



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية المحروقات والطاقات المتجددة وعلوم الأرض والكون

مذكرة تخرج لنيل شهادة:

ماستر أكاديمي

شعبة: هندسة ميكانيكية

تخصص: طاقات متجددة في الميكانيك

من اعداد الطالبين:

باساسي محمد لمنور

عزيزي محمد

العنوان

دراسة و انجاز مركز اسطواني قط مكافئ لتخزين الطاقة الحرارية الشمسية في الحصى

(Étude et réalisation d'un concentrateur cylindro-parabolique pour
stockage d'énergie thermique solaire dans le gravier)

تمت المناقشة علنا بتاريخ: 09 \ 06 \ 2024

أمام اللجنة المكونة من:

| | | |
|--------|---------------------------|------------------|
| رئيسا | جامعة قاصدي مرباح - ورقلة | بريح محمد الحافظ |
| مناقشا | جامعة قاصدي مرباح - ورقلة | نصيب هشام |
| مؤظرا | جامعة قاصدي مرباح - ورقلة | درنوني محمد |

السنة الأكاديمية : 2023 - 2024

إلى من وضع المولى - سبحانه وتعالى - الجنة تحت قدميها، ووقَّرها في كتابه العزيز... .

أمي الحبيبة

إلى خالد الذكر، الذي وافته المنية ، وكان خير مثال لرب الأسرة،

والذي لم يتهاون يوم في توفير سبيل الخير والسعادة لي.. .

أبي الموقر

إلى من أعتمد عليهم في كل كبيرة وصغيرة.. .

أخوتي

إلى أصدقائي ومعارفي الذين أجلُّهم وأحترمهم.. .

إلى أساتذتي في الكلية

أهدي لكم هذه المذكرة المتواضعة

باساسي محمد منور

وصلت رحلتي الجامعية إلى نهايتها بعد تعب ومشقة..

وها أنا ذا أختتم بحث تخرُّجي بكل همّة ونشاط،

وأمتنُّ لكل من كان له فضل في مسيرتي،

وساعدني ولو باليسير،

الأبوين، والأهل، والأصدقاء، والأساتذة المُبجّلين..

أهديكم هذه المذكرة المتواضعة

عزيزي محمد

شكر و عرفان

بسم الله الرحمن الرحيم

أولاً، نحمد الله تعالى على هذا الفضل العظيم الذي منحنا إياه. ثم نتقدم بالشكر الجزيل إلى آبائنا وأمهاتنا

الحبيبين على كل جهودهم منذ لحظة ولادتنا إلى هذه اللحظات المباركة.

نشكر الأستاذ الفاضل الدكتور "محمد درنوبي" على مساعدته ومساندته وإرشاده بالنصح والتعليم

والتصحيح وعلى كل ما بذله معنا من مجهودات.

كما يسرنا أن نشكر اللجنة الموقرة و المكونة من الدكتور بريح محمد الحافظ رئيساً، الدكتور نصيب هشام

مناقشا و الدكتور درنوبي محمد مؤطرا، و كل الشكر أيضا لإدارة كلية المحروقات والطاقات المتجددة وعلوم

الأرض والكون، وبالتحديد قسم الطاقات المتجددة.

كما يسعدنا أن نوجه الشكر الخالص لكل من نصحننا أو أرشدنا أو ساهم ولو بشيء قليل في إعداد هذه

المذكورة وإيصالنا إلى المراجع والمصادر المطلوبة في أي مرحلة من المراحل التي مررنا بها.

ونسأل الله تعالى أن يكون بحث الماجستير هذا في صحيفة أعمالهم جميعاً، وأن يجزيهم خير الجزاء. والحمد لله

رب العالمين.

الفهرس

| | | |
|----------|--|--|
| I..... | اهداء | |
| III..... | شكر و عرفان | |
| IV..... | الفهرس | |
| VII..... | قائمة الأشكال و الجداول | |
| 9..... | المقدمة العامة | |
| 1..... | المقدمة العامة | |
| 3..... | الفصل الأول عموميات | |
| 4..... | 1 تمهيد | |
| 4..... | 2 كيفية تخزين الطاقة المتجددة وأهميتها المستقبلية | |
| 4..... | 1.2 تخزين الطاقة | |
| 5..... | 2.2 الطاقة الحرارية | |
| 5..... | 1.2.2 مصادر الطاقة الحرارية | |
| 5..... | 2.2.2 تطبيقات الطاقة الحرارية | |
| 6..... | 3.2.2 تحديات واعتبارات | |
| 6..... | 3.2 طرق تخزين الطاقة الحرارية | |
| 6..... | 1.3.2 تطبيقات تخزين الطاقة الحرارية: | |
| 7..... | 4.2 فوائد تخزين الطاقة | |
| 8..... | 5.2 طرق تخزين الطاقة المتجددة | |
| 8..... | 1.5.2 تخزين الطاقة باستخدام البطاريات | |
| 9..... | 2.5.2 تخزين الطاقة المائية بتقنية الضخ | |
| 9..... | 3.5.2 تخزين الطاقة الحرارية بتقنية الضخ | |
| 10..... | 4.5.2 تخزين الطاقة بقوة الجاذبية | |
| 10..... | 5.5.2 تخزين الطاقة بالهواء المضغوط | |
| 11..... | 6.5.2 تخزين الهيدروجين | |
| 11..... | 6.2 مستقبل تخزين الطاقة | |
| 12..... | 7.2 الطاقات المتجددة | |
| 12..... | 8.2 تقنيات تخزين الطاقات المتجددة | |
| 13..... | 9.2 مزايا أنظمة تخزين الطاقة | |
| 13..... | 10.2 تخزين الطاقة الحرارية | |
| 14..... | 11.2 المحطة الشمسية الحرارية | |
| 14..... | 1.11.2 أنواع المحطات الشمسية الحرارية | |
| 14..... | أ. المحطات الشمسية بالأبراج | |
| 15..... | ب. المحطات الشمسية بجامع الأنابيب الأسطوانية-القطبية | |

| | | |
|---------|--|--------|
| 16..... | المحطات الشمسية بأطباق ستيرلينج القطعية..... | ج. |
| 17..... | محطة شمسية بمرايا فرينيل..... | د. |
| 18..... | خاتمة..... | 3 |
| 19..... | الفصل الثاني خصائص الحصى..... | |
| 20..... | تمهيد..... | 1 |
| 20..... | تخزين الطاقة الحرارية في الصخور..... | 2 |
| 21..... | إمدادات موثوقة..... | 3 |
| 21..... | تخزين الطاقة الحرارية..... | 4 |
| 22..... | آلية التقنية..... | 1.4 |
| 22..... | مزايا التقنية..... | 2.4 |
| 23..... | مرحلة الاختبار..... | 5 |
| 24..... | التوصيل الحراري للحصى..... | 6 |
| 24..... | السعة الحرارية للحصى..... | 7 |
| 24..... | معامل التمدد الحراري للحصى..... | 8 |
| 25..... | منهجية دراسة الخصائص الحرارية للحصى..... | 9 |
| 25..... | خصائص الحصى..... | 10 |
| 25..... | الخصائص الفيزيائية..... | 1.10 |
| 25..... | الخفة..... | 1.1.10 |
| 26..... | المسامية..... | 2.1.10 |
| 27..... | الامتصاص..... | 3.1.10 |
| 27..... | الكتلة الحجمية..... | 4.1.10 |
| 28..... | الريولوجيا في حالتها الجديدة..... | 5.1.10 |
| 28..... | الخصائص الميكانيكية..... | 2.10 |
| 29..... | الخصائص الحرارية..... | 3.10 |
| 30..... | الصلابة..... | 1.3.10 |
| 31..... | المعاوقة الحرارية..... | 2.3.10 |
| 32..... | خاتمة..... | 11 |
| 33..... | الفصل الثالث الجانب التطبيقي..... | |
| 34..... | المقدمة..... | 1 |
| 34..... | خطوات العمل التجريبي..... | 2 |
| 34..... | تصميم نموذج مجمع..... | 1.2 |
| 35..... | تصميم عنصر النحاس الناقل للحرارة..... | 2.2 |
| 35..... | تصميم خزان الحصى..... | 3.2 |
| 36..... | العمل التجريبي..... | 3 |
| 36..... | الأدوات المستعملة في القياس..... | 4 |
| 36..... | أداة قياس الحرارة..... | 1.4 |

| | | |
|---------|-------------------------------------|-------|
| 37..... | السلك المستعمل في القياس | 2.4 |
| 38..... | أداة قياس الرطوبة | 3.4 |
| 38..... | أداة قياس الإشعاع الحراري | 4.4 |
| 39..... | أداة قياس سرعة الرياح | 5.4 |
| 40..... | نتائج العمل التجريبي | 5 |
| 43..... | خاتمة | 6 |
| 44..... | الفصل الرابع تحليل و مناقشة النتائج | |
| 45..... | مقدمة | 1 |
| 45..... | قياسات قبل عزل خزان الحصى | 2 |
| 50..... | قياسات بعد عزل الخزان الحصى | 3 |
| 50..... | خزان الحصى المعزول | 1.3 |
| 50..... | ادوات العزل | 1.1.3 |
| 50..... | أ. البوليسترين | |
| 51..... | ب. الالومنيوم | |
| 51..... | قياسات بعد العزل | 2.3 |
| 53..... | الطاقة المخزنة في الحصى | 4 |
| 54..... | اهمية تخزين الحرارة في الحصى | 5 |
| 55..... | خاتمة | 6 |
| 56..... | خاتمة عامة | |
| 58..... | قائمة المراجع | |
| 60..... | ملخص | |

قائمة الأشكال و الجداول

الأشكال

- شكل 1: تكوين محطة شمسية حرارية [10].....14
- شكل 2: محطة شمسية ذات أبراج. [11].....15
- شكل 3: محطة شمسية بجامع الأنابيب الأسطوانية-القطبية. [11].....16
- شكل 4: محطة شمسية بأطباق ستيرلينج القطعية (مشروع DISH-STIRLING في Font-Romeu-Odeillo) [11].....17
- شكل 5: محطة شمسية بمرايا فرينيل [11].....18
- شكل 6: الأنواع الثلاثة من المسامية الموجودة في المواد [13].....27
- شكل 7: القيم المرجعية للتوصيل الحراري المستخرجة من المؤلفات [18].....30
- شكل 8: صورة لمجمع الصحن القطع المكافئ المنجز.....34
- شكل 9: شكل يوضح العنصر النحاسي الناقل للحرارة.....35
- شكل 10: شكل يوضح تصميم خزان الحصى بمخرجين علوي و سفلي.....36
- شكل 11: أداة قياس الحرارة.....37
- شكل 12: السلك المستعمل في القياس.....37
- شكل 13: أداة قياس الرطوبة.....38
- شكل 14: أداة قياس أشعة الشمس.....39
- شكل 15: أداة قياس سرعة الرياح.....40
- شكل 16: منحنى يوضح تغيرات درجة الحرارة.....41
- شكل 17: منحنى يوضح تغيرات الإشعاع الشمسي المباشر.....41
- شكل 18: تغيرات سرعة الرياح خلال فترة القياس.....42
- شكل 19: منحنيين يوضحان تغيرات في كمية الرطوبة.....42
- شكل 20: منحنى يوضح تغيرات درجة الحرارة الحصى.....45
- شكل 21: منحنى يمثل تبرغ حرارة الحصى بدلالة الزمن.....46
- شكل 22: منحنى يمثل ارتفاع درجة حرارة الحصى بدلالة الزمن.....48
- شكل 23: يوضح تبرغ حرارة الحصى بدلالة الزمن.....49
- شكل 24: خزان الحصى المعزول.....50
- شكل 25: البوليستيرين (polystyrène).....50
- شكل 26: ألومنيوم.....51
- شكل 27: منحنى يوضح تبرغ حرارة الحصى بدلالة الزمن بعد العزل في الفترة الليلية.....52
- شكل 28: منحنى يوضح تبرغ حرارة الحصى بدلالة الزمن بعد العزل في الفترة الصباحية.....53

المداول

- 45..... جدول 1: جدول يوضح تغيرات درجة الحرارة المخزنة في الحصى يوم 13 ماي 2024
- 46..... جدول 2: جدول يوضح تفرغ الحرارة المخزنة في الحصى يوم 2024/05/13
- 47..... جدول 3: جدول يوضح ارتفاع درجة الحرارة في الحصى بدلالة الزمن
- 48..... جدول 4: جدول يمثل تفرغ الحرارة المخزنة بالحصى يوم 21/20 ماي 2024
- 51..... جدول 5: جدول يوضح تفرغ الحرارة المخزنة في الحصى يوم 2024/05/23 بعد العزل
- 52..... جدول 6: جدول يوضح تفرغ الحرارة المخزنة في الحصى يوم 2024/05/24 بعد العزل

المقدمة العامة

المقدمة العامة

في ظل المشهد الطاقوي العالمي المتغير، برزت مصادر الطاقة المتجددة كحلول واعدة لتلبية الطلب المتزايد على الطاقة بطريقة مستدامة وصديقة للبيئة. من بين هذه التقنيات المتجددة، اكتسب استغلال تخزين الطاقة الحرارية، وخاصةً في شكل أنظمة قائمة على الصخور، اهتمامًا كبيرًا من قبل الباحثين والمهتمين بهذا المجال.

هذه الدراسة تتناول بالتفصيل موضوع تخزين الطاقة الحرارية في الصخور، مع التركيز بشكل خاص على الخصائص الحرارية الرئيسية للحصى كمادة قابلة للتطبيق في هذه الأنظمة. تم دراسة وتحليل الخصائص الحرارية المهمة للحصى، مثل: قدرة الحصى على نقل الحرارة من منطقة إلى أخرى، كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة كتلة من الحصى درجة واحدة، قياس التغير في حجم الحصى نتيجة التغير في درجة الحرارة.

فهم هذه الخصائص الحرارية الأساسية للحصى يُعتبر أساسيًا لتطوير أنظمة تخزين الطاقة الحرارية القائمة على هذه المادة الطبيعية. هذه الأنظمة يمكن أن تلعب دورًا حاسمًا في معالجة الطبيعة المتقطعة للطاقة المتجددة، مثل الطاقة الشمسية والرياح، من خلال توفير وسيلة لتخزين وتوزيع الطاقة الحرارية عند الحاجة إليها.

بناءً على ذلك، الإشكالية الرئيسية هي: كيف يمكن استغلال الحصى كمادة قابلة للتطبيق في أنظمة تخزين الطاقة الحرارية الفعالة والمستدامة، والتي يمكن أن تساعد في معالجة التحديات المتعلقة بالطبيعة المتقطعة للطاقة المتجددة؟.

هذه المذكرة تهدف الى دراسة وتنفيذ مركز أسطواني-بارابولي لتخزين الطاقة الحرارية الشمسية في الحصى، و قد تمت دراسة النظام المقترح نظريا و تجريبيا في مخبر الطاقات المتجددة في كلية المحروقات و الطاقات المتجددة و علوم الأرض و الكون بجامعة قاصدي مرياح - ورقلة.

و لذلك ، تم عرض هذه المذكرة على شكل أربعة فصول بحيث:

ناقش الفصل الأول أهمية تخزين الطاقة المتجددة كحل واعد لمواجهة التحديات البيئية والطلب المتزايد على الطاقة. يستعرض مختلف تقنيات تخزين الطاقة الحرارية والشمسية، مثل البطاريات وتخزين الضخ المائي والهواء المضغوط والهيدروجين، مع تحليل مزايا وتحديات كل تقنية. كما يسلط الضوء على دور تقنيات التخزين في تعزيز استغلال الطاقات المتجددة وتحقيق الانتقال إلى اقتصاد أكثر استدامة و صديق للبيئة.

الفصل الثاني يسلط الضوء على أهمية خصائص الحصى الحرارية، مثل التوصيل الحراري والسعة الحرارية ومعامل التمدد الحراري، في تحسين استخدام الحصى في مجالات البناء والهندسة الجيوتقنية والهندسة الحرارية، خاصة في تطبيقات تخزين الطاقة الحرارية. يوضح أن الحصى يتميز بخصائص حرارية مفيدة كالتوصيل الحراري العالي والسعة الحرارية الكبيرة، والتي يمكن تعديلها من خلال عمليات مثل الضغط والترطيب. كما يبرز أهمية العوامل الأخرى كالصلادة والمعاققة الحرارية في تحديد خصائص الحصى الحرارية.

في الفصل الثالث تم تقديم الاجراءات التجريبية المتبعة لانجاز نظام المركز الشمسي البارابولي، الهدف من هذا الفصل هو عرض الاعدادات المتبعة لقياس التغيرات في درجات حرارة الحصى.

في الفصل الرابع، تم عرض النتائج التجريبية لتخزين الطاقة الحرارية في الحصى باستخدام نظام مجمع شمسي مع خزان حصى قبل و بعد العزل ، وقد تمت مناقشة النتائج المتحصل عليها.

الفصل الأول عموميات

1 تمهيد

نظرًا للوضع البيئي الحالي والطلب المستمر على الطاقة، تعتبر مصادر الطاقة المتجددة حلاً واعدًا لتوفير طاقة آمنة وصديقة للبيئة. يبقى التحدي الرئيسي هو تطوير تقنيات قادرة على استغلال بشكل فعال الطاقة المتجددة المتاحة في المباني ذات انخفاض استهلاك الطاقة. ولكن نظرًا للتغيرات المناخية والتغيرات الموسمية (الشتاء، الصيف، الخريف، الربيع)، قد لا تكون هذه الطاقات متاحة دائمًا. لذلك، يقوم العلماء بإنشاء مناطق متخصصة لتخزين هذه الطاقة لتكون متاحة للاستخدام عند حدوث تغييرات. يعالج هذا النقص في المصادر (الشروط المتغيرة وفقًا للفصول) ويصح أيضًا الترابط بين العرض والطلب على الطاقة المتاحة.

2 كيفية تخزين الطاقة المتجددة وأهميتها المستقبلية

لم يكن تخزين الطاقة المتجددة إجراءً مُتبعاً بسبب التكلفة الباهظة، حيث كانت تكتفي الدول ببناء المزيد من محطات الطاقة العاملة على حرق الوقود الأحفوري من أجل تلبية الطلب المتزايد على الطاقة، ولكن أدى في الوقت ذاته إلى ظهور مشاكل بيئية نتيجة حرق كميات كبيرة منه، وطرح مفهوم في تخزين الطاقة كتقنية تمكينية لمعالجة مشكلة الطلب المتزايد على الطاقة بسبب التزايد السكاني، وحل مجدي في الحد من مشكلة التلوث البيئي. [1]

1.2 تخزين الطاقة

يشير مصطلح تخزين الطاقة إلى تجميع الطاقة المنتجة في وقت واحد لاستخدامها لاحقاً في الأوقات التي تعاني تقلبات في معدلات الطلب على الطاقة، أو نقصاً في إنتاجها باستخدام البطاريات أو بطاريات تخزينية قابلة للشحن حيث انه عند تخزين الطاقة، تُحوّل الطاقة من أشكال صعبة التخزين إلى أشكال

أكثر ملائمة وقابلة للتخزين بفترةٍ تخزينيةٍ تقصر أو تطول حسب التقنيات المستخدمة في عملية التخزين. [1]

2.2 الطاقة الحرارية

الطاقة الحرارية هي إحدى أشكال الطاقة الأساسية التي تلعب دورًا حيويًا في العديد من العمليات الطبيعية والتطبيقات الصناعية. تتمثل الطاقة الحرارية في الطاقة المرتبطة بحركة الجزيئات والذرات داخل المادة نتيجة ارتفاع درجة الحرارة. [2]

1.2.2 مصادر الطاقة الحرارية

هناك العديد من المصادر الطبيعية والصناعية للطاقة الحرارية، منها:

المصادر الطبيعية: الطاقة الشمسية، الطاقة الجيوحرارية، الحرارة الداخلية للأرض.
المصادر الصناعية: عمليات الاحتراق، المفاعلات النووية، العمليات الصناعية. [3]

2.2.2 تطبيقات الطاقة الحرارية

تستخدم الطاقة الحرارية في العديد من التطبيقات، أبرزها:

توليد الكهرباء: استخدام الحرارة لتشغيل التوربينات وتوليد الطاقة الكهربائية.
التدفئة والتبريد: استخدام الحرارة في أنظمة التدفئة والتبريد للمباني.

العمليات الصناعية: كمصدر للطاقة في العديد من العمليات الصناعية.

تخزين الطاقة: استخدام الطاقة الحرارية في أنظمة تخزين الطاقة. [3]

3.2.2 تحديات واعتبارات

على الرغم من أهمية الطاقة الحرارية، إلا أنها تواجه بعض التحديات مثل:

الكفاءة: الحاجة لتحسين كفاءة تحويل الطاقة الحرارية إلى أشكال أخرى.

الانبعاثات: الحاجة إلى تقليل الانبعاثات الناتجة عن استخدام الطاقة الحرارية.

التكلفة: الحاجة إلى تخفيض تكلفة التقنيات المرتبطة بالطاقة الحرارية.

3.2 طرق تخزين الطاقة الحرارية

تخزين الطاقة الحرارية هو مجال بحثي واعد في مجال الطاقة المتجددة. هذه التقنية تهدف إلى تخزين الطاقة الحرارية لاستخدامها في وقت لاحق، مما يساعد في معالجة التقلبات في إنتاج وطلب الطاقة.

هناك عدة طرق لتخزين الطاقة الحرارية، منها: [3]

التخزين الحراري الكامن (Latent Heat Storage): يعتمد على التغيرات في الحالة الفيزيائية للمواد

(ذوبان/تجمد). تستخدم المواد متغيرة الطور مثل الملح المذاب.

التخزين الحراري الحسي (Sensible Heat Storage): يعتمد على التغير في درجة الحرارة للمواد.

تستخدم مواد صلبة أو سائلة مثل الحصى أو زيت الصخر.

التخزين الحراري الكيميائي (Thermochemical Storage): يعتمد على التفاعلات الكيميائية القابلة

للعكس. تستخدم مواد كيميائية مثل هيدروكسيد الصوديوم.

1.3.2 تطبيقات تخزين الطاقة الحرارية

توليد الكهرباء: تخزين الحرارة لتشغيل التوربينات.

التدفئة والتبريد: تخزين الحرارة لأغراض التدفئة والتبريد.

الصناعة: تخزين الحرارة في العمليات الصناعية.

تحديات وأبحاث مستقبلية:

تحسين كفاءة أنظمة التخزين الحراري.

خفض التكاليف وتحسين الجدوى الاقتصادية.

تطوير مواد تخزين حرارية أكثر كفاءة وفعالية.

تحسين نظم إدارة وتشغيل أنظمة تخزين الطاقة الحرارية.[3]

4.2 فوائد تخزين الطاقة

توجهت الأنظار إلى تخزين الطاقات ولا سيما المتولدة عن مصادر الطاقة المتجددة على اعتباره خطوة فعالة في مواجهة أزمة الطاقة في العالم، علماً أن تخزين الطاقة هو العامل الأساسي في عملية التحول الطاقى من الوقود الأحفوري إلى مصادر الطاقات المتجددة الذي اتبعته معظم الدول الأوروبية.

نلخص في هذه الفقرة أهم فوائد التي يحققها تخزين الطاقة:[4]

- توفير المال

على الرغم من التكلفة الأولية المرتفعة لتثبيت الألواح الشمسية على أسطح المنازل، إلا أن الاعتماد عليها في تزويد المنازل أو الشركات بالكهرباء يعود بقدر كبير من التوفير في فواتير الكهرباء على المدى الطويل.

من ناحية أخرى، يساعد تخزين الطاقة الشركات في تقادي حالات انقطاع الكهرباء التي قد تتسبب في أضرار كبيرة للعمل والسماح لها بمواصلة العمل وبالتالي توفير أي نفقات مترتبة على الانقطاعات المفاجئة للكهرباء.

- تحسين الموثوقية والمرونة

يوفر تخزين الطاقة طاقةً احتياطيةً تُستخدم في وقت الحاجة.

- الحد من الآثار البيئية

يساهم تخزين الطاقة في زيادة كفاءة محطات الطاقة وتوليد الكهرباء وتحسّن أدائها، لا سيما في التحكم بنسبة انبعاثات غازات الدفيئة GreenHouse Gas في الجو.

من ناحية أخرى، يُغني ارتفاع كفاءة محطات الطاقة عن بناء محطات توليد طاقة إضافية لتوليد الكهرباء عبر حرق الوقود الأحفوري وإطلاق كميات كبيرة من الملوثات. ويزيد من فرص الاستفادة من مصادر الطاقات المتجددة كالرياح والشمس بكفاءة أكبر إلى جانب الوقود الأحفوري، ثم تُحوّل هذا المزيج الطاقوي بصورة تدريجية إلى مصادر أكثر نقاوة بنسب قليلة أو صفرية من أي مصادر كربونية ملوثة للبيئة.

5.2 طرق تخزين الطاقة المتجددة

تُبدل جهودٌ حديثة في سبيل إيجاد طرق لتخزين الطاقة الفائضة المُستخرجة من مصادر الطاقة المتجددة التي تتسم بعدم الانتظام والاستقرار. [5]

فيما يلي أفضل 6 طرق معتمدة لتخزين الطاقة:

1.5.2 تخزين الطاقة باستخدام البطاريات

تعد البطاريات الطريقة الأكثر شيوعاً في تخزين الطاقة وتحمل بطاريات الليثيوم أيون الصدارة حيث تُستخدم بنسبة 90% من تخزين الطاقة بالبطاريات على شبكة الكهرباء العالمية وفقاً لمعهد دراسات البيئة والطاقة في واشنطن.

في بطاريات الليثيوم أيون، يخزن الليثيوم في القطبين الكهربائيين (الأنود والكاثود) ثم يحمل الإلكتروليت أيونات الليثيوم موجبة الشحنة. من قطب الأنود باتجاه قطب الكاثود، وتتراوح كفاءة بطاريات الليثيوم أيون بين 85% و 90% حسب تقرير عن مجلس الطاقة العالمي لعام 2020، يعاب عليها أنها تفقد كفاءتها بمرور الوقت على الرغم من تكلفة تصنيعها الباهظة .

تعتمد هذه الطريقة في تخزينها للطاقة ثم توليد الكهرباء على الخطوات التالية

- توصيل القطب السالب البطارية بقطب كهربائي (الأنود)
- توصيل القطب الموجب البطارية بقطب كهربائي (الكاثود)
- توليد تيار كهربائي من التفاعل الكيميائي بين الإلكتروليت (مادة سائلة من الأيونات المسحونة كهربائياً داخل البطارية) مع مواد الأقطاب الكهربائية. [6]

2.5.2 تخزين الطاقة المائية بتقنية الضخ

تعتمد هذه التقنية على خزانين للمياه لغرض تخزين الطاقة. تُستخدم الطاقة الفائضة في ضخ المياه من الخزان السفلي إلى العلوي، ولكن عند الحاجة إلى الكهرباء، تُطلق المياه من الخزان العلوي باتجاه الخزان السفلي عبر التوربينات المسؤولة عن توليد الكهرباء. تبلغ كفاءة تخزين الطاقة المائية بين 75% و 85% بحسب تقرير مجلس الطاقة العالمي لعام 2022. [6]

3.5.2 تخزين الطاقة الحرارية بتقنية الضخ

تتمثل هذه التقنية باستخدام الكهرباء المتولدة من مصادر الطاقة المتجددة لغرض تسخين مواد مثل الحصى ثم الاحتفاظ بدرجة الحرارة الناتجة داخل خزان معزول لاستخدامها لاحقاً في توليد الكهرباء عند الحاجة. تتراوح مدى كفاءة هذه التقنية بين 50 و 70%. [6]

4.5.2 تخزين الطاقة بقوة الجاذبية

تسمح هذه الطريقة بتخزين كميات ضخمة غير مسبوقه من الطاقة على مدى وقت طويل بين 6 الى 14 ساعة قابلة للتجديد. تعتمد على مبدأ رفع كتلة صخرية ضخمة هيدروليكيًا، ثم ضخ الماء تحت مكبس صخري قابل للتحرك باستخدام مضخ كهربائي بهدف رفع الكتلة الصخرية. في أوقات عدم توليد الطاقات المتجددة بشكل كافي، يُرسل الماء الموجود تحت ضغط مرتفع بسبب الكتلة الصخرية إلى توربين من أجل توليد الكهرباء باستخدام مولدات. [5]

5.5.2 تخزين الطاقة بالهواء المضغوط

في هذه التقنية، يُجمع الهواء من الغلاف الجوي باستخدام ضواغط كهربائية، ثم يُخزن على شكل هواء مضغوط في أسطوانات معدنية أو في كهوف للمياه الجوفية المالحة أو الصخرية غير الصالحة للشرب في باطن الأرض حيث يحل الهواء المضغوط محل المياه الجوفية. عند الحاجة للطاقة، يُستخدم ضغط الهواء المخزن في تشغيل مولدات الطاقة الكهربائية.

تبلغ كفاءة النظام بين 70 و 80% وفقاً لمجلس الطاقة العالمي. يتوزع أهم مركزين لتخزين الطاقة الهوائية المضغوطة في هونتورف بألمانيا الذي تأسس في عام 197، وفي ألاباما منذ عام 1998. [6]

6.5.2 تخزين الهيدروجين

هي واحدة من أشكال تخزين الطاقة الكيماوية؛ تعتمد هذه الاستراتيجية على مبدأ تحويل الكهرباء إلى هيدروجين عبر عملية تسمى التحليل الكهربائي، بغرض تحليل الماء إلى عناصره الهيدروجين والأكسجين، ثم يُخزّن الهيدروجين لاستخدامه كوقود في توليد الكهرباء أو تشغيل مركبات الهيدروجين.[5]

تتراوح كفاءة هذه التقنية في تخزين الطاقة بين 35% و 55% وفقاً لتقرير مجلس الطاقة العالمي لعام 2020. ولكن خلايا وقود الهيدروجين مكلفة جداً، لأنها تتطلب معادن باهظة الثمن مثل البلاتين.

6.2 مستقبل تخزين الطاقة

مع عدم ثبات مصادر الطاقة المتجددة كالرياح والشمس، يتركز اهتمام الشركات مثل Gravitricity على قوة الجاذبية في توليد الطاقة وتخزينها. إلى جانب ذلك، تسعى الشركات إلى امتلاك القدرة والمرونة في تحويل الطاقة من شكل إلى آخر بسهولة ويسر حسب الحاجة والطلب. على سبيل المثال، تحويل الكهرباء إلى هيدروجين أخضر عن طريق التحليل الكهربائي أو الهيدروجين إلى كهرباء في خلايا الوقود أو توربينات الاحتراق

تعلم الدول الدور الرئيسي لتخزين الطاقة في مقاومة التغيرات المناخية وفي التحول العالمي باتجاه محطات الطاقة المعتمدة على المصادر المتجددة للوصول في النهاية إلى توليد كهرباء صفرية الانبعاثات الكربونية. حيث أن تخزين الطاقة يساعد في الحفاظ على المنظومات الكهربائية في حالة ثبات وتوازن رغم التقلب في توافر المصادر المتجددة، وبالتالي الحفاظ على صفرية الانبعاثات الكربونية بتكلفة معقولة بالإضافة إلى الثقة في تلبية الحاجة من الكهرباء.[6]

من ناحية أخرى، من المتوقع أن تشهد البطاريات خلال السنوات القليلة القادمة كتقنية تخزينية للطاقة نمواً كبيراً في السوق، وتكون بوابة لحلول فعالة فيما يتعلق بمسألة تخزين الطاقة المتولدة من المصادر المتجددة على مستوى المحطات.

يعدّ تخزين الطاقة المتجددة خطوةً أساسيةً في تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، مثل النفط والفحم الذي يُنتج ثاني أكسيد الكربون وغازات الدفيئة الأخرى التي تسبّب تغيرات في المناخ، وتتوجه الدول إلى التحول الطاقويّ على مصادر الطاقة البديلة إضافة إلى تخزين الطاقة المتولدة عنها لاستخدامها وقت الحاجة. [7]

7.2 الطاقات المتجددة

الطاقات المتجددة هي مصدر للطاقة لا ينضب. تأتي هذه الطاقات من عناصر طبيعية مثل الشمس والرياح والشلالات والمد والجزر وحرارة الأرض ونمو النباتات... تُسمى الطاقة المتجددة بطاقة "جارية"، وليس بطاقة "خزان". بالمقابل، تتكون الطاقات المتجددة من طاقة محدودة. هناك موارد للطاقات الأحفورية مثل البترول والفحم والغاز الطبيعي واليورانيوم. على عكس الطاقات الأحفورية، تطوير الطاقات المتجددة لا ينتج سوى كميات قليلة أو لا تنتج من النفايات وانبعاثات التلوث. إنها الطاقات المستقبلية. ومع ذلك، تظل تحت استغلال محتمل لها، حيث لا تغطي هذه الطاقات المتجددة سوى 20% من الاستهلاك الكهربائي العالمي.

8.2 تقنيات تخزين الطاقات المتجددة

قدرة استخدام العديد من مصادر الطاقة المتجددة، مثل الطاقة الشمسية، تعتمد بشكل كبير على كفاءة عملية التخزين. لذا، يكون عملية تخزين الطاقة في صميم العديد من تطبيقات الطاقات المتجددة. التخزين ضروري لالتقاط الطاقة عندما تكون متاحة للاستخدام في وقت لاحق. من أجل جعل تقنيات تخزين الطاقة

قابلة للتطبيق واقتصادياً تنافسية وموثوقة، من الضروري تطوير أنظمة ومواد تضمن أن تحقق مصادر الطاقة المتجددة كامل إمكاناتها. تعتبر تقنية تخزين الطاقة حلاً واعدًا للطاقة المتجددة يمكن أن يلبي احتياجات المجتمع في الطاقة الفعالة والصديقة للبيئة لمختلف التطبيقات، بما في ذلك تدفئة وتبريد المباني والخدمات العامة. تعتبر تقنية تخزين الطاقة حلاً واعدًا للطاقة المتجددة يمكن أن يلبي طلب المجتمع في الطاقة الفعالة والصديقة للبيئة. إنها طاقة صديقة للبيئة لعدة تطبيقات، بما في ذلك تدفئة وتبريد المباني وتطبيقات الخدمات العامة. [8]

9.2 مزايا أنظمة تخزين الطاقة

- تقليل نفقات الطاقة.
- إعادة توزيع الطاقة.
- تقليل تكاليف الاقتناء والصيانة.
- الحفاظ على الوقود الأحفوري مهم.
- تحسين أمان الطاقة.
- تقليل الانبعاثات البيئية. [9]

10.2 تخزين الطاقة الحرارية

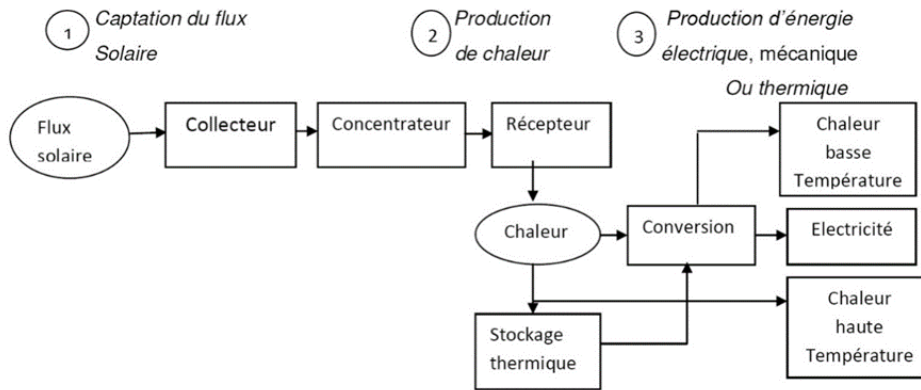
يمكن الاحتفاظ بالطاقة الحرارية عن طريق تعديل الطاقة الداخلية لمادة ما، سواءً عن طريق الحرارة الحسية، أو الحرارة الكامنة، أو الحرارة الكيميائية أو عن طريق مزيج من هذه العناصر. يحدث تخزين الحرارة الحسية عندما يحدث تغيير في درجة حرارة المادة، بينما يكون تخزين الحرارة الكامنة نتيجة لانتقال المرحلة، سواءً من صلب إلى سائل، أو من سائل إلى غاز، أو حتى من صلب إلى صلب. [5]

11.2 المحطة الشمسية الحرارية

محطة شمسية حرارية تركزية، المعروفة أيضًا باسم محطة شمسية حرارية أو هيليو-حرارية (CSP) بالإنجليزية لمحطة توليد الطاقة الشمسية المركزة)، هي نوع من المحطات التي تستخدم المرايا لتركيز أشعة الشمس. يسمح هذا التركيز بتسخين سائل ناقل للحرارة، يستخدم عادةً لتوليد الكهرباء.

العناصر الرئيسية لمحطة شمسية حرارية تركزية (انظر الشكل 1.3) هي:

- جهاز بصري لتركيز الإشعاع الشمسي
- نظام لإنتاج الحرارة يتألف من مستقبل، وسائل ناقلة للحرارة، وربما وسيلة تخزين
- نظام فرعي لتحويل الحرارة إلى كهرباء



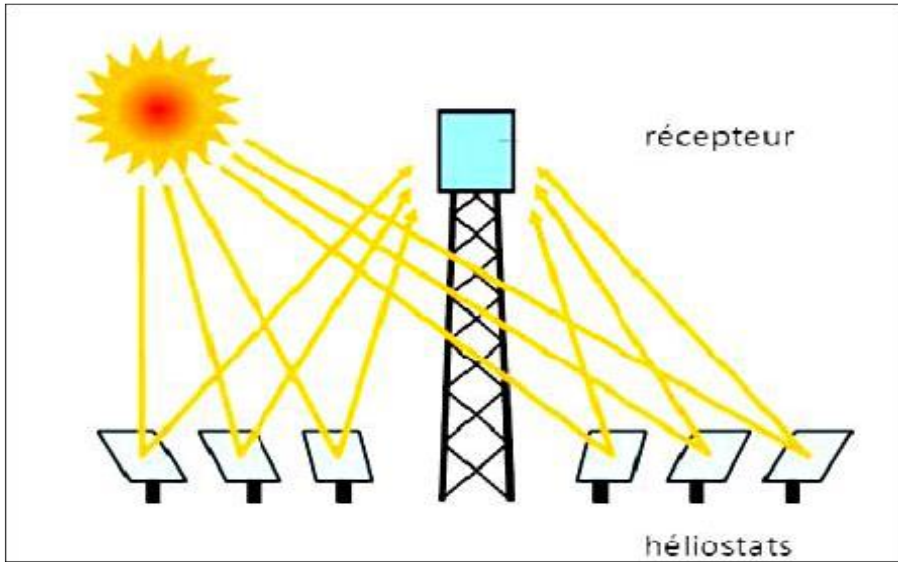
شكل 1: تكوين محطة شمسية حرارية [10]

1.11.2 أنواع المحطات الشمسية الحرارية

أ. المحطات الشمسية بالأبراج

تتكون محطات الطاقة الشمسية بالأبراج من العديد من المرايا المسماة بـ "الهيليوستات"، التي تركز أشعة الشمس نحو مرآة تقع في قمة برج. يمكن توجيه كل هيليوستات بشكل فردي لمتابعة الشمس وإعادة

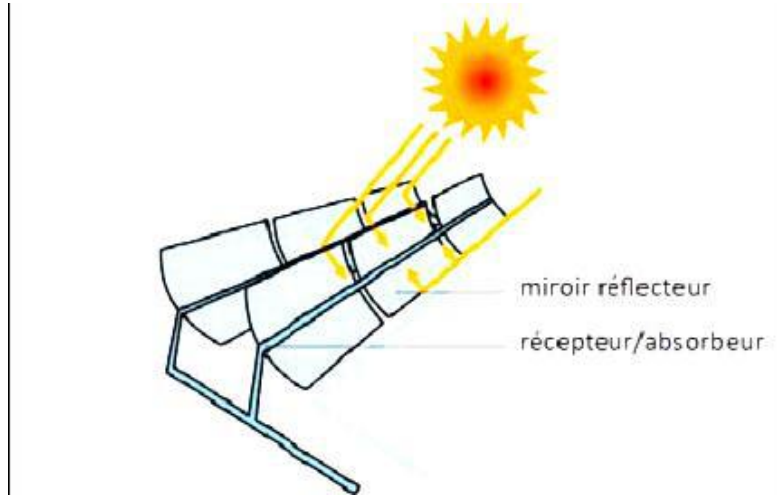
توجيهها بدقة نحو المستقبل في قمة البرج الشمسي. يمكن أن يتجاوز عامل التركيز القيمة 1000، مما يسمح بالوصول إلى درجات حرارة عالية تتراوح بين 600 درجة مئوية و1000 درجة مئوية. يتم نقل الطاقة المركزة على المستقبل إما مباشرة إلى السائل الحراري (لتوليد بخار يغذي توربينة أو لتسخين الهواء الذي يغذي توربينة غاز)، أو لتسخين سائل ناقل للحرارة وسيط. يتم بعد ذلك توجيه هذا السائل ناقل للحرارة إلى مرجل حيث يتم توليد البخار الذي يدير توربينات. في جميع الحالات، تدير التوربينات المولدات التي تولد الكهرباء [9].



شكل 2: محطة شمسية ذات أبراج. [11]

ب. المحطات الشمسية بجامع الأنايب الأسطوانية-القطبية

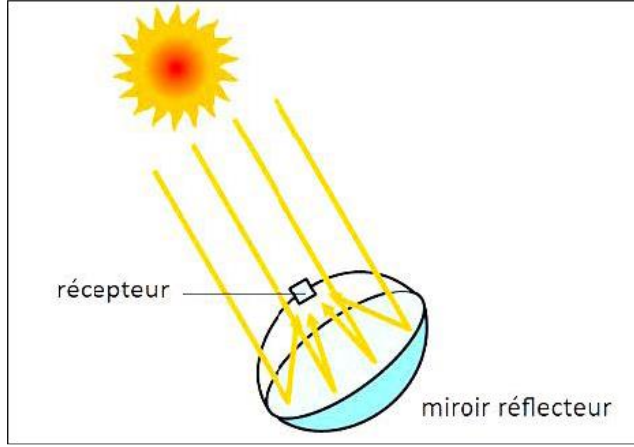
هذا النوع من المحطات يتألف من صفوف متوازية من المرايا الطويلة بشكل أسطواني-قطبي تدور حول محور أفقي لمتابعة حركة الشمس. يتم تركيز أشعة الشمس على أنبوب استقبال أفقي يمر من خلاله سائل ناقل للحرارة يصل عادة إلى درجة حرارة تصل إلى 400 درجة مئوية. يتم ثم ضخ هذا السائل من خلال مبادلات حرارية لتوليد بخار مشبع، الذي يغذي توربينة أو مولد كهربائي. [9]



شكل 3: محطة شمسية بجامع الأنابيب الأسطوانية-القطبية.[11]

ج. المحطات الشمسية بأطباق ستيرلينج القطبية

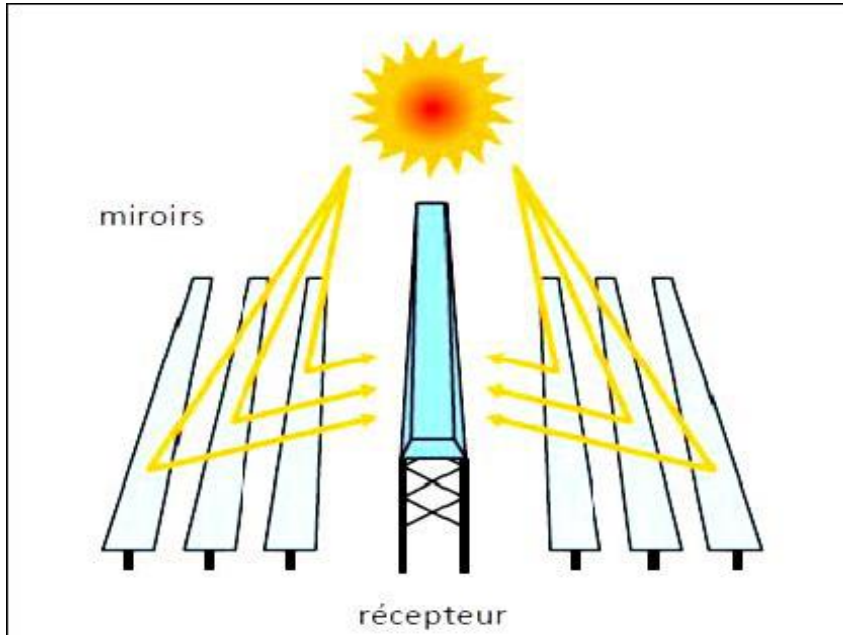
بنفس الشكل الذي تتميز به أطباق استقبال الأقمار الصناعية، تعمل أجهزة الاستقبال القطبية بطريقة مستقلة (انظر الشكل 4). تتوجه تلك الأجهزة تلقائياً وتتبع حركة الشمس على محورين لتعكس وتركز أشعة الشمس نحو نقطة تجمع تسمى بالبويرة. هذه البويرة هي المستقبل للنظام. عادةً ما تكون هذه البويرة عبارة عن حاوية مغلقة تحتوي على غاز يتسخن نتيجة التركيز. يؤدي ذلك إلى تشغيل محرك ستيرلينج الذي يحول الطاقة الحرارية الشمسية إلى طاقة ميكانيكية ثم كهرباء. يكون معدل التركيز لهذا النظام غالباً أعلى من 2000 ويمكن للمستقبل أن يصل إلى درجة حرارة تصل إلى 1000 درجة مئوية. أحد أهم مزاياها هو القابلية للتعديل: يمكن تثبيتها في أماكن نائية غير متصلة بالشبكة الكهربائية. بالنسبة لهذا النوع من النظام، التخزين غير ممكن.[9]



شكل 4: محطة شمسية بأطباق ستيرلينج القطعية (مشروع DISH-STIRLING في Font- Romeu-Odeillo) [11]

د. محطة شمسية بمرايا فرينيل

عنصر تكلفة هام في تكنولوجيا الجامعات الأسطوانية-القطبية يكمن في تصنيع الزجاج لإعطائه شكله القطعي القطبي. بديل ممكن يتمثل في تقريب الشكل القطعي القطبي للوح الشمسية باستخدام سلسلة من المرايا المسطحة. هذا هو مبدأ مكبر فرينيل. يمكن توجيه كل مرآة لمتابعة حركة الشمس لتوجيه وتركيز باستمرار أشعة الشمس نحو أنبوب أو مجموعة من الأنابيب الاستقبال الخطية الثابتة. عند مرورها من خلال هذا الاستقبال الأفقي، يمكن تحويل السائل الحراري إلى بخار ثم تسخينه إلى 500 درجة مئوية. يقوم هذا البخار المنتج بتشغيل توربينة تولد الكهرباء. تكون الدورة الحرارية عادةً مباشرة، مما يتيح تجنب استخدام مبادلات حرارية. [9]



شكل 5: محطة شمسية بمرايا فرينيل [11]

3 خاتمة

ختام هذا الفصل يسלט الضوء على أهمية الزيادة المتزايدة للمصادر الطاقة المتجددة في سياق القلق البيئي الحالي والطلب المتزايد على الطاقة. تظهر الطاقات المتجددة، مثل الطاقة الشمسية، كحلا واعدًا لتلبية الاحتياجات الطاقوية بطريقة مستدامة واحترامية للبيئة. تلعب تقنيات تخزين الطاقة المتجددة دورًا حاسمًا في استغلال الكفاءة لهذه المصادر الطاقوية العابرة للفترات.

تقنيات التخزين المختلفة مثل تخزين الطاقة الحرارية، والمحطات الشمسية بالأبراج، والمحطات بجامع الأنابيب الأسطوانية-القطبية، ومحطات Dish Stirling القطعية، والمحطات الشمسية بمرايا فرينيل تقدم حلولاً متنوعة لاستغلال وتحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء بطريقة فعالة واقتصادية. تُقدم كل تقنية مزاياها الفريدة والخصائص الخاصة بها، مما يسهم في تنوع خليط الطاقة والانتقال نحو اقتصاد أكثر خضرة واستدامة.

الفصل الثاني خصائص الحصى

1 تمهيد

هذا الفصل يهدف إلى دراسة الخصائص الحرارية للحصى، بما في ذلك التوصيل الحراري، والسعة الحرارية، ومعامل التمدد الحراري. فهم هذه الخصائص أمر حاسم لتحسين استخدام الحصى في البناء، والهندسة الجيوتقنية، والهندسة الحرارية خاصة في تخزين الطاقة الحرارية. من خلال تعميق فهمنا لهذه الخصائص، يمكننا تطوير حلول أكثر كفاءة واستدامة لمختلف التطبيقات العملية.

2 تخزين الطاقة الحرارية في الصخور

تمثل تقنية تخزين الطاقة الحرارية في الصخور حلاً غير تقليدي وواعداً للقضاء على معضلة الطبيعة المتقطعة لمصادر الطاقة المتجددة؛ بما يضمن تحقيق إمدادات مستدامة ومستقرة من الكهرباء النظيفة، تكفي لاستعمالها عند الحاجة [9].

ويمكن أن تُسهم تلك التقنية الواعدة في تسريع جهود تحول الطاقة، عبر تقليل الاعتماد على مصادر الوقود الأحفوري في توليد الكهرباء، والاستعاضة عنها بالمصادر الخضراء، بجانب إسهاماتها في تعزيز أمن الطاقة، وفق معلومات جمعتها منصة الطاقة المتخصصة.

وتبرز الطبيعة المتقطعة لمصادر الطاقة المتجددة من التحديات الرئيسية التي تقوّض ازدهار تلك الصناعة النظيفة، وربما تقوّض جهود التحول الأخضر، بل تعرّض أمن الطاقة للخطر، فبخلاف الوقود الأحفوري الذي يمكن حرقه عند الطلب، تعتمد مصادر الطاقة المتجددة على الظروف الطبيعية التي لا يمكن التحكم فيها

أو حتى التنبؤ بها دائماً و من هنا يمكن التطرق إلى بعض النقاط أهمها: [12]

3 إمدادات موثوقة

إن تخزين الكهرباء المولدة من الطاقة المتجددة لا غنى عنه لضمان إمدادات موثوقة ومستقرة لتلك السلعة الإستراتيجية، ومن ثم استعمالها للتطبيقات المختلفة.

وهناك طرق مختلفة لتخزين الكهرباء المولدة من المصادر المتجددة مثل البطاريات، وتخزين الطاقة الكهرومائية بالسخ، والهواء المضغوط، والتخزين الحراري والهيدروجين، وفق ما أورده موقع إنسيبتيف مايند. (Inceptive Mined)

ولكل من طرق تخزين الكهرباء تلك مزاياها وعيوبها من حيث التكلفة والكفاءة وقابلية التوسع إلى جانب الأثر البيئي [9].

4 تخزين الطاقة الحرارية

تتعاون -الآن- مجموعة من المهندسين من مختبرات سانديا الوطنية بالولايات المتحدة الأمريكية مع شركة "سي إس أو آي باور إل إل سي (CSolPower LLC)" لتطوير طريقة ميسورة التكلفة لتخزين الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة ويتمثل الهدف الرئيس لتلك الشراكة في التحول إلى استعمال طاقة الشمس والرياح لتوليد الكهرباء النظيفة حيادية الكربون، ويستهدف المشروع تطوير تقنية تخزين الطاقة الحرارية في الصخور، عبر نظام يمكن استعماله في مكان يُشحن فيه بطاقة الشمس والرياح، وفق ما اطلعت عليه منصة الطاقة المتخصصة [9].

1.4 آلية التقنية

يتألف هذا النظام من صخور توضع في طبقة يمكن تسخينها أو تبريدها بالهواء لتخزين الطاقة الحرارية. و يعتبر الحصى الذي تُنتجه الشركات التي تنشط في مجال تنسيق الحدائق، يمكن استعماله بنجاح لهذا النظام دون الحاجة إلى غسله أو تجهيزه [9].

صممت مختبرات سانديا الوطنية منصة اختبار صغيرة سعة 100 كيلوواط/ساعة، لاختبار أداء طبقة الصخور، وتُركب ألواح شمسية وأيضًا تُحدث لإظهار عملية الشحن في طبقة الصخور، باستعمال مصدر متقطع للطاقة [9].

2.4 مزايا التقنية

تُعد تقنية تخزين الطاقة الحرارية في الصخور إحدى الحلول الواعدة لتخزين الطاقة المتجددة. وقد أشار والتر غريستل، المؤسس المشارك لشركة "سي إس أو إل باور" في ألباكركي، إلى أن هذه التقنية تتمتع بمزايا عديدة، منها إمكانية بناءها في أي مكان دون الحاجة إلى تراخيص معقدة. كما أنها يمكن تحويلها إلى سلعة تجارية بطريقة أسرع وأكثر جدوى اقتصادية مقارنة بالتقنيات الأخرى. وأكد ناثن سكرويدر، مهندس الميكانيكا في مختبرات سانديا الوطنية، على أهمية خفض التكلفة في أنظمة تخزين الطاقة الحرارية في الصخور أو أنظمة تخزين الكهرباء بشكل عام، حيث إن ذلك سيعزز من إمكانية نشر هذه الأنظمة في الصناعة. وأضاف أن هذا سيزيد من فرص استخدام مصادر الطاقة المتجددة، وجعلها أكثر موثوقية واستدامة.

إن تطوير تقنيات تخزين الطاقة الحرارية في الصخور يُعد خطوة مهمة نحو تعزيز الاعتماد على الطاقة المتجددة وتحقيق الاستدامة البيئية. وتركز تقنية تخزين الطاقة الحرارية في الصخور التي استحدثتها شركة

"سي إس أو آي باور" على تخزين الكهرباء لمدة طويلة؛ ما يعني إمكان إتاحتها لمدة تتراوح من ساعات إلى شهور.

5 مرحلة الاختبار

خلال الاختبار، شُحنَ النظام بالهواء في درجات حرارة تتجاوز 500 درجة مئوية، وتمكن هذا النظام بالفعل من المحافظة على تلك الحرارة لمدة تصل إلى 20 ساعة متواصلة.

بل جرى كذلك تفريغ الشحنة الكهربائية من هذا النظام بنجاح، وهو ما شجّع الباحثين على القول إن أداء النظام جاء متسقاً مع "توقعاتنا حتى الآن".

وأضاف المؤسس المشارك لشركة سي إس أو إل باور والتر غريستل: "هناك منحى طبيعي يتمثل في تخزين الكهرباء الزائدة المولدة في أثناء وقت النهار من اليوم في شكل حرارة، ثم استعمالها لتسخين المياه وتدفئة المنازل في وقت الليل".

وتابع: "هذا مثال على استعمال محدود النطاق لخيار تخزين الطاقة الحرارية في الصخور"، في بيان رسمي اطلعت عليه منصة الطاقة المتخصصة.

على صعيد متصل قالت مختبرات سانديا الوطنية إن هذا الاختبار الأولي سيستمر حتى يونيو/حزيران (2024)، مشيرةً إلى أنه حال تكللت المرحلة الأولى من الاختبار بالنجاح، سيُقبل العديد من مشروعات الصوبات الزجاجية في شمال نيو مكسيكو على استعمال تقنية تخزين الطاقة الحرارية في الصخور المذكورة لتخزين تلك السلعة الحيوية، واستعمالها عند الحاجة.

6 التوصيل الحراري للحصى

أظهرت الدراسات السابقة على توصيل الحرارة للحصى أن هذه الخاصية تتغير اعتمادًا على التركيب الكيميائي، وحجم الجسيمات، والكثافة، ونسبة الماء في الحصى. عمومًا، يظهر الحصى توصيلًا حراريًا نسبيًا عاليًا مقارنة بمواد التربة النموذجية الأخرى، مما يجعله موصلًا جيدًا للحرارة. أظهرت الأبحاث أيضًا أن توصيل الحرارة للحصى يمكن أن يؤثر على نقل الحرارة في تطبيقات الطاقة الجيوحرارية، وتخزين الطاقة الحرارية، وتصميم الأغشية الحرارية. بالإضافة إلى ذلك، قد قامت الدراسات بدراسة كيفية تعديل توصيل الحرارة للحصى من خلال عمليات مثل الضغط، والترطيب، أو إضافة مواد موصلة للحرارة.

7 السعة الحرارية للحصى

دراسات حول السعة الحرارية للحصى أظهرت أن هذه الخاصية تعتمد على عوامل مثل التركيب المعدني، والكثافة، والتسامح، ونسبة الماء في الحصى. أظهرت النتائج البارزة أن الحصى، نظرًا لكثافته وتركيبه، لديه سعة حرارية محددة تميزه، مما يسمح له بتخزين كمية كبيرة من الحرارة. هذا يجعله مادة محتملة لتطبيقات التخزين الحراري، وضبط الحرارة في التربة، وعمليات أخرى تتطلب سعة حرارية عالية. بالإضافة إلى ذلك، أظهرت الأبحاث أن السعة الحرارية للحصى يمكن أن تتأثر بتغيرات في حجم الجسيمات، والكثافة، والتسامح، مما يجعله مجالًا مثيرًا للاهتمام لتطبيقات عملية مثل تصميم أنظمة التدفئة والتبريد الجيوثرمية. [12]

8 معامل التمدد الحراري للحصى

يتأثر معامل تمدد الحراري للحصى، وفقًا للأبحاث الحالية، بعوامل مثل التركيب المعدني، والتسامح، والكثافة للمادة. أظهرت الدراسات السابقة أن الحصى يظهر تغيرًا في الحجم استجابةً للتغيرات في درجة الحرارة، وهو ما يتم قياسه بمعامل التمدد الحراري. هذه الدراسات أظهرت أهمية معامل التمدد الحراري للحصى في

تطبيقات مثل تصميم الأساسات، واستقرار التربة، ونمذجة العمليات الحرارية في البيئات الجيوتقنية. بالإضافة إلى ذلك، قامت الأبحاث بدراسة كيفية تأثير معامل تمدد حراري للحصى بواسطة عمليات مثل الضغط، والترطيب، وتغيير حجم الجسيمات، مما ينطوي على تأثيرات على سلوكه في ظروف حرارية متغيرة. [12]

9 منهجية دراسة الخصائص الحرارية للحصى

يمكن أن تتضمن منهجية دراسة الخصائص الحرارية للحصى الخطوات التالية:

- أ. اختيار عينات من الحصى تمثلية، مع مراعاة تنوع التركيب الكيميائي وحجم الجسيمات والكثافة.
 - ب. قياس التوصيل الحراري باستخدام طريقة مناسبة مثل طريقة الأسلاك الساخنة أو تقنيات المسبار الحراري، مع مراعاة تغيرات درجة الحرارة والرطوبة.
 - ج. تقييم السعة الحرارية باستخدام تقنيات حرارية أو طرق قياس مباشرة، مع مراعاة تغير درجة الحرارة.
 - د. تحديد معامل التمدد الحراري باستخدام تقنيات الانتفاخ أو قياس التشوه تحت تأثير الضغط الحراري.
 - هـ. تحليل البيانات الإحصائية لتقييم تنوع الخصائص الحرارية بناءً على خصائص الحصى.
- من خلال اتباع هذه المنهجية، سيكون من الممكن الحصول على بيانات دقيقة حول التوصيل الحراري، والسعة الحرارية، ومعامل التمدد الحراري للحصى، مما يسمح بفهم أفضل لخصائصه الحرارية.

10 خصائص الحصى

1.10 الخصائص الفيزيائية

1.1.10 الخفة

استخدام الخرسانة الخفيفة يؤدي في المقام الأول إلى تقليل (الحد الأدنى) بنسبة 20 إلى 30% من الكثافة الحجمية للخرسانة. فكثافة الخرسانة الهيدروليكية تتراوح حوالي 2300 كجم/م³ بينما تكون حوالي 1600 كجم/م³ للخرسانة الموسعة بالطين، بين 600 و 900 كجم/م³ للخرسانة الخشبية، وتتراوح بين 350 و 650 كجم/م³ للخرسانة الخلوية. يكمن الفائدة في الحصول على مادة سهلة التنفيذ عندما يتم بيعها من قبل الشركات المصنعة في شكل كتل. بالإضافة إلى ذلك، يتطلب هذا المواد المخففة أساسات أقل أهمية أثناء البناء. [12]

2.1.10 المسامية

الخرسانة تتكون من عناصر صلبة متعددة (الركام، الرابط) و عدة أنواع من الفراغات التي تتراوح أحجامها من عدة عشرات من أنغستروم (A) إلى عدة مليمترات وفقاً لأصل هذه المسامات. الركام يحتوي على مسامية داخلية تسمى Φ_g ، ناتجة عن وجود الهواء داخل الجسم. نظراً لحجم الشعيرات الطابعية (بحدود ميكرومتر)، سيتم تصنيف مسامية الركام على أنها مسامية مجهرية. تحتوي مصفوفة الرابط أيضاً على فراغات هوائية تظهر أثناء تصلب المواد المائية وجفاف المادة. يُشار إليها بالهواء تحت الرابط الذي يسمح بتحديد مسامية الرابط Φ_l . حجم المسامات الموجودة بين مركبات Ca(OH)_2 أو C-S-H يتراوح بين 0.01 ميكرومتر و 5 ميكرومتر، وحجم المسامات التي تنشأ بواسطة عامل إدخال الهواء يتراوح بين 5 ميكرومتر و 1000 ميكرومتر. سيتم أيضاً النظر إلى الهواء داخل الرابط على أنه هواء مجهري. [12]



شكل 6: الأنواع الثلاثة من المسامية الموجودة في المواد [13]

3.1.10 الامتصاص

الامتصاص هو ظاهرة فيزيائية تتمثل في تحرك سائل من الخارج نحو الداخل في وسط مسامي بفضل ظاهرة الارتفاع الشعري. يؤدي الامتصاص إلى زيادة في كتلة المادة. الامتصاص لا يكون ممكنًا إلا إذا كانت الشعيرات في الشبكة المسامية تتصل للسماح بنقل الماء: يُشار إلى ذلك باسم التسامي الكامل أو المتصل (حيث تكون الفراغات متصلة ببعضها). عندما يحتوي المواد على مسامات محبوسة كما في حالة الخرسانة الخلوية، يُشار إلى ذلك بالمسامات المغلقة (التسامي المغلق أو التسامي الفراغي المعروف أيضًا باسم التسامي المتبقي). هذه المسامات لا تشارك في ظاهرة الامتصاص.

4.1.10 الكتلة الحجمية

كتلة الحجم هي بلا شك واحدة من أهم الجوانب التقنية في هذا البحث لأن الأعمال تركز على خفة عناصر الخرسانة التي يمكن التلاعب بها يدويًا. على سبيل المثال، يمكن التفكير في عنصر ديكور خارجي مثل صندوق زهور بشكل مكعب بأبعاد 400 ملم مع جدران بسُمك 20 ملم. حجم الخرسانة في عنصر مثل هذا هو 0.016 متر مكعب. في حالة استخدام الخرسانة لصنع هذه العناصر كانت لها كتلة حجمية تبلغ 1000 كجم/م³، فإن كتلة العنصر ستكون 16 كجم. بناءً على أنه يتعلق بعنصر خرساني بالخصائص

المعروفة لديه، فإن هذه الكتلة، من الناحية العملية، معقولة. في حالة الخرسانة التقليدية، ستكون كتلة العنصر بدلاً من ذلك 38 كجم. لذا، قيمة 1000 كجم/م³ تمثل قيمة مناسبة لكتلة الحجم المطلوبة للخرسانة. الخفة تمثل جانباً اقتصادياً مهماً حيث يعتمد كل إمكانيات تسويق هذه العناصر الخرسانية على إمكانية تلاعبها بسهولة يدوياً. لذا، من الضروري تقليل قدر الإمكان من كتلة الحجم للخرسانة من أجل أن تكون قادرة على خدمة أكبر عدد من التطبيقات. [14]

5.1.10 الريولوجيا في حالتها الجديدة

تتمثل القابلية للتشغيل، وهي خاصية مهمة للخرسانة في الحالة الطازجة، في تحديد العلاقة بين التوتر والتشوه للمادة. يتطلب تحديد القابلية للتشغيل للخرسانة لتحقيق جودة الخرسانة الجيدة. تشمل الخصائص الأساسية لتحديد القابلية للتشغيل للزوجة، والتماسك، والتنقل، والاستقرار، والقابلية للضغط. تم إجراء دراسة شاملة في جامعة تكنولوجيا سيدني حول إنتاج وخصائص الخرسانة المضافة بالبوليسترين. تم اكتشاف أن القابلية للتشغيل للخرسانة المضافة بالبوليسترين الموسع يمكن تصنيفها استناداً إلى مؤشر الضغط. يتمثل القابلية للتشغيل (أو السهولة في التشغيل) في قدرة الخرسانة على ملء جميع مساحات القالب بشكل جيد وضمان تغطية جيدة للتسليح. يتم تقييم قابلية التشكيل للخرسانة عادةً من خلال اختبار مخروط أبرامز، حيث يوضع الخرسانة في قالب مخروطي، ويعطى انخفاض الخرسانة بعد إزالة القالب فكرة عن قابليتها للتشكيل. يتم وضع الخرسانة في القالب في 4 طبقات من نفس السمك، مع طرق بواسطة عصا بمعدل 25 ضربة لكل طبقة. يتم إزالة المخروط برفق دون اهتزاز. [15]

2.10 الخصائص الميكانيكية

تتسبب تنوع الخرسانة الخفيفة في مجموعة واسعة من الكثافات والمقاومات. تتراوح الكثافات من 250 كجم/م³ للخرسانة المصنوعة من البوليسترين بنسبة منخفضة من الإسمنت، إلى 1800 كجم/م³ لبعض

أنواع الخرسانة المصنوعة من الطين الموسع. بشكل متزامن، نجد تطوراً في مقاومة الضغط من 1 إلى 30، وربما 40 ميجاباسكال.

مقاومة الشد، التي تكون 9 إلى 10 مرات أضعف من مقاومة الضغط في الخرسانة التقليدية، يمكن أن تصل إلى نسبة أعلى في الخرسانة الخفيفة: حوالي 20% من مقاومة الضغط، وربما 35 إلى 40% لخرسانة الخشب، حيث يلعب الركام دور الألياف التي تقوي الخرسانة.

معامل المرونة، الذي يميز العلاقة بين التشوه والحمل للمادة، أقل من تلك الموجودة في الخرسانة الأكثر وزناً، مما يؤدي إلى انحناءات أكبر للأجزاء المنحنية. هذه القابلية للانحناء الأكبر تترافق مع مقاومة محسنة للصدمات والاهتزازات.

3.10 الخصائص الحرارية

يتميز القدر العازل للمواد بمعامل النقل الحراري λ . يُعرف هذا الأخير كتدفق الحرارة لكل متر مربع، يعبر عن مادة بسُمك متر واحد لفارق درجة حرارة واحدة بين وجهيها. كلما كانت المادة أكثر عازلة، كان معامل النقل الحراري لها أقل. يُعتبر عمومًا أن معامل النقل الحراري يزداد مع زيادة كثافة المادة. تتم نقل الطاقة في المواد الصلبة عن طريق اهتزاز الجزيئات المكونة للمادة. لذا، معامل النقل الحراري λ هو مقدار جوهري للمادة، يعتمد فقط على مكوناتها وهيكلها الدقيق. [16]

الخرسانة العادية التي تحتوي على ركام صلب يحتوي على هواء، ناتج عن ترتيب المرحلة الصلبة (الهيكل الحبيبي) وتصلب المواد اللاصقة. والهواء الثابت ينقل الحرارة بشكل ضعيف. لذا، تم تطوير الخرسانة التي تحتوي على ركام خفيف، حيث يتيح زيادة حجمية الهواء في المادة (أي المسامية) عن طريق إضافة الهواء داخل الجسم (أي المسامية). على سبيل المقارنة، فإن الخرسانة الهيدروليكية ($\rho = 2300$ كجم/م³) لها

معامل نقل حراري يبلغ 2.0 واط/(م.ك.)، بينما الخرسانة المصنوعة من الطين الموسع ($\rho = 1600$ كجم/م³) لها معامل نقل حراري يبلغ 0.60 واط/(م.ك.). [17]

ومع ذلك، يجب توخي الحذر عند التعامل مع العلاقة بين المسامية ومعامل النقل الحراري المنخفض، مع مراعاة طريقة أخرى لنقل الحرارة، وهي الحمل الحراري. هذا الأخير يمثل نقل الحرارة بين مادة صلبة ثابتة وسائل في حركة. عندما تحتوي المادة على شبكة كبيرة من المسام المتصلة، يمكن للهواء التحرك فيها ويمكن أن يصبح نقل الحرارة عن طريق الحمل الحراري ذا أهمية كبيرة. على النقيض، المادة التي تحتوي على عدد كبير من المسامات المغلقة مثل الخرسانة الخلوية ($\Phi \approx 80\%$) لا تظهر حمل حراري. أكثر من نصف الهواء ثابت في المسامات المغلقة والمعامل النقل الحراري منخفض.

| Sediment category | Min [W/mK] | Max [W/mK] | Recommended value [W/mK] |
|---------------------------|---------------|---------------|-----------------------------|
| Gravel dry | 0.4 | 0.9 | 0.4 |
| Gravel water-saturated | 2.0 | 3.0 | 2.4 |
| Sand dry | 0.3 | 0.9 | 0.4 |
| Sand moist | 1 | 1.9 | 1.4 |
| Sand water-saturated | 2.0 | 3.0 | 2.4 |
| Clay/silt dry | 0.4 | 1.0 | 0.5 |
| Clay/silt water-saturated | 1.1 | 3.1 | 1.8 |
| Till/loam | 1.1 | 2.9 | 2.4 |
| Peat, soft lignite | 0.2 | 0.7 | 0.4 |

شكل 7: القيم المرجعية للتوصيل الحراري المستخرجة من المؤلفات [18]

1.3.10 الصلابة

المعلمة المستخدمة هنا لحساب التوصيل الحراري بين الحبيبات وتأثير العوارض العازلة للفراغات على التوصيلية تسمى الصلادة. الصلادة، وترمز لها بالرمز y ، محددة كنسبة بين حجم الصلب إلى الحجم الكلي، أو نسبة الكثافة الكلية إلى كثافة الحبيبات الصلبة، dg/dg ؛ إنها المكمل للفجوية ($>|$)، وهو ما يعني أن $y = 1 - >|$). وجد Robertson و Peck (1974) أن التوصيل الحراري للبازلت يتغير بشكل خطي

بمربع الصلادة، y_2 . جميع الصخور في قشرة الأرض لديها بعض الفجوية التي تعيق توصيل الحرارة. يتحكم التوصيل الحراري في الصخور في المقام الأول من خلال فعالية مسارات الحبيبات إلى الحبيبات، والتوصيل من خلال السوائل في الفراغات أقل أهمية بكثير. يمكن استنتاج نموذج نظري بالمقارنة مع النموذج للتوصيل الكهربائي في الصخور.

2.3.10 المعاوقة الحرارية

يتم تقديم تأثير الفراغات على مقاومة الكهرباء للصخور بقانون آرتشي، حيث تتغير مقاومة الصخور عكسياً بالنسبة لمربع الفجوية (انظر Greenberg و Brace، 1969)؛ يتحكم التوصيل الكهربائي على ما يبدو بشكل أساسي بالمحلول المائي في الفجوات المتصلة. تم التحقيق في نموذج فيزيائي نظري لقانون آرتشي من قبل Adler وآخرين (1973) و Shankland و Waff (1974) من خلال استخدام محاكاة المقاومة الكهربائية لإظهار أن التوصيل الكهربائي الكلي لشبكة ثلاثية الأبعاد يتناسب مع مربع كسر العقد الموصلة. كما يشير Shankland (1975) في ورقته البحثية المهمة حول الصخور والمعادن، إلى أن معامل القوة الثانية لقانون آرتشي ينطبق على الصخور التي لا تساهم الفجوات فيها إلى حد كبير في التوصيل الكهربائي، كما في حالة الفجوات الميتة أو الشقوق العميقة تقريباً أو الفراغات العزلة. في الصخور ذات الفراغات المتصلة، التي تمثلها جميع فروع شبكة المقاومة، يتغير التوصيل الكهربائي كفجوية إلى القوة الأولى.

إن عزل الحبيبات في الصخور ضمنى في شرح الفرق بين التوصيل الحراري الجوهري للصخور الصلبة تماماً، والتوصيلية المستتبطة في $y = 1$ ، لنسبة 5 في المئة من الأوليفين، كما وصفه Robertson و Peck (1974) للبازلت. تنطبق نفس التفسير على الحجر الجيري والدولوميت، كما هو موضح في هذا التقرير. يظهر التقاطع المستتب للخطوط المتساوية في $y_2 = 1$ ، في الحالة الصلبة تماماً، أقل من القيمة الجوهري لمجموعة بلورات تفضيلية بصفوية الفجوات من الناحية النظرية (انظر الشكل 1، 2، 5، 6، 7،

(8). تظهر النتائج على البازلت تقاطعاً أقل بكثير من المتوسط المحسوب لمعامل K للمعادن والمتوسط المقاس للعينة المطحونة. يقل K الفعال بنسبة 30 في المئة عن القيمة الجوهرية للبازلت المشبعة بالماء في عينات ب $0.995 < 1 > y$ ، بسبب التأثير العازل للفراغات الهوائية الرقيقة والحوصلات الصغيرة والشقوق الميكروية التي تم إنشاؤها بفعل التوترات الناتجة عن التبريد، والفراغات الأخرى غير المتاحة. بشكل مثير للاهتمام، فإن فعالية الضغط في إغلاق الشقوق وزيادة التوصيل الحراري أقل بدرجة من الفعالية الناتجة عن الضغط في إغلاق الشقوق وبالتالي تقليل التوصيل الكهربائي ($10^{-1} \sim kb$ انظر Shankland و Waff، 1974). وبعبارة أخرى، لا يتم تحسين التوصيل الحراري بين الحبيبات بفعالية معينة بقدر ما يتم تقليل التوصيل الكهربائي بواسطة إغلاق الشقوق. [12]

11 خاتمة

يُظهر الفصل الثاني أهمية فهم خصائص الحصى الحرارية مثل التوصيل الحراري والسعة الحرارية ومعامل التمدد الحراري. هذه الخصائص حاسمة لتحسين استخدام الحصى في مجالات البناء والهندسة الجيوتقنية والهندسة الحرارية، خاصة في تخزين الطاقة الحرارية. من خلال دراسة هذه الخصائص بدقة، يمكن تطوير حلول أكثر كفاءة واستدامة لمختلف التطبيقات العملية. يتبين أن الحصى يمتلك توصيلاً حرارياً عالياً مما يجعله مادة موصلة جيدة للحرارة، ويمكن تعديل توصيل الحرارة للحصى من خلال عمليات مثل الضغط والترطيب وإضافة مواد موصلة للحرارة. كما يظهر أن الحصى لديه سعة حرارية كبيرة تميزه وتسمح له بتخزين كميات كبيرة من الحرارة، مما يجعله مادة محتملة لتطبيقات التخزين الحراري وضبط الحرارة في التربة وعمليات أخرى تتطلب سعة حرارية عالية. توضح الدراسات أيضاً أن الصلادة والمعاوقة الحرارية تلعبان دوراً هاماً في تحديد توصيل الحرارة في الحصى، وتأثير الضغط على توصيل الحرارة يمكن أن يكون أقل بفعالية مقارنة بتأثيره على التوصيل الكهربائي.

الفصل الثالث الجانب التطبيقي

1 المقدمة

مما سبق انطلقا مما تعرفنا عليه في الجانب النظري الذي تطرقنا عليه ، سنقوم في هذا الفصل بعرض اهم الخطوات العمل التجريبي الذي قمنا به.

2 خطوات العمل التجريبي

1.2 تصميم نموذج مجمع

يتكون من صحن ، حيث يتم تثبيت قطع الزجاجية عليه بالكامل كسطح عاكس كما هو موضح في الشكل

: 8



شكل 8: صورة لمجمع الصحن القطع المكافئ المنجز

2.2 تصميم عنصر النحاس الناقل للحرارة

يتمثل في قضيب نحاسي مطوي على كامل محيط العازل تعتبر وظيفته تسخين الحصى الموجودة داخل الخزان و تتمثل ابعاد القضيب في (طوله 1.5 m و قطره 1 cm) جزء منه موضح في الشكل 9 :



شكل 9: شكل يوضح العنصر النحاسي الناقل للحرارة

3.2 تصميم خزان الحصى

هو عبارة عن خزان اسطواني بقطر (30cm) وطول (35cm) و سعته (25kg) معزول بمادة الجبس بسمك (2cm) محاط على كامل الجدار الداخلي للخزان و مزود بمدخل علوي و مخرج سفلي كما هو موضح في الشكل 10 :



شكل 10: شكل يوضح تصميم خزان الحصى بمخرجين علوي و سفلي

3 العمل التجريبي

يتم ملأ الخزان المستعمل بالحصى و يتمركز داخل الخزان الأنبوبالنحاسي على الشكل الحلزوني من المخرج السفلي الى المدخل العلوي على كامل الخزان ، نثبت مستقبل الأشعة في مركزالمكثف الاسطواني المكافئ و نعرضها لأشعة الشمس حيث نتبع مسار الشمس يدويا.

4 الأدوات المستعملة في القياس

تتمثل هذه الأدوات في :

1.4 أداة قياس الحرارة

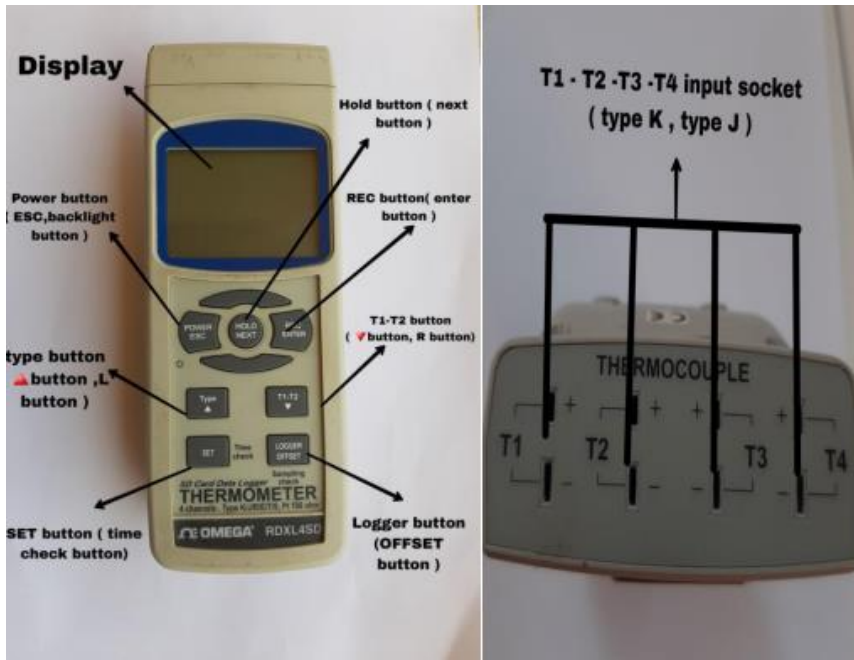
Resistance thermometer (to measure inlet and outlet DEC air temperatures)

Brand: OMEGA

Model: RDXL 4SD

Resistance: 100 (Ω)

Temperature range: -200 ~850 (°C)



شكل 11: أداة قياس الحرارة

2.4 السلك المستعمل في القياس

Type K thermocouple: Temperature range: -200 ~1260(°C)



شكل 12: السلك المستعمل في القياس

3.4 أداة قياس الرطوبة

Brand: Elenxs

Model: GJ0596-01B-XY-5.3.

Temperature range: 10% RH~ 95% RH.

Humidity accuracy: ± 2.5 %



شكل 13: أداة قياس الرطوبة

4.4 أداة قياس الإشعاع الحراري

Brand: Frederiksen

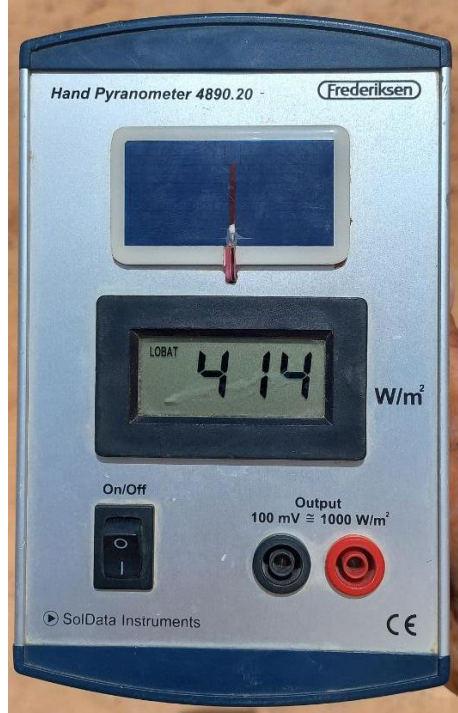
Mode :4890.20

Measuring range :0- 1999 W/m²

Resolution:1W/m²

Precision: ± 5 %

Dimensions: 185*108*56 mm



شكل 14: أداة قياس أشعة الشمس

5.4 أداة قياس سرعة الرياح

Brand: UNI-T

Model: UT363

Wind speed: 0 -30 m/s

Accuracy: $\pm(5\% \text{rdg} + 0.5)$

Resolution: 0.1m/s

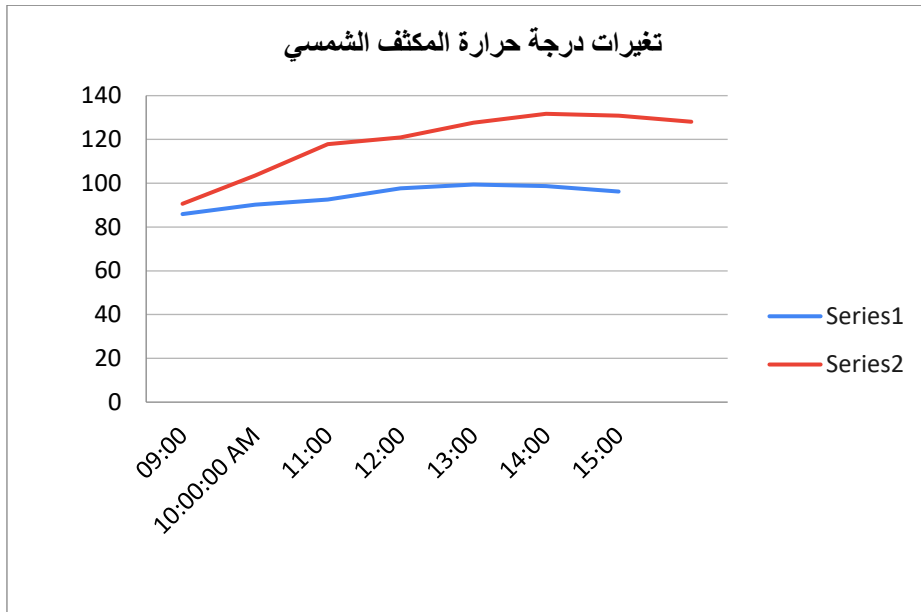
Dimensions: 160*50*28mm



شكل 15: أداة قياس سرعة الرياح

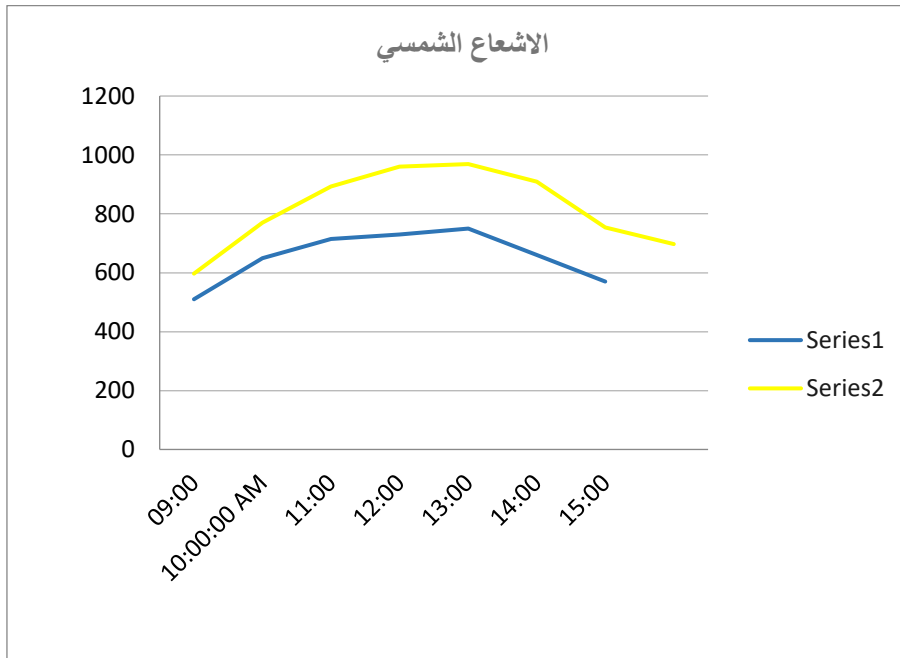
5 نتائج العمل التجريبي

| اليوم | الوقت | درجة حرارة المركز الشمسي (°C) | الاشعاع الشمسي (W/m2) | الرطوبة (%) | سرعة الرياح (m/s) |
|------------------|--------|-------------------------------|-----------------------|-------------|-------------------|
| - 05 -13 2024 | 9 :00 | 85.9 | 510 | 20 | 2 |
| | 10 :00 | 90.2 | 650 | 19,2 | 2.2 |
| | 11 :00 | 92.5 | 715 | 15,4 | 2.5 |
| | 12 :00 | 97.6 | 730 | 13,1 | 2.3 |
| | 13 :00 | 99.4 | 750 | 11,3 | 2.4 |
| | 14 :00 | 98.7 | 660 | 10,2 | 2.7 |
| | 15 :00 | 96.2 | 570 | 10,8 | 2.9 |
| -05 -18 2024 | 9:00 | 90.6 | 597 | 35.5 | 1 |
| | 10 :00 | 103.5 | 770 | 34 | 0.8 |
| | 11 :00 | 117.9 | 893 | 32 | 1 |
| | 12 :00 | 120.9 | 960 | 28 | 1.3 |
| | 13 :00 | 127.6 | 969 | 25 | 1.6 |
| | 14 :00 | 131.7 | 909 | 23 | 1.5 |
| | 15 :00 | 130.9 | 754 | 22 | 1.3 |
| | 16 :00 | 128.1 | 697 | 21.5 | 1 |



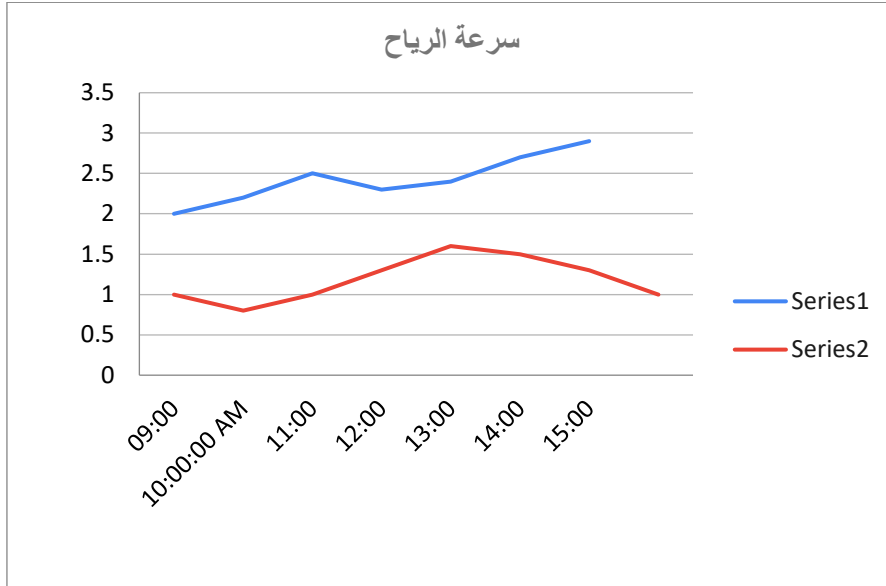
شكل 16: منحنى يوضح تغيرات درجة الحرارة

نلاحظ تغير في درجة الحرارة بمرور الزمن حيث تبلغ ذروتها في الفترة 11.00/14.00 زوالاً ومن ثم نلاحظ تناقصها لتصل الى ادنى درجة.



شكل 17: منحنى يوضح تغيرات الإشعاع الشمسي المباشر

نلاحظ تغير في أشعة الشمس بمرور الزمن حيث تبلغ ذروتها في الفترة 14.00/11.00 زوالا ومن ثم نلاحظ تناقصها لتصل إلى أدنى أشعاع.



شكل 18: تغيرات سرعة الرياح خلال فترة القياس

نلاحظ تغير في سرعة الرياح بمرور الزمن حيث تبلغ أقصى سرعة في الفترة 14.00 / 15.00 زوالا في يوم 15 ماي و تبلغ اقصى سرعة في الفترة الزمنية 13.00 / 14.00 في يوم 13.



شكل 19: منحنيين يوضحان تغيرات في كمية الرطوبة

المنحنيين يوضحان انخفاض في كمية الرطوبة كلما ارتفعت درجة الحرارة حيث تكون ذروتيهما على الساعة العاشرة صباحاً.

6 خاتمة

وهذه أهم خطوات العمل التجريبي بالإضافة إلى معرفة الأدوات المستخدمة في القياسات وذلك يشمل كل من الرياح ، الرطوبة ، الإشعاع الشمسي و الحرارة.

الفصل الرابع تحليل و مناقشة النتائج

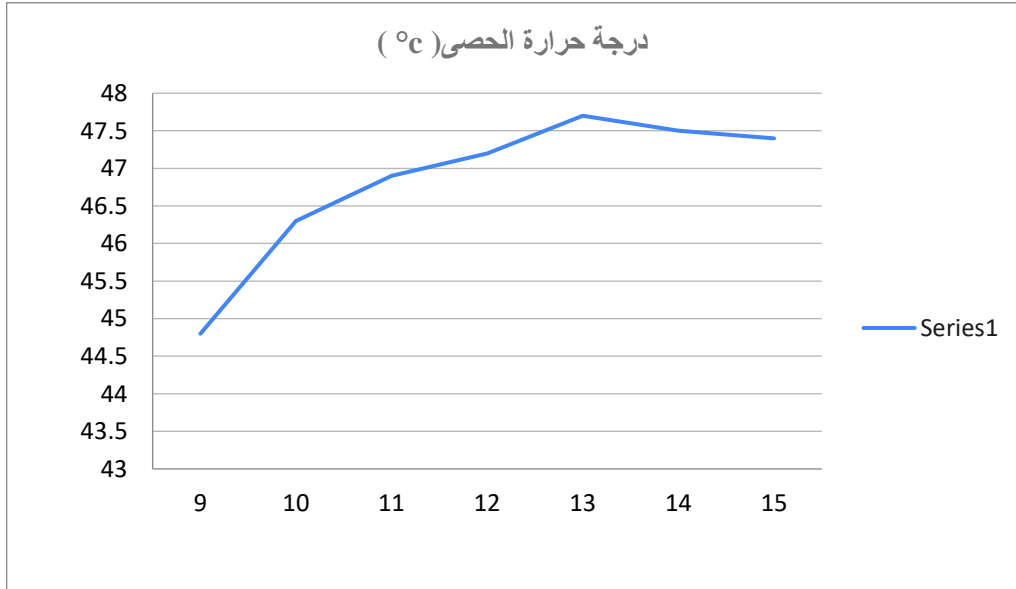
1 مقدمة

هذا الفصل سنقوم بتقديم النتائج المتحصل عليها من خلال القيام بتجربة تخزين الطاقة عن طريق تسخين الحصى باستخدام صحن النقطي مكافئ وقابلية في تخزين الطاقة .

2 قياسات قبل عزل خزان الحصى

جدول 1: جدول يوضح تغيرات درجة الحرارة المخزنة في الحصى يوم 13 ماي 2024

| اليوم | الوقت | درجة حرارة الحصى (°C) |
|------------|-------|-----------------------|
| | 9.00 | 44.8 |
| | 10.00 | 46.3 |
| | 11.00 | 46.9 |
| 13/05/2024 | 12.00 | 47.2 |
| | 13.00 | 47.7 |
| | 14.00 | 47.5 |
| | 15.00 | 47.4 |

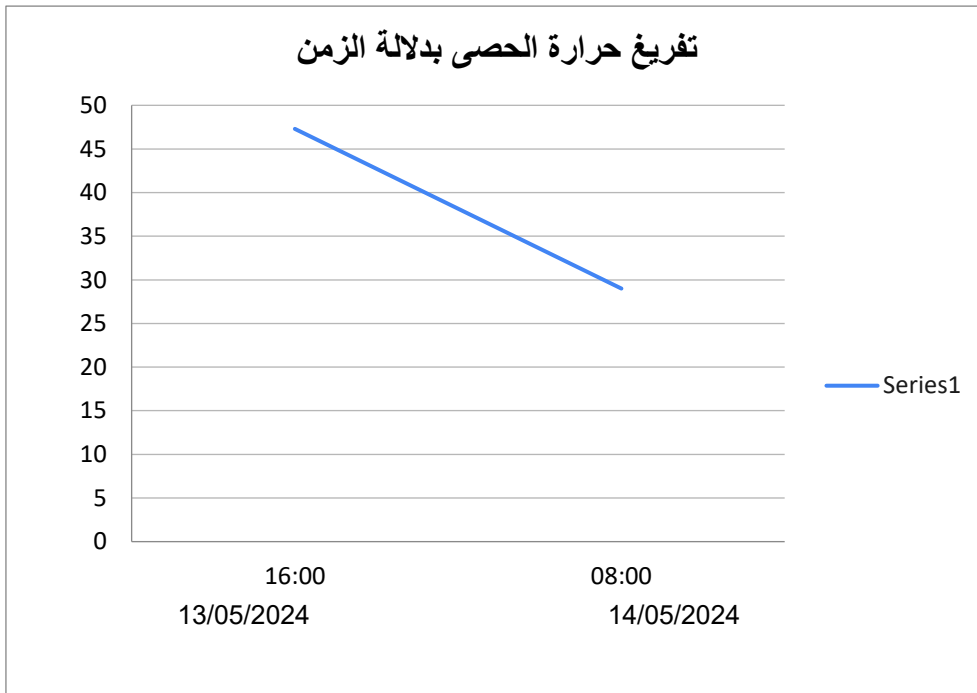


شكل 20: منحنى يوضح تغيرات درجة الحرارة الحصى

بعد عرض النتائج المتحصل عليها في الجدول و قمنا بتجسيدها على المنحنى ولاحظنا أنه في يوم 13ماي 2024 كان ارتفاع درجة حرارة الحصى بطيء وذلك راجع الى وجود بعض الرياح و كذلك درجة الحرارة التي لم تكن عالية كثيرا فاثرا على المكثف الاسطواني المكافئ فلم يقوم بتسخين الماء بالشكل الكافي والذي بدوره يقوم بتسخين الحصى فبالتالي لم نحصل على درجة حرارة عالية.

جدول 2: جدول يوضح تفريغ الحرارة المخزنة في الحصى يوم 2024/05/13

| اليوم | الوقت | درجة حرارة الحصى (°C) |
|------------|-------|-----------------------|
| 2024/05/13 | 16.00 | 47.3 |
| 2024/05/14 | 08.00 | 29 |



شكل 21: منحنى يمثل تفريغ حرارة الحصى بدلالة الزمن

بعد ان وصلنا الى اعلى درجة حرارة و المقدرة ب 47.3 في اليوم 2024/05/13 تركنا خزان الحصى معرض للهواء ودرجة الحرارة المنخفضة طوال الليل لنعرف كمية الحرارة المفقودة طوال هذه الفترة ،وفي صباح اليوم التالي و بالضبط على الساعة الثامنة قمنا بقياس درجة حرارة الحصى فكانت 29 درجة و بعملية بسيطة قمنا بحساب النسبة المئوية للحرارة المفقودة بين الفترة الزمنية 00:00 إلى 08:00

$$\% 100 = 47.3$$

$$\% X = 29$$

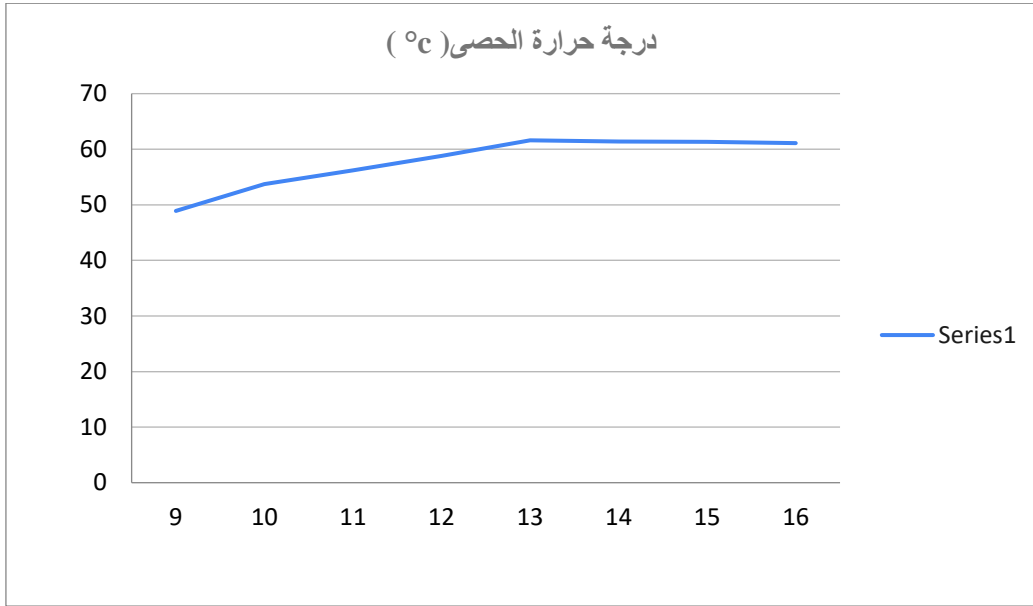
$$\% X=29*100/47.3=61.3$$

وعليه فإن نسبة الحرارة المفقودة هي :

$$100-61.3=38.7\%$$

جدول 3: جدول يوضح ارتفاع درجة الحرارة في الحصى بدلالة الزمن

| اليوم | الوقت | درجة حرارة الحصى (°C) |
|------------|-------|-----------------------|
| | 9.00 | 48.9 |
| | 10.00 | 53.7 |
| | 11.00 | 56.2 |
| | 12.00 | 58.8 |
| 20/05/2024 | 13.00 | 61.6 |
| | 14.00 | 61.4 |
| | 15.00 | 61.3 |
| | 16.00 | 61.1 |

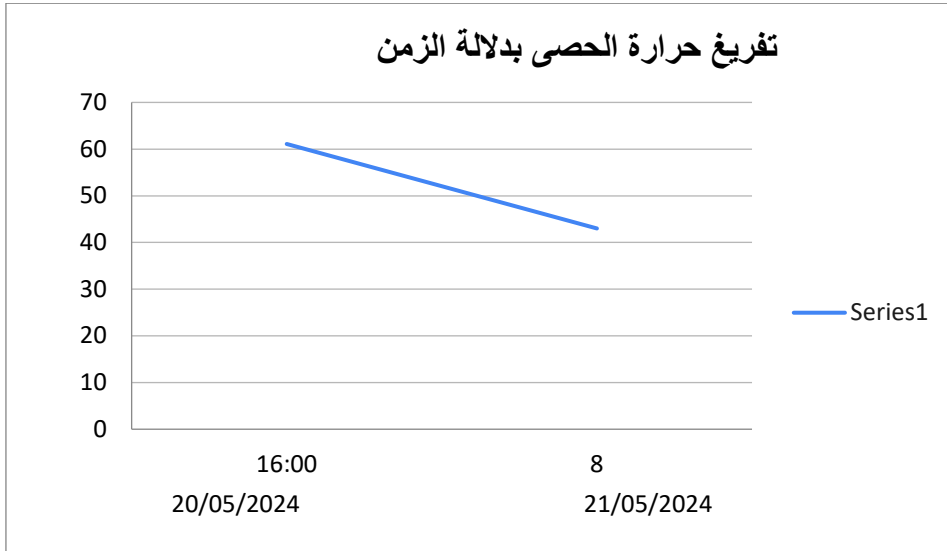


شكل 22: منحنى يمثل ارتفاع درجة حرارة الحصى بدلالة الزمن

بعد عرض النتائج المتحصل عليها في الجدول و قمنا بتجسيدها على المنحنى لاحظنا أنه في يوم 2024/05/20 كان ارتفاع درجة حرارة الحصى ممتاز مقارنة باليوم السابق وذلك راجع الى استقرار الجو مع ارتفاع كبير في درجة الحرارة و التي كانت كافية بشكل جيد ليقوم المكثف الاسطواني المكافئ بتسخين الماء حيث وصلت ذروة الحرارة في هذا اليوم إلى 61.1 درجة

جدول 4: جدول يمثل تفرغ الحرارة المخزنة بالحصى يوم 21/20 ماي 2024

| اليوم | الوقت | درجة حرارة الحصى (°C) |
|------------|-------|-----------------------|
| 2024/05/20 | 16:00 | 61.1 |
| 2024/05/21 | 08:00 | 43 |



شكل 23: يوضح تفريغ حرارة الحصى بدلالة الزمن

بعد إن وصلنا الى اعلى درجة حرارة و المقدرة ب 61.1 في يوم 20ماي 2024 تركنا خزان الحصى معرض للهواء ودرجة الحرارة المنخفضة طوال الليل لنعرف كمية الحرارة المفقودة طوال هذه الفترة ,وفي صباح اليوم التالي و بالضبط على الساعة الثامنة قمنا بقياس درجة حرارة الحصى فكانت 43 درجة و بعملية بسيطة قمنا بحساب النسبة المئوية للحرارة المفقودة بين الفترة الزمنية 16:00 إلى 8:00

$$61.1 = 100\%$$

$$X = 43$$

$$X = 43 * 100 / 61.1 = 70.37\%$$

وعليه فإن نسبة الحرارة المفقودة هي :

$$100 - 70.37 = 29.63\%$$

3 قياسات بعد عزل الخزان الحصى

1.3 خزان الحصى المعزول



شكل 24: خزان الحصى المعزول

1.1.3 ادوات العزل

أ. البوليستيرين



شكل 25: البوليستيرين (polystyrène)

ب. الالومنيوم



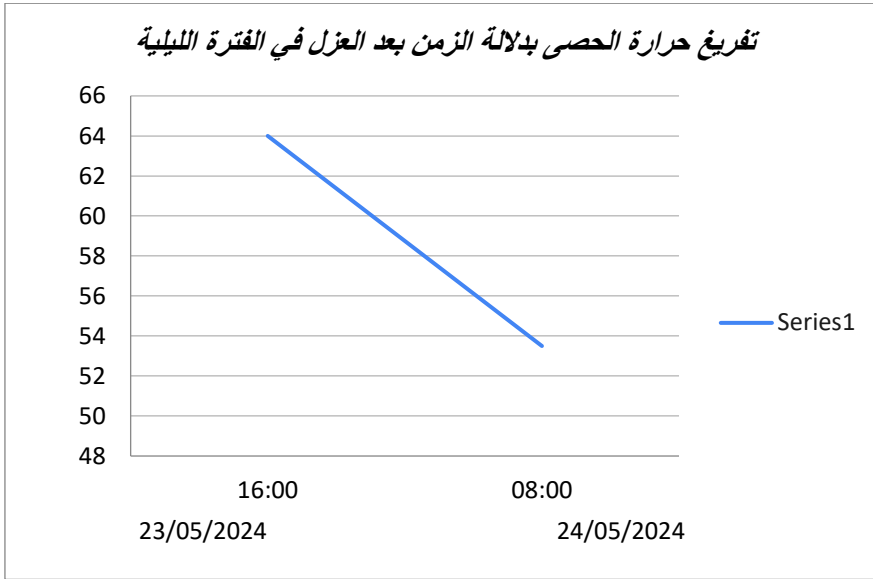
شكل 26: ألومنيوم

2.3 قياسات بعد العزل

الفترة الليلية

جدول 5: جدول يوضح تفريغ الحرارة المخزنة في الحصى يوم 2024/05/23 بعد العزل

| اليوم | الوقت | درجة حرارة الحصى (°C) |
|------------|-------|-----------------------|
| 23/05/2024 | 16:00 | 64 |
| 24/05/2024 | 08:00 | 53.5 |

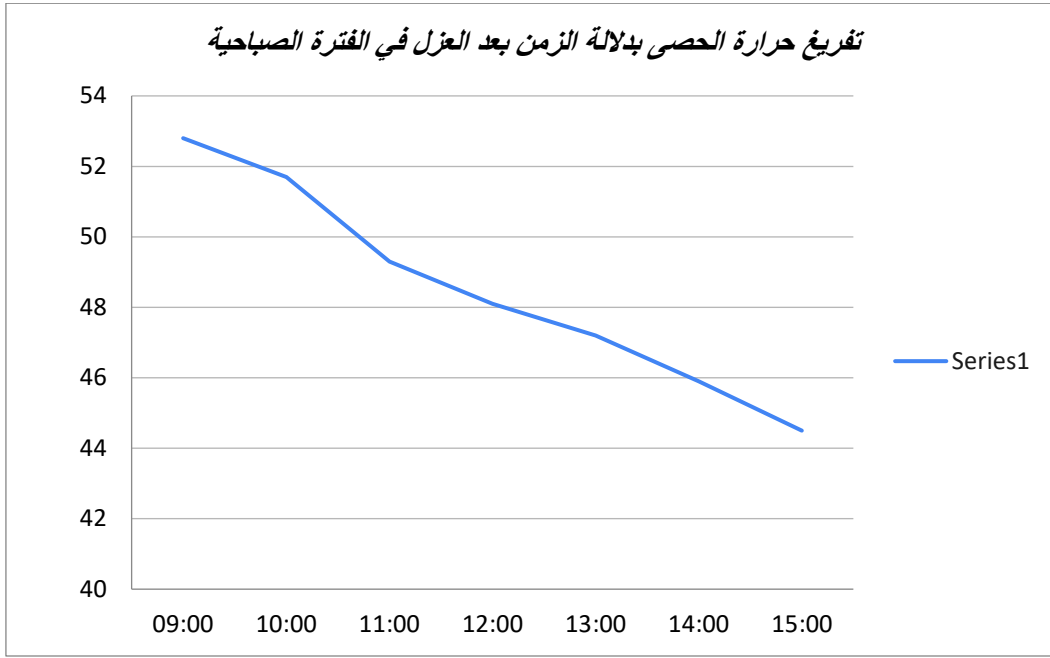


شكل 27: منحني يوضح تفريغ حرارة الحصى بدلالة الزمن بعد العزل في الفترة الليلية

الفترة الصباحية

جدول 6: جدول يوضح تفريغ الحرارة المخزنة في الحصى يوم 2024/05/24 بعد العزل

| اليوم | الوقت | درجة حرارة الحصى (°C) |
|------------|-------|-----------------------|
| 24/05/2024 | 9.00 | 52.8 |
| | 10.00 | 51.7 |
| | 11.00 | 49.3 |
| | 12.00 | 48.1 |
| | 13.00 | 47.2 |
| | 14.00 | 45.9 |
| | 15.00 | 44.5 |



شكل 28: منحنى يوضح تفريغ حرارة الحصى بدلالة الزمن بعد العزل في الفترة الصباحية

يوضح المنحنى التالي التفريغ الحراري بالشكل البطيء و هذا راجع إلى العزل الذي تم على مستوى خزان الحصى حيث يمكننا معرفة النسبة المئوية لتناقص الحرارة كل ساعة و المقدرة ب 15.72% و التي تعتبر نسبة ممتازة مقارنة بالقيم المتحصل عليها قبل العزل .

4 الطاقة المخزنة في الحصى

$$E = m \text{ cp } \Delta T$$

حيث:

E هي الطاقة المخزنة في الحصى (J)

m هي كتلة الحصى بوحدة الكيلو غرام (kg)

cp هو السعة الحرارية النوعية للحصى (kJ / kg * K)

ΔT هو تغير درجة حرارة الحصى

إذا

$$E = m c_p \Delta T$$

$$E = 25 * 835 * (61.1 - 48.9)$$

$$E = 254.675J$$

5 أهمية تخزين الحرارة في الحصى

التخزين الحراري في الحصى يلعب دوراً هاماً في توفير التدفئة المستدامة للمباني. يتم ذلك عن طريق تسخين الحصى باستخدام الطاقة الشمسية خلال فترات النهار، ومن ثم يتم تخزين الحرارة في الحصى للاستفادة منها في تدفئة المبنى خلال الليل أو في الايام الغائمة .

يتم تحقيق ذلك من خلال استخدام نظام تخزين حراري يتألف عادةً من حجرات أو خزانات تحتوي على الحصى مسخن. عندما يكون هناك توافر للطاقة الشمسية في فترات النهار، يتم استخدامها لتسخين الحصى في هذه الحجرات. ومع تسخين الحصى، يتم تخزين الحرارة فيها واحتجازها بفضل قدرتها على للاحتفاظ بالحرارة لفترات طويلة .

عندما يكون هناك حاجة للتدفئة في المبنى في أوقات التي يكون فيها توفر كاف للطاقة الشمسية، يتم استخدام الحرارة المخزنة في الحصى لتسخين الهواء أو الماء المار بجوار الحصى. يتم توجيه هذا الهواء أو الماء المسخن لتوزيع الحرارة داخل المبنى، مما يوفر تدفئة فعالة ومستدامة .

يعد استخدام تخزين الحرارة في الحصى للتدفئة مثلاً جيداً لتطبيق التكنولوجيا النظيفة والمستدامة. إذ يقلل من الاعتماد على الوقود الاحفوري الذي يسبب انبعاثات غازات الاحتباس الحراري وتلوث الهواء. كما يحافظ على الموارد الطبيعية المحدودة ويعزز استدامة النظام البيئي .

6 خاتمة

وفي النهاية هذه هي النتائج المتحصل عليها بعد القيام بتجربتين قبل العزل و بعده، حيث تحصلنا على نتائج جد مقبولة عند العزل و تحصلنا على درجة حرارة كافية تمكننا من استخدامها في التسخين المباشر.

خاتمة عامة

تسلط هذه الدراسة الشاملة حول الخصائص الحرارية للحصى الضوء على أهمية فهم خصائص المواد في سياق تخزين الطاقة الحرارية. يساهم البحث المفصل والتحليل المعمق للنتائج التجريبية في تعزيز الفهم الأوسع لإمكانات الحصى كوسيط لتخزين الطاقة الحرارية. حيث تحصنا على النتائج التالية:

- تم قياس وتحليل تغيرات درجة الحرارة وتفرغ الحرارة من الحصى حيث ساعدت هذه القياسات في تحديد الحالة الأساسية قبل عملية العزل.
- تم قياس وتحليل تغيرات درجة الحرارة وتفرغ الحرارة من الحصى بعد عزل الخزان حيث تم استخدام البوليستيرين و الألومنيوم كمواد عازلة، هذه القياسات بعد العزل ساعدت في تحديد فعالية مواد العزل المستخدمة.
- تم حساب وتحليل كمية الطاقة الحرارية المخزنة في الحصى حيث ساهمت نتائج الحساب في تقييم قدرة الحصى على تخزين الطاقة الحرارية.
- تمت مناقشة أهمية استخدام الحصى لتخزين الطاقة الحرارية، مع تسليط الضوء على فوائدها المحتملة مما يؤكد على الدور المهم لتخزين الطاقة الحرارية في الحصى.

يمكن أن تُطلع الرؤى المستمدة من هذا العمل على تصميم وتطوير أنظمة تخزين الطاقة الحرارية الفعالة والمستدامة، مما يدعم في النهاية التحول نحو مشهد طاقتي أكثر خضرة ومرونة. إن الدمج الناجح لأنظمة تخزين الطاقة الحرارية القائمة على الحصى يمهد الطريق لمزيد من دمج مصادر الطاقة المتجددة، مما يقلل من الاعتماد على الوقود الأحفوري ويخفف من الأثر البيئي لتوليد الطاقة.

قائمة المراجع

1. https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiovrVq4NzgAhXqxoUKHTZZBpoQjRx6BAgBEAQ&url=https%3A%2F%2Fsti2d.ecolelamache.org%2Fressources%2FEE%2Fpremiere%2Fcourses%2Fnrj_elec_part5_eleves.pdf&psig=AOvVaw2J70ivrWnhld_IwhNsZ8Mo&ust=1551385627764843/05-03-2019.
2. Kumar, A. and S.K. Shukla, A Review on Thermal Energy Storage Unit for Solar Thermal Power Plant Application. Energy Procedia, 2015
3. Sabti, Abida & Khan-Hussaini, Mustafa & Mahmood, Anas. (2022). الطاقة الحرارية وأنواعها.
4. (Tishreen) في تخفيض أحمال التبريد في الأبنية السكنية. "PCM رامي جورج". "تأثير استخدام المواد متغيرة الطور (University Journal-Engineering Sciences Series.(2010) 32.3 ,
5. د. برباوي, كمال, د. سليمان. دور الجامعة في تحقيق التنمية المستدامة وخدمة المجتمع المحلي، 2018
6. هيثم عبد الله سلمان. اقتصاديات الطاقة المتجددة في ألمانيا ومصر والعراق. المركز العربي للأبحاث ودراسة السياسات, 2016.
7. أكاديمية الطاقة الألمانية في الأردن، كيفية تخزين الطاقة المتجددة و أهميتها المستقبلية، بدون ذكر تاريخ ، 2024/05/23. <https://www.gea-jordan.academy/ar/>.-
8. Pinel, P., et al., A Review of Available Methods for Seasonal Storage of Solar Thermal Energy in Residential Applications. Vol. 15. 2011. 3341-3359.
9. Lefebvre, D., Thermal Energy Storage Using Adsorption Processes for Solar and Waste Heat Applications: Material Synthesis, Testing and Modeling. 2015, University of Ottawa.
10. The 5 th International Seminar on Advanced Mechanical Technologies Tlemcen - Algeria, 29 & - Scientific Figure on ResearchGate.
11. Modélisation des paramètres de la conversion thermique de l'énergie solaire - Scientific Figure on ResearchGate.
12. زغيب, & عنقور. تأثير بقايا الحجر الجيري ونشارة الخشب على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية على الطوب. (Doctoral dissertation./المصمت)

13. Chamoin, Julien. "Optimisation des propriétés (physiques, mécaniques et hydriques) de bétons de chanvre par la maîtrise de la formulation." (2013).
14. >> Enr.fr<< site web spécialisé en énergie solaire thermique
15. - تخزين الطاقة الحرارية في الصخور - الطاقة <https://attaqa.net/2023/11/05/> - [2023/11/5-](https://attaqa.net/2023/11/05/)
16. Woodside W. and Messmer J. H. (1961). "Thermal Conductivity of Porous Media. I. Unconsolidated Sands". Journal of Applied Physics 32, 1688 doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.1728419>
17. Bederina .M (2007): Caractérisation mécanique et physique des bétons de sables à base de déchets de bois. Thèse de doctorat, l'ENP d'Alger.
18. Santa, Giorgia Dalla et al. "Laboratory Measurements of Gravel Thermal Conductivity: An Update Methodological Approach." *Energy Procedia* 125 (2017): 671-677.

ملخص

تستكشف هذه المذكرة الخصائص الحرارية للحصى، بما في ذلك التوصيل الحراري والسعة الحرارية النوعية ومعامل التمدد الحراري. يعد فهم هذه الخصائص أمرًا حاسمًا لتحسين استخدام الحصى في مجالات البناء والهندسة الجيوتقنية والهندسة الحرارية، لا سيما في تطبيقات تخزين الطاقة الحرارية. من خلال دراسة هذه الخصائص بتفصيل، تمكن الباحثون من تطوير حلول أكثر كفاءة واستدامة للتطبيقات العملية المختلفة.

يوفر العمل التجريبي المقدم في هذا المستند رؤى قيمة حول أداء وتحسين أنظمة تخزين الطاقة الحرارية القائمة على الحصى. تسلط النتائج الضوء على إمكانات الحصى كوسيط لتخزين الطاقة الحرارية، حيث تسمح سعته الحرارية العالية بتخزين كميات كبيرة من الحرارة. كما يكشف تحليل البيانات التجريبية عن أهمية العزل وتأثير عوامل مثل الضغط والرطوبة على الخصائص الحرارية للحصى.

تتمتع نتائج هذه الدراسة بأهمية أكاديمية وتطبيقات عملية في مجالات متنوعة، بما في ذلك تدفئة وتبريد المباني واستغلال الطاقة الجيوحرارية والأنظمة المتكاملة للطاقة المتجددة. إن الفهم الشامل للخصائص الحرارية للحصى الذي تم اكتسابه من خلال هذا البحث يمهد الطريق لتطوير حلول تخزين الطاقة الحرارية الفعالة والمستدامة، مما يسهم في النهاية في التحول نحو مشهد طاقتي أكثر خضرة ومرونة.

Abstract

This thesis investigates the thermal characteristics of gravel, including thermal conductivity, specific heat capacity, and thermal expansion coefficient. Understanding these properties is crucial for improving the use of gravel in construction, geotechnical engineering, and thermal engineering, especially in thermal energy storage applications. By studying these characteristics in detail, the researchers were able to develop more efficient and sustainable solutions for various practical applications.

The experimental work presented in this document provides valuable insights into the performance and optimization of thermal energy storage systems based on gravel. The results highlight the potential of gravel as a storage medium, with its high thermal capacity allowing it to store significant amounts of heat. The analysis of the experimental data also reveals the importance of insulation and the impact of factors such as pressure and moisture on the thermal properties of gravel.

The findings of this study have both academic significance and practical applications in various fields, including building heating and cooling, geothermal energy utilization, and integrated renewable energy systems. The comprehensive understanding of gravel's thermal characteristics gained through this research paves the way for the development of more efficient and sustainable thermal energy storage solutions, ultimately contributing to the transition towards a greener and more resilient energy landscape.