

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة قاصدي مرباح ورقلة
كلية الرياضيات وعلوم المادة
قسم الفيزياء



مذكرة ماستر اكايمي
مجال : علوم المادة
شعبة : الفيزياء
تخصص: فيزياء طاغوية وطاقات متجددة

من اعداد الطالبين:
مسعودي زكية و ربوح و داد

تحت عنوان:

دراسة تدفئة هواء غرفة بواسطة الطاقة الحرارية الجوفية باستخدام
مبادل حراري (ماء/تربة)

نوقشت بتاريخ 14-06-2022 من طرف اللجنة المكونة من

رئيسا	أستاذ محاضر أ	جامعة ورقلة	سوداني محمد البار
مناقشا	أستاذ مساعد أ	جامعة ورقلة	الزين عبد الله
مشرفا ومقررا	أستاذ محاضر أ	جامعة ورقلة	محسن حسين

الموسم الجامعي: 2022/2021

الإهداء

بدأنا بأكثر من يد وفأسينا أكثر من هم وعانينا الكثير من الصعوبات
وها نحن اليوم والحمد لله نطوي سمر الليالي وتعب الأيام وخلاصة مشوارنا
بين دفتي هذا العمل المتواضع.

- إلي الذي يعجز اللسان عن التعبير عن كل ما يقوم به أجلي، إلي
من حمري بحبه و لا يزال يحمري، إلي الذي لم يبخل بشيء من
أجل دفعي إلي طريق النجاح أبي العالي " مسعودي محمد".
- إلي التي الجنة تحت أقدامها، إلي من حضنتني بحنانها وسكبت
لي مشاعرهما، إلي التي مهما ودفعت وعبرت فلن أفني حقها أمي
الحنونة "رحماني عائشة".
- إلي من حبهم يجري في عروقي ويلهج بذكرهم فؤادي إلي
أختي وأختي " خديجة ، سعاد، جميلة، صباح، الأزهر".
- إلي كل عائلي وأقاربي أعمامي وعماتي وأخوالي و خالاتي.
- إلي من سرنا سويا ونحن نشق الطريق معا نحو النجاح والإبداع
صديقاتي وزملائي.
- إلي كل من دعمي في إنجاز مذكرتي سواء من قريب أو من
بعيد.

الإهداء

بدأنا بأكثر من يد وقاسينا أكثر من هم وعانينا الكثير من الصعوبات
وها نحن اليوم والحمد لله نظوي سمر الليالي وتعجب الأيام وخلاصة مشوارنا
بين دفتي هذا العمل المتواضع.

- إلي الذي يعجز اللسان عن التعبير عن كل ما يقوم به أجلي، إلي
من تمرني بحبه و لا يزال يغممني، إلي الذي لم يبخل بشيء من
أجل دفعي إلي طريق النجاح أبي الغالي " ربوح مبروك".
- إلي التي الجنة تحب أقدامها، إلي من حضنتني بحنانها وسكبت
لي مشاعرها، إلي التي مهما وضعت وعبرت فلن أفي حقها أمي
العنونة " نصير حدة".
- إلي من حبهم يجري في عروقي ويلهم بذكراهم فؤادي إلي
أختوتي وأخواتي " كمال ، خالد، إيمان ، علي، كريمة، راضية،
صفية".
- إلي كل عائلي وأقاربي أعمامي وعماتي وأخوالي و خالاتي
- إلي من سرنا سويا ونحن نشق الطريق معا نحو النجاح والإبداع
صديقاتي و زملائي.
- إلي كل من دعمي في إنجاز مذكرتي سواء من قريب أو من
بعيد

شكر وعرفان

باسم الله الرحمن الرحيم والصلاة والسلام على أشرف المرسلين
أولاً نحمد الله عز وجل الذي من علينا بالصبر لإتمام هذا
العمل المتواضع بصحة وعافية رغم كل الصعوبات التي
مرت بنا، وأتمني أن يستفيد بها كل طالب.
ولقوله تعالى "وَلِيُنْشَرِّكْ لَكُمْ لَكُمْ" فلا يسعني إلا أن
أتقدم بالشكر الجزيل إلى الأستاذ المشرف "محسن
حسين".

الذي كل من ساعدنا في جمع المعلومات وبالأخص الأستاذ
سوداني محمد البار علي توجيهاته ونصائحه القيمة.
كما نشكر الأستاذ الزين عبد الله علي قبوله لمناقشة
مذكرتنا رغم انشغالاته.

كما نتقدم بجزيل الشكر إلى جميع أساتذة قسم الفيزياء
علي كل ما قدموه لنا طوال المشوار الدراسي.

الصفحة	المحتويات
I	الاهداء
III	شكر وعرفان
IV	فهرس المحتويات
IX	قائمة الاشكال
XII	قائمة الترميزات
XIII	قائمة الجداول
1	مقدمة
	الفصل الأول: عموميات حول الطاقة الحرارية الأرضية
5	تمهيد
5	1.1 طبقات الأرض
5	1.1.1 النواة الداخلية الصلبة
5	2.1.1 النواة الخارجية السائلة
5	3.1.1 طبقة الوشاح
5	4.1.1 الطبقة الخارجية (القشرة الأرضية)
6	2.1 أصل الحرارة الأرضية
7	3.1 التدرج الحراري وتدفق الحرارة الأرضية
7	1.3.1 التدرج الجيوحراري
8	2.3.1 التدفق الحراري الأرضي
9	4.1 الأنواع المختلفة للطاقة الحرارية الأرضية
9	1.4.1 طاقة حرارية أرضية عالية المحتوى الحراري
10	2.4.1 طاقة حرارية أرضية منخفضة المحتوى الحراري
11	3.4.1 طاقة حرارية أرضية منخفضة جدا
12	5.1 المبدأ الجيوحراري

13	6.1 أنواع الرواسب الحرارية الجوفية
13	1.6.1 الرواسب الحرارية الجوفية في المناطق البركانية الحديثة
13	2.6.1 رواسب مناطق المنصات القارية المستقرة ،المغطاة بأرض رسوبية
14	3.6.1 الرواسب الحرارية الجوفية في المناطق القارية النشطة
14	7.1 استخدامات الطاقة الحرارية الأرضية
14	1.7.1 إنتاج الكهرباء
14	1.1.7.1 محطات البخار الجاف
15	2.1.7.1 محطات الطاقة البخارية السريعة
16	3.1.7.1 محطات الدائرة المزدوجة
17	2.7.1 الاستخدام المباشر
17	1.2.7.1 التدفئة
17	2.2.7.1 الزراعة
18	8.1 المضخات الجيوحرارية
18	1.8.1.تعريف المضخات الجيوحرارية
18	2.8.1 كيفية عملها
18	9.1 الأساسات النشطة حراريًا
19	10.1 التبريد الجغرافي لتبريد المباني
20	11.1 الطاقة الحرارية في العالم
20	1.11.1 الاستغلال
21	12.1 الطاقة الحرارية الأرضية في الجزائر
23	1.12.1 حالة الطاقة الحرارية الأرضية في الجزائر
24	13.1 سلبيات وإيجابيات الطاقة الحرارية الأرضية
24	1.13.1 الايجابيات
24	2.13.1 السلبيات

الفصل الثاني: المبادلات الحرارية	
26	تمهيد
26	2.2 استخدامات المبادلات الحرارية
27	3.2 فكرة التبادل الحراري خلال المبادلات الحرارية
27	4.2 أشكال المبادل الحراري
27	1.4.2 مبادل حراري عمودي (المجسات العمودية)
28	2.4.2 مبادل حراري أفقي (المجمعات الأفقية)
29	3.4.2 المبادل الحراري الحلزوني (لولبي)
29	4.4.2 مبادل حراري ملفوف
30	5.2 أقسام المبادلات الحرارية
32	6.2 أنواع المبادلات الحرارية المستخدمة بشكل عام
32	1.6.2 المبادلات الأنبوبية
32	2.6.2 المبادلات الحرارية الصفائح
33	3.6.2 المبادلات الحرارية ذات الزعانف
34	7.2 العوامل المؤثرة على الأداء الحراري للمبادلات الحرارية
34	8.2 أنواع المبادلات الحرارية الأرضية
34	1.8.2 المبادل الحراري هواء/أرض
36	2.8.2 المبادل الحراري ماء/أرض
36	9.2 نظام تبادل مع منسوب المياه الجوفية

36	1.1.2.9 الأنظمة ذات الحلقة المغلقة
36	2.2.9. الأنظمة ذات الحلقة المفتوحة
	الفصل الثالث: الدراسات العددية ومناقشة النتائج
38	تمهيد
38	1.3 وصف الإشكالية
39	2.3 تبسيط الافتراضات الهندسية و الحرارية
40	3.3 المعادلات المعبرة عن المبادل الحراري (ماء/ تربة)
40	4.3 المعادلات المعبرة عن درجة حرارة الغرفة
41	5.3 التعليق مناقشة النتائج
41	1.5.3 نتائج دراسة التبادل حراري (ماء/تربة)
41	1.1.5.3 تأثير التدفق
44	2.1.5.3 تأثير نصف القطر
46	3.1.5.3 تأثير معامل التبادل الحراري
49	2.5.3 نتائج التدفئة
49	1.2.5.3 عند درجة حرارة مدخل المبادل $T_{fe} = 50^{\circ}C$
50	2.2.5.3 عند درجة حرارة مدخل مبادل $T_{fe} = 70^{\circ}C$
53	الخاتمة

فهرس المحتويات

55	المراجع
60	ملخص

قائمة الأشكال

الصفحة	اسم الشكل	رقم الشكل
6	مكونات طبقات الأرض	الشكل (1-1)
7	رسم تخطيطي لتكوين الأرض	الشكل (2-1)
8	منحني التدرج الحراري	الشكل (3-1)
9	التدفق الحراري في الجزائر	الشكل (4-1)
10	رسم بياني يشرح الطاقة الحرارية الأرضية عالية المحتوى	الشكل (5-1)
11	رسم بياني يشرح الطاقة الحرارية الأرضية منخفضة المحتوى	الشكل (6-1)
12	طاقة حرارية أرضية منخفضة المحتوى جدا	الشكل (7-1)
13	المبدأ الجيوحراري	الشكل (8-1)
15	الرسم التخطيطي المبسط لمحطة بخار جاف	الشكل (9-1)
16	رسم تخطيطي مبسط لمحطة التبخير	الشكل (10-1)
17	رسم تخطيطي مبسط لمحطة طاقة حرارية أرضية ثنائية أساسية	الشكل (11-1)
19	مركز PAGO	الشكل (12-1)
21	قدرة الكهرباء الأرضية المركبة حسب البلدان في 2009	الشكل (13-1)
23	الموقع الرئيسي لمناطق الطاقة الحرارية الجوفية في الجزائر	الشكل (14-1)
26	مبادل حراري يستخدم في المختبرات	الشكل (1-2)
28	مبادل حراري عمودي	الشكل (2-2)
28	مبادل حراري أفقي	الشكل (3-2)

قائمة الأشكال

29	مبادل حراري حلزوني	الشكل (4-2)
30	مبادل حراري ملفوف	الشكل (5-2)
32	مبادل حراري أنبوبي متحد المحور	الشكل (6-2)
33	مبادل حراري صفائحي	الشكل (7-2)
34	مبادل حراري ذو زعانف	الشكل (8-2)
35	تغيرات درجة حرارة التربة الموسمية علي أعماق مختلفة	الشكل (9-2)
39	رسم تخطيطي لمبادل حراري (ماء/تربة)	الشكل (1-3)
42	تغيرات درجة حرارة الماء علي طول المبادل الحراري بمعدلات تدفق مختلفة عند $T_{fe}=50^{\circ}C$	الشكل (2-3)
43	تغيرات درجة حرارة الماء علي طول المبادل الحراري بمعدلات تدفق مختلفة عند $T_{fe}=70^{\circ}C$	الشكل (3-3)
43	تغيرات درجة حرارة الماء علي طول المبادل الحراري بمعدلات تدفق مختلفة و اختلاف لدرجة حرارة المدخل	الشكل (4-3)
44	تغيرات درجة حرارة الماء علي طول المبادل الحراري بتغير في نصف قطر الأنبوب عند $T_{fe}=50^{\circ}C$	الشكل (5-3)
45	تغيرات درجة حرارة الماء علي طول المبادل الحراري بتغير في نصف قطر الأنبوب عند $T_{fe}=70^{\circ}C$	الشكل (6-3)
46	تغيرات درجة حرارة الماء علي طول المبادل الحراري بتغير في نصف قطر الأنبوب و اختلاف لدرجة حرارة المدخل	الشكل (7-3)
47	تغيرات درجة حرارة الماء علي طول المبادل الحراري لمعاملات تبادل حراري مختلفة عند $T_{fe}=50^{\circ}C$	الشكل (8-3)
48	تغيرات درجة حرارة الماء علي طول المبادل الحراري لمعاملات تبادل حراري مختلفة عند $T_{fe}=70^{\circ}C$	الشكل (9-3)
48	تغيرات درجة حرارة الماء علي طول المبادل الحراري لمعاملات تبادل حراري مختلفة واختلاف لدرجة حرارة المدخل	الشكل (10-3)
49	تغيرات درجة حرارة الغرفة (T_p) بدلالة الزمن لمعاملات تدفق مختلفة	الشكل (11-3)

قائمة الأشكال

	عند $T_{fe}=50^{\circ}C$	
49	تغيرات درجة حرارة الغرفة (T_p) بدلالة الزمن لأنصاف أقطار مختلفة عند $T_{fe}=50^{\circ}C$	الشكل (12-3)
50	تغيرات درجة حرارة الغرفة (T_p) بدلالة الزمن لمعاملات تبادل مختلفة عند $T_{fe}=50^{\circ}C$	الشكل (13-3)
50	تغيرات درجة حرارة الغرفة (T_p) بدلالة الزمن لمعاملات تدفق مختلفة عند $T_{fe}=70^{\circ}C$	الشكل (14-3)
51	تغيرات درجة حرارة الغرفة (T_p) بدلالة الزمن لأنصاف أقطار مختلفة عند $T_{fe}=70^{\circ}C$	الشكل (15-3)
51	تغيرات درجة حرارة الغرفة (T_p) بدلالة الزمن لمعاملات تبادل مختلفة عند $T_{fe}=70^{\circ}C$	الشكل (16-3)

قائمة الترميزات

الرمز	العبرة	الوعدة
Q	كمية الحرارة المنتقلة في المبادل	J
\dot{m}	التدفق الكتلي	kg/s
T_{fx}	درجة حرارة المبادل عند الوضع X	$^{\circ}C$
T_{fe}	درجة حرارة مدخل المبادل	$^{\circ}C$
C_p	الحرارة النوعية	$J/kg.K$
U_x	معامل التبادل الحراري بين المبادل والتربة	$W/m^2.K$
R	نصف قطر المبادل الحراري	m
T_0	درجة حرارة الأرض	$^{\circ}C$
L	طول المبادل الحراري	m
S	مساحة سطح التبادل	m^2
λ	معامل التوصيل الحراري للتربة	$W/m.K$
T_{fs}	درجة حرارة مخرج المبادل	$^{\circ}C$
T_{si}	درجة حرارة الطبقة الداخلية للتربة	$^{\circ}C$
T_{se}	درجة حرارة الطبقة الخارجية للتربة	$^{\circ}C$
T_a	درجة حرارة المناخ الخارجي	$^{\circ}C$
T_p	درجة حرارة المناخ الداخلي للغرفة	$^{\circ}C$
e	سمك الأنبوب	m
q_G	التدفق الحراري الأرضي	W/m^2

قائمة الجداول

الصفحة	العنوان	الجدول
22	الخصائص الكيميائية والفيزيائية الرئيسية لبعض الينابيع الحرارية في شمال الجزائر	(1-1)
41	قيم درجة الحرارة T_{fs} علي طول المبادل الحراري بمعدلات تدفق مختلفة عند $(T_{fe}=50^{\circ}C)$.	(1-3)
42	قيم درجة الحرارة T_{fs} علي طول المبادل الحراري بمعدلات تدفق مختلفة عند $(T_{fe}=70^{\circ}C)$.	(2-3)
44	قيم درجة الحرارة T_{fs} علي طول المبادل الحراري مع تغير في قطر الأنبوب عند $(T_{fe}=50^{\circ}C)$.	(3-3)
45	قيم درجة الحرارة T_{fs} علي طول المبادل الحراري مع تغير في قطر الأنبوب عند $(T_{fe}=70^{\circ}C)$.	(4-3)
46	قيم درجة الحرارة T_{fs} علي طول المبادل الحراري مع تغير في قطر الأنبوب عند $(T_{fe}=50^{\circ}C)$.	(5-3)
47	قيم درجة الحرارة T_{fs} علي طول المبادل الحراري باختلاف معامل التبادل الحراري عند $(T_{fe}=70^{\circ}C)$.	(6-3)



مقدمة

إن الاستخدام المكثف والمبالغ للطاقة التقليدية والتي تعتمد على الوقود الأحفوري " البترول ومشتقاته والفحم والغاز الطبيعي" تتسبب بأضرار بالغة الخطورة على الإنسان و البيئة و جميع الكائنات الحية، وإلى العديد من الكوارث البيئية التي بدأت ولا يعرف متى تنتهي بالإضافة إلى المشاكل الصحية والتي يصعب تعدادها و حصرها؛ مما أدى إلى البحث عن مصادر للطاقة البديلة والنظيفة والتي تحقق التنمية المستدامة ولا تؤثر سلبا على صحة الإنسان و البيئة وهذا ما يتحقق في الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة التي تتولد بصورة طبيعية وبصفة مستدامة ودون أن ينتج عنها أي نوع من أنواع النفايات الضارة وأهمها: الطاقة الشمسية، طاقة الرياح، الطاقة الحرارية.

تعد الطاقة الحرارية الأرضية واحدة من أكثر مصادر الطاقة المتجددة فائدة وأهمية حيث أنها ليست نوعا متجددا فحسب، بل تعتبر مصدر موثوق وثابت وذلك لعدم اعتمادها علي العوامل المناخية وبيئية (الشمس، الرياح) وهي متاحة طوال العام. كما تتميز بإمكانيات هائلة حيث تبلغ الحرارة الجوفية المنتجة في العالم 164.6 TW، بسعة 70.9 GW.

تعتبر الجزائر من الدول الرائدة في الاستخدام المباشر للطاقة الحرارية الجوفية في افريقيا نظرا لأن معظم مواردها ذات محتوى منخفض نسبيا. تتميز منطقة ورقلة بوجود مخزون حراري أرضي ذو طاقة حرارية منخفضة، حيث تتراوح درجات حرارة المياه التي تتزود بها الأحياء السكنية بين [50°C-70°C] وتعتبر عملية تبريدها مشكلة يعاني منها السكان.

نقترح في هذه الدراسة استغلال حرارة المياه الجوفية في تدفئة غرفة خلال فصل الشتاء باستخدام مبادل حراري أرضي (ماء/تربة) وذلك من أجل استرجاعه بدرجة حرارة مناسبة.

وقد قسمنا هذه الدراسة إلى ثلاثة فصول خصصنا الفصلين الأول والثاني للدراسة النظرية حيث تطرقنا في اولهما إلى عموميات حول الطاقة الحرارية الأرضية كما تناولنا فيه أصل هذه الحرارة و انواعها وأهم استخداماتها بالإضافة إلي تطبيقاتها في العالم وفي الجزائر. بينما

الفصل الثاني خصصناه لدراسة المبادلات الحرارية وأشكالها وأهم المبادلات المستخدمة بشكل عام. أما الفصل الثالث سنتطرق فيه لدراسة مبادل حراري (ماء/تربة) من أجل تدفئة غرفة في فصل الشتاء بواسطة الطاقة الحرارية الجوفية. وفي الأخير ختمنا هذه الدراسة بملخصنا فيها إلي أهم النتائج المحصل عليها.

الفصل الأول
عموميات حول الطاقة
الحرارية الأرضية

تمهيد:

تعتبر الطاقة الحرارية الأرضية مصدر من مصادر الطاقة المتجددة والنظيفة، وهي طاقة حرارية مرتفعة ذات منشأ طبيعي مخزنة في صخور الماغما في باطن الأرض. حيث يقدر أكثر من 99% من كتلة الأرض عبارة عن صخور ذات درجة حرارة مرتفعة تتجاوز حرارتها 1000°C . حيث تهدف الدراسات بشكل أساسي إلي توليد الكهرباء، والتدفئة في حال كانت الحرارة قريبة من سطح الأرض أو علي صورة ينابيع.

1.1. طبقات الأرض:

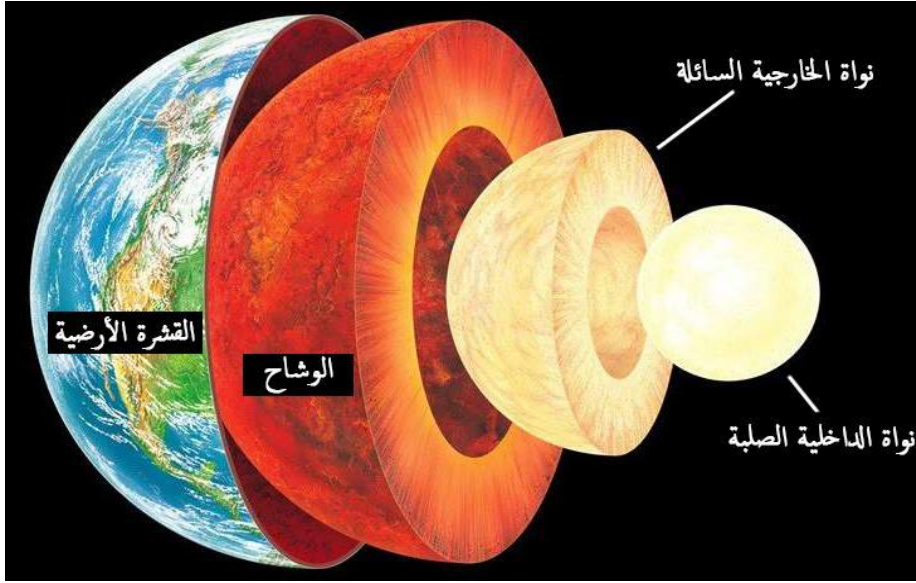
يتكون كوكب الأرض من أربعة طبقات مختلفة و متميزة، حيث تتميز كل طبقة بخصائصها الفيزيائية والكيميائية وهي كالتالي:

1.1.1. النواة الداخلية الصلبة: وهي الطبقة الصلبة وتدعي طبقة اللب. تتكون من الحديد والنيكل، حيث تقع علي بعد 6370Km تحت سطح الأرض، يحمي درجات حرارة تصل إلي 4500°C . [1]

2.1.1. النواة الخارجية السائلة: وهي الطبقة السائلة التي تحيط باللب الداخلي. تقع على بعد 5200 Km تحت أقدامنا، تبلغ درجة حرارتها حوالي 3500°C . تتشكل من الحديد والنيكل اللذان يهتزان كقطعة صلبة نتيجة الضغط والحرارة العاليتين، يعتقد العلماء أن هذه الطبقة مسؤولة عن إنتاج الحقل المغناطيسي. [1]

3.1.1. طبقة الوشاح: تحيط طبقة الوشاح بالنواة الخارجية، وتتكون من الصخر الذي انصهر بعضه بفعل الحرارة. تقع علي عمق 2900 Km تحت سطح الأرض، عند درجة حرارة 3000°C . [1]

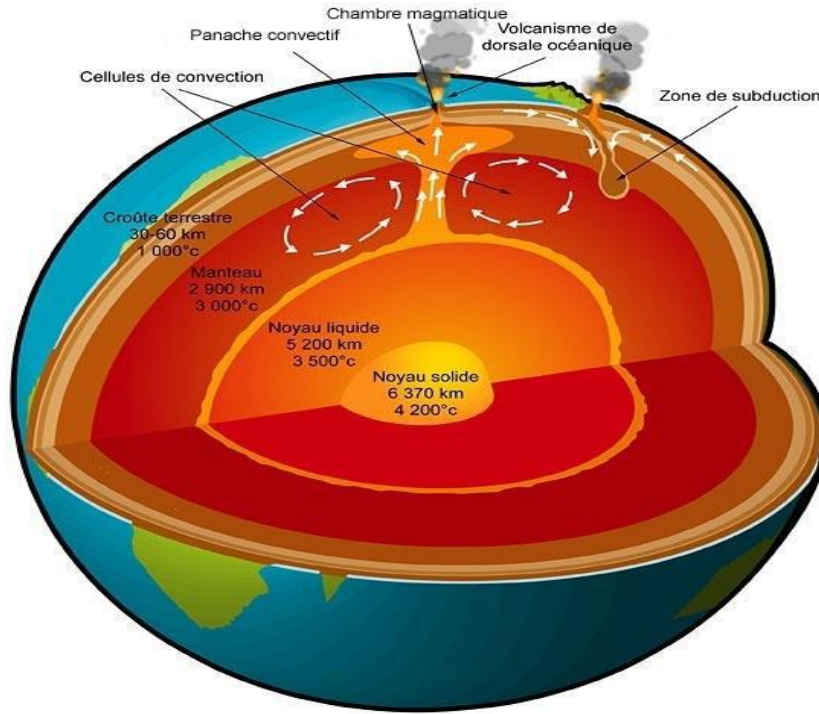
4.1.1. الطبقة الخارجية (القشرة الأرضية): تشكل عند 1000°C حيث تقع علي عمق يتراوح من (30km-60km)، وهي الطبقة التي نعيش عليها يتكون معظمها من التراب والصخر. [1]



الشكل (1-1): مكونات طبقات الأرض [2]

2.1. أصل الحرارة الأرضية:

يرجع جزء صغير من الحرارة التي تنتجها الأرض إلى تبريد اللب، حيث ترتفع الحرارة من النواة إلى الأرض على شكل حرارة بالتوصيل عن طريق الصخور التي تعتبر موصلات رديئة. حيث تتراكم الطاقة في النواة التي تصل درجة حرارتها حاليا إلى ما يقارب 4200°C ومع ذلك فهي لا تعتبر كمصدر أساسي للحرارة المنبعثة من الأرض، فالحرارة المنبعثة من الأرض ترجع أساسا إلى تفكك العناصر المشعة من النواة مثل اليورانيوم و الثوريوم والبوتاسيوم التي تتوافق مع 90 % من الطاقة المتشعنة. تختلف الحرارة المنبعثة من الانشطار باختلاف التركيب الكيميائي للصخور، كما أنها تختلف باختلاف عمر الصخور . وهذا هو سبب ارتفاع الدرجات الحرارية الأرضية كما هو الحال في فرنسا وجنوب أوروبا. [3]

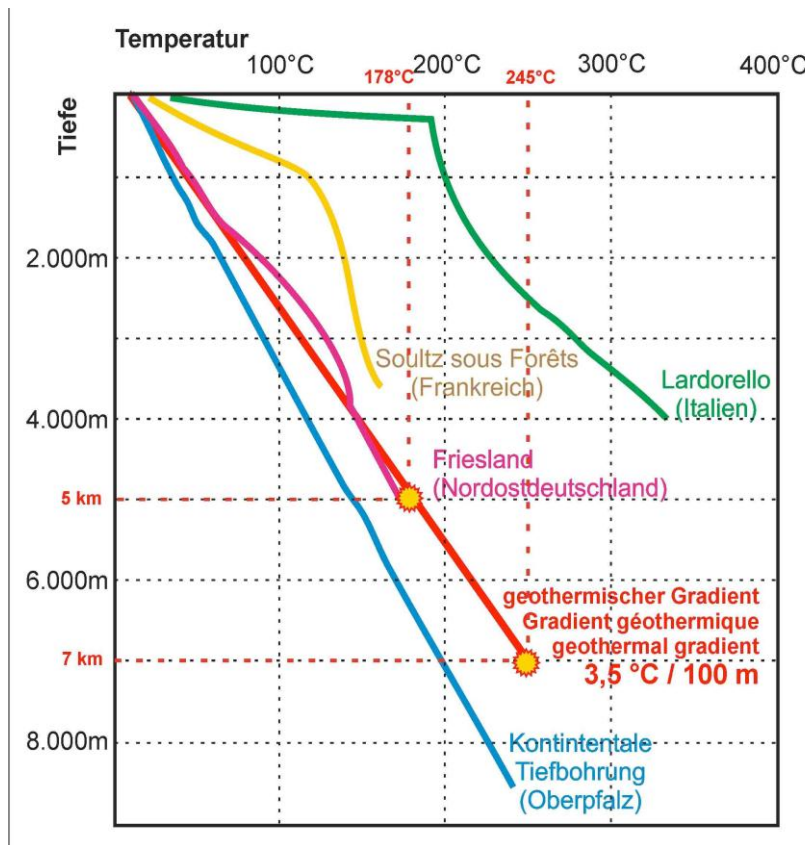


الشكل (1-2): رسم تخطيطي لتكوين الأرض [1]

3.1. التدرج الحراري وتدفق الحرارة الأرضية:

1.3.1. التدرج الجيوحراري:

ترتفع درجة حرارة الأرض مع العمق، حيث تزداد في المتوسط بمقدار 3°C لكل 100m التي يصل خلالها التدفق الحراري تقريبا إلى $60\text{MW}/\text{m}^2$ وأن هذه القيمة ليست موحدة علي سطح الكرة الأرضية [3]. كما يختلف التدرج الحراري الجوفي من منطقة إلي أخرى حيث نسجل في بعض المناطق أكثر من 100°C لكل 100m كما هو الحال في لارديريلو (إيطاليا) ودرجة مئوية واحدة لكل 100m بالقرب من بادوفا (إيطاليا). ويتنوع من 10°C لكل 100m في شمال الأزلاس، ويكون الانحدار عالي في الشمال الشرقي للمغرب من $(35\text{Km}/^{\circ}\text{C} - 50\text{Km}/^{\circ}\text{C})$. يعتمد هذا التدرج على التوصيل الحراري للصخور و التدفق الحراري الأرضي. [4]



الشكل (1-3) : منحنى التدرج الحراري [4]

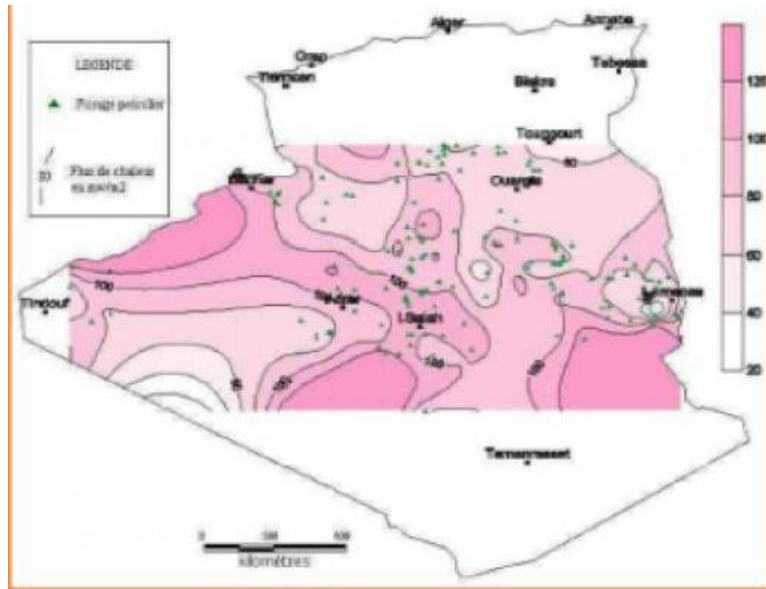
2.3.1. التدفق الحراري الأرضي:

لا يمكن ملاحظة العمليات الفيزيائية والكيميائية التي تحدث داخل القشرة الأرضية وفي الوشاح الأساسي. ويفضل الدراسات علي سطح كوكب الأرض التي تخص الانبعاثات الحرارية، توضح وجود تدفق حراري نابع من أعماق الأرض (q_g (W/m²))، من خلال الحرارة المنقولة من الوشاح إلي قاعدة القشرة الأرضية وتفكك المواد المشعة الموجودة في القشرة. يوضح التدفق الحراري السلوك التالي:

- يتناقص التدفق مع تقدم العمر الجيولوجي بسبب اضمحلال المواد المشعة.
- يكون التدفق أكبر عند سطح الأرض ويقل مع العمق بسبب انخفاض كمية المواد المشعة الأساسية.
- يختلف التدفق جغرافيا لغالبية الدراسات من منطقة إلي أخرى.

يتراوح متوسط التدفق الحراري بين 40mW/m² في المقاطعات المستقرة و 70mW/m² في المقاطعات التكتونية الثالثة . ينتقل التدفق من أعماق الأرض باتجاه السطح عن طريق التوصيل الحراري عبر القشرة

الأرضية، فهذا يدل على أن درجة حرارة العمق أعلى بكثير من درجة حرارة السطح. [5] ويكون حسب قانون فوري للتوصيل $q_G = -\lambda \overrightarrow{grad}(T)$. بالنظر إلى الدراسات الطويلة التي ظل خلالها التدفق الحراري ثابتا عمليا في منطقة معينة، تبين أن درجة الحرارة التي يتم الوصول إليها على سطح التكوين هي نقطة بداية لملف درجة الحرارة من خلال هذا التكوين.



الشكل (1-4): التدفق الحراري في الجزائر [6]

4.1. الأنواع المختلفة للطاقة الحرارية الأرضية :

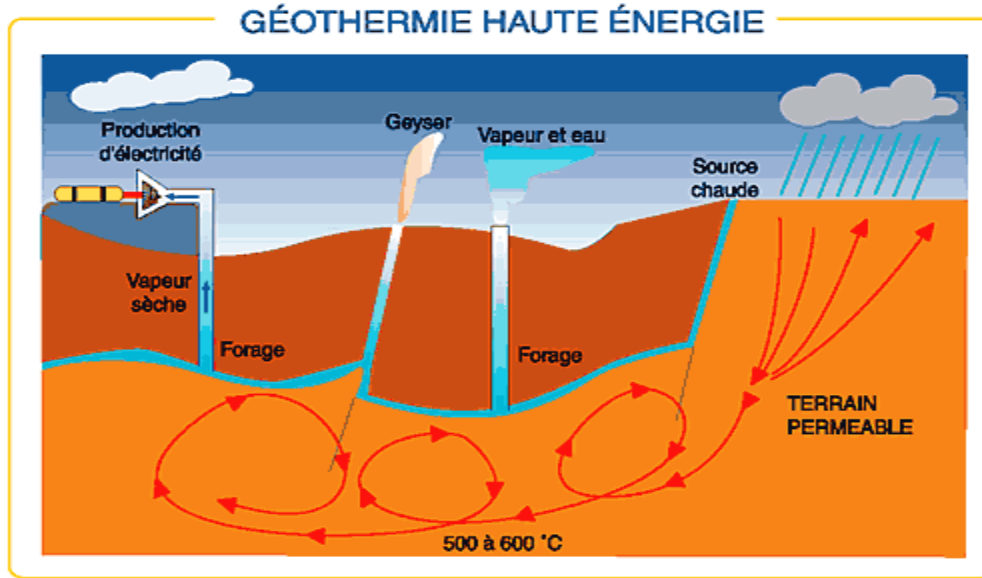
يعتمد استغلال الطاقة الحرارية الجوفية على نوع الرواسب والوسائل الحرارية الأرضية الموجودة، ومنه هناك ثلاث أنواع من الطاقة الحرارية الجوفية في العالم:

1.4.1. طاقة حرارية أرضية عالية المحتوي الحراري:

- تستغل الطاقة الحرارية الأرضية عالية الطاقة رواسب البخار الجاف أو الرطب، حيث تتميز هذه الرواسب بدرجات حرارة أعلى من 150°C ، على عمق يفوق 1500m في المناطق ذات التدرج الحراري الأرضي العالي بشكل غير طبيعي.

- يوجد هذا النوع من الطاقات في المناطق البركانية الزلزالية حيث يكون التدرج الحراري الأرضي خلالها مرتفعا بشكل خاص.

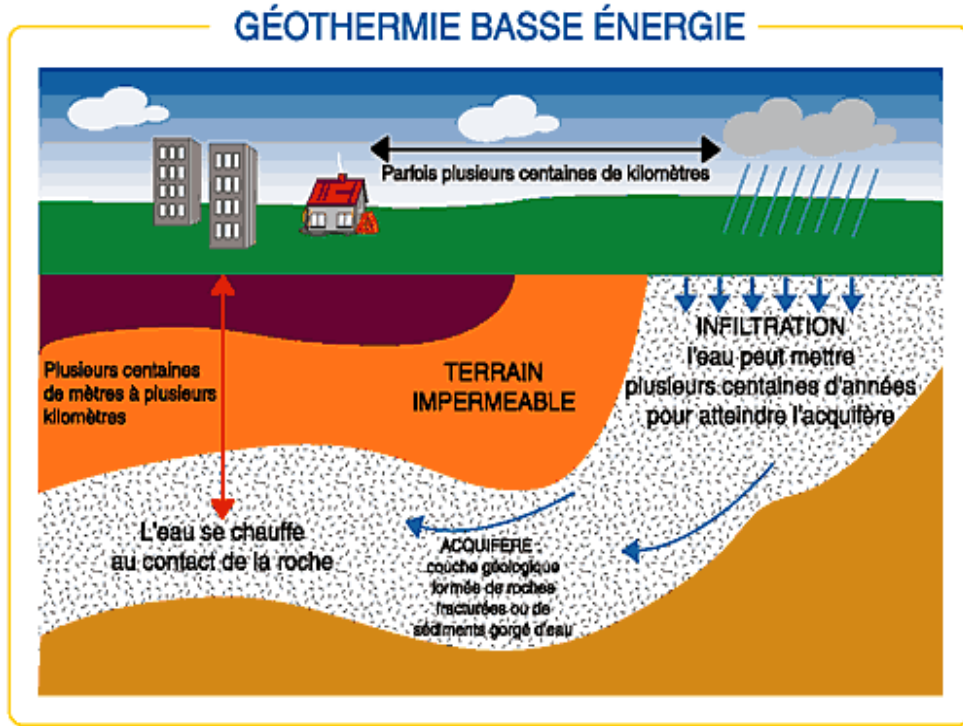
- تستغل الطاقة الحرارية الأرضية عالية الطاقة بشكل أساسي إلى إنتاج الكهرباء من البخار المستخرج من الخزان الجيولوجي، يتم تصريفه في التوربينات المتصلة بمولد التيار الكهربائي لإنتاج الكهرباء.
- يتم استخدام البخار الجاف مباشرة، بينما يتطلب البخار الرطب استخدام فاصل وهو أكثر شيوعاً. [8][27]



الشكل (1-5): رسم بياني يشرح الطاقة الحرارية الجوفية عالية المحتوى [7]

2.4.1. طاقة حرارية منخفضة المحتوى الحراري:

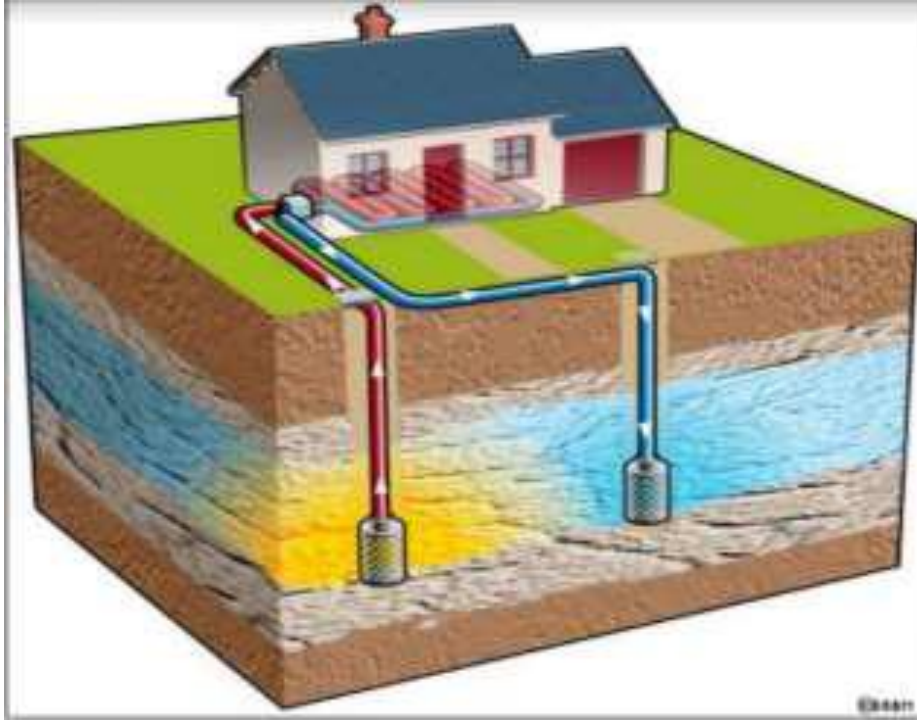
تتميز الطاقة الحرارية منخفضة المحتوى باستخدام الحرارة الناتجة من استخراج المياه الساخنة الموجودة في الطبقات الجوفية العميقة بين (1000m-2500m)، في درجات حرارة تتراوح ما بين (30°C حتى 100°C). في معظم الحالات يوصي بإعادة الحقن، ليس فقط لحماية البيئة ولكن أيضا للحفاظ علي ضغط الرواسب ولتسمح باستغلال أفضل علي المدى الطويل. إن إمكانيات هذا النوع من الطاقة الحرارية الأرضية معروفة جدا بفضل الحملات النفطية العديدة. تتيح هذه التقنية تدفئة الأحياء التي يسكنها الآلاف السكان أو المجمعات الصناعية. [8][27]



الشكل (1-6): رسم بياني يشرح الطاقة الحرارية الجوفية منخفضة الطاقة [7]

3.4.1. طاقة حرارية أرضية منخفضة جدا:

تستخلص الطاقة الحرارية الأرضية الجوفية (منخفضة جدا) من حرارة باطن الأرض، حيث توجد هذه الطاقة المنخفضة في الأعماق الضحلة (المياه الجوفية) التي تصل تقريبا إلى 200m عند درجة حرارة منخفضة تتراوح قيمتها بين 10°C و 30°C. يتطلب مستوى درجة الحرارة هذا إلى مضخات تسخين السطح، لأنه لا يسمح بالاستخدام المباشر للحرارة يتم استخدامه لتربية الأسماك والبستنة و تجفيف المنتجات الزراعية. [8][27]



الشكل(1-7): طاقة حرارية أرضية منخفضة المحتوي الحراري جدا[9]

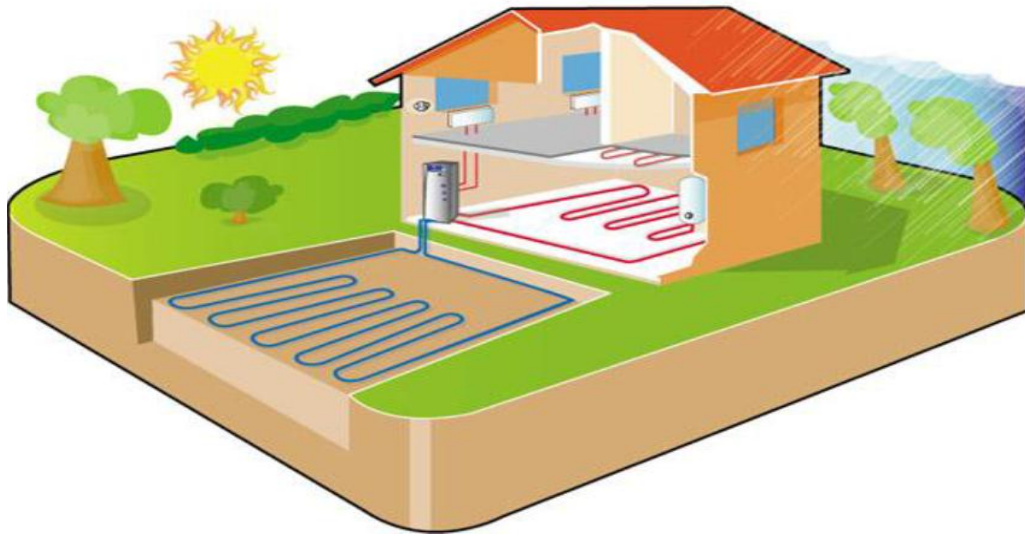
5.1. المبدأ الجيوحراري:

يتمثل المبدأ الجيوحراري في استخراج الطاقة الحرارية الجوفية الموجودة في الأرض لاستخدامها على شكل تدفئة أو لتحويلها إلى كهرباء، حيث يوجد تدفق حراري طبيعي على سطح الأرض، يسود عمقه بضعة أمتار عند درجة حرارة ثابتة عمليا أثناء العام، يتم استغلال الحرارة المتراكمة وتخزينها في أجزاء معينة من الطابق السفلي للأرض. وهناك أنواع من الطاقة الجيوحرارية:

- طاقة حرارية أرضية سطحية.

- طاقة حرارية أرضية عميقة جدا، وهو الشكل الوحيد الذي يسمح بإنتاج الكهرباء من 150°C إما مباشرة من البخار أو بواسطة الماء الساخن، أو بعد الحقن العميق للمياه واستعادة الحرارة.

كما تهدف دراسة الطاقة الحرارية الأرضية إلى استغلال ظاهرة الزيادة في درجة الحرارة كدالة للعمق حتى ولو انخفض تدفق الطاقة الناتج مع العمق، لأن معظم هذا التدفق يأتي من النشاط الإشعاعي للصخور في قشرة الأرض.[5]



الشكل (1-8): المبدأ الجيوحراري [10]

6.1. أنواع الرواسب الحرارية الجوفية:

بفضل وجود رواسب في باطن الأرض، حيث يتم تخزين الطاقة الحرارية يمكن تصنيف الرواسب الحرارية الجوفية وفقا لطبيعتها الجيولوجية، ومستوي درجة حرارتها، واستخدام مائع الطاقة الحرارية الأرضية علي السطح، ومع ذلك فإن مستوي درجة حرارة السائل القابل للاستخراج من الرواسب الحرارية الجوفية سيحدد نوع الاستخدام الحاصل. في جميع أنحاء العالم، هناك ثلاث فئات من الرواسب الحرارية الجوفية [11]:

1.6.1. الرواسب الحرارية الجوفية في المناطق البركانية الحديثة: يتميز هذا النوع من

الرواسب بوجود حجرة صهارة شديدة الحرارة (1300°C) والتي تعتبر مصدر حراري طبيعي، تنتقل الحرارة من الصهارة إلي الطبقات الجيولوجية السطحية. تكون المياه ذات درجة حرارة عالية وهي مناسبة لإنتاج الكهرباء، وتتمتع نيوزلندا وأيسلندا بهذا النوع من الرواسب. [11]

2.6.1. رواسب مناطق المنصات القارية المستقرة، المغطاة بأرض رسوبية: يتميز هذا

النوع من الرواسب بعدم احتوائه على مصدر معين للحرارة في العمق، لكن مصدر هذه الحرارة راجع إلى التدرج الحراري الأرضي، في هذه الحالة تكون الاحتياطات عميقة جدا ويتطلب استغلالها الحفر. تم العثور على هذا النوع من الرواسب في فرنسا (حوض باريس وأكيتاين) والجزائر (حوض الصحراء الشمالية). [11]

3.6.1. الرواسب الحرارية الجوفية في المناطق القارية النشطة: في هذه الحالة تنتج المياه من دوران المياه الحرارية من خلال الصدوع و الانقطاعات الجيولوجية وتصل إلي السطح في شكل ينابيع. تم العثور على هذا النوع من الترسبات في الجزائر، من خلال الينابيع الحرارية المختلفة التي تتدفق في الشمال. [11]

تصنف الرواسب الحرارية إلي نوعان من مجالات الطاقة الحرارية الجوفية:

الحقول شديدة الحرارة، الحقول شبه حرارية.

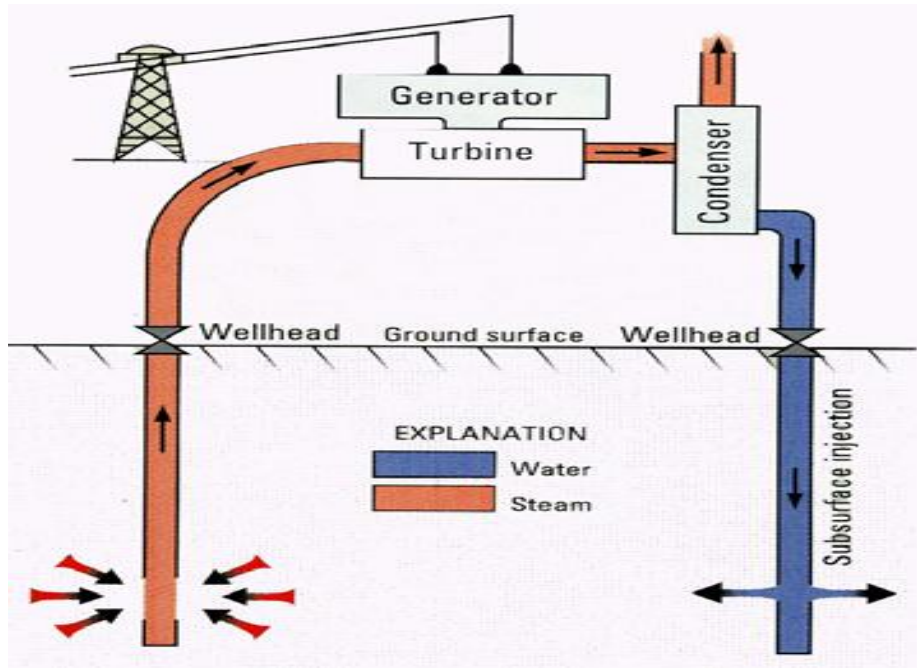
7.1. استخدامات الطاقة الحرارية الأرضية:

1.7.1. إنتاج الكهرباء:

إن الهدف الأساسي لاستغلال الطاقة الحرارية الأرضية هو تحويلها لطاقة كهربائية، لتمييز الأرض بدرجات حرارة مرتفعة في باطنها، فعلى مدى السنوات العشرين الماضية كان إنتاج الطاقة الكهربائية من موارد حرارية أرضية يتزايد باستمرار في جميع أنحاء العالم. حيث يشير التحويل الكهربائي لطاقة الحرارية الأرضية من موارد حرارية أرضية عالية المحتوى، وبالاعتماد على حالة مائع الخزان الحراري ودرجة حرارته [12]، تبين وجود ثلاث أنواع من محطات توليد الكهرباء باستخدام الطاقة الحرارية الأرضية وهي كالتالي:

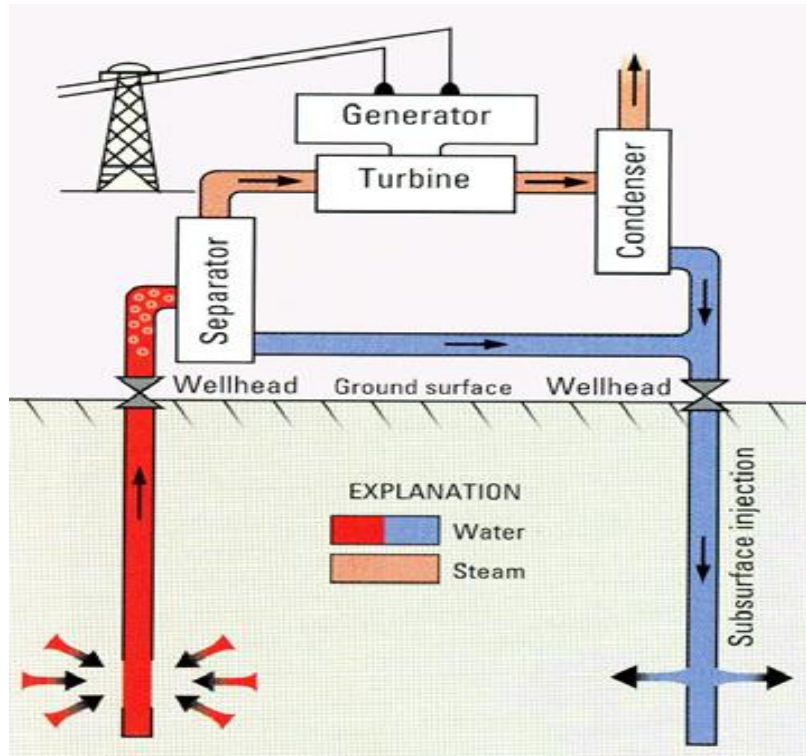
1.1.7.1. محطات البخار الجاف:

تستخدم هذه المحطات الماء الموجود بشكل طبيعي في طبقات الأرض العميقة تحت تأثير ضغط ودرجة حرارة عاليين، فيستخرج نتيجة حفر آبار عميقة علي شكل بخار جاف. يمر البخار من بئر الإنتاج إلي السطح ثم يمر عبر وحدة مولد توربين حيث تدور المولدات الكهربائية ويتم من خلالها تحويل الحرارة إلي طاقة كهربائية، يضخ الماء المتكثف ويعاد حقنه إلي الأرض عبر بئر يسمى (بئر الحقن) . [13]



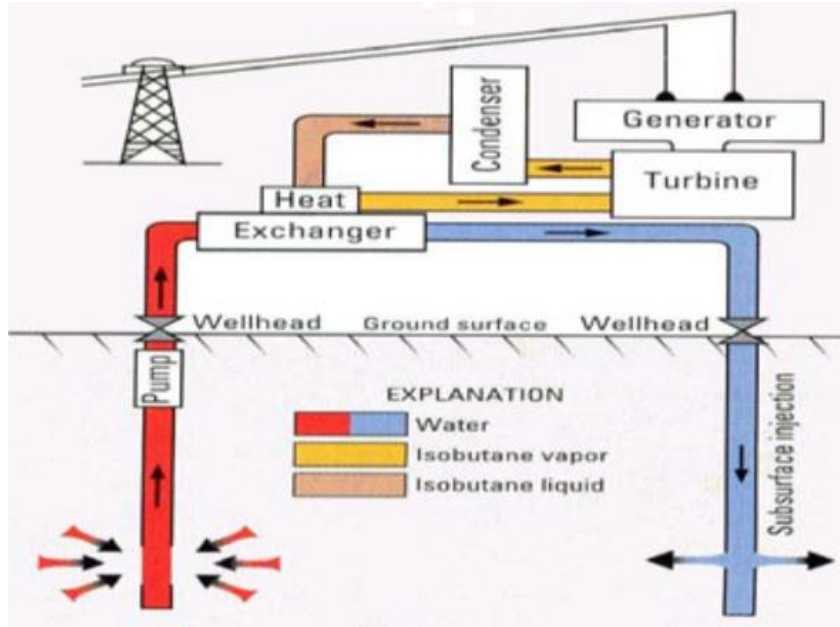
الشكل (1-9): الرسم التخطيطي المبسط لمحطة بخار جاف [14]

2.1.7.1. محطات الطاقة البخارية السريعة: تعتبر محطات توليد الطاقة البخارية هي أكثر أنواع المحطات شيوعاً في العالم، حيث أن محطة التي تم بناؤها عام 1958 في نيوزيلندا هي أول محطة حرارية جوفية تستخدم البخار السريع. تستعمل هذه الطاقة البخارية السريعة السوائل التي يتم إنتاجها في الخزان الحراري المائي الموجودة بضغط عالي تحت الأرض، يتم فصل الماء المسخن بالحرارة الجوفية فوق 180°C في وعاء ذي ثقب صغير يؤدي إلى وعاء آخر ذي ضغط معتدل، فعند حركة السائل من الوعاء الأول إلى الوعاء الثاني يتبخر بسبب السرعة وفرق الضغط العالي. يتم إرسال البخار إلى التوربين ويقوم البخار بتشغيل التوربين فيحرك بدوره المولدات الكهربائية التي تنتج الكهرباء. ويتم حقن الماء المتكثف إلى الأرض عبر بئر الحقن. [13]



الشكل (1-10): رسم تخطيطي مبسط لمحطة التبخير [14]

3.1.7.1 محطات الدائرة المزدوجة : أتاحت هذه التقنية الحصول على إنتاج الكهرباء من موارد الطاقة الحرارية الأرضية ذات درجات الحرارة المنخفضة والمتوسطة . حيث تستخدم هذه المحطات السوائل الموجودة تحت الأرض ذات درجة غليان مرتفعة تصل إلي (200°C)، وضخها نحو الأعلى حيث تقوم بتسخين المياه منخفضة الحرارة ذي درجة غليان عادية (100°C) في أنبوب آخر يمر بمحاذاة الأنبوب الساخن. يتبخر الماء الذي تم تسخينه بسبب ارتفاع درجة الحرارة الأنبوب الثاني. يحرك البخار توربين المولد الكهربائي، ومنه يتم توليد الكهرباء. بعد ذلك يحقن الماء إلى الخزان أدناه من خلال بئر الحقن. [13]



الشكل (1-11): رسم تخطيطي مبسط لمحطة طاقة حرارية أرضية ثنائية أساسية [14]

2.7.1. الاستخدام المباشر:

إن هذا الاستخدام هو الأكثر انتشارا في العالم ويوجد تقريبا في 80 دولة في أعماق حفر اقتصادية. ويكون في نطاق درجات الحرارة المنخفضة إلى المتوسطة، حيث لا توجد خسائر في كفاءة التحويل، يمكن أن تكون المشاريع علي نطاق صغير، مثل المنزل الفردي أو بركة تربية الأحياء المائية، ويمكن أيضا أن تكون عملية واسعة النطاق مثل تدفئة أو تبريد منطقة. [15]

1.2.7.1. التدفئة: تعتبر تدفئة المنازل أول تطبيق للطاقة الحرارية الأرضية منخفضة الطاقة، يمكن توفير تدفئة منخفضة الحرارة عن طريق واحد أو أكثر من مجسات الطاقة علي عمق بين 100m حتي 200m ومزودة بمضخة حرارية. يمكن أن تلبى الطاقة الحرارية الجوفية عادة بين (80-90%) من الطلب السنوي للتدفئة أو التبريد. [16]

2.2.7.1. الزراعة: تعد الصوبات الزراعية وتربية الأسماك التطبيقان الأساسيان للطاقة الحرارية الأرضية في الزراعة. كما يعتبر نمو النباتات في الصوبات الزراعية خيارا مثيرا للاهتمام لأن متطلبات الطاقة مرتفعة، وفيما يخص الاستزراع السمكي فإن الحفاظ علي مستوي ثابت لدرجات الحرارة ينتج عنها زيادة في التمثيل الغذائي للأسماك والقشريات. [16]

8.1. المضخات الجيوحرارية:

1.8.1. تعريف المضخات الجيوحرارية:

المضخة الحرارية هي آلة ديناميكية حرارية تسحب الحرارة من بيئة طبيعية تسمى مصدر بارد (ماء، هواء، أرض) تكون درجة حرارتها أقل من درجة حرارة الغرفة المراد تسخينها. ثم تنقل هذه الطاقة إلى مائع نقل الحرارة من أجل توفير التدفئة وغالبًا أيضًا إنتاج الماء الساخن المنزلي.[3]

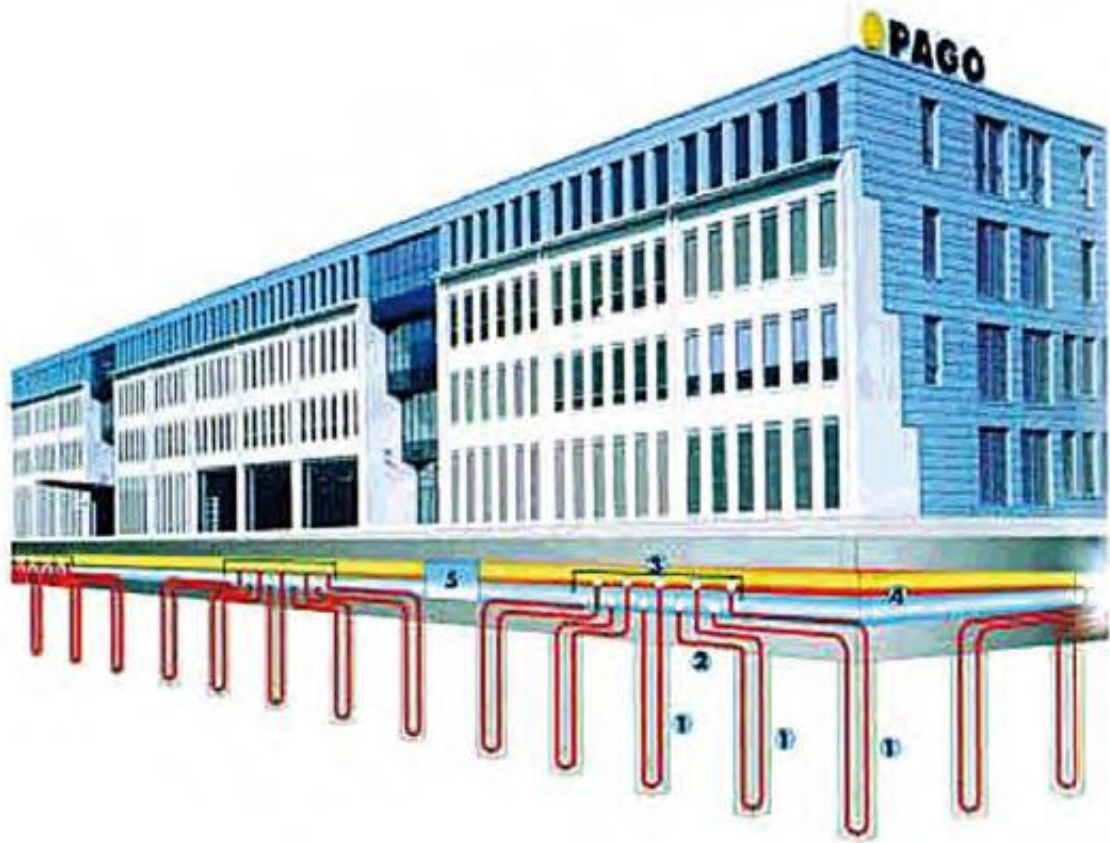
2.8.1. كيفية عملها:

تستخدم المضخة الجيوحرارية الطاقة الموجودة بالقرب من سطح الأرض لتدفئة وتبريد المباني. درجة حرارة الأمتار الثلاثة العليا للقشرة الأرضية تبقى في مدى ثابت نسبيًا يتراوح بين (10°C-16°C). المضخة الجيوحرارية للمباني تتكون من قنوات يتم عملها في المبنى متصلة خلال مبادل حراري بأنابيب مدفونة في أرضية ضحلة مجاورة. يتم تدفئة المبنى في أثناء الشتاء بضخ الماء خلال المضخة الجيوحرارية. يسخن الماء عند مروره خلال الأنابيب المدفونة في الأرض. يتم نقل الحرارة الناتجة إلى المبادل الحراري حيث تستخدم لتسخين الهواء في القنوات المعمولة في المبنى. خلال فصل الصيف، يتم عكس اتجاه تدفق الحرارة. يقوم المبادل الحراري باستخدام الحرارة الناتجة من الهواء الساخن في المبنى لتسخين الماء الذي بدوره ينقل الحرارة خلال منظومة الأنابيب إلى الأرضية الضحلة الباردة. في الشتاء يتم إضافة الحرارة إلى المبنى من جوف الأرض، وفي الصيف تتم إزالة الحرارة من المبنى.[17]

9.1. الأساسات النشطة حراريًا:

في حالة تشييد المباني التي تتطلب ركائز عميقة جدًا لاستقرارها، والتي تتجاوز 10m على سبيل المثال، فمن الممكن استخدام هذه الهياكل الخرسانية لالتقاط وتخزين الطاقة الحرارية للأرض (الأساسات النشطة حراريًا) حيث يتم تثبيت المستشعرات في المحطات. يمكن أيضًا تصور هذا النوع من التقنية في حالة الحفريات في الجدران الحاجزة أو الألواح أو القواعد أو أي عنصر خرساني آخر ملامس للأرض. يتكون مبدأ أكوام الطاقة هذه من الدمج في عناصر الأساس أثناء تصنيعها، نظام لالتقاط الطاقة يتكون من شبكة من أنابيب البولي إيثيلين والتي يدور فيها سائل نقل الحرارة في دائرة مغلقة (ماء مكمل بالجليكول، على سبيل المثال). يتم توصيل نظام التقاط الطاقة بمضخة حرارية توفر التدفئة أو التبريد. لا يمكن تركيب المبادلات الحرارية إلا في إطار بناء المبنى نفسه، وتعديل الأسطح من كون الخرسانة الحالية مستحيلة. وهذا يجعل من الممكن الاستغناء عن أعمال الحفر أو التمديد اللازمة للمجمعات و مجسات

الطاقة الحرارية الأرضية. اليوم في أوروبا ولا سيما في النمسا وسويسرا، هناك عدة مئات من الإنجازات في تنفيذ الأسس النشطة حرارياً. في فرنسا، تم إطلاق العديد من المشاريع مؤخراً، مثل Cité du Design في Saint-Etienne في Loire [3]



الشكل (1-12): مركز PAGO [3]

10.1. التبريد الجغرافي لتبريد المباني:

يمكن أن تعمل التربة التحتية التي تتراوح درجة حرارتها على عمق بضعة أمتار من 10°C إلى 20°C كخزان للبرودة خلال فصل الصيف وتسمح بتبريد المباني. هذا هو مبدأ التبريد الجغرافي، الذي يمكن من استخدام هذه البرودة خاصة في فصل الصيف دون تشغيل المضخة الحرارية لضمان التبريد المباشر لدوائر توزيع المياه في المباني وبالتالي فإن هذا يجعل من الممكن الحصول على مستوى مُرضٍ من الراحة الداخلية دون استخدام أنظمة تكييف الهواء التقليدية كثيفة الاستهلاك للطاقة. يمكن إجراء التبريد عن طريق التبريد الجغرافي عبر مجسات الطاقة الحرارية الأرضية، الأساسات النشطة حرارياً (أكوام الطاقة)، أبار بروفنسال أو عبر بئر إنتاج المياه الذي يوفر مضخات الحرارة على

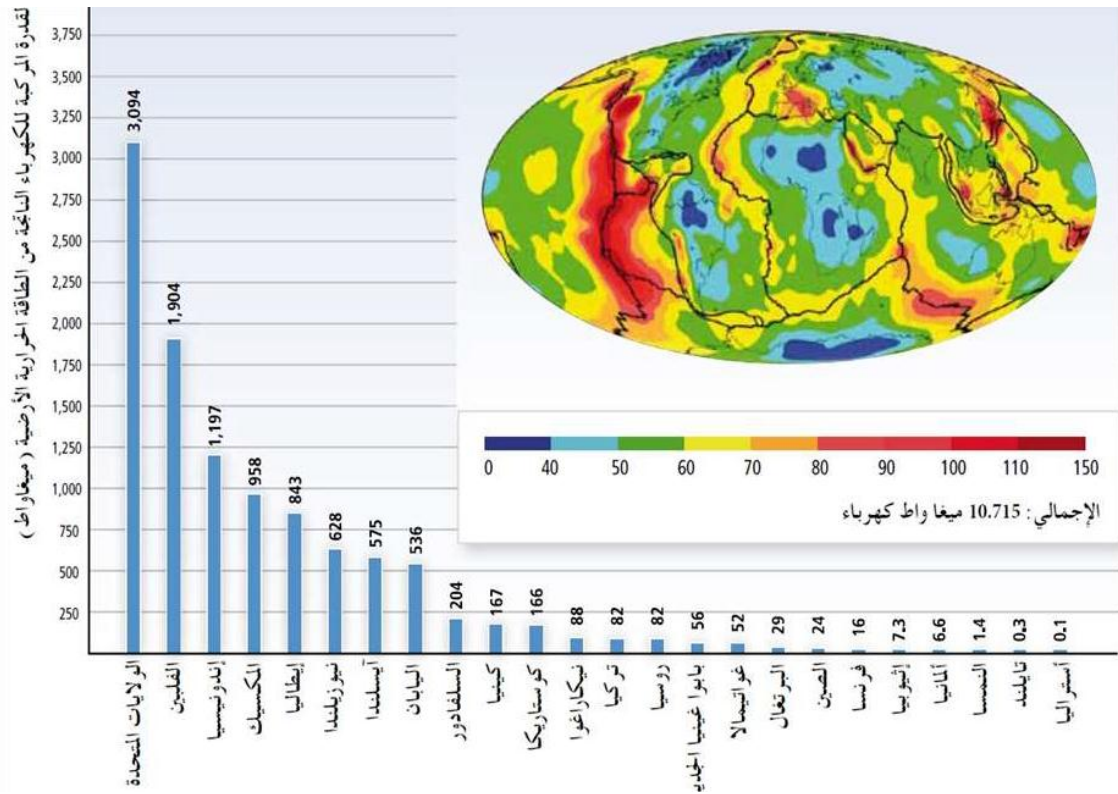
طبقة المياه الجوفية . وهكذا فإن دوائر هذه الأنظمة المختلفة المجسات أو الأكوام أو الآبار - مقترنة بشبكة توزيع التبريد عن طريق مبادل حراري, تستخرج السرعات الحرارية الزائدة من المباني لتجربها تحت الأرض عن طريق التبادل الحراري.

إن التبريد الجغرافي بقدر الإمكان إلى جانب إنتاج الطاقة التدفئة يضمن إعادة الشحن الحراري للأرض وهو حل مثير للاهتمام يجعل من الممكن تقديم خدمة التبريد دون استثمار إضافي كبير وبتكلفة تشغيل منخفضة للغاية.[3]

11.1. الطاقة الحرارية في العالم:

تعد الطاقة الحرارية الأرضية ثاني أكبر مصادر الطاقة في العالم بعد الطاقة الشمسية، فعلى الصعيد العالمي تعتبر الطاقة الحرارية صناعة تبلغ قيمتها 4.6 مليار دولار مع وجود أكثر من 500 محطة لإنتاج الكهرباء في العالم. حيث وصلت الطاقة الكهربائية المركبة ذات منشأ حراري أرضي عام 2007 إلى 9800MW.[15]

1.11.1. الاستغلال: إن أهم استغلال لهذه الطاقة يكمن في مجال إنتاج الكهرباء ، في عام 1904 روج الامير بييرو جينوري كونتي لهذه الصناعة في لارديريلو (إيطاليا) ، حيث تم توليد الطاقة الكهربائية من بخار الطاقة الجوفية لأول مرة في العالم، وبفضل هذا تم تحقيق دفعة كبيرة في مجال استغلال الطاقة الحرارية الجوفية. تستخدم اليوم أكثر من 60 دولة مواردها من الطاقة الحرارية الأرضية ، ولكن يتم تطويرها بشكل خاص في بلدان معينة فقط وهي بلدان رائدة في هذا المجال مثل (إيطاليا، الو م أ، واليابان، وأيسلندا ونيوزيلندا، وسويسرا، واندونيسيا، المكسيك)، كما تنتج الفلبين 21.5% من طاقتها الكهربائية من الطاقة الحرارية الأرضية.[12]



الشكل (1-13): قدرة الكهرباء الأرضية المركبة حسب البلدان في 2009، يبين الشكل متوسط تدفق الحرارة على النطاق العالمي بالملي واط للمتر المربع وحدود الصفيحة التكتونية [18]

12.1. الطاقة الحرارية الأرضية في الجزائر:

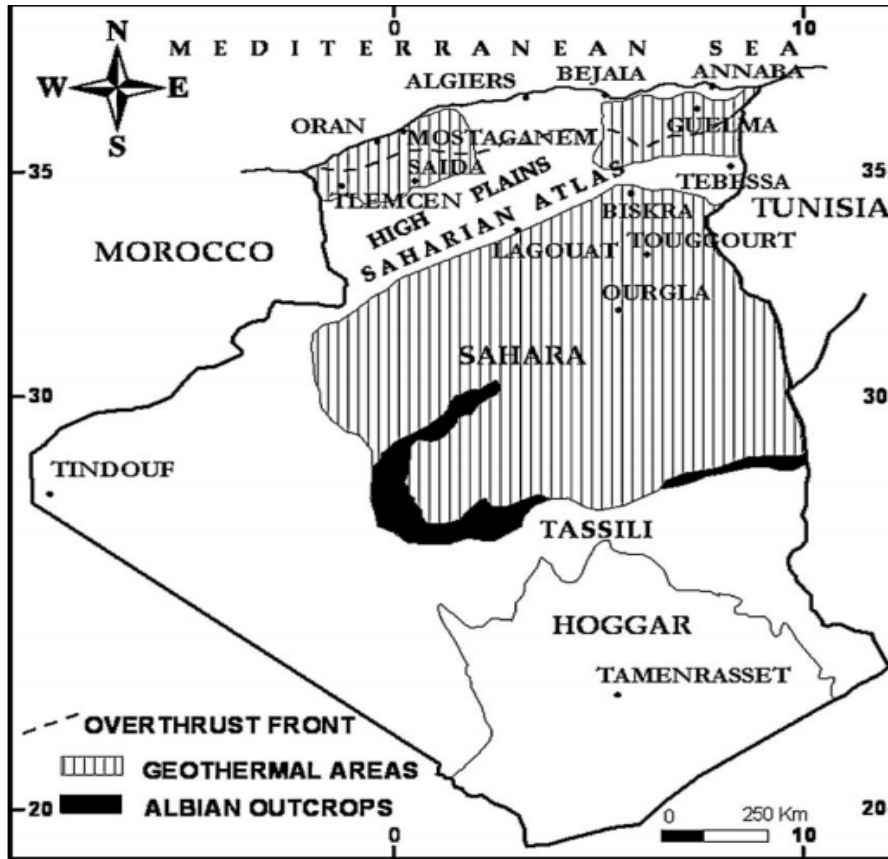
تعتبر الجزائر من الدول الغنية بالموارد الحرارية، معظم هذه الموارد في شكل محتوى حراري منخفض. حيث أظهرت الدراسات أن شمال الجزائر يتميز بعدد كبير من الحمات الحرارية ما يقارب 200 مصدر وهي موزعة في جميع أنحاء الإقليم، كما يوجد خزان هام للطاقة الحرارية الأرضية في جنوب البلاد وبشكل أكثر تحديدا في شمال الصحراء وهو "طبقة المياه الجوفية القارية".

تتبع العديد من الينابيع الحرارية بشكل أساسي من الحجر الجيري جوراسي في شمال الجزائر، تم التركيز على ثلاث مناطق ذات تدرج حراري أرضي كبير: في الشمال الشرقي (قسنطينة)، وفي الشمال الغربي (وهران)، وفي وسط الشمال (القبائل). بالإضافة إلى العديد من الينابيع الحرارية الموضحة في الجدول أدناه:

الجدول(1): الخصائص الكيميائية والفيزيائية الرئيسية لبعض الينابيع الحرارية في شمال الجزائر [11]

الينابيع الحرارية	المنطقة	المخلفات الكيميائية	المخلفات الجافة mg/L	درجة الحرارة (°C)
حمام شلالا	قالمة	كبريتات المغنيزيوم	1600	98
حمام بو حجار	عين تيموشنت	كلوريد الصوديوم	3210	66.5
حمام بو حنيفة	معسكر	بيكربونات الصوديوم	1400	66
حمام بوطالب	سطيف	كلوريد الصوديوم	3416	52
حمام الصالحين	خنشلة	كلوريد الصوديوم	2082	70
حمام الصالحين	سكيكدة	كبريتات	2046	55
حمام سيدي بو عبد الله	غليزان	كلوريد الصوديوم	1194	51
حمام	مسيلة	كبريتات الصوديوم	1980	42
حمام الرابي	سعيدة	كلوريد الصوديوم	1524	47
حمام بن هارون	قسنطينة	كلوريد الصوديوم	2221	46
حمام سيلال	بجاية	كلوريد الصوديوم	3762	42

أتاحت الدراسات الجيوكيميائية والجيوفيزيائية مثل التدرج الحراري والنفاذية تحديد ثلاث مناطق حرارية كما هو في الشكل:



الشكل(1-14): الموقع الرئيسي لمناطق الطاقة الحرارية الجوفية في الجزائر [19]

1.12.1. حالة الطاقة الحرارية الأرضية في الجزائر:

إن نسبة هذا النوع من الطاقات في الجزائر ضئيلة جدا مقارنة بالموارد المحتملة، ظل تطوير الطاقة الحرارية الأرضية راكدا خلال العقد الماضي. علي الرغم من بدأ برنامج التنقيب من قبل شركة سوناتراك عام 1967.

في عام 1982 أقامت شركة الطاقة الكهربائية (سونلغاز) بالتعاون مع الشركة الإيطالية ENIL بإجراء دراسة من أجل التعرف علي حرارة الأرض في الأجزاء الشمالية والشرقية من البلاد. حيث شرع بتوسيع هذا البرنامج في عام 1983 ليشمل الجزء الشمالي من البلاد من قبل مركز الطاقات المتجددة (CDER).

مع حلول 2005 أشارت الإحصائيات إلي أن قدرة الطاقة الحرارية الأرضية المركبة عبر البلاد وصلت إلي 152.3MW، منها 2.3MW لتدفئة الدفينة، و 0.1MW لتدفئة المساحات و 149.9MW للاستحمام

وإستخدامات العلاج بالمياه المعدنية.[12]

13.1. سلبيات وإيجابيات الطاقة الحرارية الأرضية:

1.13.1. الإيجابيات:

- مصنفة ضمن الطاقات المتجددة، فهي مصدر من مصادر الطاقة التي لا تزول علي الأقل للأجيال القادمة.
- كونها طاقة نظيفة غير مضرّة بالبيئة، ولا تسبب أي تلوث خلال إنتاجها.
- كونها طاقة لا تتأثر بالعوامل الجوية.
- تواجدها في أغلب بلدان العالم بكميات كبيرة وفي مساحات شاسعة.
- قدرات إنتاجية كبيرة مقارنة بالطاقات الأخرى. [18]

2.13.1. السلبيات:

- ارتفاع تكلفة إقامة محطات توليد الكهرباء باستخدام الطاقة الحرارية الأرضية.
- صعوبة حفر الآبار العميقة نتيجة وجود درجات حرارة مرتفعة.
- خطورة الحفر، يمكن أن يحدث انهياراً أرضياً. [18]

الفصل الثاني

المبادلات الحرارية

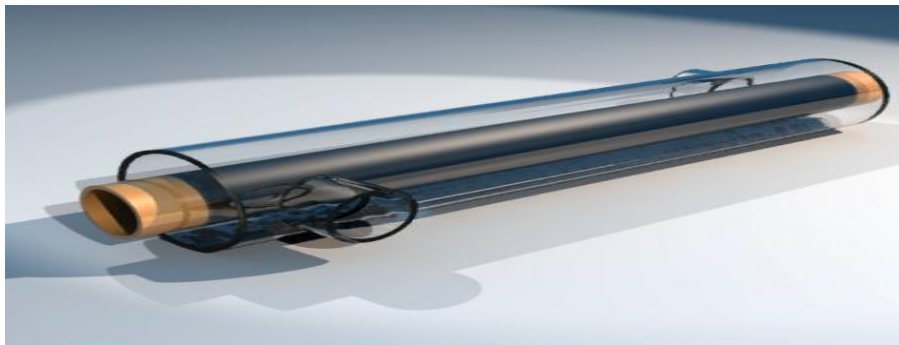
تمهيد:

تشكل المبادلات الحرارية العنصر الأهم في مكونات بعض الآلات، مما جعلها تأخذ حيزاً مهماً من الدراسات والأبحاث العلمية. فهي تستخدم لأغراض مختلفة، في الهندسة الحرارية مثلاً، كمراجل بخارية ومكثفات، ومحركات البخار، وكعناصر أساسية في التدفئة المركزية والتكييف والتبريد وغيرها.

المبادل الحراري عبارة عن وسيط يقوم بنقل الطاقة الحرارية من مائع ذو درجة حرارة مرتفعة إلى مائع آخر ذو درجة حرارة منخفضة دون اختلاط المائعين ببعضهما. و يعتبر التبادل الحراري من العمليات التطبيقية الهامة في العديد من المجالات مثل مجال هندسة التصنيع الغذائي خاصة في تصنيع المواد التي لها حساسية عالية لدرجات الحرارة المرتفعة، كذلك التي يصعب تسخينها أو رفع درجة حرارتها بالطرق المباشرة وغيرها من المواد. وتستخدم المبادلات الحرارية في عمليات هندسية عديدة نذكر منها عمليات التبريد، التبخير، التعقيم، البسترة، التكتيف وغيرها من العمليات الحرارية المختلفة.

1.2. استخدامات المبادلات الحرارية:

تستخدم المبادلات الحرارية على نطاق واسع في محطات القوى الكهربائية التي تعمل بالطاقة النووية. يقع المبادل الحراري بين دائرتين للمياه، الدائرة الأولى تسمى بالدائرة الرئيسية وتكون درجة حرارتها نحو 500 درجة مئوية، والدائرة الثانية الخارجة من المبادل الحراري تسمى الدائرة الثانوية، حيث يدخلها ماء بارد بغرض تسخينه في المبادل الحراري فترتفع بذلك درجة حرارة الماء بالتبادل مع ماء الدائرة الرئيسية الساخن، كما تستخدم المبادلات في الصناعات الغذائية كعملية بسترة الألبان والعصائر لهذا تعتمد فكرة المبادل الحراري الأساسية على مرور وسطين سائل وسائل أو غاز أو غاز داخل أنابيب أو ألواح بحيث يكون كل وسط بمعزلٍ عن الآخر. [21]



الشكل (1-2): مبادل حراري يستخدم في المختبرات [21]

2.2. فكرة التبادل الحراري خلال المبادلات الحرارية:

تنتقل الحرارة عادة من المواد الساخنة إلى المواد الباردة ويؤدي ذلك إلى انخفاض درجة حرارة المواد الساخنة وارتفاع درجة حرارة المواد الباردة ويكون مقدار الحرارة المفقودة مساويا للحرارة المكتسبة مضافا إليه الحرارة المتسربة إلى الجو كآآتي : الحرارة المفقودة = الحرارة المكتسبة + الحرارة المتسربة إلى الجو.

ويتم انتقال الحرارة في المبادل الحراري بصورة رئيسية بطريقتي التوصيل والحمل والإشعاع, حيث أن حرارة المادة تنتقل إلى جدران حزمة الأنابيب بواسطة الحمل وخلال جدران حزمة الأنابيب إلى الجهة الثانية بواسطة التوصيل وعن طريق جزئيات المعدن ومن ثم من الجدار الخارجي لحزمة الأنابيب إلى المادة التي تجري خلال القشرة الخارجية للمبادل الحراري بواسطة الحمل مرة ثانية.[20]

3.2. أشكال المبادل الحراري:

تتخذ المبادلات الحرارية أشكالاً متنوعة للغاية نظرا للعمليات المتعددة التي صممت من أجلها وهي كالتالي:

1.3.2. مبادل حراري عمودي (المجسات العمودية):

أو المجسات الحرارية الأرضية الرأسية يتم التجميع عن طريق التبادل معاً لأرض عمومًا عبر أنبوب أو أنبوبين على شكل حرف U يتم إنزالهما في حفرة عمودية على أعماق تتراوح من (30m-200m). يتيح عمق المجسات الحرارية الأرضية التغلب على التغيرات اليومية والموسمية في درجات الحرارة واستغلال الحرارة في ظروف جيدة في الشتاء، حتى عندما تكون درجة حرارة الهواء الخارجي منخفضة للغاية. على عكس المجمعات الأفقية، تتطلب هذه التقنية مساحة سطح محدودة. تبلغ الطاقة المسحوبة في المتوسط 50W/mL (35W/mL-80W/mL) حسب طبيعة التضاريس المتقاطعة .

تقع مسؤولية تركيب مجسات الطاقة الحرارية الأرضية على عاتق شركة حفر مؤهلة (ملتزمة بنهج الجودة، مثل Quali Forage في فرنسا). من الضروري أيضاً احترام الإجراءات الإدارية المتعلقة بحماية باطن الأرض والموارد المائية. يتطلب الحفر العمودي مساحة صغيرة ويمكن تطبيقه بسهولة في المناطق الحضرية (المنشآت التجارية، المستشفيات).[22]



الشكل (2-2): مبادل حراري عمودي [3]

2.3.2. مبادل حراري أفقي (المجمعات الأفقية):

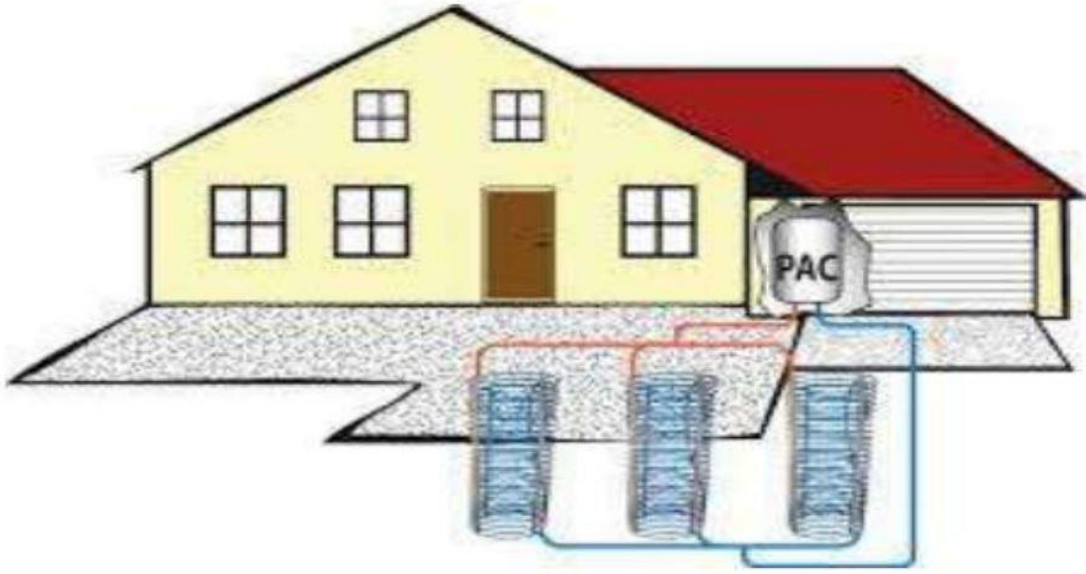
تتيح المجمعات الأفقية إمكانية استغلال الطاقة الحرارية الجوفية الضحلة. يتم تركيب هذه المستشعرات في شبكة من الأنابيب الأفقية المثبتة في حلقات وتدفن على عمق يتراوح من (60cm-120cm) مما يسمح للمجمعات بتجميع الطاقة الموجودة في الطابق السفلي القريب عبر سائل نقل الحرارة المنتشر في الأنابيب. يتم توفير هذه الطاقة بشكل أساسي من خلال الظروف المناخية والتربة والرياح والأمطار ، ومن هنا يأتي الاسم المستخدم أحياناً لـ "مجمعات الأرض الشمسية" بشكل عام يجب أن تتوافق مساحة الأرض المراد تعبئتها لتثبيت المجمع مع 1.5 إلى 2 ضعف مساحة المعيشة ليتم تسخينها. [3] [22]



الشكل (2-3): مبادل حراري أفقي [3]

3.3.2. المبادل الحراري الحلزوني (لولبي):

يتكون المبادل الحراري الحلزوني من لوحين معدنيين ملفوفين بشكل حلزوني. يتم الحفاظ على المسافة بين أسطح التبادل للفئتين ثابتة عن طريق المرابط الملحومة بلوحات يتطلب المبادل اللولبي سطح تبادل أقل بنسبة 20% من مبادل حزمة الأنبوب، يمكن استخدامه للسوائل اللزجة أو للخليط السائل بتيارات متوازية أو متقاطعة، يمكن أن يعمل هذا المبادل حتى ضغوط تصل إلى 25bar ودرجة حرارة تصل إلى 300°C [23].



الشكل (2-4): مبادل حراري حلزوني [24]

4.3.2. مبادل حراري ملفوف:

يتم دفن طبقات الأنابيب على مستوى أفقي حتى عمق 3m كحد أقصى وتستخلص منها حرارة أو تضيف إليها، عادة ما يتم وضع طبقات الأنابيب على عمق يتراوح بين (0.5m-3m)، في هذه النوع من استغلال الحرارة يلعب المناخ دورا أساسيا حيث تكون الأرض كمخزن للطاقة الشمسية، وعندها تلعب الطاقة الحرارية دورا ثانويا (تكون في هذه الحالة استغلال الطاقة الحرارية الأرضية المنخفضة جدا). يمكن لطبقات الأنابيب إزالة ما يقارب من (20W/m²-30) من الطاقة الحرارية. [24]



الشكل (2-5): مبادل حراري ملفوف [24]

4.2. أقسام المبادلات الحرارية :

تقسم المبادلات بناء على اعتبارات كثيرة منها ما يصنف حسب طريقة السريان ومنها حسب عدد الموائع المستخدمة في التبادل ومنها حسب طريقة الإنشاء و سطح التبادل ومنها حسب آلية التبادل الحراري، وعموما يوجد أربعة من المبادلات الحرارية صنفت على حسب طريقة سريان المائع الساخن والبارد خلالها:

- المبادل الحراري ذو المائع الواحد والثابت في درجة الحرارة .
- المبادل الحراري المتوازي
- المبادل الحراري ذو السريان العكسي .
- المبادل الحراري ذو السريان المتعامد [21]

✓ يستعمل المبادل الحراري عادة للأغراض التالية: [20]

- تسخين سائل أو غاز
- تبريد سائل أو غاز
- تكثيف بخار
- تبخير سائل

✓ تسمى المبادلات الحرارية حسب عملها ووظيفتها كما يلي: [20]

- **المسخنات:** وهي المبادلات التي تستعمل سائلا ساخنا لتسخين المائع. [20]

- المبردات: وهي المبادلات الحرارية التي تبرد الموائع بواسطة سائل آخر ويستعمل الماء عادة لهذا الغرض ويسمى ماء التبريد, وفي حالة استعمال الهواء تسمى المبردات الهوائية. [20]
- المكثفات: وهي التي تستخدم لتكثيف البخار أو مزيج أبخرة أو بوجود غازات قابلة للتكثيف (كوجود الهواء مع بخار الماء) وعملها الرئيسي هو إزالة أو امتصاص الحرارة الكامنة للتبخير ويستعمل الماء لهذا الغرض عادة. [20]
- المبخرات: تستخدم لتبخير سائل مذيّب من محلول معين وتستعمل عادة لتركيز المحاليل بواسطة تبخير الماء. [20]
- الغلايات: وهي المبادلات الحرارية التي تستعمل عادة لتسخين أبراج التقطير لفصل المشتقات عن بعضها أو لأبراج التجزئة (لفصل بعض الغازات من السوائل) ويستعمل بخار الماء بشكل واسع في الصناعة النفطية. [20]

✓ كما يمكن تصنيف المبادلات الحرارية تبعا لعدد الأطوار كالآتي:

- مبادلات أحادية الطور: وهي المبادلات الحرارية التي يتم فيها التبادل الحراري بين مائعين (بنفس الطور) ولا يحدث تغير في حالة (طور) احد هذين المائعين. [20]
- مبادلات متعددة الأطوار: وهي التي يتم فيها التبادل الحراري مع حدوث تغير في حالة (طور) احد هذين المائعين, فمثلا يتبخر احدهما أو يتكثف أثناء التبادل الحراري. [20]
- أنواع أخرى من معدات نقل الحرارة وهي:

حوض خزان وملفات

أبراج التبريد

سخانات الصرف والغلايات

✓ حسب عملية الانتقال الحراري فيها وهي: [20]

- ذات التلامس غير المباشر

- ذات التلامس المباشر

يكون جريان الموائع داخل الأنابيب في المبادلات الحرارية :

- جريان متوازي حيث يجري المائع في نفس الاتجاه [20]

- جريان متعاكس

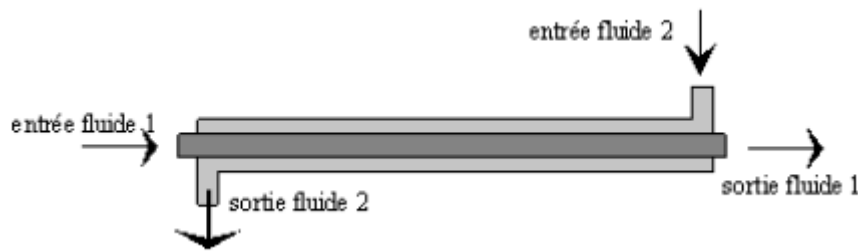
- جريان عابر
- ✓ يكون التبادل الحراري في المبادلات الحرارية حسب طور المائع فهناك: [20]
- سائل / سائل وهي أكثر المبادلات الحرارية شيوعا واستخداما.
- غاز / سائل
- غاز / غاز وتعتبر من أنواع المبادلات الحرارية المعقدة.

5.2. أنواع المبادلات الحرارية المستخدمة بشكل عام:

- المبادلات الحرارية الأنبوبية
- المبادلات الحرارية الصفائح
- المبادلات الحرارية ذات الزعانف

1.5.2. المبادلات الأنبوبية:

يستخدم هذا النوع من المبادلات الحرارية في غالبية الصناعات الكيماوية و البترولية. في أبسط تكوين لها، حيث تتكون من أنبوبين متحدا المركزين متصلان في نهايتهما بواسطة أكواع. كما يستخدم للعمل مع السوائل ذات الضغط العالي مما يسمح بتبادل حراري محدود [25]

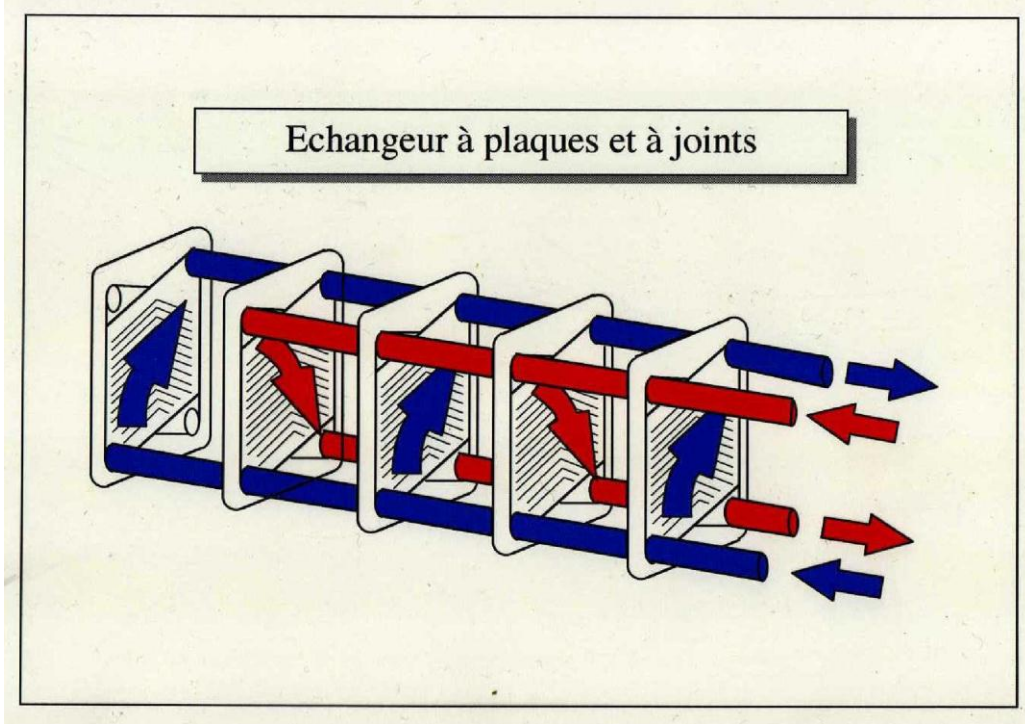


الشكل (2-6): مبادل حراري أنبوبي متحد المحور [26]

2.5.2. المبادلات الحرارية ذات الصفائح:

تتكون المبادلات الحرارية ذات الألواح من كومة من الصفائح مفصولة عن بعضها بواسطة المبادعات لتشكيل مجموعة من القنوات المسطحة. يدور أحد السوائل في القنوات الزوجية،

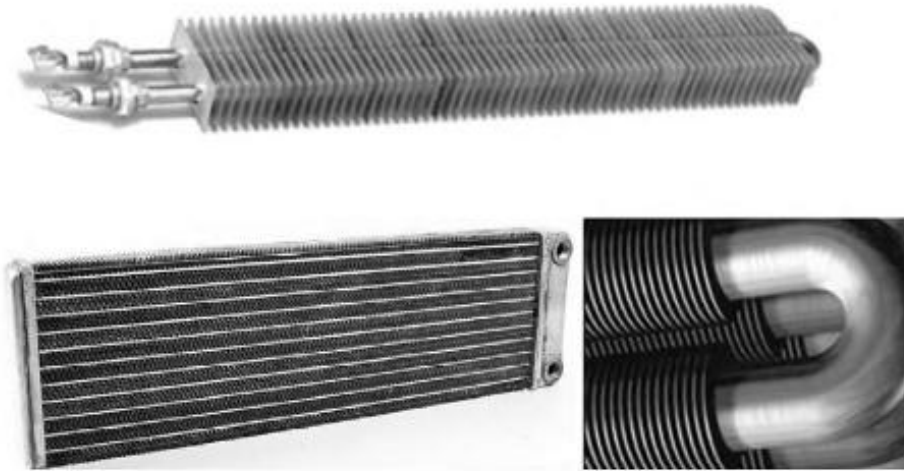
والآخر في القنوات الفردية يتم تقليل السطح الخارجي مما يعمل على الحد من فقد الحرارة، يستخدم بشكل متزايد في الصناعة. [25]



الشكل (2-7): مبدأ عمل المبادلات الحرارية الصفائحية [26]

3.5.2. المبادلات الحرارية ذات الزعانف:

يتدفق السائل الأول في الأنابيب بينما يكون السائل الثاني في الخارج، حيث أن هذه الأنابيب محاطة بشفرات رقيقة من أجل توفير تبادل أكبر على السطح الخارجي للأنبوب الأملس. يستخدم هذا النوع من المبادلات بشكل شائع لاستعادة الحرارة من الأبخرة أو المكثفات، . هذا المبادل بسيط بشكل خاص ويمكن أن يتخذ أشكالاً محددة، مما يجعله مثيراً للاهتمام في مجال الإلكترونيات. [25]



الشكل (2-8): مبادل حراري ذو زعانف [25]

6.2. العوامل المؤثرة على الأداء الحراري للمبادلات الحرارية:

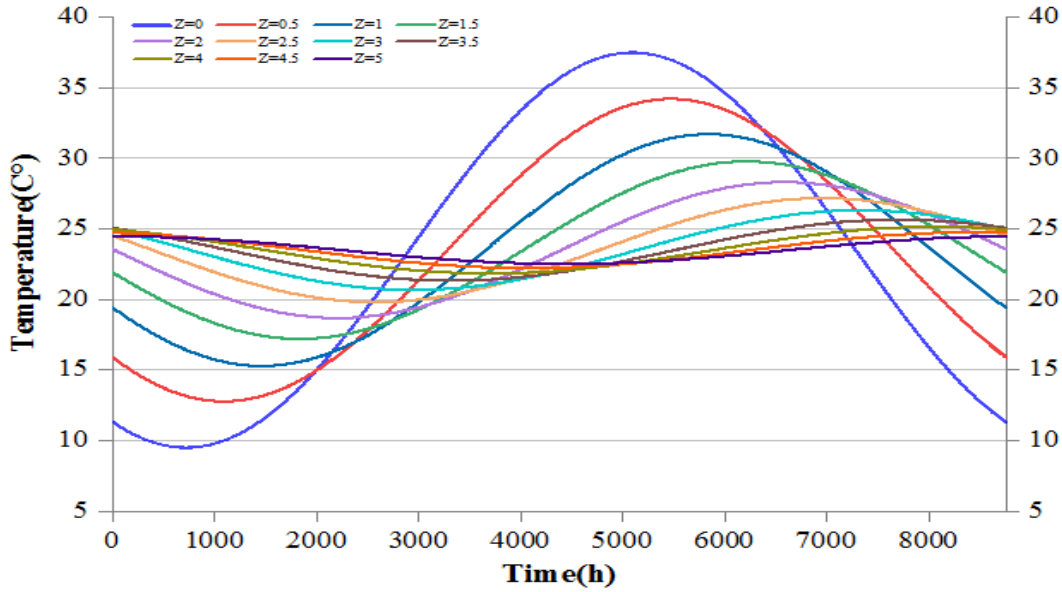
يوجد العديد من العوامل التي تؤثر تأثيرا كبيرا ومباشرا على الأداء الحراري للمبادلات الحرارية والتي يجب أن توضع في الاعتبار عند تصميم وتشغيل هذه المبادلات نذكر منها ما يلي:

- ✓ معدل سريان المائع
- ✓ مساحة سطح التبادل الحراري
- ✓ معامل التوصيل الحراري
- ✓ معامل انتقال الحرارة بالحمل
- ✓ درجات حرارة دخول وخروج المائع الساخن والبارد [21]

7.2. أنواع المبادلات الحرارية الأرضية:

1.7.2. المبادل الحراري هواء/أرض:

المعروف أيضًا باسم البئر البروفنسال، هو نظام للطاقة الحرارية الأرضية، أي القصور الذاتي للتربة التحتية على عمق محدود من [2m-3m]. يستخدم هذا النظام للتسخين المسبق للهواء في الشتاء والتبريد في الصيف. ويستند إلى ملاحظة بسيطة مفادها أن درجة الحرارة عند عمق 2m ثابتة تقريبًا، حوالي 7°C في الصيف و7°C في الشتاء. مبدأ الاختلاف بين درجة حرارة التربة ودرجة حرارة الهواء الخارجي [22] كما هو موضح في الشكل:



الشكل (2-9): تغيرات درجة حرارة التربة الموسمية علي أعماق مختلفة [12]

المبدأ: من خلال دفن مجرى هواء بطول وقطر كافيين عند هذا العمق مهما كانت درجة الحرارة الخارجية، في نهاية القناة ستكون حوالي 12°C في الصيف وحوالي 6°C في الشتاء، يتم تسخين الهواء الخارجي النقي أثناء مروره عبر الأنابيب . من أجل تحقيق المزيد من التوفير في الطاقة، يمكن إدخالها عبر VMC (تهوية آلية) التدفق مع استعادة الهواء المستخرج مما يسمح بدرجة حرارة نفخ أعلى . يقتصر تسخين الهواء النقي على فترات درجات الحرارة المنخفضة للغاية .

في صيف. يتم تجديد الهواء الخارجي عن طريق المرور عبر الأنابيب وانتشاره في المبنى، مما يخلق إحساساً بالانتعاش في الغرفة. في منتصف الموسم، لا يكون الاختلاف في درجات الحرارة كبيراً للمساهمة في التدفئة أو التبريد. من المهم أن نشير إلى أن البئر الكندية لا تكفي لتحل محل نظام التدفئة، لكنها تساهم في تقليل نفقات الطاقة اللازمة لتجديد الهواء. كما أنه يجعل من الممكن الحفاظ على المنزل خالياً من الصقيع في الشتاء وقبل كل شيء للحصول على راحة حقيقية في الصيف مع انخفاض كبير في درجات حرارة الهواء النقي أثناء فترات ذروة الحرارة. تركيبها ملائم مثل المناخ المتباين الصيفي الشتوي (المناخ القاري). [3]

2.7.2. المبادل الحراري ماء/أرض:

تتراوح درجة حرارة المياه الجوفية من ($10^{\circ}\text{C}-14^{\circ}\text{C}$) على عمق 100 m، مهما كان الموسم. حيث تعتبر مصدرا كبيرا و مستقرا للطاقة يمكن استخدامه بشكل مثالي لتدفئة المباني و تبريدها. تستخدم المضخات الحرارية للخران الجوفي (ماء /ماء)سوائل وسيطة لها 3 دوائر، شريطة أن يكون معدل التدفق كافيا، فهي مناسبة بشكل خاص لاحتياجات التدفئة والتبريد للمباني السكنية، المكاتب، مراكز التسوق والمستشفيات. يجب أن يكون تدفق المياه المسحوبة من الخزان الجوفي كافيا ومستقرا بمرور الوقت، حيث يوفر تدفق متر مكعب واحد قوة تبلغ 10 KW مقابل تسخين 200 m^2 من مبنى يتوافق مع اللوائح الحرارية الجديدة RT2005.

تتجاوز طبقات المياه الجوفية الأكثر إنتاجية $100\text{ m}^3/\text{h}$ ويمكن ان تزود المشاريع بأكثر من ميغا واط في أفضل الظروف. يتطلب هذا النوع من التركيب تقديرا دقيقا للاحتياجات الحرارية من حيث الطاقة والاستهلاك السنوي ودراسة متعمقة لطبقة المياه الجوفية تحدد بعدة ضوابط (درجة الحرارة، اتجاه تدفق الخزان الجوفي، النفاذية، التراجع المتوقع، قسم الحفر، وما إلى ذلك). [3]

8.2. نظام تبادل مع منسوب المياه الجوفية:

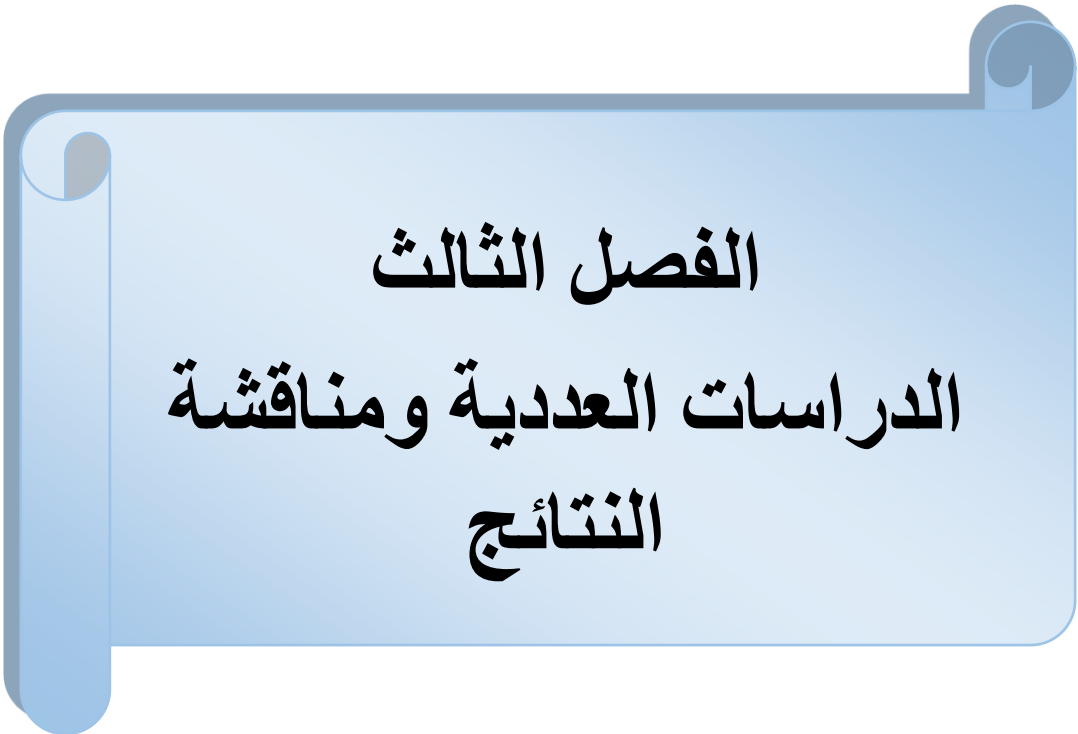
يتكون نظام تجميع المياه الجوفية من استعادة السرعات الحرارية الموجودة في الماء. حيث يستخدم طاقة مستقرة بغض النظر عن الظروف المناخية الخارجية على عمق 10 m، تختلف درجة حرارة المياه بشكل طفيف للغاية. [27]

1.8.2. الأنظمة ذات الحلقة المغلقة:

تعمل مضخات تسخين المياه الجوفية ذات الحلقة المغلقة علي سحب الحرارة الموجودة في الماء. حيث تتطلب هذه الأنظمة وجود بئرين، يصل عمق كل منها إلي عشرات الأمتار. هذا النوع من التركيب يجعل من الممكن توفير التدفئة والتبريد للمباني الجماعية أو المنازل الفردية من المياه الجوفية في الأعماق الضحلة. [27]

2.8.2. الأنظمة ذات الحلقة المفتوحة:

تستخدم الحلقات المفتوحة المياه الجوفية من مصدر تقليدي بالإضافة إلي مصدر الحرارة. تقوم المضخة الحرارية بسحب الحرارة منه بواسطة مبادل حراري، ثم يتم استرجاعها إلي بئر الحقن. في هذا النوع من الأنظمة يجب اخبار تركيبة الماء للتأكد من أنها تعمل بسلاسة مع المضخة الحرارية. [27]



الفصل الثالث
الدراسات العددية ومناقشة
النتائج

تمهيد

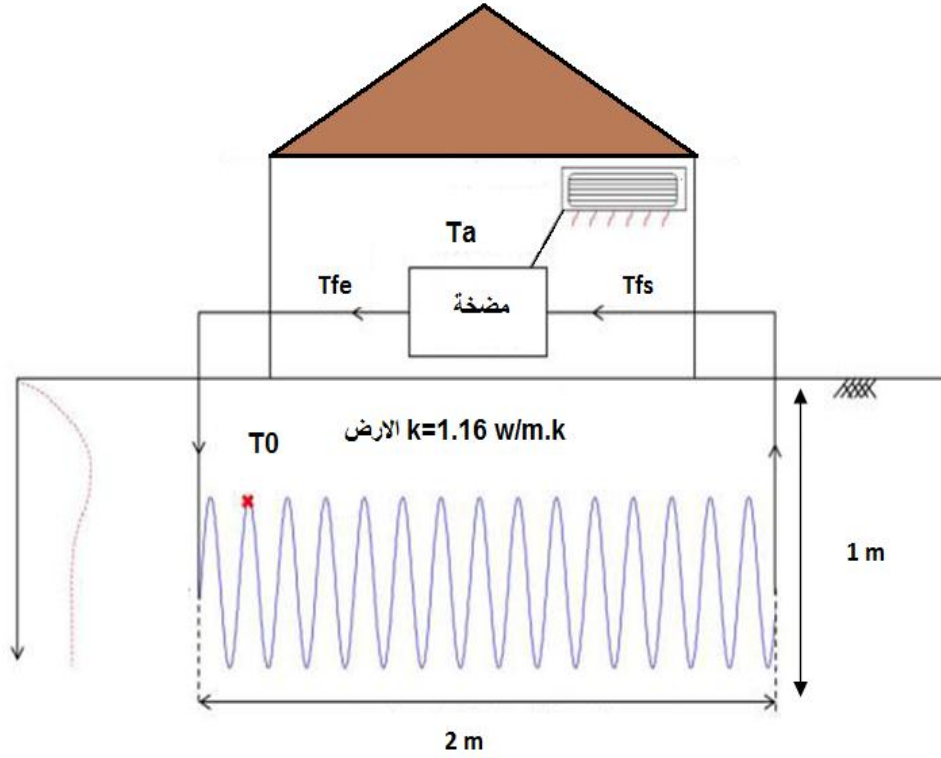
سوف نتطرق في هذا الفصل إلى دراسة تحليلية لتوزيع درجة الحرارة حول المبادل الاقوي المدفون على أعماق ضحلة من سطح الارض وتحديد تأثيرات بعض المتغيرات علي درجة الحرارة مثل (التدفق، نصف قطر المبادل، معامل التبادل الحراري، درجة حرارة الهواء الجوي، الزمن). تتم هذه الدراسة في يومي 25 و 26 ديسمبر في ساعات الليل من (20:00 ليلا إلي 06:00 صباحا) وتنقسم إلي قسمين:

- القسم الأول: ندرس فيه تأثيرات التبادل الحراري بين الماء والأرض باستعمال مبادل حراري (ماء/تربة).

- القسم الثاني: ندرس فيه تأثيرات التبادل الحراري بين التربة والهواء الخارجي ونحدد من خلاله درجة حرارة الغرفة.

1.3. وصف الإشكالية:

المشكلة المدروسة هي ارتفاع درجة حرارة المياه في أعماق الأرض مما يصعب عملية استغلاله مباشرة لذا اقترحنا دراسة نظام تدفئة باستخدام مبادل حراري جوفي (ماء/أرض)، يتكون هذا المبادل من أنابيب أفقية في نظام حلقة مغلقة من الأنابيب على عمق Z . هذا الأنبوب له نصف قطر داخلي R وبسمك (e) بطول L ، يتدفق الماء داخل المبادل من $(0.05\text{kg/s}-0.2\text{kg/s})$. يدخل الماء إلى الأنبوب بدرجة حرارة T_{fe} ويخرج بدرجة T_{se} حيث يتم تبادل الحرارة التي يفقدها الماء مع الأرض التي تملك موصلية حرارية تبلغ $(\lambda = 1.16 \text{ W}/(m^2.K))$ ، والتي تتبادلها التربة بدورها مع الهواء الخارجي T_a ، ويكون هذا التبادل في ساعات الليل.



الشكل 3-1: رسم تخطيطي لمبادل حراري أفقي (ماء/تربة)

2.3. تبسيط الافتراضات الهندسية و الحرارية:

- 1- يعتبر تدفق (السائل) صفائحي وأحادي الاتجاه علي طول القناة.
- 2- يحدث التبادل الحراري في حالة مستقرة.
- 3- تعتبر التربة المحيطة بالأنبوب متجانسة، مع توصيل حراري متجانس في جميع طبقات التربة.
- 4- باعتبار سمك الأنبوب مهمل.
- 5- نعتبر درجة حرارة الغرفة مساوية لدرجة حرارة المناخ الجوي ($T_a = T_p$).
- 6- نعتبر درجة حرارة الغرفة عند متوسط درجتني حرارة السطح للأرضية ودرجة حرارة الجو.

3.3. المعادلات المعبرة عن التبادل الحراري (ماء/ تربة):

$$Q = m C_p (T_{fx} - T_{fe}) \quad \text{III-1}$$

$$= \dot{m} \Delta t C_p (T_{fx} - T_{fe}) \quad \text{III-2}$$

✓ من معادلة التبادل الحراري بين المبادل والتربة نجد:

$$\dot{m} C_p dT_{fx} = -U_x 2\pi r dx (T_{fx} - T_0) \quad \text{III-3}$$

بمكاملة المعادلة نجد:

$$\int_{T_{fe}}^{T_{fx}} \frac{dT_{fx}}{T_{fx} - T_0} = \frac{-U_x 2\pi r}{\dot{m} C_p} \int_0^x dx \quad \text{III-4}$$

$$Ln \frac{T_{fx} - T_0}{T_{fe} - T_0} = \frac{-U_x 2\pi r}{\dot{m} C_p} x \quad \text{III-5}$$

$$T_{fx} = T_0 + (T_{fe} - T_0) e^{\frac{-U_x 2\pi r}{\dot{m} C_p} x} \quad \text{III-6}$$

من أجل $x = L$:

$$T_{f(x=L)} = T_{fs}$$

$$T_{fs} = T_0 + (T_{fe} - T_0) e^{\frac{-U_L 2\pi r}{\dot{m} C_p} L} \quad \text{III-7}$$

4.3. المعادلات المعبرة عن درجة حرارة الغرفة:

✓ معادلة الموازنة الحرارية بين التربة والهواء الجوي.

$$\dot{m} C_p dT = -\lambda S \frac{dT}{dx} \quad \text{III-8}$$

$$dx = Z$$

$$\frac{\dot{m}C_p(T_{fe}-T_{fs})}{L} = \frac{\lambda S}{Z} (T_{si} - T_{se}) \quad \text{III-9}$$

$$T_{si} = \frac{T_{fs}+T_{fe}}{2} \quad \text{III-10}$$

من المعادلة III-9 نجد:

$$T_{se} = T_{si} + \frac{\dot{m}C_p Z}{\lambda.S.L} \cdot (T_{fe} - T_{fs}) \quad \text{III-11}$$

درجة حرارة المناخ الداخلي:

$$T_P = \frac{T_a+T_{se}}{2} \quad \text{III-12}$$

5.3. التعليق مناقشة النتائج:

1.5.3 - نتائج دراسة التبادل حراري (ماء/تربة):

1.1.5.3 - تأثير التدفق:

- لمعرفة تأثير تدفق المياه علي درجة حرارة مخرج المبادل الحراري نقدم المعطيات التالية:

✓ عند درجة حرارة مدخل المبادل ($T_{fe} = 50^\circ C$)

الجدول (1.3): قيم درجة الحرارة T_{fs} علي طول المبادل الحراري بمعدلات تدفق مختلفة.

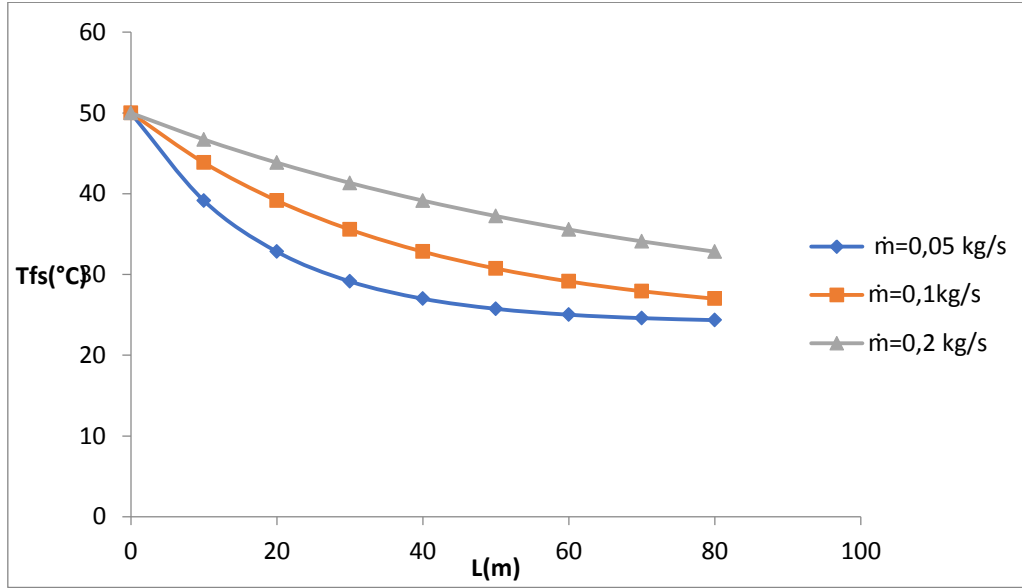
	$L(m)$	10	20	30	40	50	60	70	80
T_{fs}	\dot{m}_1	39.14	32.82	29.14	26.99	25.74	25.01	24.59	24.34
	\dot{m}_2	43.84	39.14	35.56	32.82	30.73	29.14	27.92	26.99
	\dot{m}_3	46.71	43.84	41.33	39.14	37.23	35.56	34.10	32.82

$$T_0 = 24^\circ C$$

$$R = 0.012m$$

$$U_x = 150 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$T_{fe} = 50^\circ C$$



الشكل (2-3) تغيرات درجة حرارة الماء على طول المبادل الحراري بمعدلات تدفق مختلفة

✓ عند درجة حرارة مدخل المبادل ($T_{fe} = 70^\circ C$)

الجدول (2.3): قيم درجة الحرارة T_{fs} على طول المبادل الحراري بمعدلات تدفق مختلفة.

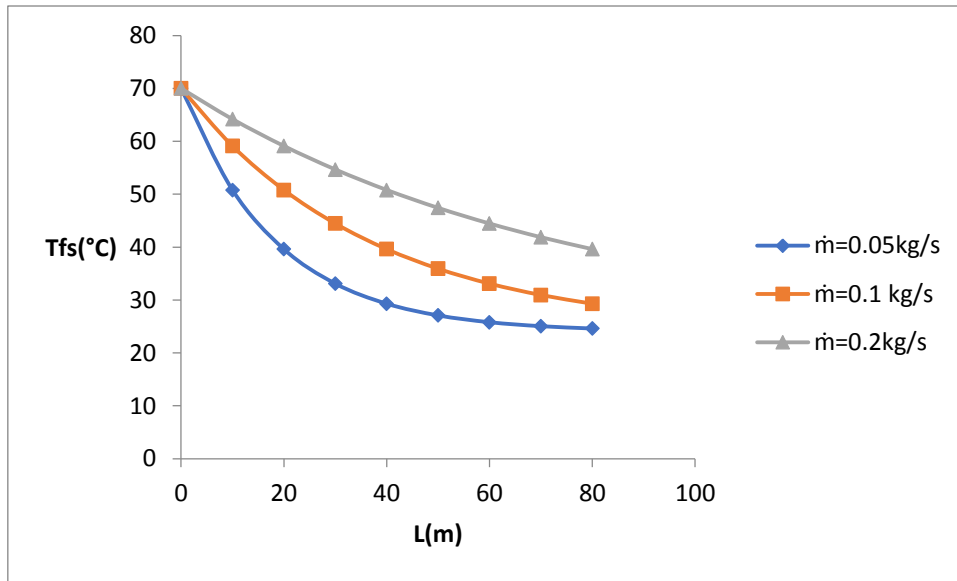
	L(m)	10	20	30	40	50	60	70	80
T_{fs}	\dot{m}_1	50.80	39.614	33.097	29.30	27.088	25.799	25.048	24.610
	\dot{m}_2	59.111	50.80	44.456	39.614	35.918	33.097	30.944	24.610
	\dot{m}_3	64.188	59.111	54.675	50.800	47.414	44.456	41.872	39.614

$$T_0 = 24^\circ C$$

$$R = 0.012m$$

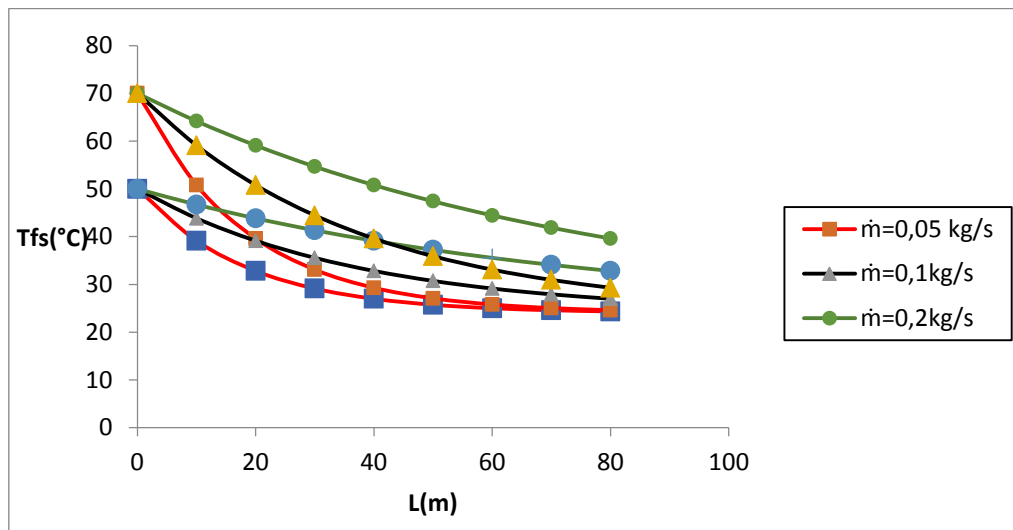
$$U_x = 150 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$T_{fe} = 70^\circ C$$



الشكل (3.3): تغيرات درجة حرارة الماء على طول المبادل الحراري بمعدلات تدفق مختلفة

❖ نلاحظ أن جميع الرسوم البيانية متناقصة بوتيرة أسية (المعادلة (7 - III)) التي تصف تغير درجة حرارة الماء في المبادل، يوضح الشكلان ((2.3) و (3.3)) أنه بالنسبة لتدفق الهواء عند (0.05 kg/s) فإن درجة حرارة الماء تقترب من درجة حرارة الأرض بين $(80\text{m}-60\text{m})$ وهذا النقصان يفسر بأن السائل يفقد حرارته والتي تكتسبها بدورها التربة الملامسة للمبادل. سواء كانت عند درجة حرارة مدخل المبادل $(50^\circ\text{C}$ أو $70^\circ\text{C})$ ، و نلاحظ أيضا أنه يتم الحصول على أفضل نقل للحرارة لمعدلات التدفق المنخفضة.



الشكل (4.3): تغيرات درجة حرارة الماء على طول المبادل الحراري بمعدلات تدفق مختلفة واختلاف

لدرجة حرارة المدخل

2.1.5.3- تأثير نصف القطر:

- لمعرفة تأثير نصف القطر على درجة حرارة مخرج المبادل الحراري نقدم المعطيات التالية:

$$\checkmark \text{ عند درجة حرارة مدخل المبادل } (T_{fe} = 50^{\circ}\text{C})$$

الجدول (3.3): قيم درجة الحرارة T_{fs} على طول المبادل الحراري مع تغير في قطر الأنبوب.

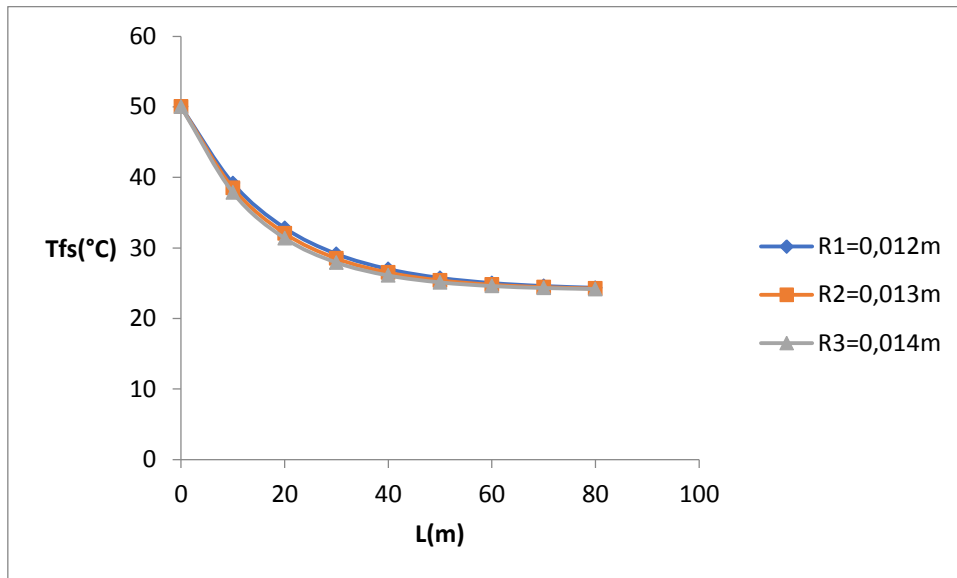
	$L(m)$	10	20	30	40	50	60	70	80
T_{fs}	R_1	39.14	32.82	29.14	26.99	25.74	25.01	24.59	24.34
	R_2	38.48	32.06	28.49	26.50	25.39	24.77	24.43	24.24
	R_3	37.84	31.37	27.92	26.08	25.11	24.59	24.31	24.16

$$T_0 = 24^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{m} = 0.05 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)$$

$$U_x = 150 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$T_{fe} = 50^{\circ}\text{C}$$



الشكل (5.3): تغيرات درجة حرارة الماء على طول المبادل الحراري بتغيير في نصف قطر الأنبوب

✓ عند درجة حرارة مدخل المبادل $(T_{fe} = 70^{\circ}C)$

الجدول (4.3): قيم درجة الحرارة T_{fs} على طول المبادل الحراري مع تغير في قطر الأنبوب.

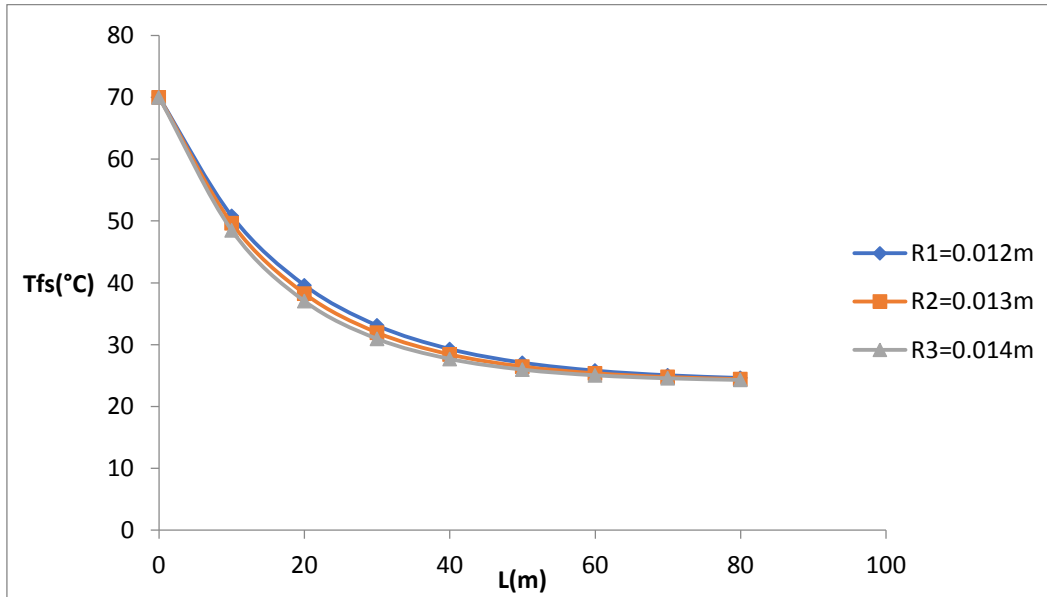
	$L(m)$	10	20	30	40	50	60	70	80
T_{fs}	R_1	50.80	39.614	33.097	29.30	27.088	25.799	25.048	24.610
	R_2	49.620	38.270	31.948	28.426	26.465	25.373	24.764	24.426
	R_3	48.493	37.041	30.944	27.697	25.968	25.048	24.558	24.297

$$T_0 = 24^{\circ}C$$

$$\dot{m} = 0.05 \left(\frac{kg}{s}\right)$$

$$U_x = 150 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}$$

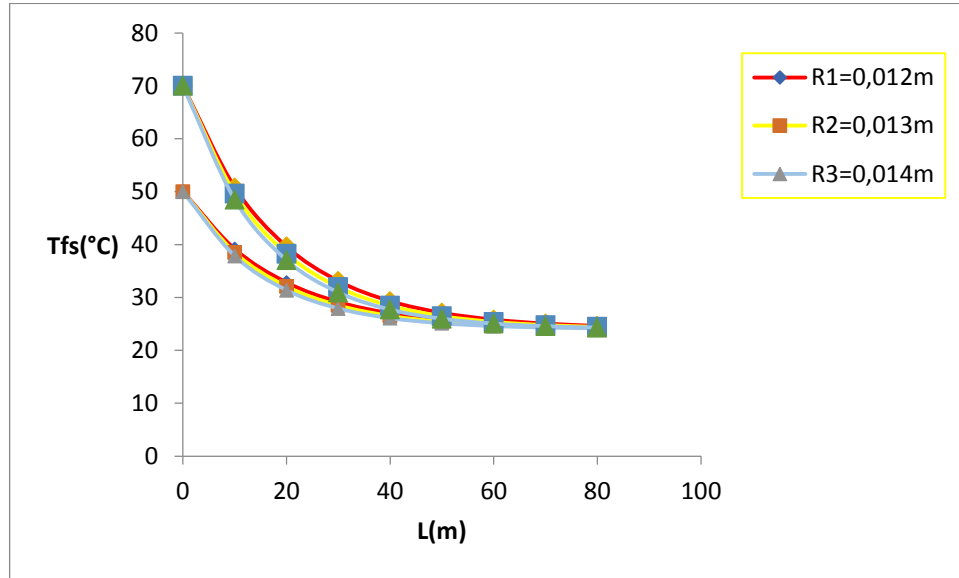
$$T_{fe} = 70^{\circ}C$$



الشكل (6.3): تغيرات درجة حرارة الماء على طول المبادل الحراري بتغيير في نصف قطر الأنبوب

❖ نلاحظ أيضا أن جميع الرسوم البيانية متناقصة بوتيرة أسية لجميع أنصاف الأقطار التي تمت دراستها. يوضح الشكلان ((5.3) و (6.3)) تغير درجة حرارة الماء على طول المبادل الحراري، حيث نلاحظ أن درجة حرارة الماء تتناقص تدريجيا عن طريق الزيادة في قطر الأنبوب، وأفضل نقل للحرارة عند نصف القطر (0.014m) وتدفق ثابت ومنخفض (0.05kg/s) مما يضمن

أداء جيد. حيث يمكننا من زيادة سطح التبادل الكلي وبالتالي نقل جيد للحرارة بين الجدار الداخلي للأنبوب والتربة الملاصقة له. لذلك يلاحظ أن الأداء الحراري يتدهور مع انخفاض نصف قطر الأنبوب.



الشكل (7.3): تغيرات درجة حرارة الماء علي طول المبادل الحراري بتغير في نصف قطر الأنبوب واختلاف لدرجة حرارة المدخل

3.1.5.3 - تأثير معامل التبادل الحراري:

لمعرفة تأثير معامل التبادل الحراري نقدم المعطيات التالية:

✓ عند درجة حرارة مدخل المبادل ($T_{fe} = 50^{\circ}C$)

الجدول (5.3): قيم درجة الحرارة T_{fs} علي طول المبادل الحراري باختلاف معامل التبادل الحراري.

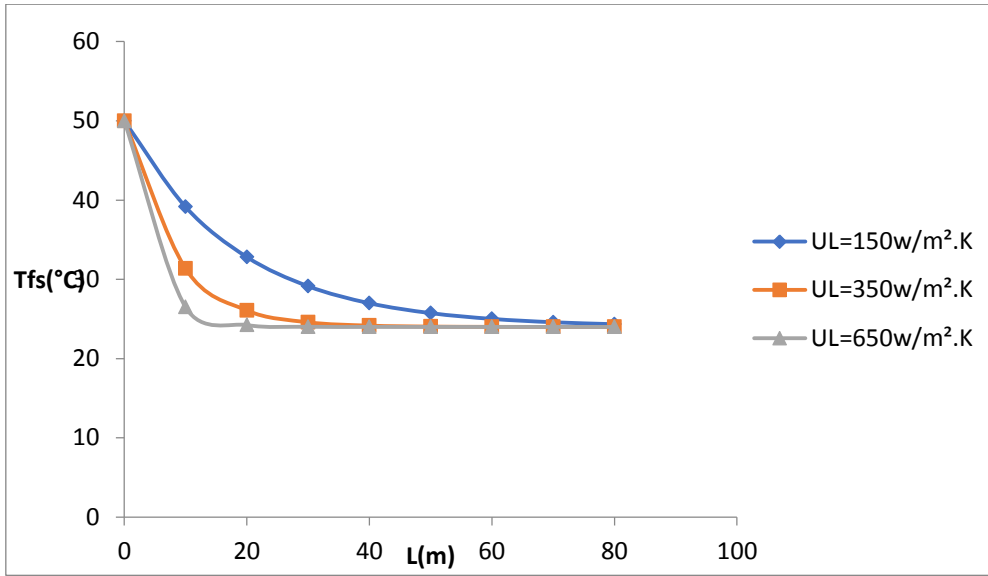
	$L(m)$	10	20	30	40	50	60	70	80
T_{fs}	U_{L_1}	39.14	32.82	29.14	26.99	25.74	25.01	24.59	24.34
	U_{L_2}	31.37	26.08	24.59	24.16	24.04	24.01	24.03	24.01
	U_{L_3}	26.50	24.24	24.02	24.002	24.00001	24.00002	24	24

$$T_0 = 24^{\circ}C$$

$$\dot{m} = 0.05 \left(\frac{kg}{s} \right)$$

$$R = 0.012m$$

$$T_{fe} = 50^{\circ}C$$



الشكل (8.3): تغيرات درجة حرارة الماء علي طول المبادل الحراري لمعاملات تبادل حراري مختلفة

✓ عند درجة حرارة مدخل المبادل ($T_{fe} = 70^{\circ}C$)

الجدول (6.3): قيم درجة الحرارة T_{fs} علي طول المبادل الحراري باختلاف معامل التبادل الحراري.

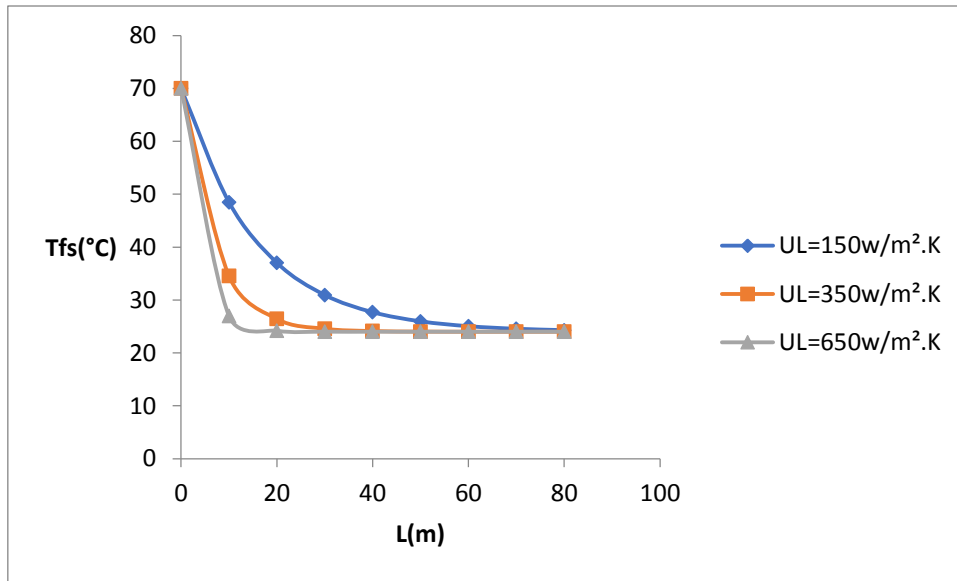
	L(m)	10	20	30	40	50	60	70	80
T_{fs}	U_L	48.493	37.041	30.944	27.697	25.968	25.048	24.558	24.297
	U_{L_2}	34.570	26.428	24.558	24.128	24.029	24.006	24.001	24.000
	U_{L_3}	26.996	24.195	24.012	24.008	24.005	24.003	24.002.	24

$$T_0 = 24^{\circ}C$$

$$\dot{m} = 0.05 \left(\frac{kg}{s}\right)$$

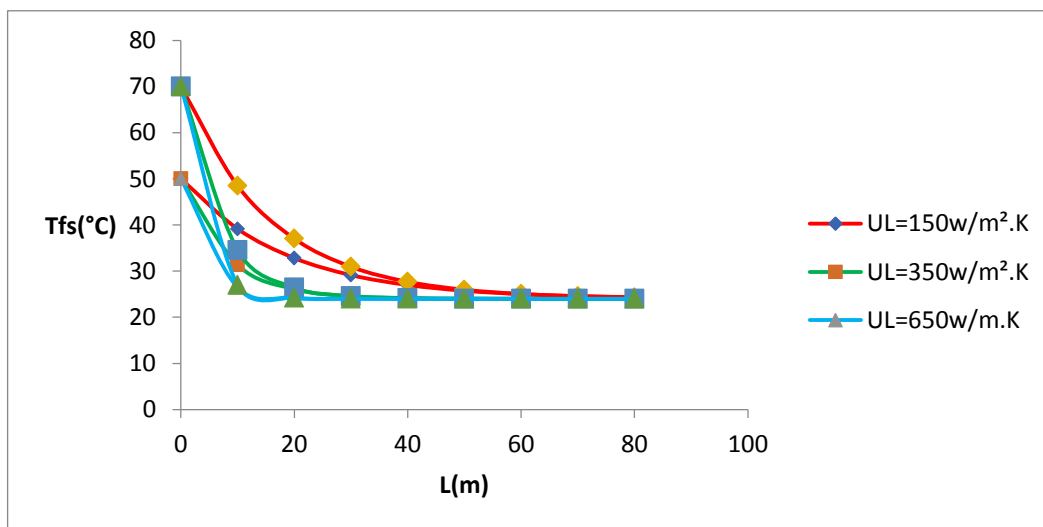
$$R = 0.012m$$

$$T_{fe} = 70^{\circ}C$$



الشكل (9.3): تغيرات درجة حرارة الماء علي طول المبادل الحراري لمعاملات تبادل حراري مختلفة

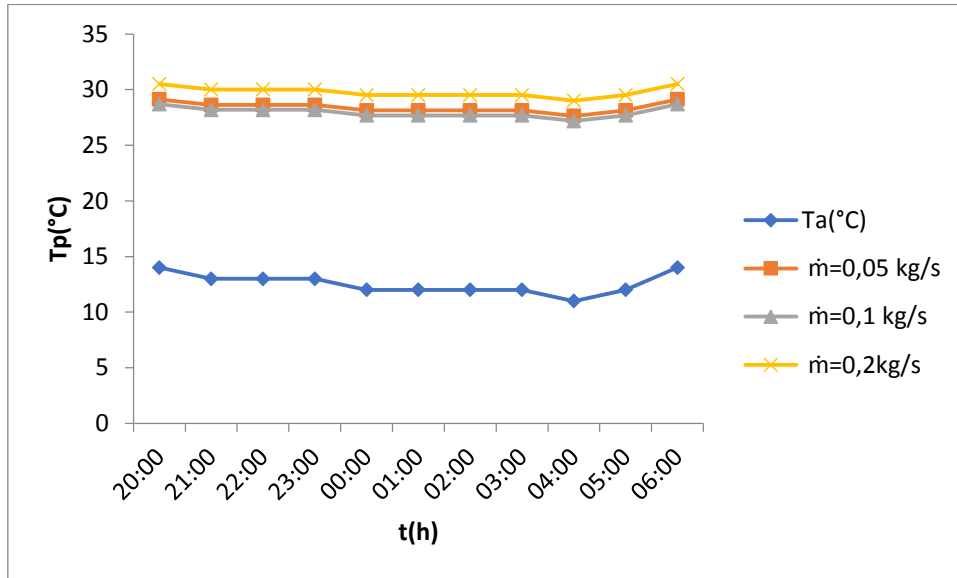
❖ لوحظ نفس الاتجاه، أي تناقص في درجات حرارة الماء بشكل أسي لمعاملات تبادل مختلفة. حيث يتم أخذ ثلاث أنواع مختلفة لمعاملات التبادل من أجل تحديد الأداء الحراري للمبادل، يوضح الشكلان ((8.3) و(9.3)) تغيرات درجة حرارة الماء علي طول المبادل الحراري، حيث نلاحظ أن درجة حرارة الماء تتناقص كلما زاد معامل التبادل الحراري. وأفضل نقل للحرارة عند $(U_L=650W/m^2.K)$. كما تبين أن درجة حرارة الماء عند الطول بين (30m - 80m) اقترب من درجة حرارة الأرض أي أن سرعة الفقد كبيرة.



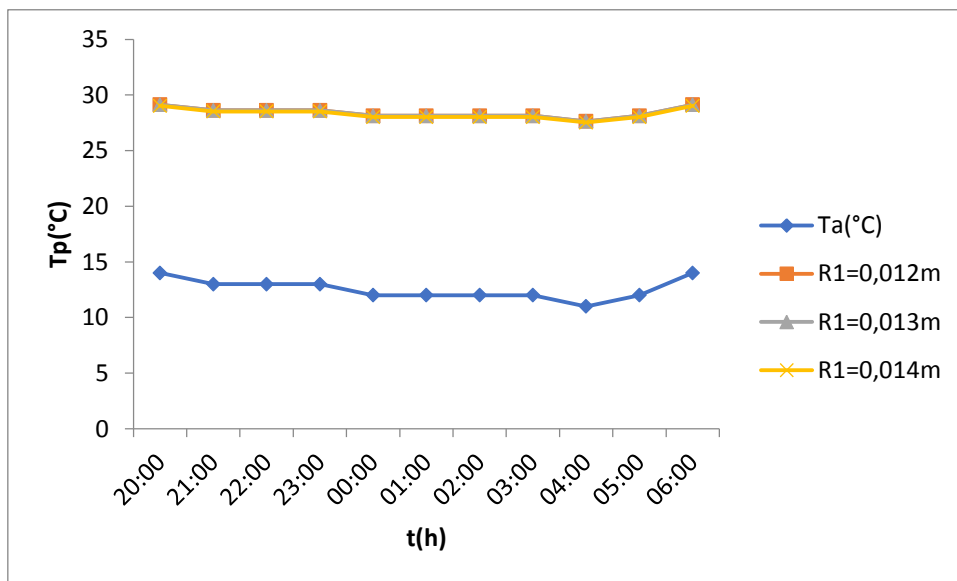
الشكل (10.3): تغيرات درجة حرارة الماء علي طول المبادل الحراري لمعاملات تبادل حراري مختلفة واختلاف لدرجة حرارة المدخل

2.5.3 - نتائج التدفئة:

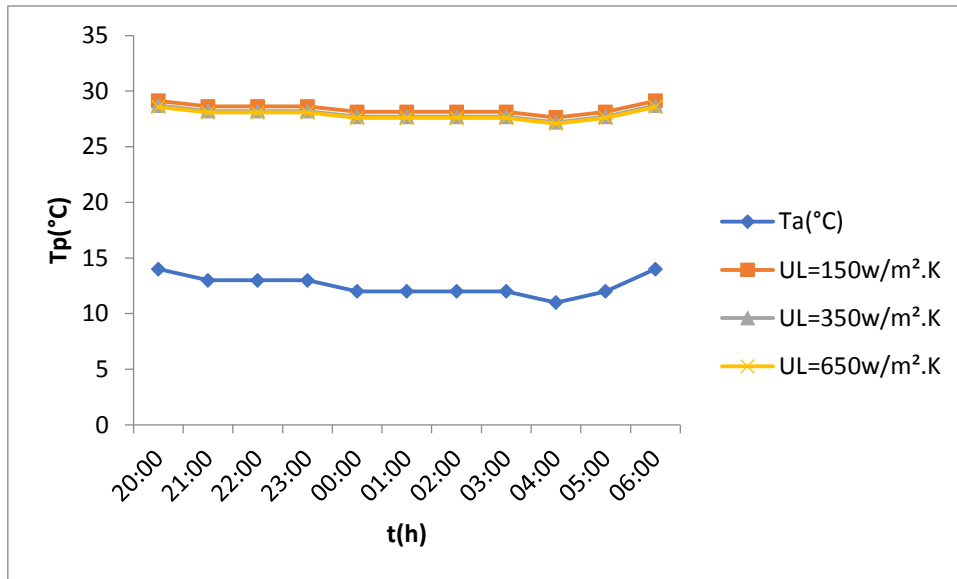
1.2.5.3 - عند درجة حرارة مدخل المبادل $T_{fe} = 50^{\circ}C$:



الشكل (11.3): تغيرات درجة حرارة الغرفة (Tp) بدلالة الزمن بمعدلات تدفق مختلفة



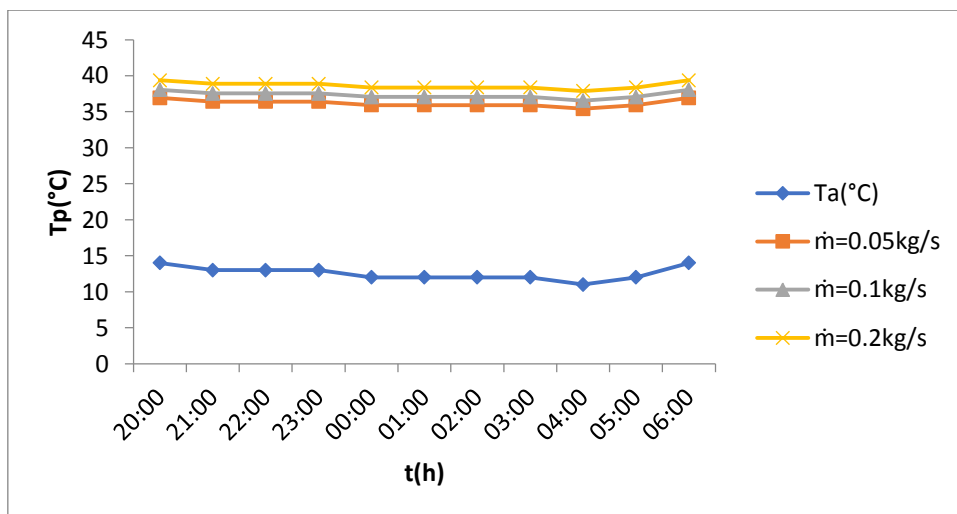
الشكل (12.3): تغيرات درجة حرارة الغرفة (Tp) بدلالة الزمن لأنصاف أقطار مختلفة



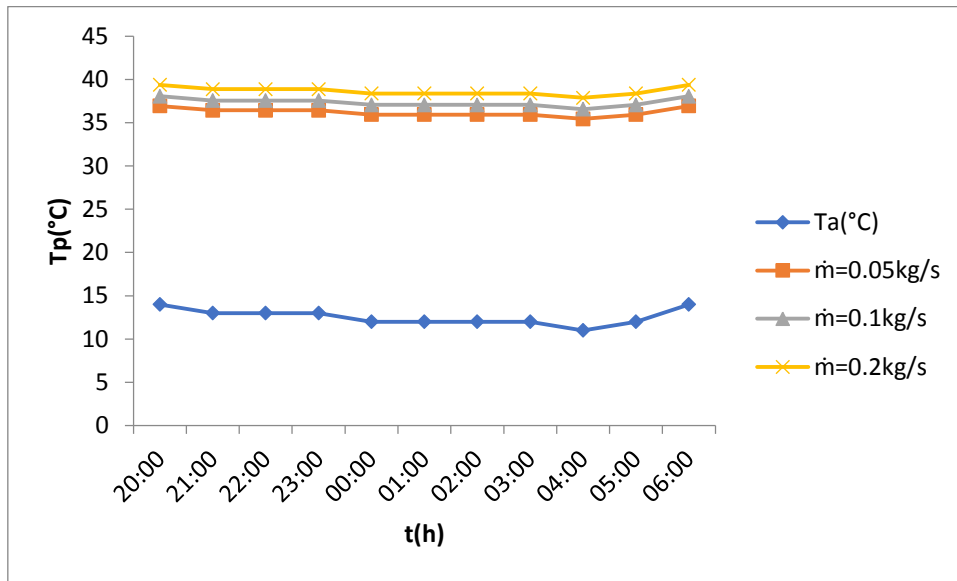
الشكل (13.3): تغيرات درجة حرارة الغرفة (Tp) بدلالة الزمن لمعاملات تبادل مختلفة

❖ توضح الأشكال ((11.3) و(12.3) و(13.3)) تغيرات درجة حرارة المناخ الداخلي للغرفة بدلالة الزمن حيث نلاحظ أن درجات حرارة الغرفة مرتفعة نسبياً مقارنة بدرجة حرارة الهواء الخارجي، والتي تكون في ساعات الليل أي في حالة غياب الاشعاع الشمسي. بفارق حرارة يصل إلي 13°C تقريباً، ولوحظ أن هاته الدرجات ثابتة نسبياً في المجال من $[30^{\circ}\text{C}-27^{\circ}\text{C}]$ وتكون بزيادة أو نقصان طفيفين. وهذه التغيرات تكون متماثلة تقريباً عند اختلاف التدفق و نصف قطر المبادل ومعامل التبادل الحراري.

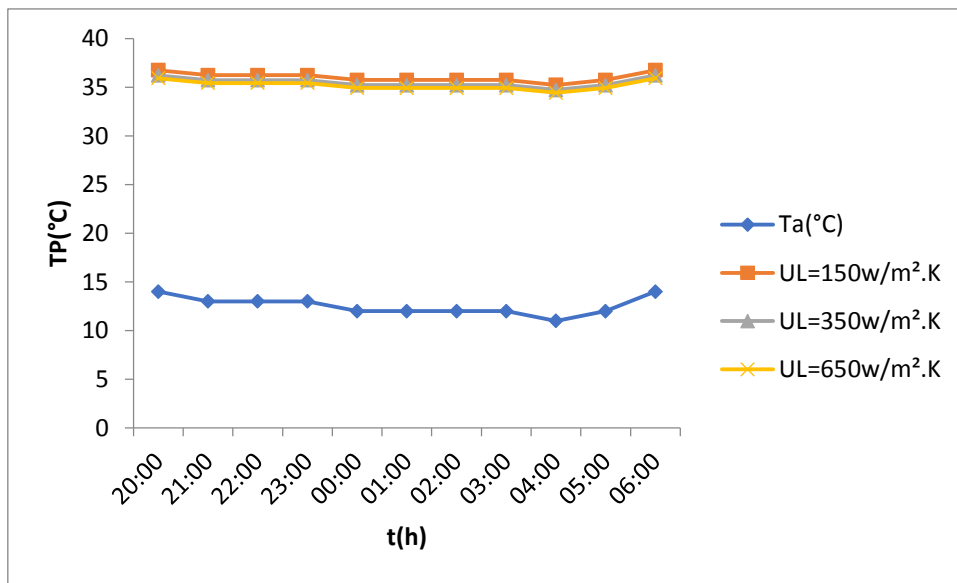
2.2.5.3- عند درجة حرارة مدخل مبادل ($T_{fe}=70$):



الشكل (14.3): تغيرات درجة حرارة الغرفة (Tp) بدلالة الزمن بمعدلات تدفق مختلفة



الشكل (15.3): تغيرات درجة حرارة الغرفة (Tp) بدلالة الزمن لأنصاف أقطار مختلفة



الشكل (16.3): تغيرات درجة حرارة الغرفة (Tp) بدلالة الزمن لمعاملات تبادل مختلفة

توضح الأشكال ((14.3) و (15.3) و (16.3)) تغيرات درجة حرارة المناخ الداخلي للغرفة بدلالة الزمن عند درجة حرارة مدخل المبادل $T_{fe}=70^{\circ}\text{C}$. حيث نلاحظ أن درجات حرارة الغرفة تتراوح بين $[30^{\circ}\text{C}$ و $35^{\circ}\text{C}]$ وهي مرتفعة نسبياً مقارنة بدرجة حرارة الهواء الجوي بفارق حرارة يصل إلى 20°C تقريباً، وتكون هناك زيادة ونقصان طفيفين لدرجة حرارة الغرفة خلال ساعات الليل.

نتيجة:

نستنتج من خلال هذه الدراسة أن درجة حرارة مدخل المبادل الحراري الأنسب بالنسبة لمنطقتنا (ولاية ورقلة) من أجل الحصول علي تدفئة ملائمة هي $T_{fe} = 50^{\circ}\text{C}$ لأنها مكنتنا من الحصول علي درجات حرارة خاصة بالمناخ الداخلي للغرفة بين $[28^{\circ}\text{C}-24^{\circ}\text{C}]$ وهي مناسبة في فصل الشتاء خاصة في ساعات الليل .

الخاتمة

الخاتمة

تطرقنا في هذه الدراسة الى استغلال مصدر من مصادر الطاقات المتجددة والمتمثل في الطاقة الحرارية الارضية من اجل تشغيل نظام تدفئة مستمر وغير مكلف باستخدام مبادل حراري ماء /أرض . حيث يساهم هذا النظام في الحفاظ على صحة الانسان بفضل درجة حرارة مخرج المبادل بعد استغلالها في التدفئة. يتطلب توقع الاداء عدد قليل من المعلومات وبتأثير بعض الخصائص الفيزيائية تحصلنا على:

- يؤدي انخفاض التدفق إلي انخفاض درجة حرارة الماء عند مخرج المبادل الحراري حيث توصلنا أنه كلما انخفضت قيمة التدفق الكتلي هناك نقل جيد للحرارة.
- الزيادة في قطر الأنبوب تؤدي إلي انخفاض في درجة حرارة الماء عند مخرج المبادل
- كلما كان معامل التبادل الحراري أكبر كلما كان هناك فقد أكثر للحرارة.
- تكتسب التربة الملامسة للمبادل الحرارة التي يفقدها المبادل الحراري.
- وجود تبادل حراري بين الهواء الجوي والتربة يساهم في رفع درجة حرارة الهواء الداخلي للغرفة.

توصلنا في الاخير الى أن درجة حرارة الغرفة التي تتراوح بين $[27^{\circ}\text{C}-35^{\circ}\text{C}]$ تكون مناسبة للتدفئة في فصل الشتاء، ومن ناحية أخرى تكون درجة حرارة خروج الماء من المبادل في المجال $[24^{\circ}\text{C}-30^{\circ}\text{C}]$ وهي مناسبة للاستعمال المنزلي بشكل مباشر.



المراجع

المراجع بالأجنبية

- [1] Principes de fonctionnement et usages de la géothermie ; source:ADEME / BRGM, juin 2012, www.enr.fr
- [2] (Matt Williams ; Universe Today) <https://phys.org/news/2015-12-earth-layers.html>.
- [3] La géothermie /ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie) www.geothermie-perspectives.fr
- [4] ECONOMICALLY VIABLE ELECTRICITY GENERATION THROUGH ADVANCED GEOTHERMAL ENERGY TECHNOLOGIES (VERSION OCTOBER 2014) www.bassfeld.eu/ guenther@bassfeld.ch
- [5]-**DRID MOHAMED MEBROUK** " valorisation de l'énergie géothermique et étude des formes de conversion " diplôme de MAGISTERE, UNIVERSITE KASDI MERBÀH OUÀRGLA (28 /06 /2008).
- [6] **S.Ouali, A Khellaf et K. Baddari**, "Etude géothermique du Sud de l'Algérie" Revue des Energies Renouvelables Vol. 9 N° 4 (2006) 297-306, (recul le 02 Novembre 2004- accepté le 30 Octobre 2006).
- [7] **Dr. Marwan JARKAS**. Les énergie renouvelables,2009.
- [8] <https://www.planete-energies.com/> Planète Énergies, PUBLIÉ LE 27 AOÛT. 2014 | MIS À JOUR LE 28 AVR 2021.

- [9] **Julien HEINTZ** (CETIAT). Michaël BLAZY (ANJOS VENTILATION). Ivan BORDAS (VIM). " Les puits canadiens/ provençaux (Guide d informations) "janvier 2008.
- [10]http://www.energies-renouvelables.org/media/photos/observer/géothermie/geothermie2_france_geothermie.jpg
- [11] **S. Ouali**, "Etude Géothermique du Sud de l'Algérie", Mémoire de Magister en géophysique, Université Boumerdès, Mars 2006.
- [12] **Sabrin Koraichi**. " Etude du gisement géothermique et l'exploitation de la géothermie pour les diverses applications Study of the geothermal field and the exploitation of geothermal energy for the various applications" Renewable energy , université on kasdi merbah ourgla, (2021).
- [14] "Geothermal Energy ", Authors: Laura J. W. Butterfield, Ph.D., Brandon A. Gillette, and Richard Shin. National Renewable Energy Laboratory
- [15] "**Geothermal**", world Energy Resources Geothermal world Energy Council 2013.
- [16] **Bachiri Abdelgha, Meloudj Moussa**, ; "Etude d'une installation de chauffage géothermique " Université de M'sila Faculté de Technologie, **2018**.

- [19] **Saibi, H.** "Geothermal resources in Algeria." Renewable and Sustainable Energy Reviews 13.9 (2009).
- [22] **Jean Lemale** ; "LA GÉOTHERMIE " EDUTIONS LE MONITEUR, janvier 2012.
- [23] André BONTEMPS, Alain GARRIGUE, Charles GOUBIER, Jacques HUETZ, Christophe MARVILLET, Pierre MERCIER, Roland VIDIL, « Description des échangeurs », technique de l'ingénieur [B 2 341].
- [24] **Mouloud AISSANI.et ALL** ; " Simulation des Flux Thermiques lors du soudage TIG et prédiction de la taille des zones du cordon dans les tôles d'Acier304L",2014.
- [25] **Mounir Bennajah; Naoil Chaouni** "ECHANGEURS DE CHALEUR"Technologie, calcul et design. 2014 Editions TECHIP,1 rue du BAC ,75007 PARIS.
- [26] **Pascal Tobaly** ; " Échangeurs de chaleur" IUT de St Denis Licence Professionnelle GPI option MISM, 14 mars 2002.
- [27] **Ahmed ALAMI**," Etude et modélisation d'un système thermique alimenté par énergie géothermique" Diplôme de Doctorat Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès, 2018 .

المراجع بالعربية

- [13] مؤمن بني مصطفى، "محطات توليد الطاقة الحرارية الجوفية" 30 أغسطس 2020
- [17] جون ر. فانشي "الطاقة التقنية والتوجيهات للمستقبل" المنظمة العربية للترجمة، الطبعة الأولى: بيروت، آذار (مارس) 2011.
- [18] به لين محمد عباس "الطاقة الحرارية الأرضية" معهد التدريب النفطي كركوك.
- [20] علي عبد الله الفتاحي "الباب الثاني، الفصل الاول، المبادلات الحرارية" 2015.
- [21] أحمد سالم فرحات "المبادلات الحرارية" المعهد العالي للعلوم والتقنية الزاوية (2021).

الملخص:

ان الارتفاع في درجة حرارة المياه الجوفية في أعماق الأرض يجعلنا نفكر في استخدام هذه الزيادة في الحرارة اما للتدفئة في الشتاء او التبريد في الصيف وذلك باستخدام المبادلات الحرارية الارضية حسب الحاجة. ركزنا في هذه الدراسة علي تدفئة الهواء في غرفة بفعل الطاقة الحرارية الأرضية باستخدام مبادل حراري (ماء/أرض) وهي عملية بسيطة لكنها غير مستغلة عندنا. حيث استخدمنا المياه الجوفية التي تخرج بدرجة مرتفعة من أعماق منخفضة في باطن الأرض في التدفئة ومن أجل استرجاعها لتصبح ملائمة للاستعمال.

من أجل معرفة درجة حرارة الخروج من المبادل ودرجة حرارة الغرفة، حيث قمنا بتحليل بعض التأثيرات مثل التدفق، القطر، معامل التبادل وطول الأنبوب علي درجة حرارة المياه، الزمن.

الكلمات المفتاحية: (التدفئة ، مبادل حراري ، الطاقة الحرارية الجوفية المنخفضة)

Abstract:

The increase in ground water temperature in the depths of the earth makes us think of using this increase in heat, either for heating in winter or cooling in summer, by using geothermal heat exchangers as needed. In this study, we focused on heating the air in a room by means of geothermal energy using a heat exchanger (water / land), which is a simple process, but it is not exploited by us. Where we used the groundwater that comes out with high heat from low depths in the ground for heating and in order to retrieve it to become suitable for use . In order to know the exit temperature from the exchanger and the room temperature, we analyzed some effects such as flow, diameter, exchange coefficient and tube length on water temperature, time.

Keywords: (heating, heat exchanger, low geothermal energy)