



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية العلوم التطبيقية

قسم الهندسة المدنية والري



أطروحة تخرج لنيل شهادة

دكتوراه الطور الثالث

فرع: الهندسة المدنية

تخصص: جيو مواد

من إعداد: بن عمارة ابراهيم

تحت عنوان:

المساهمة في دراسة العزل الحراري للبناءات الجبسية في

المناطق الصحراوية

Contribution à l'étude de l'isolation thermique
des structures en plâtre en zones sahariennes

نوقشت بتاريخ: 12 أفريل 2025

اعضاء اللجنة:

- | | | | |
|--------------------|---|----------------------|----------------------|
| رئيساً | جامعة ورقلة | أستاذ محاضر أ | أبي مولود يوسف |
| مشرفاً ومقرراً | جامعة ورقلة | أستاذ التعليم العالي | كريكر عبد الواحد |
| مساعد مشرف مناقشاً | جامعة ورقلة | أستاذ محاضر أ | عباني السعيد |
| مناقشا | جامعة ورقلة | أستاذ محاضر أ | شعيب هاشم |
| مناقشا | جامعة الوادي | أستاذ محاضر أ | العقبي عبد العزيز |
| مناقشا | مركز البحث في التكنولوجيات الصناعية الجزائر | أستاذ بحث أ | ركبي فارس محمد العيد |

2025-2024

الإهداء

أهدي هذا العمل المتواضع إلى
أبي رحمه الله وأمي حفصها الله
إلى زوجتي وأولادي: ساجده، عبد القادر، رقية، ريان
إلى كل العائلة الكبيرة والصغيرة
إلى كل الأصدقاء

تشكرات

الشكر لله أولاً وأخيراً الذي أعاننا ووقفنا الى إتمام هذا العمل ثم:

أتقدم بالشكر الجزيل والإحترام إلى السيد:
كريكر عبد الواحد الذي أشرف على هاته الأطروحة

كما اتقدم بالشكر الجزيل للسيد عباني السعيد، المؤطر المساعد
على نصائحه وتوجيهاته.

كما أعبّر عن شكري العميق لأعضاء لجنة المناقشة على قبولهم مناقشة وتقييم هذا العمل.

كما نشكر إدارة معهد التكوين المهني بالوادي على الترخيص باستغلال مخبر البناء والأشغال
العمومية، والدكتورة تريعة فضيلة بمخبر التحليل الكيميائي بكلية التكنولوجيا جامعة الوادي على
المساعدة.

إلى جميع الأساتذة الذين ساعدونا في انجاز هذا العمل من جامعتي الوادي وورقلة.

الفهرس

الفهرس

I	ملخص:	.....
IV	فهرس الاشكال	.....
VIII	فهرس الجداول	.....
X	قائمة الرموز	.....
1	المقدمة العامة	.....

الفصل الأول: عموميات حول الجبس والمواد المركبة ذات الأساس الجبسي

3	1.I. مقدمة	.....
3	2.I. الجبس	.....
4	1.2.I. استعمالات الجبس	.....
4	2.2.I. أنواع الجبس	.....
8	3.2.I. البنية البلورية للجبس	.....
9	4.2.I. التميح والمسك	.....
12	5.2.I. خصائص الجبس الماسك	.....
19	6.2.I. تركيبة الخلطات الجبسية	.....
23	7.2.I. تطبيقات الجبس في ميدان البناء	.....
24	8.2.I. ديمومة البناءات الجبسية:	.....
25	3.I. المواد المركبة	.....
25	1.3.I. تعريف	.....
25	2.3.I. الألياف	.....
25	3.3.I. الألياف الطبيعية	.....
30	4.3.I. المواد المركبة ذات الأساس الجبسي	.....
37	4.I. خلاصة	.....

الفصل الثاني: العزل الحراري، النقل الحراري وطرق قياس الناقلية الحرارية

38	1.II. مقدمة	.....
38	2.II. الراحة الحرارية	.....
38	1.2.II. العوامل المؤثرة على الارتياح الحراري	.....
41	3.II. العزل الحراري	.....
41	1.3.II. تعريف	.....
41	2.3.II. أهمية العزل الحراري	.....
43	3.3.II. مبدا العزل الحراري	.....
43	4.3.II. عزل الجدران والأسطح	.....
44	5.3.II. الجسور الحرارية	.....
45	6.3.II. خصائص المواد العازلة	.....
45	7.3.II. تصنيف المواد العازلة	.....
49	4.II. القانون الجزائري للعزل الحراري للبناء	.....
50	1.4.II. التحقق خلال فترات التسخين	.....
50	2.4.II. التحقق خلال فترات التبريد	.....

50.....	5.5.II مفاهيم عامة حول الحرارة
50.....	1.5.II الحرارة
50.....	2.5.II الحرارة المحسوسة
50.....	3.5.II الحرارة الكامنة
51.....	4.5.II درجة الحرارة
51.....	6.II النقل الحراري
51.....	1.6.II حقل درجة الحرارة
51.....	2.6.II التدرج في درجة الحرارة
52.....	3.6.II التدفق الحراري
52.....	4.6.II كثافة التدفق الحراري
52.....	5.6.II المقاومة الحرارية
52.....	6.6.II معامل التوصيل الحراري
52.....	7.6.II الناقلية الحرارية
54.....	8.6.II الحرارة النوعية
54.....	9.6.II العطالة الحرارية
54.....	10.6.II الانتشارية الحرارية
54.....	11.6.II الانبثاقية الحرارية
55.....	7.II طرق انتقال الحرارة
55.....	1.7.II التوصيل
56.....	2.7.II الحمل
57.....	3.7.II الإشعاع
57.....	8.II حساب التوصيل الحراري
57.....	1.8.II على جدار بسيط
58.....	2.8.II على جدار بطبقات على التسلسل
59.....	3.8.II على جدار بطبقات على التوازي
60.....	9.II طرق قياس الخصائص الحرارية للمواد
60.....	1.9.II طرق القياس في الحالة المستقرة
61.....	2.9.II طرق القياس في الحالة المتغيرة
63.....	10.II خلاصة

الفصل الثالث: خصائص المواد المستعملة

64.....	1.III مقدمة
64.....	2.III الجبس
64.....	1.2.III الخصائص الكيميائية
65.....	2.2.III الخصائص الفيزيائية
66.....	3.III عصيات جريد نخيل التمر
67.....	1.3.III الخصائص الفيزيائية
67.....	2.3.III الخصائص الكيميائية
68.....	3.3.III الخصائص الميكانيكية:
69.....	4.III رمل الكثبان

69	III.4.1. التحليل الكيميائي
69	III.4.2. التحليل الحبيبي:
70	III.4.3. الكتلة الحجمية:
70	III.4.4. المكافئ الرملي:
71	III.5. الاسمنت
72	III.6. رمل البناء
72	III.7. الماء:
72	III.8. دراسة تركيبية الجبس والملاط الجبسي:
72	III.8.1. تركيبية الجبس الخالص:
73	III.8.2. دراسة تركيبية الملاط الجبسي
74	III.9. خلاصة

الفصل الرابع الخصائص الميكانيكية والفيزيائية والحرارية للجبس المدعم بعصيات جريد نخيل التمر

76	IV.1. مقدمة:
76	IV.2. تحضير العينات:
76	IV.2.1. عينات الملاط الاسمنتي:
77	IV.2.2. عينات الجبس الخالص:
77	IV.2.3. عينات الملاط الجبسي:
78	IV.2.4. تحضير جريد نخيل التمر:
78	IV.2.5. عينات الجبس المدعم بجريد نخيل التمر على شكل طبقات (PP+MDPR):
78	IV.2.6. عينات الجبس المدعم بجريد نخيل التمر على شكل حصى (PP+GDPR):
79	IV.2.7. عينات الملاط الجبسي المدعم بجريد نخيل التمر على شكل حصى (PM+GDPR):
79	IV.2.8. عينات الملاط الجبسي المدعم بجريد نخيل التمر على شكل حصى (PM+MDPR):
79	IV.3. الطرق والتجارب:
79	IV.3.1. الكتلة الحجمية الظاهرية:
79	IV.3.2. امتصاص الماء:
80	IV.3.3. اختبار الموجات فوق الصوتية:
80	IV.3.4. مقاومة التحطيم بالانحناء:
80	IV.3.5. مقاومة الضغط:
81	IV.3.6. قياس الناقلية الحرارية والحرارة النوعية:
81	IV.4. تحليل ومناقشة النتائج:
82	IV.4.1. الكتلة الحجمية الظاهرية
85	IV.4.2. سرعة انتقال الأمواج فوق الصوتية للعينات:
86	IV.4.3. معامل المرونة الديناميكي:
88	IV.4.4. الناقلية الحرارية:
93	IV.4.5. الحرارة النوعية:
97	IV.4.6. الانتشارية الحرارية
98	IV.4.7. مقاومة الضغط:
100	IV.4.8. مقاومة الإنحناء:

101	.....	9.4.IV	الامتصاص الكلي للماء
103	.....	10.4.IV	تجربة الغمر والتجفيف
105	.....	11.4.IV	التجارب على النماذج
110	.....	12.4.IV	خلاصة
113	.....		الخلاصة العامة
116	.....		توصيات

ملخص:

الهدف الرئيسي من هاته الدراسة، هو المساهمة في تطوير مواد بناء تتلاءم مع مناخ المناطق الصحراوية، التي يسودها مناخ شديد الحرارة والجفاف صيفا، وشتاء بارد وقليل الامطار. في الوقت الحالي، معظم المباني في المناطق الصحراوية منجزة بالاسمنت الذي يتميز بناقلية حرارية عالية، مما يجعل شروط الراحة الحرارية في هاته المباني غير متوفرة معظم أيام السنة، الامر الذي يؤدي الى زيادة فترات التكييف، وبالتالي زيادة استهلاك الطاقة.

الجزائر والجنوب الجزائري غني بالمواد الطبيعية التي يمكن الاستفادة منها في مجال البناء، ودراسة خصائصها من أجل توسيع استخدامها، من هاته المواد، والتي قمنا بدراستها في هذا البحث الجبس وجريد نخيل التمر.

اثبتت الدراسة ان إضافة عصيات جريد النخيل الى الجبس والملاط الجبسي، ساهم في خفض الناقلية الحرارية والحرارة النوعية، مع الحفاظ على خصائص ميكانيكية مقبولة، فعند اضافة جريد النخيل على شكل طبقات بنسبة 5% الى عينات الجبس، انخفضت الناقلية الحرارية بنسبة 34%. كما سجلنا أعلى فارق بين درجات الحرارة الخارجية والداخلية للمجسمات في المجسم الجبسي المدعم بعصيات جريد النخيل ب 16.6 درجة مئوية.

كلمات مفتاحية: الناقلية الحرارية، الحرارة النوعية، الجبس، رمل الكثبان، عصيات جريد النخيل

Abstract:

The main objective of this study is to contribute to the development of building materials that are compatible with the climate of desert areas, which are characterized by a very hot and dry climate in the summer and a cold and low rainfall winter. Currently, most buildings in desert areas are made of cement, which is characterized by high thermal conductivity, which makes the conditions of thermal comfort in these buildings unavailable most days of the year, which leads to increased air conditioning periods and thus increased energy consumption.

Algeria and the Algerian South are rich in natural materials that can be used in the field of construction, and their properties can be studied in order to expand their use, among these materials that we studied in this research, plaster and date palm rachis.

The study proved that the addition of date palm rachis to plaster and plaster mortar contributed to reducing the thermal conductivity and specific heat, while maintaining acceptable mechanical properties, when date palm rachis was added in layers of 5% to plaster samples, the thermal conductivity decreased by 34%. We also recorded the highest difference between the external and internal temperatures in the prototype built by date palm rachis reinforced plaster with 16.6 °C

Keywords: Thermal conductivity, specific heat, plaster, dune sand, date palm rachis

Résumé :

L'objectif principal de cette étude est de contribuer au développement de matériaux de construction adaptés au climat des régions sahariennes, qui se caractérisent par un climat très chaud et sec en été et un hiver froid avec peu de précipitations. Actuellement, la plupart des bâtiments dans les régions sahariennes sont construits avec du ciment, qui se caractérise par une conductivité thermique élevée, rendant les conditions de confort thermique dans ces bâtiments indisponibles pendant la majeure partie de l'année, ce qui entraîne une augmentation des périodes de climatisation et, par conséquent, une augmentation de la consommation d'énergie.

L'Algérie et le Sud algérien sont riches en matériaux naturels qui peuvent être utilisés dans le domaine de la construction, et leurs propriétés peuvent être étudiées afin d'étendre leur utilisation, Parmi ces matériaux que nous avons étudiés dans cette recherche, le gypse et les rachis de palmier dattier.

Cette étude a montré que l'ajout de rachis de palmier dattier au plâtre et au mortier de plâtre contribuait à réduire la conductivité thermique et la chaleur spécifique, tout en maintenant des propriétés mécaniques acceptables. Lorsque des rachis de palmier dattier ont été ajoutés en couches de 5 % aux échantillons de plâtre, la conductivité thermique a été réduite de 34 %. La différence la plus élevée entre les températures externes et internes des prototypes a été enregistrée dans le prototype de plâtre renforcé avec des rachis de palmier dattier avec 16,6 °C.

Mots-clés : Conductivité thermique, chaleur spécifique, plâtre, sable de dune, rachis de palmier dattier

فهرس الاشكال

- الشكل 1.1: صور الجبس في الطبيعة..... 5
- الشكل 2.1 نوع الجبس حسب درجة الحرارة وضغط بخار الماء..... 6
- الشكل 3.1: بنية بلورة الجبس 8
- الشكل 4.1 نموذج الهياكل الذرية للجبس 8
- الشكل 5.1 درجة الذوبان لكبريتات الكالسيوم حسب درجة الحرارة..... 9
- الشكل 6.1 تغير درجة حرارة تمييه الجبس بدلالة للزمن ($E/P=0.6$)..... 10
- الشكل 7.1 صورة المجهر الإلكتروني الماسح للجبس النصف ممييه..... 10
- الشكل 8.1 تغير المقاومة الكهربائية كدالة للوقت اثناء التمييه ($E/P = 0.6$)..... 10
- الشكل 9.1 التغير في الابعاد للجبس أثناء الاماهة..... 11
- الشكل 10.1 تغير الشكل البلوري للجبس بإضافة مثبطات التمييه..... 12
- الشكل 11.1 التغير في درجة الحرارة مع زمن التمييه للجبس..... 12
- الشكل 12.1 صورة المجهر الإلكتروني (MEB) للجبس الماسك..... 13
- الشكل 13.1 تغير مقاومة الضغط بدلالة نسبة الماء للجبس..... 13
- الشكل 14.1 تغير مقاومة الضغط بدلالة نسبة الماء للملاط الجبسي..... 13
- الشكل 15.1 تغير معامل المرونة بحسب التوزيع الحبيبي للجبس ($E/P=0.5$)..... 14
- الشكل 16.1 منحى الاجهاد والتشوه للجبس الجاف والمشبع بتجربة الانحناء..... 15
- الشكل 17.1 تغير المقاومة الحدية للضغط للجبس الماسك بدلالة نسبة امتصاص الماء ($E/P=0.6$)..... 15
- الشكل 18.1 تغير الناقلية الحرارية للجبس الماسك بتغير درجة الحرارة..... 16
- الشكل 19.1 معايير تصنيف المواد لمقاومة الحريق..... 17
- الشكل 20.1 العينات بعد تعريضها لدرجة حرارة 400 °C..... 17
- الشكل 21.1 العينات بعد تعريضها لدرجة حرارة 1000 °C..... 18
- الشكل 22.1 مقاومة الضغط (أ) والإنحناء (ب) للجبس والملاط الجبسي بتغير درجة الحرارة..... 18
- الشكل 23.1 التحليل الوزني الحراري (TGA) للجبس..... 18
- الشكل 24.1 التغير في المسامية كدالة لنسبة الخلط (E/P)..... 19
- الشكل 25.1 تأثير الإضافات ذات الكثافة العالية على الكثافة الظاهرية للجبس الخلوي..... 20
- الشكل 26.1 تأثير اضافة البيرلايت على الكثافة الظاهرية للجبس الخلوي..... 20
- الشكل 27.1 تأثير الإضافات على مقاومة الضغط للجبس الخلوي..... 20
- الشكل 28.1 تأثير نسبة الرمل على مقاومة الضغط للملاط الجبسي..... 21
- الشكل 29.1 تأثير طول الألياف على مقاومة الضغط للخرسانة الجبسية..... 22
- الشكل 30.1 تأثير النسبة (S/G) على تشغيلية الخرسانة الجبسية..... 22
- الشكل 31.1 ترميم الزاوية التجانية بالجبس 2022..... 24
- الشكل 32.1 تغير مقاومة الضغط للجبس بدلالة عدد دورات التجميد والذوبان..... 24
- الشكل 33.1 تغير مقاومة الإنحناء للجبس بدلالة عدد دورات التجميد والذوبان..... 25
- الشكل 34.1 السلوك الميكانيكي للمواد المركبة..... 25
- الشكل 35.1 الشكل الحلزوني للخيوط الليفية للألياف النباتية..... 28
- الشكل 36.1 اجهاد الشد بدلالة نسبة السيليولوز لبعض الألياف النباتية..... 28
- الشكل 37.1 اجهاد الشد بدلالة الزاوية الحلزونية للخيوط الليفية لبعض الألياف النباتية..... 29

- الشكل 38.1 منحني القوة/الازاحة للجبس والجبس المدعم بألياف القنب والكتان 31
- الشكل 39.1 مقاومة الانحناء للجبس المدعم بألياف الكتان 31
- الشكل 40.1 الناقلية الحرارية للجبس المدعم بألياف الكتان 32
- الشكل 41.1 تغير الناقلية الحرارية بزيادة نسبة الألياف 33
- الشكل 42.1 تغير مقاومة الإنحناء بدلالة طول الألياف 33
- الشكل 43.1 تغير مقاومة الضغط بدلالة طول الألياف 33
- الشكل 44.1 تغير الناقلية الحرارية بدلالة طول ونسبة الألياف 34
- الشكل 45.1 تغير الحرارة النوعية بدلالة طول ونسبة الألياف 34
- الشكل 46.1 التدرج الحبيبي للنوعين من بقايا الخشب 35
- الشكل 47.1 الانخفاض في الكتلة حسب عدد دورات الغمر والتجفيف 35
- الشكل 48.1 الانخفاض في مقاومة الإنحناء حسب عدد دورات الغمر والتجفيف 35
- الشكل 49.1 مقاومة الإنحناء للجبس والجبس المدعم ببقايا الخشب والبلاستيك 36
- الشكل 50.1 الناقلية الحرارية والكثافة للجبس المدعم ببقايا الخشب والبلاستيك 36
- الشكل 1.11 نسبة عدم الرضى عن الراحة الحرارية بتغير درجة الحرارة 39
- الشكل 2.11 مجال الارتياح الحراري حسب درجة الحرارة والرطوبة 40
- الشكل 3.11 تغير درجات حرارة الراحة حسب السرعة النسبية للهواء 40
- الشكل 4.11 زيادة تركيز غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي 43
- الشكل 6.11 العزل الحراري الداخلي للجدران 43
- الشكل 7.11 العزل الحراري الخارجي للجدران 44
- الشكل 8.11 أماكن تولد الجسور الحرارية بالنسبة للعزل الداخلي والعزل الخارجي لمبنى 45
- الشكل 9.11 حشو السليلوز على شكل الواح 46
- الشكل 10.11 الفلين الممدد 46
- الشكل 11.11 لوح ألياف الخشب للعزل الخارجي 47
- الشكل 12.11 صوف القنب على شكل لفائف 47
- الشكل 13.11 الصوف الزجاجي على شكل لفائف 48
- الشكل 14.11 الصوف الزجاجي على شكل الواح 48
- الشكل 15.11 البوليستيران الممدد على شكل الواح 49
- الشكل 16.11 الناقلية الحرارية للبوليريثان (PUR) مقارنة بالصوف الصخري (SW) 49
- الشكل 17.11 التغير في الناقلية الحرارية لبعض المعادن حسب درجة الحرارة 53
- الشكل 18.11 انتقال الحرارة بالتوصيل 55
- الشكل 19.11 انتقال الحرارة بالحمل 56
- الشكل 20.11 مخطط نقل الحرارة بالحمل 56
- الشكل 21.11 التوصيل الحراري لجدار بسيط 57
- الشكل 22.11 التخطيط المكافئ لجدار بسيط 58
- الشكل 23.11 التوصيل الحراري في جدار متعدد الطبقات 58
- الشكل 24.11 جدار من ثلاث طبقات موضوعة على التوازي 59
- الشكل 25.11 مبدا قياس الناقلية الحرارية بالصفحة الساخنة المحمية 60
- الشكل 26.11 رسم تخطيطي لطريقة مقياس التدفق الحراري 61
- الشكل 27.11 مسبار القياس 62

62.....	الشكل 28. II جهاز CT-mètre
63.....	الشكل 29. II مخطط ومبدأ طريقة فلاش الليزر
65.....	الشكل 1. III التحليل الكيميائي بالأشعة السينية للجبس
66.....	الشكل 2. III مقطع طولي بالمجهر الضوئي لعصيات جريد النخيل
66.....	الشكل 3. III السطح الخارجي لعصيات جريد النخيل
67.....	الشكل 4. III تغير النسب الحجمية للألياف واللينين في جريد النخيل حسب موضع القطع
67.....	الشكل 5. III حركية امتصاص الماء لعصيات جريد نخيل التمر
68.....	الشكل 6. III التحليل الكيميائي بالأشعة السينية لمسحوق عصيات الجريد
68.....	الشكل 7. III صورة بالمجهر الالكتروني الماسح لألياف عصيات الجريد
69.....	الشكل 8. III صورة بالمجهر الضوئي لرمل الكتبان المستعمل
70.....	الشكل 9. III منحى التدرج الحبيبي بالغريلة لرمل الكتبان
72.....	الشكل 10. III منحى التدرج الحبيبي بالغريلة لرمل منطقة عسيلة
73.....	الشكل 11. III تغير مقاومة الضغط Rc بدلالة نسبة الماء للجبس
73.....	الشكل 12. III تغير مقاومة الإنحناء Rf بدلالة نسبة الماء للجبس
74.....	الشكل 13. III تغير مقاومة الضغط Rc بدلالة نسبة رمل الكتبان للملاط الجبسي
74.....	الشكل 14. III تغير مقاومة الإنحناء Rf بدلالة نسبة رمل الكتبان للملاط الجبسي
78.....	الشكل 1. IV عصيات جريد نخيل التمر للوضع على شكل طبقات (MDPR)
79.....	الشكل 2. IV عصيات جريد نخيل التمر على شكل حصى (GDPR)
80.....	الشكل 3. IV الانحناء بثلاث نقاط
81.....	الشكل 4. IV تجربة التحطيم بالضغط
82.....	الشكل 5. IV تغير الكتلة الحجمية للجبس بدلالة نسبة الماء
83.....	الشكل 6. IV تغير الكتلة الحجمية للملاط الجبسي بدلالة نسبة الرمل
83.....	الشكل 7. IV تغير الكتلة الحجمية بدلالة نسبة (MDPR) لعينات (PP+MDPR)
84.....	الشكل 8. IV تغير الكتلة الحجمية بدلالة نسبة (GDPR) لعينات (PP+GDPR)
84.....	الشكل 9. IV تغير الكتلة الحجمية بدلالة نسبة (MDPR) لعينات (PM+MDPR)
85.....	الشكل 10. IV تغير الكتلة الحجمية بدلالة نسبة (GDPR) لعينات (PM+GDPR)
86.....	الشكل 11. IV تغير سرعة الأمواج فوق الصوتية بدلالة نسبة (DPR)
86.....	الشكل 12. IV تغير سرعة الأمواج فوق الصوتية بدلالة نسبة (DPR)
87.....	الشكل 13. IV تغير معامل المرونة الديناميكي بدلالة نسبة (DPR)
88.....	الشكل 14. IV تغير معامل المرونة الديناميكي بدلالة نسبة (DPR)
88.....	الشكل 15. IV تغير الناقلية الحرارية بدلالة النسبة (E/P) لعينات (PP)
89.....	الشكل 16. IV تغير الناقلية الحرارية للملاط الجبسي بدلالة النسبة (S/P)
90.....	الشكل 17. IV تغير الناقلية الحرارية بدلالة نسبة (MDPR) لعينات (PP+MDPR)
90.....	الشكل 18. IV تغير الناقلية الحرارية بدلالة نسبة (GDPR) لعينات (PP+GDPR)
91.....	الشكل 19. IV تغير الناقلية الحرارية بدلالة نسبة (MDPR) لعينات (PM+MDPR)
91.....	الشكل 20. IV تغير الناقلية الحرارية بدلالة نسبة (GDPR) لعينات (PM+GDPR)
92.....	الشكل 21. IV تغير الناقلية الحرارية بدلالة الكتلة الحجمية
92.....	الشكل 22. IV تغير الناقلية الحرارية بدلالة الكتلة الحجمية
93.....	الشكل 23. IV تغير الناقلية الحرارية بدلالة سرعة الأمواج فوق الصوتية

- الشكل 24.Ⅳ تغير الناقلية الحرارية بدلالة سرعة الأمواج فوق الصوتية.....93
- الشكل 25.Ⅳ تغير الحرارة النوعية بدلالة نسبة الرمل لعينات (PM)94
- الشكل 26.Ⅳ تغير الحرارة النوعية بدلالة نسبة (DPR)94
- الشكل 27.Ⅳ تغير الحرارة النوعية بدلالة نسبة (DPR)95
- الشكل 28.Ⅳ تغير الحرارة النوعية بدلالة الكتلة الحجمية لعينات96
- الشكل 29.Ⅳ تغير الحرارة النوعية بدلالة الكتلة الحجمية لعينات96
- الشكل 30.Ⅳ تغير الحرارة النوعية بدلالة سرعة الأمواج فوق الصوتية.....96
- الشكل 31.Ⅳ تغير الحرارة النوعية بدلالة سرعة الأمواج فوق الصوتية.....97
- الشكل 34.Ⅳ. تغير الانتشارية الحرارية لعينات (PP) بدلالة (DPR%)98
- الشكل 35.Ⅳ تغير الانتشارية الحرارية لعينات (PM) بدلالة (DPR%)98
- الشكل 36.Ⅳ نتائج مقاومة الضغط لعينات (PP+MDPR) و (PP+GDPR).....99
- الشكل 37.Ⅳ نتائج مقاومة الضغط لعينات (PM+MDPR) و (PM+GDPR).....99
- الشكل 38.Ⅳ نتائج مقاومة الإنحناء لعينات (PP+MDPR) و (PP+GDPR).....100
- الشكل 39.Ⅳ نتائج مقاومة الإنحناء لعينات (PM+MDPR) و (PM+GDPR).....101
- الشكل 40.Ⅳ امتصاص الماء بدلالة نسبة الرمل للملاط الجبسي.....102
- الشكل 41.Ⅳ امتصاص الماء بدلالة نسبة (GDPR%) لعينات الجبس والملاط الجبسي102
- الشكل 42.Ⅳ نسبة الضياع في الكتلة بدلالة عدد دورات الغمر والتجفيف104
- الشكل 43.Ⅳ نسبة الانخفاض في مقاومة الانحناء بدلالة عدد دورات الغمر والتجفيف.....104
- الشكل 44.Ⅳ نسبة الانخفاض في مقاومة الضغط بدلالة عدد دورات الغمر والتجفيف105
- الشكل 45.Ⅳ تغير درجة الحرارة الداخلية للمجسمات داخل المجفف بدلالة الزمن106
- الشكل 46.Ⅳ تغير درجة الحرارة الداخلية للمجسمات والحرارة الخارجية بدلالة التوقيت.....108
- الشكل 47.Ⅳ الفارق في درجات الحرارة الداخلية والخارجية للمجسمات بدلالة التوقيت.....109
- الشكل 48.Ⅳ مقارنة الحرارة الداخلية للمجسمات بمجال الارتياح الحراري109

فهرس الجداول

3	الجدول 1.1: انتاج واحتياطي بعض الدول من خام الجبس لسنة 2022.....
6	الجدول 2.1: مراحل نزع الماء من الجبس.....
7	الجدول 3.1: خصائص الجبس النصف مائي.....
14	الجدول 4.1: مقاومة الانحناء للجبس الماسك (E/P=1).....
14	الجدول 5.1: الاجهاد الحدي للجبس الماسك (E/P=0.82) بواسطة تجربة الانحناء بثلاث نقاط.....
15	الجدول 6.1: الخصائص الفيزيائية والحرارية للجبس الماسك.....
16	الجدول 7.1: الناقلية الحرارية للجبس الماسك.....
20	الجدول 8.1: مقاومة الضغط عند 28 يوم للجبس الماسك.....
21	الجدول 9.1: مقاومة الضغط عند 28 يوم للملاط الجبسي.....
26	الجدول 10.1: تصنيف الألياف الطبيعية حسب مصدرها.....
27	الجدول 11.1: خصائص بعض الالياف اللحائية.....
27	الجدول 12.1: التركيب الكيميائي لبعض الالياف.....
28	الجدول 13.1: التركيب الكيميائي لألياف نخيل التمر.....
29	الجدول 14.1: مقارنة الخصائص الميكانيكية للألياف الصناعية والنباتية.....
29	الجدول 15.1: الخصائص الفيزيائية لألياف نخيل التمر.....
30	الجدول 16.1: مزايا وعيوب الألياف النباتية.....
30	الجدول 17.1: تأثير معالجة الالياف على زمن المسك للجبس.....
31	الجدول 18.1: تأثير معالجة الالياف على مقاومة الإنحناء.....
32	الجدول 19.1: تأثير إضافة الالياف على مقاومة الإنحناء والضغط للجبس.....
32	الجدول 20.1: تأثير إضافة الالياف على مقاومة الإنحناء والضغط للجبس.....
41	الجدول (1.ii): الحرارة الناتجة عن جسم الانسان حسب نوع النشاط.....
53	الجدول (2.ii): الناقلية الحرارية لبعض المواد.....
64	الجدول 1.iii: التحليل الكيميائي للجبس.....
65	الجدول 2.iii: التحليل الكيميائي للجبس المستعمل.....
65	الجدول 3.iii: الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للجبس المستعمل.....
67	الجدول 4.iii: الخصائص الفيزيائية لعصيات جريد نخيل التمر.....
68	الجدول 5.iii: التحليل الكيميائي لعصيات الجريد.....
69	الجدول 6.iii: الخصائص الميكانيكية لعصيات جريد نخيل التمر.....
69	الجدول 7.iii: الخصائص الميكانيكية لألياف عصيات جريد نخيل التمر.....
69	الجدول 8.iii: نتائج التحليل الكيميائي للرمل المستعمل.....
70	الجدول 9.iii: نتائج التحليل الحبيبي بالغريلة للرمل.....
71	الجدول 10.iii: الخصائص الميكانيكية للإسمنت المستعمل.....
71	الجدول 11.iii: الخصائص الكيميائية (NA 5042).....
71	الجدول 12.iii: التركيب المعدني للإسمنت (الكلنكر).....
71	الجدول 13.iii: الخصائص الفيزيائية للإسمنت.....
73	الجدول 14.iii: نتائج تجارب الضغط والإنحناء على عينات الجبس الخالص.....
73	الجدول 15.iii: نتائج تجارب الضغط والإنحناء على عينات الجبس الملاط الجبسي.....
77	الجدول 1.iv: كميات المواد المستعملة في عينات الملاط الاسمنتي.....

77.....	الجدول 2.1V كميات المواد المستعملة في عينات الجبس الخالص.
77.....	الجدول 3.1V كميات المواد المستعملة في عينات الملاط الجبسي.
82.....	الجدول 4.1V الكتلة الحجمية للجبس الخالص بتغير نسبة الماء.
82.....	الجدول 5.1V الكتلة الحجمية للملاط الجبسي بتغير نسبة الرمل.
83.....	الجدول 6.1V الكتلة الحجمية الظاهرية لعينات للجبس والملاط الجبسي المدعم بعصيات جريد النخيل.
85.....	الجدول 7.1V سرعة الأمواج فوق الصوتية للعينات.
87.....	الجدول 8.1V معامل المرونة الديناميكي للعينات.
88.....	الجدول 9.1V نتائج قياس الناقلية الحرارية للجبس الخالص.
89.....	الجدول 10.1V نتائج قياس الناقلية الحرارية للملاط الجبسي.
89.....	الجدول 11.1V نتائج قياس الناقلية الحرارية لمختلف العينات.
93.....	الجدول 12.1V نتائج قياس الحرارة النوعية للملاط الجبسي.
94.....	الجدول 13.1V نتائج قياس الحرارة النوعية لمختلف العينات.
97.....	الجدول 14.1V الانتشارية الحرارية لمختلف العينات.
98.....	الجدول 16.1V نتائج تجربة الضغط لمختلف العينات.
100.....	الجدول 17.1V نتائج تجربة الإنحناء لمختلف العينات.
101.....	الجدول 18.1V نسبة امتصاص الماء لعينات الجبس والملاط الجبسي.
102.....	الجدول 19.1V نسبة امتصاص الماء لعينات الجبس (PP) والملاط الجبسي (PM).
103.....	الجدول 20.1V نتائج تجربة الغمر والتجفيف.
105.....	الجدول 21.1V درجة الحرارة الداخلية للمجسمات داخل المجفف.
107.....	الجدول 22.1V نتائج قياسات درجة الحرارة الداخلية للمجسمات والحرارة الخارجية.

قائمة الرموز

الماء :	E
الجبس :	P
الرمل، مساحة السطح :	S
الاسمنت :	CM
عصيات جريد النخيل :	DPR
عصيات جريد النخيل على شكل طبقات :	MDP
عصيات جريد النخيل على شكل حصى :	GDP
الكتلة الحجمية الظاهرية :	ρ_a
الكتلة الحجمية المطلقة :	ρ_s
مقاومة الضغط :	Rc
مقاومة الإحناء :	Rf
معامل المرونة الديناميكي :	Ed
معامل المرونة الستاتيكي :	E
معامل النعومة :	Mf
المكافئ الرملي :	Es
نسبة امتصاص الماء :	W%
المعايير الأوروبية :	EN
المعايير الجزائرية :	NA
المعايير الفرنسية :	NF
درجة الحرارة :	T
كيلفين :	K
درجة مئوية :	C°
الكتلة :	m
ثابت بولتزمان :	k
التدفق الحراري :	φ
كمية الحرارة :	Q
الناقلية الحرارية :	λ
المقاومة الحرارية :	R _t
واط :	W
جول :	J
الحرارة النوعية الكتلية :	C _p
الحرارة النوعية الحجمية :	C _v
المجهر الالكتروني الماسح :	MEB

المقدمة العامة

مقدمة عامة

يتم تصميم المباني لحماية المستخدمين من التأثيرات المناخية (الحرارة والبرودة)، من خلال إنشاء مناخ داخلي مناسب للقيام بمختلف الأنشطة، مع ضمان إدارة فعالة للطاقة. قطاع البناء يعتبر مستهلكًا رئيسيًا للطاقة (ما يقرب من 35% الاستهلاك العالمي)، وهو مسؤول أيضًا عن 38% من انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري [1]. إن الحد من هذا الاستهلاك هو في صميم اهتمامات الباحثين الذين يركزون جهودهم في إطار التنمية المستدامة والمحافظة على البيئة.

ولتحقيق هذه الأهداف، ظهرت عدة حلول تم تطويرها من خلال زيادة عزل المكونات المختلفة (جدران، أسقف... بشكل كبير لمنع تسرب الحرارة من وإلى الداخل قدر الإمكان. حتى وقت قريب، كان مبدأ العزل الحراري في البناء قائمًا على وضع طبقات من مواد عازلة على الجدران والأسقف، ومع ذلك، فإن تراكم المواد هذا يصبح أقل جاذبية من الناحية الجمالية، كما أنها باهظة الثمن، وينتهي بها الأمر باحتلال حجم كبير، وهذا ما يفسر تطور تقنيات البناء وتطوير مواد جديدة تستخدم للعزل الحراري، والتي يمكن أن تقلل من تكلفة البناء من ناحية، وتخفف فاتورة الطاقة من ناحية أخرى، قادرة على تحسين العزل الحراري مع الحفاظ على خصائص ميكانيكية كافية.

يتميز الجنوب الجزائري بمناخ حار وجاف صيفًا، وبارد شتاءً، مع فارق كبير بين الحد الأدنى والحد الأقصى لدرجة الحرارة، وعلى الرغم من توفر مواد بناء محلية (جبس، طين، رمل...)، والتي أثبتت فعاليتها من الناحية الميكانيكية والعزل الحراري، فإن أغلب البنايات الحديثة تستعمل الخرسانة المسلحة ومواد بناء إسمنتية (طوب إسمنتي، تلبس بالملاط الأسمنتي)، والتي لها عزل حراري ضعيف، لذلك بات من الضروري التفكير في إيجاد مواد بناء محلية تتناسب مع متطلبات البناء الحديثة وتتلاءم مع مناخ المنطقة.

في هذا الإطار يقوم مخبر استغلال وتثمين الموارد الطبيعية في المناطق الجافة (E.V.R.N.Z.A) بجامعة قاصدي مرياح ورقلة بعدة أبحاث ودراسات حول العزل الحراري على مواد البناء المستعملة بالمناطق الصحراوية الأجر الأحمر، الجبس... قصد تحسين خصائصها الفيزيائية والحرارية [2], [3].

العمل الذي بين أيدينا بصفة عامة يهدف إلى تحسين الخصائص الحرارية للبنات الجبس باستعمال مواد محلية متوفرة بالمنطقة (الجبس، رمل الكتبان، جريد نخيل التمر) ودراسة خصائصها الميكانيكية والفيزيائية والحرارية، العمل مقسم إلى أربعة فصول تطرقنا فيها إلى:

الفصل الأول مقسم إلى جزئين، في الجزء الأول منه تطرقنا إلى عموميات حول الجبس، قدمنا فيه نبذة تاريخية حول بدايات استعمال الجبس كمادة للبناء وبعض الإحصائيات حول الاحتياطات العالمية من خام الجبس، واستعمالات الجبس الأخرى خارج وداخل قطاع البناء، حيث سردنا عدة دراسات حديثة تهدف إلى توسيع استعمال الجبس في مجال البناء، من خلال نماذج لبناءات جبسية، كما تطرقنا إلى الخصائص الميكانيكية والفيزيائية والحرارية للجبس.

في الجزء الثاني من الفصل الأول بحثنا في المواد المركبة ذات الأساس الجبسي، في بدايته اعطينا نبذة حول الالياف التي تستعمل كعناصر تقوية للجبس بغرض تحسين خصائصه الميكانيكية والحرارية، وركزنا بحثنا على الالياف النباتية وبالتحديد الياف نخيل التمر موضوع دراستنا، واستشهدنا بنماذج لدراسات سابقة لمواد مركبة ذات أساس جبسي مدعمة بألياف نباتية، حيث استعمل الجبس الخالص والملاط الجبسي وخرسانة

الجبس كمادة أساس ، والالياف النباتية كعناصر تقوية، ودرسنا مدى تأثيرها على الخصائص الميكانيكية والفيزيائية والحرارية للمادة المركبة.

في الفصل الثاني مقسم الى ثلاثة أجزاء:

الجزء الأول يتضمن مفهوم درجة الحرارة والراحة الحرارية والعوامل المؤثرة على الارتياح الحراري، كما تطرقنا الى مفهوم العزل الحراري واهميته في توفير الراحة الحرارية وتقليل استهلاك الطاقة، ثم خصائص المواد العازلة وتصنيفها، حيث تصنف الى عوازل عضوية وعوازل معدنية ومواد عازلة صناعية، اعطينا امثلة على كل نوع واجرينا مقارنة بينها فيما يخص خصائصها الحرارية.

الجزء الثاني تناولنا فيه طرق انتقال الحرارة في المادة والخصائص الحرارية التي تميز المواد العازلة كالناقلية الحرارية والحرارة النوعية والانتشارية الحرارية.

في الجزء الثالث تطرقنا الى طرق قياس الخصائص الحرارية للمواد في الحالة المستقرة والحالة المتغيرة، والمقارنة بينها وذكرنا بعض أجهزة القياس المستعملة في ذلك.

الفصل الثالث خصص لخصائص المواد المستعملة في الدراسة.

في الفصل الرابع استعرضنا فيه كفاءات وطرق اعداد العينات، ونتائج مختلف التجارب على الجبس والملاط الجبسي المدعمن بعصيات جريد النخيل على شكل حصى وعلى شكل طبقات، أجرينا عدة تجارب تخص الخصائص الميكانيكية والفيزيائية والحرارية على العينات، ومقارنتها بعينات الاسمنت ودراسات سابقة، كما درسنا ديمومة الجبس والجبس المدعم بعصيات جريد النخيل من خلال تجارب الامتصاص وتجربة الغمر والتجفيف.

في اخر هذا الفصل وكحوصلة للدراسة قمنا بإنجاز نماذج جبسية داخل المخبر وفي الهواء الطلق لاختبار خصائصها الحرارية ومقارنتها بالنماذج الاسمنتية.

ختمنا الدراسة بملخص عامة لخصنا فيها اهم النتائج المتحصل عليها وجملة من التوصيات لتثمين الجبس وتوسيع استعماله خاصة في المناطق الصحراوية.

**الفصل الأول: عموميات حول
الجبس والمواد المركبة ذات الأساس
الجبسي**

1.1. مقدمة

الجبس، المعروف علمياً باسم كبريتات الكالسيوم المائية، هو مادة طبيعية استخدمت عبر التاريخ في العديد من الثقافات والحضارات، حيث استخدمه المصريون القدماء الجبس في بناء الأهرامات والمعابد. سهولة إنتاجه إذ أنه لا يتطلب درجات حرارة عالية لصناعته وتوفر خاماته ساعدت في توسع استعماله في مجال البناء، حيث استعمل كمسحوق يخلط بالماء لتشكيل عجينة الجبس. حالياً مازال الجبس يستعمل بالشكل التقليدي أو على شكل الواح مسبقة التصنيع، ولتحسين خصائصه الميكانيكية والفيزيائية تم تدعيم الجبس بعناصر تقوية من الألياف الصناعية والنباتية.

في هذا الفصل سنتطرق الى بعض الدراسات التي أنجزت على الجبس والألياف، والجبس المدعم بالألياف النباتية بصفة عامة وعلى الجبس المدعم بألياف نخيل التمر موضوع البحث بصفة خاصة.

2.1. الجبس

الجبس ينتمي إلى عائلة الصخور الرسوبية المتبخرة التي هي أكثر الصخور الرسوبية قابلية للذوبان في الماء. عموماً، ينتج عن تبخر مياه البحيرات المشبعة بالملح، ومع ذلك، هناك عدة نظريات حول الظروف التي سمحت بترسيب طبقات جبس نقي جداً وسماكتها الكبيرة (تصل إلى 18-20 متر). الجبس من أكثر معادن الكبريتات انتشاراً في الطبيعة حيث يوجد بشكل رئيسي في الأشكال التالية:

- مميّه مع اثنتين من جزيئات الماء لكل جزيء من كبريتات الكالسيوم ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$): وهو الجبس.
- غير مميّه (CaSO_4): وهو الأنهدريت.

يمكن أيضاً أن نجده في بعض الظروف الجيولوجية الخاصة، مميها بجزء من جزيء الماء لكل جزيء من كبريتات الكالسيوم: ويسمى باسانيت ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$)، غير مستقر في الظروف العادية والتي لا توجد إلا بكمية قليلة (أقل من 1% من الكتلة) في الجبس.

الجبس والأنهدريت موجودان أيضاً كنواتج فرعية لبعض الصناعات الكيميائية أو كناتج لعملية إزالة الكبريت من الدخان التي يمكن استخدامها، بجانب كبريتات الكالسيوم الطبيعية، لصناعة الجبس ومنتجات الجبس [4]. ينتج الجبس بكميات واسعة حيث بلغ الإنتاج العالمي لخام الجبس لسنة 2022 أكثر من 150 مليون طن، في حين بلغ إنتاج الجزائر من هذه المادة 2.5 مليون طن، معظم هاته الكميات يستهلكها قطاع البناء وصناعة الاسمنت والزراعة [5].

الجدول 1.1: إنتاج واحتياطي بعض الدول من خام الجبس لسنة 2022 [5].

الدولة	(الكمية مليون طن)	الاحتياطي (مليون طن)
الولايات المتحدة	21	700
الجزائر	2.5	غير متوفر
البرازيل	2	450
كندا	2.4	450
الصين	13	1500
فرنسا	2	350
ألمانيا	5.2	غير متوفر

1.2.1. استعمالات الجبس

يستهلك الجبس بكميات كبيرة في جميع أنحاء العالم، بشكل رئيسي للاستخدام في البناء نظراً لخصائصه الفيزيائية. كما يستخدم في عدة مجالات نذكر منها [6]:

- صناعة الإسمنت البورتلاندي، حيث يتم إضافة الجبس إلى الكلنكر أثناء عملية الطحن بنسبة تتراوح بين 3 إلى 4% من الوزن لتأخير وتنظيم تماسك الأسمنت
- تصنيع الزجاج حيث تستخدم كميات صغيرة جداً من الجبس النقي جداً في مجموعة واسعة من التطبيقات الصناعية، بما في ذلك صناعة الزجاج.
- يتم استخدام الجبس عالي النقاء أيضاً في تصنيع المواد المضافة للأغذية والمستحضرات الصيدلانية والبوليمرات بما في ذلك البلاستيك الحراري والبلاستيك الحراري القابل للتشكيل والطلاء.
- يستخدم الجبس في الزراعة كمصدر للكالسيوم والكبريت في التربة، كما يستخدم في معالجة قلووية التربة الزراعية نظراً لانخفاض تكلفته وتأثيره البيئي المحدود مقارنة بالإضافات الكيماوية الأخرى.
- يستخدم في الطب كجباير لمعالجة الكسور والرضوض، يخلط مع نسيج طبي من القطن يضاف إليه الماء ليتحول إلى نسيج صلب.

2.2.1. أنواع الجبس**1.2.2.1. الجبس الطبيعي**

يتواجد خام الجبس على سطح الأرض أو على أعماق تصل إلى 350 متر بعدة أشكال أهمها:

1.1.2.2.1. السيلينايت:

وهو من اجود أنواع الجبس، يتواجد السيلينايت على شكل بلورات جبس مسطحة ومتشابكة في بعض الأحيان (2 مم). تكون بلورات السيلينايت عادة شفافة وعديمة اللون. تترسب هذه البلورات تحت مستوى الماء، وتظهر لمعاناً شبيهاً باللؤلؤ [6].

2.1.2.2.1. المرمر (الألباستر)

نوع من الجبس الأبيض الكتلي ذو حبيبات ناعمة جداً، كما يوجد باللون البرتقالي. وقد استعمله القدماء منذ غابر الأزمان في نحت التماثيل وصنع أدوات الزينة [6].

3.1.2.2.1. زهرة الرمال

في المناطق الصحراوية الجافة، يتكون الجبس عند مستوى طبقة الماء على شكل زهرة تكون عادة غير شفافة مع حبيبات رمل مدمجة تسمى وردة الرمال [6].

4.1.2.2.1. الجبس الصخري

وهو نوع متماسك قشري أو محبب وعادة ما يكون غير نقي.

5.1.2.2.1. جبس الألياف المتوازية (ستانسباير)

أو الجبس الحريري، هو شكل من أشكال الجبس الذي يتميز بنسيجه اللين والحريري. يتكون عن طريق تبخر الماء في الكهوف الجوفية، وتنمو الألياف بشكل متوازٍ مع بعضها البعض، مما يعطيه المظهر الحريري [6].



(ج) ألياف متوازية



(ب) المرمر



(أ) السيلينايت



(هـ) الجبس الصخري



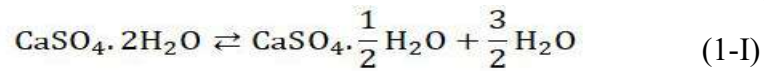
(د) زهرة الرمال

الشكل 1: صور الجبس في الطبيعة [6]

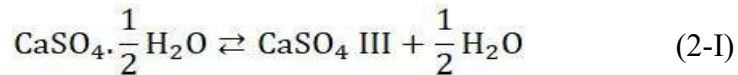
2.2.2.1. تصنيع الجبس الطبيعي

تعتمد صناعة الجبس على مبدأ بسيط نسبياً: إزالة كلياً أو جزئياً للماء من تركيبة خام الجبس، يصحب هاته العملية تغيراً في البنية البلورية للجبس حسب درجة الحرارة وطريقة التصنيع. تحت تأثير الحرارة، يتحول خام الجبس إلى جبس منزوع الماء جزئياً أو كلياً.

عند 100 درجة مئوية، نحصل على جبس نصف مائي α تحت ضغط بخار الماء، أو على جبس نصف مائي β في الهواء الطلق وفقاً للتفاعل:



الجبس α نصف مائي متبلور ذو خصائص ميكانيكية عالية مقارنة بالجبس النصف مائي β ، الجدول (2.1) عند 200 درجة مئوية، نحصل على الأنهدريت III أو الأنهدريت القابل للذوبان (غير مستقر)، عند تلامسه بالماء في شكل بخار يتحول بسرعة إلى جبس نصف مائي.



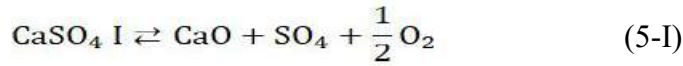
عند 220 درجة مئوية الجبس النصف مائي α ، و 350 درجة مئوية الجبس النصف مائي β ، يتحول الأنهدريت III إلى الأنهدريت II المستقر (محروق)، تمييزه يكون بطيئاً عند ملامسته الماء السائل.



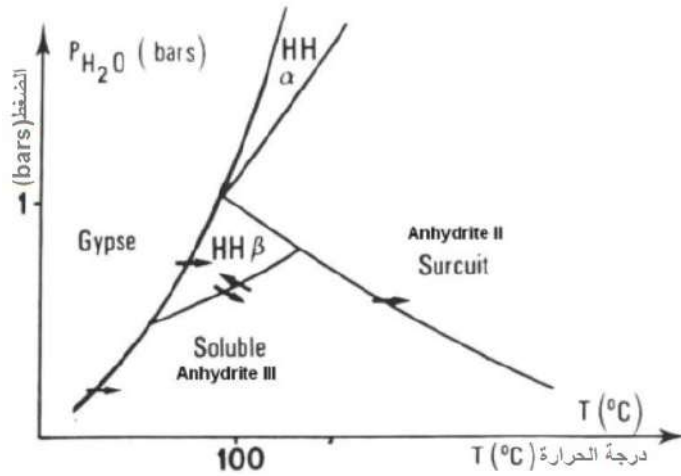
عند درجة حرارة 1230 درجة مئوية يتحول الأنهدريت II إلى الأنهدريت I، وهو عبارة على جبس بطيء الاماهة.



عندما تتجاوز درجة حرارة الحرق 1250 درجة مئوية يحدث تفكك للأنهدريت I وفقاً للمعادلة:



نوع الجبس المصنع، يعتمد على ضغط بخار الماء بالإضافة إلى درجة الحرارة، الشكل (2.1).



الشكل 2.I نوع الجبس حسب درجة الحرارة وضغط بخار الماء [7]

الجدول (2.I) يلخص خصائص منتجات نزع الماء من الجبس

الجدول 2.I: مراحل نزع الماء من الجبس [4].

CaSO ₄			CaSO ₄ . $\frac{1}{2}$ H ₂ O		CaSO ₄ .2H ₂ O	المرحلة
الأنهيدرا I	الأنهيدرا II	الأنهيدرا III	نصف مائي β	نصف مائي α	خام الجبس	التسمية
0	0	0	6.20	6.20	20.92	ماء التبلور (% من الوزن)
2930 الى 3000	2930 الى 2970	2580	2630	2760	2310	الكتلة الحجمية (Kg/m ³)
136.10	136.10	136.10	145.15	145.15	172.20	الكتلة المولية (g/mol)
-	45.8 الى 46.4	52.80	55.20	52.40	74.50	الحجم المولي (cm ³ /mol)
مكعبي	تناظر دوراني	سداسي	ثلاثي متساوي الأحرف		أحادي الميل	الشكل البلوري
4.5-3.5	3.4	-	-	-	15	الصلابة على سلم مور

الجدول I.3: خصائص الجبس النصف مائي [4].

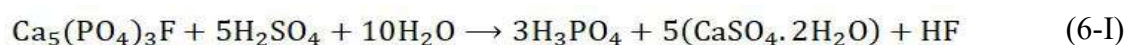
النصف مائي β	النصف مائي α	الخصائص
2630	2760	الكتلة الحجمية (Kg/m ³)
25 إلى 35	15 إلى 20	زمن المسك (min)
1.6	2.8	التمدد (mm/m)
1.3	6.5	مقاومة الشد (الحالة الجافة) (MPa)
5.6	56	مقاومة الضغط (الحالة الجافة) (MPa)
0.74	0.63	الذوبان في الماء عند 20 °C (g(CaSO ₄)/100cm ³)

3.2.2.1. الجبس الصناعي

ويشمل الجبس الكيماوي والجبس البحري. الجبس الكيماوي هو منتج جانبي من صناعة حمض الفوسفوريك، وصناعة حمض الهيدروفلوريك، ومصانع تكرير البوراكس، وصناعة الأصباغ، إلخ. يتم الحصول على الجبس البحري كناتج جانبي أثناء إنتاج الملح بواسطة التبخير الشمسي [8].

1.3.2.2.1. الجبس الفوسفوري

يتم الحصول عليه كناتج جانبي أثناء تصنيع حمض الفوسفور في الحالة الرطبة من صخور الفوسفات. يتم حل صخور الفوسفات المطحونة بدقة في الماء، يضاف حمض الكبريتيك إلى المعجون لإنتاج حمض الفوسفور (H₃PO₄) وكنتيجة جانبية الفوسفوجبس (كبريتات الكالسيوم المائية)، كقاعدة عامة، يتم إنتاج 4.5 إلى 5.5 طن من الجبس الفوسفاتي لكل طن من حمض الفوسفور [8].

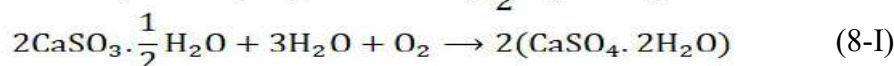
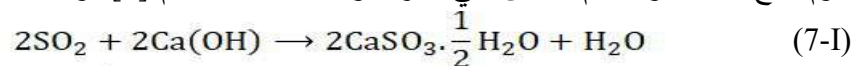


الجبس الفوسفوري يعتبر مشعاً بسبب وجود اليورانيوم والراديويم بشكل طبيعي في خام الفوسفات، كما انه غير نقي لاحتوائه على مواد عضوية وقلوية وحتوائه على شوائب (P₂O₅) والفلور (F) في عدة اشكال:
- على سطح بلورات الجبس كمركبات قابل للذوبان في الماء (H₃PO₄)، (Ca(H₂PO₄)₂)، (NaF).
- مركبات غير قابلة للذوبان (CaF₂)، (Ca₃(PO₄)₂).

تتراوح درجة نقاء الجبس الفوسفوري من 75 إلى 98% من (CaSO₄·2H₂O)، يحتوي على حوالي 0.5 إلى 1.5% إجمالي محتوى (P₂O₅) و 0.4 إلى 2.0% من (F)، بسبب محتوى الفلور في الجبس الفوسفوري تلوث التربة والمياه مما يشكل مشكلة في التخلص منه [8].

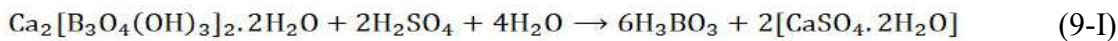
2.3.2.2.1. جبس نزع الكبريتات

المعالجة الكيماوية لترسيب الكبريت من غازات الاحتراق في محطات الطاقة الحرارية، بواسطة هيدروكسيد الكالسيوم ينتج عنها تكون خام الجبس نقي غير ملوث قابل للاستخدام [9]، وفقاً للتفاعل:



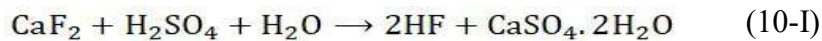
3.3.2.2.1. جبس البور

يتم الحصول عليه من نواتج مصانع إنتاج البوراكس وحمض البوريك، حيث تتم معالجة الكولمانيت بمحلول حمض الكبريتيك أثناء إنتاج حمض البوريك [10].



4.3.2.2.I. جبس الفليور

يتم تصنيع حمض الهيدروفلوريك (HF) عن طريق تفاعل حمض الكبريت المخفف مع الفلوريت (CaF_2) عند درجة حرارة 300-800 درجة مئوية. في هذه العملية، يتكون الجبس كمنتج ثانوي [11].

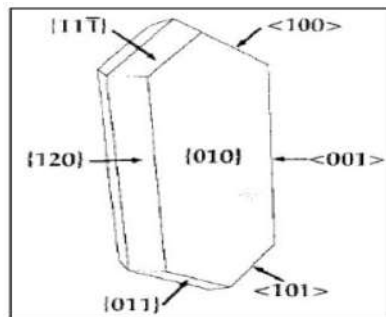


5.3.2.2.I. الجبس البحري

هو منتج ثانوي يتم الحصول عليه أثناء إنتاج الملح العادي (NaCl) عن طريق التبخر الجزئي لمياه البحر. مجموع الأملاح الذائبة في مياه البحر 3.7%، مكونة من CaSO_4 بنسبة 3.6% و NaCl بنسبة 77.6% و KCl بنسبة 3.6%. تتراوح نسبة استرداد CaSO_4 بين 70-80%، يحتوي الكيلومتر المكعب الواحد من مياه البحر على حوالي 505 طن من الجبس على شكل بلورات السيلينايت [11].

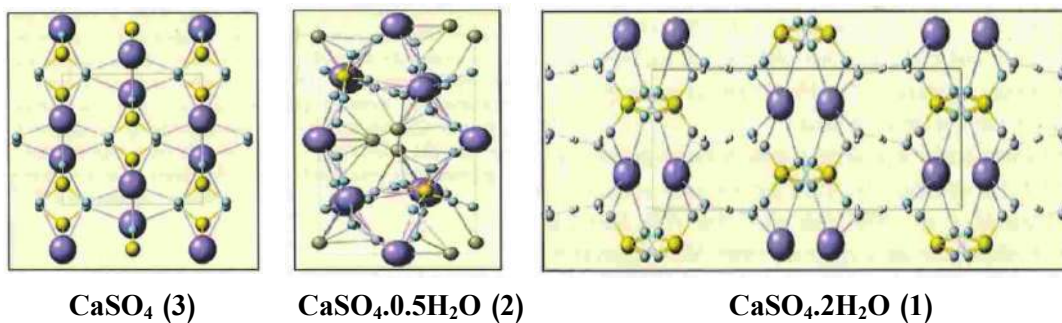
3.2.I. البنية البلورية للجبس

كبريتات الكالسيوم ثنائية التميية ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) تتبلور في نظام أحادي الميل، الشكل (2.I). تم توصيف الشبكة البلورية الأولية للجبس من قبل (COLE ET LANCUCKI) [12] في عام 1974.



الشكل 3.I: بنية بلورة الجبس [12].

يكشف هيكله عن بناء بلوري يتألف من تراكيب متراسة من نوعين من الطبقات تتناوب بشكل متوازٍ مع السطح (010). طبقة مزدوجة لشوارد الكالسيوم (Ca^{+2}) وشوارد الكبريت (SO_4^{-2}) (رباعي الأوجه مع ذرة كبريت في مركز ذرات الأكسجين) يفصل بينهما طبقتين من جزيئات الماء الشكل (3.I). يفسر هذا الترتيب سهولة تشقق بلورات الجبس ذات التوجيه (010) [14][13].



الشكل 4.I نموذج الهياكل الذرية للجبس

الارجواني: Ca، الأصفر: S، أزرق سماوي: O، رمادي: H، ذهبي: H_2O [15]

يحتوي الجبس على روابط شاردية في الطبقات ($\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{-2}$)، ناتجة عن الفروق في الشحنات الكهربائية

(روابط قوية)، وروابط هيدروجينية بين جزيئات الماء وذرات الأكسجين لشوارد الكبريت، حيث تكون ذرة الأكسجين في جزيئة الماء مرتبطة بشاردة الكالسيوم.

4.2.I. التمييه والمسك

1.4.2.I. المبدأ

تتم عملية التمييه في الجبس النصف مميه عبر مراحل مختلفة:

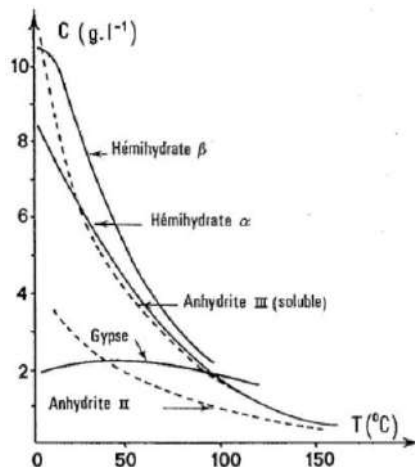
- تثبت جزيئات الماء على سطح جزيئات الجبس النصف مميه بواسطة عملية الامتزاز.
- تفجر حبيبات الجبس النصف مميه.
- ذوبان جزء من الجبس النصف مميه.
- مرحلة الثبات الحراري (لا يوجد امتصاص او تولد حرارة) التي يبدو خلالها النظام مستقرًا؛ حيث يبدأ تكون الجبس ثنائي التمييه خلال هذه المرحلة.

- ترسيب الجبس ثنائي التمييه مع الذوبان المتزامن الجبس النصف مميه حتى الاستهلاك الكامل له.

أولى الدراسات حول تمييه الجبس النصف مميه تمت من قبل (LAVOISIER) في عام 1768 ثم بواسطة (LE CHATELIER) 1883. اقترح هذا الأخير نظرية الذوبان-التبلور.

يذوب الجبس النصف مميه (مع قابلية ذوبان أعلى دائمًا من الجبس عند درجات حرارة أقل من 100 درجة مئوية ويتبلور الجبس من هذا المحلول المشبع، الشكل (5.I).

ووفقا لهذا النظرية، فإن القوة الدافعة وراء الإماهة هي الفرق الظاهر بين قابلية الذوبان للجبس النصف مميه البادئة والجبس النهائي. إذ يؤدي ذوبان الجبس النصف مميه إلى تكون محلول تركيزه الأيوني أعلى بكثير من ذلك الذي يتم الحصول عليه بإذابة الجبس تحت نفس الظروف. وينتج عن ذلك ترسيب تلقائي لبلورات الجبس.

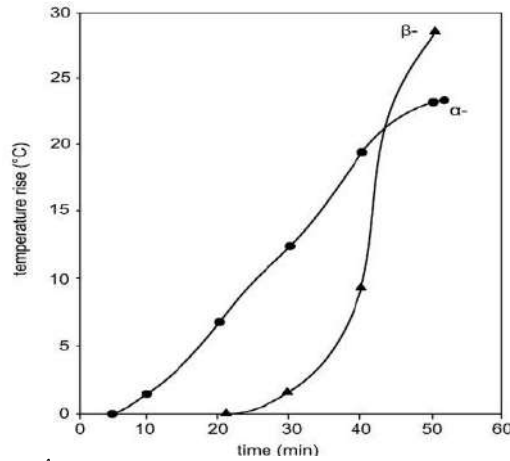


الشكل 5.I درجة الذوبان لكبريتات الكالسيوم حسب درجة الحرارة [16].

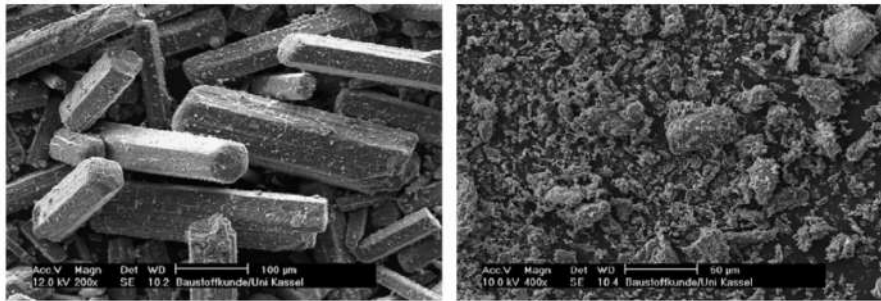
أجرى الباحثان، (LEWRY AND WILLIAMSON) [17]، دراسة لمقارنة النشاط الهيدروليكي لنوعين من الجبس النصف مميه (α و β)، استخدموا تقنيات تجريبية مختلفة لقياس التغيرات في درجة الحرارة والمقاومة الكهربائية لعجينة من الماء والجبس ($E/P = 0.6$) أثناء تفاعل الإماهة، حيث كانت حركية تفاعل التمييه متشابهة مع بعض الاختلافات.

حيث لاحظنا ان بداية التمييه كانت متأخرة للجبس النصف مميه β مقارنة بالجبس النصف مميه α ، الشكل

(6.I)، لكن الجبس النصف مميّه β يربط بسرعة أكبر نظرًا لأن مساحة سطحه أكبر، مما يجعل من الممكن العثور على العديد من مواقع الإنبات للتبلور، الشكل (8.I).



الشكل 6.I تغير درجة حرارة تميّه الجبس (α) و (β) بدلالة الزمن ($E/P=0.6$) [18].



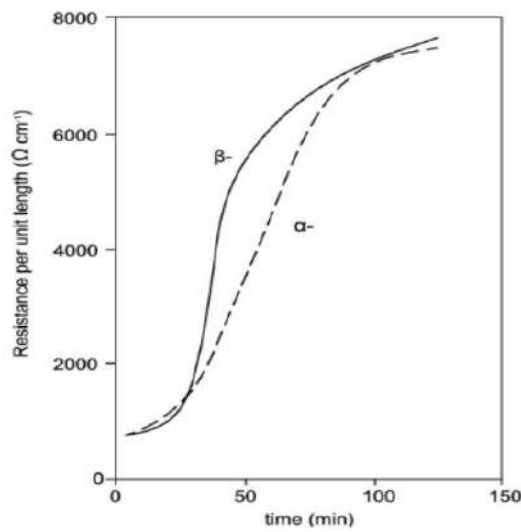
SEM picture of α -hemihydrate

SEM picture of β -hemihydrate

الشكل 7.I صورة المجهر الإلكتروني الماسح للجبس النصف مميّه [18].

يوضح الشكل (8.I) التغير في المقاومة الكهربائية بمرور الوقت أثناء عملية تميّه الجبس النصف مميّه (α) و (β).

يمكن تقسيم التفاعل إلى ثلاث مراحل بناءً على تغييرات المقاومة.



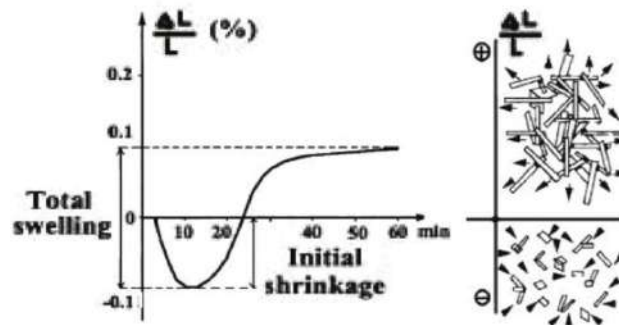
الشكل 8.I تغير المقاومة الكهربائية كدالة للوقت أثناء التميّه ($E/P = 0.6$) [18].

في أول 5 إلى 10 دقائق، تصل المقاومة إلى الحد الأدنى للقيمة. يمثل هذا نقطة الذوبان القصوى لأيونات الكالسيوم والكبريتات.

على مدار المائة دقيقة التالية، تزداد المقاومة بشكل مطرد بسبب ترسيب الجبس ثنائي الهيدرات من كبريتات الكالسيوم.

أخيراً، تصل المقاومة إلى قيمة ثابتة نسبياً في نهاية عملية التمييه، مع زيادة طفيفة بسبب عملية التجفيف. يرجع الاختلاف في المقاومة الكهربائية التي لوحظت في شكلي الجبس النصف ممييه (α) و (β) إلى معدل الذوبان [19].

يصحب عملية التمييه تغير في الابعاد (GMOUTh) [20]، ففي فترة أولية من ذوبان الجبس النصف ممييه في الماء يحدث انكماش، حيث يكون حجم العجينة أقل من مجموع أحجام الجبس النصف ممييه والماء المختلطين، تلي هذه الفترة زيادة في الحجم ناتج عن التناثر بين البلورات المتلامسة والمتنامية، الشكل (9.I).



الشكل 9.I التغير في الابعاد للجبس أثناء الاماهة [20].

2.4.2.I. العوامل المؤثرة على التمييه والمسك

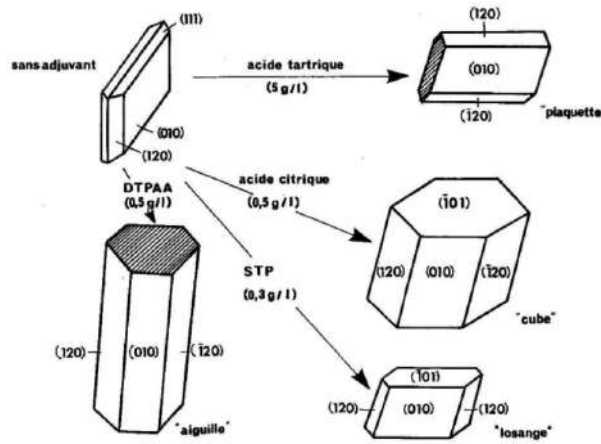
تؤثر درجة الحرارة تأثيراً ملحوظاً على الإماهة نتيجة للتباين في الذوبان الظاهري للجبس النصف ممييه بين 0 و 100 (°C)، الشكل (5.I). كلما زادت درجة الحرارة ينخفض التشبع الفائق، وتزداد حركية الأيونات. بقياس التوصيلية أثناء المسك، أظهر (AMATHIEU) [21] أن حركية التمييه تكون في حالتها القصوى عند 35 (°C)، ثم تنخفض عند درجات حرارة أعلى.

ملاحظة البنى المجهرية للجبس المخلوط عند 5 و 20 و 70 (°C) تكشف عن اختلاف واضح جداً في حجم البلورات: من متوسط $1 \times 1 \times 10$ (μm^3) عند درجة حرارة 5 (°C)، يزداد الحجم إلى $5 \times 10 \times 55$ (μm^3) عند 70 (°C).

من اختبارات قياس التوصيل، تبين أن إضافة الجبس ثنائي التمييه للجبس النصف ممييه يسرع عملية التمييه [21]. الأحماض العضوية وأملاحها المتعادلة (NaCl، K₂SO₄، KCl) تعمل كمسرعات أكثر فعالية من الجبس، حيث تعمل على زيادة معدل ذوبان الجبس النصف ممييه.

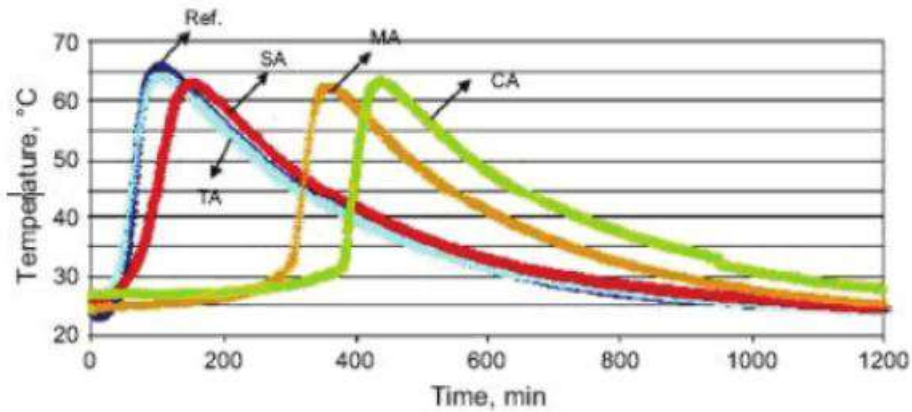
الأيونات الموجبة الشحنة مثل (Cu²⁺) و (Zn²⁺) والتي لها شحنة أكبر من (Ca²⁺) تعمل كمسرعات التمييه [7].

يلاحظ بشكل عام أن الأحماض العضوية الضعيفة كحمض الليمون وأملاحها ذات القواعد القوية تعمل كمثبطات. الغرويات العضوية الناتجة عن التحلل والتحلل المائي للبوليمرات الحيوية مثل البروتينات أو أملاح حمض الفوسفوريك أو حمض البوريك، تعمل أيضاً كمثبطات تمييه للجبس النصف ممييه [18]. المثبطات لها خاصية تأخير التبلور وغالباً ما تقوم بتعديل شكل البلورات، الشكل (10.I).



الشكل 10.I تغير الشكل البلوري للجبس بإضافة مثبطات التمييه [22].

كما تم أيضًا دراسة فعالية بعض الأحماض الكربوكسيلية وكذلك تأثير تركيزها أيضًا باستخدام قياسات معدل التغير في درجة الحرارة وقياس التوصيل أثناء عملية التمييه [18]، [23].



الشكل 11.I التغير في درجة الحرارة مع زمن التمييه للجبس (α) بإضافة 0.05% من الأحماض الكربوكسيلية: حمض الليمون (CA)، وحمض التفاح (MA)، وحمض الطرطريك (TA)، وحمض السكسينيك (SA) مع (E/P = 0.35) [18].

5.2.I خصائص الجبس الماسك

1.5.2.I البنية المجهرية

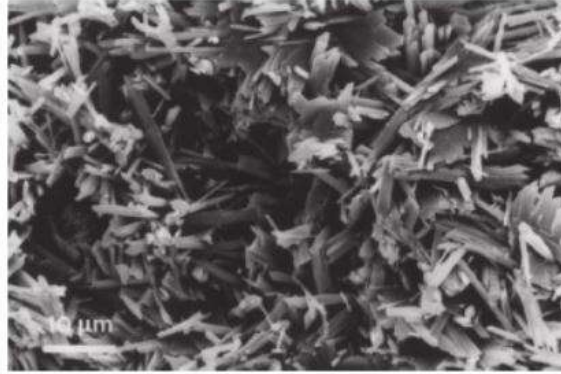
تؤثر البنية المجهرية للجبس الماسك على قدر كبير من الخصائص الفيزيائية والميكانيكية، وخاصةً صلابته التي ترجع إلى الهيكل الذي تشكله البلورات المتشابكة [19]. تعتمد القوة الميكانيكية على:

- حجم وشكل البلورات.
- قوة التلامس بين البلورات.
- الشوائب التي قد تشكل جزءًا من البلورات.
- المسامية، والتي يتم تحديدها بنسبة الخلط.

ووفقًا للدراسات التي أجريت من طرف (MEILLE) [22] (GARTNER) [24] و (AMATHIEU) [25]

- على البنية المجهرية للجبس الماسك وتأثيرها على الخصائص الميكانيكية، حيث خلصوا إلى أن:
- تأخذ بلورات الجبس الماسك شكل ابري أو تجاعيد تتموضع بشكل غير منتظم، الشكل (12.I).

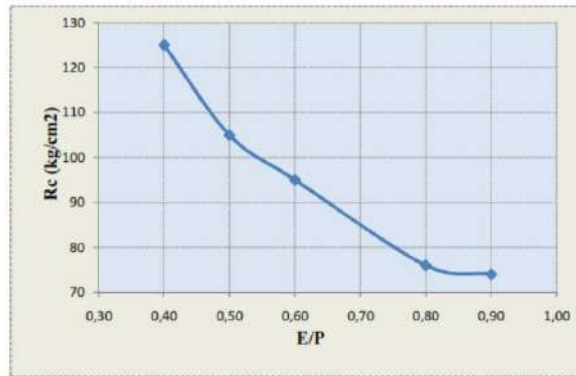
- تزداد القوة الميكانيكية مع انخفاض حجم البلورات.
- ترتبط القوة الميكانيكية بالمساحة السطحية الكلية للتلامس بين البلورات لكل وحدة من الحجم.
- تنتشر الكسور بين البلورات (عند التلامسات بين البلورات) وليس من خلالها.



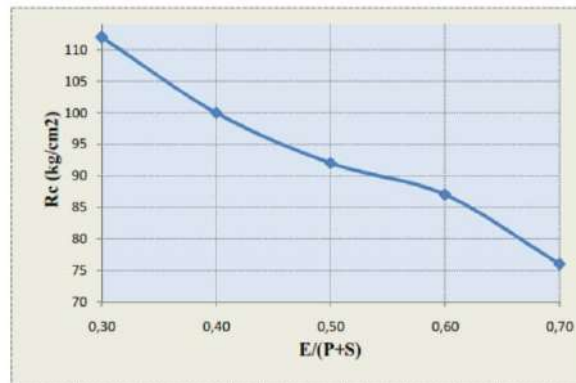
الشكل 12.I صورة المجهر الإلكتروني للجبس الماسك بمسامية 57% تظهر التوضع العشوائي للبلورات [26].

2.5.2.I. الخصائص الميكانيكية

ترتبط الخصائص الميكانيكية للجبس الماسك بالنسبة (E/P) حيث بين الباحث (RACHEDI) [27] في دراسة أجريت على الجبس والملاط الجبسي تغير مقاومة الضغط بتغير النسبة (E/P) للجبس، الشكل (13.I) والنسبة (E/(P+S)) بالنسبة للملاط الجبسي، الشكل (14.I).



الشكل 13.I تغير مقاومة الضغط بدلالة نسبة الماء للجبس [27].



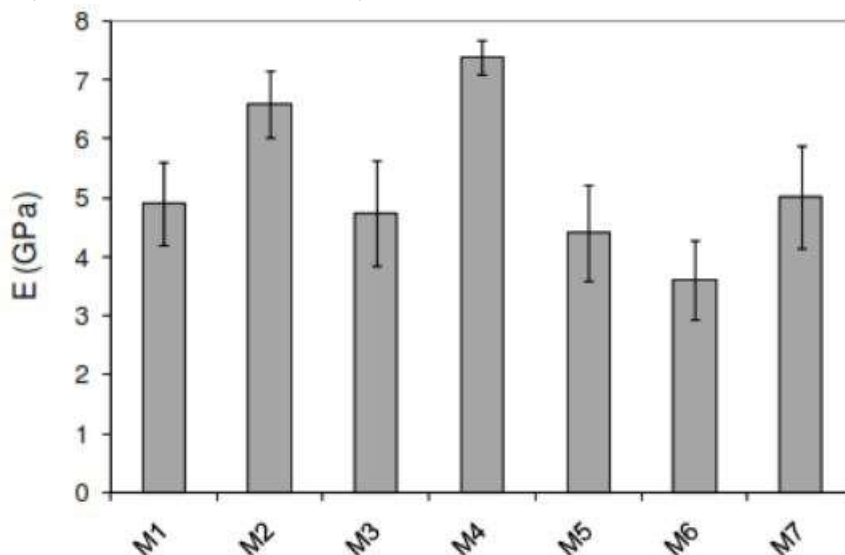
الشكل 14.I تغير مقاومة الضغط بدلالة نسبة الماء للملاط الجبسي [27].

اما الباحث (EBANDA) [28] فقد درس تصرف الجبس ($E/P=1$) اثناء الانحناء وتوصل الى النتائج التالية:

الجدول 4.I: مقاومة الانحناء للجبس الماسك ($E/P=1$) [28]

معامل المرونة E (GPa)	مقاومة الشد (MPa)	الاستطالة الحدية (%) (A)
1.20	0.70	2.39
1.51	0.81	0.66
1.52	0.81	0.58
1.62	0.88	1.45
1.98	0.93	1.25
2.50	1.05	0.63

تأثر التركيبة الحبيبية للجبس على الخصائص الميكانيكية للجبس الماسك حيث اثبتت الباحثة (MARTIAS) [29] ان معامل يونغ يتغير بحسب التوزيع الحبيبي للجبس، حيث تم قياس معامل يونغ بواسطة الموجات فوق الصوتية لعينات من الجبس الماسك منجزة بجبس بتوزيع حبيبي مختلف وكانت النتائج كالتالي: الشكل (15.I)



الشكل 15.I تغير معامل المرونة بحسب التوزيع الحبيبي للجبس ($E/P=0.5$) [29].

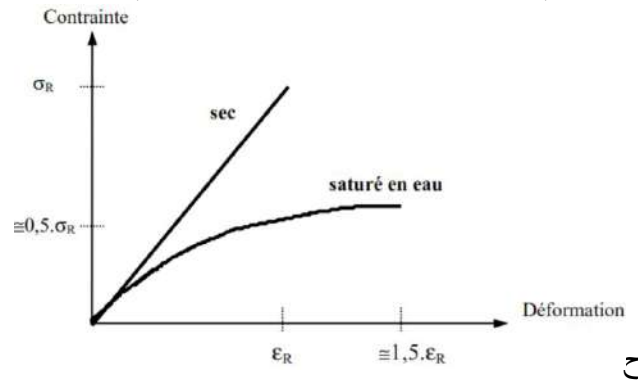
الباحث (COQUARD) [30] قام بدراسة الاجهاد الحدي للكسر للجبس الماسك ($E/P=0.82$)، بواسطة تجربة الانحناء بثلاث نقاط لعينات بمختلف الاحجام، الجدول (5.I)، العينات الاكبر حجماً أعطت اجهاداً للكسر اقل.

الجدول 5.I: الاجهاد الحدي للجبس الماسك ($E/P=0.82$) بواسطة تجربة الانحناء بثلاث نقاط [30]

الاجهاد الحدي (MPa)	حجم العينة (cm ³)	ابعاد العينة (cm ³)
0.66	9	4x1.2x1.5
0.44	25	6x1.5x3
0.38	75	10x1.5x5

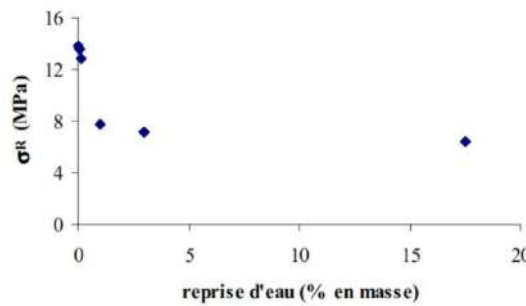
يتغير تصرف الجبس الماسك في الشد عند التشبع بالماء، فمن خلال منحنى الاجهاد بدلالة التشوه الشكل (16.I)، المنحنى في الحالة الجافة عبارة عن دالة خطية، وعند التشبع المنحنى غير خطي، قيمة الاجهاد

الحدى للشد في حالة التشبع بالماء للجبس يساوي تقريبا نصف قيمة الاجهاد في الحالة الجافة ، في حين التشوه الحدى يزداد بقيمة 50% في حالة التشبع مقارنة بالتشوه الحدى في الحالة الجافة [29].



الشكل 16.I منحى الاجهاد والتشوه للجبس الجاف والمشبع بتجربة الانحناء [29].

درس (ANDREWS) [31] و (BADENS) [7] تغير مقاومة الضغط للجبس الماسك بدلالة نسبة الماء الممتص، كمية الماء الممتصة في المرحلة الأولى من بداية الامتصاص وحتى النسبة 2%، تؤثر بشكل كبير في خفض مقاومة الضغط للجبس ، بعد النسبة 2% لا حضا استقرارا في مقاومة الضغط للعينات ولم تتأثر بزيادة الامتصاص الشكل (17.I)



الشكل 17.I تغير المقاومة الحدية للضغط للجبس الماسك بدلالة نسبة امتصاص الماء (E/P=0.6) [7].

3.5.2.I الخصائص الفيزيائية والحرارية

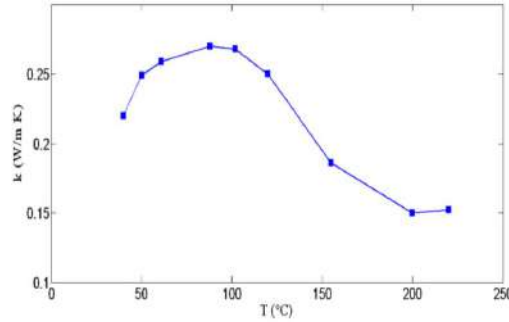
عدة أبحاث أجريت لدراسة الخصائص الفيزيائية والحرارية للجبس الماسك، حيث أجرى الباحث (M.TOUIL) [32] دراسة على عينات الجبس الماسك بنسب خلط مختلفة، وتوصل الى النتائج الموضحة في الجدول (6.I)

الجدول 6.I الخصائص الفيزيائية والحرارية للجبس الماسك [32]

الانتشارية الحرارية	الكتلة الحجمية	الحرارة النوعية	الناقلية الحرارية	E/P
m ² /s	kg/m ³	J/kg. K	W/m. K	
7.23 10 ⁻⁷	1409.6	433.77	0.442	0.5
4.20 10 ⁻⁷	1230.6	710.06	0.373	0.7

في حين وجد (ABANI) [2] وبنسبة خلط 0.6 قيمة للناقلية الحرارية تساوي 0.6 (W/m. K) وكتلة حجمية ظاهرية تساوي 1208 (kg/m³)، وهي قيم مقارنة للتي تحصل عليها (HAFSI) [33] بنفس نسبة الخلط حيث وجد ان الناقلية الحرارية تساوي 0.597 (W/m.K) والكتلة الحجمية تساوي 1208.044 (kg/m³). تتأثر قيمة الناقلية الحرارية للجبس الماسك بدرجة الحرارة (BEN MANSOUR) [34]، حيث من خلال

الشكل (18.I)، تم تقسيم تطور الناقلية الحرارية إلى ثلاث مناطق حسب درجة الحرارة:



الشكل 18.I تغير الناقلية الحرارية للجبس الماسك بتغير درجة الحرارة [34].

المنطقة الأولى تقع بين $T = 40$ درجة مئوية و $T = 90$ درجة مئوية، هنا تزداد الناقلية الحرارية قليلاً من 0.22 (W/m. K) إلى 0.27 (W/m. K).

المنطقة الثانية، الواقعة بين $T = 100$ درجة مئوية و $T = 200$ درجة مئوية، تتوافق مع انخفاض في قيمة الناقلية الحرارية من 0.27 (W/m. K) إلى 0.15 (W/m. K) ويعزى هذا الانخفاض إلى تبخر الماء الحر، حيث يفقد الجبس المتصلب 75% من ماء تكوينه مما يؤدي إلى تكوين الجبس النصف مميته $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$.

في المرحلة الثالثة $T > 200$ ، يفقد $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ الماء المتبقي وتتحول إلى كبريتات الكالسيوم CaSO_4 ، وتبقى الناقلية الحرارية ثابتة عند 0.15 (W/m. K).

اما الباحث (DALIGAND) [4] في دراسته للخصائص الفيزيائية والحرارية للجبس الماسك، فقد بين ان الناقلية الحرارية تتناسب مع الكتلة الحجمية الجافة.

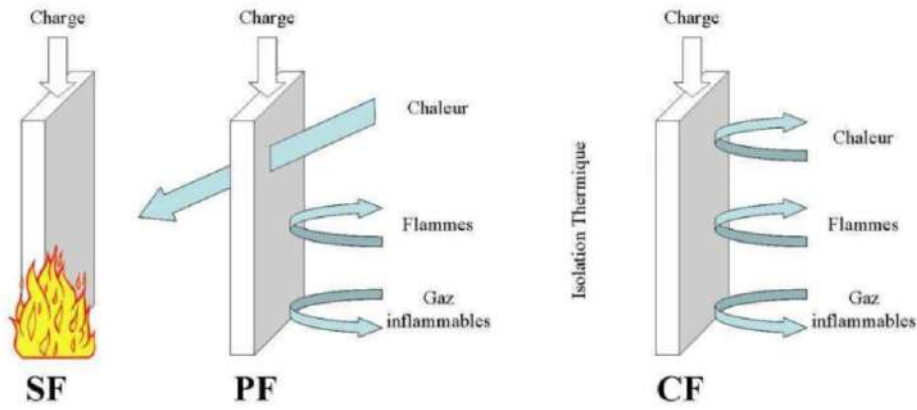
الجدول 7.I الناقلية الحرارية للجبس الماسك [4]

الناقلية الحرارية W/m. K	الكتلة الحجمية الجافة kg/m ³
0.18	600
0.30	900
0.43	1200
0.56	1500

4.5.2.I. مقاومة الحريق

يمكننا تحديد ثلاثة أنواع من السلوك للمادة اثناء الحريق، الشكل (19.I)

- المادة المقاومة للحريق (SF): وهي المادة التي لا تنتشوه بالنار.
- المادة المقاومة للهب (PF): وهي المادة المقاومة للحريق وغير منفذة للنيران والغازات القابلة للاشتعال.
- مادة مقاومة للحريق (CF): المادة مقاومة للهب وعازلة للحرارة.



الشكل 19.I معايير تصنيف المواد لمقاومة الحريق [29].

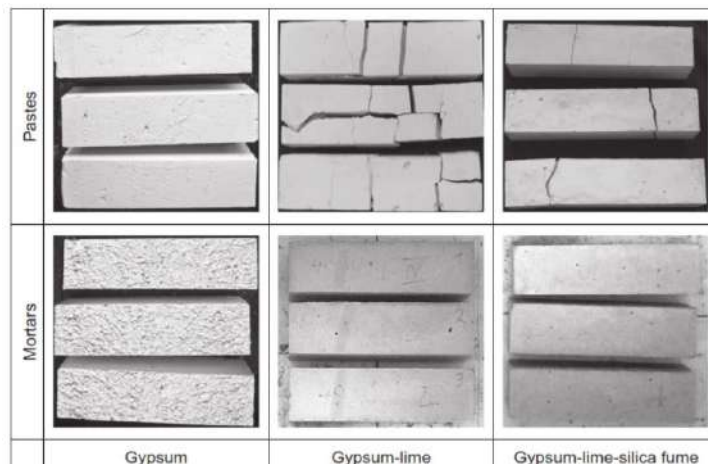
يتم تحديد مقاومة المادة للحريق على أساس الوقت الذي تؤدي المادة الدور المنوط بها بشكل جيد رغم تأثير النار.

تصنف المواد وفق المعايير (NF EN 13501) بحسب درجة الاحتراق الى سبعة أصناف:

- الصنف (A1) و(A2) للمواد قليلة الاحتراق أو الغير قابلة للاحتراق.
- الصنف (B) للمواد القابلة للاحتراق والتي تكون مساهمتها في انتشار الحريق محدودة جدا.
- الصنف (C) للمواد التي تكون مساهمتها في انتشار الحريق محدودة.
- الصنف (D) للمواد التي تكون مساهمتها في انتشار الحريق كبيرة.
- الصنف (E) و(F) للمواد القابلة للاحتراق ومساهمتها في انتشار الحريق كبيرة.

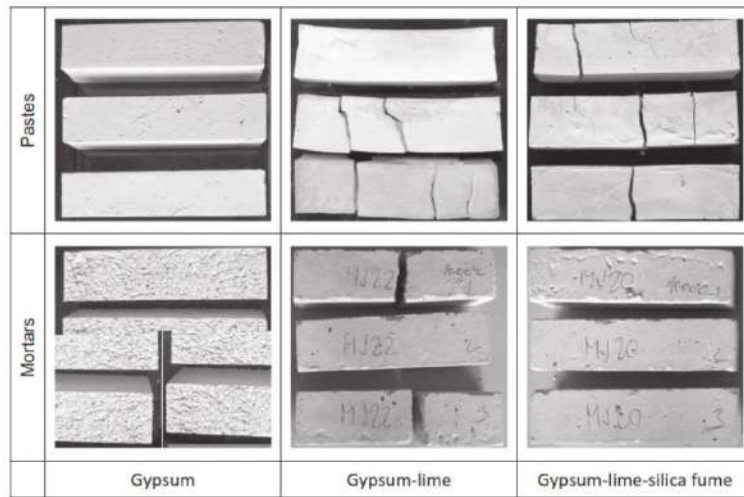
يصنف الجبس ضمن المواد الغير قابلة للاحتراق

في دراسة أجريت من طرف (DOLEZ`ELOVÁ) [35] حول مدى مقاومة عينات عجينة الجبس والملاط الجبسي وأنواع أخرى من الملاط ذات الأساس الجبسي للحرارة، حيث تم تعريض العينات لدرجات حرارة عالية ولاحظ ان العينات المنجزة بالجبس الخالص والملاط الجبسي لم تتأثر بالحرارة حتى الدرجة 400 درجة مئوية، الشكل (20.I).



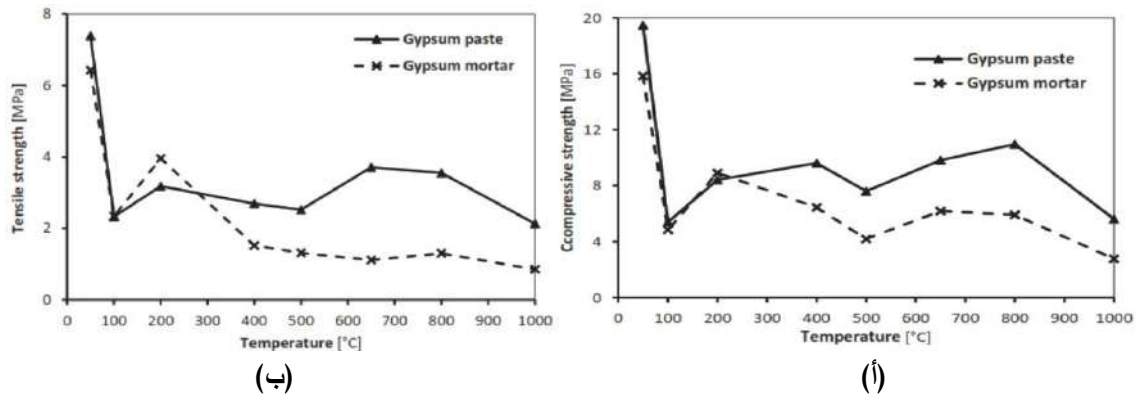
الشكل 20.I العينات بعد تعريضها لدرجة حرارة 400 °C [35].

عند تعريض نفس العينات لدرجة حرارة 1000(°C)، أظهرت عينات الجبس الخالص وعينات الملاط من الجبس والجير وغبار السليكا مقاومة، في حين بدت علامات التلف على باقي العينات، الشكل (21.I).



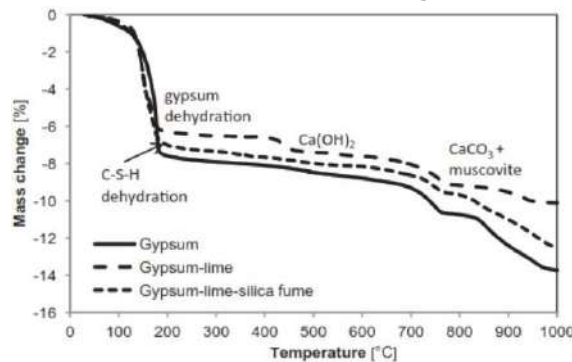
الشكل 21.I العينات بعد تعريضها لدرجة حرارة 1000 °C [35].

وقام نفس الباحث بقياس المقاومة الميكانيكية لعينات الجبس والملاط الجبسي عند درجات حرارة مختلفة، حيث اظهر ان مقاومة الضغط والإنحناء تنخفض بارتفاع درجات الحرارة. الشكل (22.I) حيث يبدي الجبس مقاومة ميكانيكية حتى في درجات الحرارة العالية.



الشكل 22.I مقاومة الضغط (أ) والإنحناء (ب) للجبس والملاط الجبسي بتغير درجة الحرارة [35].

يتم وصف مسار فقدان الوزن بواسطة التحليل الوزني الحراري (TGA)، الشكل (23.I). إنقاص الوزن لجميع المواد من البداية إلى 220 درجة مئوية ناتج عن فقدان الماء الحر وتحول الجبس إلى الأنهدريت III.



الشكل 23.I التحليل الوزني الحراري (TGA) للجبس [35].

فقدان الكتلة، في المجال 660-780 درجة مئوية، يحدث بسبب تحلل المسكوفيت الذي تم العثور عليه في الجبس عن طريق تحليل (XRD) [35].
فقدان الوزن النهائي عند درجات حرارة تزيد عن 800 درجة مئوية ناتج من تحلل كبريتات الكالسيوم.

5.5.2.I. العزل الصوتي

زيادة على خصائصه الحرارية العالية ، الجبس عازل صوتي جيد ، اذ يعتبر من أفضل المواد التي تمتص الاهتزازات التي تنتج عنها الأصوات، يمكن استعماله منفردا كعازل صوتي او على شكل مواد مركبة لتحسين أداء العزل الصوتي، في دراسة أنجزت من طرف (BOUZIT) [36] قصد تحسين العزل الصوتي للجبس تم إضافة الفلين للجبس كمادة مركبة، حيث انخفضت حدة الصوت حوالي 40 ديسيبل.

6.5.2.I. تعديل الرطوبة

من خلال التجارب العملية تبين أن الجبس المجفف، الذي يتم الاحتفاظ به في بيئة متساوية الحرارة ومشبعة، يستعيد، بعد فترة زمنية، رطوبة تبلغ حوالي 1% من وزنه.

تم إجراء تجارب على عينات من الجبس التي سبق تجفيفها، أثبتت القياسات المأخوذة باستخدام الوزن المستمر أن الجبس يمتص الماء عندما تزيد كمية بخار الماء في الجو وبالعكس، يفقد الجبس بشكل ملحوظ كتلة الماء الممتص عندما تنخفض الرطوبة. سرعة التبادلات تعتمد على طبيعة الجبس، وتماسكه، ومعدل خلطه.

في حالة تكثف الماء على سطحه، فإن الجبس قادر على امتصاصه، وبالتالي مقاومة ظاهرة الجريان السطحي ثم طرحه بمجرد أن تصبح ظروف الرطوبة مناسبة.

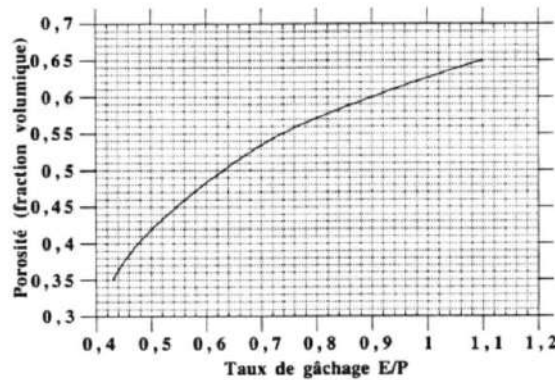
يعمل الجبس كمتص حقيقي للتغيرات في قياس الرطوبة في البيئة التي يتم استخدامه فيها [4].

6.2.I. تركيبة الخلطات الجبسية**1.6.2.I. عجينة الجبس**

النسبة (E/P) هي النسبة بين كمية الماء المستخدمة لتمييه كمية من مسحوق الجبس النصف ممييه. وتسمى هذه النسبة نسبة الخلط. تؤثر هذه النسبة على خصائص الجبس الماسك بحساب الكميات المتفاعلة، الكمية المتكافئة من الماء اللازمة لتمييه الجبس النصف ممييه هي 0.186 غرام من الماء مقابل 1 غرام من مسحوق الجبس النصف ممييه، وهو ما يمثل نسبة (E/P) تساوي 0.186.

عمليًا، تؤدي هذه القيمة إلى عجينة من الصعب العمل عليها. بشكل عام، يتم الخلط بنسبة (0.3-0.5) للجبس النصف ممييه (α) ، ونسبة (0.5-1.2) للجبس النصف ممييه (β) [37].

يتبخر الماء الزائد عن الكمية المتفاعلة، مما يتسبب في تكوين المسام. وتؤثر هذه المسامية على الخواص الميكانيكية النهائية.



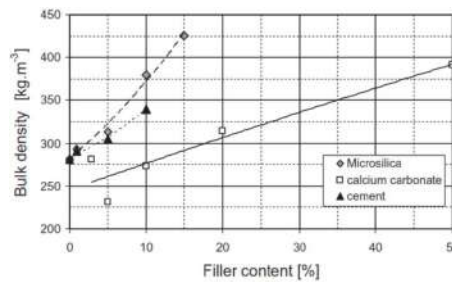
الشكل 24.I التغير في المسامية كدالة لنسبة الخلط (E/P) [30], [38]

تؤثر النسبة (E/P) على الخصائص الميكانيكية للجبس حيث عمل الباحث (RACHEDI) [27] الى دراسة تركيبة عجينة الجبس وتوصل الى ان النسبة (E/P=0.6) تعطي مقاومة ميكانيكية وتشغيلية مقبولة الجدول 8.I مقاومة الضغط عند 28 يوم للجبس الماسك [27].

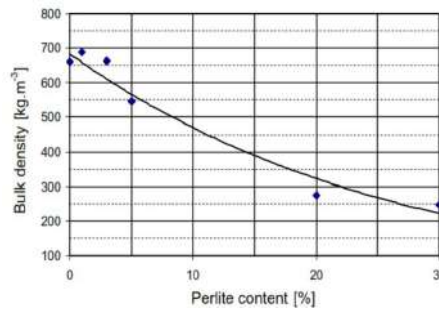
E/P	0.9	0.8	0.6	0.5	0.4
Rc (MPa)	7.4	7.6	9.5	10.5	12.5

2.6.2.I الجبس بالإضافات

لاحظ (VIMMORAVA) [39] أن إضافة 15% من السيليكات الدقيقة يزيد من الكثافة الظاهرية للجبس بأكثر من 50%، الشكل (25.I)، وعند إضافة البيرلايت بنسبة 20% تتناقص كتلة الجبس وتكون الكثافة أقل من 300 كغ/م³، الشكل (26.I)

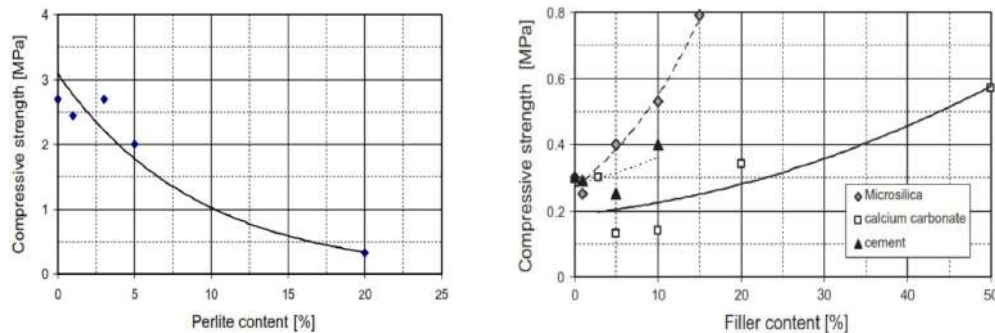


الشكل 25.I تأثير الإضافات ذات الكثافة العالية على الكثافة الظاهرية للجبس الخلوي [39].



الشكل 26.I تأثير اضافة البيرلايت على الكثافة الظاهرية للجبس الخلوي [39].

كما قام نفس الباحث بدراسة تأثير هذه الإضافات على الخصائص الميكانيكية وتوصل الى أن عند إضافة 15% من السيليكات الدقيقة للجبس الخلوي، زادت مقاومة الضغط الى أكثر من الضعف، وعند إضافة نسبة 20% من مادة البيرلايت، انخفضت مقاومة الضغط من 3 (MPa) الى 0.5 (MPa)، الشكل (27.I).



الشكل 27.I تأثير الإضافات على مقاومة الضغط للجبس الخلوي [39].

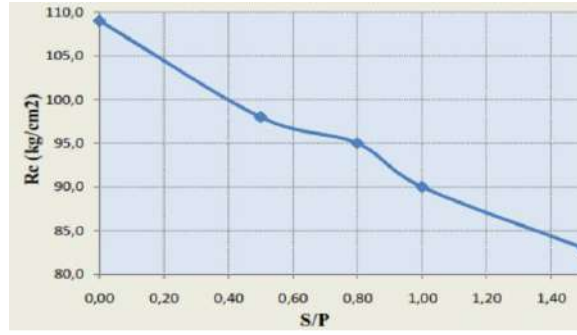
3.6.2.I الملاط الجبسي

الملاط الجبسي عبارة عن مزيج من الجبس والرمل والماء. الدراسات التي قام بها المركز الوطني للدراسات والأبحاث المتكاملة في البناء [40]، حددت اشتراطات الرمل المستعمل في الملاط الجبسي حيث يجب أن تكون الرمال المستخدمة نظيفة وخالية من كافة المواد العضوية.

يفضل استعمال الرمل السيليسي على الرمل الكلسي بسبب انخفاض قدرته على امتصاص الماء. كما يجب أن يكون توزيعها الحبيبي منتظماً ومستمرًا، وأن تحتوي على نسبة منخفضة من الدقائق.

باحثوا (C.N.E.R.I.B) [40] توصلوا الى نتائج مرضية لمقاومة الملاط الجبسي للضغط بنسبة رمل بالوزن (S/P=0.5)

الباحث (RACHEDI) [27] درس تأثير تغيير نسبة الرمل من الجبس (S/P) على الخصائص الميكانيكية للملاط الجبسي، باستعمال رمل الكثبان ونسبة ماء (E/(P+S)=0.6)، حيث انخفضت مقاومة الملاط الجبسي بنسبة 30% عند إضافة الرمل بنسبة (S/P=0.5). الشكل (28.I)



الشكل 28.I تأثير نسبة الرمل على مقاومة الضغط للملاط الجبسي [27].

كما قام نفس الباحث بتثبيت نسبة الرمل (S/P=0.5)، ودراسة تأثير تغيير نسبة الماء (E/(P+S)) على الخصائص الميكانيكية للملاط الجبسي وتوصل الى النتائج المدونة في الجدول (9.I)

الجدول 9.I مقاومة الضغط عند 28 يوم للملاط الجبسي [27].

E/(P+S)	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
Rc (MPa)	7.6	8.7	9.5	10.0	11.2

من خلال نتائج مقاومة الضغط وملاحظة التشغيلية خلص الباحث الى ان الملاط الجبسي بنسبة (S/P=0.5) ونسبة (E/(P+S)=0.6)، أعطت تشغيلية جيدة ومقاومة ميكانيكية مقبولة.

إضافة الرمل الى الجبس تؤثر على خصائصه الحرارية، الباحثة (ABDELMOUMENE) [41]، أظهرت ان الناقلية الحرارية للملاط الجبسي تزداد كلما زادت نسبة الرمل.

الدراسة التي أجريت على جبس المناطق الصحراوية (جبس حاسي خليفة) [41]، بينت ان جبس حاسي خليفة الذي يحتوي على نسبة من الرمل السيليسي أن الانتشارية الحرارية للجبس تزداد بالنسبة للنسب الصغيرة من الرمل المضاف ثم تتناقص عندما يصبح معدل (S/P) كبيراً.

فيما يتعلق بجبس أولاد جلال الذي يحتوي على نسبة قليلة جداً من السيليس (حوالي 2%)، تؤثر إضافة الرمل بشكل كبير على كثافة خليط الجبس والرمل وبالتالي على حرارته النوعية، مما يؤدي إلى زيادة

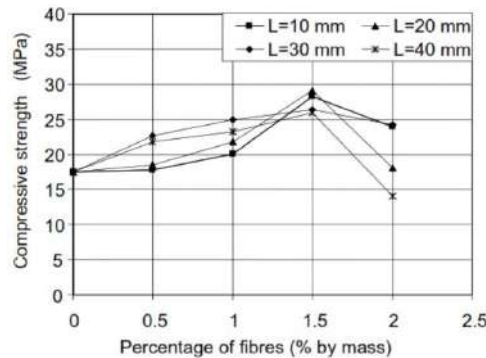
الانتشارية الحرارية.

4.6.2.I. خرسانة الجبس

على عكس الخرسانة الاسمنتية، لا توجد طرق لدراسة تركيبة الخرسانة الجبسية، لهذا السبب اقترح باحثو (C.N.E.R.I.B) [40] تركيبة للخرسانة الجبسية تجمع بين طريقتي (VALLETTE) و (FAURRY)، الخاصة بدراسة تركيبة الخرسانة الاسمنتية

- الجبس: 40 كيلوغرام
- الرمل: 20 كيلوغرام
- الحصى 15/5: 60-80 كيلوغرام
- الجيرالمطفأ: 1-1.5 كيلوغرام
- الماء: 16-24 لتر

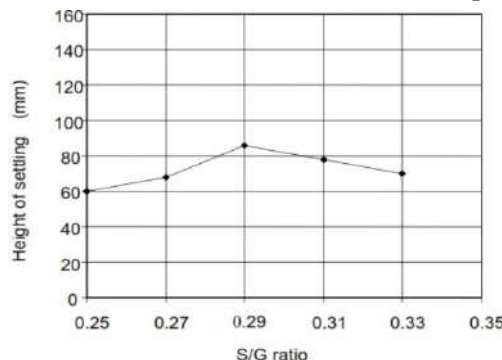
حيث يخلط الجبس والرمل والحصى ميكانيكياً، يمزج الجير المطفأ بماء الخلط ويضاف تدريجياً الى باقي المكونات، يخلط المزيج ميكانيكياً لمدة قصيرة لتجنب تسريع المسك للجبس. في دراسة أجرتها (DJOUDI) [42] حول الخرسانة الجبسية المدعمة بألياف نخيل التمر، أعطت الخرسانة الجبسية المنجزة بالتركيبة المقترحة من طرف (C.N.E.R.I.B) [40] مقاومة جيدة للضغط 17.5 (MPa)، الشكل (29.I).



الشكل 29.I تأثير طول الالياف على مقاومة الضغط للخرسانة الجبسية [42].

بهدف تعطيل مدة المسك تم إضافة كمية من الجير 6% من وزن الجبس، حيث زادت مدة المسك من 7 الى 30 دقيقة.

الشكل (30.I) يوضح ان التشغيلية في الخرسانة الجبسية تزيد مع زيادة النسبة (S/G)، القيمة المثلى للتشغيلية تتوافق مع النسبة (S/G=0.29) [42].



الشكل 30.I تأثير النسبة (S/G) على تشغيلية الخرسانة الجبسية [42].

7.2.I. تطبيقات الجبس في ميدان البناء

استعمل الجبس على نطاق واسع في المناطق الصحراوية كمادة بناء أساسية في البناء مع انتشار الخرسانة المسلحة والبناءات المعدنية، تقلص استخدام الجبس بشكل كبير في مجال الهندسة المدنية. واقتصر استعماله حديثا على بعض العناصر:

- قوالب جبسية مصممة او مجوفة لبناء الجدران الحاملة والعازلة.
- اجسام مجوفة او مقوسة للتسقيف.
- الواح جبسية مسبقة الصنع للجدران.
- مربعات الاسقف المزيفة.
- التلبيس الداخلي للجدران
- عناصر الديكور.
- أشغال الترميم.

دراسات عدة أنجزت بهدف توسيع استعمال الجبس في البناء ، حيث قام (SOLTANE) [43] بوضع نموذج بناء مكون من :

جدران حاملة من الخرسانة الجبسية.

سقف نصف جاهز برفيدات من الخرسانة المسلحة وبلاطة خرسانية خفيفة التسليح فوق اجسام مقوسة من الجبس.

(ZUBER) [44] في بحث حول البناءات في المناطق الاستوائية الجافة اقترح البناء بعناصر من الملاط الجبسي بالموصفات التالية:

- لبنات مجوفة (40×20×20) سم³ لبناء الجدران.
- عناصر مسطحة (8×52×60) سم³ للسقف.
- عناصر على شكل حرف U (40*20*20) سم³ يمكن استخدامها في قوالبه السواكف مغطاة بطبقة مضادة للتآكل.

-رفيدات بالجبس المسلح (14×12) سم².

كما استعمل (ALDEBERET) [45] الجبس في ترميم قاعات العرض لمتحف اللوفر في عدة اشكال:

- تقسيمات بجدران جبسية.
- تغليف الجدران لتحسين العزل الحراري والصوتي.
- مربعات جبسية لتغطية الاسقف بمساحات مختلفة.

أما الباحث (BELLAMLIH) [46] فقد قام بإدخال الجبس كمادة بناء أساسية في تصميم مبنى اقتصادي، بأساسات على شكل لواعط من الخرسانة المسلحة ، الجدران الحاملة الجبسية فوق الروابط الاسمنتية ، السقف منجز برفيدات من الخرسانة وعناصر جبسية مقوسة وبلاطة جبسية.

في الجزائر قام باحثو (CNERIB) ببناء نماذج لبناءات جبسية في عدة مناطق صحراوية (ورقلة، غرداية) بهدف تشجيع استعمال الجبس كمادة أساسية للبناء في المناطق الصحراوية نظرا لتلائمه مع مناخ المناطق الصحراوية وتوفره.

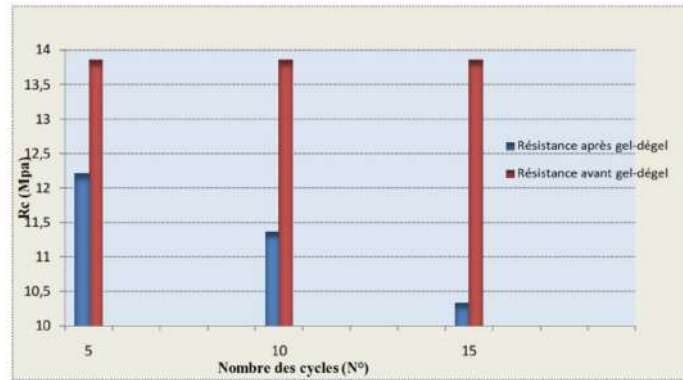
كما يستعمل الجبس في عمليات الترميم للمباني، حيث استعمل الجبس المحلي لمنطقة وادي سوف جنوب شرق الجزائر في عملية ترميم مقر الزاوية التجانية والمرافق الملحقة بها، حيث تم نزع طبقة الجبس المتآكلة ووضع طبقة جديدة من الجبس المدعم بالألياف، الشكل (31.I).



الشكل 31.I ترميم الزاوية التجانية بالجبس 2022.

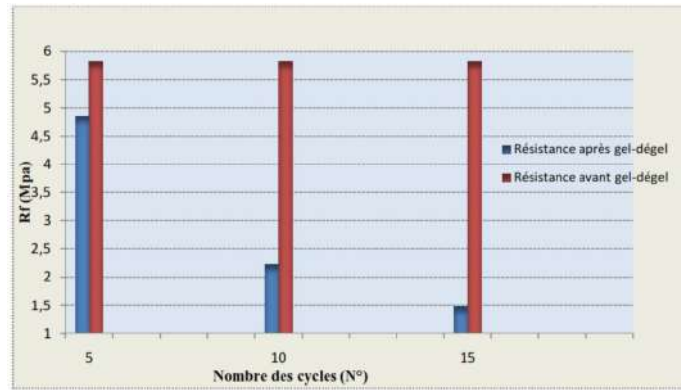
8.2.I. ديمومة البناءات الجبسية:

اثبتت الدراسات ان الجبس يتأثر بالرطوبة ، حيث يؤدي تعرضه لفترات رطوبة مستمرة الى تآكل الجبس وفقدان خصائصه الميكانيكية ، في دراسة قام بها الباحث (MAURICIO) [47] حول تأثيرات الرطوبة على اللوح الجبسية المستعملة في واجهات المباني، حيث وبعد تعريض اللوح الجبسية الى دورات من الغمر والتجفيف انخفضت الكتلة الحجمية للألواح بنسبة 1.81% ، كما انخفضت مقاومة الضغط والانحناء بنسبة 25.31% لقوى الضغط ونسبة 25% لقوى الإنحناء ، بينما زادت نسبة امتصاص الماء بنسبة 18.9%. كما درس الباحث (RACHEDI) [27] تأثير دورات التجميد والذوبان على الخواص الميكانيكية للجبس المعزز بألياف النخيل ، وتوصل الى أن دورات التجميد والذوبان تؤثر سلبا على الخواص الميكانيكية للجبس.



الشكل 32.I تغير مقاومة الضغط للجبس بدلالة عدد دورات التجميد والذوبان [27].

حيث لاحظ ان الانخفاض في قوة الضغط للجبس المدعم بألياف النخيل يزداد مع زيادة عدد دورات التجميد والذوبان. فخلال الدورات الخمس الأولى هناك انخفاض في المقاومة بحوالي 12% مقارنة بالجبس المحفوظ في الظروف الطبيعية، و18% بعد عشر دورات، وبعد خمس عشرة دورة ينخفض إلى حوالي 70%، الشكل (32.I).



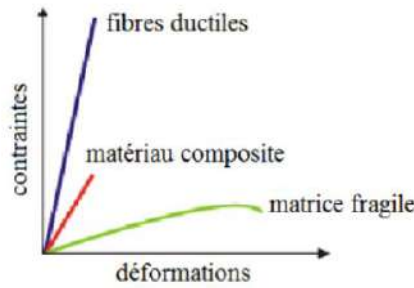
الشكل 33.I تغير مقاومة الانحناء للجبس بدلالة عدد دورات التجميد والذوبان [27].

كما لاحظ ان تأثير اختبار التجميد والذوبان على مقاومة الانحناء أقوى من تأثيره على مقاومة الضغط. حيث سجل انخفاضًا بحوالي 17% على عينات الجبس المدعم بألياف النخيل المعرضة لخمس دورات تجميد وذوبان مقارنة بالملاط المحفوظ في الظروف العادية، وانخفاضًا بحوالي 60% بعد عشر دورات، وبعد خمسة عشر دورة هناك انخفاض في مقاومة الانحناء بحوالي 70%، الشكل (33.I).

3.I. المواد المركبة

1.3.I. تعريف

يتم تعريف المواد المركبة على أنها ترتيب من الألياف - سواء كانت مستمرة أم لا - من مادة مقاومة (التقوية)، مدمجة في مادة الاساس التي تكون مقاومتها الميكانيكية أقل بكثير. تحافظ المادة الاساس (الرابطة) على الترتيب الهندسي لعناصر التقوية وتحول إليها القوى التي تتعرض لها، الشكل (25.I) يوضح السلوك الميكانيكي للمواد المركبة.



الشكل 34.I السلوك الميكانيكي للمواد المركبة [48].

عناصر التقوية يمكن ان تكون على شكل حبيبات او انسجة او الياف

2.3.I. الألياف

تقسم الالياف حسب مصدرها الى فئتين:

- الألياف الطبيعية

- الألياف الصناعية

3.3.I. الألياف الطبيعية

يتزايد الاهتمام بالمواد المركبة المقواة بالألياف الطبيعية بسرعة سواء من حيث تطبيقاتها الصناعية. فهي قابلة للتجديد، ورخيصة الثمن، وقابلة لإعادة التدوير كليًا أو جزئيًا، وقابلة للتحلل البيولوجي. يتم استخدام ألياف

النباتات، مثل الكتان والقطن والقنب والجوت والسيزال والخيزران والنخيل كمصدر للألياف الليجنوسليلوزية بشكل متزايد لتعزيز المواد المركبة. إن توفرها وقابلية تجديدها وكثافتها المنخفضة وسعرها بالإضافة إلى خواصها الميكانيكية المُرضية، يجعلها بديلاً بيئياً جيداً لألياف الزجاج والكربون والألياف الاصطناعية المستخدمة في تصنيع المواد المركبة [49].

تعتبر المركبات التي تحتوي على الألياف الطبيعية صديقة للبيئة، وتستخدم في وسائل النقل (السيارات، وعربات السكك الحديدية، والفضاء)، والتطبيقات العسكرية، وصناعات البناء والتشييد (ألواح السقف، وألواح التقسيم)، ومنتجات التعبئة والتغليف. تصنف الألياف الطبيعية حسب مصدرها إلى نباتية وحيوانية ومعدينية. (الجدول 10.I)

الجدول 10.I تصنيف الألياف الطبيعية حسب مصدرها [50].

القطن، الكابوك	بذور	مصدر نباتي	الألياف الطبيعية
الكتان، القنب، الجوت، قنب سيام،	الجدوع		
السيزال، الأباكا	الأوراق		
جوز الهند	الثمار	مصدر حيواني	
الأغنام	الأصواف		
الجمال، الكشمير، اللاما، المخير	الفراء		
الحرير	افرازات		
الأميونت		مصدر معدني	

1.3.3.I. الألياف النباتية

استخدام الألياف النباتية له مزايا مختلفة لاستخدامها كتعزيز للمواد، بدايةً، هذه الألياف متوفرة على نطاق واسع ومنخفضة التكلفة، بالإضافة إلى ذلك، يشكل استخدامها في البناء منافذ جديدة للمواد الزراعية، ومن ناحية أخرى، فإن تثمينها يسمح بتقليل الأثر البيئي مقارنة بالألياف المعدنية أو البوليمرية، بسبب طبيعتها المتجددة وقابلة للتحلل الحيوي ومحايدة فيما يتعلق بانبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وتتطلب القليل من الطاقة لإنتاجها [51].

كما تتميز الألياف النباتية بخصائص فيزيائية وحرارية جيدة مما شجع على إدخالها في مجال البناء لتحسين الخصائص الميكانيكية والحرارية لمواد البناء.

2.3.3.I. تصنيف الألياف النباتية

تصنف الألياف النباتية إلى

1.2.3.3.I. الألياف اللحائية

تستخرج هاته الألياف من خلايا المنطقة اللحائية في سيقان بعض النباتات وتسمى أيضاً الألياف اللينة. توجد هذه الألياف في منطقة برنشيما اللحاء، حيث تلي هذه الطبقة طبقات الكيوتيكال والبشرة والقشرة وتكون عادة

على شكل حزم تحيط بطبقة اللحاء ومنطقة الخشب الداخلية، ويختلف عدد الحزم الليفية حسب نوع النبات والارتفاع عن سطح الأرض ويتراوح عددها عادة من 15 - 25 حزمة، وتتكون كل حزمة من هذه الحزم من 10 - 40 خلية ليفية ذات شكل مغزلي طويل ومستدقة الطرفين، ومن أهم نباتات هذه المجموعة الجوت والكتان والقنب والرامي.

الجدول 11.I خصائص بعض الألياف اللحائية [52].

الألياف	الطول (mm)	القطر (µm)
الكتان	-	26-15
القنب	24-17	17-10
الكيناف	-	20-13
الجوت	-	35-15

2.2.3.3.I الألياف الورقية

تستخرج الألياف الورقية من الحزم الوعائية للأوراق. ويعتبر السيسال والأبكا والنخيل من أهم نباتات هذا النوع من الألياف. توجد الألياف هذه المجموعة من النباتات حول الحزم الوعائية الطويلة للورقة حيث يتراوح قطر الألياف السيسال من 15-30 µm والأبكا من 10-30 µm [52] تنزع عروق الأوراق وتستعمل هذه الألياف لصنع الحبال أو الأنسجة السمكية.

3.2.3.3.I الألياف البذرية أو الثمرية

تتكون هذه الألياف على سطح البذور كالقطن والكابوك أو على سطح الثمرة كألياف جوز الهند، تعتبر الألياف القطن من أهم هذه الألياف، بل أهم الألياف النباتية عموماً لاستعمالها الواسع في الصناعات النسيجية. يبلغ طول الألياف القطن من 10-50 mm وقطر يتراوح بين 15-25 µm [52].

4.2.3.3.I الألياف الخشبية

وهي الأوعية الخشبية أو ما يسمى لباد الخشب وتستعمل في صناعة الورق.

5.2.3.3.I الألياف المتنوعة

وتؤخذ هذه المجموعة من الألياف النباتية في بعض النباتات مثل الألياف المأخوذة من قواعد وسطح وجذوع النخيل أو سيقان بعض أنواع الذرة.

3.3.3.I الخصائص الكيميائية للألياف النباتية

الألياف النباتية (السيليلوزية) تتكون أساساً من السيليلوز الهيميسيليلوز واللجنين، تختلف نسبة كل مركب حسب نوع الألياف. الجدول (12.I) يوضح نسب هاته المركبات في بعض الألياف النباتية

الجدول 12.I التركيب الكيميائي لبعض الألياف [53].

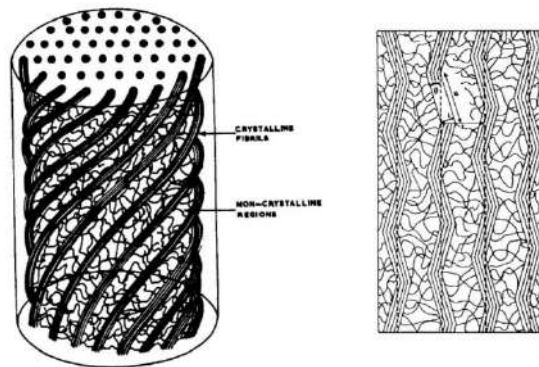
الألياف	السيليلوز %	الهيميسيليلوز %	اللجنين %
الكتان	60	7	27
القنب	60.2	14.8	11.2
البرسيم الحلو	53	16.77	27
الكونولا	44	6	19.21
السيزال	66	12	10

نخيل التمر من أكثر الأشجار مصدرا للألياف، الجدول (13.I) يوضح التركيب الكيميائي لألياف نخيل التمر. الجدول 13.I التركيب الكيميائي لألياف نخيل التمر [54].

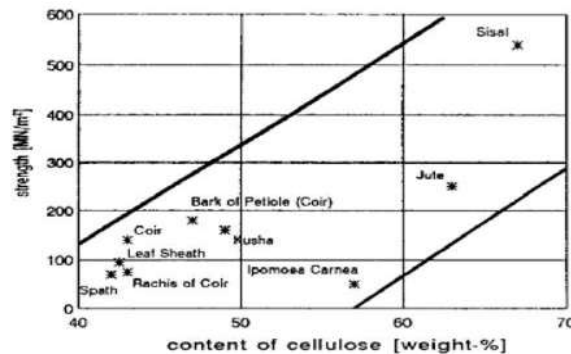
الألياف	السيليلوز %	الهيميسيليلوز %	اللجنين %	رماد %
الجريد	33.79	20.44	26.03	3.70
الأشواك	41.42	19.35	33.00	4.00
السعف	35.05	21.17	30.10	5.52
الكرناف	38.58	20.05	28.57	2.62
غلاف العرجون	39.82	20.68	29.97	5.14
ساق العرجون	33.29	21.15	27.64	3.05
العنقود	42.48	19.10	28.27	5.10
الليف السطحي	43.94	21.68	27.80	1.55

4.3.3.I الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للألياف

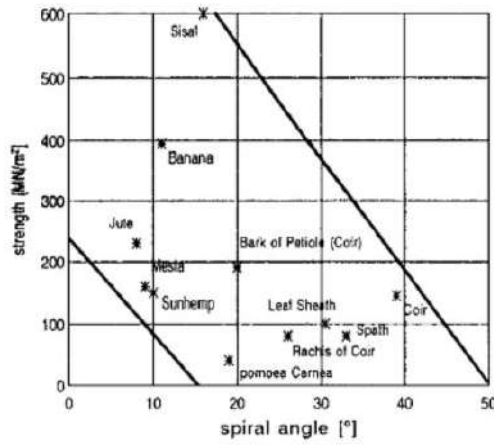
تتميز الألياف النباتية من خلال قطرها والمحتوى المائي ونسبة امتصاص الماء، ويتميز ميكانيكيا من خلال اجهاد الشد، والاستطالة عند الكسر ومعامل المرونة. يزداد اجهاد الشد ومعامل المرونة للألياف النباتية مع زيادة محتوى السليولوز، الشكل (33.I). كما يتناسب اجهاد الشد ومعامل المرونة للألياف النباتية مع الشكل الحلزوني للخيوط الليفية، الشكل (34.I) ، حيث أن الألياف ذات الزاوية الحلزونية الكبيرة لها قابلية التشوه ولكنها منخفضة القوة، في حين أن الألياف ذات الزاوية الحلزونية المنخفضة لها تشوه منخفض وقوة عالية [55].



الشكل 35.I الشكل الحلزوني للخيوط الليفية للألياف النباتية [55].



الشكل 36.I اجهاد الشد بدلالة نسبة السليولوز لبعض الألياف النباتية [55].



الشكل 37.I اجهاد الشد بدلالة الزاوية الحزونية للخیوط الليفية لبعض الألياف النباتية [55].

الجدول (14.I) يعرض الخصائص الميكانيكية لبعض الألياف. نلاحظ أن معظم الألياف النباتية لها خصائص قريبة من خصائص الألياف الاصطناعية (الزجاج، الأراميد، الكربون، إلخ).

الجدول 14.I مقارنة الخصائص الميكانيكية للألياف الصناعية والنباتية [56].

الألياف	E	A _r (%)	σ _r (MPa)
الألياف الصناعية			
الزجاج	73-72	4.8-4.6	2400-2300
الكربون	230	1.5	3530
الأراميد	124	2.9	3620
الألياف النباتية			
الكتان	85-13	4-1	2000-600
رامي	128-61.4	3.8-1.2	938-400
القنب	35	1.6	389
الجوت	26.5	1.8-1.5	773-393
السيزال	21-9	7-3	700-350
جوز الهند	6-4	40-15	175-131
قطن	12.6-5.5	8-7	597-287

على الرغم من خصائصها الميكانيكية الجيدة إلا أن الألياف النباتية تتميز بخاصية الامتصاص للماء العالية (الجدول 15.I) يوضح الخصائص الفيزيائية لألياف النخيل

الجدول 15.I الخصائص الفيزيائية لألياف نخيل التمر [54].

الألياف	الجريد	السعف	الكرفان	الليف
الكتلة الحجمية الظاهرية (Kg/m ³)	635	411	160	209
الكتلة الحجمية المطلقة (Kg/m ³)	751	830	866	786
امتصاص الماء (%)	36.88	96.6	146	115.11
المسامية (%)	15.44	50.6	81.52	73.41

5.3.3.I. ميزات وعيوب الألياف النباتية

تشكل الألياف النباتية بديلاً مثيراً للاهتمام للألياف الزجاجية نظراً لقابليتها للتجدد وإعادة التدوير، تتمتع هذه الألياف بالعديد من المزايا كتعزيز للمواد المركبة، ومن ناحية أخرى، يمكن لبعض العيوب أن تعيق تطور استعمالها، تم تلخيص المزايا والعيوب الرئيسية في الجدول أدناه

الجدول 16.I مزايا وعيوب الألياف النباتية.

العيوب	المزايا
الامتصاص العالي للماء	متجددة المصدر
غير ثابتة الأبعاد	مناسبة للعزل الحراري والصوتي
الياف متباينة الخواص	قابلة للتحلل البيولوجي
تغير الخصائص	تكلفة منخفضة
غير مقاومة للحرارة	خصائص ميكانيكية جيدة
ديمومة ضعيفة	محايدة لانبعاث CO ₂

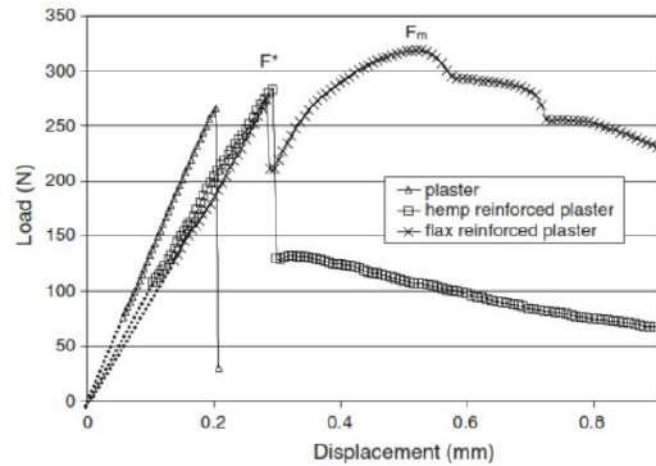
4.3.I. المواد المركبة ذات الأساس الجبسي**1.4.3.I. الجبس المدعم بألياف القنب والكتان**

في دراسة قام بها الباحث (DALMAY) [57] للخصائص الفيزيائية والميكانيكية الجبس المدعم بألياف القنب والكتان، لاحظ ان إضافة ألياف القنب الى الجبس زاد من زمن المسك للمادة المركبة ، وعلى العكس من ذلك فان إضافة الياف الكتان لم يؤثر بصفة ملحوظة على زمن المسك، كما ان معالجة الياف القنب والكتان بمحلول هيدروكسيد الصوديوم قلل من زمن المسك للمادة المركبة الى النصف ، الجدول (17.I)

الجدول 17.I تأثير معالجة الالياف على زمن المسك للجبس [54].

نهاية المسك (min)	بداية المسك (min)	
25	22	الجبس
45	41	الجبس المدعم بألياف القنب غير المعالجة
27	20	الجبس المدعم بألياف الكتان غير المعالجة
19	13	الجبس المدعم بألياف القنب المعالجة (NAOH)
15	10	الجبس المدعم بألياف الكتان المعالجة (NAOH)

كما تلعب ألياف الكتان، دوراً مهماً في تحسين متانة المادة المركبة الجبسية، من خلال تعزيز خصائصها الميكانيكية، حيث يؤدي إلى زيادة مقاومة الإنحناء وتحويل سلوك المادة من الخطي إلى غير الخطي، الشكل (36.I)، مما يشير إلى زيادة المتانة والتقليل انتشار التشققات داخل المادة المركبة

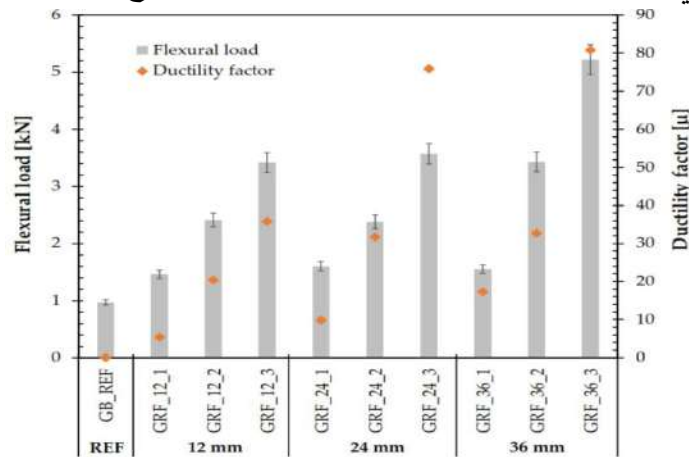


الشكل 38.I منحنى القوة/الازاحة للجبس والجبس المدعم بألياف القنب والكتان [54].

الجدول 18.I تأثير معالجة الالياف على مقاومة الإنحناء [54].

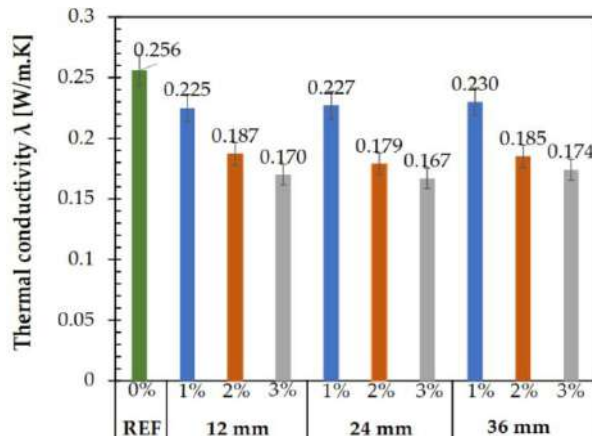
ρ (kg/m ³)	الإنحناء	اجهاد
834	3.2	الجبس
827	2.8	الجبس المدعم بألياف القنب غير المعالجة
824	3.6	الجبس المدعم بألياف الكتان غير المعالجة
827	3.4	الجبس المدعم بألياف القنب المعالجة (NaOH)
825	3.7	الجبس المدعم بألياف الكتان المعالجة (NaOH)

اما الباحث (AGOSSOU) [58] فقد استخدم ألياف الكتان بثلاثة أطوال مختلفة (12mm,24mm,36mm) وقطر (14.66 μ m)، بهدف تعزيز الخواص الميكانيكية والحرارية للألواح الجبسية. أجريت التجارب على عينات (40x40x160 mm³)، أظهرت الدراسة تحسنا في مقاومة قوى الانحناء للجبس المدعم بألياف الكتان، بغض النظر عن طول الألياف. حيث أظهرت إضافة 3% من ألياف الكتان بطول (36mm) أكبر زيادة في قوة الانحناء، حيث تجاوزت 43.8% مقارنة بألواح الجبس، الشكل (37.I).



الشكل 39.I مقاومة الانحناء للجبس المدعم بألياف الكتان [55].

كما أظهرت الدراسة ان جميع عينات الجبس المدعمة بألياف الكتان أبدت تحسنا في الناقلية الحرارية، حيث انخفضت الناقلية الحرارية عند إضافة نسبة 3% من الالياف بطول (24mm) بنسبة 37.77%.



الشكل 40.I الناقلية الحرارية للجبس المدعم بألياف الكتان [55].

2.4.3.I. الجبس المدعم بألياف النخيل

الدراسة التي قامت بها الباحثة (SOUIDI) [59] حول خصائص الجبس المدعم بألياف السطح (الليف) لنخيل التمر، شملت دراسة تأثير نسبة الالياف واتجاهها على مقاومة الإنحناء للجبس، كشفت الدراسة ان إضافة ألياف نخيل التمر بنسبة 0.5% في اتجاه مواز لقوى الإنحناء ساهم في رفع مقاومة الإنحناء للمادة المركبة بنسبة 29.25%

كما أظهرت نفس الدراسة ان إضافة ألياف نخيل التمر بنسبة 0.5% ادى الى خفض مقاومة الضغط للمادة المركبة بنسبة 24.32%، البنية المسامية لألياف نخيل التمر تسمح بامتصاص الماء أثناء تحضير المزيج، والذي يتبخر بعد التصلب، تاركًا المسام داخل المادة التي تؤثر بشكل سلبي على مقاومة الضغط.

الجدول 19.I تأثير إضافة الالياف على مقاومة الإنحناء والضغط للجبس [55].

مقاومة الضغط (MPa)	مقاومة الإنحناء	
6.138	2.130	الجبس
4.645	2.753	الجبس المدعم بألياف النخيل

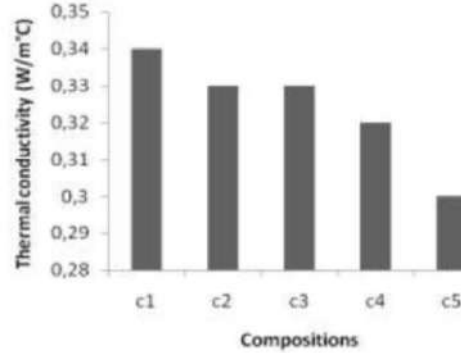
لا تساهم ألياف نخيل التمر في تعزيز الخواص الميكانيكية لمركبات الجبس فحسب، بل تقدم أيضًا فوائد من حيث العزل الحراري، فالبنية المسامية الجبس المدعم بألياف النخيل تؤثر بشكل إيجابي على الخصائص الحرارية حيث ساهمت إضافة الياف النخيل في تحسين الناقلية الحرارية للجبس مما يجعلها مناسبة للتطبيقات التي تتطلب عزلا حراريا.

الجدول 20.I تأثير إضافة الالياف على مقاومة الإنحناء والضغط للجبس [55].

الانتشارية الحرارية (mm ² .s ⁻¹)	الناقلية الحرارية (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	
0.378	0.359	الجبس
0.341	0.354	الجبس المدعم بألياف النخيل

باستعمال نفس الالياف والجبس التقليدي لمنطقة ورقلة قامت الباحثة (BOUZOUID) [60]، بدراسة تهدف الى تعزيز الخصائص الميكانيكية والحرارية للجبس من خلال دمج ألياف نخيل بنسب متغيرة.

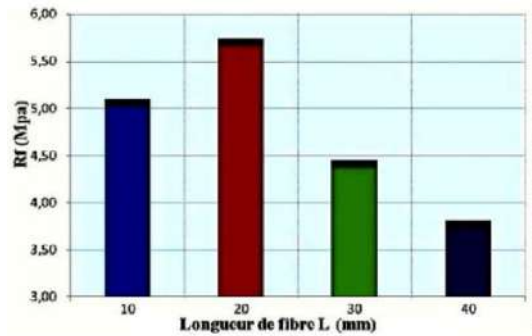
تضمنت الدراسة قياس مقاومة الإنحناء والضغط للعينات وقياس الموصلية الحرارية والسعة الحرارية والحرارة النوعية باستخدام طريقة الصفيحة الساخنة، أشارت النتائج إلى أنه مع زيادة النسبة من ألياف نخيل التمر، كان هناك تحسن ملحوظ في الخصائص الميكانيكية حيث زادت مقاومة الإنحناء بنسبة 90% عند إضافة نسبة 4% من الألياف، كما كان هناك تحسن كبير في الناقلية الحرارية، مع انخفاض القيم بنسبة تصل إلى 36% مع زيادة نسبة ألياف نخيل التمر، الشكل (41.I).



الشكل 41.I تغير الناقلية الحرارية بزيادة نسبة الألياف [57].

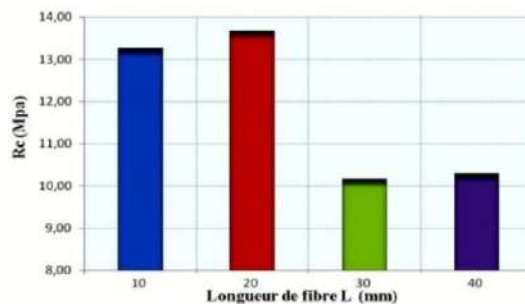
3.4.3.I. الملاط الجبسي المدعم بألياف النخيل

الباحث (RACHEDI) [61] استعمل الياف السطح لنخيل التمر لتحسين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للملاط الجبسي (الجبس مع رمل الكثبان بنسبة $S/P=0.5$)، حيث تم إضافة الألياف بطول (10mm, 20mm, 30mm, 40mm) بنسب متغيرة من 0% إلى 2% بتدرج 0.5، الشكل (42.I). نتائج الدراسة أظهرت انه القيمة القصوى لمقاومة الإنحناء للملاط الجبسي كانت عند إضافة ألياف النخيل بطول (20mm) وبنسبة 1.5%، حيث زادت مقاومة الإنحناء بنسبة 75.87%.



الشكل 42.I تغير مقاومة الإنحناء بدلالة طول الألياف [58].

كما أظهرت الدراسة ان القيمة القصوى لمقاومة الضغط للملاط الجبسي كانت عند إضافة ألياف النخيل بطول (20mm) وبنسبة 1.5%، حيث زادت مقاومة الضغط بنسبة 23.50%.

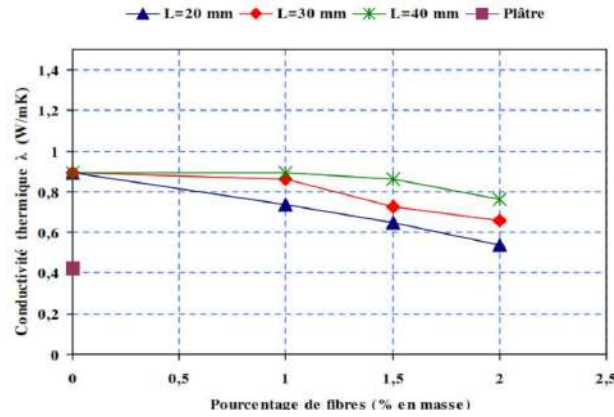


الشكل 43.I تغير مقاومة الضغط بدلالة طول الألياف [58].

4.4.3.I. الخرسانة الجبسية المدعمة بألياف النخيل

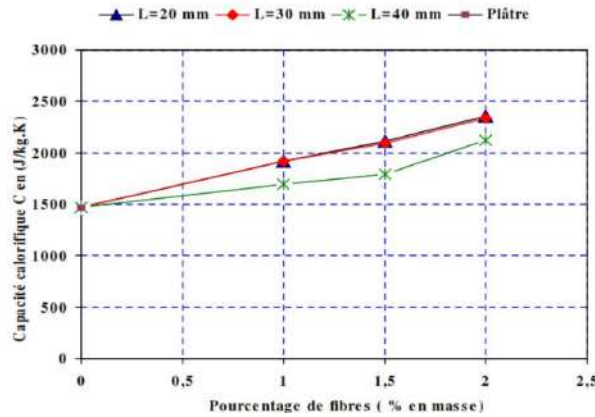
قامت الباحثة (DJOUUDI) [62] بدراسة الخرسانة الجبسية المكونة من الجبس والرمل السيليسي (0/2mm) والحصى المهشم (5/15mm)، تم إضافة الياف النخيل بقطر من (0.2mm) الى (1mm) وبطول (20mm) و (30mm) و (40mm) .

توصلت الدراسة الى أن الناقلية الحرارية للخرسانة الجبسية تتناقص مع زيادة نسبة ألياف نخيل التمر، على وجه التحديد، تم تحديد العينة الأكثر عزلاً بنسبة 2% من الألياف بطول (20mm)، حيث انخفضت الناقلية الحرارية من (0.895 W/m. K) إلى (0.540 W/m. K)، الشكل (44.I).



الشكل 44.I تغير الناقلية الحرارية بدلالة طول ونسبة الألياف [59] .

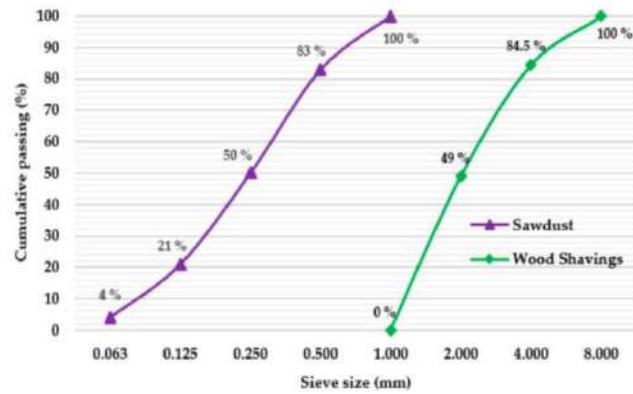
كما أظهرت الدراسة ان الحرارة النوعية للمادة المركبة تزداد مع زيادة محتوى الألياف. الخرسانة الجبسية الخالية من الألياف اعطت حرارة نوعية (1470.34 J/kg. K) ، بينما كانت أعلى قيمة مسجلة (2341.65J/kg.K) عند إضافة الألياف بطول (30mm) ونسبة 2% .



الشكل 45.I تغير الحرارة النوعية بدلالة طول ونسبة الألياف [59] .

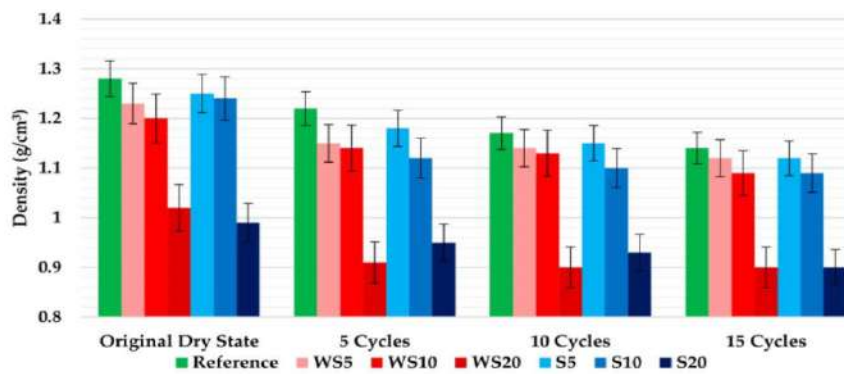
5.4.3.I. الجبس المدعم بنشارة الخشب

قام الباحث (PEDREÑO-ROJAS) [63] في هاته الدراسة بإضافة بقايا الخشب بتدرج حبيبي متغير، الشكل (46.I) الى الجبس ، بنسب متغيرة 5% ، 10% و 20%



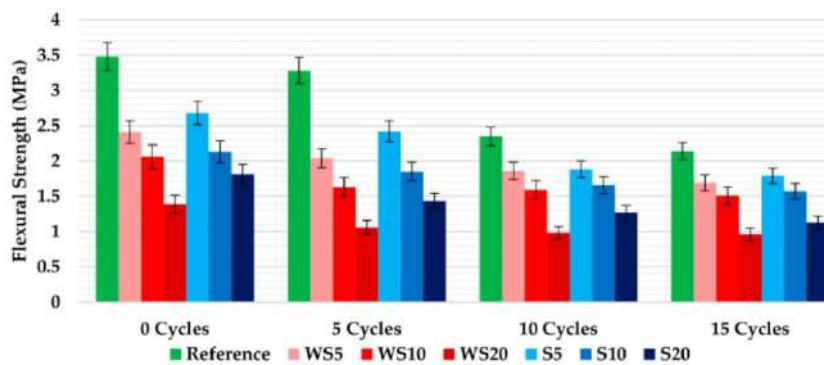
الشكل 46.I التدرج الحبيبي للنوعين من بقايا الخشب [60].

تم اخضاع العينات بقياس (40x40x160 mm³) لـ 5، 10 و 15 دورة من الغمر والتجفيف حيث لاحظ الباحث انخفاضا في الكتلة الحجمية لجميع العينات.



الشكل 47.I الانخفاض في الكتلة حسب عدد دورات الغمر والتجفيف للجبس والجبس المدعم ببقايا الخشب [60].

أظهرت الدراسة ان جميع العينات التي اخضعت للغمر والتجفيف أبدت انخفاضا في الكتلة ومقاومة الإنحناء والضغط، يتناسب هذا الانخفاض في الكتلة الحجمية مع عدد دورات الغمر والتجفيف، الشكل (47.I) حيث بلغت نسبة الضياع في الكتلة للجبس الخالص 11% عند 15 دورة من الغمر والتجفيف، اما في الجبس المدعم ببقايا الخشب بنسبة 20 % من (WS20) فكانت نسبة الانخفاض في الكتلة 11.76% عند 15 دورة من الغمر والتجفيف.



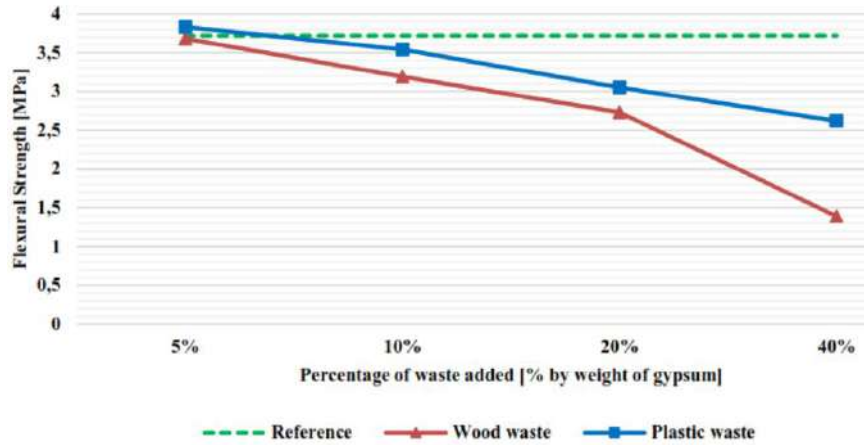
الشكل 48.I الانخفاض في مقاومة الإنحناء حسب عدد دورات الغمر والتجفيف للجبس والجبس المدعم ببقايا الخشب [60].

يتناسب هذا الانخفاض في مقاومة الإنحناء مع عدد دورات الغمر والتجفيف، الشكل (48.I)، حيث بلغت نسبة الانخفاض في مقاومة الإنحناء للجبس الخالص 38.5% عند 15 دورة من الغمر والتجفيف، اما في الجبس المدعم ببقايا الخشب بنسبة 20 % من (WS20) فكانت نسبة الانخفاض في الكتلة 31% عند 15

دورة من الغمر والتجفيف.

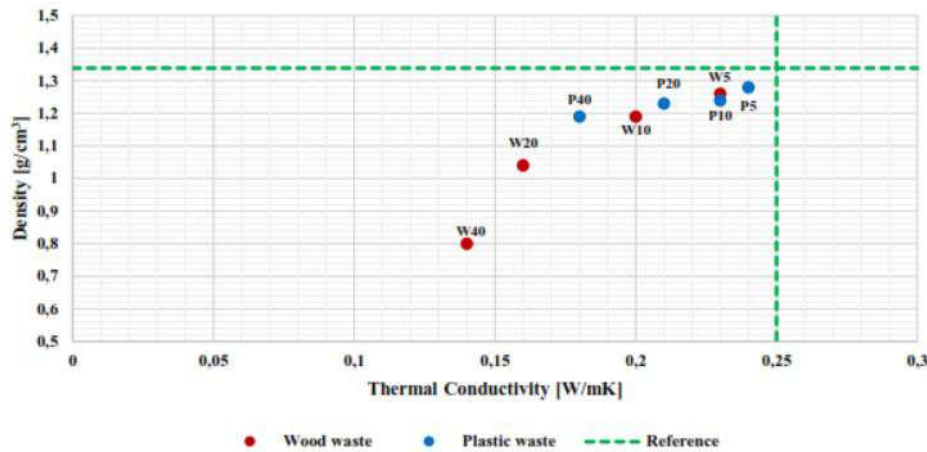
كما أظهرت الدراسة انخفاضا مقاومة الضغط للجبس الخالص بنسبة 52.5% عند 15 دورة من الغمر والتجفيف، اما في الجبس المدعم ببقايا الخشب بنسبة 20 % من (WS20) فكانت نسبة الانخفاض في الكتلة 31% عند 15 دورة من الغمر والتجفيف.

وفي دراسة ثانية لنفس الباحث [64] حول الخصائص الحرارية والميكانيكية للجبس المدعم ببقايا الخشب والبلاستيك. حيث تم إضافة بقايا الخشب بقياسات اقل من (1mm) وبقايا البلاستيك أقل من (4mm) الى الجبس.



الشكل 49.I مقاومة الإنحناء للجبس والجبس المدعم ببقايا الخشب والبلاستيك [61].

خلصت الدراسة الى أن الخصائص الميكانيكية، وتحديدًا قوة الانحناء والضغط، تأثرت بزيادة نسبة النفايات المضافة. ومع زيادة نسبة النفايات، كان هناك انخفاض ملحوظ في مقاومة المادة المركبة. كان هذا الانخفاض أكثر أهمية في المركبات التي تحتوي على نفايات الخشب مقارنة بتلك التي تحتوي على نفايات البلاستيك، الشكل (49.I).



الشكل 50.I الناقلية الحرارية والكثافة للجبس المدعم ببقايا الخشب والبلاستيك [61].

كما أظهرت الدراسة تحسن في الناقلية الحرارية عندما تم إضافة كل من نفايات البلاستيك والخشب للجبس، حيث أعطت عينات الجبس وبقايا الخشب ناقلية حرارية أقل من العينات التي تحتوي على البلاستيك عند نفس النسبة المئوية، الشكل (50.I).

4.I. خلاصة

الجبس من أكثر الخامات انتشارا على وجه الأرض، ومن أقدم مواد البناء التي استعملها الانسان، نظرا لسهولة انتاجه واستعماله وخصائصه المميزة كالعزل الحراري والصوتي ومقاومته العالية للحريق، وخصائصه الميكانيكية المقبولة.

حديثا يستعمل الجبس على نطاق محدود في البناء مقارنة بالخرسانة المسلحة التي تتميز بخصائص ميكانيكية عالية، حيث ادخل الجبس على شكل الواح جبسية للجدران او على شكل مربعات للأسقف المزيفة، كما يستعمل في بعض اشغال التلبيس الداخلي، دراسات عدة أجريت حول الجبس بغرض توسيع استعماله في البناء وتحسين خصائصه الميكانيكية والحرارية، حيث تم إضافة الالياف المعدنية والنباتية الى الجبس، نتائج الدراسات أظهرت تحسنا في الخصائص الميكانيكية والفيزيائية والحرارية للمواد المركبة ذات الأساس الجبسي.

الفصل الثاني:

العزل الحراري، النقل الحراري
وطرق قياس الناقلية الحرارية

1.1.II. مقدمة

المباني التي يتم بناؤها في المناطق الصحراوية بالجزائر في الغالب لا تأخذ العامل المناخي بعين الاعتبار، وهي مباني قياسية يتم بناؤها في أي مكان وفي مناخات مختلفة دون تقييم الأداء الحراري لها، الأمر الذي يتطلب تركيب أنظمة تكييف الهواء والتدفئة لجعلها صالحة للعيش لشاغلها.

تقدر الحرارة التي تخترق الجدران والأسقف في أيام الصيف بنسبة 60% - 70% من الحرارة المراد إزاحتها بأجهزة التكييف، وأما البقية فتأتي من النوافذ وفتحات التهوية، وتقدر نسبة الطاقة الكهربائية المستهلكة في الصيف لتبريد المبنى بنسبة حوالي 65% من كامل الطاقة الكهربائية [65]، ومن هنا تتبع أهمية العزل الحراري لتخفيض استهلاك الطاقة الكهربائية المستخدمة لأغراض التكييف.

إن التكلفة المالية للتدفئة والتبريد في الفصول المختلفة في السنة تعد مرتفعة جدا، لهذا الشأن بات من الضروري اختيار حلول أكثر ملائمة للبيئة والتي يبدو أن الاستثمار فيها أكثر تكلفه ولكنها أثبتت في النهاية أنها أكثر اقتصادا، وأكثر قابلية للاستمرار مع مرور الوقت. حيث يستخدم العزل الحراري في المباني لتحقيق الراحة الحرارية للمستخدم فهو يقلل من فقدان أو اكتساب الحرارة غير المرغوب فيها ويقلل من استهلاك الطاقة لأنظمة التدفئة والتبريد.

2.II. الراحة الحرارية

تعرف الراحة الحرارية (thermal confort) حسب المواصفات (ISO-7730) بأنها تلك الحالة الذهنية التي تعبر عن ارتياح الإنسان فيها بالجو الحراري المحيط، كما تعرف أيضا على أنها الحالة التي لا يتم فيها فرض قيود كبيرة على آليات التنظيم الحراري لجسم الإنسان، حيث توفر الراحة الحرارية الظروف المثالية لجميع أنظمة الجسم الوظيفية بالإضافة إلى مستوى عالٍ من القدرة على العمل.

أن شروط الراحة الحرارية ليست ثابتة في الزمان والمكان، وعلى العكس من ذلك فهي تختلف اجتماعيا حسب مستوى المعيشة، وجغرافيا حسب المنطقة، وتاريخياً حسب الفترات.

بالنسبة لشخص مجرد من الملابس في حالة الراحة، درجة الحرارة المثالية بالقرب من الجلد حوالي 29 درجة مئوية [66]، لذلك استعملت أجهزة التدفئة والتبريد للحفاظ على درجة الحرارة هذه مهما كانت الظروف المناخية الأرضية، إلا أن درجة حرارة الهواء التي يمكن التحكم بها بواسطة هذه الأجهزة لا تكفي وحدها لتحقيق الارتياح الحراري المطلوب، وإنما هناك عوامل أخرى مؤثرة على مستويات الراحة في المكان المخصص لإقامة الإنسان وعمله.

يتطلب تقييم الراحة الحرارية مراعاة المتغيرات المختلفة التي تؤثر على الراحة، وتتميز البيئة الحرارية بأربع كميات فيزيائية (درجة حرارة الهواء، ودرجة حرارة الإشعاع، والرطوبة، وسرعة الهواء)، تتفاعل هذه المتغيرات مع نشاط جسم الإنسان وملابسه لتؤسس حالته الحرارية وتشكل معاً المعايير الأساسية للتبادل الحراري بين الإنسان وبيئته [67].

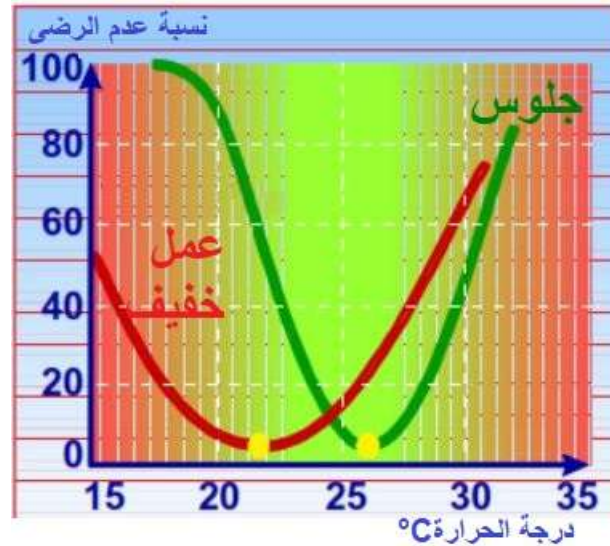
1.2.II. العوامل المؤثرة على الارتياح الحراري

1.1.2.II. درجة الحرارة

تمثل درجة الحرارة المؤشر الأكثر تأثيراً على الراحة الحرارية، حيث يتم استخدامه لتحديد نقاط ضبط درجة الحرارة المرجعية لمنشآت التدفئة خلال فترات الشتاء، وتكييف الهواء في الصيف.

يعبر عن الراحة الحرارية من خلال النسبة المتوقعة لعدم الرضى (PPD% predictable percentage of dissatisfied) [68]، فمن خلال الشكل (1.II)، وبالمقارنة بين المنحنى في حال الجلوس وحالة العمل الخفيف، نلاحظ ان الأشخاص في حالة العمل يفضلون انخفاض درجات الحرارة، كما ان الأشخاص في حالة الراحة هم اقل حساسية للتغيرات في درجة الحرارة، ففي الحالتين لا يمكن تحديد درجة الحرارة التي تناسب الجميع حيث يبقى 5% غير راض.

عند تحديد باقي المؤشرات فان درجة الحرارة التي يحافظ فيها جسم الانسان على الاتزان الحراري تتراوح بين 20 الى 27 (C°).



الشكل 1.II. نسبة عدم الرضى عن الراحة الحرارية بتغير درجة الحرارة [69]

2.1.2.II. الملابس والأغطية

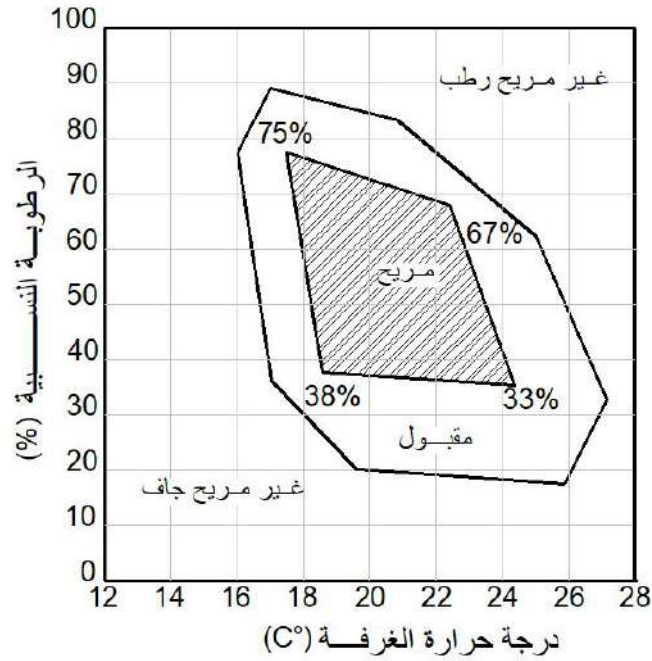
يؤثر ارتداء الملابس على التبادل الحراري بين جسم الانسان والبيئة الخارجية، حيث تتشكل تحت الملابس منطقة عازلة من مناخ محلي مع درجة الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح الخاصة بها، والتي تختلف عن الظروف المناخية الخارجية، كما تعمل الملابس، من خلال خصائصها العازلة، على انعكاس الإشعاع الساقط وامتصاص بخار الماء الذي ينتجه الجلد ثم إعادته إلى البيئة الخارجية، مما يعزز أو يعيق التنظيم الحراري.

تصنف الملابس حسب قيمتها العازلة، الوحدة المستخدمة عادةً لقياس مقاومتها الحرارية هي $1\text{ clo} = 0,155\text{m}^2\cdot\text{C}/\text{W}$ بحيث يكون للشخص بدون ملابس قيمة 0.0، وللشخص الذي يرتدي زيًا نموذجيًا قيمة 1.0 [70]

3.1.2.II. الرطوبة النسبية

تؤثر الرطوبة النسبية المحيطة على قدرة الجسم على التخلص من الحرارة الزائدة، وبالتالي فإن درجة الحرارة الخارجية البالغة 24 درجة مئوية والرطوبة النسبية 80% تسبب شعوراً قوياً بالرطوبة، وذلك لعدم قدرة الجلد على تبخير ماء العرق وبالتالي تبريده.

من ناحية أخرى فإن درجة الحرارة البالغة 24 درجة مئوية مع رطوبة نسبية تبلغ 18% تسمح بتبريد الجلد عن طريق تبخر ماء العرق، وتبدو الحرارة محتملة للغاية بالنسبة لنا.

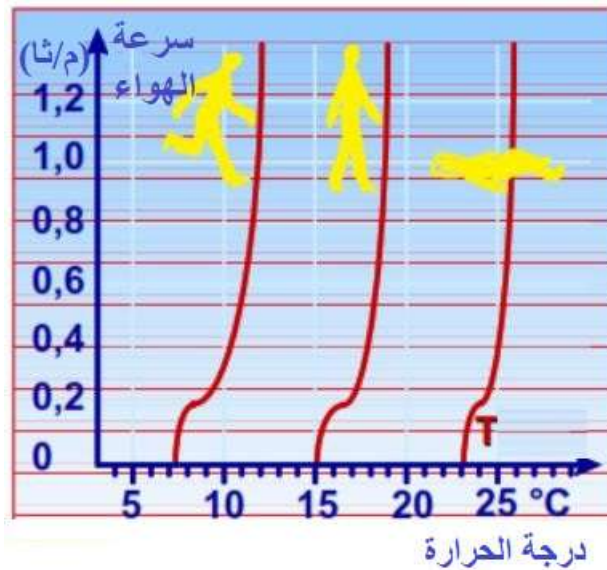


الشكل II.2 مجال الارتياح الحراري حسب درجة الحرارة والرطوبة [71]

II.4.1.2 سرعة حركة الهواء

تعتبر سرعة الهواء (وبتعبير أدق السرعة النسبية للهواء بالنسبة للفرد) عاملاً يجب أخذه في الاعتبار، لأنها تؤثر على التبادل الحراري عن طريق الحمل الحراري وتزيد من التبخر على سطح الجلد. داخل المباني، يعتبر بشكل عام أن التأثير على الراحة لا يكاد يذكر طالما أن سرعة الهواء لا تتجاوز 0.2 م/ثا [69].

للمقارنة: المشي بسرعة 1 كم/ساعة ينتج حركة هواء على الجسم مقدارها 0.3 م/ث. تعمل حركة الهواء على خفض درجة حرارة الجسم، وهو عامل مرغوب فيه في الصيف ولكنه قد يكون مزعجاً في الشتاء.



الشكل II.3 تغير درجات حرارة الراحة حسب السرعة النسبية للهواء [69]

5.1.2.II. الإشعاع

يرتبط هذا المفهوم بالتوازن الحراري لجسم الإنسان مع البيئة، إذا كانت درجة حرارة أي جسم بالقرب من الإنسان منخفضة للغاية من درجة حرارة الجسم، فإن كمية كبيرة من الإشعاع الحراري تنبعث من الإنسان. في المقابل، إذا كانت درجة حرارة أي جسم بالقرب من الكائن البشري مرتفعة للغاية، فسوف تتلقى درجة حرارة عالية من خلال الإشعاع البشري الذي يمثل نسبة 35% من مجمل التبادلات الحرارية بين الجسم وبيئته. فعند التعرض لأشعة الشمس في الشتاء، يمتص الجلد والملابس الأشعة التي تتحول إلى حرارة، ويعطي إحساساً بالراحة الحرارية على الرغم من برودة الجو، كما أن الأسطح الخارجية للبناء الغير معزولة حرارياً المعرضة لأشعة الشمس وفتحات الأبواب والنوافذ تزيد من انتقال الحرارة بالإشعاع إلى الداخل.

6.1.2.II. نوع النشاط

هناك علاقة بين الجهد العضلي المبذول والحرارة المتولدة داخل الجسم، حيث تزداد الحرارة المتولدة داخل الجسم بازدياد الجهد العضلي المبذول عند الإنسان، مما يزيد من التبادل الحراري بين الجسم وبيئته للتخلص من الحرارة الزائدة التي قد تصل إلى أضعاف ما ينتجه الجسم خلال الراحة، يعبر عن الحرارة ناتجة عن العمليات الحيوية في الجسم ب (met) حيث أن $1 \text{ met} = 58.1 \text{ w.m}^{-2}$.

الجدول (1.II) الحرارة الناتجة عن جسم الانسان حسب نوع النشاط [68]

نوعية النشاط	الحرارة الناتجة عن جسم الإنسان (واط / م ²)	القيمة (met)	المعادلة
أثناء النوم	41	0.7	
أثناء الجلوس براحة	58.2	1.0	
أثناء الوقوف براحة وبدون نشاط آخر	70	1.2	
أثناء المشي أفقياً بسرعة 2.3 كم/ساعة	116	2.0	
أثناء المشي أفقياً بسرعة 8.4 كم/ساعة	151	2.6	

3.II. العزل الحراري**1.3.II. تعريف**

يمكن تعريف العزل الحراري على أن استخدام مواد لها خواص عازلة للحرارة، تساعد على الحد من تسرب الحرارة وانتقالها من خارج المبنى إلى داخله صيفاً والعكس في الشتاء، حيث تشير الدراسات على أن نسبة من 60 إلى 70% من الطاقة الكهربائية المستهلكة في الصيف تذهب لتبريد المبنى [72] [73]، أي أن معظم هذه الطاقة تذهب للتخلص من الحرارة المكتسبة من الجدران والأسقف، ومن هنا تتبع أهمية العزل الحراري إذ أنه يلعب دوراً كبيراً في تخفيض استهلاك الطاقة الكهربائية المستخدمة في أغراض التكييف وذلك بالحد من تسرب الحرارة خلال الجدران والأسقف.

2.3.II. أهمية العزل الحراري

المعياران الضروريان للتصميم الحراري للمباني، هما حماية شاغليها من العوامل المناخية، المطر، الرياح، الإشعاع، الحرارة أو البرودة، وتحسين استهلاك الطاقة، ويجب على المصمم التأكد من أن هذا الاستهلاك

(التسخين أو التبريد) يبقى ضمن الحدود التي تحددها اللوائح والإمكانات المالية للمستعملين، مع ضمان مستوى من الراحة يحدده المالك، حيث يكمن تحديد أهمية العزل الحراري للبنىات في العناصر التالية:

1.2.3.II. تخفيض استهلاك الطاقة الكهربائية

يساهم استخدام العزل الحراري في تخفيض الطاقة الكهربائية المستهلكة في أجهزة التكييف بمعدلات كبيرة تتراوح ما بين 30-40 % ، حيث يعمل العزل الحراري على الحد من تسرب الحرارة عبر الجدران، وأسقف السطح والتي تمثل حوالي 60% من الحمل الحراري للمبنى المراد إراحته بأجهزة التكييف [65] [74] مما يؤدي إلى تقليل فترات تشغيل التكييف، وبالتالي تقليل استهلاك الطاقة، كما ينتج عن ذلك إطالة عمر أجهزة التكييف وتقليل نفقات الصيانة.

2.2.3.II. حماية المبنى

يعمل العزل الحراري على حماية مواد إنشاء المبنى من تغيرات الطقس الخارجية، والتي تحدث نتيجة للفروق الكبيرة في درجات الحرارة خلال ساعات اليوم، وتؤدي إلى حدوث إجهادات حرارية مستمرة على عناصر البناء، فعند رفع درجة حرارة قضيب حر بطول L_0 من T_0 إلى T_1 فإن الطول النهائي L_1 يعطى بالعلاقة (1-II) والنشوه بالعلاقة (2-II)، ولا تظهر أي إجهادات شد أو ضغط.

$$L_1 = L_0[1 + \alpha(T_1 - T_0)] \quad (1-II)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \alpha(T_1 - T_0) \quad (2-II)$$

عند تثبيت نهايتي القضيب تظهر إجهادات ضغط حسب قانون هوك ، الفارق في درجات الحرارة يحدث إجهادات في العناصر الإنشائية للمبنى [75]

$$\sigma = -\alpha E(T_1 - T_0) \quad (3-II)$$

α : معامل التمدد الحراري الطولي للمادة

E : معامل يونغ للمادة

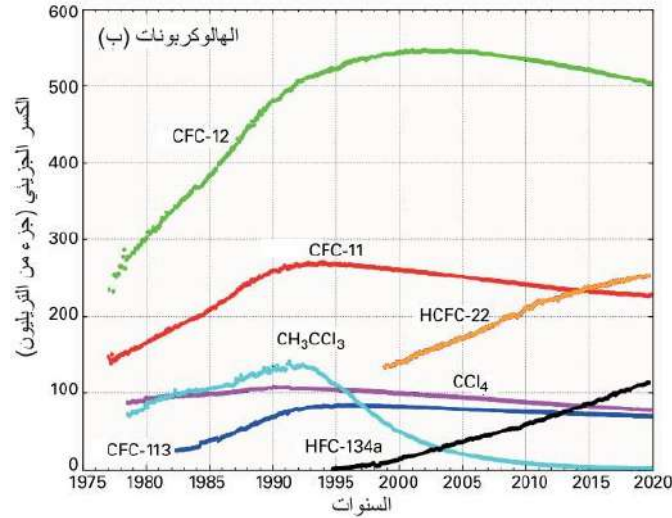
3.2.3.II. رفع مستوى الراحة

يساعد العزل الحراري في المباني على بقاء الهواء داخل المبنى بدون تكييف مقبولاً نسبياً، حتى في أشد أيام الصيف حراً، إذ أن مواد العزل الحراري تحد من تسرب الحرارة لداخل المبنى، وتكون درجة حرارة الهواء الداخلي قريبة نسبياً من الدرجة المريحة للإنسان، والتي تكون من 24 إلى 27 درجة مئوية [76] ، مما يخفف من معاناة مستخدم المبنى من شد الحرارة الخارجية، ويقلل فترات تشغيل أجهزة التكييف، بعكس المبنى غير المعزول، حيث تكون درجة حرارة الهواء بالداخل قريبة من مستوى الدرجة الخارجية، مما يجعل الفرق بينهما وبين الدرجة المريحة المطلوبة كبيراً، ويؤدي ذلك لعدم الشعور بالراحة، وبالتالي الحاجة الماسة لتشغيل أجهزة التكييف فترات طويلة، للوصول لهذه الدرجة المريحة.

4.2.3.II. حماية البيئة

من المعروف أن استخدام وسائل التكييف والتبريد، يساعد على انبعاث غازات الاحتباس الحراري في

الغلاف الجوي حيث أشارت نشرة غازات الانبعاث الحراري إلى زيادة غير متوقعة لمركبات الكلوروفلوروكربون CFC-11 [77] المستعملة لتشغيل أجهزة التكييف ويمكن تقليلها بشكل كبير باستخدام عوازل الحرارة



الشكل 4.11 زيادة تركيز غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي [77]

3.3.11. مبدأ العزل الحراري

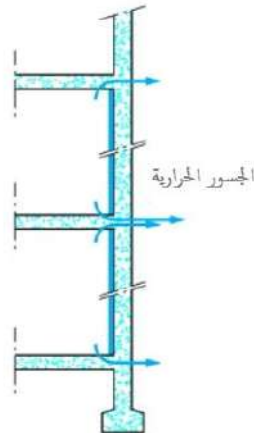
عندما يكون لعنصرين متلامسين درجات حرارة مختلفة، يحدث تبادل حراري بينهما حتى تصبح درجات حرارتهما متطابقة. الهدف من العزل الحراري هو إبطاء هذا التبادل الحراري، وبالتالي إبقاء جدران المنزل في درجة حرارة قريبة قدر الإمكان من درجة حرارة الهواء الداخلي.

4.3.11. عزل الجدران والأسطح

هناك ثلاث طرق للعزل الحراري للأسطح والجدران

1.4.3.11. العزل الداخلي

هذا النوع من العزل هو الأكثر انتشاراً، فهو سهل التنفيذ، ويتطلب العمل مباشرة في المساحة الداخلية للمنزل من خلال وضع العازل على الوجه الداخلي للجدار. العزل الداخلي يترك الجدار خارج المنطقة المعزولة ويسمح بالتسخين السريع المناسب للاستخدام المؤقت، ومن ناحية أخرى، يؤدي إلى تقليل المساحة الداخلية وتشكل الجسور الحرارية الشكل (6.11) التي تبقى للمعالجة.



الشكل 5.11 العزل الحراري الداخلي للجدران [78]

II.2.4.3. العزل الخارجي

تتطلب هذه التقنية عموماً سمك عزل أقل، وتكون بوضع العزل على جدار البناء من الخارج، ويتميز بعزل أفضل عن طريق إزالة الجسور الحرارية، وحماية هيكل المبنى بشكل عام، وعدم التقليل من المساحات الداخلية للبناء، والحفاظ على الكتلة الحرارية للجدار داخل الغلاف المعزول. ومع ذلك فمن الصعب تنفيذها على بعض المباني القديمة، بالإضافة إلى ذلك، فهو يتطلب حماية من العوامل الخارجية الشكل (II.7)، وبالتالي فهو أكثر تكلفة وأقل إثارة للاهتمام من وجهة نظر الطاقة.



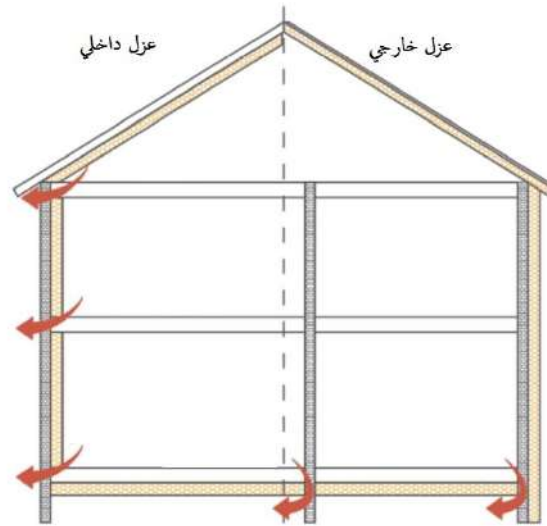
الشكل II.6 العزل الحراري الخارجي للجدران [78]

II.3.4.3. العزل المدمج في المواد الإنشائية

يستخدم في هذا الحالة مواد تدمج العزل في تركيبها، مثل الخرسانة الخلوية والخرسانة خفيفة الوزن ومواد بناء مدعمة بالألياف النباتية، يتم استخدامه بشكل عام في البناء الجديد، إذ أنها فعالة ودائمة.

II.5.3. الجسور الحرارية

يشير مصطلح "الجسر الحراري" إلى نقاط في البناء، حيث ينكسر الحاجز العازل لأسباب تتعلق بالتنفيذ الخاطئ أو عدم الدقة في تصميم العمل، وبالتالي يمكن للحرارة الهروب بسهولة في هذه الأماكن. تقع الجسور الحرارية عموماً عند نقاط اتصال الأجزاء المختلفة من البناء: أنوف الأرضيات، والأعتاب فوق الفتحات، وأنوف القواطع أو الفواصل في حالة العزل الداخلي أثناء إعادة التأهيل، وما إلى ذلك.



الشكل II.7. اماكن تولد الجسور الحرارية بالنسبة للعزل الداخلي والعزل الخارجي لمبنى

II.6.3. خصائص المواد العازلة

- أن تكون المادة العازلة ذات معامل توصيل حراري منخفض.
- أن تكون على درجة عالية في مقاومتها لنفاذ الماء وبخار الماء.
- أن تكون على درجة عالية في مقاومتها للإشعاع الحراري .
- أن تكون على درجة عالية في مقاومتها للإجهادات الناتجة عن الفروقات الكبيرة في درجات الحرارة، التي تؤدي إلى التمدد والانكماش المتبادل، وبالتالي تؤدي إلى فقدان بعض الخواص الميكانيكية الهامة لمادة العزل الحراري.
- أن تكون ذات خواص ميكانيكية جيدة، كارتفاع معامل المقاومة الانضغاطية ومعامل المقاومة للكسر .
- أن تكون مقاومة للحريق.
- ألا ينتج عنها أضرار صحية، وأن تكون مقاومة للبكتيريا والعفن، وغير قابلة لنمو الحشرات فيها.

II.7.3. تصنيف المواد العازلة

تصنف مواد العزل الحراري حسب مصدرها إلى:

II.1.7.3. العوازل العضوية

العوازل الطبيعية هي المواد الأولى التي استخدمها الإنسان، ولا تزال تستخدم في كثير من الأحيان اليوم للعزل الحراري للبناءات، مصدرها من الحيوانات أو النباتات وليس لها أي تأثير تقريباً على البيئة، تعرف بأدائها الجيد كعازل للحرارة، ومع ذلك، فإنها ذات تكلفة أعلى نسبياً من أنواع العزل الأخرى، بالإضافة إلى ذلك، يحتاج معظمها إلى معالجة ضد الحريق والحشرات والفطريات، ومن أكثرها استخداماً اليوم نجد:

II.1.1.7.3. حشو السيليلوز

حشو السيليلوز ويسمى أحياناً صوف السيليلوز، هو عازل حراري يصنع من الورق المعاد تدويره، ومواد مضافة (ملح البور)، مقاوم للحريق والفطريات، ناقلية حرارية من 0.037 إلى 0.042 (W/(m.C))، كتلته الحجمية من 30 إلى 70 (kg/m^3) لا يؤثر على البيئة وغير ضار لصحة الإنسان، يسوق على شكل الواح الشكل

(II9.II) او على شكل رزم.



الشكل II.8 حشو السليلوز على شكل الواح [78].

II.2.1.7.3 الفلين الممدد

الفلين الموسع هو العازل الوحيد ذو الأصل الطبيعي المقاوم للعفن، مما يجعله مناسبًا بشكل خاص للاستخدام في البيئات الرطبة، يتم الحصول عليه عن طريق معالجة لحاء شجرة بلوط الفلين، وقد تم استخدامه منذ ما يقرب من 150 عامًا كعازل حراري، ناقلية حرارية من 0.037 الى 0.044 (W/(m.C))، كتلته الحجمية من 65 الى 180 (kg/m³)، يستخدم على شكل الواح كعازل حراري وصوتي.



الشكل II.9 الفلين الممدد [78].

II.3.1.7.3 الالياف الخشبية

يتم استخدام ألياف الخشب الذي يتم تجميعه لتكوين ألواح صلبة للعزل الحراري، تتراوح ناقلية حرارية من 0.038 الى 0.049 (W/(m.C))، كتلته الحجمية من 110 الى 240 (kg/m³)، يستخدم العزل المعتمد على ألياف الخشب الكثيفة بشكل رئيسي للعزل الخارجي للجدران، وحواجز المطر، ويستعمل أيضًا للعزل الحراري للأسطح أو الأرضيات غير مقاوم للحريق وله مقاومة ميكانيكية للضغط مقبولة.



الشكل 10. II لوح ألياف الخشب للعزل الخارجي [79]

4.1.7.3. II صوف القنب

يتم الحصول على صوف القنب عن طريق تقطيع سيقان القنب ميكانيكيا على شكل الياف، الفرق الرئيسي مع خرسانة القنب هو عملية التصنيع، حيث لا يتم دمج نفس الإضافات، حيث غالبًا ما يتم إضافة ألياف القطن أو الكتان بدلا من الجير كما هو الحال في خرسانة القنب، ناقليته الحرارية من 0.039 الى 0.050 (W/(m.C))، كتلته الحجمية من 200 الى 800 (kg/m³). يسوق على شكل الواح او لفائف او على شكل رزم.



الشكل 11. II صوف القنب على شكل لفائف [78].

2.7.3. II العوازل المعدنية

يتم تصنيع العوازل المعدنية من مواد غير متبلورة منصهرة (البازلت على وجه الخصوص)، والزجاج، والسيليكا الزجاجية وأكاسيد المعادن [78]. ومن أكثرها استخداما اليوم نجد:

1.2.7.3. II الصوف الزجاجي

الصوف الزجاجي عبارة عن مادة عازلة من أصل معدني تم اختراعها في عام 1938، وتستخدم على نطاق واسع في البناء منذ ذلك الحين، يتم الحصول عليه عن طريق تسخين الزجاج إلى 1050 درجة مئوية، مقاوم للحريق والعفن، ناقليته الحرارية من 0.030 الى 0.045 (W/(m.C))، كتلته الحجمية من 10 الى 28 (kg/m³).



الشكل II.12 الصوف الزجاجي على شكل لفائف [78].

II.2.2.7.3. الصوف الصخري

يتم الحصول على الصوف الصخري عن طريق ألياف خبث الأفران أو البازلت عند درجة حرارة 1400 درجة مئوية، والتي تضاف إليها المواد المضافة، كتلته الحجمية من 28 الى 150 (kg/m^3) وناقليته الحرارية من 0.033 الى 0.042 (W/(m.C))، يسوق على شكل الواح او لفائف.



الشكل II.13 الصوف الزجاجي على شكل الواح [78].

II.3.7.3. العوازل الصناعية

على الرغم من أنها مصدرها من موارد غير متجددة، إلا أن العوازل الصناعية لا تزال تستخدم على نطاق واسع، خاصة في عزل المناطق المعرضة للرطوبة العالية، بالرغم من ان معظمها قابلة للاشتعال للغاية وتقدم أداءً صوتيًا سيئًا. ومن أكثرها استخداما اليوم نجد:

II.1.3.7.3. البوليستيران

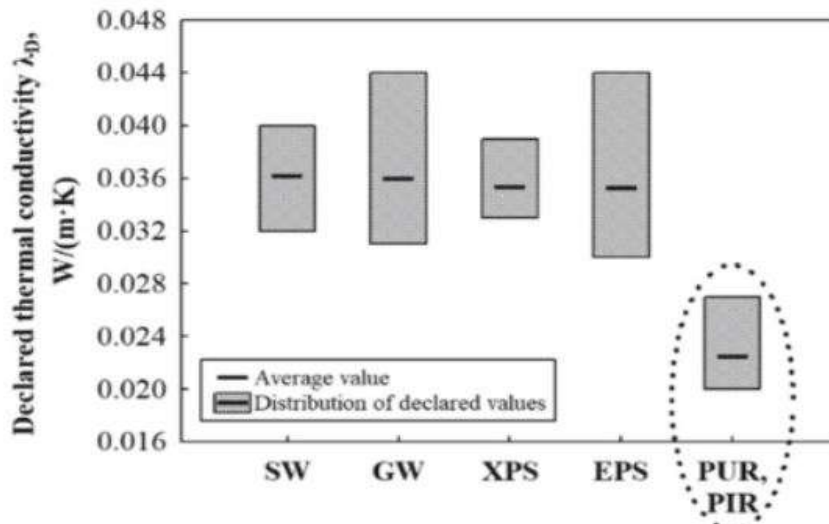
يشقق البوليستيران من صناعة البتروكيماويات، يتم الحصول عليه عن طريق توسيع حبات مونومير الستايرين مع البنتان وبخار الماء، بفضل أدائه الحراري الجيد جدًا، غالبًا ما يستخدم هذا العزل عندما تكون المساحة محدودة، بالإضافة إلى ذلك، فهو مثالي لعزل الجدران الخارجية، بفضل مقاومته للظروف المناخية، له مقاومة جيدة للضغط تجعله خيارًا جيدًا لعزل الأرضيات. كتلته الحجمية من 10 الى 30 (kg/m^3) وناقليته الحرارية من 0.032 الى 0.038 (W/(m.C))، يسوق على شكل الواح بسمك مختلف حسب الحاجة [78].



الشكل II.14 البوليستيران الممدد على شكل الواح [78]

II.2.3.7.3. البوليريثان

يتم الحصول على مادة البولي يوريثين عن طريق البوليول الرغوية وثنائي ديسكوسيانات الميثيلين والمواد المضافة الأخرى، بالرغم من ضعف مقاومته للحريق ، فهو من أفضل العوازل الحرارية، مقارنة بالعوازل الأخرى الشكل (II.16) حيث تتراوح ناقلية حراريته من 0.022 الى 0.028 (W/(m.C)) وكتلته الحجمية من 35 الى 50 (kg/m³) [79].



الشكل II.15 الناقلية الحرارية للبوليريثان (PUR) مقارنة بالصوف الصخري (SW)

والصوف الزجاجي (GW)، البوليستيران الممدد (EPS) والبوليستيران الميثوق (XPS) [79].

II.4. القانون الجزائري للعزل الحراري للبناء

منذ عدة سنوات، انتهجت الحكومة الجزائرية سياسة تحسين إدارة موارد الطاقة، ويتم تطبيق هذه السياسة من خلال القانون رقم 09-99 المؤرخ في 28 يوليو 1999 المتعلق بإدارة الطاقة والنصوص التطبيقية له، بما في ذلك المرسوم التنفيذي رقم 90-2000 المؤرخ في 24 أبريل 2000 المتعلق بالقوانين الحرارية في المباني الجديدة.

في عام 1999، قامت وزارة الإسكان والتخطيط العمراني بإعداد أول قانون جزائري للطاقة في مجال البناء. تهدف هذه الوثيقة، التي يتم تقديمها في شكل وثيقتين: واحدة لفصل الشتاء (DTR C3.2) والثانية لفصل الصيف (DTR C3.4) ، إلى تقليل استهلاك الطاقة بنسبة 20% إلى 30% [80].

وفي عام 2016، تم اصدار نسخة منقحة من هذه القوانين، مع جملة من التعديلات الرئيسية أهمها كان جمع الوثيقتين السابقتين في وثيقة واحدة مع جملة من التعديلات وتقسيم جديد للمناطق الجغرافية. القوانين الحرارية الجزائرية للبناء المعمول بها حالياً هي (DTR C3.2/4) ، حيث يجب إجراء التحقق من مطابقة المبنى فيما يتعلق بهذه القوانين الجديدة لفترة الشتاء ولفترة الصيف بشكل منفصل [76].

1.4.II. التحقق خلال فترات التسخين

ينص (DTR) على أنه خلال فترات التسخين، يجب أن يكون الفقدان الحراري عن طريق النقل من خلال الجدران والأسقف والأرضيات أقل من القيمة المرجعية.

$$D_T \leq 1.05 D_{ref} \quad (W/^\circ C) \quad (4-II)$$

معاملات تتعلق بطبيعة المبنى والمنطقة الجغرافية موضح في الجدول (2.1) e, d, c, b, a ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) والملحق 1 من (DTR)

تمثل مساحة عناصر للمبنى على الترتيب (للأرضيات، الأسقف، الجدران، الأبواب والنوافذ)

2.4.II. التحقق خلال فترات التبريد

بالنسبة لفترة الصيف، يجب أن يكون الكسب الحراري من خلال الجدران المعتمة (APO) والزجاجية (AV) المحسوبة عند الساعة 3 مساءً في شهر جويلية (الذي يعتبر الشهر الأكثر سخونة في العام) أقل من القيمة المرجعية (A_{ref}) [76].

$$APO_{(15)} + AV_{(15)} \leq 1.05 A_{ref} \quad (5-II)$$

5.II. مفاهيم عامة حول الحرارة

1.5.II. الحرارة

شكل من أشكال الطاقة يتولد مع الحركة العشوائية لجزيئات المادة، عندما تدخل كمية من الحرارة إلى جسم ما، ترتفع درجة حرارة هذا الأخير. وفي حالة تغير الطور، يتم استخدام جزء من هذه الحرارة لتلبية الاحتياجات الحرارية المرتبطة بهذه الظاهرة (الذوبان والتبخير وغيرها). تتولد الحرارة عن طريق التفاعلات الكيميائية مثل الاحتراق و التفاعلات النووية كالاندماج النووي أو الإشعاع الكهرومغناطيسي او الحركة مثل احتكاك .

2.5.II. الحرارة المحسوسة

عندما تسخين جسم ما، ترتفع درجة حرارته. تسمى الزيادة في الحرارة بالحرارة المحسوسة. وبالمثل، عندما تتم إزالة الحرارة من جسم ما وتتنخفض درجة حرارته، فإن الحرارة المزالة تسمى أيضاً الحرارة المحسوسة. تسمى الحرارة التي تسبب تغيراً في درجة حرارة جسم ما بالحرارة المحسوسة [68].

3.5.II. الحرارة الكامنة

جميع المواد النقية قادرة على تغيير حالتها. يمكن أن تتحول المواد الصلبة إلى سوائل (الجليد إلى ماء) والسوائل إلى غازات (الماء إلى بخار)، مثل هذه التغيرات تتطلب إضافة حرارة أو إزالتها، تسمى الحرارة التي

تسبب هذه التغييرات بالحرارة الكامنة.

الحرارة الكامنة لا تؤثر على درجة حرارة المادة على سبيل المثال، يبقى الماء عند 100° مئوية أثناء الغليان. الحرارة المضافة للحفاظ على غليان الماء هي حرارة كامنة، تسمى الحرارة التي تسبب تغييراً في حالة المادة دون تغيير درجة حرارتها بالحرارة الكامنة [68].

4.5.II. درجة الحرارة

درجة الحرارة هي مظهر، على المقياس المجهري، لحركة الذرات والجزيئات، ومن ثم فهو مرتبط بمتوسط الطاقة الحركية للمكونات المجهرية للمادة [81].

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT \quad (6-II)$$

حيث

$$k : \text{ ثابت بولترمان} = 1.380649 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

T : درجة الحرارة المطلقة

6.II. النقل الحراري

حيثما يوجد اختلاف في درجة الحرارة، تنتقل الطاقة الحرارية (الحرارة) من الجسم الساخن إلى الجسم البارد، ولا تنتقل بالعكس. يصحب ذلك زيادة في الطاقة الداخلية لذرات الجسم الأبرد، فترتفع درجة حرارته وتتنخفض الطاقة الداخلية لذرات الجسم الساخن وتتنخفض بالتالي درجة حرارته، ويستمر انتقال الحرارة حتى تتساوى درجة الحرارة في الجسمين، ويحدث اتزان حراري ذاتياً.

1.6.II. حقل درجة الحرارة

عند كل نقطة (x,y,z) من وسط صلب أو سائل أو غازي، يمكننا التعبير على درجة الحرارة بدالة عددية بدلالة الإحداثيات والزمن (t).

$$T = f(x, y, z, t) \quad (7-II)$$

نسمي حقل درجة الحرارة مجموعة درجات الحرارة عند كل نقطة من هذا الجسم في الزمن (t). عندما لا تتغير درجة الحرارة مع مرور الوقت، نقول إن النظام مستمر أو مستقر؛ وعندما تتغير درجة الحرارة بدلالة الزمن نقول إن النظام غير مستقر أو متغير [82].

2.6.II. التدرج في درجة الحرارة

إذا جمعنا كل النقاط في الفضاء التي لها نفس درجة الحرارة، نحصل على سطح يسمى السطح متساوي الحرارة، يكون التغير في درجة الحرارة لكل وحدة طول أعظمية على طول الشعاع الناظمي لهذا السطح، نسمي هذا التغير في درجة الحرارة بالتدرج في درجة الحرارة [82].

$$\vec{\text{grad}}(T) = \vec{n} \frac{\partial T}{\partial n} \quad (8-II)$$

حيث:

\vec{n} : الشعاع الوحدوي للناظمي.

$\frac{\partial T}{\partial n}$: مشتق الحرارة على طول الناظمي.

3.6.II. التدفق الحراري

نسمي تدفق الحرارة عبر السطح (S)، ويرمز له بـ (φ) كمية الحرارة (Q) التي تعبر السطح (S) لكل وحدة زمنية.

$$\varphi = \frac{Q}{t} \quad (\text{Watt}) \quad (9-II)$$

4.6.II. كثافة التدفق الحراري

تتدفق الحرارة تحت تأثير التدرج في درجة الحرارة عن طريق التوصيل من الحرارة المرتفعة إلى الحرارة المنخفضة، كمية الحرارة المنقولة لكل وحدة زمنية ولكل وحدة من مساحة السطح المتساوي الحرارة، تسمى كثافة التدفق الحراري (\emptyset) [83].

$$\emptyset = \frac{\varphi}{s} = \frac{Q}{ts} \quad (\text{W/m}^2) \quad (10-II)$$

5.6.II. المقاومة الحرارية

تمثل المقاومة الحرارية مقاومة العنصر لانتقال الحرارة من خلال سمكه، وتعرف أيضا العازلية الحرارية. الزيادة في المقاومة الحرارية تعني أن العنصر عازل [83].

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}) \quad (11-II)$$

حيث:

e : سمك العنصر.

λ : الناقلية الحرارية للعنصر.

6.6.II. معامل التوصيل الحراري

معامل التوصيل الحراري (U) هو مقلوب المقاومة الحرارية (R). ويمثل شدة التدفق الحراري الذي يمر عبر 1 متر مربع من الجدار لفرق درجة الحرارة بمقدار 1 درجة مئوية بين بينيتين مختلفتين (الداخلية والخارجية، على سبيل المثال).

$$U = \frac{1}{R} \quad (\text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{W}) \quad (12-II)$$

7.6.II. الناقلية الحرارية

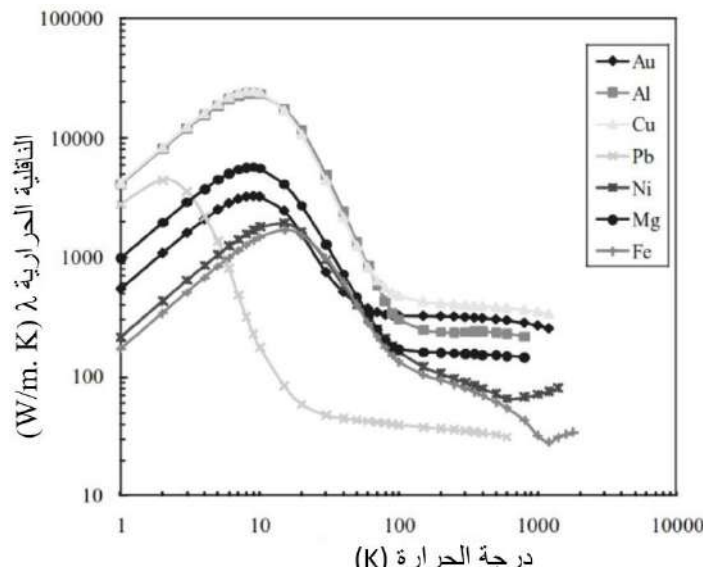
الناقلية الحرارية هي خاصية تتعلق بالمادة، تربط التدرج في درجة الحرارة بتدفق الحرارة (ثابت التناسب)، وهي تمثل قابلية المادة إلى توصيل الحرارة، فعندما تسمح مادة ما للحرارة بالانتشار بسهولة من خلالها، يُقال إنها موصلة للحرارة أو ذات ناقلية حرارية عالية، هذا ينطبق بشكل خاص على المعادن، وعلى العكس من ذلك، فإن مادة مثل الهواء الساكن تقاوم انتقال الحرارة وتسمى عازلة [83].

وبشكل عام الناقلية الحرارية تمثل كمية الحرارة المنتقلة خلال وحدة الزمن من خلال مادة ذات وحدة سمك ووحدة مساحة، عندما يكون الفارق في درجة الحرارة عند طرفي المادة المتقابلين واحد درجة، يرمز لها بالرمز (λ) ، وحدتها في النظام العالمي (W/m.°C) أو (W/m. K).

الجدول (2.II) الناقلية الحرارية لبعض المواد [82]

المواد	λ (W/m.°C)	المواد	λ (W/m.°C)
الفضة	419	الخرسانة	1.7
النحاس	386	الجبس	0.48
الالمنيوم	204	الفلين	0.049-0.044
الحديد	45	الهواء الساكن	0.026

تتغير الناقلية الحرارية للمواد بشكل كبير حسب درجة الحرارة كما هو موضح في الشكل (17.II)، حيث نرى أنه عند درجات الحرارة المنخفضة جدًا (من 1 إلى 10 كلفن) تزيد الناقلية الحرارية بارتفاع درجة الحرارة، وتصل الى قيمتها الحدية عند درجة الحرارة 10 كلفن، تبدأ في التناقص مع زيادة درجة الحرارة (من 10 إلى 100 كلفن)، وتصبح ثابتة تقريبًا عند درجات الحرارة المرتفعة (< 100 كلفن).



الشكل 16.II التغير في الناقلية الحرارية لبعض المعادن حسب درجة الحرارة [83].

في عدد كبير من المعادن الموصلية الحرارية تتبع التوصيل الكهربائي، بشكل عام المادة العازلة كهربائياً تكون أيضاً عازلة حرارياً والعكس، حيث ترتبط الموصلية الكهربائية (σ) بالناقلية الحرارية (λ) بقانون ويدمان-فرانز [83].

$$\frac{\lambda}{\sigma T} = L_0 \quad (\text{W} \cdot \Omega \cdot \text{K}^{-2}) \quad (13-II)$$

حيث:

$$L_0 : \text{عدد لورانتز} = 2.44 \times 10^{-8} \quad (\text{W} \cdot \Omega \cdot \text{K}^{-2})$$

T : درجة الحرارة بالكلفن.

تتأثر الناقلية الحرارية بالرطوبة، فتزداد كلما زادت نسبة امتصاص المادة للرطوبة [84]، كما يمكن ان ترتبط الناقلية الحرارية مع الكتلة الحجمية الظاهرية الجافة لبعض مواد البناء كالخرسانة والملاط الاسمطي والجبس وفق العلاقة التجريبية التالية [85].

$$\lambda = 0.0536364 + 0.0002127 \rho_d - 0.0000002 (\rho_d)^2 \quad (14-II)$$

حيث:

 λ : الناقلية الحرارية (W/m. K) ρ_d : الكتلة الحجمية الظاهرية الجافة (Kg/m³)**8.6.II الحرارة النوعية**

الحرارة النوعية الكتلية (C_p) هي خاصية فيزيائية للمادة، وتمثل كمية الحرارة التي يجب إمدادها لوحدة الكتلة لترتفع درجة حرارتها بمقدار 1 كلفن يعبر عنها ب (J/kg. K).

كمية الحرارة (Q) التي يمتصها أو يتخلى عنها جسم كتلته (m) والذي تتغير درجة حرارته من T_{ini} (درجة الحرارة الأولية) إلى T_{fin} (درجة الحرارة النهائية) يمكن التعبير عنها بالعلاقة [83] :

$$Q = m. C_p. (T_{fin} - T_{ini}) \quad (15-II)$$

الحرارة النوعية الحجمية للمادة (C_v)، هي قدرتها على تخزين الحرارة بالنسبة لحجمها، وتعرف بالحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة متر مكعب من المادة بمقدار 1 كلفن.

$$C_v = \rho. C_p \quad (J. m^{-3}. K^{-1}) \quad (16-II)$$

حيث:

 C_p : الحرارة النوعية الكتلية. ρ : الكتلة الحجمية (Kg/m³).**9.6.II العطالة الحرارية**

تعرف العطالة الحرارية للمادة بقدرتها على تخزين الحرارة (أو البرودة) ثم إطلاقها ونشرها تدريجياً، عندما تتعرض هذه المادة لتغيرات خارجية (الحرارة أو التبريد). فكلما كانت العطالة الحرارية لمبنى مرتفعة، كلما كانت له القدرة على استعادة كمية أكبر من الحرارة أو البرودة المخزنة في الجدران والأسقف والأرضيات لاحقاً عند التغير في درجة الحرارة الخارجية.

يتم استخدام العطالة الحرارية في البناء للتخفيف من تأثير التغيرات في درجة الحرارة الخارجية، والحد من التبريد أو التسخين المفرط للمبنى، المواد الثقيلة كالخرسانة والطوب الخرساني لها عطالة حرارية مرتفعة فهي مناسبة للبناءات المشغولة بصفة دائمة [68].

10.6.II الانتشارية الحرارية

الانتشارية الحرارية والتي يرمز ب (α)، والمعبر عنها ب (m^2/s)، هي القيمة التي تتحكم في السلوك الحراري للمادة في النظام المتغير، تميز قدرة المادة على نقل الحرارة بسرعة أكبر أو أقل، وترتبط هذه القيمة بالناقلية الحرارية (λ) والحرارة النوعية الحجمية (C_v) بالعلاقة [81]:

$$\alpha = \frac{\lambda}{C_v} \quad (17-II)$$

11.6.II الانبثاقية الحرارية

ويرمز لها بالرمز (E) ويعبر عنها ب ($J.K^{-1}.m^2.s^{-1/2}$)، تعكس قدرة المادة على تبادل الحرارة مع بيئتها،

وبشكل أكثر دقة، تفسر هذه الخاصية حساسية درجة حرارة سطح المادة للتغير في تدفق الحرارة الذي يستقبله هذا السطح، وبالتالي، فإن المادة التي لها ناقلية حرارية وحرارة نوعية مرتفعة سيكون لها درجة حرارة سطحية ليست حساسة جداً للتغيرات في التدفق، وبالتالي ستكون شديدة الانبثاق، ترتبط هذه الخاصية بالتوصيل الحراري والسعة الحرارية الحجمية بالعلاقة [81]:

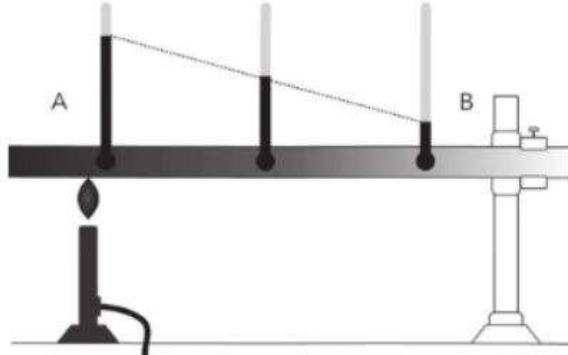
$$E = \sqrt{\lambda \cdot C_v} \quad (18-II)$$

7.II. طرق انتقال الحرارة

هناك ثلاث طرق لانتقال الحرارة من جسم إلى آخر أو في الجسم نفسه، هي التوصيل، الحمل، الإشعاع تنتقل الحرارة في الواقع بالطرائق الثلاث دائماً ويصعب الفصل بين هذه الطرائق، إلا أنه بحسب الدراسة المستهدفة قد يكون انتقال الحرارة بإحدى هذه الطرائق هو المهيمن فتبقى الطرائق الأخرى تصحيحات طفيفة، وقد تهيمن طريقتان، إذ يعتمد ذلك على الحالة المدروسة وعلى مجال درجة الحرارة الذي تعمل عنده المادة أو الجهاز المدروس.

1.7.II. التوصيل

عملية انتقال الطاقة بواسطة الحرارة تدعى بالتوصيل أو التوصيل الحراري في هذه العملية، الانتقال يمكن أن يمثل على المقياس الذري كتبادل للطاقة الحركية بين الجسيمات الميكروسكوبية (الجزيئات والذرات والالكترونات الحرة)، بحيث أن الجسيمات الأقل في الطاقة تكتسب طاقة بالتصادمات مع الجسيمات الأكثر طاقة، على سبيل المثال، إذا كنت تمسك طرف ساق معدني طويل ووضعت الطرف الأخر على لهب نار، سوف تجد إن درجة الحرارة بدأت تزداد عند الطرف الذي تمسكه، تصل الطاقة ليديك بواسطة التوصيل الشكل (18.II).



الشكل 17.II انتقال الحرارة بالتوصيل [86]

نظرية التوصيل تستند على قانون فورييه ، كثافة التدفق الحراري يتناسب مع التدرج في درجة الحرارة [82]،

[83]، [87]

$$\vec{\varphi} = -\lambda S \overrightarrow{\text{grad}} (T) \quad (19-II)$$

وتكتب بالشكل الجبري:

$$\varphi = -\lambda S \frac{\partial T}{\partial x} \quad (20-II)$$

حيث:

φ : تدفق الحرارة بالتوصيل (W).

λ : الناقلية الحرارية ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$).

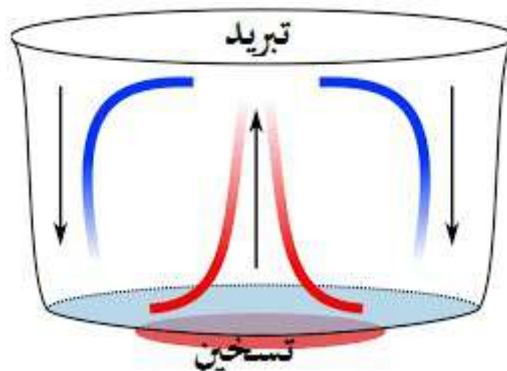
S : مساحة مقطع مرور التدفق الحراري (m^2).

X : متغير الاحداثيات في اتجاه التدفق (m).

معدل التوصيل الحراري يعتمد على خواص المادة التي تسخن، على سبيل المثال، من الممكن أن نمسك قطعة من الألياف الزجاجية ونضعها في اللهب، نجد أن مقدار الحرارة المنتقلة قليلة جداً، بصفة عامة المعادن موصلة جيدة للحرارة والمواد مثل الفلين والورق والألياف الزجاجية رديئة التوصيل للحرارة.

II.2.7. الحمل

يتم انتقال الحرارة في طريقة الحمل نتيجة اختلاف الكتلة الحجمية للمائع من منطقة إلى أخرى بسبب اختلاف درجة الحرارة، إذ إن ازدياد درجة الحرارة يرافقه نقصان في الكتلة الحجمية لمعظم الموائع (السوائل والغازات).



الشكل II.18 انتقال الحرارة بالحمل [83]

فإذا زُود المائع بالحرارة من الأسفل، ارتفعت جزيئات المائع في المنطقة ذات الكثافة المنخفضة وحل محلها جزيئات من المنطقة ذات الكثافة المرتفعة، وتحدث تيارات الحمل ناقلة الطاقة الحرارية معها، ويوصف الحمل حينئذ بأنه طبيعي، وإذا استعملت مروحة أو مضخة لتوليد تيارات الحمل والمحافظة عليها، كما هي الحال في التدفئة المركزية عادة، نقول حينئذ إن انتقال الحرارة يتم بالحمل القسري. تستند نظرية الحمل على قانون

نيوتن [88]

$$\phi = hS(T_p - T_\infty) \quad (21-II)$$

حيث:

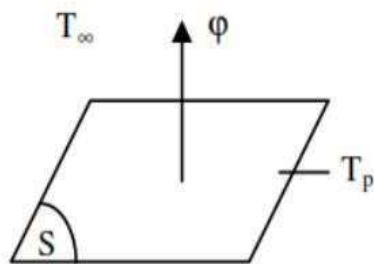
ϕ : تدفق الحرارة بالحمل (W).

h : معامل التوصيل الحراري بالحمل ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$).

S : مساحة التماس الصلب مع السائل (m^2).

T_p : درجة حرارة سطح الصلب (K).

T_∞ : درجة حرارة السائل البعيدة عن السطح الصلب (K).



الشكل II.19 مخطط نقل الحرارة بالحمل [82]

3.7.II. الإشعاع

الإشعاع هو انتقال الحرارة في الفراغ دون أن يكون للوسط أي دور، ولا يتطلب حدوث تبادلًا في كتل المواد. مثال ذلك انتشار أشعة الشمس ووصولها إلينا على الأرض، حيث تتحرك الأشعة في الفراغ على شكل موجات كهرومغناطيسية بسرعة الضوء حتى تصل إلى الأجسام التي تمتصها أو تعكسها جزئياً أو كلياً. تستند نظرية الإشعاع على قانون ستيفان. [83]

$$\varphi = \sigma \epsilon_p S (T_p^4 - T_\infty^4) \quad (22-II)$$

حيث:

φ : تدفق الحرارة بالإشعاع (W).

σ : ثابت ستيفان = $(5.670 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4})$.

ϵ_p : معامل الانبعاث للسطح المشع.

S : مساحة السطح المشع (m^2).

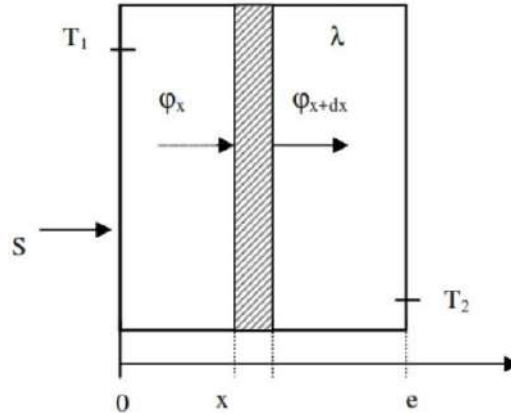
T_p : درجة حرارة سطح الصلب (K).

T_∞ : درجة حرارة السائل البعيدة عن السطح الصلب (K).

8.II. حساب التوصيل الحراري

1.8.II. على جدار بسيط

في جسم متجانس موحد الخواص، نعتبر جدارًا بسمك (e) وناقلية حرارية (λ) وأبعاد عرضية كبيرة مقارنة بالسمك، درجة الحرارة على طرفي الجدار (T_1) و (T_2) حيث $T_1 \neq T_2$



الشكل 20.II التوصيل الحراري لجدار بسيط [82].

في النظام المستقر، وفي الحالة التي يكون فيها انتقال الحرارة أحادي الاتجاه، وحيث لا يوجد توليد أو تخزين الطاقة، التدفق الحراري على النظام (S) المكون من قسم الجدار بين الاحداثيات (x) و (x + dx) حسب قانون فورييه كما يلي:

$$\varphi_x = \varphi_{x+dx} \Rightarrow -\lambda S \left(\frac{dT}{dx} \right)_x = -\lambda S \left(\frac{dT}{dx} \right)_{x+dx}$$

معادلة تغير درجة الحرارة تكون على شكل خط مستقيم:

$$A = \frac{dT}{dx} \quad \text{و} \quad T(x) = Ax + B$$

بتطبيق الشروط عند النهايات:

$$T(x = 0) = T_1$$

$$T(x = e) = T_2$$

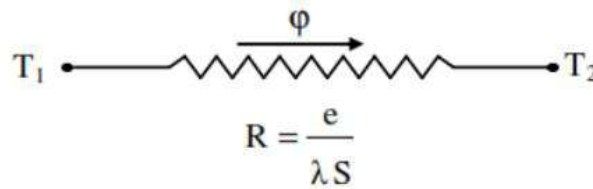
$$T(x) = T_1 - \frac{x}{e}(T_1 - T_2)$$

$$\phi = -\lambda \frac{dT}{dx} = \frac{\lambda(T_1 - T_2)}{e} \quad (23-II)$$

ويمكن كتابتها على الشكل:

$$\phi = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{e}{\lambda S}}$$

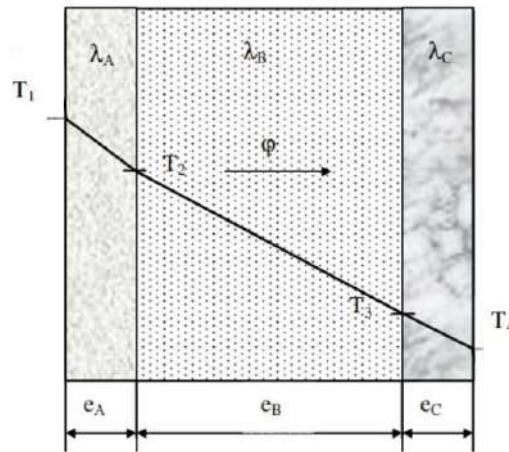
هذه العلاقة مماثلة لقانون اوم في الكهرباء، الذي يعرف شدة التيار الكهربائي على انه قسمة فرق الكمون على المقاومة الكهربائية، الشكل (22.II).



الشكل 21.II التخطيط المكافئ لجدار بسيط [82]

2.8.II على جدار بطبقات على التسلسل

نفترض جدار بمساحة (S) مكون من ثلاث طبقات متلاصقة سمكها (e_C, e_B, e_A) وناقليتها الحرارية على الترتيب $(\lambda_C, \lambda_B, \lambda_A)$ ، الشكل (23.II).



الشكل 22.II التوصيل الحراري في جدار متعدد الطبقات [82]

حسب قانون فورييه التدفق الحراري:

$$\varphi = \lambda_A \frac{S}{e_A} (T_1 - T_2) \Rightarrow (T_1 - T_2) = \frac{\varphi e_A}{S \lambda_A}$$

$$\varphi = \lambda_B \frac{S}{e_B} (T_2 - T_3) \Rightarrow (T_2 - T_3) = \frac{\varphi e_B}{S \lambda_B}$$

$$\varphi = \lambda_C \frac{S}{e_C} (T_3 - T_4) \Rightarrow (T_3 - T_4) = \frac{\varphi e_C}{S \lambda_C}$$

بجمع المساواة طرف لطرف:

$$(T_1 - T_4) = \frac{\varphi}{S} \left(\frac{e_A}{\lambda_A} + \frac{e_B}{\lambda_B} + \frac{e_C}{\lambda_C} \right)$$

$$\varphi = S \left[\frac{1}{\frac{e_A}{\lambda_A} + \frac{e_B}{\lambda_B} + \frac{e_C}{\lambda_C}} \right] (T_1 - T_4) \quad (24-II)$$

المعادلة السابقة يمكن كتابتها على النحو التالي:

$$\varphi = \left[\frac{1}{\frac{e_A}{S\lambda_A} + \frac{e_B}{S\lambda_B} + \frac{e_C}{S\lambda_C}} \right] (T_1 - T_4)$$

حيث:

$$R_{eq} = R_A + R_B + R_C$$

المقاومة الحرارية المكافئة لجدار مكون من طبقات متلاصقة موضوعة على التسلسل، هو المجموع الجبري للمقاومة الحرارية لطبقات الجدار، وهو المبدأ نفسه في حساب المقاومة الكهربائية.

3.8.II. على جدار بطبقات على التوازي

نفترض جدارا مكون من ثلاث مواد ناقلية حرارية ($\lambda_C, \lambda_B, \lambda_A$) ومقاومتها الحرارية (R_C, R_B, R_A) على الترتيب، موضوعة فوق بعضها لتشكل جدارا بسمك (e) الشكل (24.II).

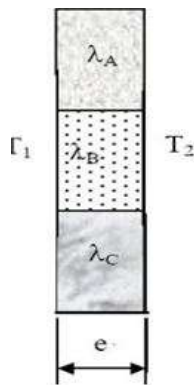
صيغة التدفق الحراري المار من كل طبقة:

$$\varphi_A = \frac{T_1 - T_2}{R_A}$$

$$\varphi_B = \frac{T_1 - T_2}{R_B}$$

$$\varphi_C = \frac{T_1 - T_2}{R_C}$$

$$\varphi = \frac{T_1 - T_2}{R_{eq}} = \varphi_A + \varphi_B + \varphi_C \Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}$$



الشكل 23.II جدار من ثلاث طبقات

موضوعة على التوازي [82]

9.II. طرق قياس الخصائص الحرارية للمواد

تعتبر الناقلية الحرارية (λ)، والحرارة النوعية (C_p)، الانبثاقية الحرارية (E)، والانتشار الحراري (α) من المعلومات الفيزيائية الحرارية المهمة في دراسة انتقال الحرارة في المواد، ولهذا السبب فهي ضرورية في عمليات حساب التدفئة والتبريد والحرارة.

يمكن قياس هذه الخصائص الحرارية بطرق مختلفة، حيث ان معرفة أي اثنين منها يؤدي إلى تحديد الباقي باستخدام العلاقات (17-II) و(18-II)

1.9.II. طرق القياس في الحالة المستقرة

تم تصميم هذه الطرق لقياس الناقلية الحرارية للوسط العازل، على افتراض توازن الوسط الحراري وتعرضه لتدفق ثابت عبر الزمن، يعتمد مبدأ القياس على استخدام قياسات درجة الحرارة في نقاط مختلفة في الوسط، وباستخدام قانون فورييه والشروط الحدية يمكننا تحديد المقاومة الحرارية والناقلية الحرارية للوسط وفق العلاقة [89]:

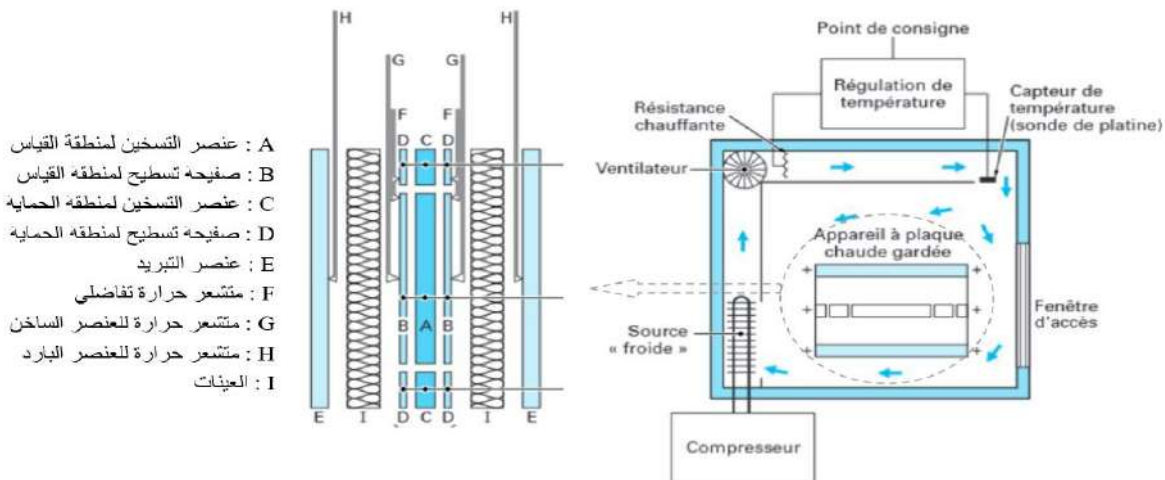
$$T_1 - T_2 = R \varphi \quad (25-II)$$

$$R = \frac{e}{\lambda S} \quad (26-II)$$

تعتمد دقة هذه الطرق على فرضية ان التدفق الحراري وحيد الاتجاه، وثابت عبر الزمن ولا يوجد تبادل حراري بالحمل او الاشعاع.

1.1.9.II. طريقة الصفيحة الساخنة المحمية (GHP)

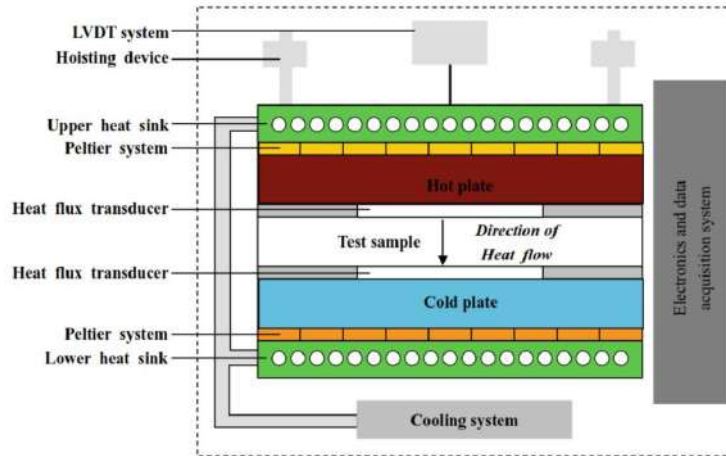
الصفيحة الساخنة المحمية (ISO 8302)، هي جهاز يسمح بقياس التوصيل الحراري والمقاومة الحرارية، يتم توليد تدفق حراري في وسط صفيحة ساخنة محمية بواسطة تأثير جول، يحيط بمحيط منطقة التسخين مقاومة كهربائية. يحافظ نظام التحكم على الفارق في درجة الحرارة بين الصفيحة المحمية ومنطقة التسخين معدوماً، وبالتالي، يكون التدفق الذي يعبر زوجاً من العينات الموضوعة على جانبي اللوحة الساخنة أحادي البعد، توضع لوحتان باردتان على الوجوه الخارجية للعينات، لفرض درجة حرارتهما. إذا كانت العينتان متطابقتين، فإن التدفق يعبر كل عينة بالتساوي، يسمح بقياس درجات الحرارة على الوجهين لكل عينة، بعد تحقيق الحالة المستقرة، بحساب التوصيل الحراري (λ) واستنتاج المقاومة الحرارية (R) [90].



الشكل II.24 مبدأ قياس الناقلية الحرارية بالصفيحة الساخنة المحمية [90]

II.2.1.9. طريقة مقياس التدفق (HFM)

تُستخدم طريقة قياس التدفق بشكل أساسي في قطاع البناء لقياس العزل في مواد البناء، يتم قياس التوصيل الحراري والمقاومة باستخدام جهاز قياس التدفق الحراري، تعتمد طريقة الاختبار على قانون فورييه، حيث يتم وضع عينة الاختبار بين اللوحات الساخنة والباردة في ظروف الحالة المستقرة، بالإضافة إلى ذلك، يتم تركيب جهازي استشعار لقياس تدفق الحرارة على سطح الألواح الشكل (II.26). بقياس تدفق الحرارة، والفرق في درجة الحرارة بين اللوحات وسمك العينة وباستعمال قانون فورييه، يمكن تحديد الموصلية الحرارية (λ)، وبمعرفة سمك العينة يمكننا حساب المقاومة الحرارية (R) [79].



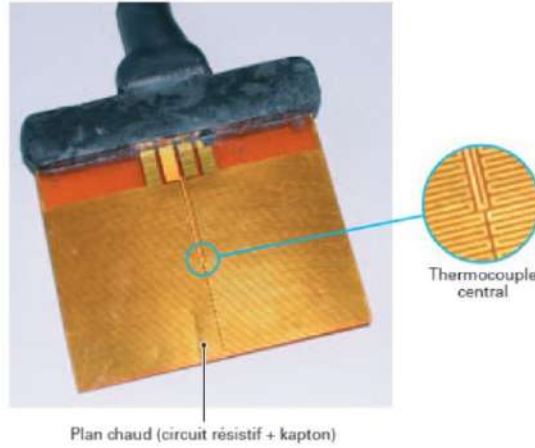
الشكل II.25 رسم تخطيطي لطريقة مقياس التدفق الحراري [79].

II.2.9. طرق القياس في الحالة المتغيرة

على عكس طرق القياس في الحالة المستقرة التي تسمح بقياس الناقلية الحرارية فقط، القياسات في الحالة المتغيرة تكون بدلالة الزمن وتسمح بقياس الناقلية الحرارية (λ)، الانبثاقية الحرارية (E) والانتشار الحراري (α)، طرق القياس في الحالة المتغيرة هي الأكثر استعمالاً حالياً، جميعها تركز على اخضاع عينة في حالة توازن الى مصدر حرارة ثم تقاس الحرارة او التدفق بدلالة الزمن [89]. نذكر منها:

II.1.2.9. طريقة السلك الساخن

طريقة السلك الساخن (ISO 8894) الأكثر استعمالاً حالياً، صممت هذه الطريقة خصيصاً لتحديد الناقلية الحرارية للسوائل، ثم عمم استعمالها للمواد الصلبة ذات الحرارة العالية (الخزف على وجه التحديد). مبدأ القياس يقوم على التسخين بواسطة تيار كهربائي خلال فترة من الزمن لسلك معدني يوضع بين عينتين متماثلتين من المادة المراد قياسها، يعتمد التغير في درجة حرارة السلك على التبادلات مع المادة، وبالتالي على الناقلية الحرارية. تقاس درجة حرارة باستخدام لاقط للحرارة مثبت على مسبار من مادة الكابتون مع السلك الشكل (II.27)، يقوم الجهاز ومن خلال عمليات حسابية بحساب الناقلية الحرارية [89].



الشكل 26.II مسبار القياس [91]

II.2.2.9. طريقة السلك الساخن لجهاز (CT-mètre)

وهو جهاز مطور من شركة (SMEE) لقياس بشكل دقيق الناقلية الحرارية والحرارة النوعية الحرارية، لعدد معين من المواد المتجانسة والمتماثلة، يتكون جهاز قياس عنصرين أساسين هما وحدة التحكم المسؤولة عن توليد طاقة التسخين وتفسير منحنى ارتفاع درجة الحرارة، و مسبار من مادة الكابتون يوضع بين طبقتين من المادة المراد قياسها، يحتوي المسبار على عنصر التسخين وجهاز استشعار درجة الحرارة يمكن من قياس ارتفاع درجة الحرارة خلال فترة التسخين التي يختارها المستخدم اعتمادًا على المادة المراد تسخينها ونوع المسبار المستخدم [92].



الشكل 27.II جهاز CT-mètre [92].

II.3.2.9. القياس باستعمال فلاش الليزر

طريقة فلاش الليزر، هي الطريقة الأكثر استخدامًا لقياس الخصائص الحرارية للمواد الصلبة، كالزجاج والمعادن والسيراميك في نطاق درجة حرارة يتراوح بين -100 و 3000 درجة مئوية. داخل فرن درجة حرارته ثابتة يتم تثبيت عينة سمكها ضعيف مقارنة بقطرها يتم إرسال نبضات ليزر قصيرة (بالميلي ثانية)، والتي تضمن تسخين منتظم للوجه الأمامي للعينة، بواسطة جهاز استشعار للأشعة تحت الحمراء يتم تسجيل التغير في درجة الحرارة بدلالة الزمن على الجانب الخلفي للعينة، الشكل (II.29.9)، يتم تحديد ($t_{1/2}$) الوقت اللازم حتى تصل درجة حرارة السطح الخلفي، إلى قيمة تساوي نصف قيمتها القصوى. تسمح هاته الطريقة بقياس الانتشارية الحرارية (α)، وبمعرفة الحرارية النوعية (C_p)، وكثافة المادة (ρ) فإنه يمكن حساب الناقلية الحرارية باستخدام المعادلة التالية [93]:

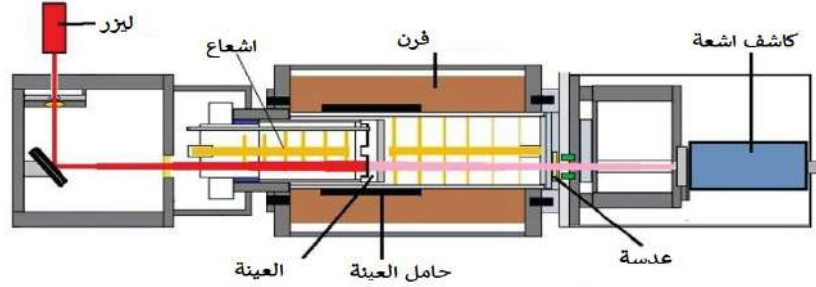
$$\alpha = 0.138 \frac{d^2}{t_{1/2}} \rightarrow \alpha = \frac{\lambda}{\rho c_p}$$

27-II

حيث:

d : سمك العينة (عادة 2 مم).

$t_{1/2}$: الوقت اللازم حتى تصل درجة حرارة السطح الخلفي إلى قيمة تساوي نصف قيمتها القصوى.



الشكل 28.II مخطط ومبدأ طريقة فلاش الليزر [93].

تم تطوير طريقة وميض الليزر، لتحديد الناقلية الحرارية بشكل مباشر عن طريق قياس الحرارية النوعية. تتمتع هذه الطريقة بميزة عدم تضمين قياسات درجة الحرارة أو التدفق الحراري لتحديد الخصائص الحرارية، يتم حساب قياس الانتشار الحراري على أساس التغير النسبي في درجة الحرارة كدالة للوقت فقط، حيث أنه حتى في درجات الحرارة المرتفعة نسبة الخطأ في القياس في لا تتجاوز 3-5% [93].

10.II. خلاصة

تطرقنا في هذا الفصل الى عدة مفاهيم نلخصها في النقاط التالية:

- الراحة الحرارية تعرف بأنها تلك الحالة الذهنية التي تعبر عن ارتياح الانسان فيها بالجو الحراري المحيط، الراحة الحرارية مفهوم نسبي فهي ليست ثابتة في الزمان والمكان وعلى العكس من ذلك فهي تختلف اجتماعيا حسب مستوى المعيشة وجغرافيا حسب المنطقة وتاريخياً حسب الفترات. تتأثر الراحة الحرارية بعدة عوامل كدرجة الحرارة والرطوبة وسرعة الهواء
- تكمن أهمية العزل الحراري من خلال تخفيض استهلاك الطاقة الكهربائية وتوفير الراحة الحرارية وحماية المبنى، تصنف المواد العازلة حسب مصدرها الى مواد عازلة عضوية كالخشب والفلين، ومواد عازلة معدنية كألياف الزجاج وعوازل صناعية البوليستيران
- تنتقل الحرارة بالتوصيل والحمل والاشعاع، قابلية المادة لنقل الحرارة يعبر عنها بالناقلية الحرارية، فكلما قلت الناقلية الحرارية كانت المادة عازلة أكثر للحرارة. الحرارة النوعية والناقلية الحرارية ثابتان يميزان المادة من خلال معرفتهما يمكن حساب الخصائص الحرارية الأخرى كالمقاومة الحرارية والعتالة الحرارية والانتشارية الحرارية...
- توجد عدة طرق تستخدم لقياس التوصيل الحراري. في الحالتين المستقرة والمتغيرة، أهمها طريقة الصفيحة الساخنة المحمية وطريقة السلك الساخن، في هذا البحث استعملنا طريقة السلك الساخن بواسطة جهاز (CT-metre) لتناسبه مع قياسات العينات وسهولة استخدامه ودقة قياسه

الفصل الثالث:

خصائص المواد المستعملة

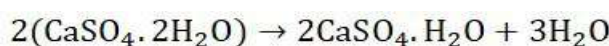
1.IV. مقدمة

بحثاً عن مواد محلية تلبي متطلبات المناخ الصحراوي، قمنا بدراسة مادة الجبس المتوفرة بكثرة في المناطق الصحراوية، فبالرغم من خصائصه الميكانيكية المقبولة والحرارية الجيدة، إلا أن استعماله في وقتنا الحاضر يبقى مختصراً في انجاز التلبسات الداخلية والديكورات، ولتحسين الخصائص الميكانيكية والحرارية للجبس قمنا بإضافة عصيات جريد نخيل التمر.

في هذا الفصل سنتناول الخصائص الكيميائية والفيزيائية للمواد المستعملة في هذا البحث وهي الجبس والاسمنت ورمل البناء ورمل الكثبان وعصيات جريد نخيل التمر.

2.IV. الجبس

الجبس المستعمل لتحضير عجينة الجبس والملاط الجبسي، هو الجبس التجاري من منطقة أولاد جلال، معبأ في أكياس 40 كغ، الجبس أو كبريتات الكالسيوم النصف مميهة ينتج بحرق الحجر الجبسي لدرجة حرارته 150 درجة مئوية وفق المعادلة:

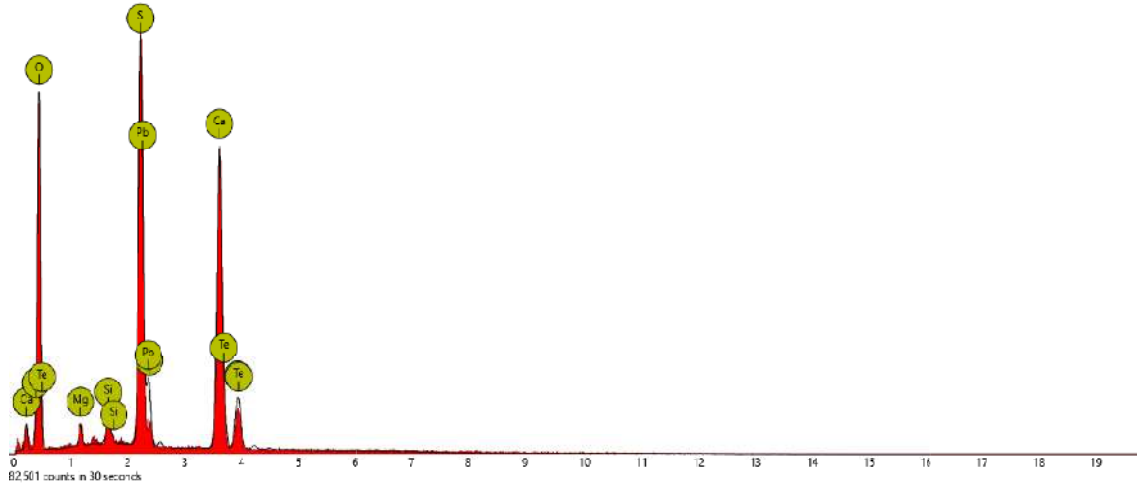
**1.2.IV. الخصائص الكيميائية**

التحليل الكيميائي بواسطة الأشعة السينية للجبس، الشكل (1.III) اعطى النتائج التالية:

الجدول 1.IV التحليل الكيميائي للجبس.

العنصر	المحتوى الذري %	المحتوى بالوزن %	الاكاسيد	المحتوى %
O	61.70	34.76		
Ca	16.80	23.71	CaO	32.30
S	15.66	17.68	SO ₄	42.96
Pb	1.55	11.30		
Te	2.41	10.82		
Si	0.90	0.89	SiO ₂	1.86
Mg	0.97	0.83	MgO	1.34

التحليل الكيميائي للجبس، الجدول (1.III) يبين أن الجبس يتكون أساساً من أكسيد الكالسيوم (CaO) وأوكسيد الكبريت (SO₄) مع نسب قليلة من الاكاسيد الاخرى والكوارتز.



الشكل 1.IV التحليل الكيميائي بالأشعة السينية للجبس

الجدول 2.IV التحليل الكيميائي للجبس المستعمل.

المكون	CL	KO	Na ₂ O	SO ₄	MgO	CAO	Fe ₂ O ₃	AL ₂ O ₃	SiO ₂
%	0.002	0.03	0.09	52.95	0.53	35.20	0.08	0.10	3.50

2.2.IV الخصائص الفيزيائية

1.2.2.IV - الكتلة الحجمية الظاهرية:

تم قياس الكتلة الحجمية الظاهرية وفق المعايير الجزائرية (NA 525) [94]، حيث تمرر عينة مسحوق الجبس على غربال بفتحات مربعة قياس 2مم قبل الوزن. يتم وزن العينات بحجم ثابت دون رصها او رجها الى ان يتم الحصول قيمتين للكتلة الحجمية الفارق بينهما أقل من 5%

الكتلة الحجمية لمسحوق الجبس المدروس في حدود ($875 \pm 1.67 \text{ Kg/m}^3$)

2.2.2.IV - الكتلة الحجمية المطلقة:

بواسطة مقياس الكثافة يتم قياس مستوى السائل (الإيثانول) عند ادخال مسحوق الجبس، الكثافة المطلقة للجبس المدروس في حدود ($2234 \pm 2 \text{ Kg/m}^3$)

الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للجبس المستعمل حسب البطاقة التقنية للمنتج كانت كالآتي:

الجدول 3.IV الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للجبس المستعمل [2].

الكتلة الحجمية الظاهرية (Kg/m^3)	875 ± 1.67
الكتلة الحجمية المطلقة (Kg/m^3)	2234 ± 20
مقاومة الإنحناء مع 7 أيام (MPa)	3.99
مقاومة الضغط مع 7 أيام (MPa)	10.11
زمن المسك E/P=0.6 (min)	البداية: 7 النهاية: 17
العالق في الغربال (800 um)	1.6%
العالق في الغربال (200 um)	15.26%

3.IV. عصيات جريد نخيل التمر

عصيات جريد نخيل التمر المستعمل في هاته الدراسة مأخوذ من جريد نخيل المتوفر بكثرة في المناطق الصحراوية حيث ان النخلة الواحدة تنتج سنويا حوالي 45.57 كغ من المخلفات منها 27% من الجريد [54] ، جريد نخيل التمر يكون بشكل ريشي (على شكل ريشة) يبلغ طوله جريد النخل حتى 4.5 م حسب عمر النخلة. تقطع خضراء وتترك لتجف في الهواء الطلق لمدة ستة أشهر ثم ينزع السعف وتقطع حسب القالب، الشكل (1.III).

تحتوي عصيات جريد نخيل التمر على 45% من السليلوز، و27.8% من الهيميسليلوز (بوليوز)، و 27.2% من اللجنين [95]،

عصيات جريد النخيل عبارة عن مادة مركبة، تتكون من اللينين كمادة ربط، ومدعمة بعناصر التقوية من الالياف، فعند مشاهدة مقطع طولي لعصيات لجريد النخيل بالمجهر الضوئي، الشكل (2.III) نجد انها تتشكل من الداخل من مجموعة من الالياف المتوازية، والسطح الخارجي يكون املسا الشكل (3.III)، مما قد يقلل من قابلية الالتحام الجيد مع الجبس.



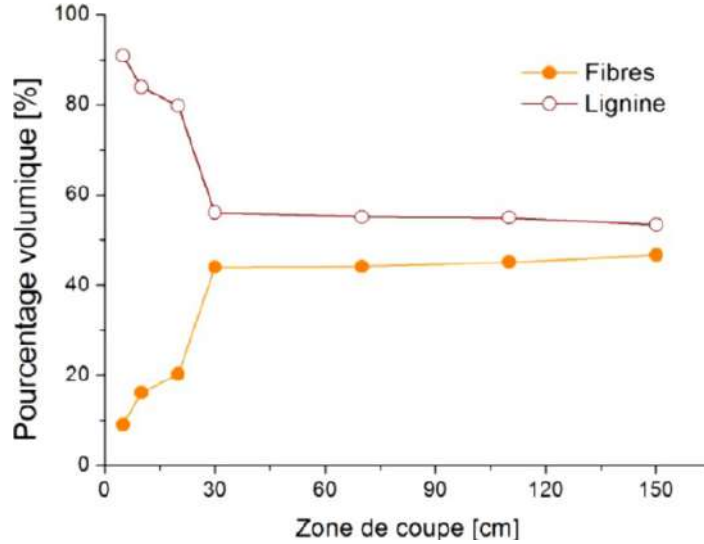
الشكل 2.IV مقطع طولي بالمجهر الضوئي لعصيات جريد النخيل.



الشكل 3.IV السطح الخارجي لعصيات جريد النخيل.

1.3.IV. الخصائص الفيزيائية

تختلف تركيبة المادة المركبة المكونة لعصيات جريد النخيل، بحسب موضع اخذ العينة ، حيث تتغير نسبة الالياف و نسبة اللينين حسب موضع القطع، تزداد نسبة الألياف وتقل نسبة اللينين كلما كان موضع القطع اقرب الى نهاية الجريد (T. DJOUDI) [96] ، الشكل (IV.4).

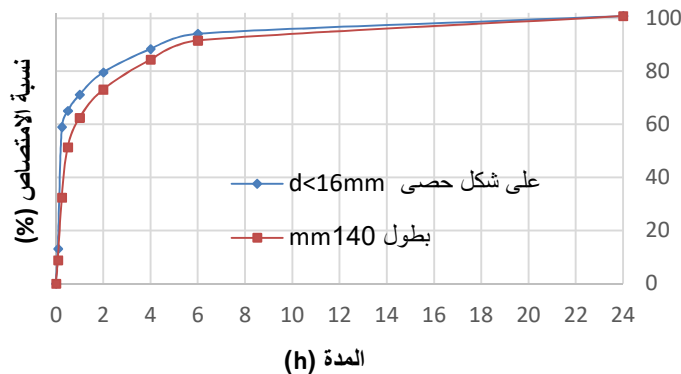


الشكل 4.IV تغير النسب الحجمية للألياف واللينين في جريد النخيل حسب موضع القطع [96].

الجدول 4.IV الخصائص الفيزيائية لعصيات جريد نخيل التمر.

الكتلة الحجمية الظاهرية (Kg/m ³)	الكتلة الحجمية المطلقة (Kg/m ³)	نسبة الماء %	امتصاص الماء 24 سا (%)	المسامية (%)
675±38.45	950.50±10.2	7.55±2.16	99.54±10.51	28.94

تمتص عصيات جريد النخيل على شكل حصى الماء بسرعة اكبر من العصيات بطول 140 مم، الشكل (5.III) ، يتم الامتصاص من خلال مساحات الاسطح ، حيث ان جريد النخيل على شكل حصى مساحته السطحية اكبر من المساحة السطحية للعصيات بطول 140 مم.



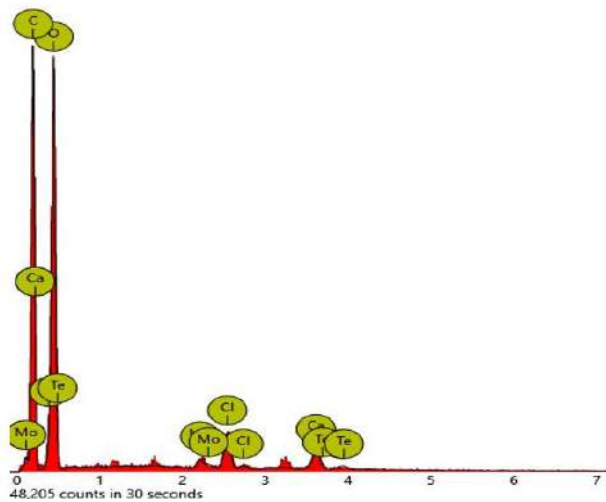
الشكل 5.IV حركية امتصاص الماء لعصيات جريد نخيل التمر.

2.3.IV. الخصائص الكيميائية

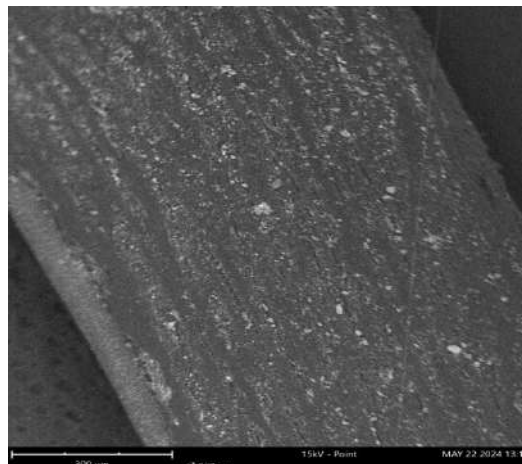
التحليل الكيميائي بالأشعة السينية لمسحوق عصيات الجريد لعصيات جريد النخيل، اعطى النتائج التالية:

الجدول 5.IV التحليل الكيميائي لعصيات الجريد.

العنصر	المحتوى الذري %	المحتوى بالوزن %	الاكاسيد	المحتوى %
O	45.32	50.25		
C	52.99	44.11		
Cl	0.86	2.11		
Ca	0.56	1.55	CaO	4.30
Mo	0.21	1.40		
Te	0.07	0.59		



الشكل 6.IV التحليل الكيميائي بالأشعة السينية لمسحوق عصيات الجريد



الشكل 7.IV صورة بالمجهر الالكتروني الماسح لألياف عصيات الجريد.

3.3.IV الخصائص الميكانيكية:

تجارب الانحناء بثلاث نقاط أجريت على عصيات جريد النخيل بطول 200 مم ومقطع 8×4 مم²، من خلال معرفة القوة المطبقة (P) وقياس الانبعاج (F)، يمكننا تحديد معامل المرونة (E_f) حسب العلاقة (1-III)، كما يمكننا حساب التشوه والاجهاد بالعلاقة (2-III) و(3-III) على التوالي

$$E_f = \frac{PL^3}{4bh^3f} \quad 1-IV$$

$$\varepsilon = \frac{6hf}{l^2} \quad 2\text{-IV}$$

$$\sigma = \frac{3Pl}{2bh^2} \quad 3\text{-IV}$$

الجدول 6.IV الخصائص الميكانيكية لعصيات جريد نخيل التمر.

9.95±0.55	E _r (GPA)
1.22±0.06	ε _r %
121.09±3.91	σ _r (MPa)

الخصائص الميكانيكية لألياف عصيات جريد النخيل حسب الدراسات السابقة [54] كانت كالآتي :

الجدول 7.IV الخصائص الميكانيكية لألياف عصيات جريد نخيل التمر[54].

معامل يونغ (GPA)	الاستطالة (%)	اجهاد الشد (MPa)	القطر (mm)
2.33±8.55	1.96±4.38	58±213	0.75-0.6

4.IV رمل الكثبان

رمل الكثبان المستعمل في هاته الدراسة هو رمل الكثبان بمنطقة وازيتن بالوادي ،وهو رمل متوسط التكور ،الشكل (2.III) حسب تصنيف(TURKELI) [97]،يتميز هذا النوع من الرمل بنفاذية عالية ،ويطلب مواد رابطة أقل من الرمل المنخفض التكور، المكون الرئيسي للرمل هو السيليس ويظهر باللون الأبيض الشفاف، الشكل (8.III).



الشكل 8.IV صورة بالمجهر الضوئي لرمل الكثبان المستعمل.

1.4.IV التحليل الكيميائي

الجدول 8.IV نتائج التحليل الكيميائي للرمل المستعمل.

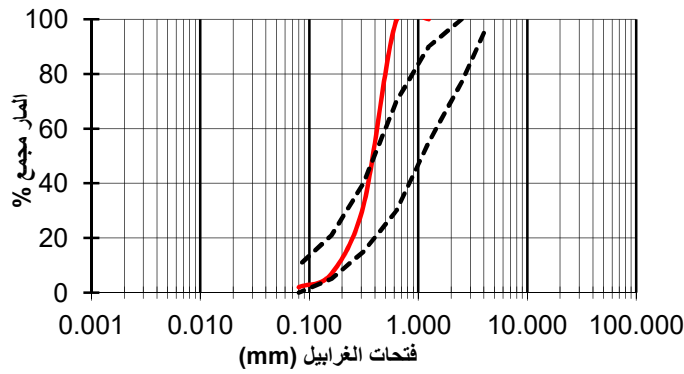
PAF	MgO	SO3	S _i O ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	AL ₂ O ₃
0.87%	0.51%	0.12%	96.42%	0.92%	0.24%	0.92%

2.4.IV التحليل الحبيبي:

رمل الكثبان المستعمل في هاته الدراسة ،هو رمل منطقة وازيتن بالوادي، التحليل الحبيبي وفق (NF P94-056) [98] اعطى النتائج التالية:

الجدول 9.IV نتائج التحليل الحبيبي بالغريلة للرمل.

الغريال (mm)	وزن العالق الجزئي (g)	وزن العالق مجمع (g)	العلق مجمع %	المار مجمع %
5	0	0	0	100
2.5	0	0	0	100
1.26	0	0	0	100
0.630	10	10	0.5	99.5
0.315	1350	1360	68	32
0.16	500	1860	93	7
0.08	100	1960	98	2



الشكل 9.IV منحنى التدرج الحبيبي بالغريلة لرمل الكثبان.

معامل النعومة يعطى بالعلاقة:

$$M_f = \sum R_c / 100 \quad 4-IV$$

$$M_f = (93 + 68 + 0.5 + 0 + 0 + 0) / 100 = 1.615$$

رمل الكثبان المستعمل تدرجه الحبيبي محصور، وهو في معظمه خارج المجال الموصي به للخرسانة والملاط الاسمنتي.

3.4.IV. الكتلة الحجمية:

بعد اجراء تجارب قياس الكتلة الحجمية المطلقة والكتلة الحجمية الظاهرية وفق المعايير (NFP 18-554) [99] تحصلنا عل النتائج التالية:

$$\text{الكتلة الحجمية الظاهرية} = 1500 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{الكتلة الحجمية المطلقة} = 2560 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

4.4.IV. المكافئ الرملي:

أجريت التجارب وفق المعايير (NFP 18-598) [100] العلاقة التي تسمح بتحديد مكافئ الرمل هي:

$$E_s = \frac{h_1}{h_2} \times 100 \quad 5-IV$$

حيث:

h_1 : ارتفاع الرمل النقي + العناصر الدقيقة

h_2 : ارتفاع الرمل النقي

بعد اجراء التجارب تحصلنا على:

ESv=85% -بالعين المجردة

Esp=83% -بالمكبس

الرمل المستعمل في الدراسة رمل عالي النقاوة، ونسبة الغضار ضعيفة.

5.IV. الاسمنت

الاسمنت المستعمل في الدراسة هو الاسمنت البورتلاندي المركب (CEM II / B-L 42.5N) وفق المعايير الجزائرية (NA 442) [101] المسوق من مجموعة (LAVARGE).

الخصائص الفيزيائية والكيميائية حسب البطاقة التقنية للمصنع [102] موضحة في الجداول

الجدول 10.IV الخصائص الميكانيكية للإسمنت المستعمل [102].

العمر	2 يوم	28 يوم
مقاومة الضغط (MPa)	$10 \leq$	$42.5 \leq$

الجدول 11.IV الخصائص الكيميائية (NA 5042) [102].

الخاصية	القيمة
الضياح بالحرق (%)	2 ± 10.0
بقايا غير قابلة للذوبان (%)	0.65 ± 1.35
نسبة الكبريتات (SO ₃) (%)	0.5 ± 2.5
نسبة أكسيد المغنيزيوم (MgO) (%)	0.5 ± 1.7
نسبة الكلورير (%)	$0.05 - 0.02$
المحتوى القلوي المكافئ (%)	$0.75 - 0.3$

الجدول 12.IV التركيب المعدني للإسمنت (الكلنكر) [102].

النسبة	المركب
3.0 ± 60	C ₂ S
3.0 ± 15	C ₃ S
1.0 ± 7.5	C ₃ A
1.0 ± 11	C ₄ AF

الجدول 13.IV الخصائص الفيزيائية للإسمنت [102].

الخاصية	القيمة	الوحدة
النعومة (SSB) (NA 231)	5200-3700	Cm ² /g
الكتلة الحجمية الظاهرية	1975	Kg/m ³
الكتلة الحجمية المطلقة	3080	Kg/m ³
الانكماش عند 28 يوم	1000>	µm/m
بداية الشد (NA 230)	30 ± 150	Min
نهاية الشد (NA 230)	50 ± 230	Min

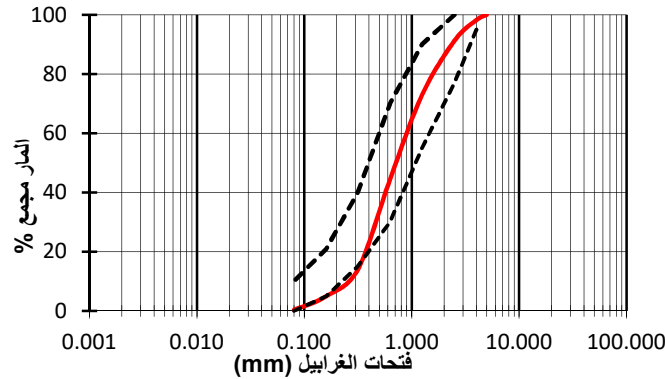
6.IV. رمل البناء

لتحضير الملاط الاسمنتي استعملنا رمل الوديان لمنطقة عسيلة، التحليل الكيميائي للرمل اعطى النتائج في الجدول (10.III)

الجدول 10.IV نتائج التحليل الكيميائي للرمل المستعمل

PAF	Na2O	K2O	SO3	MgO	SiO2	CaO	Fe2O3	AL2O3
0.8%	0.1%	0.59%	0.37%	0.41%	94.72%	1.21%	0.99%	0.81%

منحنى التحليل الحبيبي، الشكل (3.III) يبين ان الرمل المستعمل تدرجه الحبيبي منتظم، وهو داخل المجال المرجعي الموصي به في الخرسانة والملاط الاسمنتي.



الشكل 10.IV منحنى التدرج الحبيبي بالغريبة لرملة منطقة عسيلة.

تجارب قياس الكتلة الحجمية المطلقة والكتلة الحجمية الظاهرية تحصلنا على النتائج التالية:

$$\text{الكتلة الحجمية الظاهرية} = 1582 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{الكتلة الحجمية المطلقة} = 2488 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

7.IV. الماء :

الماء المستعمل في الخلط هو ماء الحنفية لمخبر البناء بمعهد التكوين المتصلة شبكة توزيع الماء الصالح للشرب، المعايير (NF EN 1008) [103] تنص على ان الماء الصالح للشرب بصفة عامة مناسب لخلط الخرسانة.

8.IV. دراسة تركيبة الجبس والملاط الجبسي :

على عكس الخرسانة الاسمنتية والملاط الاسمنتي، لا توجد قواعد ثابتة لدراسة تركيبة خلطات الجبس والملاط الجبسي، قمنا بهاذه الدراسة قصد الحصول على التركيبة المثلى للجبس والملاط الجبسي، قصد استعمالها لاحقا في دراسة تأثير إضافة عصيات جريد نخيل التمر الى الجبس والملاط الجبسي.

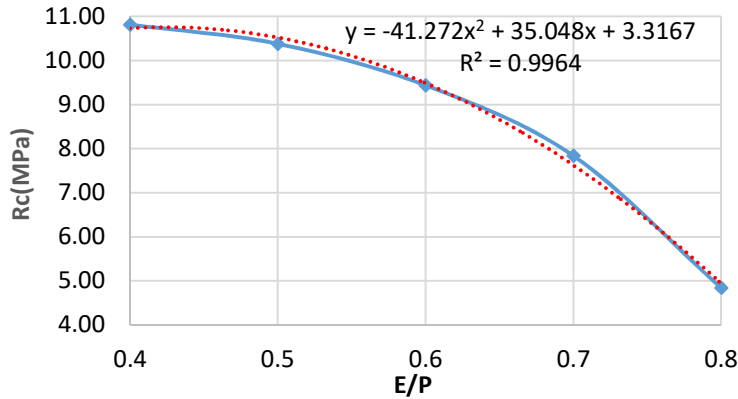
1.8.IV. تركيبة الجبس الخالص :

لتحديد نسبة الماء المثلى للجبس قمنا بإضافة الماء الى الجبس بنسب متغيرة، مع ملاحظة قابلية التشغيل لعجينة الجبس، وإنجاز عينات بحجم $16 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$ حسب المعايير الجزائرية (NA 526) [104] لأجراء تجارب الضغط والإنحناء.

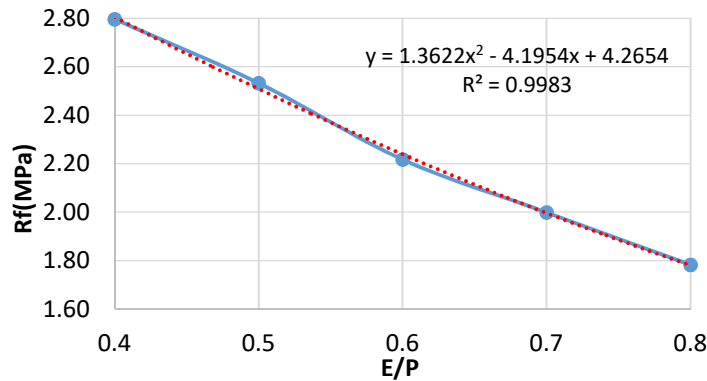
نتائج تجارب الضغط والإنحناء بعد 28 يوما مدونة في الجدول (16.III).

الجدول 14.IV نتائج تجارب الضغط والإنحاء على عينات الجبس الخالص.

0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	E/P
0.34±4.84	0.28±7.84	0.46±9.44	0.20±10.38	0.46±10.81	(MPa)Rc
0.06±1.78	0.11±2.00	0.12±2.22	0.03±2.53	0.13±2.80	(MPa)Rf



الشكل 11.IV تغير مقاومة الضغط Rc بدلالة نسبة الماء للجبس



الشكل 12.IV تغير مقاومة الإنحاء Rf بدلالة نسبة الماء للجبس

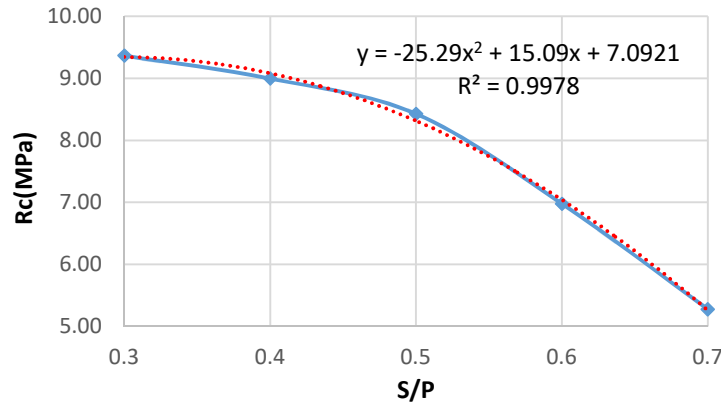
من خلال الشكل (11.III) والشكل (12.III) تزداد المقاومة الميكانيكية للضغط والإنحاء، مع انخفاض نسبة الماء، بالمقابل ومن خلال الملاحظة العينانية فان قابلية التشغيل تنخفض ، من خلال الملاحظة و التجربة تم تثبيت النسبة (E/P=0.6) في جميع المراحل اللاحقة في الدراسة ، هاته النسبة تتوافق مع توصيات [40] (CNERIB).

2.8.IV دراسة تركيبة الملاط الجبسي

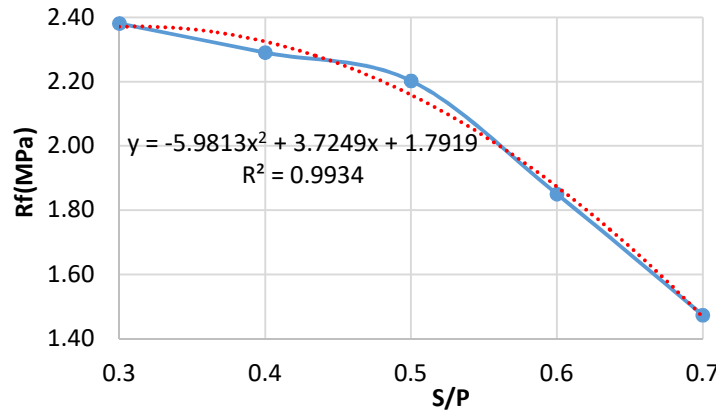
في هذه الدراسة قمنا بتثبيت نسبة الماء، وازدادة رمل الكثبان بنسب متغيرة، نتائج تجارب الضغط والإنحاء على الملاط الجبسي بعد 28 يوما مدونة في الجدول (15.III)

الجدول 15.IV نتائج تجارب الضغط والإنحاء على عينات الجبس الملاط الجبسي.

0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	S/P
0.26±5.28	0.71±6.98	0.10±8.34	0.22±9.00	0.17±9.37	(MPa)Rc
0.34±1.47	0.25±1.85	0.07±2.20	0.07±2.29	0.05±2.38	(MPa)Rf



الشكل 13.IV تغير مقاومة الضغط Rc بدلالة نسبة رمل الكثبان للملاط الجبسي.



الشكل 14.IV تغير مقاومة الإنحناء Rf بدلالة نسبة رمل الكثبان للملاط الجبسي.

من خلال الشكل (13.III) والشكل (14.III) تزداد المقاومة الميكانيكية للضغط والإنحناء مع انخفاض نسبة الرمل، بهدف تامين مورد الرمل قمنا بإدخال الرمل بنسبة (S/P=0.5)، هاته النسبة أعطت مقاومة ميكانيكية مقبولة للملاط الجبسي، وهي تتوافق مع دراسة تركيبة الملاط الجبسي (VIMMROVA) [105] وتوصيات (CNERIB) [40].

في كل المراحل اللاحقة لدراسة الملاط الجبسي اعتمدنا النسب (S/P=0.5) و (E/(P+S)=0.6)

9.IV. خلاصة

المواد المستعملة في هاته الدراسة مواد محلية متوفرة بكثرة في المناطق الصحراوية، نتائج دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمختلف هاته المواد (الجبس، جريد النخيل، رمل الكثبان، رمل البناء، الاسمنت) نلخصها في جملة من النقاط أهمها:

- الجبس المستعمل في الدراسة هو الجبس التجاري لمنطقة أولاد جلال يتكون أساسا من أوكسيد الكالسيوم (CaO) وأوكسيد الكبريت (SO4) مع نسب قليلة من الاكاسيد الاخرى والكوارتز، وهو عبارة على مسحوق ابيض مساحته السطحية مرتفعة.
- عصيات جريد النخيل عبارة عن مادة مركبة، تتكون من اللينين كمادة ربط ومدعمة بعناصر التقوية من الاليف، تتشكل من الداخل من مجموعة من الاليف المتوازية، و سطح خارجي أملس، تتميز

- بكتلة حجمية ظاهرية ضعيفة وامتصاص عال للماء، كما تتميز بمقاومة شد 121.09(MPa).
- رمل الكثبان المستعمل عال النقاوة، يتميز بتدرج حبيبي مرصوص ومعامل نعومة في حدود 1.61.
 - لإنجاز العينات الاسمنتية استعملنا رمل منطقه عسيلة تدرجه الحبيبي منتظم، وهو داخل المجال المرجعي الموصي به في الخرسانة والملاط الاسمطي، كما استعملنا اسمنت المتين المطابق للمعايير الجزائرية (NA 442) .
 - في دراسة تركيبية عجينة الجبس الخالص النسبة (E/P=0.6) اعطت قابلية تشغيل جيدة ومقاومة ميكانيكية مقبولة، وللحصول على تركيبية مناسبة للملاط الجبسي، النسبة من رمل الكثبان، والتي تتحقق قابلية تشغيل جيدة والمقاومة المقبولة، فإننا نأخذ (S/P = 0.5)، ونسبة (E/(P+S) = 0.6).

الفصل الرابع:

الخصائص الميكانيكية والفيزيائية والحرارية
للجبس المدعم بعصيات جريد نخيل التمر

1.VII. مقدمة:

الدراسة التجريبية لعملنا هذا تتلخص في تحديد الخصائص الحرارية والميكانيكية للطوب الجبسي المدعم بألياف نخيل التمر، العينات المدروسة أنجزت بقالب حديدي قابل للفك بقياس $16 \times 10 \times 8 \text{ (cm}^3\text{)}$ ، تم اختيار هذه القياسات حتى يتمكن من إجراء التجارب الميكانيكية والحرارية على نفس العينات، حيث يسمح لنا طول العينة 16 (cm) بإجراء تجارب الانحناء، كما يسمح لنا ارتفاع العينة 8 (cm) والعرض 10 (cm) بوضع أكثر من طبقة لعصيات جريد نخيل التمر وترك سمك تغليف كاف.

لإنجاز عينات الجبس المدعم بعصيات جريد نخيل التمر، استعملنا جبس منطقة أولاد جلال ولاية بسكرة ورمل الكثبان من وزيتن ضواحي واد سوف واختيار جريد نخيل الغرس، وقد تم التطرق الى خصائصها الفيزيائية والكيميائية في الفصل السابق.

كما قمنا بإنجاز عينات بالملاط الاسمنتي النظامي، بنفس القياسات السابقة لمقارنة النتائج مع عينات الجبس، حيث أجرينا عدة تجارب أهمها:

- التجارب الحرارية لتحديد الناقلية الحرارية والحرارة النوعية.

- التجارب الفيزيائية (الكتلة الحجمية، الامتصاص...).

- التجارب الميكانيكية لقياس مقاومة الانحناء والضغط للعينات.

أجريت التجارب بمخبر البناء والأشغال العمومية بمعهد التكوين المهني بالوادي في درجة حرارة تراوحت بين $(5 \pm 35)^\circ\text{C}$ ودرجة رطوبة نسبية $(28 \pm 3)\%$.

2.VII. تحضير العينات:

نصطلح على تسمية العينات حسب تركيبها:

- عينات الملاط الإسمنتي CM

- عينات الجبس الخالص PP

- عينات الملاط الجبسي (جبس + رمل الكثبان): PM

- عينات الجبس الخالص المدعم بعصيات جريد نخيل التمر على شكل طبقات: PP+MDPR

- عينات الجبس الخالص المدعم بعصيات جريد نخيل التمر على شكل حصى: PP+GDPR

- عينات الملاط الجبسي المدعم بعصيات جريد نخيل التمر على شكل طبقات: PM+MDPR

- عينات الملاط الجبسي المدعم بعصيات جريد نخيل التمر على شكل حصى: PM+GDPR

1.2.VII. عينات الملاط الاسمنتي:

لتحضير الملاط الاسمنتي استعملنا النسب المستعملة في الدراسات السابقة [106] وهي:

- وزن من الاسمنت (C).

- ثلاثة اوزان من الرمل $(S/C=3)$.

- نصف وزن من الماء $(E/C=0.5)$.

كمية المواد المستعملة للعينة الواحدة موضحة في الجدول (1.IV)

الجدول 1.VII كميات المواد المستعملة في عينات الملاط الاسمنتي.

حجم القالب (L)	وزن الاسمنت (Kg)	وزن الرمل (Kg)	وزن الماء (Kg)
1.280	0.600	1.800	0.300

يتم تحضير العينات وفق الخطوات التالية:

-وزن الكميات (الرمل، الاسمنت، الماء).

-تحضير القالب.

-خلط الرمل والاسمنت يدويا ثم إضافة الماء مع الخلط الجيد.

- صب الملاط في القالب مع تسويته ثم الرج لمدة 30 ثانية.

-ترك العينات تجف داخل المخبر

2.2.VII. عينات الجبس الخالص:

لتحضير عينات عجينة الجبس استعملنا النسبة (E/P=0.6) المتحصل عليها من دراسة تركيبية عجينة الجبس في الفصل السابق.

كمية المواد المستعملة لكل عينة موضحة في الجدول (2.IV)

الجدول 2.VII كميات المواد المستعملة في عينات الجبس الخالص.

حجم القالب (L)	وزن الجبس (Kg)	وزن الماء (Kg)
1.280	1.200	0.720

يتم تحضير العينات وفق الخطوات التالية:

-صب الماء داخل اناء الخلط.

-إضافة الجبس تدريجيا مع الخلط الجيد على ان لا تتجاوز مدة الخلط دقيقة واحدة.

-صب الجبس داخل القالب والتسوية.

-ترك العينات تجف داخل المخبر.

3.2.VII. عينات الملاط الجبسي:

لتحضير عينات الملاط الجبسي استعملنا النسبة (E/(P+S)=0.6) والنسبة (S/P=0.5) المتحصل عليها من دراسة تركيبية الملاط الجبسي في الفصل السابق.

كمية المواد المستعملة لكل عينة موضحة في الجدول (3.IV)

الجدول 3.VII كميات المواد المستعملة في عينات الملاط الجبسي.

حجم القالب (L)	وزن الجبس (Kg)	وزن الرمل (Kg)	وزن الماء (Kg)
1.280	1.000	0.500	0.900

يتم تحضير العينات وفق الخطوات التالية:

-صب الماء داخل اناء الخلط.

-إضافة الجبس تدريجيا مع الخلط الجيد على ان لا تتجاوز مدة الخلط دقيقة واحدة.

-صب الجبس داخل القالب والتسوية.

-ترك العينات تجف داخل المخبر.

4.2.VII. تحضير جريد نخيل التمر:

لتحضير جريد نخيل التمر اتبعنا الخطوات التالية:

- قطع جريد في الحالة الرطبة.
- يوضع على سطح مستو لنقادي النقوس ويترك في الهواء الطلق للتجفيف.
- بعد التجفيف يتم نزع السعف.

5.2.VII. عينات الجبس المدعم بجريد نخيل التمر على شكل طبقات (PP+MDPR):

تم تحضير العينات في درجة الحرارة العادية وفق البروتوكول التالي:

- قطع جريد نخيل التمر ميكانيكيا على شكل عصيات حسب طول القالب مع ترك سمك تغليف 1 (cm)، الشكل (1.IV).

- وزن عصيات جريد نخيل التمر في الحالة الجافة بالنسب 1%، 2%، 3%، 4%، 5% من وزن الجبس.
- تحديد عدد الطبقات لعصيات جريد نخيل التمر حسب النسب، وتقسيم الوزن على عدد الطبقات.
- غمر عصيات جريد نخيل التمر في الماء حتى التشبع.
- تحضير القالب.

تحضير عينة الجبس.

سكب طبقة من الجبس في القالب.

وضع طبقة من عصيات الجريد.

وضع طبقة ثانية من الجبس.

تكرر العملية حسب عدد الطبقات مع مراعاة ترك سمك التغليف 1 (cm).

تترك العينات للتجفيف داخل المخبر.



الشكل 1.VII. عصيات جريد نخيل التمر للوضع على شكل طبقات (MDPR).

6.2.VII. عينات الجبس المدعم بجريد نخيل التمر على شكل حصى (PP+GDPR):

لتحضير عينات الجبس المدعم بجريد نخيل التمر على شكل حصى اتبعنا الخطوات التالية:

- قطع جريد نخيل التمر ميكانيكيا على شكل حصى بأبعاد من 0.7-1.5 (cm)، الشكل (2.IV).
- الوزن في الحالة الجافة بالنسب 1%، 2%، 3%، 4%، 5% من وزن الجبس.
- تحضير القالب.

غمر عصيات جريد نخيل التمر في الماء حتى التشبع.

خلط الجبس مع GDPR في الحالة الجافة

-وزن الماء بالنسبة (E/P=0.6) وإضافة الخليط تدريجياً في الماء مع الخلط.
-الصب في القالب.



الشكل 2.VII عصيات جريد نخيل التمر على شكل حصى (GDPR).

7.2.VII. عينات الملاط الجبسي المدعم بجريد نخيل التمر على شكل حصى (PM+GDPR):

يتم تحضير عينات الملاط الجبسي المدعم بجريد نخيل التمر على شكل حصى، بنفس خطوات تحضير عينات الجبس المدعم بجريد نخيل التمر على شكل حصى، مع إضافة رمل الكثبان بنسبة (S/P=0.5) للجبس.

8.2.VII. عينات الملاط الجبسي المدعم بجريد نخيل التمر على شكل حصى (PM+MDPR):

يتم تحضير عينات الملاط الجبسي المدعم بجريد نخيل التمر على شكل طبقات، بنفس خطوات تحضير عينات الجبس المدعم بجريد نخيل التمر على شكل طبقات، مع إضافة رمل الكثبان بنسبة (S/P=0.5) للجبس.

3.VII. الطرق والتجارب:

تم إنجازا خمس عينات لكل تجربة، بعد 28 يوماً من التجفيف داخل المخبر تم اخضاع العينات للتجارب التالية:

1.3.VII. الكتلة الحجمية الظاهرية:

تم حساب الكتلة الحجمية الظاهرية للعينات لمختلف التركيبات بقسمة وزن العينة (M) على حجمها (V)

$$\rho = \frac{M}{V} \quad 1-VII$$

2.3.VII. امتصاص الماء:

تم إجراء هذه التجربة لمعرفة المسامية الداخلية للعينات، تترك العينات حتى تجف داخل فرن في درجة حرارة 105 درجة مئوية، ثم نقيس الوزن بميزان الكتروني بدقة قياس 0.001 غرام، يسجل الوزن الجاف (M_s)، نعتبر ان العينة جافة اذا كان الفارق في الوزن لا يتعدى 2 غرام بعد ثلاث قياسات متتالية، ثم غمرها بالكامل في الماء عند درجة حرارة 20 درجة مئوية لمدة 24 ساعة (أي حتى تنتشبع المادة)، يسجل الوزن (M_h).

معامل الامتصاص بالغمر W% يعطى بالعلاقة التالية:

$$W\% = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100 \quad 2-VII$$

3.3.VII. اختبار الموجات فوق الصوتية:

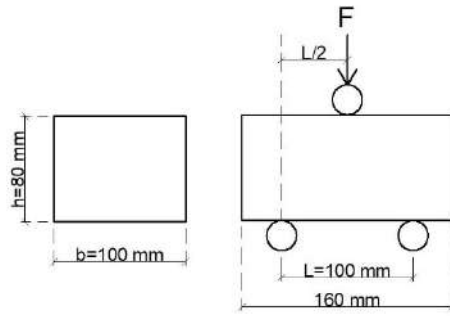
أجريت هاته التجربة وفق المعايير (NF EN 12504-4) [107] وتمكن هاته التجربة من قياس سرعة انتشار الموجات فوق الصوتية التي تمر عبر العينة باستخدام مولد ومستقبل للموجات فوق الصوتية. تمكننا هاته التجربة من معرفة خصائص المادة كالكتافة والمسامية والمقاومة الميكانيكية.

قبل البدء في التجربة نقوم بمعايرة الجهاز بأسطوانة المعايرة المرفقة بالجهاز، بعدها نقوم بتسوية سطح العينات والاستعانة بمادة تشحيم قبل وضع مسبار، تم القياس بالطريقة المباشرة حيث يوضع المرسل والمستقبل متقابلين على أسطح العينة. تم وضع العينات بنفس الاتجاه عند قياس سرعة الأمواج فوق الصوتية والناقلية الحرارية.

4.3.VII. مقاومة التحطيم بالانحناء:

تم اجراء التجارب على آلة الانحناء بثلاث نقاط، مزودة بمسندين اسطوانيين ثابتين في الأسفل، قابلين لتعديل المسافة بينهما، ومسند متحرك في المنتصف تطبق من خلاله القوة.

أجريت التجربة على عينات بمقطع 80 مم × 100 مم وطول 160 مم، البعد بين المسندين 100 مم، الشكل (3.IV) وفق المعايير (NF EN 196-1) [108] على آلة الانحناء من نوع (U-test) (الصورة في الملحق)



الشكل 3.VII الانحناء بثلاث نقاط

مقاومة الانحناء تحسب بالعلاقة التالية:

$$R_f = \frac{1.5FL}{bh^2} \quad (\text{MPa}) \quad 3\text{-VII}$$

حيث:

R_f : مقاومة الانحناء للعينة (MPa)

F : قوة الانحناء المطبقة عند التحطيم (N)

L : البعد بين المسندين (100 mm)

h : ارتفاع العينة (80 mm)

b : عرض العينة (100 mm)

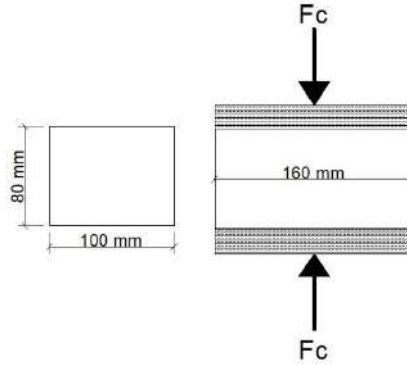
يمكن تبسيط العلاقة (3-IV) لتصبح على الشكل:

$$R_f = 2.34 \times 10^{-4} F \quad (\text{MPa}) \quad 4\text{-VII}$$

5.3.VII. مقاومة الضغط:

أجريت تجارب الضغط وفق المعايير (NF EN 196-1) [108] على آلة ضغط هيدروليكية من نوع (U-test)

(الصورة في الملحق)، تمكننا من القراءة المباشرة لقوة الضغط والاجهاد عند التحطيم. توضع العينات على الوجه 160 مم×100 مم بحيث يكون مستوي طبقات جريد نخيل التمر عمودي على اتجاه قوة الضغط في عينات (MDPR)، الشكل (4.IV).



الشكل 4.VII تجربة التحطيم بالضغط

قوة التحطيم بالضغط تعطى بالعلاقة:

$$R_c = \frac{F_c}{bh} \quad (\text{MPa}) \quad 5\text{-VII}$$

6.3.VII. قياس الناقلية الحرارية والحرارة النوعية:

تم قياس الناقلية الحرارية λ والحرارة النوعية C_p في درجة حرارة 5 ± 25 درجة ورطوبة نسبية $48 \pm 5\%$ بواسطة جهاز (CT Meter) المطور من طرف شركة (CSTB)، وفقا للمعايير (NF EN993-15) [109]، يعتمد الجهاز على القياس بطريقة السلك الساخن، الجهاز مزود بمسبار يحتوي على لاقط للحرارة ومقاومة تسخين (الصورة في الملحق).

تم ضبط اعدادات الجهاز اثناء القياس على النحو التالي:

- نوع الحلقة: 1

- قطر مقاومة التسخين: 0.01 m

- مقاومة التسخين: 4.061Ω

- الاستطاعة: 0.4W

- زمن التسخين: 180 s

- زمن القياس: 200 s

يقوم الجهاز بقياس الناقلية الحرارية λ (W/m. K) والحرارة النوعية الحجمية C_p ($\text{KJ/m}^3 \cdot \text{k}$). يتم القياس داخل غرفة مغلقة بعيدا عن حركة الهواء حتى يتمكن الجهاز من تثبيت درجة الحرارة اثناء القياس.

4.VII. تحليل ومناقشة النتائج:

في كل ما يأتي نعتد التسميات التالية:

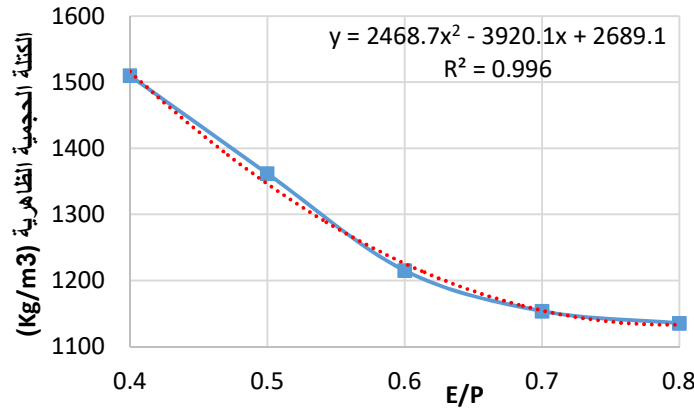
- عصيات جريد نخيل التمر: (DPR)
- عصيات جريد نخيل التمر على شكل طبقات: (MDPR)
- عصيات جريد نخيل التمر على شكل حصي: (GDPR)

- عينات الملاط الاسمنتي: (CM)
- عينات الجبس الخالص: (PP)
- عينات الملاط الجبسي (رمل الكثبان + الجبس) (PM)
- عينات الجبس المدعم بعصيات جريد نخيل التمر على شكل طبقات: (PP+MDPR)
- عينات الملاط الجبسي المدعم بعصيات جريد نخيل التمر على شكل طبقات: (PM+MDPR)
- عينات الجبس المدعم بعصيات جريد نخيل التمر على شكل حصى: (PP+GDPR)
- عينات الملاط الجبسي المدعم بعصيات جريد نخيل التمر على شكل حصى: (PM+GDPR)

1.4.VII الكتللة الحجمية الظاهرية

الجدول 4.VII الكتللة الحجمية للجبس الخالص بتغير نسبة الماء.

0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	E/P
1135.30±11	1153.48±10	1214.96±7	1361.70±11	1510.06±10	(Kg/m ³)ρ

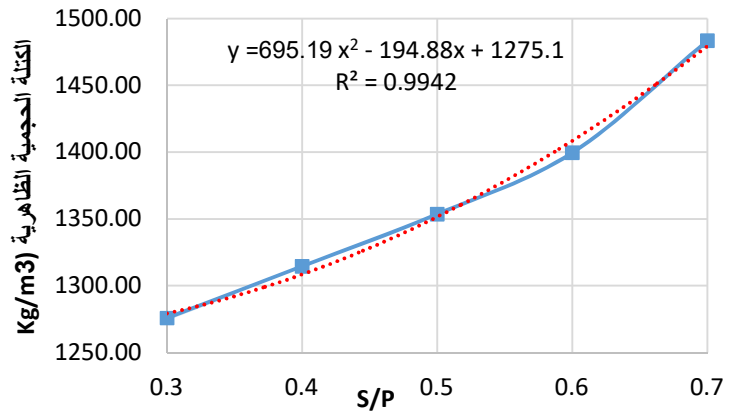


الشكل 5.VII تغير الكتللة الحجمية للجبس بدلالة نسبة الماء

في هذه التجربة حصرنا النسبة E/P بين 0.4 و 0.8، اذ انه عمليا لا يمكن خلط الجبس بأقل من النسبة E/P=0.4 بدون استعمال ملدن، كما ان النسبة E/P=0.8 أعطت جبسا سائلا. تتناسب الكتللة الحجمية للجبس عكسيا مع نسبة الماء، الشكل (5.IV)، فكلما زادت نسبة الماء نقصت الكتللة الحجمية، نظريا النسبة الكافية عند تفاعل الاماهة للجبس هي E/P=0.186 [37]، الكمية المتبقية تتبخر تدريجيا اثناء التجفيف وتترك فراغات، زيادة نسبة الماء تؤدي الى زيادة نسبة الفراغات، وبالتالي انخفاض الكتللة الحجمية، وكما لاحظنا سابقا في دراسة تركيبة الجبس والملاط الجبسي فان النسبة E/P=0.6 بالنسبة للجبس والنسبة E/(P+S)=0.6 بالنسبة للملاط الجبسي كانت المثلى.

الجدول 5.VII الكتللة الحجمية للملاط الجبسي بتغير نسبة الرمل.

0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0	S/P
1483.48±18	1399.56±16	13535.62±10	1314.52±11	1275.85±6	1214.96±7	(Kg/m ³)ρ

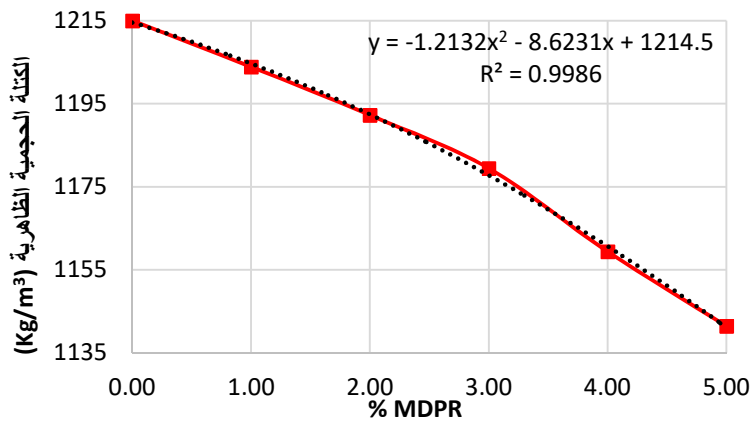


الشكل 6.VII تغير الكثافة الحجمية للملاط الجبسي بدلالة نسبة الرمل.

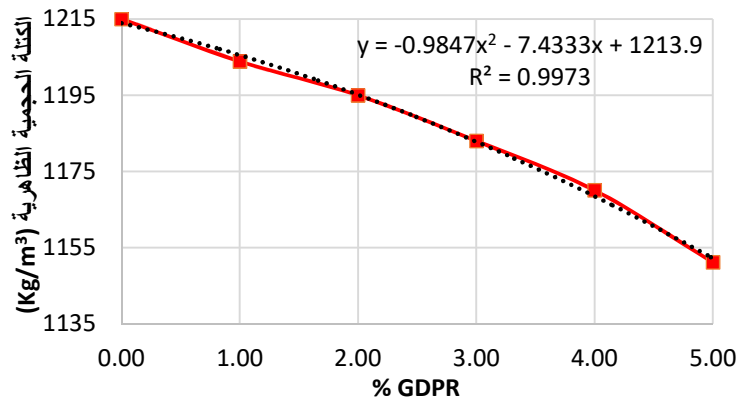
تزداد الكثافة الحجمية الظاهرية للملاط الجبسي بزيادة نسبة الرمل، حيث زادت الكثافة الحجمية بنسبة 12% عند إضافة الرمل بالنسبة (S/P=0.5)، وبنسبة 22% عند إضافة الرمل بالنسبة (S/P=0.7)، يفسر ذلك بالفرق في الكثافة الحجمية بين الجبس ورمل الكثبان. في التجارب اللاحقة تم تثبيت النسبة (S/P=0.5)، من خلال دراسة تركيبة الملاط الجبسي التي تطرقنا لها في الفصل السابق.

الجدول 6.VII الكثافة الحجمية الظاهرية لعينات للجبس والملاط الجبسي المدعم بعصيات جريد النخيل.

5	4	3	2	1	0	% DPR	(Kg/m³)
1141±7	1159±1 1	1179±4	1192±6	1204±5	1215±7	PP+MDPR	
1151±5	1170±5	1183±1 0	1195±3	1204±5	1215±7	PP+GDPR	
1280±7	1314±8	1330±9	1339±1 1	1346±8	1354±1 0	PM+MDP R	
1285±1 8	1315±5	1329±1 5	1342±1 2	1349±9	1354±1 0	PM+GDP R	
-	-	-	-	-	2100±5	CM	



الشكل 7.VII تغير الكثافة الحجمية بدلالة نسبة (MDPR) لعينات (PP+MDPR)

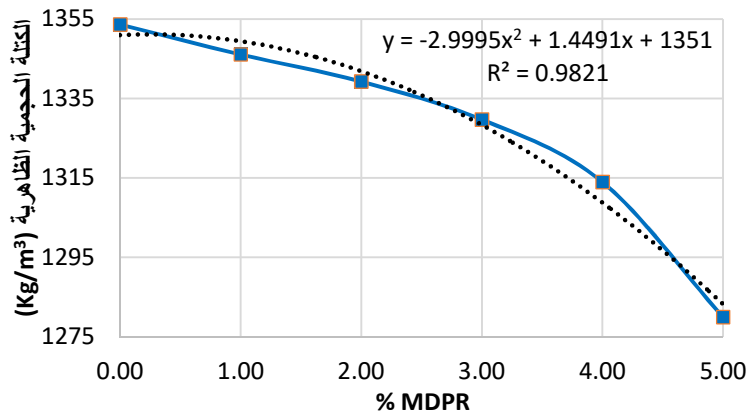


الشكل 8.VII تغير الكثافة الحجمية بدلالة نسبة (GDPR) لعينات (PP+GDPR)

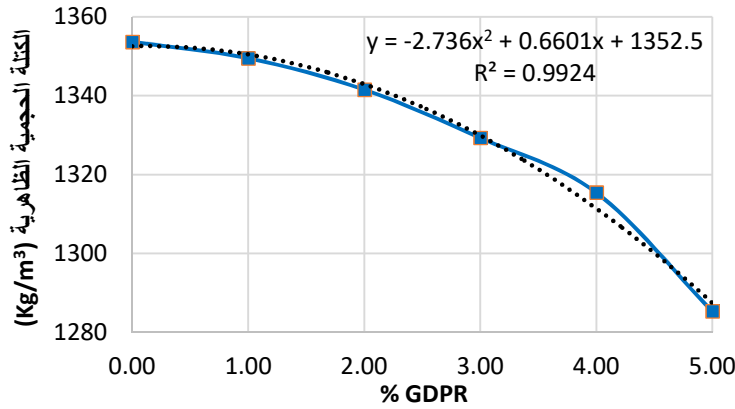
من خلال الجدول (6.IV) لاحظنا الفرق الكبير في الكثافة الحجمية لعينات الملاط الاسمنتي (CM) مقارنة بالكثافة الحجمية للجبس (PP) والملاط الجبسي (PM)، حيث كانت في حدود الضعف بالنسبة لعينات (PP). من خلال الشكل (7. IV) ، نلاحظ ان الكثافة الحجمية الظاهرية لعينات الجبس المدعم بجريد نخيل التمر على شكل طبقات (PP+MDPR) تتناسب عكسياً مع %MDPR، حيث تتخفض الكثافة الحجمية كلما زادت نسبة (MDPR). سجلنا انخفاض في الكثافة الحجمية بنسبة 6% عند إضافة (MDPR) بنسبة 5%، كما ان الزيادة في نسبة (GDPR) يصحبه انخفاض في الكثافة الحجمية لعينات (PP+GDPR) الشكل (8.IV)، حيث كانت نسبة النقصان في الكثافة الحجمية عند النسبة 5% من (GDPR) في حدود 5%.

إضافة عصيات جريد النخيل على شكل طبقات، وعلى شكل حصى ساهم في خفض الكثافة الحجمية للمادة المركبة، نظراً لطبيعة التركيبة المسامية لعصيات جريد النخيل، حيث تزداد نسبة الفراغات في المادة المركبة بزيادة نسبة عصيات جريد النخيل، وتتنخفض الكثافة الحجمية.

الفارق الطفيف في الكثافة الحجمية بين عينات (PP+MDPR) وعينات (PP+GDPR) راجع لطريقة تحضير العينات، حيث تم خلط حصيات جريد نخيل التمر مع الجبس قبل الصب في القالب بالنسبة لعينات (PP+GDPR)، اما عند وضع جريد نخيل التمر على شكل طبقات فيتم وضع طبقة من الجبس في القالب ثم يليها وضع طبقة من (MDPR)، كما ان الشكل شبه الدائري لعصيات جريد نخيل التمر يسمح بتكون فراغ بين العصيات المتلاصقة.



الشكل 9.VII تغير الكثافة الحجمية بدلالة نسبة (MDPR) لعينات (PM+MDPR).



الشكل 10.VII تغير الكثافة الحجمية بدلالة نسبة (GDPR) لعينات (PM+GDPR)

من خلال الجدول (6.IV) نلاحظ ان عينات (PM+MDPR) أخف وزنا من عينات (PM+GDPR) عند نفس النسب من (DPR)، يفسر ذلك بطريقة تحضير العينات، حيث تم خلط (GDPR) مع الملاط الجبسي قبل الصب في القالب، بينما في عينات (PM+MDPR) يتم وضع الطبقات في القالب بعد صب طبقة الملاط الجبسي، مما قد يسمح بوجود فراغات بين العصيات.

تتناسب الكثافة الحجمية لعينات (PM+MDPR) عكسيا مع نسبة (MDPR)، فكلما زادت هاته النسبة انخفضت الكثافة الحجمية للمادة المركبة، الشكل (9. IV)، كما تتناسب الكثافة الحجمية لعينات (PM+GDPR) عكسيا مع نسبة (GDPR)، الشكل (10.IV). حيث انخفضت الكثافة الحجمية لعينات (PM+MDPR) بنسبة 5.5% عند إضافة 5% من (MDPR)، كما انخفضت الكثافة الحجمية لعينات (PM+GDPR) بنسبة 5% عند إضافة 5% من (GDPR).

عند نفس النسب من (DPR)، عينات الجبس (PP) أعطت كثافة حجمية اقل من عينات الملاط الجبسي (PM)، اضافة رمل الكثبان زاد من الكثافة الحجمية للمادة المركبة، لكون الكثافة الظاهرية للرمل أكبر من الكثافة الحجمية للجبس.

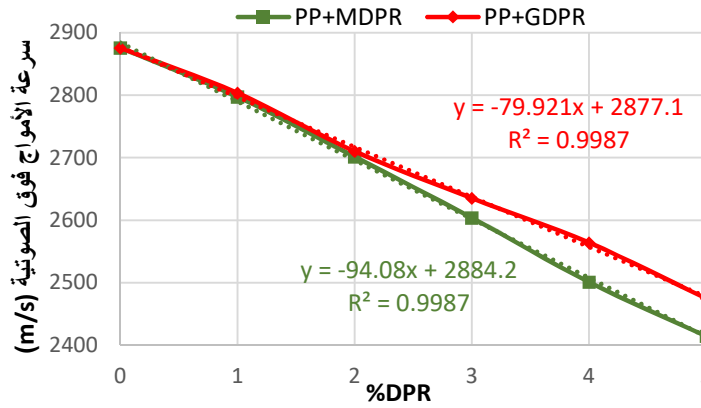
2.4.VII. سرعة انتقال الأمواج فوق الصوتية للعينات:

الجدول 7.VII سرعة الأمواج فوق الصوتية للعينات.

V(m/s)					%DPR
CM	PM+GDPR	PM+MDPR	PP+GDPR	PP+MDPR	
3750±112	2679±125	2679±163	2875±164	2875±164	0
-	2615±176	2606±146	2803±174	2797±135	1
-	2525±136	2517±157	2710±142	2701±152	2
-	2455±141	2426±138	2635±120	2603±159	3
-	2387±149	2330±153	2564±178	2501±148	4
-	2306±128	2257±142	2474±163	2414±122	5

من خلال الجدول (7.IV) سرعة الأمواج فوق الصوتية لعينات الملاط الاسمنتي (CM) كانت اعلى منها في عينات الجبس الخالص (PP) والملاط الجبسي (PM)، لكون الجبس والملاط الجبسي أكثر مسامية من الملاط الاسمنتي، حيث تنتشر الموجات فوق الصوتية من خلال المادة، فكلما كانت كثافة المادة أكبر كلما

كانت سرعة الانتشار اعلى.

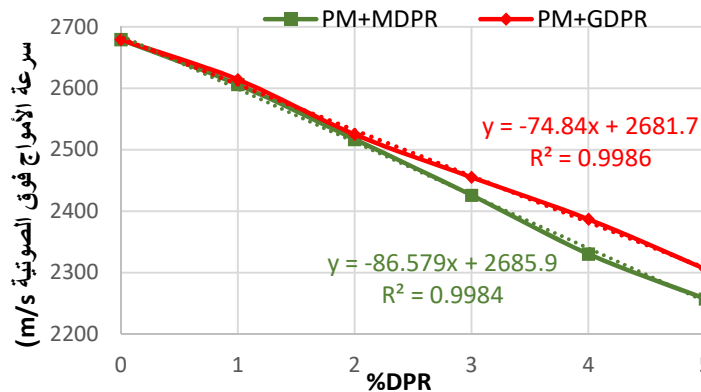


الشكل 11.VII تغير سرعة الأمواج فوق الصوتية بدلالة نسبة (DPR)

لعينات (PP+MDPR) و (PP+GDPR).

من خلال الشكل (11.IV) تتناسب سرعة الأمواج فوق الصوتية عكسيا مع نسبة (DPR)، فكلما زادت نسبة (DPR) انخفضت سرعة الأمواج فوق الصوتية، الزيادة نسبة (DPR) زاد من نسبة الفراغات في المادة المركبة، وبالتالي انخفاض سرعة الأمواج فوق الصوتية.

سرعة الموجات فوق الصوتية في عينات (PP+GDPR) اعلى منها في عينات (PP+MDPR) عند نفس النسبة من (DPR)، حيث رأينا سابقا عند دراسة الكتلة الحجمية ان عينات (PP+MDPR) تحتوي على نسبة فراغات اعلى من عينات (PP+GDPR)، وهو ما قلل في سرعة مرور الأمواج فوق الصوتية،



الشكل 12.VII تغير سرعة الأمواج فوق الصوتية بدلالة نسبة (DPR)

لعينات (PM+MDPR) و (PM+GDPR)

عند إضافة الرمل بنسبة (S/P=0.5) للجبس، انخفضت سرعة الأمواج فوق الصوتية بشكل ملحوظ الشكل (12.IV)، يرجع ذلك الى ان المادة المركبة تصبح اقل تماسكا عند إضافة الرمل نتيجة نقص المادة الرابطة، مما يقلل من سرعة مرور الأمواج فوق الصوتية.

3.4.VII معامل المرونة الديناميكي:

يرتبط معامل المرونة الديناميكي بسرعة الأمواج فوق الصوتية بالعلاقة التالية [110]:

$$E_d = \rho \cdot (V^2) \cdot \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} \quad 6-IV$$

حيث:

E_d : معامل المرونة الديناميكي (Pa).

ρ : الكتلة الحجمية للمادة (kg/m^3).

V : سرعة انتشار الموجات فوق الصوتية (m/s).

معامل بواسون للجبس الماسك=0.13 [28].

يرتبط معامل المرونة الديناميكي بمعامل المرونة الستاتيكي بالعلاقة التجريبية التالية [111] :

$$E_d = 5.8195 \cdot (E^{0.6284}) \quad 7-IV$$

حيث:

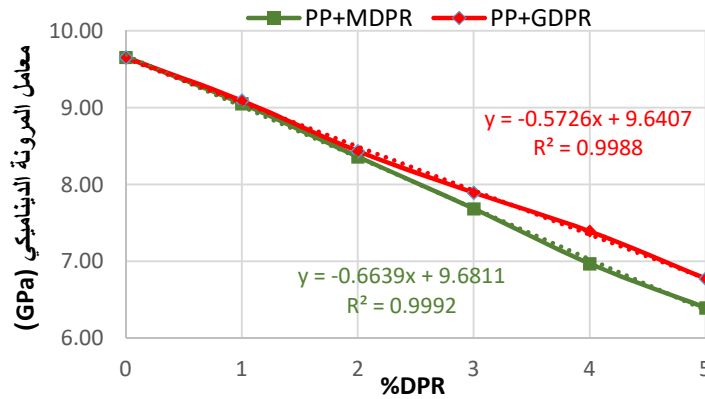
E_d : معامل المرونة الديناميكي (GPa).

E : معامل المرونة الستاتيكي (GPa).

الجدول 8.VII معامل المرونة الديناميكي للعينات.

$(GPa) E_d$					%DPR
CM	PM+GDPR	PM+MDPR	PP+GDPR	PP+MDPR	
29.15	9.34	9.34	9.66	9.66	0
-	8.87	8.79	9.09	9.05	1
-	8.22	8.16	8.44	8.36	2
-	7.70	7.52	7.90	7.69	3
-	7.20	6.86	7.39	6.97	4
-	6.57	6.27	6.78	6.40	5

من الجدول (8.IV) معامل المرونة الديناميكي لعينات الملاط الاسمنتي ($E_d=29.15$ GPa) يقارب القيمة التي تحصل عليها ([112] PRIYARANJAN). حيث يتعلق معامل المرونة الديناميكي بصلابة المادة، فكلما زادت صلابة المادة زادت قيمته، حيث اعطت عينات الملاط الاسمنتي معامل مرونة ديناميكي اكبر من عينات الجبس والملاط الجبسي.

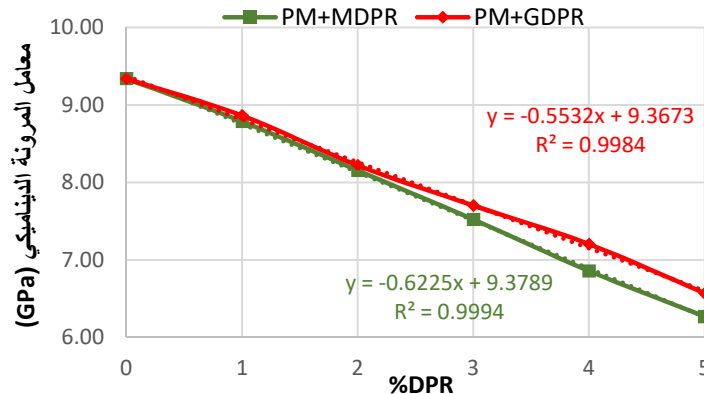


الشكل 13.VII تغير معامل المرونة الديناميكي بدلالة نسبة (DPR)

لعينات (PP+MDPR) و (PP+GDPR).

من الشكل (13.IV) تتخفص قيمة معامل المرونة لعينات (PP+GDPR) و عينات (PP+MDPR) كلما زادت نسبة (DPR)، حيث ان عصيات جريد النخيل اقل صلابة من الجبس، مما يؤدي الى تقليل معامل المرونة للمادة المركبة. انخفض معامل المرونة الديناميكي في عينات (PP+GDPR) بنسبة 30% عند إضافة

(DPR) بنسبة 5%، وعند نفس النسبة انخفض بنسبة 33% في عينات (PP+MDPR).
عينات (PP+GDPR) أبدت صلابة أكبر من عينات (PP+MDPR) لاحتوائها على نسبة فراغات اقل، كما لاحظنا سابقا في دراسة الكتلة الحجمية.



الشكل 14.VII تغير معامل المرونة الديناميكي بدلالة نسبة (DPR)

لعينات (PM+MDPR) و (PM+GDPR)

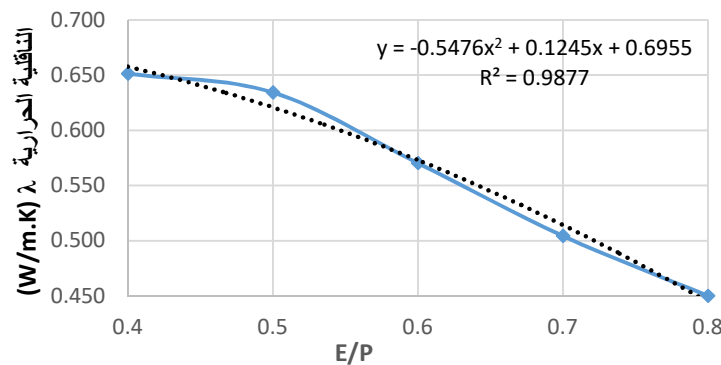
عند إضافة الرمل بنسبة (S/P=0.5) الى الجبس انخفض معامل المرونة الديناميكي بنسبة 3%، حيث تؤدي زيادة نسبة الرمل الى تقليل مادة الربط في المادة المركبة وتقل صلابة المادة، عينات (PM+GDPR) كانت أكثر صلابة من عينات (PM+MDPR) الشكل (14.IV) لاحتوائها على نسبة فراغات أكبر.

4.4.VII. الناقلية الحرارية:

1.4.4.VII. الناقلية الحرارية لعينات الجبس الخالص (PP):

الجدول 9.VII نتائج قياس الناقلية الحرارية للجبس الخالص.

0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	E/P
0.450±0.02	0.504±0.00	0.570±0.01	0.634±0.00	0.651±0.02	λ
3	8	1	7	1	(W/m . K)



الشكل 15.VII تغير الناقلية الحرارية بدلالة النسبة (E/P) لعينات (PP).

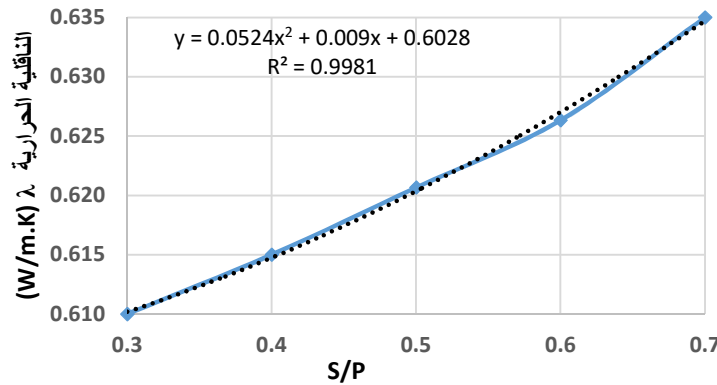
تتناسب الناقلية الحرارية للجبس عكسيا مع نسبة ماء الخلط الشكل (15.IV)، فكلما زادت نسبة الماء انخفضت الناقلية الحرارية للعينات، كمية الماء الزائدة عن تفاعل التمييه تتبخر تاركة فراغات داخل الجبس وبالتالي

ارتفاع المسامية، ارتفاع مسامية الجبس تساهم في خفض ناقلية الحرارة [113]، تؤثر الزيادة في نسبة الماء بشكل كبير على الناقلية الحرارية، حيث سجلنا انخفاض في الناقلية الحرارية بنسبة 31% عند زيادة نسبة الماء بالضعف،

2.4.4.VII. الناقلية الحرارية لعينات الملاط الجبسي (PM):

الجدول 10.VII نتائج قياس الناقلية الحرارية للملاط الجبسي.

0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	S/P
0.635±0.00	0.626±0.00	0.621±0.01	0.615±0.00	0.610±0.00	λ (W/m . K)
7	2	2	5	3	



الشكل 16.VII تغير الناقلية الحرارية للملاط الجبسي بدلالة النسبة (S/P)

زيادة رمل الكثبان الى الجبس زاد من ناقلية الحرارة، حيث ارتفعت الناقلية الحرارية للملاط الجبسي بنسبة 5% عند ارتفاع النسبة (S/P) من 0.3 الى 0.7، الشكل (16.IV) تفسر الزيادة في الناقلية الحرارية بالناقلية الحرارية المرتفعة للرمل مقابل الجبس، تتوافق النتائج المتحصل عليها مع ابحاث (ABANI) [71]

3.4.4.VII. الناقلية الحرارية لعينات الجبس والملاط الجبسي المدعم بعصيات جريد النخيل:

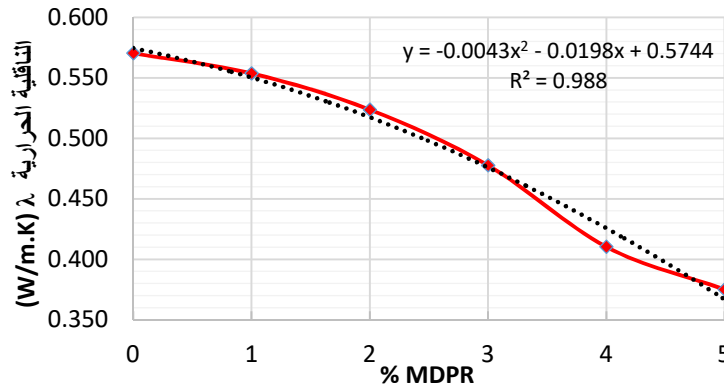
الجدول 11.VII نتائج قياس الناقلية الحرارية لمختلف العينات.

الناقلية الحرارية λ (W/m. K)					%DPR
CM	PM+GDPR	PM+MDPR	PP+GDPR	PP+MDPR	
1.7±0.033	0.621±0.012	0.621±0.012	0.570±0.011	0.570±0.011	0
-	0.610±0.026	0.596±0.026	0.560±0.038	0.544±0.013	1
-	0.591±0.013	0.572±0.018	0.551±0.012	0.524±0.012	2
-	0.580±0.014	0.531±0.020	0.531±0.013	0.478±0.021	3
-	0.562±0.026	0.482±0.023	0.494±0.022	0.410±0.013	4
-	0.529±0.007	0.429±0.028	0.456±0.030	0.375±0.010	5

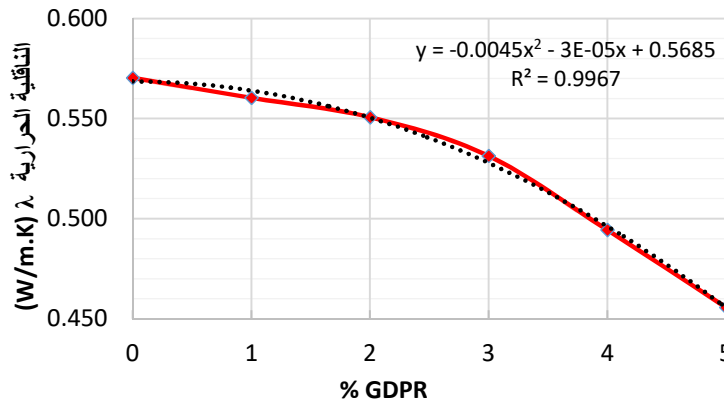
من خلال الجدول (11.IV)، وقبل إضافة عصيات جريد نخيل التمر وعند مقارنة قيم الناقلية الحرارية لعينات الجبس (PP) وعينات الملاط الجبسي (PM)، نلاحظ ان عينات الجبس أعطت ناقلية حرارية اقل من عينات الملاط الجبسي، حيث زادت الناقلية الحرارية بنسبة 9% عند إضافة الرمل بالنسبة (S/P=0.5)، وهي تقارب

النتائج المتحصل عليها عند إضافة رمل البناء للجبس [114].

مقارنة بالملاط الاسمنتي يعتبر الجبس عازلا جيد للحرارة، فمن خلال الجدول (11.IV) نلاحظ ان عينات الملاط الاسمنتي أعطت ناقلية حرارية عالية، تقارب ثلاثة اضعاف قيم الناقلية في الجبس والملاط الجبسي.



الشكل 17.VII تغير الناقلية الحرارية بدلالة نسبة (MDPR) لعينات (PP+MDPR).

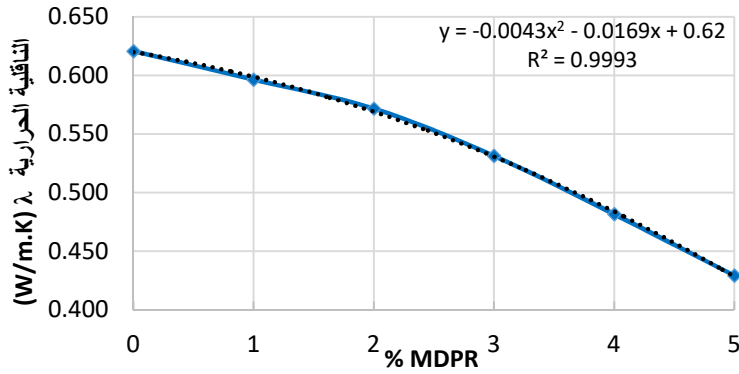


الشكل 18.VII تغير الناقلية الحرارية بدلالة نسبة (GDPR) لعينات (PP+GDPR).

عند إضافة (MDPR) الى عينات الجبس انخفضت الناقلية الحرارية تدريجيا بزيادة نسبة (MDPR)، الشكل (17. IV)، حيث كانت نسبة الانخفاض 34% عند إضافة (MDPR) بنسبة 5%، وعند إضافة (GDPR) الى عينات الجبس بنفس النسبة انخفضت الناقلية الحرارية نسبة 20%، الشكل (18. IV)، بزيادة نسبة (DPR) يؤدي الى زيادة مسامية المادة المركبة ، وبالتالي انخفاض الناقلية الحرارية.

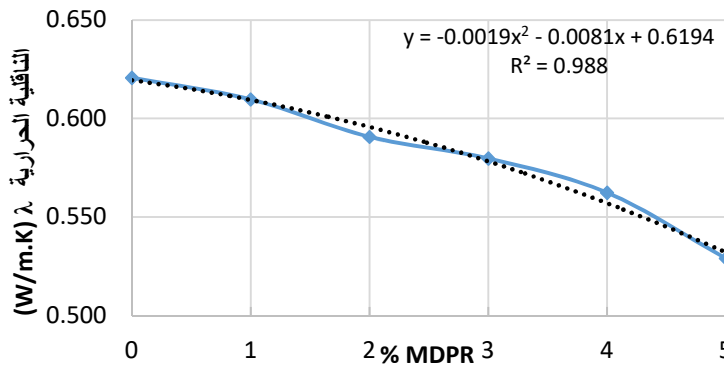
وضع عصيات جريد نخيل التمر على شكل طبقات يقلل من تشكل الجسور الحرارية، في حين وضع عصيات جريد النخيل على شكل حصى والتموضع العشوائي للحصيات يسمح بتشكيل الجسور الحرارية وبالتالي زيادة الناقلية الحرارية.

وكما لاحظنا سابقا عند دراسة الكتلة الحجمية للعينات ان عينات (PP+MDPR) أعطت كتلة حجمية اقل من عينات (GDPR)، لوجود فراغات ساهمت في خفض الناقلية الحرارية مقارنة بعينات (PP+GDPR).



الشكل 19.VII تغير الناقلية الحرارية بدلالة نسبة (MDPR) لعينات (PM+MDPR).

من خلال الشكل (19.IV) تتناسب الناقلية الحرارية للملاط الجبسي لعينات (PM+MDPR) عكسياً مع نسبة (MDPR)، حيث انخفضت الناقلية الحرارية عند إضافة 5% من (MDPR) بنسبة 31%، وعند إضافة نفس النسبة من (GDPR) كانت نسبة الانخفاض في الناقلية الحرارية 15%، حيث تقلل (MDPR) من تشكل جسور حرارية بين طبقات الجبس على عكس (GDPR).

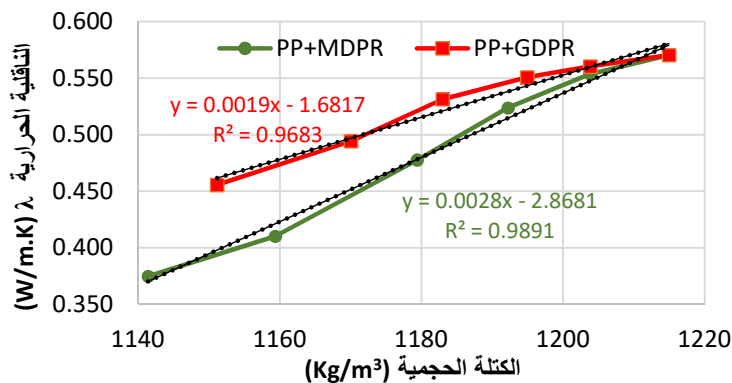


الشكل 20.VII تغير الناقلية الحرارية بدلالة نسبة (GDPR) لعينات (PM+GDPR)

انخفضت الناقلية الحرارية لعينات (PM+GDPR) بزيادة نسبة (GDPR) الشكل (20.IV)، حيث سجلت هاتاه العينات أعلى قيم للناقلية الحرارية لجميع التركيبات الجبسية، لاحتوائها على رمل الكثبان الذي يتميز بناقلية حرارية عالية مقارنة بالجبس، كما ساهم التوضع العشوائي لجريد النخيل على شكل حصي في تشكل الجسور الحرارية بين حصيات جريد النخيل وبالتالي زيادة الناقلية الحرارية.

انخفضت الناقلية الحرارية لجميع عينات الجبس والملاط الجبسي عند إضافة (DPR)، نظراً للخصائص الحرارية ل (DPR) والتي تتميز بناقلية حرارية ضعيفة [115]، والتركيبية المسامية لعصيات جريد النخيل.

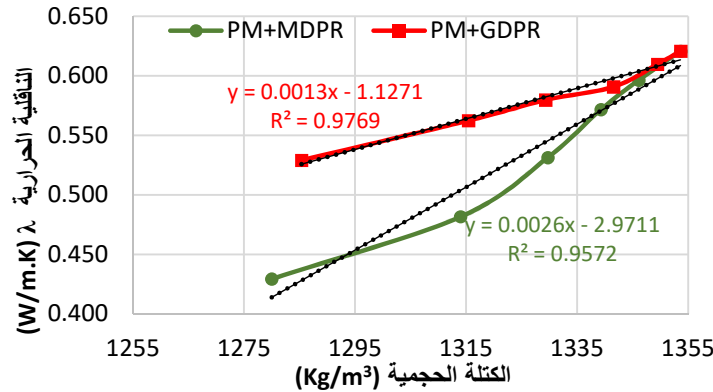
4.4.4.VII. الناقلية الحرارية والكتلة الحجمية:



الشكل 21.VII تغير الناقلية الحرارية بدلالة الكتلة الحجمية

لعينات (PP+MDPR) و (PP+GDPR).

من خلال دراسة المنحنى الذي يربط الناقلية الحرارية لعينات (PP+MDPR) و (PP+DDPR) مع الكتلة الحجمية، الشكل (21.IV)، نلاحظ ان الكتلة الحجمية تتناسب طرديا مع الناقلية الحرارية، تتميز عصيات جريد النخيل بكتلة حجمية وناقلية حرارية اقل من الكتلة الحجمية والناقلية الحرارية للجبس، حيث تسمح زيادة نسبة (DPR) على زيادة المسامية، وبالتالي انخفاض الكتلة الحجمية التخفيف من و الناقلية الحرارية. تتغير الناقلية الحرارية بدلالة الكتلة الحجمية وفق معادلة أقرب الى معادلة مستقيم بميل موجب، هذا التمثيل يتوافق مع ما توصل له الباحث (BOUGERRA) [116] في دراسة للخرسانة الطينية المعتمدة على رقائق الخشب والباحث (GOUAL) [117] في دراسة الخرسانة الخلوية. تغير الناقلية الحرارية بدلالة الكتلة الحجمية غير خطي، هذا ما وصل له الباحث (BOUTIN) [118] الذي أظهر من خلال التجانس أن العلاقة بين الناقلية الحرارية والكتلة الحجمية ليست خطية، وانما تمثل بمنحنى، هذا التعارض يرجع الى طبيعة المواد المدروسة وشروط التجربة والطرق التجريبية المتبعة.

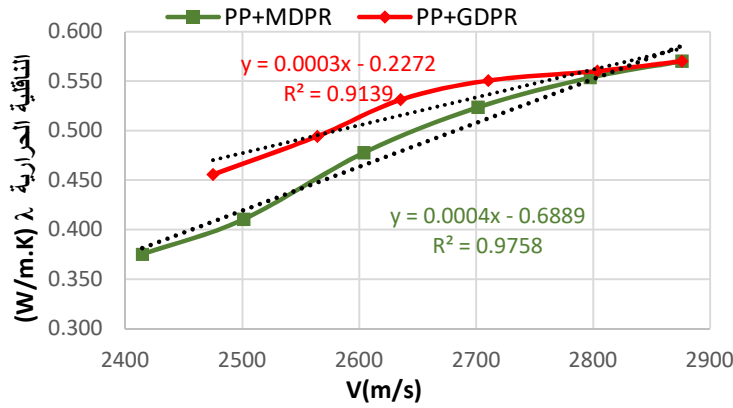


الشكل 22.VII تغير الناقلية الحرارية بدلالة الكتلة الحجمية

لعينات (PM+MDPR) و (PM+GDPR)

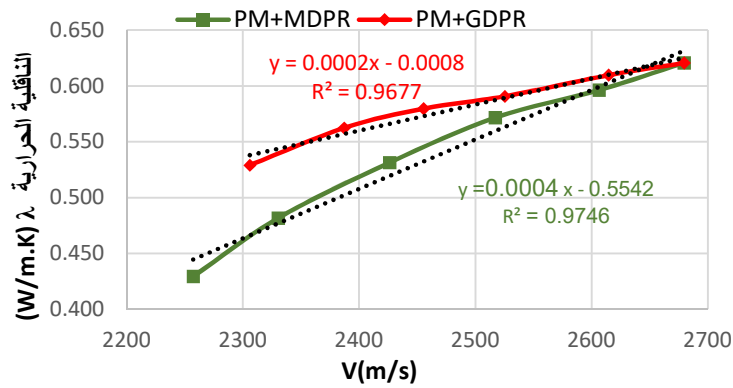
من خلال الشكل (21. IV) والشكل (22.IV) تصرفت عينات (PP+MDPR) وعينات (PM+MDPR) بنفس الكيفية عند إضافة (MDPR)، فعند ملاحظه النموذج الرياضي الذي يربط الكتلة الحجمية بالناقلية الحرارية للعينات، نجد انهما عبارة على مستقيمين بميل متقارب، 0.0028 بالنسبة لعينات (PP+MDPR) و 0.0026 بالنسبة لعينات (PM+MDPR)، أي ان نسبة الزيادة في الناقلية الحرارية متقاربة عند إضافة نفس النسبة من (MDPR).

5.4.4.VII. الناقلية الحرارية وسرعة الأمواج فوق الصوتية:



الشكل 23.VII تغير الناقلية الحرارية بدلالة سرعة الأمواج فوق الصوتية

لعينات (PP+GDPR) و (PP+MDPR)



الشكل 24.VII تغير الناقلية الحرارية بدلالة سرعة الأمواج فوق الصوتية.

لعينات (PM+GDPR) و (PM+MDPR)

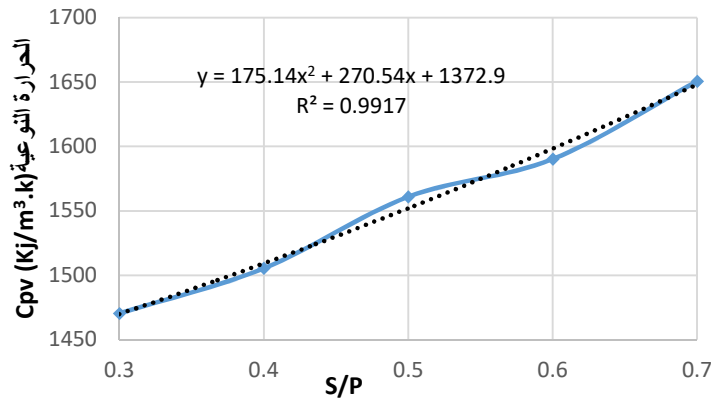
من خلال الشكل (23. IV) والشكل (24.IV) تتناسب الناقلية الحرارية لعينات الجبس والملاط الجبسي المدعمين بعصيات جريد نخيل التمر مع سرعة الأمواج فوق الصوتية، حيث تزداد الناقلية الحرارية مع سرعة الأمواج فوق الصوتية وفق علاقة خطية، وهذا يتوافق مع القاعدة العامة ان العوازل الحرارية لها خاصية العزل الصوتي، النتائج المتحصل عليها تتوافق مع الدراسة التي أجريت من طرف (CASTRO MENDES) [119] حول الملاط الاسمنتي، حيث اثبت (BOULANOUAR) [120] ان سرعة الأمواج الصوتية تتناسب طرديا مع الناقلية الحرارية وعكسيا مع المسامية.

5.4.VII الحرارة النوعية:

1.5.4.VII الحرارة النوعية للملاط الجبسي (PM)

الجدول 12.VII نتائج قياس الحرارة النوعية للملاط الجبسي.

0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	S/P
1650.69±90	1590.25±68	1565.89±40	1505.37±72	1470.29±54	C _p v (Kj/m ³ . K)

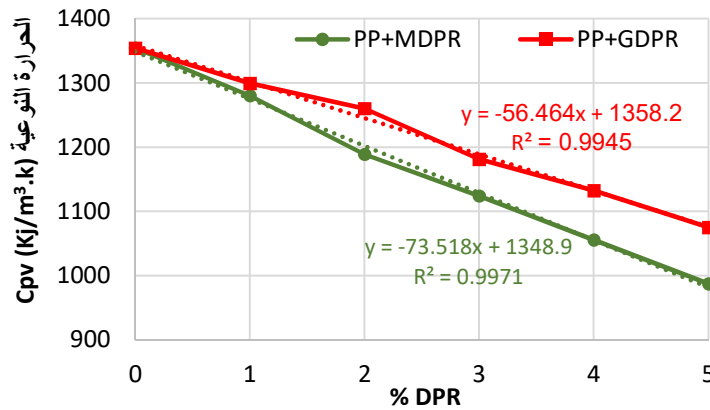


الشكل 25.VII تغير الحرارة النوعية بدلالة نسبة الرمل لعينات (PM)

من خلال الجدول (12. IV) والشكل (25.IV) إضافة رمل الكتبان الى الجبس زاد من الحرارة النوعية ،حيث ارتفعت الحرارة النوعية للجبس عند إضافة الرمل (S/P=0.7) بنسبة 22% ، يرجع الارتفاع في الحرارة النوعية للملاط الجبسي مقارنة بالجبس الى كون الحرارة النوعية للرمل اعلى من الحرارة النوعية للجبس. تتوافق هاته النتائج مع ابحاث (ABU-HAMDEH) [121] في دراسة تأثير الرمل والرطوبة على الخصائص الحرارية للخرسانة

2.5.4.VII الحرارة النوعية لعينات الجبس والملاط الجبسي المدعم بعصيات جريد النخيل
الجدول 13.VII نتائج قياس الحرارة النوعية لمختلف العينات.

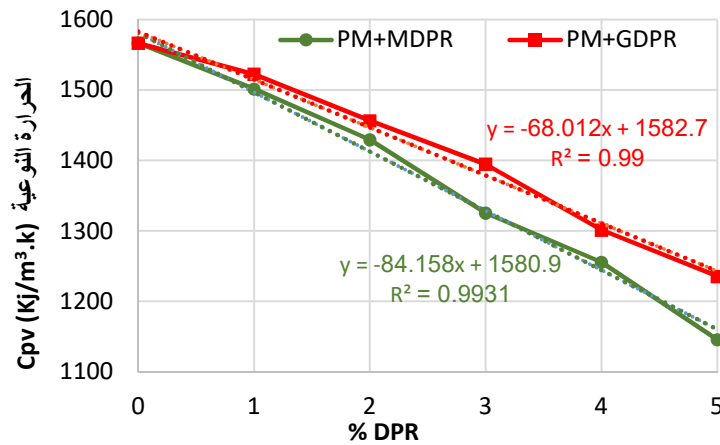
الحرارة النوعية (KJ/m ³ . K)					%DPR
CM	PM+GDPR	PM+MDPR	PP+GDPR	PP+MDPR	
2275±40	1566±74	1566±74	1354±26	1354±34	0
-	1522±32	1501±14	1299±70	1280±42	1
-	1456±23	1429±19	1260±27	1189±47	2
-	1395±16	1325±13	1181±35	1124±26	3
-	1301±41	1255±22	1132±32	1056±46	4
-	1235±15	1146±40	1075±17	987±19	5



الشكل 26.VII تغير الحرارة النوعية بدلالة نسبة (DPR)

لعينات (PP+MDPR) و (PP+GDPR)

أعطت عينات الملاط الاسمنتي (CM) حرارة نوعية مرتفعة مقارنة بعينات الجبس (PP) والملاط الجبسي (PM) وكانت في حدود $2275 \text{ (KJ/m}^3 \cdot \text{K)}$ ، وهي تتوافق مع القيم التي تحصل عليها (NASRY) [122]. إضافة رمل الكثبان الى الجبس بنسبة (S/P=0.5) زاد في الحرارة النوعية بنسبة 16%، لكون الحرارة النوعية لرمال الكثبان أكبر من الحرارة النوعية للجبس.



الشكل 27.VII تغير الحرارة النوعية بدلالة نسبة (DPR)

لعينات (PM+MDPR) و (PM+GDPR).

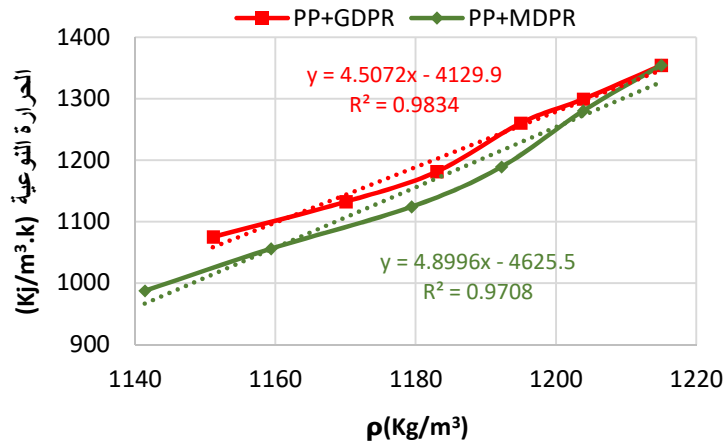
تتناسب الحرارة النوعية عكسياً مع نسبة (DPR) في عينات (PP+MDPR) و (PP+GDPR) ، حيث ان الحرارة النوعية تتبع الناقلية في اتجاه التغير [123]، الشكل (26.IV).

عينات (PP+MDPR)، الشكل (27.IV)، أعطت حرارة نوعية اقل من عينات (PP+GDPR) حيث انخفضت الحرارة النوعية عند النسبة 5% من (DPR) بنسبة 27% لعينات (PP+MDPR) وبنسبة 20% لعينات (PP+GDPR)، على عكس الناقلية الحرارية، لا تتعلق السعة الحرارية بالجسور الحرارية، او كيفية وضع عصيات جريد النخيل، وانما بنسبة الفراغات، حيث لاحظنا سابقاً في دراسة الكتلة الحجمية ان عينات (MDPR) تحتوي على نسبة فراغات أكبر من عينات (GDPR).

انخفضت الحرارة النوعية عند النسبة 5% بنسبة 27% لعينات (PM+MDPR) وبنسبة 21% لعينات (PM+GDPR)، الزيادة في نسبة (DPR) زاد من مسامية المادة المركبة ، وبالتالي انخفضت الناقلية الحرارية والحرارة النوعية، النتائج تتوافق مع نتائج التي تحصل عليها (BEN CHEIKH) [124] في دراسة الخصائص الحرارية للخرسانة المدعمة بنشارة الخشب.

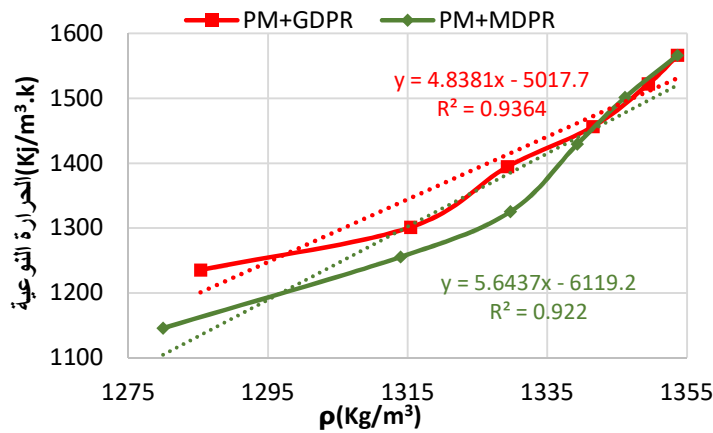
عينات الملاط الجبسي أعطت حرارة نوعية أكبر من عينات الجبس الخالص، لاحتوائها على نسبة من الرمل، في البناءات الجبسية، يمكن الاستفادة من الحرارة النوعية المرتفعة للملاط الجبسي مقارنة بالجبس الخالص، من خلال استعمال جدران خارجية بالجبس الخالص، لتقليل التبادل الحراري مع الوسط الخارجي، بينما يمكن استعمال جدران داخلية من الملاط الجبسي، لقدرتها على تخزين الحرارة من خلال حرارتها النوعية، والتقليل من فترات التكييف.

3.5.4.VII. علاقة الحرارة النوعية بالكتلة الحجمية:



الشكل 28.VII تغير الحرارة النوعية بدلالة الكتلة الحجمية لعينات

لعينات (PP+MDPR) و (PP+GDPR)

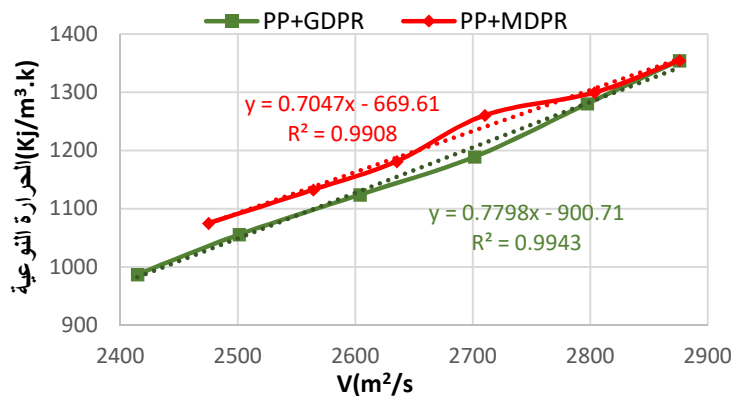


الشكل 29.VII تغير الحرارة النوعية بدلالة الكتلة الحجمية لعينات

لعينات (PM+MDPR) و (PM+GDPR).

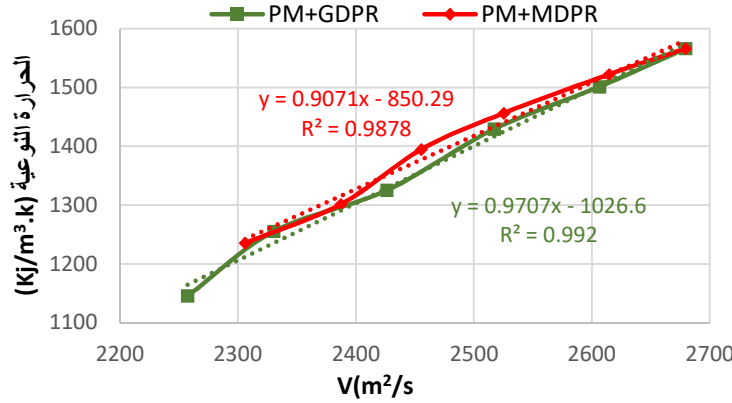
من خلال الشكل (28. IV) والشكل (29.IV) تتناسب الكتلة الحجمية مع الحرارة النوعية، فكلما زادت الكتلة الحجمية زادت الحرارة النوعية، تعتبر الحرارة النوعية والكتلة الحجمية من الخصائص الفيزيائية المستقلة، لا توجد علاقة مباشرة تربط بين الحرارة النوعية والكتلة الحجمية، النموذج الرياضي الذي يربط الكتلة الحجمية بالحرارة النوعية أقرب الى خط مستقيم بميل موجب.

4.5.4.VII. علاقة الحرارة النوعية بسرعة الأمواج فوق الصوتية:



الشكل 30.VII تغير الحرارة النوعية بدلالة سرعة الأمواج فوق الصوتية

لعينات (PP+MDPR) و (PP+GDPR)



الشكل 31.VII تغير الحرارة النوعية بدلالة سرعة الأمواج فوق الصوتية لعينات (PM+GDPR) و (PM+MDPR)

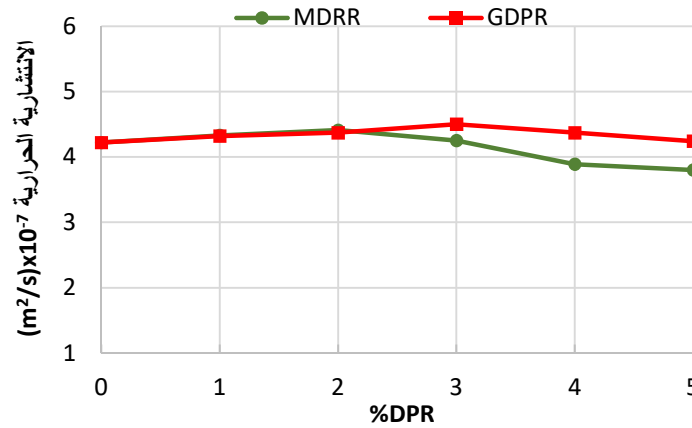
تتغير الحرارة النوعية بدلالة سرعة الأمواج فوق الصوتية وفق معادلة خط مستقيم، الشكل (30. IV) والشكل (31.IV) ، حيث تزداد الحرارة النوعية بزيادة سرعة الأمواج فوق الصوتية. في دراسة علاقة الحرارة النوعية بسرعة انتشار الأمواج فوق الصوتية، اثبت (PEI) [125] ان الحرارة النوعية في المواد الصلبة تتعلق فقط بسرعة الانتشار الطولي والعرضي للأمواج فوق الصوتية والكتلة الحجمية والوزن.

6.4.VII الانتشارية الحرارية

الجدول 14.VII الانتشارية الحرارية لمختلف العينات

الانتشارية الحرارية $(m^2/s) \times 10^{-7}$					%DPR
CM	PM+GDPR	PM+MDPR	PP+GDPR	PP+MDPR	
7.47	3.97	3.97	4.22	4.22	0
-	4.01	3.98	4.32	4.33	1
-	4.06	4.00	4.37	4.41	2
-	4.16	4.01	4.50	4.25	3
-	4.33	3.84	4.37	3.89	4
-	4.29	3.75	4.24	3.80	5

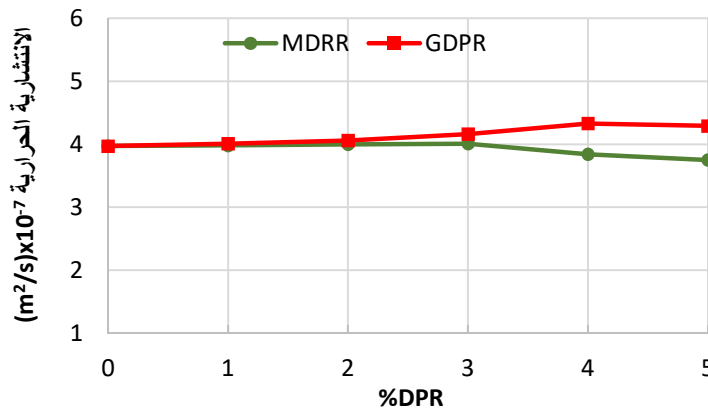
من خلال الجدول (15.IV) أعطت عينات الملاط الاسمنتي انتشارية اعلى من عينات الجبس والملاط الجبس كما نلاحظ ان عينات الملاط الجبسي أعطت قيم للانتشارية الحرارية أقل من عينات الجبس الخالص، يرجع ذلك الى الانتشارية الحرارية الضعيفة للرمال مقابل الجبس، حيث يقوم الرمل بتعديل درجة حرارته لتواءم درجة الحرارة المحيطة به، بسرعة أقل من سرعة تغير درجة حرارة الجبس.



الشكل 32.VII. تغير الانتشارية الحرارية لعينات (PP) بدلالة (%DPR)

من خلال الشكل (34.IV) ارتفعت الانتشارية الحرارية لعينات (PP+GDPR) مع زيادة (%DPR) حتى النسبة 3% حيث أعطت قيم قصوى $(4.5 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{s})$ ، ثم انخفضت بنسبة قليلة عند النسب 4% و5%، تتوافق هذه النتائج مع دراسة تغير الانتشارية الحرارية بدلالة نسبة الالياف لخرسانة الجبس (DJOUUDI) [62]، حيث وجدت ان الانتشارية الحرارية تزداد مع زيادة نسبة الالياف حتى النسبة 1% ثم تنخفض عند النسب العالية من الالياف.

عينات (PP+MDPR) سلكت نفس سلوك عينات (PP+GDPR)، حيث زادت الانتشارية الحرارية مع زيادة (%DPR) حتى النسبة 2% ثم انخفضت تدريجياً عند النسب العالية من (%DPR).



الشكل 33.VII. تغير الانتشارية الحرارية لعينات (PM) بدلالة (%DPR)

من خلال الشكل (34. IV) والشكل (35.IV)، العينات التي تحتوي على (MDPR) أعطت قيم للانتشارية الحرارية اقل منها في عينات (GDPR)، حيث انخفضت الانتشارية الحرارية لعينات (PP) عند النسبة 5% من (DPR) بنسبة 10% وفي عينات (PM) عند نفس النسبة من (DPR) بنسبة 12%.

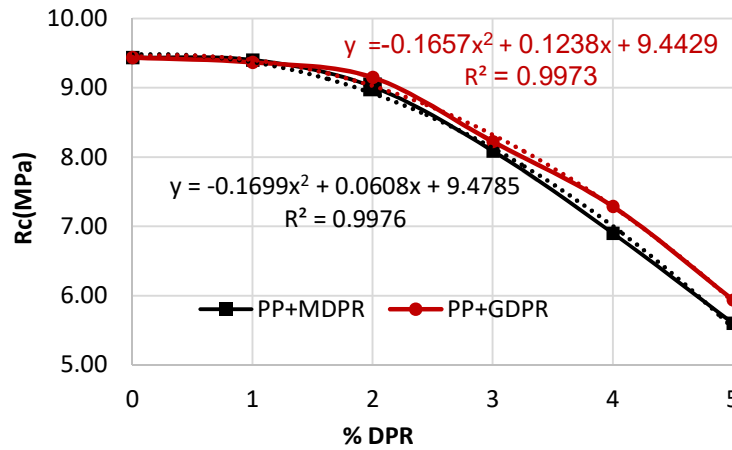
7.4.VII. مقاومة الضغط:

الجدول 15.VII نتائج تجربة الضغط لمختلف العينات.

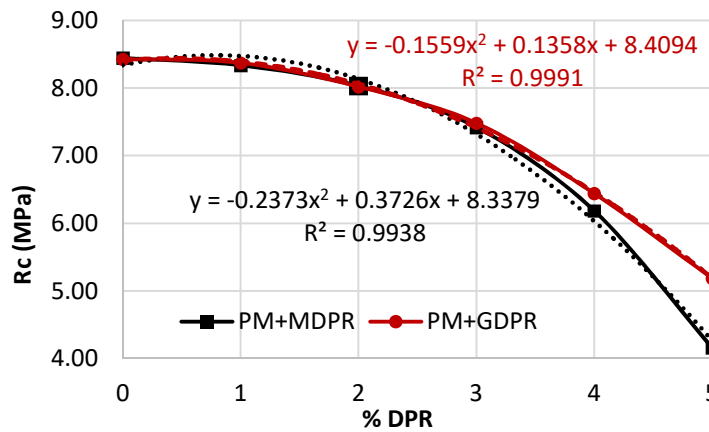
مقاومة الضغط R_c (MPa)					%DPR
CM	PM+GDPR	PM+MDPR	PP+GDPR	PP+MDPR	
20.44±2.20	8.44±0.11	8.44±0.11	9.43±0.46	9.43±0.46	0
-	8.37±0.18	8.33±0.21	9.37±0.42	9.37±0.42	1
-	8.02±0.23	8.03±0.42	9.19±0.30	9.15±0.30	2

-	7.48±0.18	7.42±0.10	8.22±0.48	8.22±0.48	3
-	6.44±0.57	6.18±0.70	6.90±0.69	7.29±0.30	4
-	5.19±0.27	4.16±0.14	5.60±0.62	5.94±0.34	5

من خلال الجدول (16.IV) نلاحظ ان مقاومة الضغط لعينات الجيبس والملاط الجبسي ضعيفة مقارنة مع الملاط الاسمنتي، كما ان عينات الجيبس أعطت مقاومة ضغط اعلى من عينات الملاط الجبسي، إضافة الرمل الى الجيبس يسهم في خفض مقاومة الضغط.



الشكل 34.VII نتائج مقاومة الضغط لعينات (PP+GDPR) و (PP+MDPR)



الشكل 35.VII نتائج مقاومة الضغط لعينات (PM+GDPR) و (PM+MDPR)

من خلال الشكل (36.IV) إضافة (DRP) على شكل طبقات او على شكل حصى الى الجيبس أدى الى خفض مقاومة الضغط، فكلما زادت نسبة (DPR) انخفضت مقاومة الضغط في عينات (PP+MDPR) و (PP+GDPR). أعطت عينات (PP+GDPR) قيم أكبر لمقاومة الضغط من عينات (PP+MDPR)، خاصة عند النسب 4% و 5% من (DPR)، يفسر هذا بزيادة نسبة الفراغات في عينات (PP+MDPR) مقارنة مع عينات (PP+GDPR) حيث رأينا سابقا ان الحجمية لعينات (PP+GDPR) أكبر من عينات (PP+MDPR). عند النسبة 5% انخفضت مقاومة الضغط لعينات (PP+MDPR) بنسبة 40% وعينات (PP+GDPR) بنسبة 37%، الطبيعة المسامية لعصيات جريد نخيل، أدى الى زيادة مسامية المادة المركبة، وبالتالي الى انخفاض مقاومة الضغط، تتوافق النتائج مع نتائج سرعة الأمواج فوق الصوتية، حيث تنخفض سرعة الأمواج فوق الصوتية بزيادة نسبة (DPR).

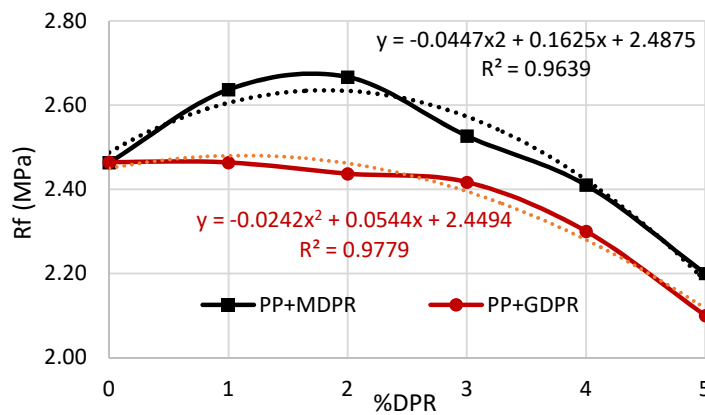
سلكت عينات الملاط الجبسي نفس سلوك عينات الجبس الخالص. الشكل (37.IV)، حيث انخفضت مقاومة الضغط مع زيادة نسبة (DPR)، دراسات عدة أثبتت ان إضافة الالياف الى الجبس والاسمنت يقلل من مقاومتها الميكانيكية، وفي دراسة ل(BOUSTINGORRY) [126] حول المواد المركبة من الجبس وقطع الخشب، وهي الدراسة الأقرب لموضوع دراستنا، اثبت ان إضافة قطع الخشب للجبس يقلل من مقاومة الضغط.

8.4.VII. مقاومة الإنحناء:

الجدول 16.VII نتائج تجربة الإنحناء لمختلف العينات.

مقاومة الإنحناء R_f (MPa)					%DPR
CM	PM+GDPR	PM+MDPR	PP+GDPR	PP+MDPR	
3.90±0.50	2.20±0.07	2.20±0.07	2.46±0.14	2.46±0.14	0
-	2.20±0.10	2.30±0.20	2.46±0.18	2.64±0.13	1
-	2.15±0.02	2.32±0.14	2.44±0.08	2.67±0.07	2
-	2.01±0.17	2.17±0.16	2.42±0.08	2.53±0.21	3
-	1.87±0.09	1.98±0.15	2.30±0.10	2.41±0.19	4
-	1.77±0.09	1.81±0.21	2.10±0.12	2.20±0.19	5

أعطت عينات الملاط الاسمنتي مقاومة للشد 3.90(MPa)، كما أعطت عينات الجبس بدون (DPR) مقاومة للشد 2.46(MPa)، ثم انخفضت مقاومة الإنحناء عند إضافة الرمل للجبس، حيث أعطت عينات الملاط الجبسي بدون (DPR) مقاومة شد 2.20(MPa).



الشكل 36.VII نتائج مقاومة الإنحناء لعينات (PP+MDPR) و(PP+GDPR).

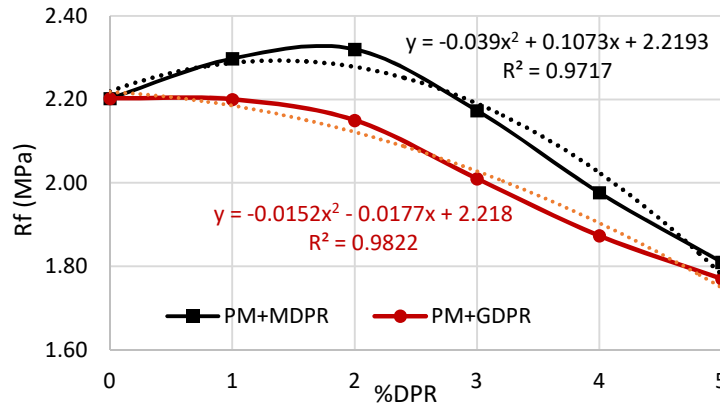
من خلال الشكل (38.IV) تصرفت عينات (PP+MDPR) و(PP+GDPR) بشكل مختلف، فعند ملاحظة منحنى تغير قوى الإنحناء بدلالة (%DPR) لعينات (PP+MDPR)، حيث زادت مقاومة الإنحناء بزيادة (%DPR) وبلغت قيمتها الحدية 2.67(MPa) بنسبة زيادة 8% عند إضافة 2% من (MDPR)، ثم بدأت في الانخفاض تدريجياً حتى وصلت نسبة الانخفاض عند 5% من (MDPR) الى 11%.

اما عينات (PP+GDPR) فقد أعطت مقاومة شد متقاربة حتى النسبة 3%، ثم انخفضت عند النسب 4% و5%، حيث بلغت نسبة الانخفاض 15% عند 5% من (GDPR)، سطح عصيات جريد النخيل الاملس، يقلل من قوى التلاحم بينها وبين الجبس، مما يؤدي الى انخفاض مقاومة الانحناء.

أما في عينات الملاط الجبسي، الشكل (39.IV) وعند ملاحظة منحنى (PM+MDPR) سجلنا ارتفاعاً في

مقاومة الإنحناء في النسب 1% و 2% من (MDPR) حيث زادت مقاومة الإنحناء عند النسبة 2% بنسبة 5%، ثم انخفضت عند النسبة 5% من (MDPR) بنسبة 18%، كما لم نسجل أي تحسن في مقاومة الإنحناء عند عينات (PM+GDPR).

عند النسب 1% و 2% من (MDPR)، زادت مقاومة الانحناء للجبس والملاط الجبسي، حيث استعملنا عند هذه النسب عصيات جريد النخيل مقطعة طوليا، مما قلل من مساحة السطح الاملس، وبالتالي زيادة قوى التلاحم بين الجبس و (MDPR).



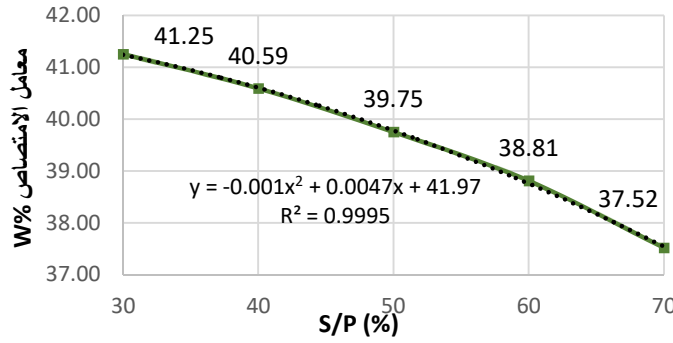
الشكل 37.VII نتائج مقاومة الإنحناء لعينات (PM+MDPR) و (PM+GDPR)

اثناء عملية التحطيم بالانحناء وعند تفحص العينات المحطمة لاحظنا ضعف التلاحم بين الجبس وعصيات جريد النخيل وبشكل واضح في النسب 4% و 5%، فعند تشبع (DPR)، يفصل امتصاص الماء سلاسل السليلوز وينتج عنه تمدد عصيات جريد النخيل. وعلى العكس من ذلك، يؤدي رحيل الماء إلى تجمع سلاسل السليلوز ويحدث انكماش في (DPR). عندما تجف العينات يتقلص حجم عصيات جريد النخيل المشبعة بالماء، مما يتسبب في تشكل فراغات داخل المادة المركبة تقلل من قوى التلاحم، مما أثر على مقاومتها الميكانيكية.

9.4.VII. الامتصاص الكلي للماء

الجدول 17.VII نسبة امتصاص الماء لعينات الجبس والملاط الجبسي.

W%	W _h (g)	W _s (g)	S/P (%)
42.54	1994.99	1399.60	0
41.25	2076.06	1469.78	30
40.59	2128.99	1514.32	40
39.75	2179.22	1559.37	50
38.81	2238.03	1612.30	60
37.52	2350.17	1708.97	70



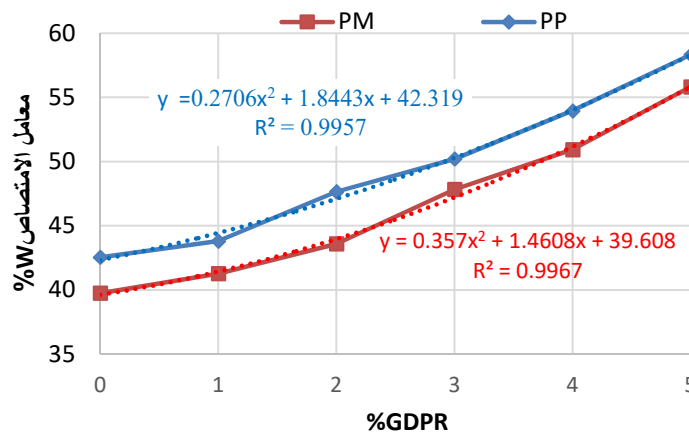
الشكل 38.VII امتصاص الماء بدلالة نسبة الرمل للملاط الجبسي

ساهمت إضافة رمل الكثبان الى الجبس في خفض نسبة الامتصاص للجبس، حيث تتخفض نسبة امتصاص الماء للملاط الجبسي كلما زادت نسبة الرمل، بالمقارنة مع عينات الجبس الخالص، انخفضت نسبة الامتصاص بنسبة 12% عند إضافة رمل الكثبان بنسبة (S/P=0.7).

الجدول 18.VII نسبة امتصاص الماء لعينات الجبس (PP) والملاط الجبسي (PM).

W%		PM		PP		GDPR(%)
PM	PP	W _h (g)	W _s (g)	W _h (g)	W _s (g)	
39.75	42.54	2179.22	1559.37	1995.04	1399.63	0
41.27	43.80	2190.65	1550.69	1994.28	1386.84	1
43.59	47.65	2215.32	1542.83	2032.53	1376.59	2
47.83	50.20	2255.32	1531.81	2046.93	1362.80	3
50.94	53.95	2284.71	1513.70	2075.06	1347.89	4
55.82	58.32	2297.62	1474.52	2099.51	1326.12	5

من خلال الجدول (19.IV) أعطت عينات الجبس الخالص بدون إضافة (DPR) نسبة امتصاص عالية للماء مقارنة بالخرسانة (BEDERINA) [127] (W%=10) ،
عينات الملاط الجبسي أعطت نسبة امتصاص للماء اقل من عينات الجبس الخالص، فعند إضافة الرمل بنسبة (S/P=0.5) انخفضت نسبة الامتصاص بنسبة 4%،



الشكل 39.VII امتصاص الماء بدلالة نسبة (%GDPR) لعينات الجبس والملاط الجبسي

تتناسب نسبة امتصاص الماء طرديا مع نسبة (DPR)، فكلما زادت نسبة (DPR) زادت نسبة الامتصاص، فعند إضافة عصيات جريد النخيل بنسبة 5% زادت نسبة الامتصاص بنسبة 37% في عينات الجبس الخالص (PP)، وبنسبة 39% في عينات الملاط الجبسي (PM)، عصيات جريد النخيل تمتص الماء بكمية أكبر مما زاد في نسبة الامتصاص للمادة المركبة، فجميع الالياف النباتية لها خاصية امتصاص الماء. عند تشبع المادة المركبة بالماء لا حضنا بشكل واضح حدوث شروخ في الجبس (الصورة في الملحق)، فعند تشبع عصيات جريد النخيل بالماء زاد حجمها مما سبب حدوث قوى ضغط داخلية في الجبس تسببت في حدوث تشققات،

10.4.VII. تجربة الغمر والتجفيف

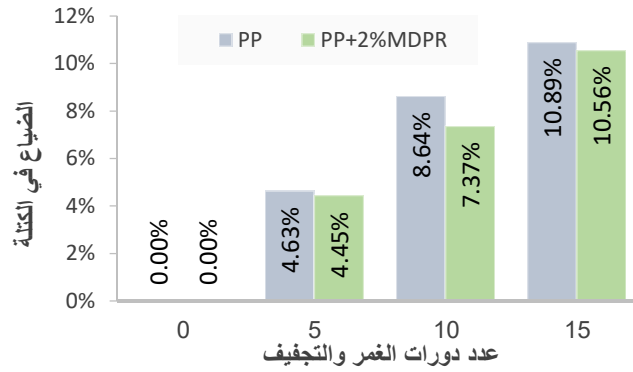
أجريت التجربة على عينات الجبس الخالص (PP) وعينات الجبس المدعم بألياف النخيل على شكل طبقات بنسبة 2% (PP+2%MDPR)، وذلك بإخضاع العينات لـ 10،5 و 15 دورة من الغمر والتجفيف، حيث تمثل كل دورة من هذه الدورات بخمس ساعات من الغمر بالكامل في الماء، ثم تجفيفها في الفرن لمدة اثنتين وأربعين ساعة عند 71 درجة مئوية يتم تحضير العينات بنفس الابعاد والكيفية والنسب في التجارب السابقة وتترك لتجف لمدة 28 يوما قبل اجراء التجربة،

عند نهاية كل دورة يتم قياس الوزن ومقاومة الانحناء والضغط نتائج التجارب في الجدول التالي:

الجدول 19.VII نتائج تجربة الغمر والتجفيف.

مقاومة الإنحناء (MPa)		مقاومة الضغط (MPa)		الكتلة (g)		عدد الدورات
PP+2%MDPR	PP	PP+2%MDPR	PP	PP+2%MDPR	PP	
2.67	2.22	9.01	9.44	1526.04	1555.15	0
2.26	1.85	8.07	8.66	1458.09	1483.08	5
2.10	1.74	6.25	6.52	1413.63	1420.84	10
1.87	1.53	5.42	5.44	1364.89	1385.75	15

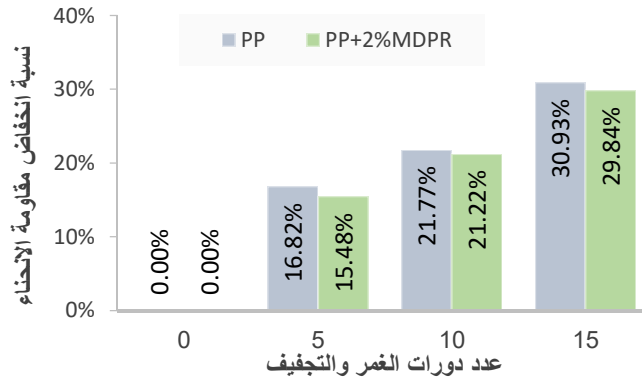
بعد انتهاء المرحلة الأولى من دورات الغمر والتجفيف والمتمثلة في خمس دورات متتالية من الغمر والتجفيف، قمنا بإجراء فحص بالعين المجردة لتحديد أي ضرر محتمل ناجم عن الشبخوخة المسرعة لعينات، حيث لم يظهر عيانيا أي ضرر على عينات الجبس الخالص (PP) وعينات (PP+2%MDPR). في نهاية المرحلة الثانية المكونة من عشر دورات وبعد التجفيف بدأت تظهر اثار تدهور على سطح العينات من خلال بعض الشقوق الدقيقة وتآكل طبقة الجبس على حواف العينات. في المرحلة الأخيرة المكونة من عشر دورات بدت اثار التدهور أكثر ووضوحا على العينات من خلال التشققات الأكثر انتشارا وعمقا، وتآكل واضح لسطح العينات، حيث يمكن إزالة الطبقة السطحية للعينات براحة اليد بسهولة.



الشكل 40.VII نسبة الضياع في الكتلة بدلالة عدد دورات الغمر والتجفيف

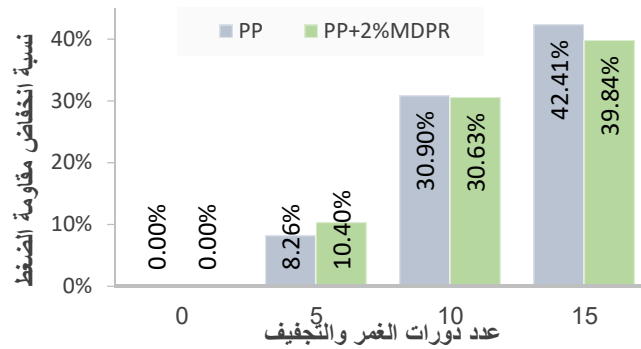
يوضح الشكل (42.IV) قيم الضياع في الوزن لعينات (PP) و (PP+2%MDPR) عند نهاية كل دفعة من دورات الغمر والتجفيف. عند نهاية الدفعة الأولى من خمس دورات لا حصلنا انخفاض في الكتلة بنسبة 4.63% لعينات (PP) ونسبة 4.45% لعينات (PP+2%MDPR)، وهي قيم متقاربة حيث لم تؤثر إضافة (MDPR) على نسبة الضياع في الكتلة.

عند نهاية عشر دورات من الغمر والتجفيف، سجلنا انخفاضا للكتلة بنسبة 21.77% لعينات (PP) و 21.22% لعينات (PP+2%MDPR)، فكلما زاد عدد الدورات زادت نسبة الانخفاض، فعند خمسة عشرة دورة زادت نسبة الانخفاض في الكتلة الى 10.89% و 10.56% في عينات (PP) و (PP+2%MDPR) مع تكون تشققات واضحة وتدهور سطح العينات.



الشكل 41.VII نسبة الانخفاض في مقاومة الانحناء بدلالة عدد دورات الغمر والتجفيف

نتائج تجربة الانحناء بثلاث نقاط اظهرت انخفاضا في مقاومة الانحناء كلما زاد عدد دورات الغمر والتجفيف، الشكل (43.IV)، فعند نهاية خمسة عشرة دورة انخفضت مقاومة الانحناء بنسب متقاربة لعينات (PP) و (PP+2%MDPR)، حيث كانت النسبة 30.93% في عينات (PP) و 29.84% في عينات (PP+2%MDPR).



الشكل 42.VII نسبة الانخفاض في مقاومة الضغط بدلالة عدد دورات الغمر والتجفيف

من خلال الشكل (44.IV)، الزيادة في عدد دورات الغمر والتجفيف أدى الى انخفاض كبير في قوة الضغط للعينات. عند نهاية خمس دورات نسبة الانخفاض كانت أكبر في عينات (PP+2%MDPR) بنسبة 10.40% منها في عينات (PP)، تساوت هاتاه النسبة عند نهاية الدورة العاشرة، عند الدفعة من حمسة عشرة دورة سجلنا انخفاضا كبيرا في مقاومة الضغط للعينات حيث كانت نسبة الانخفاض 42.41% لعينات (PP) و 39.84% لعينات (PP+2%MDPR).

تجربة الشيوخوة المسرعة بواسطة الغمر والتجفيف، أظهرت ان الرطوبة تؤثر بشكل كبير على الجبس. فعند تعرضه للرطوبة المرتفعة لفترات طويلة، يتأثر الجبس بشكل سلبي، يؤدي امتصاص الرطوبة إلى تآكل الجبس وتلفه، ويفقد خصائصه الميكانيكية.

11.4.VII. التجارب على النماذج

1.11.4.VII. داخل المجفف

لمحاكاة التغير في درجة الحرارة الداخلية للبناءات، تم صناعة ثلاث نماذج بإبعاد خارجية (45×45×45) سم³ ويسمك 8 سم،

النموذج (P1) من الملاط الاسمنتي النظامي

النموذج (P2) من الجبس الخالص (E/P=0.6).

النموذج (P3) من الجبس الخالص مع إضافة عصيات جريد النخيل بنسبة 5% (PP+MDPR)

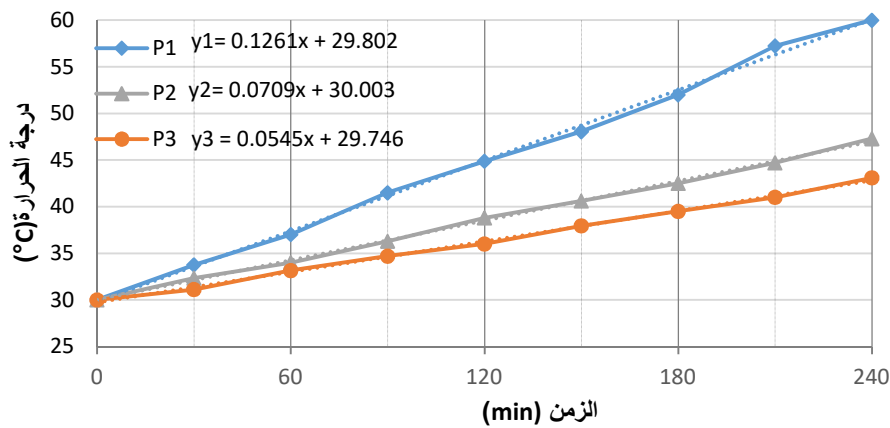
وضعت العينات داخل المجفف، وتم ضبط درجة حرارة الفرن الابتدائية عند 30°C، عندما تتعادل درجة الحرارة الداخلية للمجسمات مع درجة حرارة الفرن، نقوم برفع درجة الفرن بمعدل 5°C كل نصف ساعة حتى 60°C ونسجل درجة الحرارة الداخلية للمجسمات في الجدول (19.IV).

الجدول 20.VII درجة الحرارة الداخلية للمجسمات داخل المجفف.

درجة الحرارة داخل المجسمات (°C)			الزمن (min)
P3	P2	P1	
30.00	30.00	30.00	0

31.12	32.35	33.75	30
33.15	34.00	37.01	60
34.70	36.30	41.50	90
36.00	38.80	44.87	120
37.95	40.62	48.06	150
39.50	42.50	52.00	180
41.01	44.70	57.25	210
43.10	47.30	60.00	240

من خلال الجدول (21.IV) ، وفي كل مراحل التجربة ، درجات الحرارة الداخلية للمجسم (P1) كانت الأعلى مقارنة بالمجسمات (P2) و (P3) ، كما نلاحظ ان درجات الحرارة الداخلية للمجسم (P3) المصنوع من الجبس المدعم بعصيات جريد النخيل على شكل طبقات كانت اقل من المجسمات (P2) الجبسية، حيث ساهمت إضافة عصيات جريد النخيل التقليل من مرور الحرارة للداخل.



الشكل 43.VII تغير درجة الحرارة الداخلية للمجسمات داخل المجفف بدلالة الزمن

من خلال الشكل (45.IV) ، تتغير درجة الحرارة الداخلية للمجسمات بدلالة الزمن وفق معادلة مستقيم، يمثل ميل المستقيم معدل زيادة درجة الحرارة الداخلية خلال وحدة الزمن، فعند رفع درجة حرارة المجفف زادت درجة الحرارة الداخلية للمجسم الاسمنتي (P1) بمعدل 0.1261 °C لكل دقيقة والمجسم الجبسي (P2) بمعدل 0.0709 °C لكل دقيقة، يرجع ذلك الى المقاومة الحرارية العالية للجبس مقارنة بالملاط الاسمنتي، حيث ان المقاومة الحرارية للجبس اعلى بثلاثة اضعاف من املاط الاسمنتي.

عند مقارنة درجات الحرارة الداخلية للمجسمين (P2) و (P3) ، يظهر بوضوح تأثير إضافة عصيات جريد النخيل للجبس، ففي كل مراحل التجربة كانت درجات الحرارة الداخلية للمجسم (P2) اعلى منها في المجسم (P3)، تتوافق نتائج التجارب على المجسمات مع نتائج الناقلية الحرارية والمقاومة الحرارية للعينات، حيث أعطت عينات الجبس المدعم بعصيات جريد النخيل ناقلية حرارية اقل مقارنة بعينات الجبس الخالص.

2.11.4.VII. في الهواء الطلق

من أجل تجسيد نتائج الدراسة قمنا ببناء ثلاث نماذج بقياس (1x1x1) م3 في مكان مفتوح، بحيث تكون

معرضة لأشعة الشمس طيلة النهار، واجهاتها بنفس الاتجاه شمال-جنوب، تم اخذ القياسات في منتصف شهر جويلية حيث تبلغ درجات الحرارة اعلى معدلاتها السنوية.

النموذج الأول P1: من الملاط الاسمنتي حيث تم صناعة لبنات من الملاط الاسمنتي للجدران بسلك 10 سم، الأرضية تم صبها في عين المكان بنفس السلك، ثم تم وضع السقف الاسمنتي المسبق الصنع وسد الفراغات مع وضع فتحة تسمح بإدخال مسبار مقياس الحرارة في الداخل.

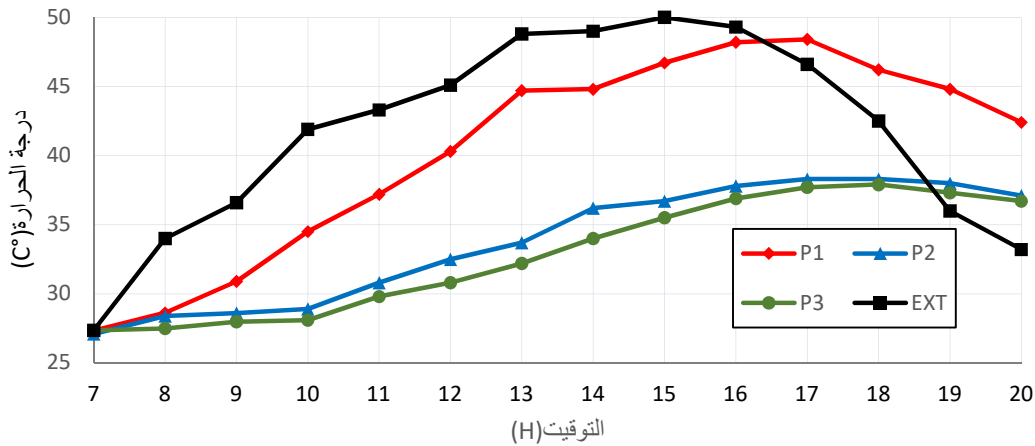
النموذج الثاني P2 بالجبس الخالص بنسبة (E/P=0.6)، بنفس طريقة بناء النموذج الاسمنتي وبنفس السلك للبلاطة والجدران والسقف.

النموذج الثالث P3 بالجبس المدعم بعصيات جريد نخيل التمر على شكل طبقات بنسبة 5%، حيث تم اختيار هاته النسبة بناء على نتائج الناقلية الحرارية المتحصل عليها من دراستنا، تم تحضير اللبنة بطبقتين من جريد النخيل، وبنفس الكيفية بالنسبة للبلاطة الأرضية والسقف مع المحافظة على نفس السلك 10 سم، (الصور في الملحق).

الجدول 21.VII نتائج قياسات درجة الحرارة الداخلية للمجسمات والحرارة الخارجية.

%HR	الحرارة الخارجية	درجة الحرارة الداخلية للمجسمات (°C)			التوقيت
		P3	P2	P1	
31.11	27.36	27.36	27.10	27.33	7h
24.36	34.00	27.50	28.40	28.62	8h
17.44	36.60	27.98	28.60	30.90	9h
12.10	41.90	28.10	28.90	34.50	10h
11.30	43.30	29.80	30.80	37.20	11h
10.91	45.10	30.80	32.50	40.30	12h
8.26	48.80	32.20	33.70	44.70	13h
7.10	49.00	34.00	36.20	44.80	14h
7.86	50.00	35.50	36.70	46.70	15h
6.02	49.30	36.90	37.80	48.20	16h
7.82	46.60	37.70	38.30	48.40	17h
13.92	42.50	37.90	38.30	46.20	18h
16.44	36.00	37.30	38.00	44.80	19h
18.20	33.20	36.70	37.10	42.40	20h

ارتفعت درجات الحرارة الخارجية من 27.36 درجة مئوية عند الساعة 7h لتصل الى القيمة الحدية 50 درجة مئوية عند الساعة 15h، ثم بدأت في النزول تدريجيا لتصل الى 33.20 درجة مئوية عند الساعة 20h، يصحب الارتفاع في الحرارة الخارجية انخفاض الرطوبة، فمن خلال الجدول (22.IV) سجلنا نسبة رطوبة 31.11% على 7h حيث درجة الحرارة 27.36°C ثم انخفضت الرطوبة الى 7.86% عند ارتفاع درجة الحرارة الى 50°C.

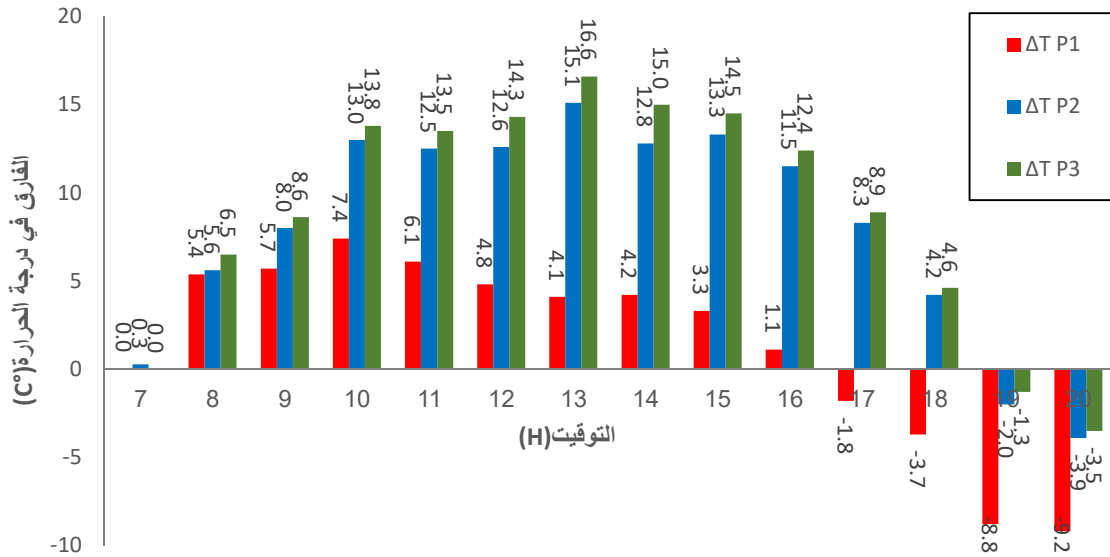


الشكل 44.VII تغير درجة الحرارة الداخلية للمجسمات والحرارة الخارجية بدلالة التوقيت

من خلال الشكل (IV. 46) وعند ملاحظة منحنى درجات الحرارة للمجسم الاسمنتي P1 ، عند بداية القياس على الساعة 7h تساوت درجة الحرارة الداخلية والخارجية حيث $\Delta T P1=0^{\circ}C$ ، وعند ارتفاع الحرارة الخارجية ،ارتفعت درجة حرارة المجسم P1 بسرعة اكبر مقارنة بالمجسمين P2 و P3 وهذا راجع الى الانبثاقية والناقلية الحرارية العالية للملاط الاسمنتي، حيث تخترق الاشعاعات الحرارية بسرعة اكبر الملاط الاسمنتي وترفع درجة الحرارة الداخلية. وصلت درجة الحرارة الخارجية الى الذروة عند 15h ثم بدأت في الانخفاض تدريجيا حيث تساوت مع درجة الحرارة الداخلية للمجسم P1 مع درجة الحرارة الخارجية عند 16h. استمرت الحرارة الداخلية للمجسم P1 في الارتفاع وهذا يرجع للعطالة الحرارية العالية للملاط الاسمنتي، حيث اصبحت الحرارة الداخلية للمجسم اعلى من الحرارة الخارجية. سجلنا اعلى فارق في درجات الحرارة في المجسم (P1) $\Delta T P1=7.4^{\circ}C$ عند الساعة 10h.

اما في مجسم الجبس P2، لاحظنا الارتفاع البطيء في درجات الحرارة الداخلية مقارنة بدرجات الحرارة الخارجية نظرا للناقلية الحرارية الضعيفة للجبس مقارنة بالملاط الاسمنتي، حيث بلغ الفارق في درجة الحرارة عند ساعة الذروة $\Delta T P2=15.1^{\circ}C$ ، الشكل (IV. 24) . ثم بدء هذا الفارق يتقلص حتى تساوت درجات الحرارة الداخلية والخارجية عند درجة حرارة $T_{ext}=38^{\circ}C$ ، سجلنا اعلى قيمة لدرجة الحرارة الداخلية للمجسم P2 تساوي $38.30^{\circ}C$ على الساعة 18h.

في المجسم P3 المصنوع من (PP+MDPR) سجلنا اعلى قيمة للفارق في درجة الحرارة الداخلية والخارجية $\Delta T P3=16.6^{\circ}C$ عند 13h ، الشكل (IV. 23) ، حيث ابدى (PP+MDPR) مقاومة حرارية عالية من خلال منع تسرب الحرارة، درجات الحرارة المسجلة طيلة فترة القياس في المجسم P3 كانت اقل منها في المجسم P2 ، يتوافق هذا مع نتائج الناقلية الحرارية للعينات حيث أظهر الجبس تحسنا في الناقلية الحرارية عند إضافة (MDPR).

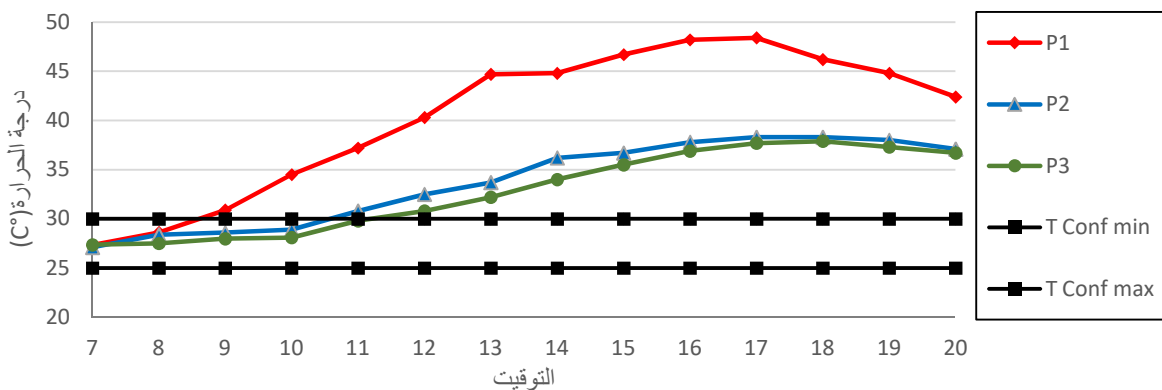


الشكل 45.VII الفارق في درجات الحرارة الداخلية والخارجية للمجسمات بدلالة التوقيت

عند مقارنة درجات الحرارة الداخلية للمجسمات بمجال الارتياح الحراري المعرف في [76] DTR C3.2/4 ، الشكل (48.IV). نلاحظ ان منحني المجسم P1 كان خارج مجال الارتياح الحراري معظم فترة القياس، حيث وفر المجسم P1 زمن ساعة ونصف من الارتياح الحراري.

في حين المجسم P2 وفر مدة ارتياح حراري أطول من المجسم P1 ،حيث استمرت فترة الارتياح الحراري من 7h حتى 10h30، وعند ملاحظة منحني المجسم P3 استمرت فترة الارتياح الحراري حتى 12h، فخلال فترات الصيف الحارة يمكن استغلال البناءات الجبسية والبناءات الجبسية المدعمة بعصيات جريد النخيل بدون تكييف لفترات أطول منها في البناءات الاسمنتية خلال ساعات النهار، وحتى خارج مجال الارتياح الحراري تستهلك البناءات الجبسية طاقة تكييف اقل منها في البناءات الاسمنتية.

عند ملاحظة فروق درجات الحرارة الداخلية والخارجية للمجسمات من الشكل (47.IV)، في كل مراحل القياس كان الفرق في درجات الحرارة للمجسم P3 اعلى منه في المجسم P2، حيث ساهمت إضافة عصيات جريد نخيل التمر للجبس في تحسين الخصائص الحرارية للجبس.



الشكل 46.VII مقارنة الحرارة الداخلية للمجسمات بمجال الارتياح الحراري

في دراسة سابقة أنجزت من طرف (NEFIDI) [128] على غرفة من مبنى جبسي بمنطقة قمار بوادي سوف تتكون من :

- جدران حاملة مبنية من حجر اللوس (زهرة الرمال) والجبس المحلي بسمك 45 سم.
 - سقف على شكل قباب من حجر اللوس والجبس المحلي بسمك 45 سم.
- القياسات اخذت في شهر جويلية عند الساعة 14h ، نتائج الدراسة أعطت فارقا في درجات الحرارة الداخلية والخارجية 10°C ،
- عند نفس التوقيت تحصلنا في دراستنا على فارق في درجات الحرارة الداخلية والخارجية في المجسم الجبسي المدعم بعصيات جريد النخيل P3 يقدر ب 15°C و 12.8°C في المجسم الجبسي P2.
- يرجع الفارق في النتائج كون الجدران المبنية من حجر اللوس والجبس لها ناقلية حرارية اعلى من الجدران الجبسية، حيث تبلغ الناقلية الحرارية لحجر اللوس 0.9 (W/m.K) [128]، كما ان إضافة عصيات جريد النخيل ساهم في التقليل من الناقلية الحرارية للجبس.

VII. 12.4. خلاصة

في هذا الفصل، قمنا بعرض وتحليل نتائج التجارب التي أجريت على عينات الجبس الخالص والملاط الجبسي بعد إضافة عصيات جريد النخيل على شكل حصى وعلى شكل طبقات، ومقارنتها بعينات الملاط الاسمنتي. نتائج التجارب نلخصها في النقاط التالية:

- تتناسب الكتلة الحجمية للجبس عكسيا مع نسبة الماء، فكلما زادت نسبة الماء نقصت الكتلة الحجمية، النسبة $E/P=0.6$ كانت المثلى التي تعطي تشغيلية جيدة، كم تزداد الكتلة الحجمية الظاهرية للملاط الجبسي بزيادة نسبة الرمل.
- عند إضافة عصيات جريد النخيل على شكل طبقات وعلى شكل حصى للجبس سجلنا انخفاض في الكتلة الحجمية للجبس بنسبة 6% عند إضافة (MDPR) بنسبة 5% ، وعند نفس من (GDPR) في حدود 5%، انخفضت الكتلة الحجمية لعينات الملاط الجبسي بنسبة 5.5% عند إضافة 5% من (MDPR)، وبنسبة 5% عند إضافة 5% من (GDPR).
- سرعة الأمواج فوق الصوتية لعينات الملاط الاسمنتي (CM)، كانت اعلى منها في عينات الجبس الخالص (PP) والملاط الجبسي (PM)، لكون الجبس والملاط الجبسي أكثر مسامية من الملاط الاسمنتي، تتناسب سرعة الأمواج فوق الصوتية عكسيا مع نسبة (DPR)، فكلما زادت نسبة (DPR) انخفضت سرعة الأمواج فوق الصوتية، كما كانت سرعة الموجات الفوق الصوتية في عينات (PP+GDPR) اعلى منها في عينات (PP+MDPR)
- عند إضافة (DPR) الى عينات الجبس والملاط الجبسي، انخفضت الناقلية الحرارية تدريجيا بزيادة نسبة (DPR)، عينات الجبس والملاط الجبسي المدعمة بعصيات جريد نخيل على شكل طبقات (MDPR) أعطت ناقلية حرارية اقل من عينات (GDPR)، وضع عصيات جريد نخيل التمر على شكل طبقات يمنع تشكل الجسور الحرارية، في حين عند وضع عصيات جريد النخيل على شكل حصى والتموضع العشوائي

- للحصىات يسمح بتشكيل الجسور الحرارية وبالتالي زيادة الناقلية الحرارية.
- عينات (PP+MDPR) أعطت حرارة نوعية اقل من عينات (PP+GDPR) ،حيث انخفضت الحرارة النوعية عند النسبة 5% من (DPR) بنسبة 27% لعينات (PP+MDPR) وبنسبة 20% لعينات (PP+GDPR)، كما انخفضت الحرارة النوعية عند النسبة 5% بنسبة 27% لعينات (PM+MDPR) وبنسبة 21% لعينات (PM+GDPR).
 - زادت مقاومة الانحناء في عينات (PP+MDPR) عند إضافة 2% من (MDPR)، وبلغت قيمتها الحدية 2.67 (MPa) بنسبة زيادة 8%، ثم بدأت في الانخفاض تدريجيا حتى وصلت نسبة الانخفاض عند 5% من (MDPR)، كما لم نلاحظ أي تحسن في مقاومة الانحناء لباقي العينات، أما في عينات الملاط الجبسي فقد سجلنا ارتفاعا حديا في مقاومة الإنحناء في النسبة 2% من (MDPR) بنسبة 5%، كما لم نسجل أي تحسن في مقاومة الإنحناء عند عينات (PM+GDPR) وعينات (PP+GDPR).
 - إضافة (DPR) على شكل طبقات او على شكل حصى الى الجبس والملاط أدى الى خفض مقاومة الضغط، فكلما زادت نسبة (DPR) انخفضت مقاومة الضغط في العينات .
 - تتناسب نسبة امتصاص الماء طرديا مع نسبة (DPR)، فكلما زادت نسبة (DPR) زادت نسبة الامتصاص، فعند إضافة عصيات جريد النخيل بنسبة 5% زادت نسبة الامتصاص بنسبة 37% في عينات الجبس الخالص، وبنسبة 39% في عينات الملاط الجبسي
 - قياس درجات الحرارة الداخلية والخارجية للمجسمات (P1) الاسمنتي و (P2) الجبسي والمجسم (P3) من الجبس المدعم بعصيات جريد النخيل على شكل طبقات بنسبة 5%، اعطى فارقا كبيرا بين المجسم (P1) والمجسمين (P2) و (P3) ، حيث سجلنا اعلى فارق في درجات الحرارة $\Delta T P1=7.4^{\circ}C$ و ΔT منه في المجسم P2=15.1°C و $\Delta T P3=16.6^{\circ}C$ ، في كل مراحل القياس كان الفرق في درجات الحرارة للمجسم P3 اعلى حيث ساهمت إضافة عصيات جريد نخيل التمر للجبس في تحسين الخصائص الحرارية للجبس.

الخلاصة العامة والتوصيات

I. الخلاصة العامة

في الوقت الحالي، لا تختلف طريقة تنفيذ البناء في جنوب الجزائر كثيراً عن تلك المتبعة في شمال البلاد، حيث توجد ظروف مناخية أكثر اعتدالاً، المباني التي يتم بناؤها في المناطق الصحراوية بالجزائر في الغالب لا تأخذ العامل المناخي بعين الاعتبار، وهي مباني قياسية يتم بناؤها في أي مكان وفي مناخات مختلفة دون تقييم الأداء الحراري لها.

تتميز المناطق الصحراوية في الجزائر بصيف حار وطويل، وشتاء يميل إلى الاعتدال نهاراً وبارد ليلاً، مما يجعل شروط الراحة الحرارية في هاته المباني غير متوفرة في معظم أيام السنة، الأمر الذي يتطلب تركيب أنظمة تكييف الهواء لجعلها صالحة للعيش لشاغلها.

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو المساهمة في تبيين مواد البناء المحلية، وتوسيع مجال استخدامها في البناء بطريقة عقلانية، في هذا المجال عدة أبحاث يقوم بها مخبر استغلال وتبيين الموارد الطبيعية في المناطق الجافة (EVRNZA) لجامعة ورقلة، بحثنا هذا يندرج ضمن هذا الإطار، حيث استخدمنا رمل الكثبان والجبس وجريد نخيل التمر المتوفرة بكميات كبيرة جداً في جنوب الجزائر.

قسمنا هذا البحث إلى أربعة فصول، في الفصل الأول درسنا مادة الجبس ومجالات استعماله وخصائصه الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية، وتأثير إضافة الألياف الطبيعية على هاته الخصائص، وخلصنا إلى جملة من النقاط أهمها:

- تختلف نواتج صناعة الجبس حسب درجة حرارة الحرق وطريقة التصنيع، إذ يمكن إنتاج عدة أنواع من الجبس النصف مميه والانهيدريت، تختلف في التركيب البلورية والخصائص الفيزيائية والميكانيكية، حيث يعتبر الشكل البلوري للجبس مصدر للخصائص الميكانيكية.
- ترتبط الخصائص الميكانيكية للجبس الماسك بالنسبة (E/P)، حيث تزداد بزيادة هاته النسبة، أثبتت الدراسات أن النسبة (E/P=0.6) تعطي قابلية تشغيل جيدة ومقاومة ميكانيكية مقبولة، قيمة الاجهاد الحدي للشد في حالة التشبع بالماء للجبس يساوي تقريباً نصف قيمة الاجهاد في الحالة الجافة، في حين التشوه الحدي يزداد بقيمة 50% في حالة التشبع مقارنة بالتشوه الحدي في الحالة الجافة.
- تزداد الناقلية الحرارية والحرارة النوعية للجبس الماسك، كلما قلت نسبة ماء الخلط، فعند النسبة (E/P=0.5) تكون الناقلية الحرارية في حدود (W/m. K) 0.442، وتنخفض عند النسبة (E/P=0.7) إلى (W/m. K) 0.373.
- على الرغم من وفرة الجبس الطبيعية في الجزائر، وخصائصه الحرارية الجيدة مقارنة بالأسمنت، إلا أن استخدامه يقتصر على الأعمال الثانوية أو الزخرفية، إذ يمكن استخدام الجبس كمعجون جبس خالص أو ملاط جبسي أو كخرسانة جبسية.
- البنية المسامية الجبس المدعم بالألياف النخيل تؤثر بشكل إيجابي على الخصائص الحرارية، حيث تساهم إضافة الألياف في تحسين الناقلية الحرارية للجبس، مما يجعلها مناسبة للتطبيقات التي تتطلب عزلاً حرارياً.
- إضافة ألياف نخيل التمر للجبس بنسبة 0.5% في اتجاه مواز لقوى الإنحناء، ساهم في رفع مقاومة

الإحناء للمادة المركبة بنسبة 29.25%، كما ان إضافة ألياف نخيل التمر بنسبة 0.5 % ادى الى خفض مقاومة الضغط للمادة المركبة بنسبة 24.32 %

الفصل الثاني العزل الحراري والنقل الحراري وطرق قياس الناقلية الحرارية تطرقنا الى عدة مفاهيم نلخصها فيما يلي:

- تكمن أهمية العزل الحراري من خلال تخفيض استهلاك الطاقة الكهربائية، وتوفير الراحة الحرارية وحماية المبنى، تصنف المواد العازلة حسب مصدرها الى مواد عازلة عضوية، كالخشب والفلين، ومواد عازلة معدنية كألياف الزجاج وعوازل صناعية كالبوليستيران.
- تنتقل الحرارة بالتوصيل والحمل والاشعاع، قابلية المادة لنقل الحرارة يعبر عنها بالناقلية الحرارية، فكلما قلت الناقلية الحرارية كانت المادة عازلة أكثر للحرارة.
- توجد عدة طرق تستخدم لقياس التوصيل الحراري في الحالتين المستقرة والمتغيرة، في هذا البحث استعملنا طريقة السلك الساخن بواسطة جهاز (CT-mètre)، لتناسبها مع قياسات العينات وسهولة استخدامه ودقة قياسه.

الفصل الثالث تناولنا فيه مختلف التجارب التي أجريت على المواد المستعملة في الدراسة، وكذا صياغة خطة الجبس والملاط الجبسي، نلخص اهم النتائج فيما يلي:

- الجبس المستعمل في الدراسة يتكون من نسب عالية من أوكسيد الكالسيوم (CaO) وأوكسيد الكبريت (SO4) مع نسب قليلة من السيليس.
- المقطع الطولي لعصييات جريد النخيل يوضح انها عبارة على مادة مركبة، تتكون من الالياف كعناصر تقوية مدمجة داخل مادة الأساس من اللينيين، تختلف نسبة الالياف واللينيين حسب موضع القطع.
- عصيات جريد النخيل خفيفة الوزن كتلتها الحجمية الظاهرية في حدود $675 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ ، ذات بنية مسامية، ونسبة امتصاص عالية للماء تصل 100%.
- رمل الكثبان المستعمل عال النقاوة، يتميز بتدرج حبيبي مرصوص ومعامل نعومة في حدود 1.61، حيث ان الرمل السيليسي يعطي نتائج أفضل في الملاط الجبسي.
- لإنجاز العينات الاسمنتية، استعملنا رمل منطقته عسيلة تدرجه الحبيبي منتظم وهو داخل المجال المرجعي الموصي به في الخرسانة والملاط الاسمطي، كما استعملنا اسمنت المتين المطابق للمعايير الجزائرية (NA 442).
- تزداد مقاومة الإحناء والضغط لعينات الجبس كلما كانت النسبة (E/P) أقل، النسبة (E/P=0.6) أعطت قابلية تشغيل جيدة ومقاومة ميكانيكية مقبولة، كما ان زيادة نسبة الرمل في عينات الملاط الاسمطي أدى الى انخفاض المقاومة الميكانيكية، اعتمدنا في هاته الدراسة النسب (E/P=0.6) لعينات الجبس الخالص، والنسب (S/P=0.5) و (E/P+S=0.6)، لإنجاز عينات والملاط الجبسي.

الفصل الأخير خصص لنتائج التجارب على عينات الجبس والملاط الجبسي المدعم بعصيات جريد النخيل على شكل طبقات وعلى شكل حصى، كما تم انجاز نماذج جبسية واسمنتية في الهواء الطلق ومقارنة تأثير درجات الحرارة حيث سجلنا النتائج التالية:

- تتناسب الكتلة الحجمية للجبس عكسيا مع نسبة الماء، فكلما زادت نسبة الماء نقصت الكتلة الحجمية، تزداد الكتلة الحجمية الظاهرية للملاط الجبسي بزيادة نسبة الرمل، حيث زادت الكتلة الحجمية بنسبة 12% عند إضافة الرمل بالنسبة (S/P=0.5)، الكتلة الحجمية لعينات الملاط الاسمنتي (CM) أكبر من الكتلة الحجمية للجبس (PP) والملاط الجبسي (PM)، حيث كانت في حدود الضعف لعينات (PP).
- الكتلة الحجمية الظاهرية لعينات الجبس والملاط الجبسي المدعم بجريد نخيل التمر تتناسب عكسيا مع %DPR، حيث تتخفض الكتلة الحجمية للعينات كلما زادت نسبة (DPR).
- تتناسب سرعة الأمواج فوق الصوتية عكسيا مع نسبة (DPR)، فكلما زادت نسبة (DPR) انخفضت سرعة الأمواج فوق الصوتية، كما انه عند إضافة الرمل بنسبة (S/P=0.5) للجبس انخفضت سرعة الأمواج فوق الصوتية، يرجع ذلك الى ان المادة المركبة تصبح اقل تماسكا عند إضافة الرمل نتيجة نقص المادة الرابطة، مما يقلل من سرعة مرور الأمواج فوق الصوتية.
- تتخفض قيمة معامل المرونة الديناميكي لعينات الجبس والملاط الجبسي كلما زادت نسبة (DPR)، حيث ان عصيات جريد النخيل اقل صلابة من الجبس مما يؤدي الى تقليل معامل المرونة للمادة المركبة.
- تتناسب الناقلية الحرارية للجبس عكسيا مع نسبة ماء الخلط، فكلما زادت نسبة الماء انخفضت الناقلية الحرارية للعينات، حيث سجلنا انخفاض في الناقلية الحرارية بنسبة 31% عند زيادة نسبة الماء بالضعف، كما ان زيادة رمل الكثبان الى الجبس زاد من ناقلية الحرارة، حيث ارتفعت الناقلية الحرارية للملاط الجبسي بنسبة 5% عند ارتفاع النسبة (S/P) من 0.3 الى 0.7 .
- مقارنة بالملاط الاسمنتي الجبس عازلا جيد للحرارة، عينات الملاط الاسمنتي أعطت ناقلية حرارية عالية، تقارب ثلاثة اضعاف قيم الناقلية في الجبس والملاط الجبسي.
- عند إضافة (DPR) الى عينات الجبس، انخفضت الناقلية الحرارية تدريجيا بزيادة نسبة (DPR)، وضع عصيات جريد نخيل التمر على شكل طبقات يقلل من تشكل الجسور الحرارية، في حين عند وضع عصيات جريد النخيل على شكل حصى، والتموضع العشوائي للحصيات يسمح بتشكيل الجسور الحرارية وبالتالي زيادة الناقلية الحرارية.
- إضافة (DRP) على شكل طبقات او على شكل حصى الى الجبس أدى الى خفض مقاومة الضغط، فكلما زادت نسبة (DPR) انخفضت مقاومة الضغط، كما أبدت مقاومة الإنحناء للعينات تحسنا عند إضافة (DPR) حتى النسبة 2%، ثم انخفضت عند النسب العالية من (DPR).
- تعرض الجبس المستمر للرطوبة يؤدي الى تآكل الجبس وفقدان خصائصه الميكانيكية، حيث تتخفض

مقاومة الإنحناء والضغط مع زيادة دورات الغمر والتجفيف.

- في دراسة الخصائص الحرارية للنماذج من الجبس والجبس المدعم بعصيات جريد النخيل والمجسم الاسمنتي، سجلنا فروقا كبيرة في درجات الحرارة الداخلية للمجسمات، حيث سجلنا فارقا في درجة الحرارة الداخلية للمجسم الاسمنتي ومجسم الجبس الخالص ب 11°C ، و 15°C بين المجسم الاسمنتي ومجسم الجبس المدعم بعصيات جريد النخيل على شكل طبقات، حيث يظهر الفرق في الخصائص الحرارية بين الجبس والاسمنت، وتأثير إضافة عصيات جريد نخيل التمر على العزل الحراري للجبس.

II. توصيات

اثبتت الدراسة ان استعمال الموارد المحلية كالجبس المتوفرة في المناطق الصحراوية، يساهم في توفير الراحة الحرارية، ويساهم في خفض درجات الحرارة الداخلية للمباني، كما يمكن تحسين خصائصه الحرارية من خلال إضافة الياف نخيل التمر المتوفرة في المناطق الصحراوية، اذ يمكن توسيع استعمال الجبس من خلال:

- وضع تشريعات وقوانين تشجع على استعمال المواد المحلية كالجبس في البناء.
- إعادة النظر في كفاءات البناء في المناطق الصحراوية بما يتلاءم ومناخ المنطقة، من خلال التصميم المعماري والعمراني وتوجيه المبنى، وعناصر البناء والمواد المستعملة.
- دراسة ديمومة الجبس ضد التعرض للعناصر الكيميائية والتآكل، وديمومة العناصر الجبسية عند التعرض للرطوبة المستمرة.
- دراسة تحسين الخصائص الميكانيكية للجبس من خلال إضافة عناصر تقويه للجبس، او دراسة ووضع تصاميم لبناءات جبسية بهيكل خرساني.

وفي الأخير نرجو اننا قد وفقنا في تسليط الضوء على الخصائص الحرارية للجبس، وإمكانية تحسين هاته الخصائص من خلال إضافة جريد النخيل، مما يساهم في توفير الراحة الحرارية للبناءات الجبسية، واستغلال الموارد المحلية في البناء.

قائمة المراجع

- [1] N. Aste, C. Del Pero, and F. Leonforte, "Toward Building Sector Energy Transition," 1st Editio., taylor & francis group, 2022.
- [2] S. Abani, F. Hafsi, A. Kriker, and A. Bali, "Valorisation of Date Palm Fibres in Sahara Constructions," *Energy Procedia*, vol. 74, pp. 289–293, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.07.608.
- [3] A. Mekhermeche, "Contribution à l' etude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours sahariennes," p. 131, 2012.
- [4] D. Daligand, "Plâtre - Gypse et anhydrite," in *Les matériaux de construction*, 2002. [Online]. Available: <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-th3/les-materiaux-de-construction-42224210/platre-c910/gypse-et-anhydrite-c910niv10001.html>
- [5] K. N. Sheaffer, "Mineral commodity summaries 2023," U.S Department OF The Interior, U.S Geological Survey, pp. 80–81, 2023. [Online]. Available: <http://pubs.er.usgs.gov/publication/mcs2023>
- [6] H. A. Ghrefat" and F. M. Howari, "Gypsum: Properties, Production and Applications," Delia H. Sampson, Ed. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2011.
- [7] E. Badens, "Étude de l'Adsorption de l'Eau sur les Cristaux de Gypse et de son Influence sur les Propriétés Mécaniques du Plâtre Pris Pur Additivé," PhD thesis, Université d'Aix - Marseille III, 1998.
- [8] A. L. Ware and V. G. McLaverty, "Gypsum products," *Aust. Dent. J.*, vol. 5, no. 5, pp. 273–279, 1960, doi: 10.1111/j.1834-7819.1960.tb02597.x.
- [9] T. Sithole, T. Mashifana, and D. Mahlangu, "Physical, Chemical and Geotechnical Characterization of Wet Flue Gas Desulfurization Gypsum and Its Potential Application as Building Materials," *Buildings*, vol. 11, no. 11, p. 500, 2021.
- [10] I. Y. Elbeyli, E. M. Derun, J. Gülen, and S. Pişkin, "Thermal analysis of borogypsum and its effects on the physical properties of Portland cement," *Cem. Concr. Res.*, vol. 33, no. 11, pp. 1729–1735, 2003, doi: 10.1016/S0008-8846(03)00110-8.
- [11] J. Chatter and K. Kaulir, "GYPSUM," in *Gypsum: Properties, Production and Applications*, D. H. SAMPSON, Ed. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2011.
- [12] W. Cole and C. Lancucki, "A refinement of the cristal structure of gypsum $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$," *Acta Crystallogr.*, vol. B30, pp. 921–929, 1974.
- [13] E. Finot, E. Lesniewska, J. C. Mutin, and J. P. Goudonnet, "Reactivity of gypsum faces according to the relative humidity by scanning force microscopy," *Surf. Sci.*, vol. 384, no. 1–3, pp. 201–217, 1997, doi: 10.1016/S0039-6028(97)00220-3.
- [14] E. Wooster, W. A. (Department of Mineralogy and Petrology, Cambridge, "On the Crystal Structure of Gypsum, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$," *Zeitschrift für Krist. - Cryst. Mater.*, pp. 375–396, 1936, doi: <https://doi.org/10.1524/zkri.1936.94.1.375>.
- [15] R. U. Chunfang, Fan (Department of Civil and Environmental Engineering, U. Houston, TX 77005, the G. W. U. Henry, Teng (Department of Chemistry, and U.) Washington, DC 20006, "crystallization and dissolution of gypsum," in *gypsum: properties, production and applications*, d. h. sampson, Ed. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2011, pp. 112–129.
- [16] L. Amathieu and R. Boistelle, "Crystallization kinetics of gypsum from dense suspension of hemihydrate in water," *J. Cryst. Growth*, vol. 88, no. 2, pp. 183–192, 1988, doi: 10.1016/0022-0248(88)90275-8.

- [17] A. J. Lewry and J. Williamson, "The setting of gypsum plaster - Part I The hydration of calcium sulphate hemihydrate," *J. Mater. Sci.*, vol. 29, no. 20, pp. 5279–5284, 1994, doi: 10.1007/BF01171536.
- [18] N. B. Singh and B. Middendorf, "Calcium sulphate hemihydrate hydration leading to gypsum crystallization," *Prog. Cryst. Growth Charact. Mater.*, vol. 53, no. 1, pp. 57–77, 2007, doi: 10.1016/j.pcrysgrow.2007.01.002.
- [19] A. J. Lewry and J. Williamson, "The setting of gypsum plaster - Part II The development of microstructure and strength," *J. Mater. Sci.*, vol. 29, no. 21, pp. 5524–5528, 1994, doi: 10.1007/BF00349943.
- [20] A. Gmouh, S. Eve, A. Samdi, R. Moussa, J. Hamel, and M. Gomina, "Changes in plaster microstructure by pre-stressing or by adding gypsum grains: Microstructural and mechanical investigations," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 352, no. 1–2, pp. 325–332, 2003, doi: 10.1016/S0921-5093(02)00938-3.
- [21] L. Amathieu, "Influence d'Adjuvants Organiques sur la Texture Cristalline de Plâtres Pris," PhD thesis, Univ. d'Aix - Marseille III, 1985.
- [22] S. Meille, "Etude du comportement mécanique du plâtre pris en relation avec sa microstructure," Thèse de doctorat, Ecole doctorale de matériaux de Lyon 2001.
- [23] E. Badens, S. Veesler, and R. Boistelle, "Crystallization of gypsum from hemihydrate in presence of additives," *J. Cryst. Growth*, vol. 198–199, no. PART I, pp. 704–709, Mar. 1999, doi: 10.1016/S0022-0248(98)01206-8.
- [24] E. M. Gartner, "Cohesion and expansion in polycrystalline solids formed by hydration reactions - The case of gypsum plasters," *Cem. Concr. Res.*, vol. 39, no. 4, pp. 289–295, 2009, doi: 10.1016/j.cemconres.2009.01.008.
- [25] L. Amathieu and R. Boistelle, "Improvement of the mechanical properties of set plasters by means of four organic additives inducing {101} faces," *J. Cryst. Growth*, vol. 79, no. 1–3, pp. 169–177, 1986, doi: 10.1016/0022-0248(86)90432-X.
- [26] E. Badens, S. Veesler, R. Boistelle, and D. Chatain, "Relation between Young's modulus of set plaster and complete wetting of grain boundaries by water," *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 156, no. 1–3, pp. 373–379, 1999, doi: 10.1016/S0927-7757(99)00097-7.
- [27] M. Rachedi, "Contribution à l'étude de la durabilité de mortier de plâtre à base de sable de dunes renforcé par des fibres de palmier dattier," these magister, U.K.M.O 2017.
- [28] F. B. Ebanda, "Etude des propriétés mécaniques et thermiques du plâtre renforcé de fibres végétales tropicales," Université Blaise Pascal - Clermont II - Université de Douala, 2015. [Online]. Available: Thèse Doctorat en cotutelle
- [29] C. Martias, "Synthèse et caractérisation de matériaux composites à base de sulfate de calcium destinés à la protection incendie," Thèse Dr. Univ. du Sud Toulon Var, 2011.
- [30] P. Coquard, "Résistance Mécanique des Plâtres Secs et Humides," PhD thesis, Univ. d'Aix - Marseille III, 1992.
- [31] H. Andrews, "the effect of water contents on the strength of calcium sulfate plaster products," *Journal Soc. Chem. Ind.*, vol. 33, pp. 1141–1150, 1946.
- [32] M. Touil, A. Lachheb, R. Saadani, M. Sanbi, and M. Rahmoune, "Influence of the mixing water rate on the plaster thermo-physical properties: Experimental and dynamic study," *E3S Web Conf.*, vol. 336, 2022, doi: 10.1051/e3sconf/202233600012.
- [33] F. Hafsi, A. Kriker, and S. Abani, "Contribution Study to the Thermal Insulation of the Builders in the Desert Regions of Exploiting Gypsum Fiber Reinforced Palm," *Am. Inst. Phys.*, vol. 020029, 2017, doi: 10.1063/1.4976248.

- [34] M. Ben Mansour, C. A. Soukaina, B. Benhamou, and S. Ben Jabrallah, "Thermal characterization of a Tunisian gypsum plaster as construction material," *Energy Procedia*, vol. 42, pp. 680–688, 2013, doi: 10.1016/j.egypro.2013.11.070.
- [35] M. Doleželová, L. Scheinherrová, J. Krejsová, and A. Vimmrová, "Effect of high temperatures on gypsum-based composites," *Constr. Build. Mater.*, vol. 168, pp. 82–90, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.02.101.
- [36] S. Bouzit, F. Merli, M. Sonebi, and S. Amziane, "Investigation of Thermal, Mechanical and Acoustic Performance of Bio-Materials Based on Plaster-Gypsum and Cork," *Constr. Technol. Archit.*, vol. 1, pp. 685–690, 2022.
- [37] E. A. Pachon-rodriguez, "Etude de l' influence de la dissolution sous contrainte sur les proprietes mecaniques des solides : fluage du platre," thèse de doctorat. Lyon, July, 2016.
- [38] Hamouda Jaffel. *Caractérisation multi-échelles de matériaux poreux en évolution : cas du plâtre*. Matériaux. Ecole Polytechnique X, 2006. Français. tel-00122888.
- [39] A. Vimmrová, M. Keppert, L. Svoboda, and R. Černý, "Lightweight gypsum composites: Design strategies for multi-functionality," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 33, no. 1, pp. 84–89, 2011, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2010.09.011.
- [40] C.N.E.R.I.B, "Recommandations pour la construction en plâtre. Ministère de l'habitat, Centre national d'études et de recherches intégrées au bâtiment, 1993."
- [41] A. Abdelmoumene, "Etude des caractéristiques thermiques et mécaniques des matériaux de construction du sud algérien," Thèse Dr. , Insa Lyon, 2000.
- [42] A. Djoudi, "Performance of date palm fibres reinforced plaster concrete," *Int. J. Phys. Sci.*, vol. 7, no. 21, pp. 2845–2853, 2012, doi: 10.5897/ijps11.1553.
- [43] M.L.Soltane, "Contrôle technique d'un prototype de quatre logements en plâtre à Biskra," *Colloq. maghrébin sur la Constr. en matériaux locaux. matloc ,C.N.E.R.I.B*, 1991, pp. 101–104, 1991.
- [44] F.Zuber, "Pour une construction en plâtre," *Commun. Lafarge*, 1989.
- [45] R.Aldebert, "Rénovation du Grand Louvre à la gloire du plâtre," *Le Monit. des Trav. publics du bâtiment*, vol. 41615, pp. 56 – 68, 1992.
- [46] M.N.Bellamlih, "Eléments pour une conception et une architecture plâtre pour la construction économique au Maroc," *Minist. l'Equipement du Maroc*, 1985.
- [47] M. Resende, D. C. Meirelles, G. R. Boriolo, and L. A. Oliveira, "Durability Assessment of Gypsum Boards with Glass Mat Reinforcement Used in Light Facade Systems 1 Introduction Research Method," pp. 1–8, 2020.
- [48] I. Lababidi, "Utilisation des fibres de déchets industriels et végétales pour renforcer les bétons et les mortiers," *Environnement et gestion durable des écosystèmes naturels au moyen orient*. Du 18 au 20 avril 2001, Berytech, Technologie santé.
- [49] D. Chandramohan and K. Marimuthu, "a review on natural fibers," *ijrras*, vol. 8, no. 2, pp. 194–206, 2011, doi: 10.1089/aid.1996.12.1427.
- [50] C. Oudet, *Polymères. Structure et propriétés*, Masson. Paris, 1993.
- [51] C. Baley, "Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites," *Tech. l'Ingénieur*, no. AM5130 v3, 2020.
- [52] A. Kicińska-Jakubowska, E. Bogacz, and M. Zimmiewska, "Review of Natural Fibers. Part I-Vegetable Fibers," *J. Nat. Fibers*, vol. 9, no. 3, pp. 150–167, 2012, doi: 10.1080/15440478.2012.703370.
- [53] V. Sadrmanesh and Y. Chen, "Selected Properties of Two Alternative Plant Fibers: Canola and Sweet Clover Fibers," *Materials (Basel)*, vol. 15, no. 22, 2022, doi: 10.3390/ma15227877.
- [54] K. Almi, A. Benchabane, S. Lakel, and A. Kriker, "Potential utilization of date palm wood as composite reinforcement," *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 34, no. 15, pp.

- 1231–1240, 2015, doi: 10.1177/0731684415588356.
- [55] A. . Bledzki and J. Gassan, “Composites reinforced with cellulose.pdf,” *Prog. Polym. Sci.*, vol. 24, pp. 221–274, 1999, [Online]. Available: http://ac.els-cdn.com/S0079670098000185/1-s2.0-S0079670098000185-main.pdf?_tid=af34542c-0260-11e7-a49c-00000aab0f27&acdnat=1488800173_c95596c7ddcc4673fe88c8ec84262bb9
- [56] carma, “Glossaire Des Materiaux Composites Renforces De Fibres D ’ Origine Renouvelable,” *Cent. d’animation régional matériaux avancés*, pp. 1–24, 2006.
- [57] P. Dalmay, A. Smith, T. Chotard, P. Sahay-Turner, V. Gloaguen, and P. Krausz, “Properties of cellulosic fibre reinforced plaster: Influence of hemp or flax fibres on the properties of set gypsum,” *J. Mater. Sci.*, vol. 45, no. 3, pp. 793–803, 2010, doi: 10.1007/s10853-009-4002-x.
- [58] O. G. Agossou and S. Amziane, “Analysis of Mechanical and Thermal Performance and Environmental Impact of Flax-Fiber-Reinforced Gypsum Boards,” *Buildings*, vol. 13, no. 12, 2023, doi: 10.3390/buildings13123098.
- [59] A. Souidi et al., “Comparative Study of Gypsum Composite Materials Reinforced with Date Palm and Polyester Fibres,” *Rev. des Compos. des Mater. Av.*, vol. 34, no. 2, pp. 133–142, 2024, doi: 10.18280/rcma.340202.
- [60] S. Bouzouaid, H. Chaib, and F. Didi, “Thermal Performance and Environmental Analysis of a Brick Based on Traditional Gypsum Plaster Reinforced with Date Palm fibres,” *International Journal of Membrane Science and Technology*, vol. 10, no. 5, pp. 151–163, 2023. doi: 10.15379/ijmst.v10i5.2445.
- [61] M. Rachedi, A. Kriker, and A. Mokhtari, “Contribution à l’étude de la durabilité de mortier de plâtre à base de sable de dunes renforcé par des fibres de palmier dattier,” *Rev. des Energies Renouvelables*, vol. 20, no. June 2017, pp. 243–251, 2017.
- [62] A. Djoudi, M. M. Khenfer, A. Bali, and T. Bouziani, “Effect of the addition of date palm fibers on thermal properties of plaster concrete: Experimental study and modeling,” *J. Adhes. Sci. Technol.*, vol. 28, no. 20, pp. 2100–2111, 2014, doi: 10.1080/01694243.2014.948363.
- [63] M. A. Pedreño-Rojas, M. J. Morales-Conde, P. Rubio-de-Hita, and F. Pérez-Gálvez, “Impact of wetting-drying cycles on the mechanical properties and microstructure of wood waste-gypsum composites,” *Materials (Basel)*, vol. 12, no. 11, 2019, doi: 10.3390/ma12111829.
- [64] M. Alejandro Pedreno-Rojas, C. Rodriguez-Linan, M. Jesus Morales-Conde, F. Perez-Galvez, P. Rubio-De-Hita, and M. Isabel Romero-Gomez, “Influence of wood and plastic waste as aggregates in gypsum plasters,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 603, no. 3, pp. 0–8, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/603/3/032032.
- [65] N. Sotehi, “Caractéristiques Thermiques des Parois des Bâtiments et Amélioration de l’isolation,” *thèse de doctorat université mentouri - constantine*, 2010.
- [66] F. Thellier, “Confort dans le bâtiment,” 2012, no. January 2011, pp. 1–31.
- [67] J. Bouchet et al., “Bâtiments démonstrateurs Prébat: retour d ’ expérience et premiers enseignements sur le confort thermique hivernal et estival,” no. October, pp. 1–8, 2018.
- [68] M. Jedidi and O. Benjeddou, *La thermique du batiment*, Dunod. Paris, 2010.
- [69] A. Liébard, “Traite D’Architecture Et D’Urbanisme Bioclimatiques,” p. 368, 2005.
- [70] M. MAZARI, “Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : Cas du département d’Architecture de Tamda (Tizi-Ouzou),” *mémoire magister, Univ. Mouloud Mammeri Tizi Ouzou*, p. 146, 2012.
- [71] ا. عياني، “المساهمة في دراسة العزل الحراري للبناءات في المناطق الجافة، حالة الجبس المدعم بألياف النخيل،” *رسالة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2017*

- [72] A. Dobbi, N. Hassini, and B. Abderrahmani, "Type d'Habitation et Consommation d'Énergie dans le Sud Algérien," *حوليات العلوم و التكنولوجيا*, vol. 7, no. 1, pp. 90–97, 2015, doi: 10.12816/0040272.
- [73] حائية ميلود، "المساهمة في تحسين الخصائص الحرارية والميكانيكية للالبنات المستعملة في أسقف المباني الصحراوية،" *مذكرة ماجستير جامعة قاصدي مرباح ورقلة*، 2013.
- [74] O. Kaynakli, "A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 1, pp. 415–425, 2012, doi: 10.1016/j.rser.2011.08.006.
- [75] S. Laroze, Ed., *Mécanique des structures. Tome 3. Thermique des structures, dynamique des structures*, 2005th ed. Cépaduès-Éditions.
- [76] DTR C3.2/4, "Règlementation Thermique Algérienne du Bâtiment," *Doc. Tech. Règlementaire*, CNERIB , Algérie, p. 57, 2016.
- [77] WMO, "نشرة غازات الاحتباس الحراري," vol. 16, 2020.
- [78] C. Langlais, "Isolation thermique à température ambiante . Propriétés," *Tech. l'Ingénieur C 3 371 - 2*, vol. 33, no. 0, pp. 0–20, 2013.
- [79] J. Ko'sny and D. W. Yarbrough, *Thermal Insulation and Radiation Control Technologies for Buildings*, vol. 7, no. 1. 2022. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civilwars_12December2010.pdf%0Ahttps://think-asia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625
- [80] H. Sid-Ali et al., "Mise en application de la nouvelle réglementation thermique algérienne du bâtiment," *Rev. des Energies Renouvelables*, vol. 20, no. December, pp. 591–597, 2017, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/324280439>
- [81] J. Battaglia, *Introduction aux transferts Thermiques*. Dunod, Paris, 2010
- [82] Y. Jannot, "Transferts thermiques," *Ec. des Mines Nancy*, p. 161, 2012.
- [83] J.-L. Battaglia, A. Kusiak, and J.-R. Puiggali, *Introduction aux transferts thermiques - 2e édition: Cours et exercices corrigés*. Edition Dunod, Paris, 2014. [Online]. Available: http://www.amazon.fr/Introduction-aux-transferts-thermiques-exercices/dp/2100705407/ref=sr_1_2?s=books&ie=UTF8&qid=1405192135&sr=1-2&keywords=transfert+thermique
- [84] M. Tonye Emmanuel and P. M. Duval Roger, "valorisation des briques de terre stabilisees en vue de l'isolation thermique de batiments," *thèse Dr. Univ. Cergy-Pontoise*, 2004.
- [85] R. D. Ford, *Thermal and acoustic insulation of buildings*, Diamant, R. 1986. doi: 10.1016/0041-624x(66)90023-0.
- [86] M. Benjeddou, Omrane_ Jedidi, *La thermique du bâtiment du confort thermique au choix des équipements de chauffage et de climatisation*, 1st ed. Paris, 2016.
- [87] S. Klarsfeld and C. Langlais, "Isolation thermique à température ambiante. Bases physiques," *Tech. l'ingénieur*, vol. BE 9860, pp. 1–30, 1999, [Online]. Available: <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=16815300>
- [88] G. Nellis and S. Klein, *Heat Transfer: heat transfer*. 2008. [Online]. Available: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781439814680>
- [89] A. Degiovanni, "Conductivité et diffusivité thermique des solides," *Tech. l'Ingénieur*, vol. R2850 V1, pp. 0–15, 1994, doi: 10.51257/a-v1-r2850.
- [90] S. Klarsfeld, "Conductivité thermique des isolants R 2 930," *Tech. l'Ingénieur*, vol. R2930 V2, pp. 0–22, 2002.
- [91] J.-C. Krapez, "Mesure de l'effusivité thermique - Méthodes par contact," *Techniques d'analyse*. 2007. doi: 10.51257/a-v1-r2958.

- [92] “CT-metre”, [Online]. Available: <https://smee.fr/quest-ce-qu-un-ct-metre/>
- [93] N. Yüksel, “The Review of Some Commonly Used Methods and Techniques to Measure the Thermal Conductivity of Insulation Materials,” in *Insulation Materials in Context of Sustainability*, 2016. doi: 10.5772/64157.
- [94] “NA 525 Plâtres -Détermination de la masse volumique en poudre”.
- [95] R. Khiari, M. F. Mhenni, M. N. Belgacem, and E. Mauret, “Chemical composition and pulping of date palm rachis and *Posidonia oceanica* - A comparison with other wood and non-wood fibre sources,” *Bioresour. Technol.*, vol. 101, no. 2, pp. 775–780, 2010, doi: 10.1016/j.biortech.2009.08.079.
- [96] T. Djoudi, M. Hecini, D. Scida, Y. Djebloun, and B. Guerira, “Physical and mechanical characterization of wood and fibers from a mature frond of date palm,” *Mater. Tech.*, vol. 106, no. 4, 2018, doi: 10.1051/mattech/2018056.
- [97] A. Turkeli, “Sand, Sand Additives, Sand Properties, and Sand Reclamation,” *Foundry Technol.*, p. 25, 2009.
- [98] “NF P94-056 Sols : reconnaissance et essais - Analyse granulométrique - Méthode par tamisage à sec après lavage.”
- [99] “NF P18-554 Granulats. Mesures des masses volumiques, porosité, coefficient d’absorption et teneur en eau des granulats.”
- [100] “NF P18-598 Granulats - Équivalent de sable”.
- [101] spécification et critères de conformité des ciments courants NA 442 Ciments : composition, “Journal officiel,” ITBM-RBM News, doi: 10.1016/s1297-9570(01)90011-1.
- [102] “Fiche technique ciment Lavarge (matine) CEM II / B-L 42.5N”.
- [103] “NF EN 1008 : Analyse des eaux de gâchage pour béton”.
- [104] “NA526 Plâtres -- Détermination des caractéristiques mécaniques.”
- [105] N. Fatma, L. Allègue, M. Salem, R. Zitoune, and M. Zidi, “The effect of doum palm fibers on the mechanical and thermal properties of gypsum mortar,” *J. Compos. Mater.*, vol. 53, no. 19, pp. 2641–2659, 2019, doi: 10.1177/0021998319838319.
- [106] M. Bentchikou, S. Hanini, and K. Silhadi, “Élaboration et étude d ’ un mortier composite à matrice minérale et fibres cellulosiques : application à l ’ isolation thermique en bâtiment,” vol. 45, no. Lmc, pp. 37–45, 2007, doi: 10.1139/L06-149.
- [107] “NF EN 12504-4 Essais pour béton dans les structures - Partie 4 : détermination de la vitesse de propagation du son,” 2005.
- [108] “NF EN 196-1 Méthodes d’essais des ciments - Partie 1 : détermination des résistances,” 2016.
- [109] “Méthodes d’essai pour produits réfractaires façonnés denses - Partie 15 : détermination de la conductivité thermique par la méthode du fil chaud (parallèle).”
- [110] F. GORISSE, *Essais et contrôle des béton*, Edition Eyrolles, Paris, 1978.
- [111] M. M. Salman and A. Al-Amawee, “The Ratio between Static and Dynamic Modulus of Elasticity in Normal and High Strength Concrete,” *J. Eng. Dev.*, vol. 10, no. 2, pp. 163–174, 2006.
- [112] P. Pal, “Dynamic poisson’s ratio and modulus of elasticity of pozzolana Portland cement concrete,” P. (2019). Dynamic poisson’s ratio and modulus of elasticity of pozzolana Portland cement concrete. *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, Int. J. Eng. Technol. Innov., vol. 9, no. 2, pp. 131–144, 2019.
- [113] C. Dima, A. Badanoiu, S. Cirstea, A. I. Nicoara, and S. Stoleriu, “Lightweight gypsum materials with potential use for thermal insulations,” *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 23, pp. 1–13, 2020, doi: 10.3390/ma13235454.
- [114] S. Dorbani, F. Kharchi, F. Salem, K. Arroudj, and N. Chioukh, “Influence of the

- Addition of Sand and Compaction on the Mechanical and Thermal Performances of Plaster,” *Engineering*, vol. 03, no. 09, pp. 895–899, 2011, doi: 10.4236/eng.2011.39109.
- [115] A. DJOUDI, “Etude de la durabilité et du comportement thermo-phonique des bétons de plâtre renforcés par des fibres végétales du palmier dattier,” Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Polytechnique, 2015, P216.
- [116] A. Bouguerra, “Contribution à l’étude d’un procédé de valorisation de déchets argileux, Comportement hygrothermique des matériaux élaborés,” Thèse de Doctorat, l’INSA de Lyon, 1997, P212.
- [117] Goual M.S, “Contribution à l’élaboration d’un procédé de valorisation de coproduits argileux. Cas du béton argileux cellulaire obtenu par réaction avec l’aluminium pulvérulent : Caractérisation et comportement thermohydrrique,” Thèse de Doctorat, ENP d’Alger, 2001, P150.
- [118] C. Boutin, “Conductivité thermique du béton cellulaire autoclavé: Modélisation par méthode autocohérente,” *Mater. Struct. Constr.*, vol. 29, no. 194, pp. 609–615, 1996, doi: 10.1007/bf02485968.
- [119] J. C. Mendes, R. R. Barreto, L. C. B. Costa, G. J. Brigolini, and R. A. F. Peixoto, “Correlation Between Ultrasonic Pulse Velocity and Thermal Conductivity of Cement-Based Composites,” *J. Nondestruct. Eval.*, vol. 39, no. 2, 2020, doi: 10.1007/s10921-020-00680-7.
- [120] A. Boulanouar et al., “Determination of Thermal Conductivity and Porosity of Building Stone from Ultrasonic Velocity Measurements,” *Geomaterials*, vol. 03, no. 04, pp. 138–144, 2013, doi: 10.4236/gm.2013.34018.
- [121] N. Abu-Hamdeh, “Specific Heat and Volumetric Heat Capacity of Granular Materials as Affected by Moisture and Density,” *Appl. Mech. Mater.*, 2004, doi: doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.575.103.
- [122] O. Nasry et al., “Thermophysical properties of cement mortar containing waste glass powder,” *Crystals*, vol. 11, no. 5, pp. 1–12, 2021, doi: 10.3390/cryst11050488.
- [123] H. CHAIB, “Contribution à l’Etude des Propriétés Thermo-Mécaniques des Briques en Terre Confectionnée par des Fibres Végétale Locale. (Cas de la ville de Ouargla),” universite kasdi merbah – ouargla, 2017.
- [124] H. Ben Cheikh, B. Belkacem, and M. mouldi Khenfer, “The effect of alleviating the sand concrete by wood shavings on wall time lag and decrement factor,” *Civ. Environ. Res.*, vol. 5, no. November, pp. 16–20, 2013, doi: 10.1051/mateconf/202033001013.
- [125] J. Pei et al., “A sound velocity method for determining isobaric specific heat capacity,” *InfoMat*, vol. 4, no. 12, pp. 1–9, 2022, doi: 10.1002/inf2.12372.
- [126] P. Boustingorry, “Elaboration d ’ un matériau composite à matrice gypse et renfort bois fragmenté .,” Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne, 2007, P173.
- [127] M. Bederina, T. Bouziani, M. Khenfer, and M. Quéneudec, “Water absorption and its effect on the durability of sand concrete lightened by the addition of wood shavings | Absorption de l’eau et son effet sur la durabilité des bétons de sable allégés par ajout de copeaux de bois,” *MATEC Web Conf.*, vol. 2, pp. 0–6, 2012, doi: 10.1051/mateconf/20120201006.
- [128] H. Nefidi, S. Oukaci, Aek. Hamid, and D. Semmar, “Etude thermique d’une maison traditionnelle en Algérie, cas de Oued Souf,” 5ème Conférence Int. des Energies Renouvelables (CIER– 2017) Proceeding Eng. Technol. –Pet, vol. 31, pp. 19–23, 2017.

ملحق الصور



تجربة الانحناء بثلاث نقاط للعينات الجبسية (4x4x16 cm³) الخاصة بدراسة تركيبة الجبس والملاط الجبسي



تجربة الضغط للعينات الجبسية (4x4x16 cm³) الخاصة بدراسة تركيبة الجبس والملاط الجبسي



عصيات جريد النخيل للوضع على شكل طبقات (MDPR)



عصيات جريد النخيل على شكل حصى (GDPR)



عينات الجبس والملاط الجبسي المدعمن بعصيات جريد نخيل التمر (8x10x16 cm³) لقياس الخصائص الميكانيكية والحرارية





تجربة الشد لعصيات جريد النخيل



تجربة الانحناء بثلاث نقاط لعصيات جريد النخيل



تجارب الانحناء للعينات (8x10x16 cm³)



تجارب الضغط للعينات (8x10x16 cm³)



قياس الناقلية والحرارة النوعية بجهاز (CT metre)



قياس سرعة الأمواج فوق الصوتية للعينات



تجربة الغمر والتجفيف
غمر العينات



تجربة الغمر والتجفيف
تجفيف العينات في المجفف



اللبنتات الجبسية (10x20*30 cm³) لانجاز
المجسم الجبسي في الهواء الطلق



المجسمات في الهواء الطلق



المجسمات داخل الفرن



لبنتات الملاط الاسمنتي لانجاز المجسم الاسمنتي



قياس الحرارة الداخلية للمجسم الاسمнти



قياس الحرارة الداخلية للمجسمات الجبسية