Journal of Engineering Sciences and Information Technology (JESIT) • Vol 7, Issue 3 (2023) • P: 19 - 1
https://journals.ajsrp.com/index.php/jesit
ISSN: 2522-3321(Online) • ISSN: 2522-3321(Print)

The impact of recruitment of materials to improve energy efficiency in buildings

Co-Prof. Rubaia Ali Bin Ali*[1], Co-Prof. Fahd Saleh Gohar[1], Amr Rubaia Mukaydekh[2]

[1] Faculty of Engineering and Petroleum | Hadhramout University | Yemen

[2] National University of Science and Technology «MISIS» | Oman

Received: 29/12/2022

Revised: 10/01/2023

Accepted: 09/06/2023

Published: 30/09/2023

* Corresponding author: ruba.myka@yandex.ru

Citation: Bin Ali, R. A., Gohar, F. S., & Mukaydekh, A. R. (2023). The impact of recruitment of materials to improve energy efficiency in buildings. *Journal of engineering sciences and information technology, 7*(3), 1– 19. https://doi.org/10.26389/AJSRP.B291222

2023 © AISRP • Arab Institute of Sciences & Research Publishing (AISRP), Palestine, all rights reserved.

• **Open Access**

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC) license

Abstract: The issue of saving energy consumption and improving the effectiveness of its use in buildings and facilities is the core of the main subject of the study in this research. Therefore, the goal that the researchers focused on is to learn more about the properties of materials that can be used in the building, and re-motivate them to be employed in a way that improves energy efficiency in the building.

There are many materials around us that we do not care about. A grass tossed by waves of the sea, organic matter extracted from petroleum derivatives, or even moss growing in a neglected environment may play an important role in improving energy efficiency. Heating simple materials such as ceramics that have an optimal thermal storage mechanism, or the important crystalline silicon element in the manufacture of solar cells, or by using chemical techniques evaporation method which has a wide range of radiation absorption, all this can significantly raise the energy efficiency of buildings. In designing energy-efficient buildings, it is very important to consider a number of important trends such as: Reducing heat entry or loss through of building components, improve the effectiveness of energy extracted from renewable sources and storage. As well as ensuring efficient energy economy for all functional systems in the building. In most of these areas, those materials are playing the vital role.

Keywords: activating energy efficiency, thermal protection of buildings, thermal insulation materials, vacuum insulation panels.

أثر التوظيف الفعَّال للمواد برفع كفاءة الطاقة في الأبنية

الأستاذ المشارك / ربيع علي بن علي*[1]، الأستاذ المشارك / فهد صالح جوهر[1]، عمرو ربيع مقيدح[2]

[1] كلية الهندسة والبترول | جامعة حضرموت | اليمن

[2] الجامعة الوطنية للعلوم والتكنولوجيا | عمان

المستخلص: تعتبر مسألة الاقتصاد في استهلاك الطاقة، وتحسين فعالية استخدامها في المباني والمنشاءات هي جوهر موضوع الدراسة الرئيس في هذا البحث، لهذا أصبح الهدف الذي توجهت أنظار الباحثين إليه هو معرفة المزيد عن خصائص المواد التي يمكن استخدامها في المبنى، وإعادة تحفيزها كي تُوظَّف بشكل يُحسِّن من فعَّالية استخدام الطاقة فيه. فهناك الكثير من المواد التي تُحيط بنا ولا نُعيرها اهتمامًا. فعشبٍ تقذفه أمواج البحر، أو مادة عضوية مُستخرجة من مشتقَّات نفطية، أو حتى طُحلب ينمو في بيئةٍ مُهملة، قد يكون لهم دورًا مهمًا في تحسين فعَّالية الطاقة في المباني. كما أن تسخين مواد بسيطة كالسيراميك الذي يمتلك آلية تخزين حرارية مثلى، أو تحفيز عنصر السيليكون البلوري المهم في صناعة الخلايا الشمسية، أو باستخدام تقنيات مثل طريقة التبخر لمُركَّبات كيميائية تمتلك نطاق طيفي واسع في امتصاص الإشعاع الشمسي، كل ذلك بإمكانه رفع كفاءة الطاقة في المباني بشكل ملحوظ. لهذا من المهم جدًا عند تصميم المباني الموفِّرة للطاقة وضع الاعتبار لعدد من الاتجاهات الهامة مثل: الحد من دخول الحرارة عبر مكوِّنات المبنى أو فُقدانها، تحسين فعَّالية الطاقة المستخرجة من مصادر متجدِّدة وتخزينها، فضلًا عن ضمان كفاءة الاقتصاد في الطاقة لجميع الأنظمة الوظيفية في المبنى. وفي معظم هذه المجالات تلعب المواد المستخدمة الدور الرئيس والفاعل.

الكلمات المفتاحية: تفعيل كفاءة الطاقة، الحماية الحرارية للمباني، مواد العزل الحراري، ألواح العزل الفراغي.

مقدمة عامة للبحث:

هناك العديد من العوامل التي تؤثِّر على عملية اقتصاد الطاقة في المباني، فعند تصميمها يجب مراعاة الحفاظ على ثبات درجة الحرارة المطلوبة داخل المبنى والحد من فقدانها عن طريق تسلُّلِها عبر الحوائط والسقوف من داخل المبنى إلى خارجه أو العكس. كما أن استخدام الطاقة المُستخرجة من مصادر متجددة يساعد في تخفيض الاعتماد على الطاقة الكهربائية القادمة من الشبكة العامة، وأيضًا استخدام الأجهزة الكهربائية الذكية وأنظمة التشغيل الحديثة التي تقتصد في استهلاك الطاقة في المبنى. وعند اختيار الحلول التقنية الهندسية التي ترفع من كفاءة الاقتصاد في استهلاك الطاقة في المبنى، فأنه يجب أن نولّي اهتماماً كبيرًا لنوعية المواد المستخدمة في هذه التقنيات.

إن تخزين الطاقة الشمسية هو أحد سبل جعل الطاقة الشمسية عضوًا منتجًا ومكوِّنًا فعَّالًا من مكونات شبكة الكهرباء، خاصة وأن مرافق التوليد المختلفة تعمل على استيعاب لوحات كهروضوئية موزَّعة على أسطحها. لكن تكنولوجيا البطاريات لتخزين الطاقة لا يزال غير ملائم حتى الآن لتوفير الطاقة الشمسية في جميع الأوقات، سواء من حيث التكلفة أو الأداء. لهذا، وللإبقاء على تدفق الإلكترونات حتى في أوقات اختفاء الشمس يُفتِّش كثير من الباحثين بشكل متزايد عن طرق أفضل لالتقاط الطاقة الحرارية وتخزينها.

فنجد أنه مع تطوّر الأبحاث والعلوم بتقنياته المتعدِّدة، يتم إنشاء مواد مبتكرة باستمرار، والتي تؤدِّي وظائف هامة تتعلَّق بتوليد الطاقة بأساليب صديقة للبيئة، كما أنها تحافظ على درجة الحرارة المطلوبة داخل المبنى، وبإمكانها أيضًا التخلُّص من الحرارة غير المرغوب فيها صيفًا أو شتاءًا. وهناك أكثر من 500 مادة طبيعية ومواد اصطناعية أخرى مثل: السيراميك، السليكون، الإنديوم، السيلينيوم، البوليسترين، البارافينات ومشتقاتها وغيرها (Rud et. al ، 2012 ، ص. 32). إضافة إلى الأعشاب والنباتات مثل: السليلوز، القطن، ألياف الكتّان ونبات البوزيدونيا. وهذه المواد تختلف عن بعضها البعض من حيث الخصائص الفيزيائية والكيميائية وأيضًا في نطاقات درجة حرارتها (Becker، 2014). فهناك بعض المواد مثل: السيراميك إذا ما تمت معالجته وتدعيمه بألياف الأمونيا يصبح موصِّلاً حراريًا عالي الكفاءة، والسليكون أحادي ومتعدد البلُّورات الذي يستخدم باقتدار في صناعة الخلايا الكهروضوئية، ومُركَّبات النحاس والإنديوم والسيلينيوم، التي تحقّق كفاءة عالية في عمل الخلايا الشمسية. وأما مادة العزل الحراري النيوبور (Neopor®)، بمزاياها الإيجابية وسلوكها البيئي الآمن، فهي أساسًا تُجهَّز من رغوة البوليسترين وجزيئات الجرافيت. وفيما يخص النباتات، فإن مادة نيبتوثيرم (NeptuTherm®) المُصنَّعة من الألياف المستخرجة من أعشاب البوزيدونيا البحرية تعتبر مادة عزل حراري فعَّالة، وخاصية ارتفاع معدلات نفاذية البخار في ألياف الكتَّان، يسمح لمادة العزل الحراري تلك أن تعمل كمُرشِّح بامتياز. كل تلك المواد وغيرها تمتلك إمكانات هائلة وصفات وقُدرات خفيّة بانتظار اكتشافها وتوظيفها بطريقة علمية سليمة لخدمة البشرية والبيئة المُحيطة (Borisov، 2003).

كما أنه يجب الإشارة أيضًا إلى العوامل التي تؤدّي إلى خسائر الطاقة في المباني، ومنها الجسور الحرارية التي تتشكَّل بسبب غياب أنظمة العزل الحراري واختلال عملية الربط واللحام لعناصر المبنى المختلفة. ولتوفير الحماية الحرارية للمباني من الجسور الحرارية لابد من عزلها في نظام فتحات المبنى (الأبواب والنوافذ) إلى جانب الأرضيات والأسقف والواجهات التي تفصل بين البيئتين الداخلية والخارجية، خلاف ذلك ستكون هناك خسائر في الطاقة من خلال نقل الحرارة من بيئة الحرارة المرتفعة إلى بيئة الحرارة المنخفضة التي نحاول الحفاظ عليها، تؤدِّي في المحصِّلة إلى زيادة تكاليف الطاقة (Johansson، 2014).

ومن وسائل الحماية الحرارية هناك أيضًا المواد "متغيِّرة الأطوار" التي تُوفِّر الحماية الحرارية للمباني، فهي تختلف عن بقية المواد في خصائص حفاظها على حرارتها الكامنة خلال فصول السنة المختلفة. وهذه الخصائص مهمة جدًّا في نظر الباحثين لتفعيل كفاءة الطاقة في المباني، فهي مثلًا عندما تتحوَّل من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة، تقوم بامتصاص كمية كبيرة من الطاقة الحرارية من الوسط المُحيط بها. هذا التحوُّل يحدث في نطاق درجة حرارة ما بين (26 – 21 °C). أما الحرارة المُمتصَّة فكأنَّما لو كانت "تختبئ" داخل جزيئات المادة وتُحفظ هناك وتُخزَّن بشكل مُستتر، ولا تنطلق ولا يتم تحريرها إلا عندما تنخفض درجة الحرارة الوسط الخارجي.

وكما أن لمواد العزل الحراري دورًا كبيرًا في الحفاظ على اقتصاد الطاقة لتوفير الحرارة المناسبة في فضاءات المباني، فلابد من الحديث عن ألواح العزل المُفرّغة (VIP)، المُصنَّعة من مادتي السيليكون والبوليمر. فقد تطوَّرت صناعتها فأصبحت أكثر فاعلية وأقل سماكة وأكثر مقاومة للتأثيرات الميكانيكية. وهكذا يمكننا أن نؤكد الدور المهم الذي تلعبه المواد في تحسين فعَّالية الطاقة بشكلٍ عام وفي المباني بشكلٍ خاص، إذا ما وُظِّفت وحُسن استخدامها (Institut fur Energie، Dezember 2003).

مشكلة البحث:

إن المشكلة الرئيسة في هذا البحث تتمحور حول كيفية تحسين فعَّالية الطاقة ورفع كفاءة استخدامها في المباني، من خلال تحفيز المواد المستخدمة في مكونات المباني باستخدام التقنية لتحسين خصائصها الحرارية، أو عن طريق البحث عن مواد جديدة تؤدّي دورًا هامًا في توفير مناخ داخلي مناسب لفضاءات المبنى بأقل طاقة ممكنة.

الهدف من البحث:

إن الهدف الرئيس لهذه الدراسة البحثية هو التحفيز المستمر للبحث الجاد والدؤوب عن مواد جديدة تمتلك خصائصٍ مُميَّزة لاستخدامها في مكونات جدران وأرضيات المباني وسقوفها، أو لتحسين إمكانيات المواد المستخدمة بغرض تحسين فعَّاليتها في العزل الحراري، ورفع كفاءتها في خزن وإنتاج الطاقة المستخدمة في المباني. ولتحقيق هذا الغرض استعرض البحث وحلَّل عددًا من خامات المواد الطبيعية والاصطناعية التي تُستخدم في تصنيع عناصر المواد العازلة للحرارة وخلايا الطاقة الشمسية، كما تطرَّق البحث إلى توضيح عددٍ من عمليات الانتقال الحراري إلى المباني وكيفية عزلها.

محتويات البحث الرئيسية:

قام الباحثون بهذه الدراسة التحليلية من خلال الخطوات الآتية:

أولًا: المواد المستخدمة في مجال توليد وخزن الطاقة:

1-1: إجراء التجارب على السيراميك

1–2: السليكون البلوري.

1–3: مُركَّبات من النحاس والإنديوم والسيلينيوم.

1–4: الطحالب.

ثانيًا: العزل الحراري للمباني باستخدام مواد خامة طبيعية:

2-1: استخدام نبات البوزيدونيا.

2–2: مواد عازلة من الكتَّان.

2–3: مؤشِّرات المواد العازلة للحرارة المُصنَّعة من الألياف النباتية.

ثالثًا: طرق الحماية المباني من الانتقال الحراري:

3-1: مكافحة الانتقال الحراري بالإشعاع.

3–2: مكافحة الجسور الحرارية.

3–3: الحماية الحرارية للمباني.

رابعًا: ألواح العزل المُفرَّغة.

خامسًا: نتائج الدراسة والتوصيات.

أولًا: المواد المستخدمة في مجال توليد وخزن الطاقة:

من وجهة نظر الأنظمة التي تسمح بإنتاج الطاقة، فأنه يمكننا النظر في عدة خيارات لاختيار المواد المكوِّنة للخلايا الشمسية، إضافة إلى استعراض عيّنات تجريبية من ألواح الحوائط المزوَّدة بالطحالب.

ويمكن تحويل الطاقة الزائدة المولَّدة من الخلايا الكهروضوئية وطاقة الرياح إلى حرارة قابلة للتخزين، وهذا يوفِّر بديلًا منخفض التكلفة للبطاريات المستخدمة حاليًا في الأسواق، لأن أسعار البطاريات أعلى بأكثر من عشرة أضعاف من أسعار التخزين الحراري، ومن أجل ذلك يُجري الباحثون تجارب على مواد تخزين حراري جديدة يمكن أن تُسخَّن حتى (1000° C)، وأن تحتفظ بالحرارة مدةً أطول.

1-1: إجراء التجارب على السيراميك:

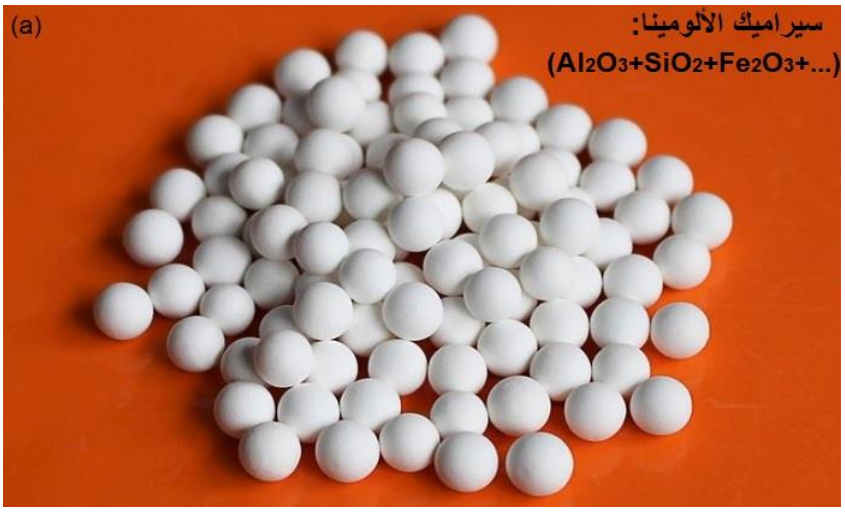
يُجري الباحثون في المركز الألماني لعلوم الطيران (DLR) تجارب على خلطات ملح جديدة، وقد بنوا مرفق اختبار لمراقبة أدائها (Zhuk 2016، كما ورد في Becker، 2012).

وثمة نهج آخر يستخدم مواد سيراميكية، تستطيع تحمُّل درجات حرارة أعلى مما تتحمله المعادن، وهي مواد تُستخدَم منذ أكثر من 100 سنة في قطاع صناعة الفولاذ والزجاج لتخزين الحرارة لفترات بين (15 – 30) دقيقة. ويعمل الباحثون في المركز الألماني لعلوم الطيران (DLR) على جعل السيراميك أكثر متانة وديمومة، ويستطيع تخزين الحرارة لفترة أطول.

في بعض أنواع السيراميك العملي، تخضع المادة لتغيُّر كيميائي عند تسخينها، وتطلق حرارة حينما يتم إثارة رد الفعل العكسي، وذلك وفقًا لما أوضحه ستيفان ريه (2001) مدير معهد بحوث المواد في المركز الألماني لعلوم الطيران (DLR)، وكما يقول: "نستخدم الأكسيد كآلية تخزين كيميائية حرارية" (ص.2).

ويضيف: "الطريقة الأخرى هي استعمال الهيدروجين باعتباره آلية تخزين. فعند درجات الحرارة العالية تكون مواد السيراميك أكثر ألفة للأكسجين من الماء، وهذا يعني أنه عند تعريضها للبخار تنتزع الأكسجين من الماء مخلِّفةً الهيدروجين" (ص.7).

ولجعل السيراميك -الهش عادَة- متينًا بقدرٍ كافٍ لتحمّل مشاق محطة توليد الكهرباء، يعمل العلماء على تدعيمه بألياف تجعله أقل عرضة للتلف. لذا تُسحب ألياف أكسيد الألمونيوم من بكرة عبر ملاط من الماء ومسحوق الألومينا، وبعد نسج الألياف بالشكل المطلوب يجففها الباحثون ثم يقومون بتسخينها في فرن. وفور حفظ الحرارة داخل سيراميك الألومينا يمكن للمهندسين استعماله في أغراض عديدة، وكيميائياً يتكون سيراميك الألومينا من الألومينا (Al_2O_3 - 99.3%) والسليكا (SiO_2 - 0.18%) ومواد أخرى، (الشكل-1).



(الشكل-1): (a) كُرات سيراميك الألومينا بقطر(6-13 mm) عالية التخزين الحراري؛
(b) بعض من تطبيقات سيراميك الألومينا المثالية لدرجات الحرارة المرتفعة.

1-2: السليكون البلوري:

لعقود عدة خلت تفوّق السيليكون البلُّوري على كثير من العناصر في صناعة الخلايا الشمسية. وخلال الفترة الماضية أظهرت نتائج البحث والتطوير أن معامل الكفاءة لعنصر السيليكون قادر على الوصول إلى نسبة 25 ٪ ويمكن أن يصل إلى نسبة 33 ٪ كحدٍ نظري بحساب عرض المنطقة المحظورة. والمنطقة المحظورة هي مجال محدَّد للطاقة لا يستطيع فيه الإلكترون الموجود في بلُّورة مثالية خالية من العيوب، امتلاك أي طاقة فيه.

وأساس تصميم الخلية الشمسية يتمحور في فكرة الاتصال السطحي بين نوعين من السيليكون، فيسقط ضوء الشمس على السيليكون من خلال الجزء العلوي الشفَّاف منه. والقطب الموجب في الخلية الشمسية يصنع عادة من المعدن ويقوم أيضاً بوظيفة الجدار الصلب فيها، أما القطب السالب فهو عبارة ركيزة معدنية تلتصق مباشرة مع رقاقات السيليكون. ويمكن أن يتم تجميع اللوحة عن طريق الجمع بين الخلايا الكهروضوئية من خلال ربطها بالطريقة المتوالية أو المتوازية.

ويختلف معامل الكفاءة في صناعة الخلايا الشمسية المنتجة تبعاً لتنظيم ذرَّات عنصر السليكون كالتالي:

- 15 - 25 % في السليكون متعدد البلورات (Polycrystalline silicon)، ويسمى أيضاً پولي‌سيليكون (Polysilicon)؛
- 12 - 17 % في السليكون أحادي البلورات؛
- 6 – 10 % في السليكون الغير متبلور.

علماً بأن الجمع بين عنصري السليكون مع رقائق تيلوريد الكادميوم (CdTe) يسمح بتحقيق كفاءة 8 -12 ٪. إلا أنّ المخاطر البيئيّة المتعلّقة بعنصر الكادميوم، وإمكانيّة ترسُّبه داخل أجسام الكائنات الحيّة يجعله من العناصر الستّة السامّة والمُسبِّبة للموت على وجه الأرض، ممّا يحدّ من استخدامه في صناعة الخلايا الشمسيّة.

1–3: مُركَّبات من النحاس والإنديوم والسيلينيوم (Cu; In; Se2):

لتصنيع خلايا الألواح الشمسية تستخدم أيضاً تقنية جمع المركبات من عناصر النحاس والإنديوم والسيلينيوم (CuInSe2)، التي وفقاً للتكوين البلوري ينتمي إلى بلور الهالكوبايرايت (Chalcopyrite). وتتحقق الكفاءة العالية في عمل الخلايا الشمسية المتصلة مباشرة بأشباه الموصِّلات عن طريق توسيع نطاق عمل المنطقة المحظورة. إضافة إلى ذلك، فإن مُركَّب النحاس - الإنديوم – الجاليوم ومحاليها الصلبة Cu(In, Ga)Se2 يمتلكون نطاق طيفي واسع لامتصاص الإشعاع الشمسي، ما يعني تحسين ورفع معامل كفاءة التحكم بنسبة تتجاوز 20 ٪.

وهناك الكثير من الأبحاث الجادة التي ذكرها (Rud et. al ، 2012 ، ص. 32) والتي تُكرِّس جهودها في دراسة أنواع الركائز المستخدمة في مكونات رقائق الخلايا الشمسية من عنصر الهالكوبايرايت (Chalcopyrite). وبهذا الخصوص، هناك دراسات مهمة حول إمكانية صناعة تلك الركائز من الزجاج أو من الشرائط المعدنية ورقائق البوليأميد.

وإضافة إلى الأبحاث الجارية لاكتشاف مواد جديدة تعمل كركائز لعناصر الهالكوبايرايت، تجري أيضًا عدة تجارب على مواد جديدة يمكن استخدامها في مكونات البطاريات – بطريقة الاتصال البلوري للبيروفسكايت (Perovskite CaTIO3) (علي سبيل المثال:

مادة البيروفسكايت المصنعة مع هالوجينيديس الرصاص أو زرنيخ الغاليوم - الإنديوم). وبتغيير تركيبة المكونات يمكن أن تتغيَّر عرض المنطقة المحظورة، مما سيزيد من معامل كفاءة عناصر البيروفسكايت. وبنتيجة الأبحاث يتضح أنه من الممكن تحسين كفاءة عناصر السيليكون بنجاحٍ كبير(Zhuk 2016، كما ورد في Stauth، 2011).

ومن المهم الإشارة إليه، أنه بفضل تلك المواد المقترحة ارتفع معامل كفاءة عناصر السيليكون المعروفة بشكل ملحوظ. فعلى سبيل المثال، فأن عناصر البيروفسكايت تستخدم جزء الموجات القصيرة الموجودة بالطيف الشمسي أكثر بالمقارنة مع عنصر السيليكون، الذي يستخدم جزء بسيط من تلك الموجات لأجل توليد الكترونات الطاقة العالية.

وأشار (Wei et. al ، 2010 ، ص. 10) أنه عند وضع طبقة من البيروفسكايت على طبقة من السيليكون، فأنه بذلك يمكن الحصول على تأثير التقاط فعَّال لجزء كبير من الطيف الشمسي. وتتم عملية وضع الطبقات باستخدام تقنيات مثل طريقة التبخر أو كأسلوب طباعة الحبر النفاث.

4–1 الطحالب:

أشارت العديد من الدراسات الحديثة إلى أن الطحالب الخضراء كمصدر للوقود تندرج تحت لواء مصادر الطاقة المتجددة. وتتم عملية البناء الضوئي فيه باستخدام الكربون والمياه في وجود أشعة الشمس ونسب بسيطة من الفوسفات والنترات. وتنتج منه سُلالات متنوِّعة تتراوح في تركيبها بأشكال متشابهة كيميائيًا لسلسلة الهيدروكربونات البترولية (Becker، 2014).

إن الكتلة الحيوية للطحالب يُمكنها التشكُّل لأنواع مختلفة من المواد الكيمائية والبوليمرات (مثل السكريات، الإنزيمات، الأصباغ والمعادن)، أو الوقود الحيوي (مثل وقود الديزل الحيوي، المواد القلوية والكحول)، وقد يكون غذاء وعلف (مثل الأحماض الذهنية غير المشبَّعة، الفيتامينات وغيرها) وأيضًا المركّبات النشطة بيولوجيًا (مثل المضادات الحيوية، مضادات الأكسدة والتمثيل الغذائي) وذلك من خلال تقنيات المعالجة والمحفِّزات المجهرية والتحلُّل الحراري.

من أهم ما يُميِّز استخدام الطحالب كبديل للوقود هو أنها لا تحتاج إلى أراضي صالحة للزراعة، فمن الممكن زراعتها في الصحاري، كما أنها لا تتطلب مياه عذبة وقيمتها الغذائية عالية. وهناك الكثير من الأبحاث المركَّزة على الطحالب الخضراء في جميع أنحاء العالم، وبالأخص في أمريكا الشمالية وأوربا مع عدد كبير من الشركات التي خصّصت مبالغ مالية كبيرة لتطوير الأبحاث المنعقدة على الطحالب الخضراء كمصدر بديل للوقود الأحفوري. وأهم ما يُميِّز الطحالب الخضراء هو:

- إمكانية استخدام المخلفات الصناعية كأساسٍ لإنتاجها (مخلفات الحرق مثل ثاني أكسيد الكربون، مخلفات المياه الصناعية وأيضًا مخلفات محطَّات التحلية).
- تنوّع المخرجات الناتجة، فهناك مخرجات لإنتاج طاقة حرارية (ديزل حيوي، ميثان، ايثانول وهيدروجين)، وهناك منتجات غير حرارية (غذاء، أسمدة، أعلاف حيوانية وغيرها من المواد الكيميائية).
- ليس لها أي تأثير سلبي على البيئة (فهي لا تستخدم أراضي زراعية ولا مياه نقية).

ونذكر طريقة أخرى لاستخدام المواد التي تعتبر مصدرًا من مصادر الطاقة وقد تم استخدامها من قبل مطورين ألمان، (الشكل-2)، (Zhuk 2016، كما ورد في Rud ، 2012).

(الشكل-2) مبنى تجريبي مغطًّى بحوائط ثانوية تنمو بداخلها الطحالب، وقد ظهر في معرض البناء في مدينة هامبورغ: (a) واجهة المبنى الأمامية؛ (b) ألواح الحوائط الثانوية وبداخلها الطحالب.

توضع الطحالب في ألواح مصممة خصيصًا لواجهة المبنى الثانوية، حيث أنها تتطور وتتكاثر حتى يتم جمعها، وبعد ذلك يتم إزالتها من بيئتها المعتادة وتوضع في جهاز خاص، حيث تقوم بإنتاج الغاز الحيوي أثناء عملية التخمير. وللعلم فإن إنتاج الطحالب من الغاز الحيوي يتجاوز كثيرًا عدة أنواع أخرى من النباتات التي تنمو في التربة.

بالإضافة إلى ذلك، فإن الواجهة تقوم بجمع الطاقة عن طريق امتصاص الضوء الذي لا تستخدمه الطحالب، ثم توجه هذه الطاقة إلى تسخين المياه شتاءًا أو يمكن أن تتراكم بمساعدة المبادلات الحرارية في نظام حفظ الطاقة في المبنى. وبالمحصلة يتشكل نهج تسلسلي متكامل حول كيفية استخدام الطاقة التي تجمعها الواجهات الجنوبية الغربية والجنوبية الشرقية لهذا المبنى التجريبي (Rud، 2014).

ثانيًا: العزل الحراري للمباني باستخدام مواد خام طبيعية:

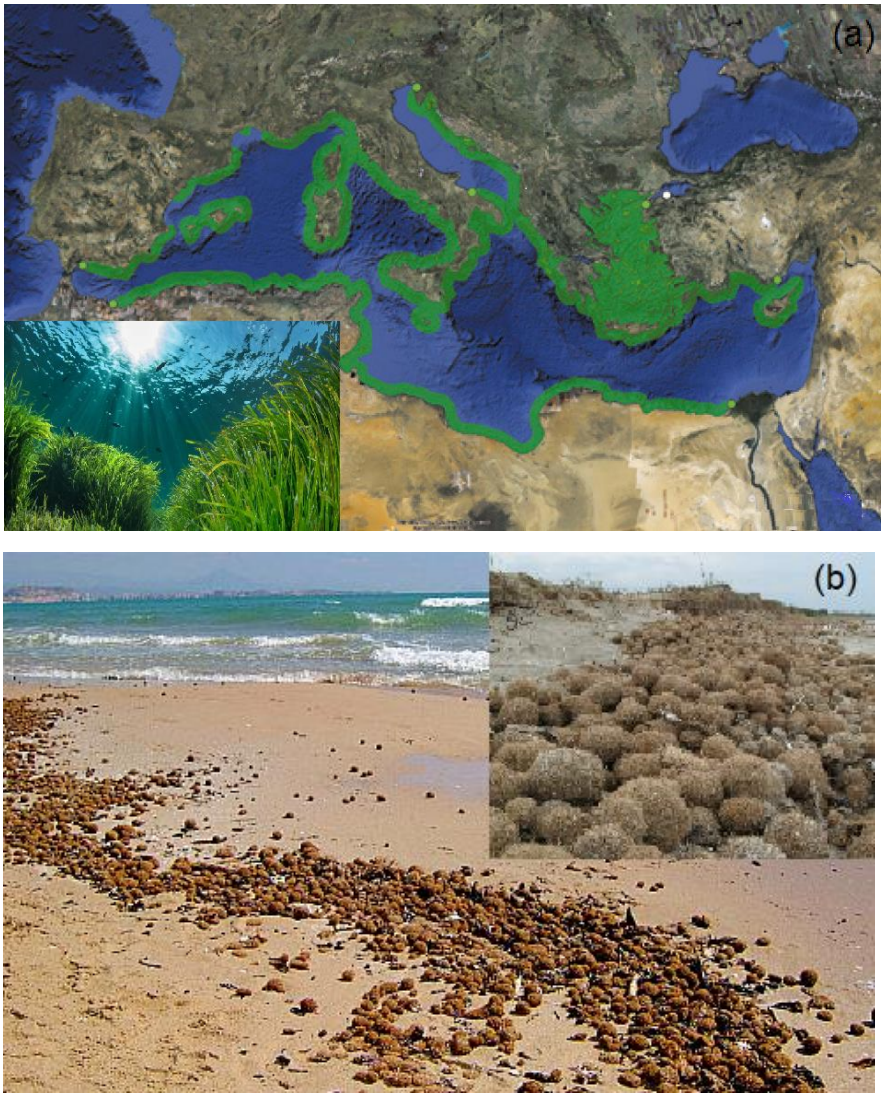
إن ضمان سلامة مواد العزل الحراري عالية الكفاءة طوال فترة عملها وعدم تلفها، يعتبر احد الاتجاهات الرئيسية الذي يجعل من استخدامها ضروريًا ومهمًا باستمرار، لاسيما من وجهة نظر الحفاظ على البيئة، فإن انتشار مواد الخام الطبيعية المتجددة أصبح اتجاهًا واعدًا ضمن مواد البناء المستخدمة في أنظمة العزل الحراري.

ومن خامات مواد العزل الحراري الطبيعية المتواجدة في الأسواق باستثناء القش وكثل الخث، هناك أيضاً مواد عزل حراري تأخذ شكل ألواح ولفائف مصنوعة من ألياف السليلوز أو القطن، القنب، ألياف الكتّان، أصواف الأغنام، ألياف جوز الهند، القصب، الكتّان وحتى من أعشاب البحر(نبات البوزيدونيا) (Becker، 2014).

2-1: استخدام نبات البوزيدونيا:

إن نبات البوزيدونيا (Posidonia oceanica) المعروف عادة باسم عشب نبتون أو حوض البحر الأبيض المتوسط هو نوع من النباتات البحرية الموجودة في البحر الأبيض المتوسط وحول الساحل الجنوبي الأسترالي وتستعمل كعازل حراري جيد. هذا النوع من الأعشاب مهدد بالاندثار في كثير من المناطق (الشكل-3).

أوراق هذه النبتة وأعشابها عادةً ما تقذف بها أمواج البحر في فصلي الخريف والشتاء وبداية فصل الربيع، فتجدها مرمية بأعداد كبيرة تتراكم على طول سواحل البحر الأبيض المتوسط وعلى شواطئ جنوب أستراليا في شكل كُرات غريبة يتراوح قطرها من ($2 - 10$ cm)، (الشكل-3).



(الشكل-3) نبات البوزيدونيا (Posidonia oceanica) المعروف عادة باسم عشب نبتون أو حوض البحر الأبيض المتوسط: (a) مناطق تواجده وانتشاره؛ (b) تجمعهٌ وتراكمهُ على شكل كرات غريبة على الشواطئ.

إن نبات البوزيدونيا لم تجد لها استخدامًا مهمًا في الصناعات من قبل، إلاّ في مجالات بسيطة ارتبطت بمواد التغليف والتعبئة وكمادة خام للأقمشة الخشنة، وكانت هناك أيضًا حالات محدودة لاستخدامها في تغطية السقوف في بلدان شمال أفريقيا.

أما في الوقت الحاضر فيتم استخدام الألياف المستخرجة من كُرات البوزيدونيا كمادة عزل حراري فعّالة، حيث يبلغ متوسط كثافتها ($65 - 75\ kg/M^3$) ومعامل توصيلها الحراري($0.0388\ WT/M^2$).

وهناك مؤشر تشغيلي مهم جدًا لمواد العزل الحراري المستخرجة من الأعشاب البحرية، وهو انخفاض نسبة الأملاح في مكوناتها (0.5 – 2.0 %)، فضلاً عن غياب الخصائص السلبية والعدوانية فيها من حيث التآكل الكيميائي وظهور الصدأ.

وبتقدير دورة الحياة لمادة نيبتوثيرم (NeptuTherm®) المُصنّعة أساسا من ألياف نبات البوزيدونيا، جعل الخبراء المتخصصون من معهد التكنولوجيا الكيميائية من جمعية فراونهوفر (pfintztal - ألمانيا) يؤكدون بأن مؤشرات تكاليف الطاقة الأولية لإنتاج تلك المواد تُقدّر ب ($37 - 50\ kWT\ .\ hour/M^3$)، وذلك اعتماداً على نوع التكنولوجيا المستخدمة في الإنتاج، (جدول 1).

ووفقًا لرأي مكتشف مادة نيبتوثيرم البروفيسور ريتشارد ماير، فإن التقديرات تشير إلى أن تكاليف الطاقة لدورة حياة كاملة للمادة المكونة من الألياف الطبيعية أقل ب 30 مرة من نظائرها المصنوعة من الصوف الزجاجي أو الحجري (Was ist NeptuTherm ، 2016).

جدول (1) يوضح الخصائص الفيزيائية والطبيعية لمادة نيبتوثيرم (NeptuTherm®):

الموصلية الحرارية	λD < 0,039 W/mK – Bemessungswert < 0,046 W/mK
الكثافة	$65 - 75\ kg/m^3$
سعة تخزين الحرارة	c = 2.502 J/gK

الموصلية الحرارية	λD < 0,039 W/mK – Bemessungswert < 0,046 W/mK
انتشار البخار	1 - 2
درجة الحماية من الحرائق وفقًا لـ DIN 4102	قابلة للاشتعال عادة - B2
مقاومة العفن	1
قدرة امتصاص الماء	1,6 - 3,4 kg/kg
محتوى الطاقة الأساسي يدوياً	37 kWh/ m^3
محتوى الطاقة الأساسي المحقون	50 kWh/ m^3
نسبة الملوحة	Ca: 0,5 – 2 %

2–2: مواد عازلة من الكتان:

من خلال التجارب التطبيقية تحصل الكتَّان على شهرة واسعة بين مواد العزل الحراري المتواجدة في الأسواق، حيث تجده بأسماء وعلامات تجارية مختلفة مثل: ("Thermolan", "ekoterm", "Ecotain", "Ekolen-Ekoplat" "Val-Flax").

من المعروف أن ألياف الكتان هي مطهّر طبيعي، وهذه الخاصية تحتفظ بها المواد التي تحتوي على مثل هذه الألياف. وإذا ما علمنا بخاصية ارتفاع معدلات نفاذية البخار فيها، عندئذٍ يمكن السماح لمادة العزل الحراري تلك أن تعمل كمُرشِّح بامتياز، اعتمادًا على موقعها وباستخدام مواد البناء المناسبة، (الشكل-4).

إن ألياف الكتّان وعلى عكس العديد من أنواع الألياف الأخرى تعتبر مضادة للكهرباء الساكنة. فمنتجات العزل الحراري المصنوعة من ألياف الكتّان يمكن أن تحتوي على مكونات تمتلك صفات الالتصاق والترابط (كالنشا مثلاً)، وقد تُصنّع بحيث تكون خالية من مثل تلك المكونات. وفي هذه الحالة يمكن تثبيت ألياف الكتان مع بعضها البعض بواسطة خاصية الاحتكاك.

تتيح التكنولوجيا الحديثة بجعل عملية إنتاج الحصير من الكتّان أقل استهلاكًا للطاقة. ففي بداية الأمر تتم إزالة القشرة الخارجية والجزء الخشبي ميكانيكيًا دون الفصل بين العوارض الليفية، مما يقلِّل من الحاجة إلى الالتصاق والترابط.

ومن العناصر الهامة في هذه التكنولوجيا هو التشكيل الهوائي لحصائر الكتّان وما يعقبها من عملية تثبيت حراري. وتستخدم تقنية التشكيل الهوائي بدلًا من معدّات التمشيط، التي هي جزء من التكنولوجيا التقليدية (Borisov، 2003).

(الشكل-4): (a) نبات الكتّان؛ (b) لفائف الكتّان العازلة للحرارة؛ (c) ألواح الكتّان؛ (d) استخدام الكتّان كعازل حراري في المباني.

3–2: مؤشرات المواد العازلة للحرارة المُصنَّعة من الألياف النباتية:

لعل المؤشِّر الأكثر أهمية للمواد المكونة من ألياف طبيعية هو قدرتها الحرارية المحددة، ويظهر تأثير هذا المؤشِّر بوضوح على مرافق الراحة في فضاءات المبنى نظرًا لارتفاع القصور الحراري فيها. ومن وجهة النظر هذه، فإن التغيُّر الحاصل في درجة الحرارة في فضاءات المبنى صيفًا وشتاءًا يحدث بتدرّج وسلاسة، لأن أساس مواد العزل المستخدمة هو ألياف طبيعية تبلغ سعتها الحرارية حوالي (800 J/(kg•k)).

ويبيّن الجدول (2) المؤشّرات الرئيسية لثلاثة أنواع من المواد الطبيعية العازلة للحرارة ذات الأساس النباتي، والتي تسمح لنا بالمقارنة بين خصائصها الفيزيائية والطبيعية عند اختيارها للاستخدام في مشاريع محدد (Zhuk 2016، كما ورد في Borisov، 2003).

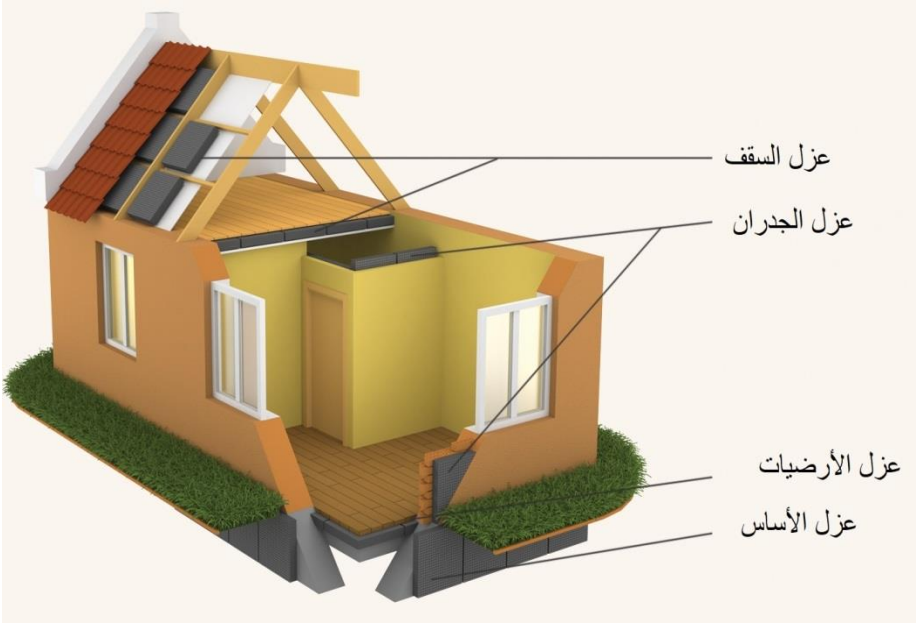
جدول (2) يوضِّح الخصائص الفيزيائية والطبيعية لعدد من مواد العزل الحراري المصنعة من الألياف النباتية:

الخصائص الفيزيائية والطبيعية	مواد من ألياف الأعشاب البحرية لنبتة البوزيدونيا (Posidonia oceanica)	مواد من ألياف الأعشاب البحرية لحشيشة الأنقليس (Zostera marina)	ألواح مصنوعة من ألياف الكتّان
متوسط الكثافة، kg/m^3	65-75	25-85	25-34
معامل الموصلية الحرارية، W / m•K	0,0388	0,038-0,087	0,034-0,037
معامل نفاذية البخار، Mg/ (M•h•Pa)	1-2*	-	0,4 Mg/ (M•h•Pa)
السعه الحرارية المحددة، J/kg • K	2500	1550-1700	1500
مدى القابلية للاحتراق،	-	تحترق	G1
مدى القابلية للاشتعال،	B2**	B1	-

*يتوافق مع معامل مقاومه نفاذية البخار المُحدّد وفقاً للمعيار(ISO 10456:2007) مواد ومنتجات البناء - الخصائص الحرارية - قيم التصميم المجدولة وإجراءات تحديد القيمة الحرارية المعلنة والتصميمية.

**درجة السلامة من الحرائق تحدد وفقاً للمعيار(DIN 4102)

إن استخدام خامات المواد النباتية كأساس لمواد العزل الحراري والسير في طريق تحسين خصائصها يعتبر هو الأفق القادم في تطوير سوق مواد العزل الحراري (الشكل-5).



(الشكل-5) العزل الحراري للمبنى باستخدام خامات المواد النباتية.

وفي الوقت نفسه، تجدر الإشارة إلى أن هناك عامل سلبي - وقد يكون كارثي - عند استخدام خامات المواد النباتية فقط، وهي أن التوجه والرغبة في استبدال الخامات المتعدِّدة لمواد العزل المستخدمة حاليًا - بالرغم من سلامتها - بالخامات الطبيعية فقط، يمكن أن يكون له تأثير سلبي على البيئة في المستقبل. فعلى سبيل المثال، عند تصنيع مادة البوليسترين من الزيوت النباتية (مثلا: من زيت الذرة)، فعندها ستكون الكمية المطلوبة من الذرة لعملية الإنتاج الصناعي تلك كبيرة لدرجة أنها قد تتطلَّب إزالة غابات بأكملها وإدخال كمية كبيرة من المواد الكيميائية الضارة في التربة، ما يؤدي في المُحصّلة إلى حدوث كارثة بيئية (Borisov، 2003).

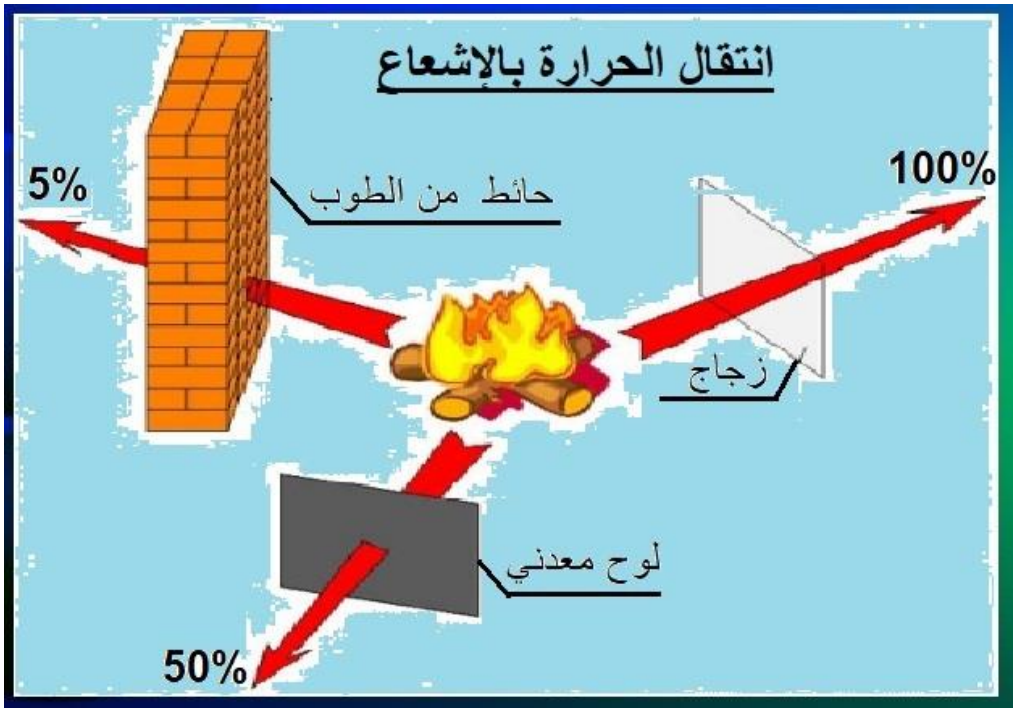
ثالثاً: طرق الحماية المباني من الانتقال الحراري:

كما نعلم بأن انتقال الحرارة يكون من اتجاه الطاقة العالية (الساخنة) باتجاه الطاقة المنخفضة (الباردة). ويمكن تعريف انتقال الحرارة بأنه انتقال الطاقة بين شيئين أو أكثر ذات درجات حرارة مختلفة من خلال التوصيل أو الحمل الحراري أو الإشعاع أو كلها مجتمعة. فانتقال الحرارة بواسطة الحمل الحراري يكون نتيجة حركة الجزيئات بشكل جماعي.

أما انتقال الحرارة من خلال التوصيل فإنه يتحقق في بيئة ثابتة، بفضل الاهتزازات الشبكية للجزيئات المتلامسة بعضها ببعض، فيتم انتقال الحرارة من جزيء إلى الجزيء التالي وهكذا. ونقل الحرارة عن طريق التوصيل يتم بواسطة مواد ذات طبيعة مختلفة من حيث العزل وقدرة امتصاص الحرارة. هذه المواد التي تُشكّل "جسرًا حراريًا، تتسبَّب في انتقال الطاقة الحرارية بشكل لا يمكن إدراكها بالعين المجرَّدة. فلا يمكن ملاحظة الجسور الحرارية إلا من خلال كاميرات حرارية تلتقط الأشعة تحت الحمراء التي لا يمكن كشفها بالعين المجرّدة ثم تحوّلها إلى قيم رقمية يمكننا أن نراها على الشاشة .إن فصل أو منع اتصال الأسطح المتصلة بالبيئة الداخلية والخارجية مع بعضها البعض بشكل أساسي يقضي على الانتقال الحراري أو يخفضه إلى أدنى مستوى (Johansson، 2014).

3-1: مكافحة الانتقال الحراري بالإشعاع:

الإشعاع الحراري هو احد وسائل انتقال الطاقة الحرارية من مادة إلى أخرى، وتعبر الطاقة المنبعثة من المادة في الفراغ المحيط بها، أو في الوسط الذي توجد فيه، فقد يكون صلبًا، أو سائلًا، أو غازيًا، أو على شكل فوتونات وموجات كهرومغناطيسية. فعند ارتفاع درجة حرارة المادة تنطلق ذرّاتها وجزيئاتها مما يُسبب اصطدامها معاً نتيجة لحركتها، وبالتالي فإن حركتها تُنتج إشعاعًا كهرومغناطيسيًا يسير بخطوط مستقيمة ويحمل جزءاً من الطاقة، وكلما ارتفعت درجة الحرارة ارتفعت كفاءة الإشعاع،(الشكل-6).



(الشكل-6) يوضح نسبة انتقال الحرارة بالإشعاع عبر الأجسام الصلبة.

تنتقل موجات الإشعاع الحراري في الفراغ بسرعة الضوء، وبالتالي تعد أسرع وسيلة للانتقال الحراري مقارنةً بالطرق الأخرى. لهذا يُمكن استغلال الإشعاع الحراري في إنتاج الحرارة والطاقة، على عكس الحرارة القادمة من خلال طرق التوصيل الأخرى. ويُمكن إنجاز ذلك من خلال تسليط الإشعاع الحراري باستخدام مرايا مُجمّعة، كما يحدث في الخلايا الشمسية والتي ينتشر استخدامها بشكلٍ كبير في الوقت الحالي كشكل من أشكال الطاقة البديلة.

إن من وجهة نظر تحسين كفاءة عمل العازل الحراري هو مكافحة انتقال الحرارة عن طريق الإشعاع. وعلى وجه الخصوص كان ذلك واضحًا في الحد من فقدان الحرارة بشكل كبير بعد التغييرات التي حدثت في تكوين رغوة البوليسترين. فإذا كان استخدام البوليسترين ذو الرغوة التقليدية (Polystyrene foam) أو مقذوف البوليسترين كمادة عزل حراري كان يمكن أن يُحقق نتائج مميزة في خفض عملية التوصيل الحراري ونفاذية الحرارة عبر هيكل المبنى، فأنه في الوقت الراهن يتم استخدام البوليسترين الرغوي بشكل متزايد مع جزيئات الجرافيت المدمجة في جدران الخلايا الأقل سمكًا. وبسبب انعكاس الأشعة تحت الحمراء على مسامات المواد التي تحتوي على

جزيئات الجرافيت، فأنها بذلك تُقلّل من عملية التوصيل الحراري بنسبة تصل إلى 20٪ أقل مما هو عليه في رغوة البوليسترين العادية. ونظرًا لعملية خفض التوصيل الحراري، فإنه من الممكن الحد من استخدام مواد عازلة باهظة الثمن في مكونات الحوائط بنسبة قد تصل إلى 50٪، وكنتيجة لعملية خفض المكونات سيكون وزن الحائط منخفض وسماكته أقل.

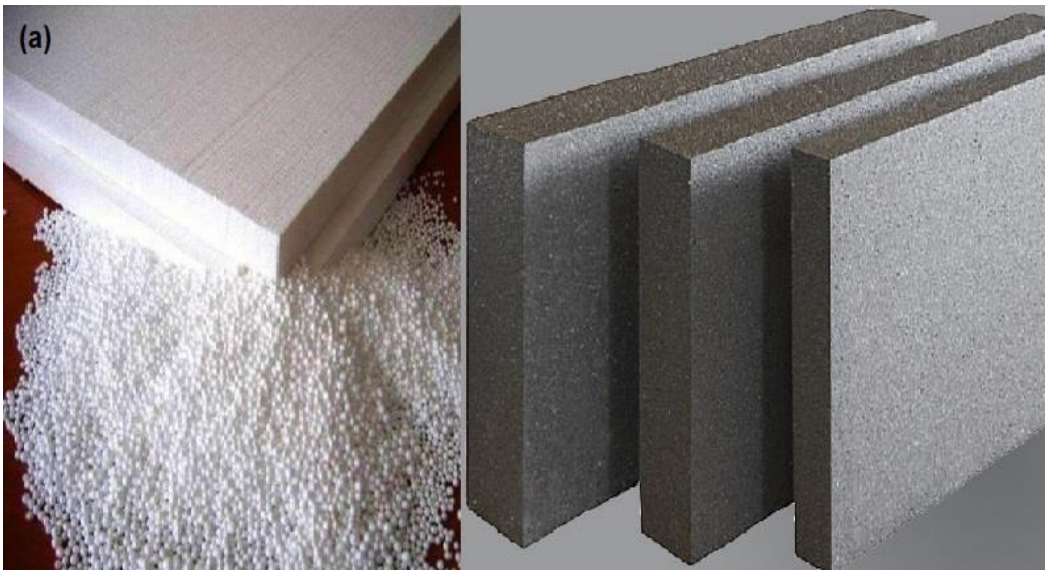
وفي هذا الصدد، قام خبراء التدقيق في شركة (TUV Rheinland، كولونيا - ألمانيا) بإجراء حسابات للأداء البيئي لمادة النيوبور(Neopor®)، وأظهرت نتائج الحسابات أنه بالنسبة لكل متر مربع من نظام العزل الحراري الخارجي، فإن البلاستيك الرغوي الذي يحتوي على جزيئات الجرافيت تظهر فيه مزايا إيجابية ويتفوق على العازل الحراري المصنوع من الصوف المعدني من حيث التكاليف والآثار على البيئة، مع الأخذ بعين الاعتبار دورة حياة المنتج (Neopor® Professional Brochure، 2001).

جدول (3) يوضح الخصائص الطبيعية والفيزيائية لأنواع مختلفة من مادة العزل الحراري لمادة النيوبور (Neopor®):

الخصائص الطبيعية والفيزيائية	Neopor - 15	Neopor - 20	Neopor - 25	Neopor - 35
متوسط الكثافة، kg/m^3	до 15	15,1...20,0	20,1...25,00	25,1...35,0
قوة التحمل عند الضغط في حالة التشوّه الخطي 10%، MPa ، لا تقل عن	0,05	0,10	0,16	0,20
قوة التحمل عند الانحناء ، MPa ، لا تقل عن	0,07	0,12	0,18	0,25
التوصيل الحراري في الحالة الجافة عند (25 ± 5) °C ، (W / (m·K ، لا يزيد عن	0,034	0,032	0,032	0,031
وقت الحرق الذاتي للألواح ، مع ، لا يزيد عن	4	4	4	4
امتصاص الماء في 24 ساعة ، ٪ من حيث الحجم ، لا يزيد عن	3	2	2	1,8
نفاذية بخار لا تقل عن Mg	0,05	0,05	0,05	0,05
سعة حرارية محددة، KJ/kg °C	1,34	1,34	1,34	1,34

وأصبحت متطلبات جودة العزل الحراري للمباني أكثر صرامة باستمرار، وفي نفس الوقت هناك بعض الحالات التي لا يُسمح فيها بوجود سماكة مفرطة للجدران. وفي مثل هذه الحالات تصبح الحاجة إلى استخدام مواد عزل جديدة مطلب حتمي.

يستخدم النيوبور في كل مكان، حيث يتم استخدام البوليسترين التقليدي. ويمكن استخدام النيوبور في الظروف المناخية الباردة لغرض التدفئة وفي المناخ الحار لتكييف الهواء. ويستخدم كذلك في عزل الأرضيات والسقوف، ويمكن كذلك استخدامه في الواجهات الرطبة ولغرض التهوية وفي العزل الداخلي أيضًا، (الشكل-7) (Neopor® Professional Brochure، 2001).



(الشكل-7) : (a) كُرات البوليسترين وألواح العزل الحراري النيوبور (Neopor®)؛ (b) استخدام ألواح النيوبور في عزل الحوائط؛ (c) استخدام ألواح النيوبور في عزل السقوف.

2–3: مكافحة الجسور الحرارية:

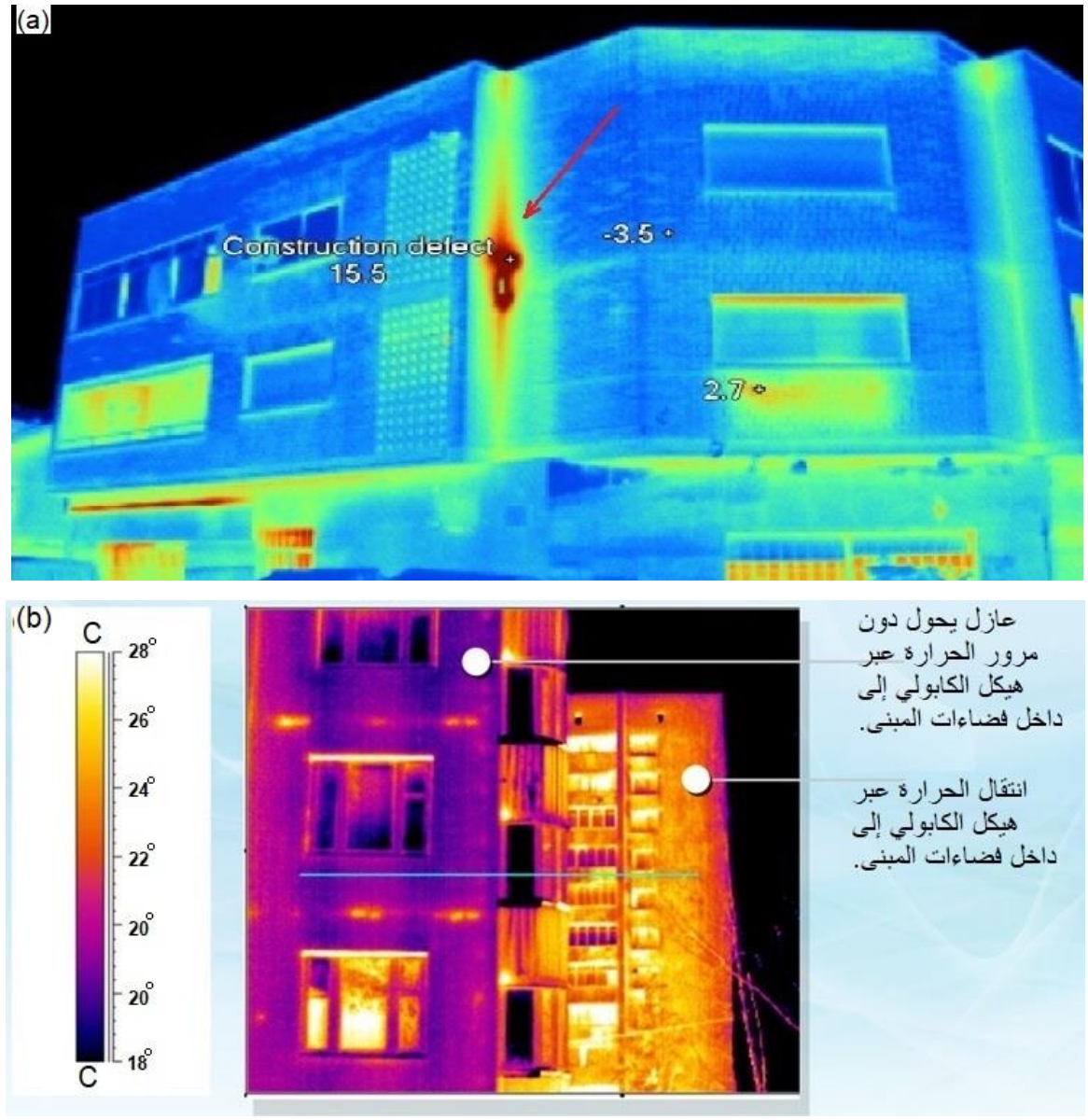
يمكن تعريف انتقال الحرارة من خلال التوصيل بأنه انتقال للطاقة بين عنصرين ثابتين متلاصقين تختلف درجات حرارتهما. ويتم ذلك نتيجة اهتزاز الجزيئات المُكوّنة للمادة تحت تأثير الحرارة، فيتشكّل ناقل حراري بين الجزيئات تنتقل الطاقة الحرارية خلاله إلى بقية العناصر المتلاصقة. إذن يمكن القول بأن طبيعة الجسر الحراري الذي يتشكّل داخل فضاءات المبنى وعناصر الكابولي الخارجة منه هو "نقل الحرارة من خلال التوصيل".

إن الاتجاه الرئيس في توفير الحماية الحرارية للمباني يتمثل في مكافحة الجسور الحرارية. ويعتمد حل هذه المشكلة على عدة أمور: شكل المبنى وأسلوب بنائه، مراعاة وجود الفواصل الإنشائية، نظام الربط والتحام عناصر المبنى المختلفة، عدم انتهاك سلامة الطبقات العازلة، الخ.

وهناك عدة طرق رئيسة للتعامل مع الجسور الحرارية منها:

- تركيب جدران إضافية ثانوية مفصولة حراريًا عن الجدار الرئيسي؛
- الفصل الحراري للوحدات المنفصلة عن المبنى، والعناصر الإنشائية البارزة خارجه.

والعزل الحراري للوحدات المنفصلة وعناصر الكابولي خارج المبنى (على سبيل المثال: مكونات الشرفة) يتطلب نفقات جدّية، ويمكن تنفيذ العزل باستخدام عناصر خاصة تسمح بإنشاء حاجز يحول دون مرور الحرارة عبر هيكل الكابولي إلى المبنى، (الشكل-8) (Johansson، 2014).



(الشكل-8) التصوير الحراري يوضّح: (a) خلل إنشائي في منطقة التحام عناصر إنشائية لمبنى سكني مما أدّى لفقدان الحرارة؛ (b) انتقال الحرارة عبر عناصر الكابولي الخارجية إلى المبنى بطريقة الجسور الحرارية.

3–3: الحماية الحرارية للمباني:

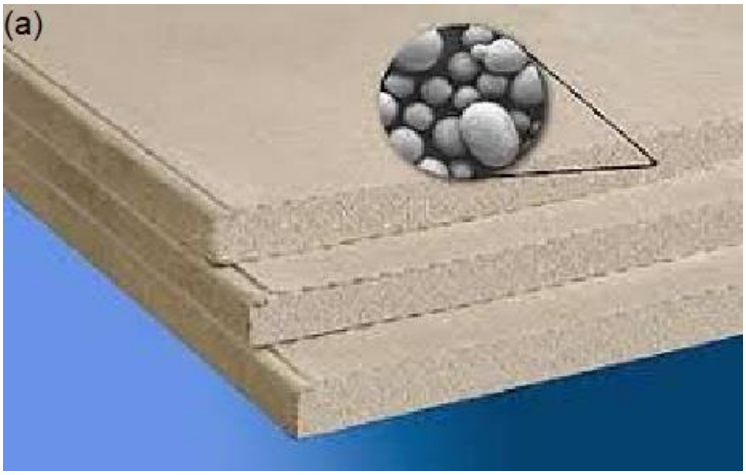
إن الاتجاه الحديث في ضمان كفاءة الطاقة للمباني هو الحماية الحرارية للمباني صيفاً. وهذه المشكلة يمكن النظر إليها من وجهة نظر علم المواد. أي أنه من الممكن تجميع الطاقة الإضافية أثناء ارتفاع درجة حرارة المباني في فترة الصيف وتخزينها بفضل وجود مواد لها مكونات تمتلك صفة التأقلم مع التغيّر في درجات الحرارة مثل: البارافينات ومشتقاتها وهيدرات الملح. وهذه المواد تختلف عن بعضها البعض من حيث نطاقات درجة حرارتها وأيضاً في خصائص حفاظها على حرارتها الكامنة خلال فصول السنة المختلفة، ويُطلق عليها "بالمواد متغيرة الأطوار". تلك المواد تمتلك قدرة إطلاق الطاقة الكامنة والمخزّنة فيها عند التغيّر في درجة الحرارة الخارجية. فدرجة حرارة تغيّر أطوار شمع البارافين مثلاً هي (23 – 26 °C)، فإنه بإمكاننا إذاً الحفاظ على البرودة في فضاءات المبنى باستخدام مواد بناء يمكن إضافة مادة البارافين إلى مكوناتها (Johansson، 2014).

وقد وجد الباحثون الألمان ((Zhuk 2016، كما ورد في Johansson، 2014) طريقة للاستفادة من المواد متغيرة الأطوار التي تُخزّن الحرارة "الكامنة" عن طريق استخدامها في مكونات هياكل المباني. فقد اقترح موظفو معهد أنظمة الطاقة الشمسية في ألمانيا (F.Wittver و P.Shossig) فكرة بسيطة، كان فحواها أنهم قاموا بوضع جزيئات صغيرة من تلك المادة داخل كبسولات صغيرة، ثم طوّر الباحث (E. Jans) تلك التقنية ووجد أيضًا أن شمع البارافين النقي هو المادة المناسبة لذلك. فوضع المطورون أصغر قطرات يمكن الحصول عليها من الشمع النقي في كرات خزفية صغيرة، لا يتعدّى قطرها بضعة ميكرونات. وبعد الحصول على الميكروكبسولات

الصغيرة من شمع البارافين تمكّنوا من وضعها بسهولة في مكونات مواد البناء المختلفة (مثل: ملاط (معجون) الحوائط الجبسي، الإسمنتي والأكريليك، ألواح الجبس إسمنتية، البلاطات الخرسانية المُفرّغة وغيرها).

وتتميَّز هذه الميكروكبسولات بمتانة عالية، وبالتالي فإن إضافتها إلى مواد البناء لا تتطلب أي قيود أو تغييرات في تكنولوجيا العمل، كما أنها لا تتأثر أبدًا بأي عمليات ميكانيكية مثل الاهتزازات وحفر الثقوب وتثبيت المسامير وغيرها. وبفضل المساحة الإجمالية الكبيرة – نسبيًا - لسطحها الخارجي، فان هذا يجعل العديد من الميكروكبسولات قادرة على تبادل الطاقة بسرعة مع البيئة. فالحرارة التي تمتصها خلال النهار تقوم بإطلاقها ليلًا، مما يُلطّف من تقلبات درجات الحرارة داخل فضاءات المبنى ويجعل المناخ الداخلي متوازنًا ومريحًا. وهذه المكونات مثل البارافينات (أو الشمع) في ميكروكبسولات البوليمر يمكن استخدامها لتوفير الحماية ضد تسرب الطاقة إلى الخارج، لأنها مواد متغيرة الأطوار وهي_قادرة على إدراك التغيرات خلال فصول السنة المختلفة أثناء حدوث التغيرات في درجات الحرارة. وهذا بدوره سيؤدي إلى تهيئة بيئة داخلية مريحة (مرافق راحة) مع انخفاض ملحوظ في تكلفة تكييف الهواء، وفي (الشكل-9) هناك أمثلة على بعض المباني التي استخدم في تصميمها الداخلي مواد بناء بتقنية (Microcapsule) ميكروكبسولات البوليمر مع البارافين ميكرونال® (Micronal® PCM، 2010).

وبالتالي، فإنه من أجل تحسين كفاءة الطاقة في المباني، هناك العديد من الإجراءات العملية والحلول الهندسية التي يجب إتّباعها كالحلول المعمارية وأفكار التخطيط العمراني، النظم الهندسية المستخدمة، إضافة إلى ذلك فإن علم المواد له تأثير فعّال في إيجاد الحلول المناسبة للمواقف الصعبة التي قد تصادف المهندسين عند تصميم مباني جديدة أو إعادة تأهيلها.



(الشكل-9): (a) تقنية ميكروكبسولات البوليمر مع البارافين ميكرونال® مثال على الألواح الذكية (smartboard)، وهي عبارة عن ألواح من الجبس كارتون بحبيبات الميكرونال من تصميم شركة (knauf) الألمانية، بقدرة حرارية للوحين من الجبس (الجص) بسماكة (15 mm) لكل لوح، تعادل القدرة الحرارية لحائط من الخرسانة بسماكة (14 cm) أو جدار من الطوب بسماكة (36.5 mm)؛

(b) منزل تجريبي يتكون من ألواح ذكية معزولة عن الهيكل، والغرف عبارة عن كتل سابقة التجهيز مزوَّدة بخزائن وأثاث قابلة للطي ويمكن استخدامها على حد سواء كمكتب أو كشقّة سكنية مع فتحة في السقف للطائرات بدون طيّار(Solar Decathlon 2018).

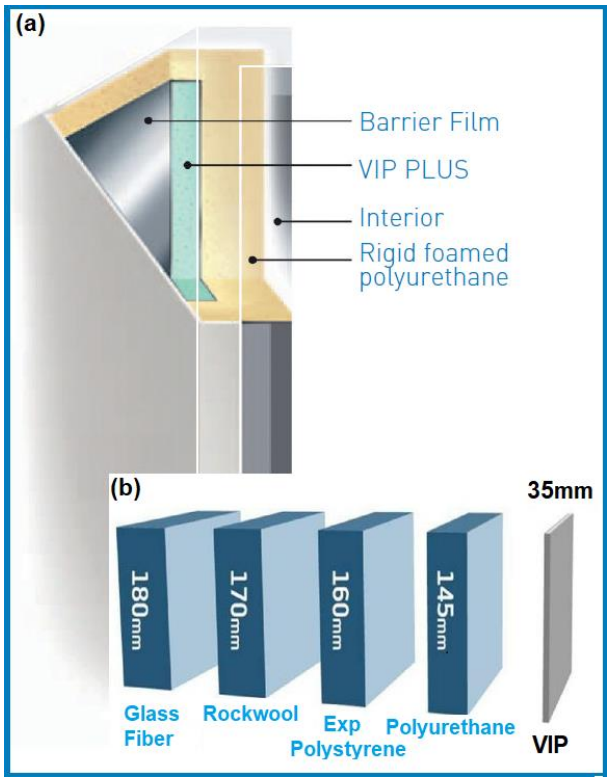
رابعاً: ألواح العزل المُفرّغة:

إن من الاتجاهات السائدة في البناء الحديث هو زيادة كفاءة المواد المستخدمة في العزل الحراري من حيث الطاقة والبيئة. وإذا كان الحديث في السابق يدور حول أن الهواء يعتبر أسوأ الموصلات الحرارية بمعامل توصيل حراري ($\lambda = 0.022\ W / (m \cdot K)$)، فإن في الوقت الحاضر هناك خبرات ناجحة في استخدام الألواح الفراغية. وحاليًا في أسواق مواد البناء أصبحت ألواح العزل الفراغي (Vacuum Isolation Panel - VIP) المحشوّة بمسحوق ثاني أكسيد السيليكون (SiO_2) تعد واحدة من أكثر المواد الفعّالة للعزل الحراري والأكثر انتشارًا ورواجًا، وتُعرض هذه المواد في السوق من قِبل عدد كبير من الشركات المُصنِّعة. والتركيب الهيكلي لألواح العزل الفراغي مبنيًا على مبدأ عمل الترمس (قارورة حفظ الشاي)، ويتضمن نواة مكوّنة من مولد للحرارة دقيق المسامية مصنوع من ثاني أكسيد السيليكون، ومن أجل الحفاظ على شكلها وقوتها يتم وضعها في وعاء مغلّف مصنوع من الألياف القوية (Institut fur Energie، Dezember 2003، ص. 21 - 29).

بعد ضغط ثاني أكسيد السيليكون المولد للحرارة يتم شفط الهواء تماماً، بعدها تُلحّم عناصره بإحكام ويُغطى بغلاف خارجي هو عبارة عن غشاء مصنوع من مادة البوليمر المعدنية، (الشكل-10).

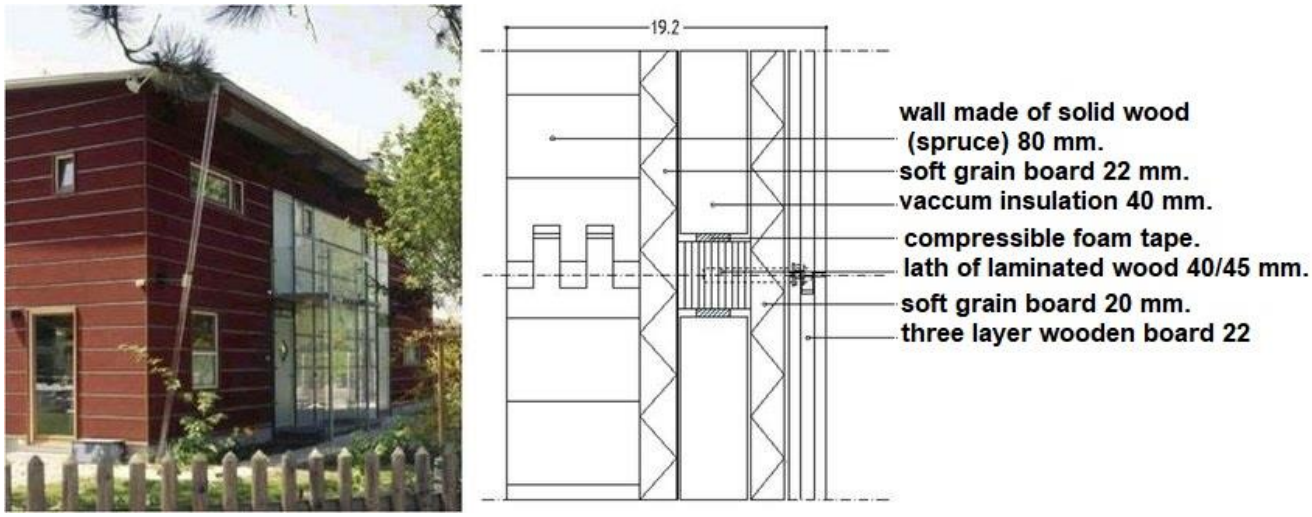
(الشكل-10) يوضِّح التركيب الهيكلي لألواح العزل الفراغي (VIP).

ويبلغ معامل التوصيل الحراري لألواح العازل الفراغي: ((0,0022 WT/(M•k))، وهذا يعني بأن هذه الألواح قادرة على إنشاء حماية خارجية للمباني أصغر حجمًا (سماكة) بمقدار ستة أضعاف مقارنة بالمواد عازلة الحرارة التقليدية التي تستخدم في جدران المباني، (الشكل-11). ولفترة طويلة من الزمن، كان العيب الرئيس لألواح العزل الفراغي (VIP) هو حساسيتها تجاه التأثيرات الميكانيكية. فعند أي ضغط ميكانيكي تتشوّه وتفقد الكثير من فعّاليتها. وقد أُبتكر نظام الساندويتش الذي سمح بتقليل الضرر الميكانيكي المحتمل لهذه الألواح أو استبدالها السريع في حالة فقدانها لكفاءتها (Institut fur Energie، Dezember 2003).



(الشكل-11): (a) استخدام ألواح (VIP) في مكونات جدران المباني؛ (b) سماكة ألواح العزل (VIP) مقارنة بمواد العزل الحراري الأخرى.

كما أنه بالإمكان استخدام وسائل حماية أخرى ضد التأثيرات الميكانيكية. ففي (الشكل-12) مثالًا يوضح استخدام ألواح العزل الفراغي (VIP) في مبنى جديد بمدينة ميونخ الألمانية، وحمايته بشرائح خشبية. وكانت النتيجة بأن شرائح الخشب الموجودة في مكونات الجدران لم توفّر الحماية لألواح العزل (VIP) فحسب، بل رفعت من مستوى مقاومة النقل الحراري الكلّي في حوائط المبنى. وفي حالة إلحاق الضرر بألواح العزل (VIP) وفقدانها لفعّاليتها، فإنه يمكن استبدالها بسهولة. كما أنها وبحكم قلة سماكتها، فإنها تزيد من مساحة الفضاءات الفعلية المستخدمة في المبنى بمقدار (15 M2)، بالمقارنة مع مواد العزل الحراري التقليدية الأخرى.



(الشكل-12) أسلوب البناء الحديث في ميونيخ (ألمانيا)، حيث يتم حماية ألواح العزل الحراري بشرائح من الخشب.

خامساً: نتائج الدراسة والتوصيات:

نتائج الدراسة:

يساعد الاستخدام الكُفء للمواد في إيجاد حلول متعددة للقضايا الأساسية حول التفعيل في استخدام الطاقة من خلال توليدها أو حفظها، أو في مجال الحماية الحرارية للمباني، وعلى وجه الخصوص:

- استخدام السيراميك الذي يستطيع تخزين الحرارة لفترات بين (15 – 30) دقيقة، كآلية تخزين كيميائية حرارية أو كبطارية رخيصة الثمن، بعد تعريضه لدرجات حرارة عالية ثم بخار الماء، ليقوم بعدها بامتصاص الأكسجين وترك الهيدروجين الذي يعتبر مخزّن ممتاز للحرارة؛
- تطوير معامل الكفاءة لعنصر السيليكون البلوري الذي يعتبر أساس تصميم الخلية الشمسية لإنتاج طاقة أكبر، ليصل إلى 15 - 25 % عن طريق توسيع نطاق عمل المنطقة المحظورة؛
- استخدام مُركَّبات من النحاس والإنديوم والسيلينيوم ذات النطاق الطيفي الواسع في امتصاص الإشعاع الشمسي، ما يعني تحسين ورفع معامل كفاءة التحكم بنسبة تتجاوز 20 ٪ في عمل الخلايا في الألواح الشمسية؛
- توليد الطاقة من مصادر بديلة، كاستخدام الطحالب الصديقة للبيئة بعد تخميرها لإنتاج غازات الطاقة (الميثان والإيثانول)، أو استخدامها في قوالب خاصة على واجهات المباني الثانوية لامتصاص الضوء الذي لا تستخدمه الطحالب ليتحول فيما بعد إلى طاقة. وهناك الكثير من الأبحاث المركَّزة على الطحالب الخضراء في جميع أنحاء العالم، لكنها ماتزال في بداياتها، حيث أنه من المبكر الحديث عن الجدوى الاقتصادية لها عند استخدامها في واجهات المباني، إلا أن أسس إنتاج الطحالب بسيطة ومتوفرة مقارنة مع مخرجاتها البيئية المتنوعة؛
- أن خامات النباتات البحرية الخالية من الأملاح، كالألياف المستخرجة من كُرات البوزيدونيا قد أثبتت فعَّالتها كمادة عزل حراري لمادة نيبتوثيرم (NeptuTherm®) المُصنّعة أساسا من تلك الألياف، بمعامل توصيل حراري: ((0,039 WT/(M•k)، وقد أكَّدت الأبحاث أن الطاقة لدورة حياة كاملة للمادة المكوَّنة من الألياف الطبيعية أقل ب 30 مرة من نظائرها المصنوعة من الصوف الزجاجي أو الحجري؛
- توظيف التكنولوجيا الحديثة يمكن أن يجعل عملية إنتاج الحصير من الكتّان أقل استهلاكًا للطاقة، لاستخدامها في تصنيع طبقات فعّالة عازلة للحرارة ذات أداء بيئي جيد، ذو معامل توصيل حراري: ((0,034 WT/(M•k)؛
- استخدام مادة النيوبور المكونة من البوليسترين الرغوي مع جزيئات الجرافيت المدمجة، بمعامل توصيل حراري: (0,031 (WT/(M•k)، في مكونات الجدران تتيح للمهندسين الحصول على حوائط أقل سماكة، كما أنها تُقلّل من عملية التوصيل الحراري بنسبة قد تصل إلى 20٪ أقل مما هو عليه في رغوة البوليسترين العادية؛
- استخدام "المواد متغيرة الأطوار" تلك التي تمتلك خصائص الحفاظ على حرارتها الكامنة، والقادرة على إدراك التغيرات في درجات الحرارة خلال فصول السنة المختلفة كالبارافينات ومشتقاتها وهيدرات الملح في مكونات مواد البناء لتوفير الحماية ضد تسرب الطاقة إلى خارج المبنى أو العكس؛
- استخدام ألواح العزل الفراغي (VIP) الفعَّالة في العزل الحراري بمعامل: ((0,0022 WT/(M•k)، والمكوَّنة من ثاني أكسيد السيليكون المضغوط مع مادة البوليمر بحجمها الصغير بمقدار ستة أضعاف مقارنة بالمواد العازلة للحرارة التقليدية في جدران المباني، تزيد من مساحة الفضاءات الفعلية المستخدمة في المبنى بمقدار ($15\ M^2$).

التوصيات:

استعرضت هذه الدراسة البحثية عددًا من المواد البسيطة الفعَّالة في اقتصاد استهلاك الطاقة، التي قد تكون أيضًا نقطة انطلاق للتعمُّق أكثر في خصائص تلك المواد واكتشاف أخرى. فعادةً ما ترتبط مقاربات حل مشكلات الحماية الحرارية باستخدام مؤشرات تم تجاهلها سابقًا مرتبطة بخصائص مهمة تتميَّز بها بعض المواد (على سبيل المثال: الحرارة النوعية، السعة التخزينية للحرارة، درجة الحماية من الحرائق، إمكانية التحوُّل الطوري للمادة وغيرها). وبهذا الصدد، يمكننا القول بأنه من الضروري التركيز على إمكانية ظهور المزيد من المواد الجديدة، البسيطة والمعقَّدة ذات الخصائص الفريدة من نوعها تلك التي تمنحنا قدرات واسعة في تصميم وتشييد المباني ذات الفعَّالية في توفير الطاقة.

المراجع العلمية:

- Rud, V. U., Rud, U. V., Gremenok, V. F., Terookov, E. I., Bairamov, B. H., & Song, Y. W. (2012). Physics and Technology of Semiconductor. T. 46. Vol. 2. Photosensitivity of thin-film solar cells ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se2/Mo, obtained on different substrates.
- Stauth, D., Inkjet printing could change the face of solar energy industry. (http://oregonstate.edu/ua/ncs/node/14094) , p.: 132.
- Wei, R. G., Paproth, O. (2001). Leitfaden Okologische Dammstoffe. Warmedammung fur Wohngesundheit und Energieeinsparung. NABU Bundesverband. Naturschutzbund Deutschland e. V. Bonn.
- Becker, N. (2014). Ressourceneffizienz der Dammstoffe im Hochbau. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE). Berlin.
- Was ist NeptuTherm®. https://static.construible.es/media/2016/12/0809_neopor_folleto.pdf.
- Borisov, U. I. (2003). New technologies in production of materials from flax. Technical Textiles. № 6, p.: 17.
- Neopor® Professional Brochure. (2001). BASF CE, Ludwigshafen,.
- Micronal® PCM. (2010). Katalog fur Architekten und Planer. BASF CE Ludwigshafen.
- Johansson, P. (2012). Vacuum Insulation Panels in Buildings. Literature review. Report in Building Physics. Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology. Gothenburg.
- Okobilanz eines Vakuum-Isolations-Paneels (VIP). Institut fur Energie (Dezember 2003), FHBB, Muttenz; ESU-services, Uster.. , p.: 6.