	الشكل (7 .III)



## قائمة الرموز

الوحدة	المعنى	الرمز
[w/m. °C]	الموصلية الحرارية للتربة	K
[kg/m <sup>3</sup> ]	كثافة الهواء	$\rho$
[j/gk. °k]	السعة الحرارية للتربة	Cp
[kg]	تدفق الهواء (كتلة الهواء المتدفقة )	$\dot{m}_{air}$
[j/(Kg. °K)]	السعة الحرارية للهواء	Cp <sub>air</sub>
[°C]	درجة حرارة الهواء عند المدخل	T <sub>in</sub>
[°C]	درجة حرارة الهواء عند مخرج أنبوب	T <sub>out</sub>
[W]	مجموع المقاومات	R <sub>total</sub>
[(°k)/w]	المقاومة الحرارية بين الهواء والأنبوب	R <sub>conv</sub>
[m. °k/w]	المقاومة الحرارية بين الأنبوب والأرض	R <sub>sol</sub>
[W]	معامل المقاومة	R <sub>gain</sub>
[(m. °k)/w]	المقاومة الحرارية للأنبوب المدفون	R <sub>toube</sub>
[°k]	درجة حرارة التربة	T <sub>sol</sub>
[°k]	درجة حرارة الهواء عند مسافة معينة	T <sub>a(x)</sub>
[m]	نصف القطر الداخلي للأنبوب	r <sub>i</sub>
[(°k)/w]	معامل التبادل الحراري	h <sub>conv</sub>
بدون وحدة	عدد نسيليت	N <sub>u</sub>
$\left[\frac{w}{m. °k}\right]$	الناقلية الحرارية	$\lambda$
[m]	نصف قطر متوسط الأنبوب	D
[m]	نصف القطر الخارجي للأنبوب	r' <sub>e</sub>
[m]	نصف القطر الداخلي للأنبوب	r' <sub>i</sub>
[w/(m. k)]	الموصلية الحرارية لجدار الأنبوب المدفون	$\lambda_{tube}$

[m]	يتعلق بعمق التربة بشكل نصف قطر أسطوانة	$R_{(z)}$
[w/(m. k)]	الموصلية الحرارية للتربة	$\lambda_{sol}$
[j/kg. °C]	الحرارة النوعية للهواء	$c_{p,air}$
[j/kg. °C]	السعة الحرارية للتربة	$C$
[°C]	درجة حرارة الهواء	$T_{air}$
[°C]	درجة الحرارة عند المدخل الدنيا	$T_{in,min}$
[°C]	درجة الحرارة عند المدخل القصوى	$T_{in,max}$
[°C]	درجة حرارة الهواء عند مخرج أنبوب (EAHE)	$T_{out,max}$
[Pa]	الضغط	$P$
[(kg/s)]	معدل التدفق الكتلي للهواء	$m$
[j/(Kg. °K)]	السعة الحرارية للتربة	$C_p$
[°C]	درجة حرارة الهواء عند مخرج أنبوب (EAHE)	$T_{out}$

## قائمة الجداول

الصفحة	العنوان	الجدول
18	الخصائص الحرارية للمكونات الرئيسية للتربة	الجدول (1.II)

## قائمة الاختصارات

المعنى الانجليزية	المعنى بالعربية	الاختصار
Earth-air heat exchanger	مبادل حراري ارضي جو	EAHE
Polyvinyl Chloride	البولي فينيل كولي راد	PVC
Köbin's classification of climatic zones	تصنيف كوبن للمناطق المناخية	CSTB

## المقدمة العامة

ان إنتاج الطاقة من الوقود الأحفوري، نتج عنه العديد من السلبيات من أهمها زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي مما أدى إلى تفاقم ظاهرة الاحتباس الحراري في الآونة الأخيرة. نتج عن ذلك تزايد في استهلاك الطاقة في المباني بشكل كبير في جميع أنحاء العالم، بسبب هذه التغيرات المناخية، والارتفاع الكبير لدرجة الحرارة في الصيف والانخفاض الحاد في فصل الشتاء. حيث أن المباني تستهلك ما يقارب 40% [1]. من الطاقة العالمية، وخاصة في الدول النامية. تشير المعطيات الحالية إلى زيادة في سكان العالم بمرور السنين، مما سيزيد من استهلاك الطاقة بشكل كبير. لذلك علينا البحث عن طاقة بديلة كافية لتلبية متطلبات المجتمع وخالية من انبعاثات الكربون والتلوث.

على الرغم من تصنيف الجزائر من الدول المنتجة للنفط بامتياز. إلى أنها تمتلك إمكانيات كبيرة للطاقات المتجددة، منها الطاقة الشمسية والطاقة الحرارية الأرضية. هذه الأخيرة تعد من مصادر الطاقة الغير تقليدية (الطاقة المتجددة) الخيار الأفضل للطاقة النظيفة والمستدامة، لأنها تلعب دورًا مهمًا في تغطية الطلب.

الطاقة الحرارية الأرضية هي مصدر طاقة نظيف ومتجدد، وهي طاقة حرارية ذات منشأ طبيعي مخترنة في باطن الأرض، حيث يمكن استغلالها عن طريق آليات مختلفة. في هذا العمل سنحاول دراسة تأثير العوامل المناخية والهندسية على كفاءة مبادل حراري (أرضي - جوي)، الذي يعد من بين أسهل وأهم الطرق في استغلال الطاقة الحرارية الأرضية، وذلك في منطقة معينة وهي منطقة ورقلة، من أجل هذه الدراية قمنا بتقسيم العمل إلى ثلاثة فصول حيث نتعرف في الفصل الأول سنتطرق إلى العموميات حول الطاقة الحرارية الأرضية، وذلك من خلال ذكر بعض التعريفات المهمة وتصنيف أنواعها. بعد ذلك سوف نعرض أهم الموارد والإمكانيات الطاقية الجوفية في الجزائر بصفة عامة، كما نخصص جزءا منها لدراسة الخصائص المناخية في منطقة ورقلة باعتبارها محل الدراسة. نختم هذا الفصل بذكر بعض السلبيات والإيجابيات في استغلال الطاقة الحرارية الأرضية.

نخصص في الفصل الثاني للدراسة النظرية والتقنية (الأرضي-الجوي)، بداية بتعريفه وذكر أنواعه إلى عرض العوامل الرئيسية والخصائص الفيزيائية والهندسية المؤثرة على كفاءتها.

في الفصل الأخير سنحاول تطبيق كل المفاهيم السابقة، وذلك بدراسة حالة للمبادل الحراري البسيط في منطقة ورقلة، والتحقق من تأثير خواص المبادل من عمق، طول ونصف قطر على أدائه الحراري.

في الأخير نختتم هذا العمل بعرض ومناقشة النتائج المحصل عليها، ووضع خلاصة عامة حول أهم الملاحظات والنتائج.

## I : الفصل

عموميات حول الطاقة الحرارية الأرضية

في منطقة ورقلة

## I. 1 مقدمة :

منذ العصور القديمة إلى العصر الحديث سعى الإنسان في التعلم باستمرار عن كيفية التحكم في الطاقة. وطور هذه المحاولات، بداية من الاكتشاف التلقائي للطاقة إلى التعايش معها، ثم إلى الاستغلال والتوفير. بمرور الوقت، حاول الإنسان عدة مرات البحث عن مصدر جديد للطاقة يلبي احتياجاته الشخصية، و يجاري متطلبات التطور الصناعي في ذلك الوقت. فكان الانتقال من الطاقات التقليدية مثل التدفق (الماء والرياح)، إلى طاقات المخزون ( الأحفوري والانشطاري )، ثم استبدال الخشب بالفحم، والأخير بالزيت والغاز الطبيعي وذلك بالتوازي مع اختراع المحرك بخاري، ومحركات الاحتراق الداخلي... الخ.

أدى الاستخدام المكثف للوقود الأحفوري في معظم قطاعات الإنتاج، بما في ذلك الصناعة النووية إلى عدة تأثيرات سلبية في عدة جوانب، بيئية واقتصادية وسياسية، من ناحية تلوث الغلاف الجوي والتربة والمياه، ومن ناحية أخرى الإحترار العالمي عن طريق الانبعاث المفرط للغازات الدفيئة. زيادة على ذلك اثر استنزاف الموارد بشكل كبير على النمو الاقتصادي، بحيث أدى إلى زيادة فاتورة الطاقة للدول (بركود العرض و زيادة الطلب).

حاليا أصبح البحث عن مصادر لطاقات البديلة أكثر إلحاحا، مما يعني الانتقال من رؤية قصيرة المدى إلى رؤية طويلة المدى، أي من زيادة العرض في مواجهة التزايد في الطلب إلى تحسين الكفاءة والأداء، من اجل تنمية أكثر استدامة، واستغلال الطاقات المتجددة على نطاق أوسع.

تشمل الطاقات المتجددة كل مصادر الطاقة التي لا تنضب على المستوى البشري، مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الهيدروليكية والطاقة الحرارية الأرضية.



## I. 2 الطاقة الحرارية الأرضية :

### I. 2. 1 مفاهيم عامة :

الطاقة الحرارية الأرضية هي واحدة من أنظف الطاقات البديلة وأكثرها سهولة في الوصول وأقلها تكلفة في العالم بأسره. يمكنها أن تدخل في مجالات متعددة، مثل : تربية الأسماك، تدفئة الصوبات، العلاج بالمياه المعدنية، وإنتاج الكهرباء. كما أنه يوفر ربحًا حقيقيًا للمجتمع فيما يتعلق بالراحة الحرارية.

طور العلماء طرقًا عديدة لإنتاج و استغلال الطاقة بالاستفادة من الحرارة الموجودة داخل الأرض، والتي تسمى بالطاقة الحرارية الأرضية، التي تعتبر من أغنى مصادر الطاقة المتجددة في العالم.

غالبًا ما تستخدم الطاقة الحرارية الأرضية في المناطق التي ترتفع فيها درجة الحرارة الجوية لهدف تبريد المنازل، أو توليد الكهرباء في المناطق التي تمتاز بالنشاط البركاني.

تعمل الطاقة الحرارية الأرضية على تدفئة وتبريد المنازل دون الإضرار بالبيئة، بفضل الطاقة الحرارية الأرضية، يمكننا تقليل استهلاكنا للوقود الأحفوري الخطير. إذ تعد الطاقة الحرارية الأرضية ثالث طاقة متجددة يتم استغلالها فعليًا في العالم بعد الكتلة الحيوية والمكونات الهيدروليكية.

شهد استخدام الطاقة الحرارية الأرضية توسعًا كبير، حيث تم تطوير استخدامها في حوالي ستين دولة،

مثل الولايات المتحدة و اليابان و آيسلندا و نيوزيلندا و جزر الهند الغربية الفرنسية وسويسرا[2].

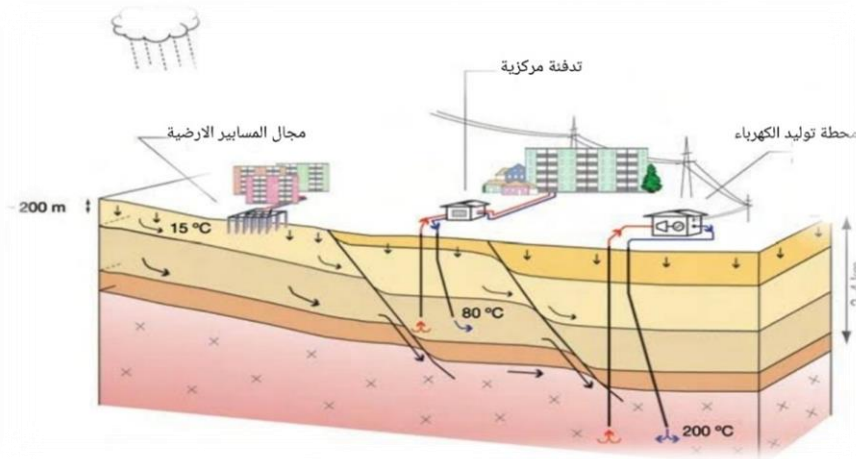


الشكل ( I. 1 ) : طريقة تسخين الصوبات باستخدام الطاقة الحرارية الأرضية [2].

## I. 2. 2 أنواع الطاقة الحرارية الأرضية :

يتم استغلال الطاقة الحرارية الأرضية، اعتمادًا على مستوى درجة الحرارة المتاحة للاستخدام وفق أعماق

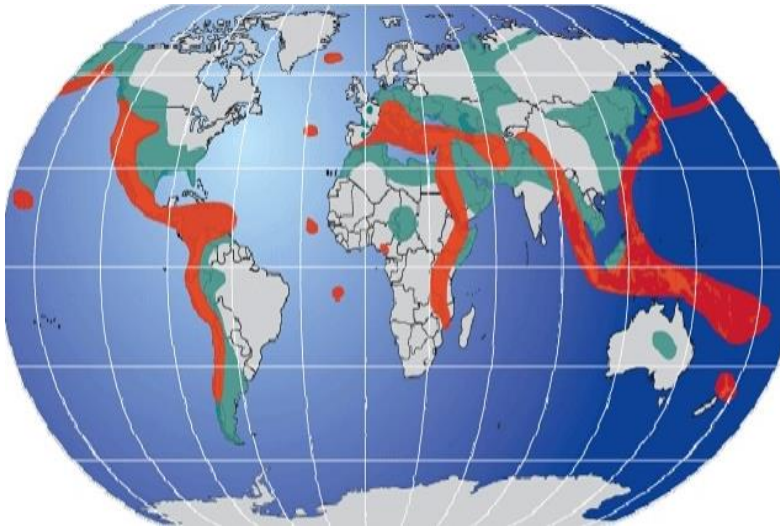
معينة من سطح الأرض، تقليدياً يوجد ثلاثة أنواع من هذا المصدر كما يبينه الشكل ( I. 2 ).



الشكل ( I. 2 ) : مخطط يمثل طرق استغلال الطاقة الحرارية الجوفية [2].

## I. 2. 2. 1 الطاقة الحرارية الأرضية المنخفضة للغاية :

هي طاقة حرارية أرضية في أعماق ضحلة، تتراوح درجة الحرارة فيها بين 10 و 30°C. في هذه الحالة لا تأتي الحرارة من أعماق قشرة الأرض، ولكن من الشمس وجريان مياه الأمطار، حيث تلعب تربة التضاريس دوراً في القصور الذاتي الحراري. الشكل (I. 3) يوضح توزيع موارد الطاقة الحرارية الأرضية حول العالم [3].



الشكل (I. 3) خريطة لموارد الطاقة الحرارية الأرضية العالمية [3].

● مناطق التي تساعد على استغلال الطاقة الحرارية الأرضية عالية الطاقة.

● مناطق مواتية لطاقة الحرارية الأرضية المنخفضة (الأحواض الرسوبية).

● مناطق القبو البلوري المحجوزة لطاقة المنخفضة للغاية.

## I. 2. 2. الطاقة الحرارية الأرضية منخفضة الطاقة :

عندما يتيح الحفر الوصول إلى درجة حرارة الماء والتي تتراوح ما بين  $30^{\circ}\text{C}$  و  $100^{\circ}\text{C}$  ، في الترسبات الواقعة بين عمق 1000m و 3000m ( حوض باريس، حوض آكيتين...الخ ) [4]. تستخدم هذه التكنولوجيا بشكل رئيسي لتدفئة المناطق السكنية عن طريق شبكة التدفئة، وبعض التطبيقات الصناعية. تتميز الطاقة الحرارية الأرضية العميقة ( الطاقة العالية والمنخفضة ) بميزة عدم الاعتماد على الظروف الجوية ( الشمس والمطر والرياح ). لذلك فهو مصدر شبه مستمر للطاقة لأنه لا يتم مقاطعته إلا من خلال عمليات الصيانة في محطة توليد الطاقة الحرارية الأرضية أو شبكة التوزيع الطاقة.

## I. 2. 3. الطاقة الحرارية الأرضية عالية الطاقة :

الطاقة الحرارية الأرضية ذات الطاقة العالية، أو ما يسمى الطاقة الحرارية الأرضية العميقة، وهي مصدر للطاقة يأتي من القشرة الأرضية، حيث يكون العمق بشكل عام أكثر من 1500m ، في المناطق التي يوجد فيها نشاط بركاني، حيث تزيد درجة الحرارة عن  $80^{\circ}\text{C}$ . [4]

بفضل درجات الحرارة المرتفعة، من الممكن إنتاج الكهرباء والقيام بالتوليد المشترك ( إنتاج مشترك للكهرباء بفضل التربينات البخارية والتدفئة مع استعادة مكثفات البخار ).

## I. 3. الموارد الحرارية الأرضية في الجزائر :

يوجد في الجزائر طبقات مياه أرضية وينابيع حارة تتراوح درجات حرارتها بين  $20^{\circ}\text{C}$  و  $98^{\circ}\text{C}$ . ويوجد في الشمال حوالي 200 ينبوع حراري، تتراوح درجة حرارتها بين  $22^{\circ}\text{C}$  و  $90^{\circ}\text{C}$ . وفي الحوض الرسوبي للصحراء السفلية، توجد احتياطات هائلة من المياه الساخنة، تتراوح من  $50^{\circ}\text{C}$  إلى  $56^{\circ}\text{C}$ .

وتجدر الإشارة إلى أن هناك مصادر لارتفاع درجات الحرارة والتي يمكن أن تصل إلى  $118^{\circ}\text{C}$  في عين أولمان، و  $119^{\circ}\text{C}$  في بسكرة. لذلك يمكننا أن نرى أن إمكانيات الطاقة الحرارية الأرضية الموجودة في بلدنا قوية جداً.

في جنوب الجزائر توجد عدة مصادر للطاقة الحرارية الأرضية على أعماق تتراوح من 80m في منطقة المنيعة إلى 1500m في توقرت، مع درجة حرارة من  $40^{\circ}\text{C}$  إلى  $60^{\circ}\text{C}$  ، مما يوفر إمكانيات كبيرة لتدفئة البيوت البلاستيكية الزراعية [5].

#### I. 4 تصنيف المناطق المناخية في الجزائر :

الجزائر بلد شاسع تقع بين خطي عرض ( 18 و  $38^{\circ}$  درجة شمالاً )، وبين خط طول 9 درجات غرباً وخط طول 12 درجة شرقاً ( خط الزوال الدولي 0 درجة غرينتش يمر بالقرب من مدينة مستغانم ) [5].

في الجزائر تم إجراء التصنيف الأول للمناطق المناخية بواسطة CSTB في عام 1962م، والذي يعمل كأساس حساسي لأبعاد التدفئة أو تكييف الهواء.

التصنيف الثاني الذي يأخذ في الاعتبار البيانات المناخية الأكثر تمثيلاً للفترة (1974م-1984م) يجعل من الممكن تحديد المناطق المناخية في الجزائر بمزيد من الدقة. يتوافق هذا الامتداد الإقليمي الشاسع مع مجموعة متنوعة من المناطق المناخية التي يمكن تصنيفها إلى ثلاث فئات [6].

- التل ( مناخ معتدل رطب من نوع البحر الأبيض المتوسط ).
- السهول العالية ( مناخ قاري ).
- الصحراء ( مناخ جاف ).

## I. 5 الوضعية والخصائص المناخية لمنطقة ورقلة :

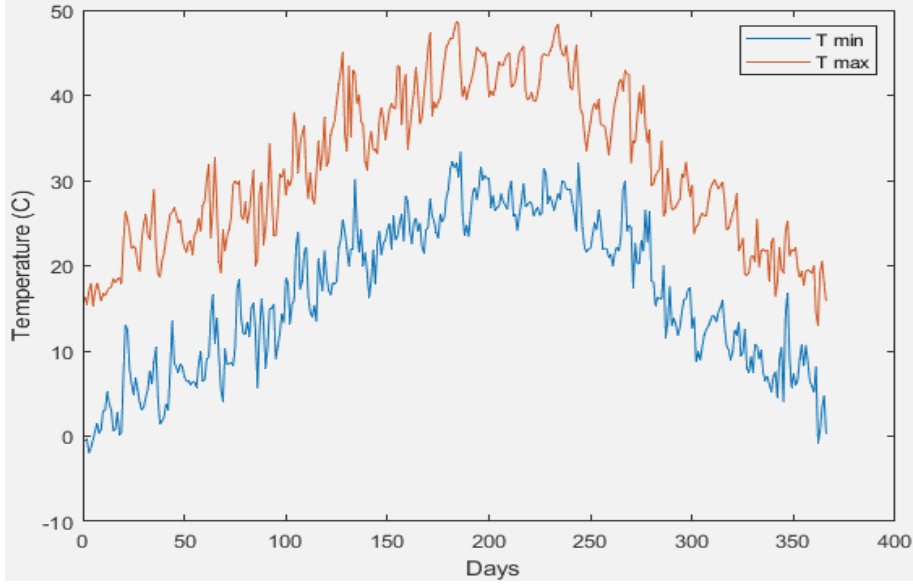
تقع ولاية ورقلة بين خطي طول  $24^{\circ}05'$  شرق أو خط عرض  $31^{\circ}56'$  شمالا في الجنوب الشرقي من الوطن، وعلى ارتفاع  $143.6\text{m}$  على سطح البحر ، مساحتها حوالي  $163.233\text{km}^2$ .

تتميز ولاية ورقلة بمناخ صحراوي، مع انخفاض شديد في هطول الأمطار، ودرجات حرارة عالية، وحياتة بيولوجية ضعيفة للنظام البيئي.

وفقًا للمكتب الوطني للقياس لعام 2009م، يبلغ متوسط درجات الحرارة الشهرية المسجلة في أكثر الأشهر حرارة (أوت)  $43^{\circ}\text{C}$  ، بينما تبلغ درجة حرارة أبرد شهر (جانفي)  $11.1^{\circ}\text{C}$  ، مع هطول أمطار نادرة وغير منتظمة ويتراوح بين ( $0.1\text{ mm}$  و  $8\text{ mm}$ )، بحيث يبلغ متوسط هطول الأمطار السنوي ( $48.8\text{mm/an}$ ) في ورقلة. يمكن ملاحظة رياح سيروكو (الرياح الحارة والجافة) في أي وقت من السنة بسرعة تصل إلى  $4.2\text{m/s}$ . أما الرطوبة النسبية سجلت معدلات من 25 إلى 61%. في حين أن التبخر مهم جدًا إلا أنه يمكن أن يصل ارتفاعه إلى  $484\text{mm}$  [7].

## I. 5. 1 الحرارة السنوية :

مناخ منطقة ورقلة، صحراوي جاف، ودرجات الحرارة بها مرتفعة صيفا حيث تتجاوز ( $41^{\circ}\text{C}$ ) في المتوسط، وتنخفض شتاء ولاسيما أثناء الليل، فالمناخ هنا قاري يتميز بفوارق حرارية (يومية وفصلية) معتبرة، تصل إلى حدود ( $30^{\circ}\text{C}$ ). فدرجات الحرارة القصوى في سنة (2020) سجلت ( $48.7^{\circ}\text{C}$ ) بورقلة، بينما وصلت درجة الحرارة الدنيا ( $-2^{\circ}\text{C}$ ) في نفس المنطقة. كما هو موضح في المنحنى التالي :



الشكل (4.I): تغيرات درجة الحرارة السنوية لمنطقة ورقلة لسنة 2020 [8].

من خلال المنحنيين نجد أن التغير في درجة الحرارة السنوية (القصوى و الدنيا)، لمنطقة ورقلة كانت على

النحو التالي :

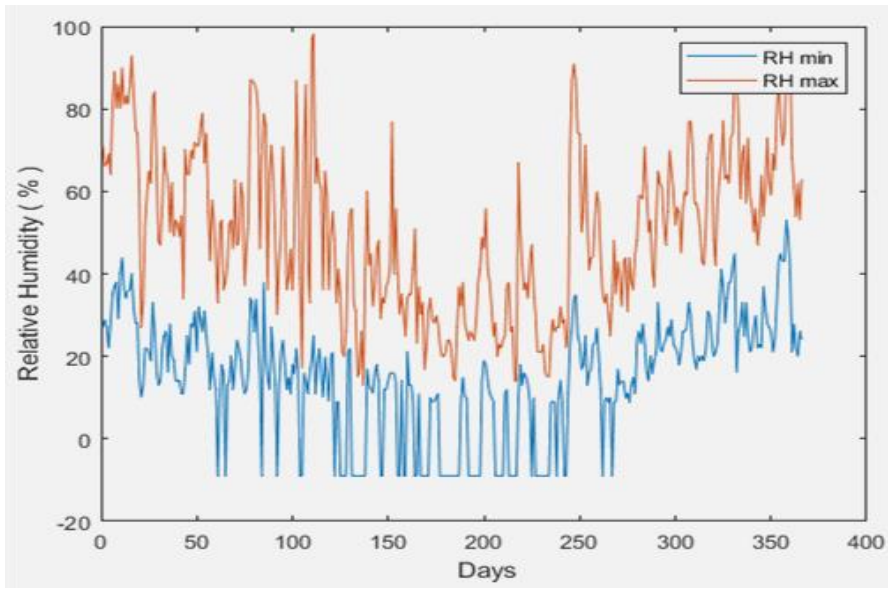
- في الأشهر (جانفي، فيفري، نوفمبر، ديسمبر)، تكون قيم الحرارة منخفضة لا تتعدى ( $30^{\circ}\text{C}$ ) القصوى، و ( $16.8^{\circ}\text{C}$ ) للحرارة الدنيا.
- وفي الأشهر (مارس،أفريل، سبتمبر، أكتوبر)، تكون قيم الحرارة متوسطة تتراوح ما بين ( $30^{\circ}\text{C};38^{\circ}\text{C}$ ). للقصوى، و( $18^{\circ}\text{C};24^{\circ}\text{C}$ ) للدنيا.
- وفي الأشهر (ماي، جوان، جويلية، أوت)، ترتفع تدريجيا قيم درجة الحرارة وتبلغ قيم أعظمية تصل إلى ( $48.7^{\circ}\text{C}$ ) للقصوى، و ( $33.4^{\circ}\text{C}$ ) للدنيا.

من خلال المنحنيين نلاحظ أن منطقة ورقلة تتميز بدرجة حرارة شبه مرتفعة على المستوى السنوي مع

وجود تناسب طردي في التغير السنوي لدرجة الحرارة القصوى و الدنيا.

## I. 5. 2 الرطوبة السنوية :

تعتبر الرطوبة الجوية عن كمية الماء الموجودة في الهواء، والتي تتغير باستمرار مع تغيرات درجة الحرارة، هذا التغير متعلق بالمعدلات السنوية للإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة المتوسطة ومصادر البناء، مما ينجم عنه توزيع غير منتظم للبخار في المناطق المختلفة، كما أنها تعد ذات تركيز كبير في المناطق الاستوائية وتنخفض كلما اتجهنا إلى القطبين [9].



الشكل (5.I): تغيرات الرطوبة القصوى والرطوبة الدنيا لمنطقة ورقلة لسنة 2020 [8].

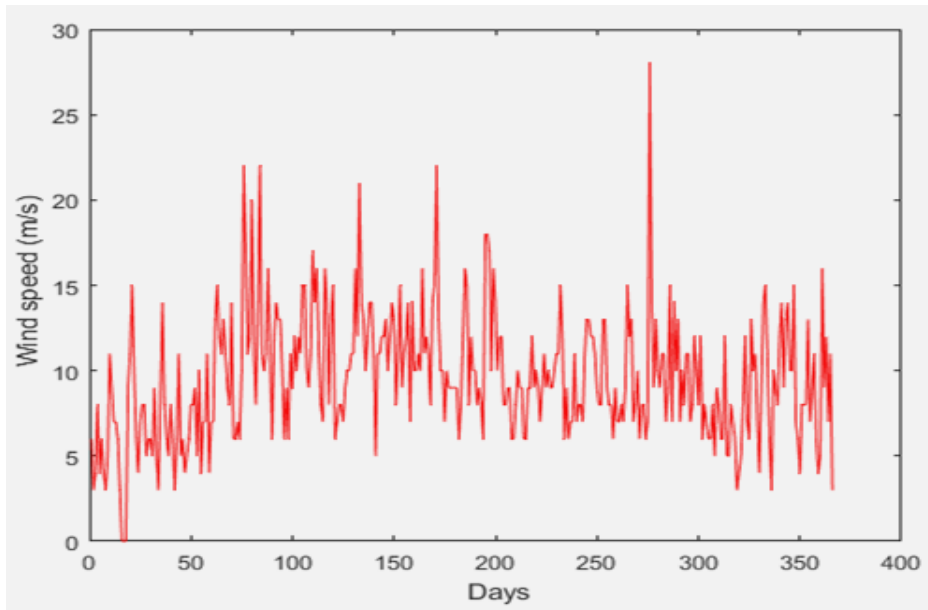
تكون قيم الرطوبة عالية جدا في الفترة الممتدة من شهر جانفي إلى شهر أفريل، وتنخفض تدريجيا في الفترة الممتدة من شهر ماي إلى أوت، وتأخذ قيم صغرى، ثم تتزايد تدريجيا بداية من شهر سبتمبر إلى أن تبلغ ذروتها في شهر ديسمبر.

في منطقة ورقلة تزداد الرطوبة شتاء في شهر ديسمبر وتنخفض صيفا بين شهرين جويلية و أوت.



## I. 5. 3 الرياح السنوية :

تهب على ورقلة عواصف رملية موسمية بين شهري ( فيفري و أفريل )، أين تبلغ ذروتها في شهر مارس، غالبا ما تتسبب في خسائر فادحة تصيب الزرع و الماشية، ويبدأ الجو في تحسن ابتداء من شهر سبتمبر عندما يتغير اتجاه الرياح، لتصبح شمالية شرقية، المعروفة محليا باسم ( البحري )، والتي غالبا ما تكون محملة بشيء من الرطوبة فتعمل على تلطيف الجو ولاسيما ليلا [9] .



الشكل (6.I): تغيرات سرعة الرياح السنوية لمنطقة ورقلة لسنة 2020 [8].

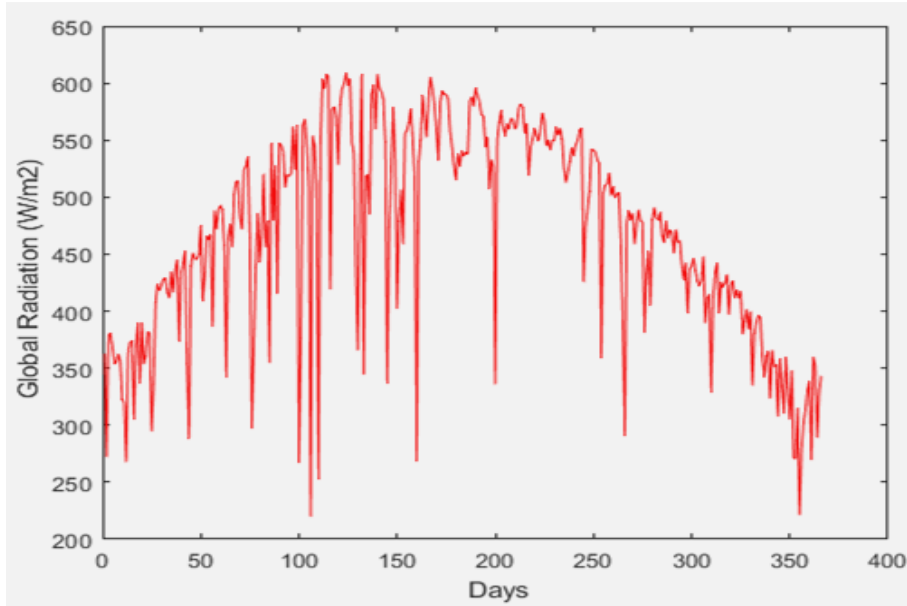
من المنحني نلاحظ أن أقصى قيمة لسرعة الرياح لسنة 2020م كانت في شهر ( أكتوبر )، حيث بلغت 28m/s. في الأشهر ( فيفري - مارس - أفريل )، كما كانت ذات قيمة مهمة كذلك أما القيمة الدنيا فكانت في شهر جانفي، وقيم متوسطة في باقي أيام السنة.

بصفة عام نلاحظ أن مناخ ورقلة قاري جاف يتميز بهبوب رياح قوية شبه دائمة على المستوى السنوي .

## I. 5. 4 قياسات الإشعاع الشمسي السنوي :

تقع الجزائر في منطقة إستراتيجية طاقويا من الإشعاع الشمسي، الذي يتراوح في شهر جويلية عند الشدة القصوى للإشعاع من ( 6 kwh/m<sup>2</sup> ) إلى ( 9 kwh/m<sup>2</sup> ) في الأيام العادية التي تتميز بصفاء الجو، أما الإشعاع السنوي فيجتاز ( 2500 kwh/m<sup>2</sup> ) [10].

كما أن منطقة ورقلة تعد أحد أكبر الولايات تعرضا للأشعة الشمسية المباشرة على المستوى الوطني. وقد تلقت منطقة ورقلة سنة 2020 كمية كبيرة من الإشعاع الشمسي ملخصة في المنحنى التالي:



الشكل (7.I) : تغيرات شدة الإشعاع الشمسي لمنطقة ورقلة لسنة 2020 [8].

ترتفع شدة الإشعاع الشمسي في منطقة ورقلة في الفترة الممتدة ما بين الأشهر ( ماي، جوان، جويلية، أوت ) وتبلغ ذروتها في شهر جويلية حيث وصلت إلى ( 595.5 w/m<sup>2</sup> )، ثم تنخفض تدريجيا في الأشهر الباردة، حيث بلغت اقل قيمة ( 219.8 w/m<sup>2</sup> ) في شهر أفريل.

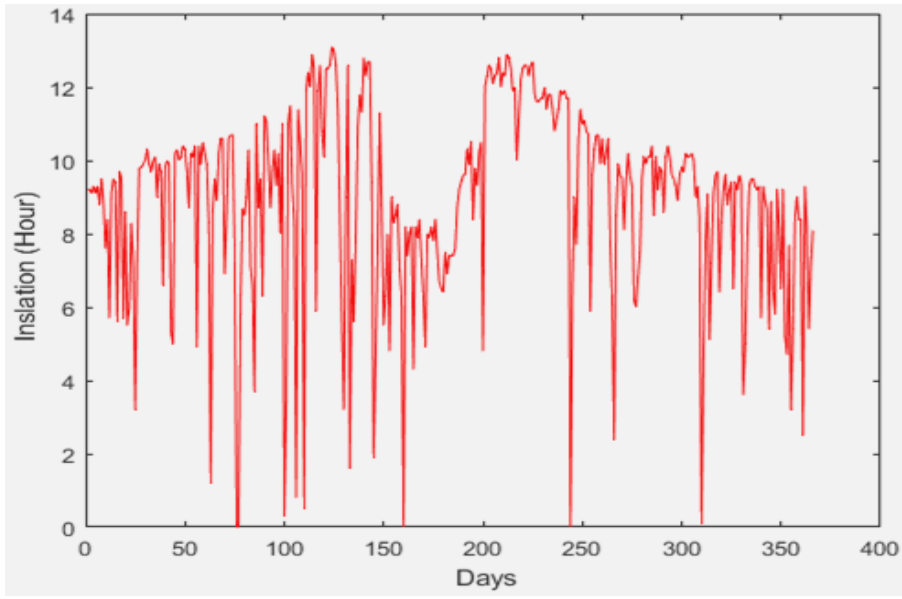
تتلقى منطقة ورقلة كمية كبيرة جدا من الأشعة الشمسية المباشرة على المستوى السنوي، حيث ترتفع

نسبة الإشعاع في الأشهر الحارة وتنخفض في الأشهر الباردة.

### 5.5.I قياسات الشمس :

هناك اختلاف واضح في عدد ساعات الشمس، أي عدد سطوع الإشعاع الشمسي على سطح الأرض

بين الفترة الباردة و الحارة في منطقة ورقلة. حيث ترتفع صيفا وتنخفض شتاء كما يوضح المنحنى التالي :



الشكل (8.I) : ساعات الشمس السنوي لمنطقة ورقلة لسنة 2020 [8] .

في منطقة ورقلة تصل عدد ساعات الشمس في الأشهر الباردة ما بين ( 248.2h – 229.6h )،

وتزداد ساعات الشمس بعد شهر ديسمبر، بينما في الأشهر الحارة تصل عدد الساعات من ( 303.4h –

335.2h )، بحيث يعد شهر أوت أكثر الشهور حرارة في المنطقة [10].

كلما زادت مدة الشمس زادت مدة التعرض للأشعة المباشرة على سطح الأرض.

## I. 6 إيجابيات و سلبيات الطاقة الحرارية الأرضية :

لكل مصادر الطاقة إيجابيات وسلبيات يجب معرفتها بشكل جيد وذلك من أجل تصنيف ومعرفة مدى كفاءة وأهمية هذه المصادر طاقيًا وبما أن الطاقة الحرارية الأرضية مصنفة كطاقة متجددة نضيفه فان إيجابياتها أكثر من سلبياتها يمكن حصرها في ما يلي:

- تكاليف استثمار وصيانة عالية جدًا.
- لا يزال استخدام الطاقة الحرارية الأرضية محدودًا، ولا سيما بالقرب من المناطق البركانية.
- خطر الانهيار الأرضي.

أما إيجابيات الطاقة الحرارية كثيرة من أهمها:

- مصدر طاقة محلي لا يحتاج إلى نقل.
- مصادر طاقة متجددة تحافظ على البيئة.
- طاقات إنتاجية كبيرة ( في حالة استغلال البراكين ) مقارنة بالطاقات المتجددة الأخرى.
- الطاقة الأساسية، بشكل عام مستقلة عن الظروف المناخية.

## الفصل II :

المبادل الحراري والنمذجة الرياضية

## 1.II مقدمة :

يمكن استغلال الطاقة الحرارية الأرضية بسهولة كمصدر للتكييف وذلك باستخدام ما يعرف بالمبادلات الحرارية الأرضية (EAHE) ودمجها في المباني بغرض التبريد والتدفئة من أجل الوصول إلى الراحة الحرارية التي تعتبر من أكثر المساعي الحالية وذلك في ظل الاحتياج الطاقوي المتزايد للنشاط البشري بصورة عامة [11].

## 2.II المبادل الحراري الأرضي (EAHE) :

إن المبادل الحراري الأرضي الجوي (EAHE) أو ما يسمى أيضاً أنابيب الأرض، أو المبادلات الحرارية المقترنة بالأرض، هو نظام تبريد تحت الأرض يستخدم درجة الحرارة الأرضية لتبريد المسبقي فصل الصيف أو التدفئة المسبقة في فصل الشتاء على التوالي.

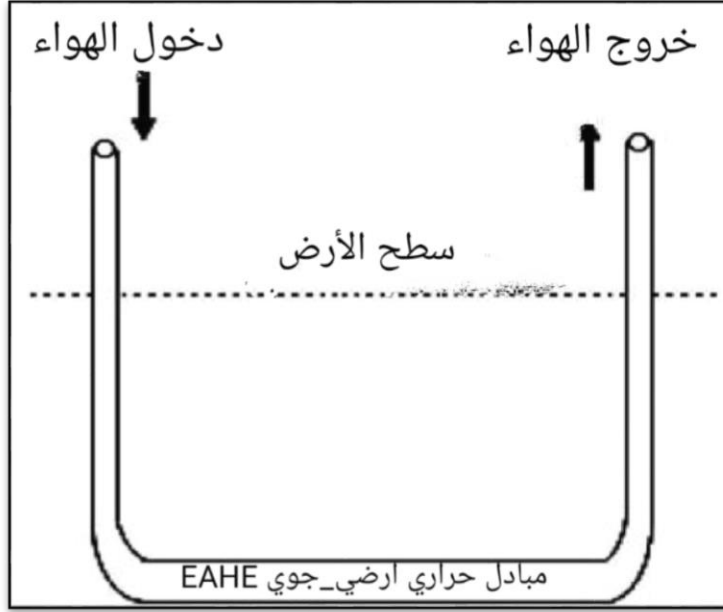
أثبتت الأبحاث أن درجة حرارة التربة لديه شبه ثابتة تبلغ  $25.2^{\circ}\text{C}$  على بعد بضعة أقدام تحت الأرض [10]، حيث أن درجة الحرارة تحت سطح الأرض أقل من درجة حرارة الهواء المحيط في فصل الصيف وأعلى مندرجة حرارة الهواء المحيط في فصل الشتاء، ذلك نتيجة قيمة السعة الحرارية التي تخزن نسبة عالية من الحرارة المكتسبة على أساس يومي على عمق 150cm إلى 300cm تحت السطح.

يمكن استخدام الفرق في درجة الحرارة بين الهواء والتربة في التبريد المسبق لإمداد هواء التهوية باستخدام مبادل حراري أرضي جوي (EAHE)، الذي يتكون من أنابيب مدفونة تحت سطح الأرض، يتم من خلالها تدوير هواء.

لم يتم إجراء الكثير من الأبحاث في المناخات الحارة بسبب ارتفاع درجة حرارة التربة في فصل

الصيف، ومع ذلك يمكن تحسين النظام في المناخات الحارة، باستخدام استراتيجيات تبريد التربة لخفض درجة

الحرارة تحت سطحية مثلا التظليل والري وما إلى ذلك [12].



الشكل (II. 1) : مبادل حراري ارضي جوي.

### 3.II مبدأ عمل المبادل الحراري (الأرضي- الجوي) :

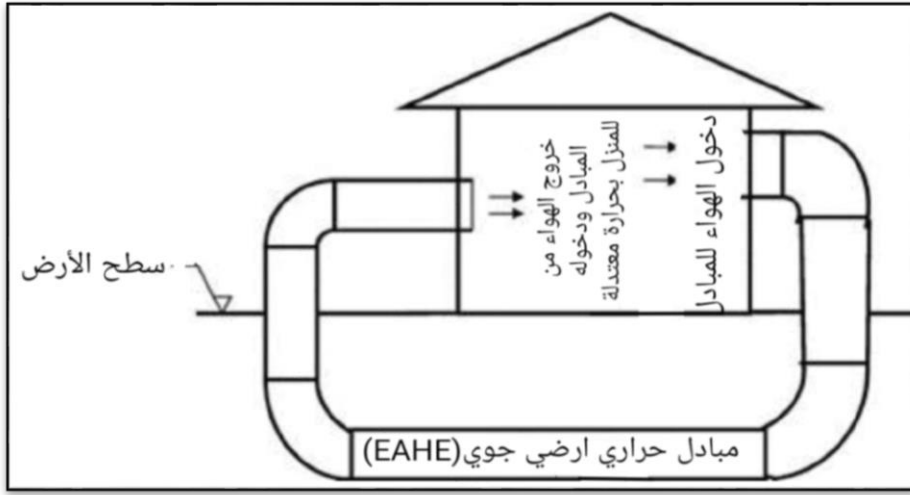
معظم الأنظمة تصمم بشكل أنابيب من مادة البلاستيك بقطر 10cm إلى 15cm وذات جدران ملساء، (لتفادي التكتاف والرطوبة) هذا البلاستيك يكون جامد أو شبه جامد أو معدني مغلف من الداخل بمادة مضادة للميكروبات، ويدفن على عمق 1.5m إلى 3m (5-10 قدم) تحت الأرض، حيث درجة حرارة الأرض شبه ثابتة على هذا العمق [13].

إذا استخدمنا أنابيب ذات قطر أصغر فهذا يحتاج إلى كمية أكبر من الطاقة لتحريك الهواء، بالإضافة إلى أن تلامسه مع الأرض يكون أقل من الأنابيب ذات القطر الكبير، بينما استخدام أنابيب ذات قطر أكبر يؤدي إلى إبطاء سرعة الهواء مما يؤدي إلى زيادة كفاءة انتقال الحرارة، بالإضافة إلى أنه يزيد من حجم الهواء المنتقل خلاله وهذا يسمح بزيادة كفاءة التبادل الحراري خلال فترة زمنية أقل [13].

هناك نوعان من أنظمة المبادل (الأرضي الجوي) هما نظام الدائرة المغلق ونظام الهواء النقي المفتوح

## II. 3. 1 نظام الدائرة المغلقة :

الهواء الذي في داخل المنزل نفسه يضخ داخل دائرة على شكل حرف U بحيث تكون خاضعة لاختبارات درجات حرارة قريبة من درجة حرارة الأرض. ثم نقوم بتوزيعها بواسطة قناة داخل المنزل، هذا النظام من الممكن أن يكون الأكثر كفاءة عندما تكون درجات الحرارة أكبر ما يمكن من النظام المفتوح لأنه يقوم بتكرار عملية تبريد لنفس الهواء [14].

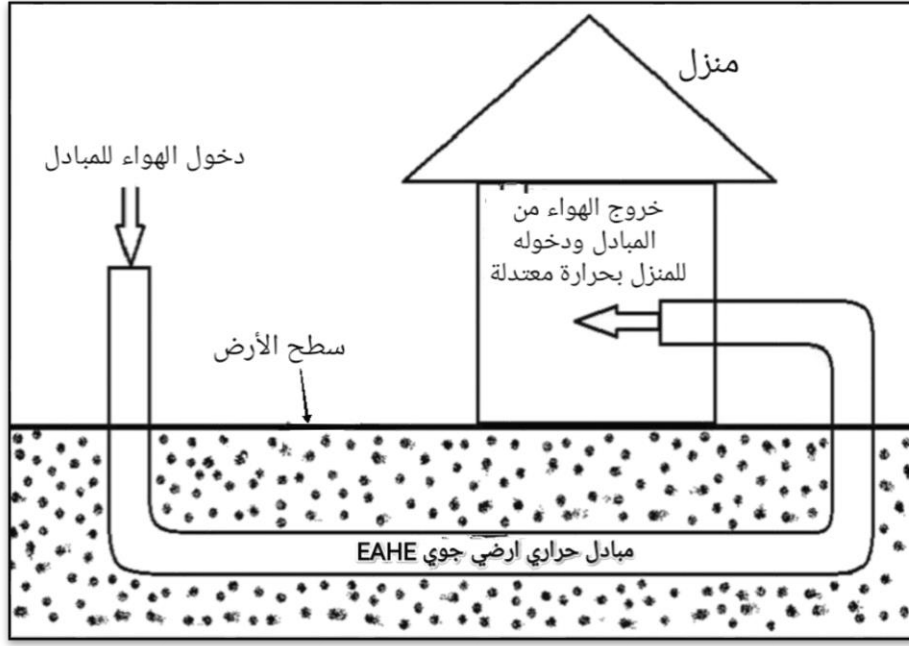


الشكل (II.2): نظام حلقة الهواء المغلقة.

## II. 3. 2 النظام المفتوح :

في النظام المفتوح يتم سحب الهواء الخارجي من خلال أنبوب الذي يمر تحت الأرض ليقوم بتبريد الهواء، حيث يكون على شكل أنبوب طويل مستقيم. عادة هذا النظام يكون مرتبط بنظام التهوية المحافظ للطاقة، ويكون فعال بنسبة 80-95% كالنظام المغلق بالإضافة إلى أنه يضمن إدخال هواء نقي ومعتدل في درجة حرارته [14].





الشكل (3.II): نظام حلقة الهواء المفتوحة.

## 4.II العوامل الرئيسية التي تؤثر على كفاءة المبادل حراري :

هناك العديد من العوامل المؤثرة على أداء المبادل الحراري الأرضي من أهمها:

### II. 4. 1 خصائص التربة :

للترية تأثير كبير على كفاءة المبادل الحراري حيث تنتقل الحرارة فيها عن طريق التوصيل [15]. كما انه قد تختلف الخصائص الطبيعية من حيث، تكوين والملمس والمظهر واللون والمكونات والمعادن وبما أن منطقة الدراسة هي ترية رملية صحراوية فان الخصائص الحرارية لها تتأثر بفعل تغيرات العوامل المناخية، حيث يتم عرض خصائص التربة كما يلي:

### II. 1. 4. 1 السعة الحرارية :

يتم التعبير عن السعة الحرارية  $C_s$  للترية بجمع متوسطات القدرات الحرارية لمكونات التربة من المعادن،

المواد العضوية، الهواء، والماء.

$$C_s = \sum X_i \rho_i C_i \quad (1. II)$$

حيث تمثل :

$C_i$  : المحتوى.

$X_i$  : الكثافة.

$\rho_i$  : القدرة الحرارية لأحد مكونات التربة.

يتميز الماء والمواد العضوية بقدرة عالية للسرعات الحرارية عن العناصر المعدنية الجدول (1.II)، حيث نجد

أن التربة الرطبة تخزن الحرارة أفضل من التربة الجافة [16].

المادة	الكتلة الحجمية $kg/m^3 \cdot 10^3$	غطاء السرعات الحرارية $kJ/k \cdot kg$	حجم غطاء السرعات الحرارية $Mj/k \cdot m^3$	الموصلية $w/k \cdot m$
المعادن	2.6510	0.80	2.10	2.90
المواد العضوية	1.30	1.90	2.47	0.25
الماء	1.00	4.20	4.20	0.585
جليد	0.92	2.10	1.93	0.20
الهواء	1.25	1.00	1.25	0.023

الجدول (1.II) : الخصائص الحرارية للمكونات الرئيسية للتربة [16].

## II. 4. 1. 2 التوصيل الحراري :

هو انتقال الحرارة بالتوصيل وهو الانتقال التلقائي للطاقة الحرارية من المناخ بدرجة حرارة مرتفعة إلى الأرض بدرجة

حرارة أقل من سابقتها في فصل الصيف ويكون العكس في فصل الشتاء، حيث كلما زادت درجة الحرارة انخفض

مستوى الموصلية الحرارية [16].

## II. 3.4.1 الانتشار الحراري :

هو معامل للتوصيل الحراري على مستوى الأرض بالنسبة للطاقة الحرارية الأرضية، حيث يحسب بالعلاقة

التالية[16]:

$$\alpha = \frac{K}{\rho} \cdot C_p \quad (2. II)$$

$K$  : الموصلية الحرارية للتربة [ $w/m. ^\circ C$ ].

$\rho$  : كثافة التربة [ $kg/m^3$ ].

$C_p$  : السعة الحرارية للتربة [ $j/gk. ^\circ k$ ].

## II. 4. 2 السطح المناخي :

السطح المناخي يخضع لتغيرات درجة الحرارة مما يتأثر على خصائص التربة وظروف السطح الأرضي

[17]. يمكن القول أن النشاط الحراري الأرضي هو مصدر للطاقة الحرارية في الأرض مع الخصائص المناخية

وظروف السطح الأرضي.

## II. 4. 3 الخصائص الفيزيائية للأنابيب :

يتم إهمال القدرات الحرارية والموصلية للأنابيب بشكل عام، لأن سماكة الأنابيب تجعل هذه الأنابيب قليلة

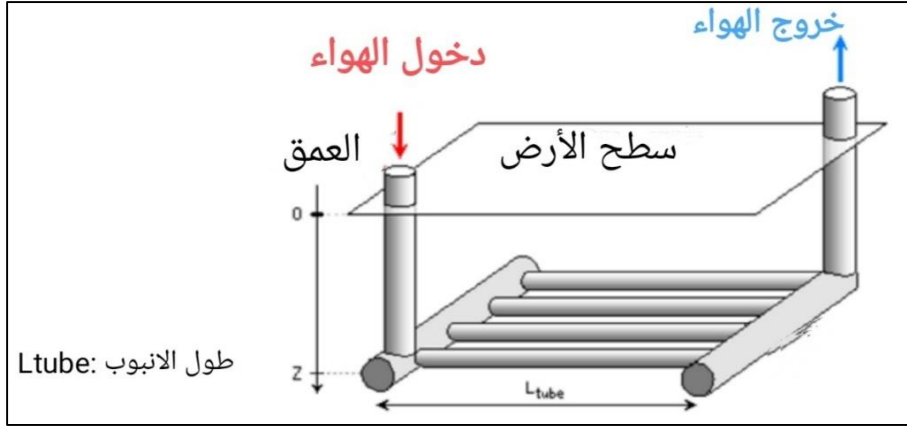
التأثير في السلوك العام للمبادل، مع ذلك يمكن أن يكون لهذه الخصائص تأثير على كفاءة المبادل، ومن الضروري

النظر فيها ودراستها [18].

## II. 4. 4 عدد الأنابيب :

قد تتكون قناة البئر (المبادل) من أنبوب واحد موضوع في تعرج أو على شكل حلقات أو يتم تنظيمها

على شكل شبكة من الأنابيب المتوازية المركبة فيما بينها من أجل زيادة تدفق الهواء المنتشر في البئر [18].



الشكل (4.II): مبادل حراري (أرضي - جوي) على شكل شبكة من الأنابيب.

## II. 4. 5 طول الأنابيب :

يحدد طول الأنابيب سطح التبادل ووقت مكوث الهواء في الأنابيب، حيث يعتمد الطول الأمثل للمبادل على مدى التدفق في الأنابيب. لذلك يوجد الطول الأمثل للمبادل المرتبط بطول خاصية التبادل الحراري، الذي يمكن الحصول عليه من خلال مقارنة التكلفة الاقتصادية للمبادل لتوفير الطاقة الذي تسمح به استتالة الأنابيب. بالتالي فإنه يفضل استخدام عدة أنابيب بطول معقول (20m إلى 40m) بدلاً من أنبوب واحد أو أنبوبين بطول كبير [18].

## II. 4. 6 قطر الأنابيب :

تؤدي زيادة قطر الأنابيب إلى زيادة سطح التبادل، لكن لا يزيد بالضرورة التبادل الحراري، اعتماداً على سرعة تدفق الهواء ينخفض معامل التبادل الحراري، فسرعة التدفق هذه تقلل من سمك الطبقة الحدودية، حيث يتم تبادل الحرارة. أين تتأثر درجة حرارته بنسبة قليلة بدرجة حرارة الأرض. وباعتبار التدفقات المستخدمة عملياً يكون

القطر الأمثل حوالي 15cm\_05cm. [18]

## II.4.7 المسافة بين الأنايب :

يتم ضمان وظيفة التخزين الحراري للمبادل بواسطة طبقة التربة التي هي في اتصال مباشر أو بالقرب من كل أنبوب، حيث من المهم ضمان وجود مسافة للحفاظ على تفاعل طفيف بين الأنايب لضمان تبادل حراري متوازن. تعتبر المسافة 40cm كافية للحفاظ على تأثير التخزين الحراري للتغيرات اليومية [19].

## II.4.8 مواد الأنايب :

يعد اختيار مادة الصنع أمرًا مهمًا لأنها تؤثر بشكل مباشر على التربة والمبادلات الحرارية. لذا فإن استخدام الجدران من المواد المدججة ذات الموصلية الحرارية العالية تسمح بزيادة التبادلات، وبالتالي تقليل طول المبادل. يجب أن تتمتع المواد المستخدمة أيضًا بمقاومة جيدة للدفن فالأنايب المستخدمة في المبادلات الهوائية التي يتم تشغيلها حاليًا مصنوعة بشكل عام من (PVC) أو البولي إيثيلين أو البولي بروبيلين [20].

## II.4.9 العوامل الأخرى :

بعض العوامل التي لها تأثير على سلوك هذه المبادلات. تشمل الخشونة الداخلية للأنايب، الخصائص الفيزيائية للأنايب، الهندسة العامة للمبادل الحراري، وتأثير الإشعاع الشمسي على درجة حرارة التربة ونظام تشغيل المبادل [21،22].

## II.5 الوصف الرياضي للمبادل الحراري (الأرضي-الجوي) :

### II.5.1 فاعلية كسب الطاقة من قبل المبادل :

يعتمد عائد الطاقة التي يتم تقديمها من المبادل (EAHE) على العديد من المعاملات وهي :

- الكتلة التي تتناسب مع قوة تدفق الهواء
- الفرق في درجة الحرارة الهواء (يدخل / يخرج)

• مقدار السعة الحرارية للهواء  $C_{pair}$ .

هذه المعاملات تسمح بحساب كمية كسب الطاقة الحرارية داخل المبادل [23].

$$Q_{C(EQHE)} = \dot{m}_{air} \cdot C_{pair} \cdot (T_{in} - T_{out}) = \frac{1}{R_{total}} \cdot (T_{in} - T_{out}) \quad (3. II)$$

حيث :

$\dot{m}_{air}$  : كتلة الهواء المتدفقة [kg].

$C_{pair}$  : السعة الحرارية للهواء  $[\frac{J}{gk \cdot ^\circ k}]$ .

$T_{in}$  : درجة حرارة الهواء عند المدخل  $[^\circ C]$ .

$T_{out}$  : درجة حرارة الهواء عند مخرج الأنبوب  $[^\circ C]$ .

$R_{total}$  : مجموع المقاومات  $[\frac{^\circ k}{w}]$ .

## II. 5. 2 حساب درجة حرارة الهواء عند نهاية المبادل :

علاقة التوازن الحراري الأولية ( الجزئية ) للطول  $d_x$  للأنبوب تعطى [24] ب :

$$\dot{m}_{air} \cdot C_{p.air} \cdot dT(x) = \frac{d_x}{R_{sol} + R_{gain} + R_{conv}} \cdot (T_{sol} - T_{a(x)}) \quad (4. II)$$

حيث :

$C_{p.air}$  : الحرارة النوعية للهواء  $[\frac{J}{gk \cdot ^\circ k}]$ .

$R_{sol}$  : المقاومة الحرارية للتربة  $[\frac{m \cdot ^\circ k}{w}]$ .

$R_{toub}$ : المقاومة الحرارية للأنبوب المدفون  $[\frac{m \cdot ^\circ k}{w}]$ .

$R_{conv}$ : المقاومة الحرارية بين الهواء و الأنبوب  $[\frac{^\circ k}{w}]$ .

$R_{gaine}$ : معامل المقاومة  $[W]$ .

$T_{sol}$ : درجة حرارة التربة  $[^\circ k]$ .

$T_{a(x)}$ : درجة حرارة الهواء عند مسافة معينة  $[^\circ k]$ .

يمكن التعبير عن المقاومة الحرارية المكافئة بين الهواء والتربة والأنبوب بالشكل الخطي التالي:

$$R_{total} = R_{conv} + R_{toub} + R_{sol} \quad (5. II)$$

$R_{toub}$ : المقاومة الحرارية للأنبوب المدفون  $[\frac{m \cdot ^\circ k}{w}]$ .

## 1.2.5.II المقاومات الحرارية :

نعتبر عن مقاومة تدفق الحرارة في هذا النظام بثلاث مقاومات حرارية تعطى بواسطة المعادلات

التالية [22]:

$$R_{conv} = \frac{1}{r_i \cdot h_{conv} \cdot 2\pi} \quad (6. II)$$

حيث :

$r_i$ : نصف القطر الداخلي للأنبوب  $[m]$ .

$h_{conv}$ : معامل التبادل الحراري  $[\frac{^\circ k}{w}]$ .

$$h_{\text{conv}} = \frac{N_u \cdot \lambda}{D} \quad (7. II)$$

حيث :

$N_u$  : عدد نسيليت.

$\lambda$  : الناقلية الحرارية  $[\frac{W}{m \cdot ^\circ K}]$ .

$D$  : نصف قطر متوسط الأنبوب  $[m]$ .

$$R_{\text{tube}} = \frac{\ln(r'_e/r'_i)}{2 \cdot \pi \lambda_{\text{tube}}} \quad (8. II)$$

حيث :

$r'_e$  : نصف القطر الخارجي للأنبوب  $[m]$ .

$r'_i$  : نصف القطر الداخلي للأنبوب  $[m]$ .

$\lambda_{\text{tube}}$  : الموصلية الحرارية لجدار الأنبوب  $[\frac{W}{m \cdot ^\circ K}]$ .

$$R_{\text{sol}} = \frac{\ln(R_{(z)}/r'_e)}{2 \cdot \pi \lambda_{\text{sol}}} \quad (9. II)$$

حيث :

$R_{(z)}$  : يتعلق بعمق التربة بشكل نصف قطر اسطواني  $[m]$ .

$\lambda_{\text{sol}}$  : الموصلية الحرارية للتربة  $[\frac{W}{m \cdot ^\circ K}]$ .



ومنه تكون المقاومة الحرارية (U) المكافئة بين الهواء والتربة خطية من الشكل [25]

$$U = \frac{1}{R_{sol} + R_{toubé} + R_{conv}} \quad (10. II)$$

بدمج المعادلة (9. II) في المعادلة (4. II) نحصل على:

$$-\ln(T_{sol} - T_{a(x)}) = \frac{U}{\dot{m}_{air} \cdot c_{p,air}} x + c \quad (11. II)$$

$c_{p,air}$  : الحرارة النوعية للهواء [j/kg. °c].

$c$  : السعة الحرارية للتربة  $[\frac{J}{gk.°k}]$ .

من أجل:  $T_0 = T_{air,entrée} = T_{amb}$  ;  $x = 0$

$$\Rightarrow c = \ln(T_{sol} - T_{air,entrée})$$

حيث :

$$T_{in} = T_{air,entrée}$$

عن طريق استبدال  $c$  بقيمته، نحصل على:

$$\ln\left(\frac{(T_{sol} - T_{a(x)})}{(T_{sol} - T_{air,entrée})}\right) = \frac{-U}{\dot{m}_{air} \cdot c_{p,air}} \cdot x \quad (12. II)$$

إذا يمكن إيجاد درجة حرارة الهواء النظرية عند مسافة معينة مقطوعة بواسطة النموذج الرياضي التالي:

$$T_{a(x)} = T_{sol} + (T_{air,entrée} - T_{sol}) \cdot e^{\frac{-U}{\dot{m}_{air} \cdot c_{p,air}} \cdot x} \quad (13. II)$$

بالنسبة للمسافة  $x = L$ . فتصبح المعادلة الرياضية التي تبين الفرق في درجة حرارة الهواء في المبادل تحت

الأرض من المدخل إلى المخرج من الشكل التالي:

$$T_{a(x)} = T_{sol} + (T_{air,entr\acute{e}e} - T_{sol}) \cdot e^{\frac{-U}{\dot{m}_{air} \cdot c_{p,air}} \cdot L} \quad (14. II)$$

ومنه نجد:

$$T_{s,air} = T_{sol} + \left( (T_{in,air} - T_{sol}) \cdot \exp\left(-\frac{L}{\dot{m}_{air} \cdot C_{p,air} \cdot R_{total}}\right) \right) \quad (15. II)$$

$$T_{s,air} = T_{air} \cdot T_{sol}$$

$T_{air}$ : درجة حرارة الهواء [°C].

$$T_{in} = T_{in,air}$$

## II. 5. 3 نسبة درجة الحرارة لمبادل حراري من الأرض إلى الهواء :

نسبة درجة الحرارة  $R_T$  هي سمة مهمة لتطبيقات التبريد الذي يصف درجة الحرارة بين المدخل والمخرج

للمبادل. حيث كلما تم توفير المزيد من طاقة التبريد للمبنى يعني ( التوصيل الحراري العالي بين التربة والأنابيب

والتوصيل الحراري العالي بين الأنابيب والهواء ) [26].

**ملاحظة مهمة:** ( $R_T$ ) مستقل عن حالة الطقس إذا كانت درجة حرارة الهواء المدخل مرتبطة بنفس

الحدود زمنيا

$$R_T = \frac{(T_{out,max} - T_{in,min})}{(T_{in,max} - T_{in,min})} \quad (16. II)$$

$T_{in,min}$ : درجة الحرارة عند المدخل الدنيا [°C].

$T_{in,max}$  : درجة الحرارة عند المدخل القصوى [°C].

$T_{out,max}$  : هي درجة حرارة الهواء عند مخرج أنبوب (EAHE) القصوى [°C].

## II. 5. 4 معدل التبادل الحراري :

يتم إعطاء كمية الحرارة الكلية المنقولة إلى الهواء عند التدفق عبر أنبوب مدفون بواسطة التبادل الحراري

بالعلاقة التالية : [25].

$$Q_{exp} = mC_p(T_{out} - T_{in}) \quad (17. II)$$

حيث :

$m$  : هو معدل التدفق الكتلي للهواء [kg/s] ..

$C_p$  : هي الحرارة النوعية للهواء [J/kg. K]، في ظل الظروف العادية لدرجة الحرارة وضغط.

$T_{out}$  : هي درجة حرارة الهواء عند مخرج أنبوب (EAHE) [K].

## II. 5.5 كفاءة المبادل الحراري :

تعرف كفاءة المبادل الجوي الأرضي بأنها النسبة بين الفرق في درجة حرارة الهواء ( $T_{out} - T_{in}$ ) والفرق

في درجة حرارة الأرض ودرجة حرارة الهواء الداخل المعطى بالتعبير التالي [25].

$$\varepsilon = \sum \frac{(T_{out} - T_{in})}{(T_{out} - T_{sol})} \quad (18. II)$$

ومنه المعادلة العامة للتوصيل الحراري التالية:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho C_p} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{Q'}{\rho C_p} \quad (19. II)$$

حيث على طول المحور X يكون لدينا من جهة:

$$\frac{\partial}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial z} = 0 \quad (20 . II)$$

ومن جهة أخرى إذا كان النقل بدون مصدر داخلي  $Q' = 0$  يتم تبسيط المعادلة (8 . II):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho C_p} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (21 . II)$$

مع العلم أن الانتشار الحراري يعطى أيضا بواسطة:

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (22 . II)$$

T: درجة حرارة التربة [K].

t: الزمن [s].

لدينا معادلة تفاضلية ذات مشتقات جزئية للشكل:

بتطبيق الشروط الحدودية عند (0,t) نجد:

$$T(0, t) = T_i + T_0 \sin(\omega t - \varphi) + c \quad (23 . II)$$

$$c = 0 \quad \text{و}$$

بوضع

$$\theta(0, t) = T_0 \cdot \sin(\omega t - \varphi) \quad (24 . II)$$

عندما يؤول العمق  $x \leftarrow \infty$  تؤول درجة حرارة التربة إلى قيمة محدودة ويكون الحل من الشكل:

$$\theta = X(x).Y(t) \quad (25. II)$$

بإستبدال قيمة  $\theta$  في معادلة الحرارة نجد:

$$\frac{X''(x)}{X(x)} = \frac{1}{\alpha} \frac{Y'(t)}{Y(t)} \Rightarrow \begin{cases} \frac{X''(x)}{X(x)} = \delta \\ \frac{Y'(t)}{\alpha Y(t)} = \delta \end{cases} \quad (26. II)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{\alpha X''(x)}{X(x)} = \beta \\ \frac{Y'(t)}{Y(t)} = \beta \end{cases} \quad (27. II)$$

حيث يتم اختيار الثوابت  $\delta$  و  $\beta$  من الاعتبارات الفيزيائية الخاصة بالنظام.

بالنسبة للعمليات الحرارية التي تميل نحو توزيع ثابت لدرجة الحرارة عند التوازن يجب أن يكون بالضرورة

سلبيا.

$$Y(t) = R. \exp(\alpha. \delta t), \quad R = cst \quad (28. II)$$

بوضع  $\delta = -k^2$  سيكون لدينا :

$$Y(t) = R. \exp(-\alpha. k^2. t) \quad (29. II)$$

في الطرح  $\beta = i(\omega t - \varphi)$  نحصل على حل النموذج:

$$\begin{aligned} Y(t) &= R. \exp(i((\omega t + \varphi))) \\ &= R. \cos(\omega t + \varphi) + i \sin(\omega t - \varphi) \end{aligned} \quad (30. II)$$

بما أن المعادلة دورية بطبيعتها يجب أن نبحت عن حل بنفس التردد عن طريق الطرح

$$c = i(\omega t + \varphi) = \beta \quad (31. II)$$

نحفظ بالجزء الحقيقي ونعوض قيمة C فنحصل على:

$$\frac{dY}{Y} C dt \Rightarrow \ln Y = Ct + \alpha \quad (32. II)$$

حيث:

$$Y = e^\alpha \cdot e^{-ct} = A \cdot e^{-i(\omega t + \varphi)} \quad (33. II)$$

$$cost = \alpha \quad \text{و} \quad A = \exp \alpha \quad \text{حيث:}$$

نبحث عن حل X(x):

$$\begin{aligned} \alpha X - CX = 0 &\Rightarrow X - \frac{c}{\alpha} X = 0 \Rightarrow X(x) \\ &= A' \exp \sqrt{\frac{c}{\alpha}} x + B \cdot \exp - \sqrt{\frac{c}{\alpha}} x \quad (33. II) \end{aligned}$$

كما يجب أن يميل X (x) نحو حد محدود عندما  $x \rightarrow \infty \Rightarrow A' \rightarrow 0$

لدينا الشرط التالي:

$$x = 0 \Rightarrow \theta(0, t) = T_0 \cos(\omega t) \quad \text{التي يجب أن تفي بالمعادلة T (x,t) عند نقطة منشأ الخراج}$$

$$AB = T_0$$

وبالتالي:

$$= \text{Réelle}[A \cdot B \cdot (\cos(\omega t - \varphi) + i \sin(\omega t - \varphi))] \quad (34. II)$$

ومنه:

$$\Rightarrow T_0 e^{-i(\omega t + \varphi)} \cdot e^{-\sqrt{\frac{(\omega + \varphi)}{2\alpha}}(ix+1)x} \quad (35. II)$$

بدمج المعادلة (35) مع المعادلة (36) فنحصل على:

$$\theta(x, t) = T_0 e^{-\sqrt{\frac{(\omega + \varphi)}{2\alpha}}x} \left[ e^{-i(\omega t + \varphi)} \cdot e^{-i\sqrt{\frac{(\omega + \varphi)}{2\alpha}}x} \right] \quad (36. II)$$

$$e^{-i(\omega t + \varphi)} = \cos(\omega t + \varphi) + i \sin(\omega t + \varphi) \quad (37. II)$$

$$(\omega t + \varphi) = \left( -\sqrt{\frac{(\omega + \varphi)}{2\alpha}} \right) \text{ لدينا}$$

بما أن دالة COS متساوية ودالة sin غير معروفة و  $\theta(x, t) = \theta$  نحصل على معادلة من الشكل التالي:

$$\theta = T_0 \cdot e^{-\sqrt{\frac{(\omega + \varphi)}{2\alpha}}x} \left[ \sin \left( (\omega t - \varphi) - \sqrt{\frac{(\omega + \varphi)}{2\alpha}}x \right) \right] \quad (38. II)$$

في الأخير هذه المعادلة تصف تطور درجة حرارة التربة في أي وقت وفي أي عمق وفي أي وقت من السنة

وتكتب من الشكل:

$$T = T_0 \cdot e^{-\sqrt{\frac{(\omega + \varphi)}{2\alpha}}x} \left[ \sin \left( (\omega t - \varphi) - \sqrt{\frac{(\omega + \varphi)}{2\alpha}}x \right) \right] + T_i \quad (39. II)$$





### III: الفصل

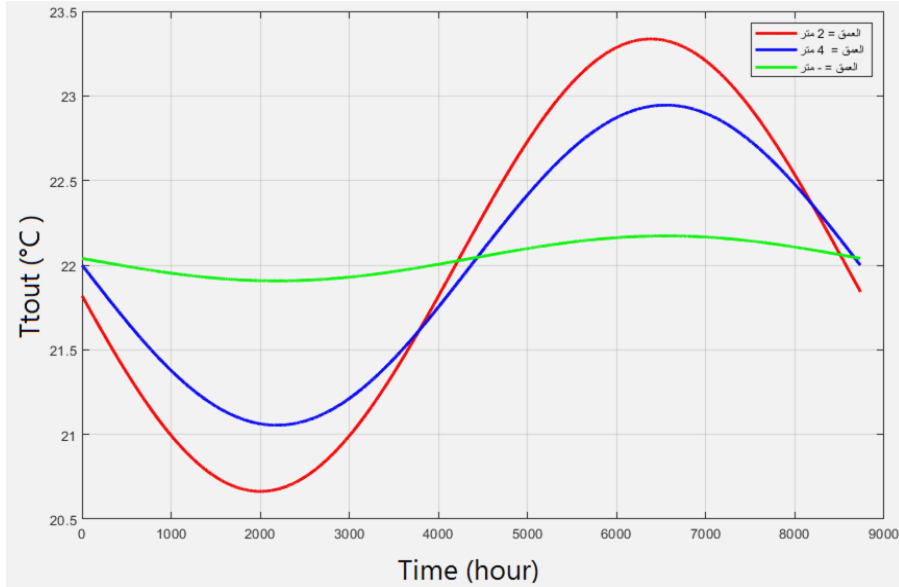
دراسة حالة مبادل حراري في منطقة ورقلة

### III. 1. مقدمة :

اعتماد على معرفة الطاقة الحرارية الأرضية على أعماق مختلفة، وعلى مبدأ تشغيل المبادلي الدراسة النظرية السابقة. نقوم في هذا الفصل بدراسة محاكاة الهدف منها من الحصول على الميزات المناسبة للمبادل الحراري والمتعلقة بكل من القطر والطول والعمق المناسب من أجل كفاءة عالية بالإضافة الى تأثير سرعة الهواء عند مدخل المبادل. حيث سنجمع كل هذه العوامل في نموذج تحليلي نظري يمكن بواسطته مقارنة واختيار المبادل الأمثل للحالة المدروسة في منطقة ورقلة كمحل تطبيقي للمبادل الحراري.

### III. 2. تأثير العمق في تغيير درجة حرارة الأرض :

ان الاختلاف في درجة الحرارة الارضية متعلق، بالعمق وهذا يتضمن انتقال الحرارة عبر اعماق مختلفة، وبما ان دراستنا مخصصة للحرارة السطحية فانها تخضع لتأثير العوامل المؤثرة على السطح كالاشعاع الشمسي ومدى الشمس والتغيرات المناخية الأخرى عبر فترات السنة.



الشكل ( III. 1 ) : منحنى يمثل تغيرات درجة الحرارة السنوية في أعماق مختلفة ( بالساعة ) [7] .

يمثل الشكل ( III. 1 ) تغيرات درجة الحرارة السنوية في ثلاث أعماق مختلفة حيث:

نلاحظ في عمق 2m أن درجة الحرارة في بداية شهر جانفي  $21.75^{\circ}\text{C}$  ثم تتناقص الى ان تصل  $20.75^{\circ}\text{C}$  في أواخر شهر فيفري، ثم تتزايد في شهر مارس إلى أن تصل ذروتها في شهر أوت  $23.25^{\circ}\text{C}$ ، تعود درجة الحرارة إلى الانخفاض لتعود إلى قيمتها الأولى في شهر ديسمبر  $21.75^{\circ}\text{C}$ .

نلاحظ في عمق 4m تكون درجة الحرارة في بداية شهر جانفي  $22^{\circ}\text{C}$  ثم تتناقص الى ان تصل قيمة  $20.25^{\circ}\text{C}$  في أواخر شهر فيفري، ثم تزداد بداية مع شهر مارس إلى أن تصل ذروتها في شهر أوت  $22.75^{\circ}\text{C}$ ، تبدأ درجة الحرارة في الانخفاض لتعود إلى قيمتها الأولى في شهر ديسمبر  $22^{\circ}\text{C}$ .

نلاحظ في عمق 6m تكون درجة الحرارة في هذا العمق شبه ثابتة على مدار العام حوالي  $22^{\circ}\text{C}$ .

### III. 3. تأثير العوامل الهندسية للمبادل الحراري :

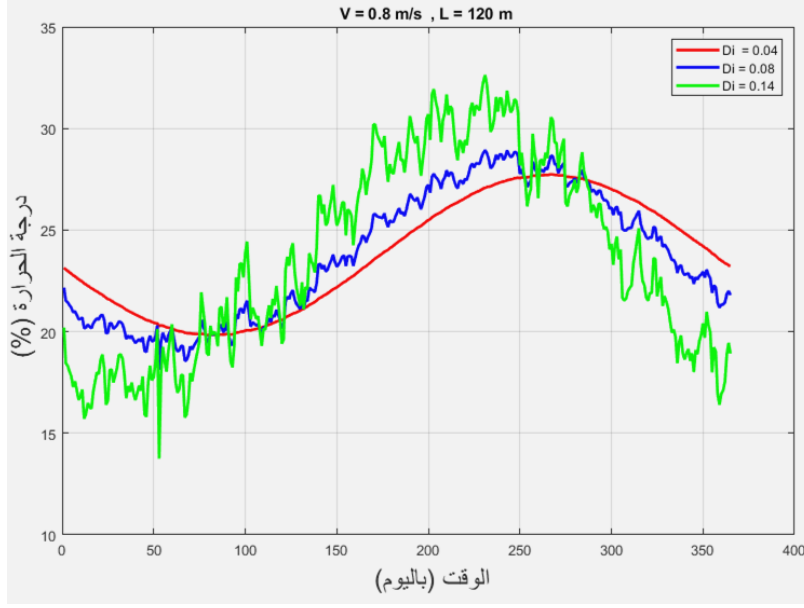
للحصول على درجة حرارة المبادل المطلوبة ( في منطقة ورقلة سنة 2020 )، من خلال دراسة وتحليل

المنحنيات التالية نقوم بتثبيت العمق على 2m ونقوم في كل مرة بتغيير كل من الطول والسرعة ونصف القطر.

### III. 3. 1 تأثير القطر على أداء المبادل الحراري :

نثبت العمق على 2m وطول أنبوب 2.1m وسرعة الهواء قدرها 0.8m/s نتحصلنا على المنحنيات

فيشكل (III. 2):



شكل (III. 2) : تغيرات درجة الحرارة السنوية للمبادل حسب أقطار مختلفة (بالساعة) [7] .

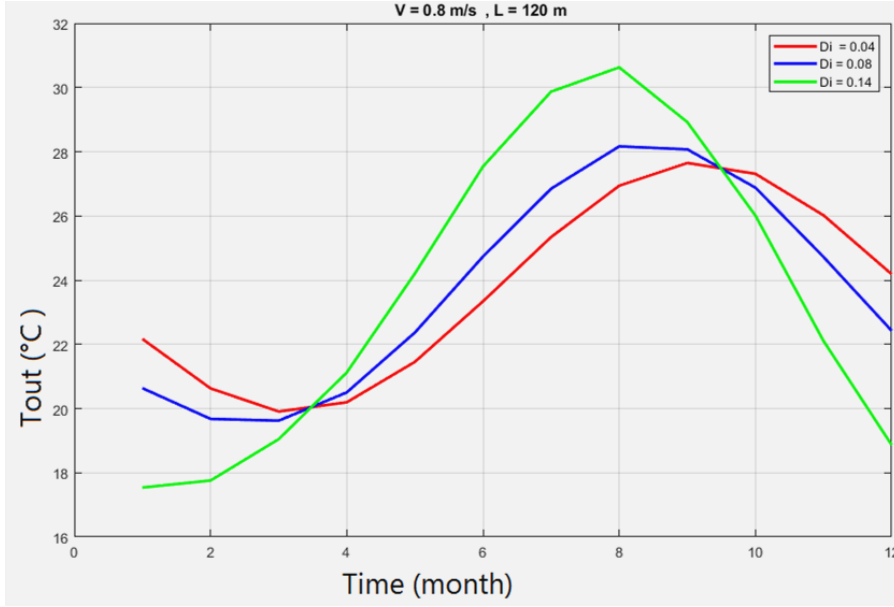
من الشكل (III. 2) نلاحظ انخفاض في درجة حرارة الهواء الخارج من المبادل عند القطرين 0.4

و0.8 خلال الأشهر الأولى إلى غاية الشهر الرابع لتصل إلى  $20^{\circ}\text{C}$  ثم ترتفع إلى  $27^{\circ}\text{C}$  في الشهر الثامن ثم تعود إلى الانخفاض.

ونلاحظ عند القطر 0.14 تكون درجة حرارة المبادل منخفضة  $17^{\circ}\text{C}$  ثم ترتفع إلى  $20^{\circ}\text{C}$  إلى أن

تصل في الشهر الثامن إلى  $30^{\circ}\text{C}$  ثم تعود إلى الانخفاض.

نستنتج من المنحنيات السابقة أن أداء المبادل الحراري الأفضل يكون عند القطر الأصغر.

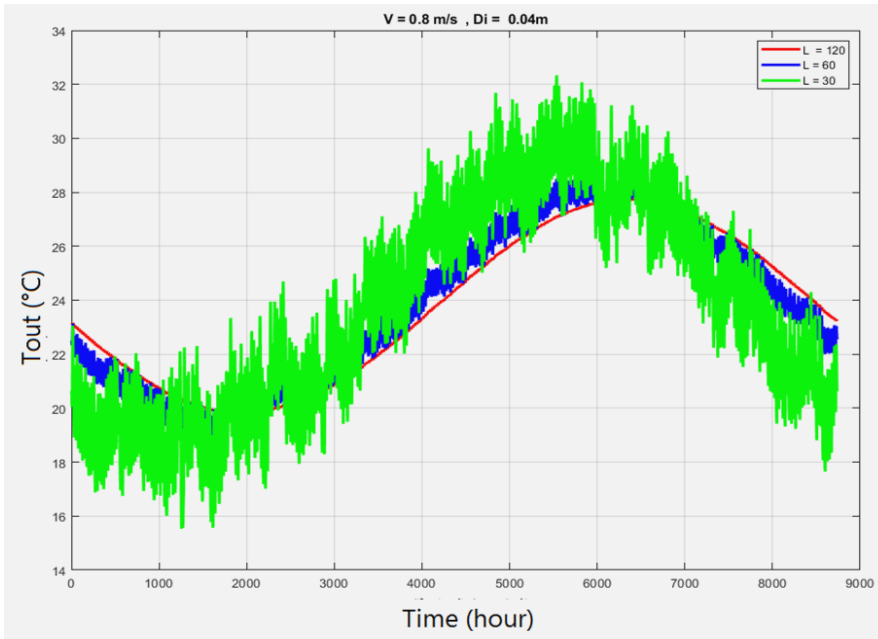


الشكل (3. III): تغيرات درجة الحرارة السنوية للمبادل حسب أقطار مختلفة (بالشهر) [7].

### III. 2.3 تأثير طول الأنبوب على أداء المبادل :

هذه المرة نقوم بتثبيت العمق 2m وسرعة 0.8m/s ونحتفظ بأصغر قطر 0.04 نحصل على المنحنيات

التالية في شكل (4. III) :

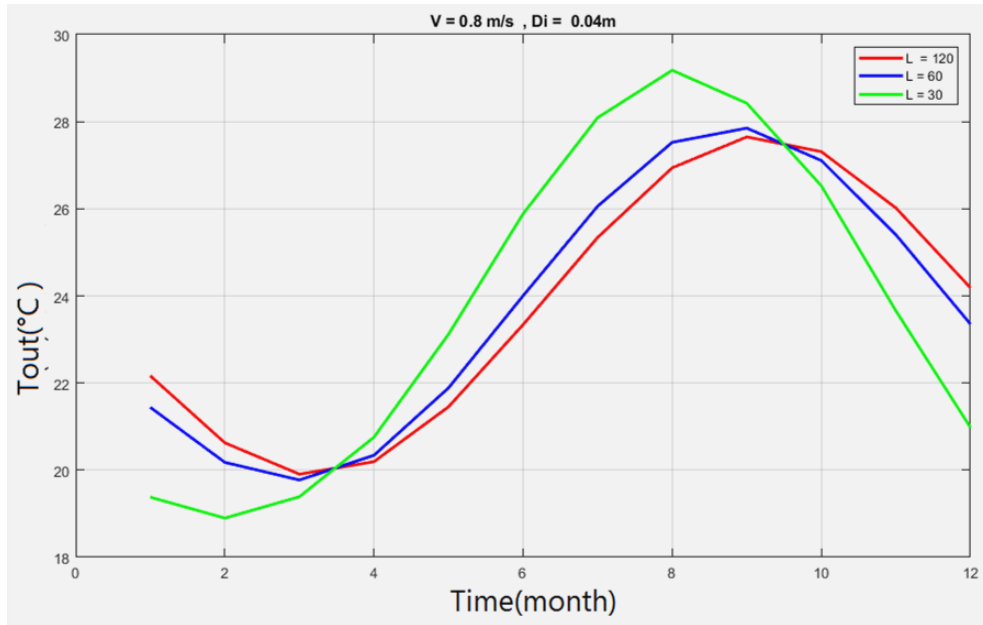


شكل (4. III): تغيرات درجة الحرارة السنوية للمبادل حسب أطوال مختلفة (بالساعة) [7].

من منحنيات الشكل ( III . 4 ) نلاحظ عند الطول ( 60m و 120m ) تكون درجة الحرارة  $22^{\circ}\text{C}$  ثم تنخفض الى أن تصل الى  $20^{\circ}\text{C}$  في الأشهر الباردة ثم ترتفع تدريجيا الى ان تصل الى أكبر قيمة قدرها  $28^{\circ}\text{C}$  في الشهر التاسع، ثم تنخفض تدريجيا الى أن تعود الى القيمة الأولى في الشهر 12 .

أما بالنسبة للطول (30m) تكون قيمة درجة الحرارة في الشهرين الأولين  $19^{\circ}\text{C}$  ثم تتزايد بشكل كبير بداية من الشهر الثالث الى أن تصل الى قيمة أعظمية في الشهر الثامن  $29.4^{\circ}\text{C}$  ثم تنخفض تدريجيا الى ان تصل في الشهر 12 إلى  $(19^{\circ}\text{C})$ .

نستنتج أن أداء المبادل الحراري يكون أفضل عند أطول أنبوب.

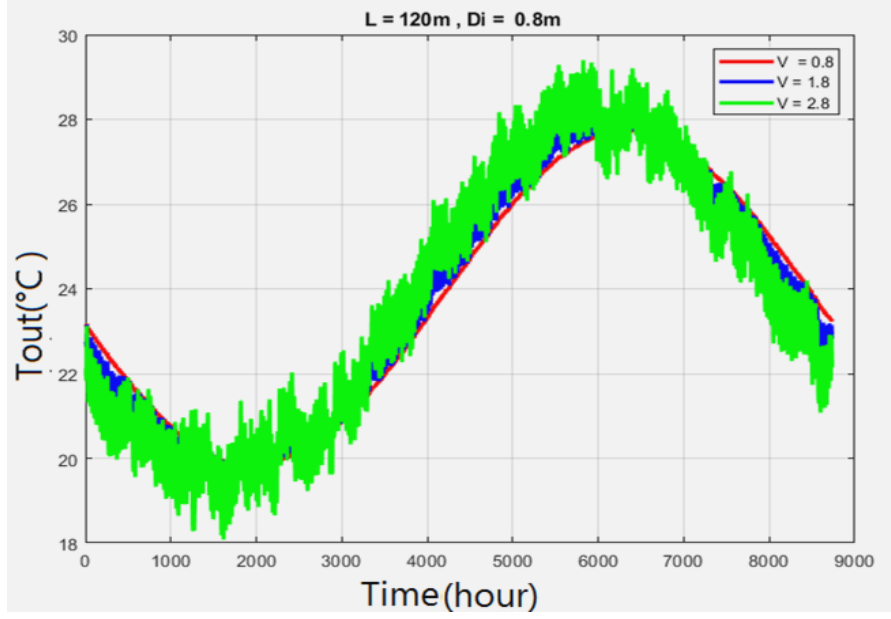


شكل ( III . 5 ) : تغيرات درجة الحرارة السنوية للمبادل حسب أطوال مختلفة (بالشهر) [7] .

### III. 4 تأثير سرعة الهواء على أداء المبادل الحراري :

نقوم بتثبيت الطول 120m وقطر 0.8m وفي كل مرة نقوم بتغيير سرعة الهواء الداخل للمبادل حصلنا

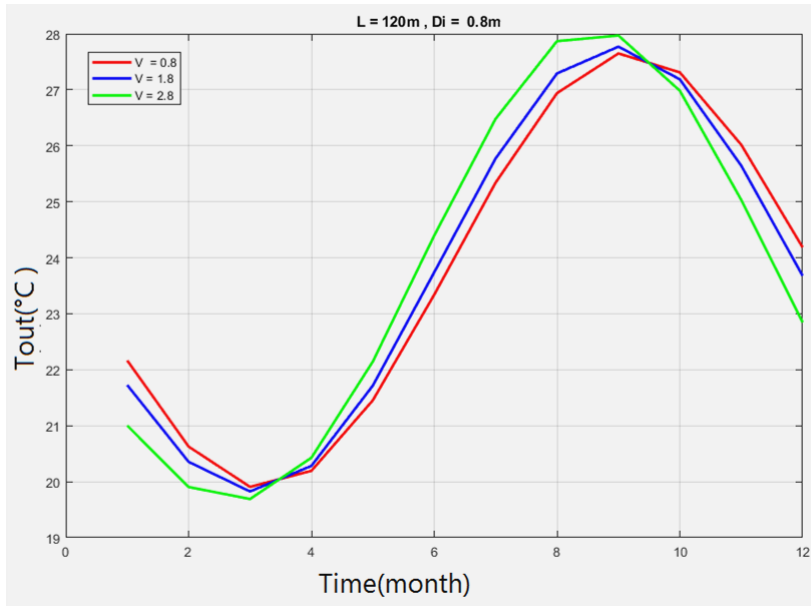
على منحنيات الشكل ( III . 6 ) :



الشكل ( III 6 ) : تغيرات درجة الحرارة السنوية للمبادل حسب سرعات مختلفة (بالساعة) [7] .

من الشكل ( 6.III ) الذي يمثل تغيرات درجة الحرارة السنوية للمبادل حسب سرعات مختلفة (بالساعة). حيث نجد عند السرعتين ( 0.8 و 1.8m/s ) تنخفض قيمة درجة حرارة المبادل من 22.4 إلى 19.9 درجة مئوية في الأشهر الثلاثة الأولى ثم ترتفع درجة حرارة المبادل إلى أن تبلغ قيمة أعظمية في الشهر التاسع تبلغ 27.5 درجة مئوية ثم تنخفض تدريجياً إلى أن تعود إلى درجة حرارة 22 درجة مئوية عند السرعة ( 2.8m/s ) تنخفض قيمة درجة حرارة المبادل انخفاضاً تدريجياً إلى أن تصل إلى 19.5 درجة مئوية في الأشهر الثلاثة ثم ترتفع ارتفاعاً تدريجياً إلى أن تصل ذروتها في الشهر التاسع ( 28 درجة مئوية ) ثم تنخفض تدريجياً إلى أن تعود درجة حرارة المبادل إلى القيمة الأولى.

من خلال المنحنيات نلاحظ أن الزيادة في سرعة الهواء لا تساعد في الوصول إلى الكفاءة المطلوبة بحيث يجب مراعاة إلى السرعة المثلى التي يكون فيها أداء المبادل مثالي، حسب المنحنيات كان الأداء عند السرعة ( 1.8m/s ) مثالي.



الشكل (III. 7): تغيرات درجة الحرارة السنوية للمبادل حسب سرعات مختلفة (بالشهر) [7].



## الخلاصة :

في الوقت الحاضر يعتبر المبادل الحراري (الأرضي - الجوي) من أفضل الحلول المشجعة لتوفير الطاقة والراحة الحرارية نظرا لسهولة استغلاله وقله تكلفته وأدائه المقبول في كل فترات السنة، قمنا في هذا العمل بدراسة تأثير العوامل المناخية والهندسية على أداء المبادل الحراري (الأرضي - الجوي) في منطقته ورقلة، حيث أظهرت الدراسة التي قمنا بها أن هذا النظام يستعمل الطاقة الحرارية الأرضية كمصدر أساسي في أداء عمله، وهذا ما يمكننا من توفير الطاقة بشكل كبير مقارنة بالأنظمة الأخرى، وغالبا ما يكون هذا الأخير بديلا حيويا واقتصادي لأنظمة التدفئة والتكييف المركزية التقليدية أو يكون مكملا لها بعض الحالات، ومن ناحية أخرى هذا النظام يعمل على توفير الراحة الحرارية والتي تتناسب مع حرارة جسم الإنسان من ناحية الاعتدال الحراري للجسم البشري، كما انه يعمل بطريقه نظيفة إلى حد بعيد من كل مصادر التلوث البيئي الناجم عن الاحتباس الحراري في السنوات الأخيرة خاصة في منطقته ورقلة. تهتم دراستنا بالشكل الهندسي المثالي والفعال للمبادل الحراري (الأرضي - الجوي) للحصول على الراحة الحرارية، حيث قدمنا بعض المفاهيم والتعريفات عن الطاقة الحرارية الأرضية وعن المبادل الحراري واهم العوامل التي تؤثر على أدائه في الوصول للراحة الحرارية المطلوبة طيلة فترات السنة باختلاف الأزمنة وقياس الحرارة الجوية والأرضية حسب المناخ في منطقته الدراسة، ثم قمنا بتقديم نموذج تحليلي لمحاكاة درجة الحرارة داخل المبادل المدروس مع درجة الحرارة الجو و التربة والعوامل الأساسية المؤثرة على أدائه في منطقته ورقلة، من اجل ضمان أحسن فاعليه وأداء يمكن الوصول إليه. ويساعد هذا النموذج في إعطاء بيانات دقيقة لمعرفة سلوك المبادل نظرا لكونه يعتمد على الخصائص الهندسية للمبادل واستناده على بيانات محطة الأرصاد الجوية في منطقة ورقلة، من اجل الدراسة والتحليل حسب نتائج المحصل عليها فان هذه الوسيلة تتعلق بدرجة حرارة التربة ودرجة الحرارة الجوية في المنطقة. وللاستفادة من هذه التقنية وجدنا من خلال نتائج، انه كلما زاد طول المبادل الحراري زادت

كفاءته وكلما نقص القطر كلما زاد الأداء مع مراعاة القطر الأمثل، وكلما زادت سرعة الهواء الداخل إلى المبادل كلما ناقص أداء المبادل، مع مراعاة السرعة الهواء المعمول بها، ولضمان أحسن مبادل حراري (ارضي - جوي) في منطقة ورقلة نستعمل مادة PVC كماده أساسيه لأنها غير مكلفه ولديها مقاومه جيده للتآكل وجامدة السطح حيث مكنت النتائج انه أفضل طول للمبادل هو 120m فما أكثر وعمق 2m تحت سطح الأرض ونصف قطر 0.04m وسمك لا يتجاوز 5 إلى 7ml للحصول على أفضل مبادل حراري (ارضي - جوي) في منطقة ورقلة.

## قائمة المصادر

- [1] ..; أثر الطاقة الشمسية على التصميم الداخلي وصولاً لأبنية صفرية الطاقة(2020)حامد عبد المقصود.
- [2] Louai, N. (2009). *Evaluation énergétique des déchets solides en Algérie, une solution climatique et un nouveau vecteur énergétique* (Doctoral dissertation, Batna, Université El Hadj Lakhdar. Faculté des sciences).
- [3] <http://www.geothermie.perspectives.fr/05geothermie>
- [4]Amblard, G., Bonnavaud, H., Buche, C., Cercueil, D., Charvet, L., Chrétien, Y., ... & Tillier, C. (2009). *Pesticides au quotidien* (Doctoral dissertation, auto-saisine).
- [5]Brahimi, M. (2001, May). Situation des énergies renouvelables en Algérie. In *Conférence sur la maîtrise de l'énergie et de l'environnement dans un contexte d'économie de marche* (Vol. 22).
- [6]Benlatreche, T. (2006). Effets thermo-radiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieures dans les édifices publics.
- [7] CHEKIREB, I., & KORICHE, A. *Contribution à l'étude des paramètres physicochimiques et bactériologique des eaux usées traitées de la STEP Ouargla* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA).
- [8];محطة الأرصاد الجوية لولاية ورقلة ( سنة 2020 ).
- [9]العاتي مختار ( المساهمة في تحسين مجفف شمسي للمحاصيل الزراعية ) جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2011 م.
- [10]Omer, A. M. (2008). Energy, environment and sustainable development. *Renewable and sustainable energy reviews*, 12(9), 2265-2300.
- [11]Bisoniya, T. S. (2015). Design of earth–air heat exchanger system. *Geothermal Energy*, 3(1), 1-10..
- [12]Ahmed, A., & Gidado, K. (2008, May). The use of Earth-air heat exchanger for improving building comfort conditions in the Tropical Climate. In *The construction and building research conference of the Royal Institution of Chartered Surveyors*.
- [13]"Two Small Delta Ts Are Better Than One Large Delta T". U.S. DOE / ORNL Zero Energy Design Workshop. Retrieved 2007-12-23.
- [14] Spentzou, E., Cook, M. J., & Emmitt, S. (2022). Low-energy cooling and ventilation refurbishments for buildings in a Mediterranean climate. *Architectural Engineering and Design Management*, 18(4), 473-494.
- [15]Lee, K. H., & Strand, R. K. (2008). The cooling and heating potential of an earth tube system in buildings. *Energy and Buildings*, 40(4), 486-494.
- [16]Blomley, N. (2008). Enclosure, common right and the property of the poor. *Social & Legal Studies*, 17(3), 311-331..

- [17]Raison, R. J. (1979). Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: a review. *Plant and soil*, 51(1), 73-108..
- [18]Agrawal, K. K., Misra, R., Agrawal, G. D., Bhardwaj, M., &Jamuwa, D. K. (2019). Effect of different design aspects of pipe for earth air tunnel heat exchanger system: A state of art. *International Journal of Green Energy*, 16(8), 598-614.
- [19]Thiers, S., &Peuportier, B. (2007, April). Modélisation thermique d'un échangeur air-sol pour le rafraîchissement de bâtiment. In *Journée thématique SFT-IBPSA: froid solaire et confort d'été* (pp. 96-103).
- [20]Hatraf, N., Chabane, F., Brima, A., Moumami, N., &Moumami, A. (2014). Parametric study of to design an earth to air heat exchanger with experimental validation. *Engineering journal*, 18(2), 41-54.
- [21]Benhammou, M., &Draoui, B. (2015). Parametric study on thermal performance of earth-to-air heat exchanger used for cooling of buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 348-355.
- [22]Atia, A., Hadjadj, A., Benhaoua, B., Lebbihiat, N., &Brima, A. A Review of Studies on Geothermal Energy System Applied on Sub-Saharan Climate Regions. *Water and Energy International*,( 2017 ). 60(5), 63-68.
- [23]Bisoniya, T. S., Kumar, A., &Baredar, P. (2014). Study on calculation models of earth-air heat exchanger systems. *Journal of Energy*, 2014.
- [24] Thiers, Stéphane, and Bruno Peuportier. "Modélisation thermique d'un échangeur air-sol pour le rafraîchissement de bâtiment." *Journée thématique SFT-IBPSA: froid solaire et confort d'été*. 2007.
- [25]SALHI Toufik et ROUAHNA Salah, Etude d'un échangeur air/sol cylindrique à input périodique, Mémoire d'ingénieur d'état, Université du Biskra (2010).
- [26]Hepburn, B. D. P. An investigation of the behavior of the ground in response to energy extraction (Doctoral dissertation, Cardiff University). (2013).

## الملخص :

الطاقة الحرارية الأرضية، هي واحدة من أنظف الطاقات البديلة، وأكثرها سهولة في الوصول إليها وأقلها تكلفة في العالم بأسره، وتستغل في عدة مجالات مختلفة، في الدراسة التي قمنا بها قدمنا تعريفات شاملة عن الطاقة الحرارية الجوفية وعن المبادل الحراري وأهم العوامل التي تؤثر فيه للوصول إلى الراحة الحرارية المطلوبة، حيث قمنا بدراسة إمكانية استغلال الطاقة الحرارية الجوفية للأرض في خفض درجة حرارة المباني، بالأخص المباني التي عادة ما تكون في مناطق الصحراء وذلك باستعمال المبادل الحراري (أرضي -جوي) والذي يعتبر تقنية من تقنيات التبريد الطبيعي السلبي و هذا لتقليل من استهلاك الطاقة حيث عمدنا على إجراء محاكاة لمدى تأثير بعض الخصائص الهندسية في كفاءة المبادل.

## الكلمات المفتاحية :

الطاقة الحرارية الأرضية- المبادل الحراري (الأرضي - الجوي) - الراحة الحرارية

## Résumé

La géothermie est l'une des énergies alternatives la plus propre, et facilement accessible et la moins chère au monde, et elle est exploitée dans plusieurs domaines différents. Le confort thermique requis, puisque nous avons étudié la possibilité d'utiliser la géothermie de la terre pour réduire la température des bâtiments, en particulier des bâtiments qui se trouvent généralement dans des zones désertiques, en utilisant l'échangeur de chaleur (sol-air), qui est une technique de refroidissement naturel passif et cela consiste à réduire la consommation d'énergie comme nous l'avons simulé, considérant que le flux d'air à l'intérieur du tube du transformateur est continu.

**Mots-clés:** Géothermie - échangeur de chaleur (sol - air) - confort thermique

## Abstract

Geothermal energy is one of the cleanest, easily accessible and cheapest alternative energies in the world, and it is used in many different areas. The thermal comfort required, since we have studied the possibility of exploiting the earth's geothermal energy to reduce the temperature of buildings, especially buildings that are generally located in desert areas, by using the heat exchanger (ground-air), which is a passive natural cooling technique and which consists in reducing energy consumption as simulated, considering that the air flow inside the transformer tube is continuous.

**Keywords:** Geothermal - heat exchanger (ground - air) - thermal comfort