كلية الهندسة بشبرا
FACULTY OF ENGINEERING AT SHOUBRA
ERJ
PRINT ISSN 3009-6049
ONLINE ISSN 3009-6022

ENGINEERING RESEARCH JOURNAL (ERJ)
Volume (54) Issue (1)
January. 2025, pp:207-213
https://erjsh.journals.ekb.eg

The effect of aerogel on indoor environmental quality and the possibility of providing it in Egypt

تأثير مادة الايروجيل على جودة البيئة الداخلية وامكانية توفيرها فى مصر

Rewina Salah Abd El-Fattah [*1]; Islam Ghonimi[1]; TAREK SAAD ELHINNAWY[1].

[1] Departmant of Architecture Engineering, Faculty of Engineering at Shoubra, Benha university, Cairo, Egypt
[*] Corresponding Author.
E-mail: rewina.salah90@gmail.com; islam.ghonimi@feng.bu.edu.eg; telhinnawy@gmail.com

Abstract: This research reviews the quality of the indoor environment and its factors of indoor air quality, thermal comfort, providing natural lighting, and sound insulation, in addition to the effect of nano aerogel on the quality of the indoor environment and its distinctive properties to achieve healthy buildings. It also analyzes global models that use aerogel and its places of use in buildings and the impact of its application on those buildings. The research also reviews attempts to provide aerogel in the construction sector through an analysis of the Egyptian Energy Code issued in 2005. The code includes three requirements: new buildings, additions to existing buildings, and modifications to existing buildings. It includes modifications to the outer envelope through thermal insulation requirements, as well as the Saudi code for energy efficiency plan requirements for residential buildings, which was issued in 2022 and includes five requirements, including the outer envelope. The research also analyzes the thermal insulation work items issued in 1998 and makes proposed specifications for the forms of aerogel (granules, blankets, panels) to facilitate their integration into the work items, reaching the necessary results and recommendations. The importance of aerogel as a thermal insulation material and the possibility of providing it in the construction sector.

الملخص: يستعرض هذا البحث أهمية جودة البيئة الداخلية وعواملها من جودة هواء داخلى، راحة حرارية، توفيراضاءة طبيعية، وعزل الصوت، بالاضافة الى تأثير مادة الايروجيل النانوية على جودة البيئة الداخلية وخواصها المميزة لتحقيق مبانى صحية، كذلك يتم تحليل نماذج عالمية تستخدم مادة الايروجيل وأماكن استخدامها فى المبانى وتأثير تطبيقها على تلك المبانى، وكذلك يستعرض البحث محاولات لامكانية توفير مادة الايروجيل فى قطاع البناء من خلال تحليل لكود الطاقة المصرى الذى تم اصداره عام 2005 ويتضمن الكود ثلاثة متطلبات هم المبانى الجديدة، الاضافات للمبانى القائمة، التعديلات فى المبانى القائمة ويشتمل على تعديلات فى الغلاف الخارجى من خلال متطلبات العزل الحرارى، وكذلك الكود السعودى لمتطلبات مخططات كفاءة الطاقة للمبانى السكنية الذى تم اصداره عام2022 ويشتمل على خمسة متطلبات من ضمنهم الغلاف الخارجى، كذلك يقوم البحث بتحليل بنود أعمال العزل الحرارى التى تم اصدارها عام 1998 وعمل مواصفات مقترحة لأشكال مادة الايروجيل (حبيبات، بطانيات، لوحات) حتى يسهل دمجها فى بنود الأعمال اذا تم تحديثها وصولا الى النتائج والتوصيات اللازمة بمدى أهمية مادة الايروجيل كأحد مواد العزل الحرارى وامكانية توفيرها فى قطاع البناء.

الكلمات المفتاحية: جودة البيئة الداخلية ، مادة الايروجيل النانوية ، تطبيقات عالمية لمادة الأيروجيل ، أكواد الطاقة ، بنود أعمال العزل الحرارى..

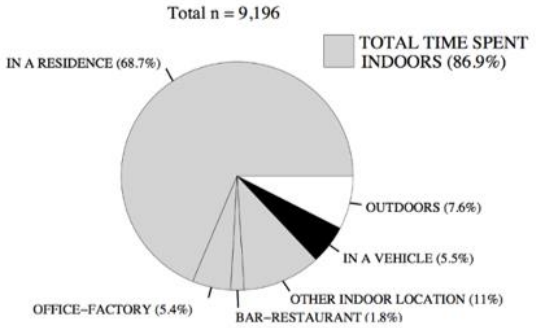
1. المقدمة:

تأتى صحة الانسان من داخل المبانى، لذا فإن جودة البيئة الداخلية لها تأثير كبير على صحة الإنسان. الوقت الذى يقضيه الانسان داخل المبانى له تأثير مباشر على الصحة والإنتاجية.

أظهرت العديد من الأبحاث أنه يمكن توفير بيئة داخلية جيدة فى المبانى من خلال الاعتماد على المصادر الطبيعية مثل تحسين جودة الهواء الداخل للمبنى، الاضاءة الطبيعية، حماية المبنى من العوامل الخارجية دون الحاجة لاستهلاك الطاقة، مع الاهتمام بتطبيق استراتيجيات التهوية الطبيعية فى المبانى (CDC, 2017).

2- المشكلة البحثية

نظرا لما أصبحت عليه المبانى كفراغات مغلقة أمام شاغليها، والوقت الكبير الذى يقضيه الانسان داخلها مما يزيد من المخاطر الصحية المرتبطة بمستوى جودة البيئة الداخلية، وتأثيرها على انتشار الأمراض، كما هو موضح بالشكل رقم(1) حيث يتم قضاء حوالى 86.9% داخل المبانى.(NHAPS) ، لذا وجب التفكير فى تقنيات حديثة كتقنية النانو، ودراسة كيفية دمجها فى غلاف المبنى لتأثيرها الفعال فى تحسين جودة البيئة الداخلية.



شكل رقم (1): نسبة قضاء وقت الانسان
المصدر:NHAPS

3- هدف البحث

تأكيد مدى أهمية تأثير مادة الايروجيل على جودة البيئة الداخلية من خلال استخدامها على الغلاف الخارجي للمبنى، بالاضافة الى التعرف على امكانيات توفيرها فى مصر.

4- جودة البيئة الداخلية

تشير جودة البيئة الداخلية (IEQ) إلى العلاقة بين بيئة المبنى وصحة ورفاهية المستخدمين المقيمين بالداخل، والتي يمكن تحديدها من خلال العديد من العوامل كما هو موضح بشكل رقم(2). [1]

شكل رقم (2): عوامل جودة البيئة الداخلية
المصدر: Mujeebu, Muhammad Abdul, ed. Indoor environmental quality. BoD–Books on Demand, 2019

5-مادة الأيروجيل Aerogel

5-1 تاريخها

تم استخدام تلك المواد لأول مرة في المباني في أوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، وكان أول استخدام لبطانيات الأيروجيل blankets في المباني في سويسرا منذ القرن السابع عشر.[2]

5-2 مكوناتها

يتكون الأيروجيل من رغوة هوائية خفيفة للغاية، تتكون من 95% إلى 99.9% من الهواء. أما المادة المتبقية، فهي مادة تشبه الزجاج تسمى ثاني أكسيد السيليكون أو السيليكا.

5-3 خواصها

تتميز مادة الأيروجيل بالعديد من الخواص كالتالى:

- الخواص الحرارية: يبلغ متوسط معامل التوصيل الحرارى حوالى 0.018 وات / مللي كلفن فقط، وهذا يعنى انخفاض الموصلية الحرارية مقارنة بمواد العزل الحرارى الأخرى.[3]
- الخواص الضوئية: يبلغ انتقال الضوء من خلال الأيروجيل الحبيبية حوالي 80 ٪ سمك 10 مم(cabot)، يتناقص بنسبة 20٪ لكل زيادة سمك 10 مم. الخصائص البصرية، مثل النفاذية الحرارية، تتأثر بشكل كبير بحجم جزيئات الحبيبات الهوائية (جاو وآخرون 2014).
- الخواص الصوتية: حبيبات الأيروجيل تعتبر مواد حاجزة ممتازة للصوت، وتم الوصول الى متوسط قدرة 60 ديسيبل لسمك اجمالى للطبقات من 7سم فقط.[4]
- مقاومة الرطوبة: المادة صديقة للبيئة حيث أنها بطبيعتها كارهة للمياه تمنع نمو العفن.[5]
- المسامية العالية: تبلغ أحجام مسام أيروجيل السيليكا بين 5 و 70 نانومتر اعتمادا على طريقة النقاء والتصنيع، والتي سوف تأخذ من 85 إلى 99٪ من إجمالي حجم الأيروجيل.[4]
- إعاقة الحريق: تتميز أيروجيل السليكا بأنها غير قابلة للاحتراق لأن بنيتها غير عضوية، وتتحمل درجات حرارة تصل إلى 1400 درجة مئوية.[6]

شكل رقم(3): مادة الايروجيل
المصدر:https://www.aerogel.org

5-4 نماذج عالمية

5-4-1 مركز ديدمون الرياضي - جامعة رادفورد Dedmon Athletic Center - Radford University

معلومات عن المبنى

جدول رقم(1): معلومات عن المبنى
المصدر:-https://www.cabotcorp.com/solutions/products-plus/aerogel/particles

المشروع	mixed -Dedmon Athletic Center use facility
المدينة/البلد	فرجينيا
المعمارى	Moseley Architects, Virginia Beach, VA
المنتج	Lumira™ aerogel
المصنع	Kalwall
مكان الاستخدام	السقف
السنة	1981

ب - نبذة عن المبنى

تم استبدال السقف الأصلى لمركز ديدمون بطبقة من مادة الايروجيل محصورة بين طبقتين من مادة الفلوروبوليمر PTFE ، مما يزيد من مستويات العزل الحرارى. يبلغ سمك المادة أقل من 50 مم.

ج- خواص مادة الايروجيل المستخدمة

تم استخدام مادة الايروجيل كمادة نصف شفافة بقيمة مقاومة حرارية12 م^2.ك/وات.

د- الفوائد العائدة على المبنى

- العزل الحرارى: عزل أكثر من ثلاثة أضعاف أداء العزل الحراري للسقف الأصلي.
- توفير الطاقة: 91.500 دولار أمريكي / 64.200يورو سنويًا .
- خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون1.988.800 رطل /904.000 / كجم سنويًا .
- الجماليات والراحة: يحافظ المبنى بعد التعديل على شكل هيكل السقف بالاضافة الى خفض الصوت ومقاومة الرطوبة والعزل الحراري.[7]

شكل رقم(4): مبنى ديدمون الرياضى
المصدر: https://basketballtripper.com/ncaa/radford-/highlanders-arena-guide

2-4-5 مبنى متحف ومعرض جامعة ييل The Sculpture building and gallery of Yale University

أ- معلومات عن المبنى

جدول رقم(2): معلومات عن المبنى

المصدر: Leydecker, Sylvia. "Nano Materials." In Nano Materials. Birkhäuser, 2008

المشروع	the Sculpture building and gallery
المدينة/البلد	New Haven, CT, United States
المعمارى	Kieran Timberlake
المنتج	Nanogel
الشركة المصنعة	Kalwall
مكان الاستخدام	الفتحات
السنة	2007

ب- نبذة عن المبنى

حصل المشروع على شهادة LEED البلاتيني نتيجة لعملية تصميم متكاملة تمامًا نقلت المشروع من البرمجة إلى الإشغال في 22 شهرًا، واعتمدت بشكل كبير على نمذجة المعلومات.

ج- خواص مادة الأيروجيل المستخدمة

تم استخدام مادة الأيروجيل النانوية بين الألواح الشفافة، وموضوعة داخل إطار زجاجي.

د- الفوائد العائدة على المبنى

- القيمة الإجمالية لـ R (المقاومة الحرارية) للزجاج يتعدى20م^2.ك/وات،وبالتالي خفض متطلبات التدفئة والتبريد.
- انتقال الضوء بنسبة 75% دون وهج.
- خفض انبعاثات ثانى أكسيد الكربون.
- خفض انتقال الضوضاء.[3]

شكل رقم(5): عزل الأيروجيل النصف شفاف المستخدم في الحوائط الستائرية في المبنى المصدر: Leydecker, Sylvia. "Nano Materials." In Nano Materials. Birkhäuser, 2008

3-4-5 مكتبة هنريتا العامة Henrietta Public Library

أ- معلومات عن المبنى

جدول رقم(3): معلومات عن المبنى

المصدر:-https://advancedglazings.com/case studies/henrietta

المشروع	Henrietta Public Library
المدينة/البلد	Henrietta, New York, USA
المعمارى	Passero Associates
المنتج	Solera aerogel glass
الشركة المصنعة	advanced glazings
مكان الاستخدام	السقف
السنة	2019

ب- نبذة عن المبنى

ت- تتكون مكتبة هنريتا العامة من طابقين بمساحة 36000 قدم مربع تم بناؤها في عام 2019، وتقع في هنريتا، نيويورك بالقرب من مدينة روتشستر.

ث- تحل هذه المكتبة محل مكتبة قديمة لم يكن من الممكن تجديدها. كان العنصر الأساسي في تصميم المبنى هو استراتيجية الإضاءة الطبيعية من خلال استخدام الإضاءة بالسقف، ولكن الإضاءة بالسقف باستخدام زجاج شفاف تؤدي إلى بقع وهج ساطعة في عمق المساحة وبالتالى تم استخدام زجاج الايروجيل.

شكل رقم(6): مكتبة هنيريتا من الداخل المصدر: https://advancedglazings.com/case-studies/henrietta/

ج- خواص مادة الايروجيل المستخدمة

- الانتقالية الضوئيةVLT = 33%
- معامل الاظلال = 0.35
- معامل انتقال الصوتSTC= 35
- الانتقالية الحراريةU Value = 0.34 وات/م^2.ك

د- الفوائد العائدة على المبنى

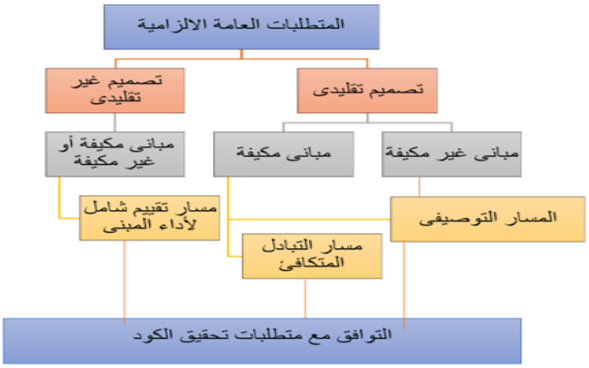
- وصول ضوء النهار إلى كل مساحة داخل مكتبة هنريتا.
- القدرة على قراءة كتاب أو العمل على جهاز كمبيوتر في هذه المكتبة أصبح أكثر راحة من المكتبة العادية لأنه لا يسبب الوهج مشكلة أبدًا بفضل الزجاج المستخدم فى السقف.
- التردد على المكتبة فى الشهر الأول ارتفع بنسبة 20٪ عن نفس الوقت من العام السابق.[8]

6-امكانيات توفيرها فى مصر

6-1 الكود المصرى لتحسين كفاءة الطاقة فى المبانى

تم اصداره عام 2005، ويتضمن الكود ثلاثة متطلبات هم المبانى الجديدة، الاضافات للمبانى القائمة، التعديلات فى المبانى القائمة ويشتمل على تعديلات فى الغلاف الخارجى، تعديلات فى نظم التكييف، معدات ونظم تسخين المياه، نظم الاضاءة، نظم القوى الكهربية، نظم ادارة الطاقة.

ويحتوى مخطط الغلاف الخارجى على متطلبات المسارات المختلفة ومتطلبات الحد الأدنى من تسرب الهواء فى حالة المبانى المكيفة، ومتطلبات التحقق من الخواص الفيزيوحرارية للمواد المستخدمة فى الغلاف الخارجى، ويوضح الشكل رقم (8) متطلبات المسارات المختلفة.



شكل رقم(7): مسارات تحقيق متطلبات الكود للغلاف الخارجى
المصدر: الكود المصرى لتحسين كفاءة استخدام الطاقة فى المبانى ،مركز بحوث الاسكان والبناء، 2005

من متطلبات التحقق من الخواص الفيزيوحرارية للمواد المستخدمة فى الغلاف الخارجى طبقا للكود المصرى:

أ- العزل الحرارى: يجب أن تكون هناك علامات مطبوعة واضحة على كل جزء من المواد الجاسئة العازلة للحرارة على مسافات لا تزيد عن 50 سم توضح المقاومة الحرارية للمادة العازلة، وفى حالة استخدام مواد عازلة للحرارة غير جاسئة يجب أن تؤدى نسب الخلط والتخانة الى المقاومة الحرارية المطلوبة بحيث لا تزيد نسبة امتصاص المياه عن 2% بالنسبة للحجم، وألا تقل مقاومة الانضغاط عن 1.5كجم/ سم^3.

ب- الفتحات بالغلاف الخارجى: يجب أن تقدم شهادات معتمدة من جهات متخصصة معتمدة توضح الانتقالية الحرارية الكلية، معامل الاكتساب الحرارى الشمسى للشبابيك.

ويوضح الكود جدول به الموصلية الحرارية لمواد البناء والمواد العازلة للحرارة كما فى جدول رقم(4).

جدول رقم(4): الخصائص الفيزيائية للمواد العازلة

المصدر: الكود المصرى لتحسين كفاءة استخدام الطاقة فى المبانى، 2005

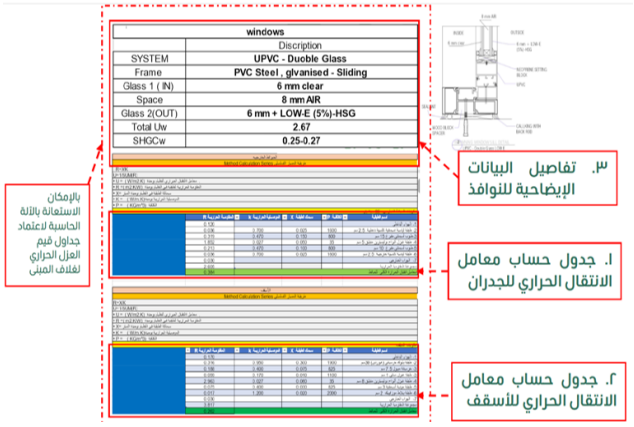
المواد العازلة	الموصلية	الكثافة(كجم/م^3)
البوليسترين الممدد	0.034	35
البوليسترين المبثوق	0.03	30
البوليوريثان	0.045	15
بولبوريثان	0.026	30
البيرليت	0.055	120
الفيروموكليت أسمنت	0.065	100
فيروموكليت	0.22	650
السلتون	0.17	480

6-2 الكود السعودى لمتطلبات مخططات كفاءة الطاقة للمبانى السكنية

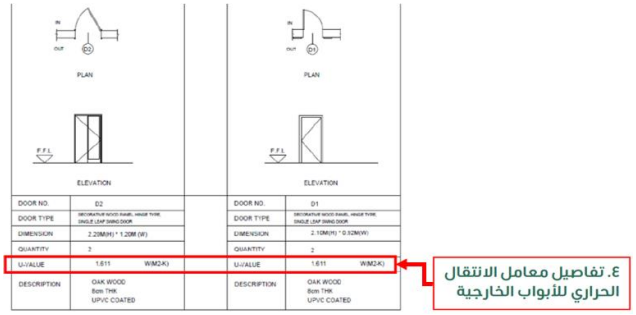
يتم تحليل الكود السعودى للتعرف على طرق الالزام بتطبيق مواد العزل الحرارى فى المبانى، وقد تم اصداره فى مارس 2022 حيث يشتمل الكود على خمسة متطلبات هم: معلومات عامة عن المشروع، غلاف المبنى الخارجى، التكييف، الانارة، المياه الساخنة.

ويحتوى مخطط الغلاف الخارجى على المعلومات التالية:

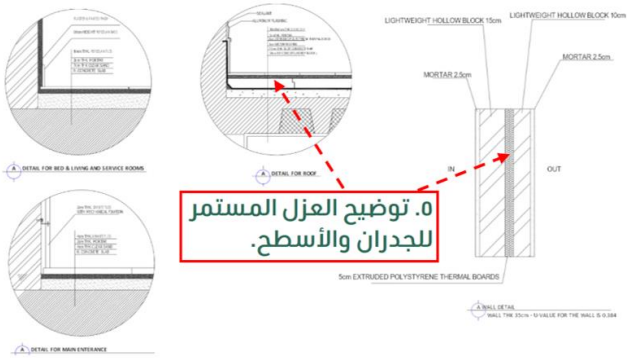
1. جداول قيم معامل الموصلية الحرارية k value وأنواع وسماكة وكثافة مواد العزل الحراري والمقاومة الحرارية R-Value ومعامل الانتقال الحراري U-Value للجدران كما فى شكل رقم(8).
2. جداول قيم معامل الموصلية الحرارية k value وأنواع وسماكة وكثافة مواد العزل الحراري والمقاومة الحرارية R- Value ومعامل الانتقال الحراري U-Value للأسقف العلوية كما فى شكل رقم(8).
3. النوافذ وقيم معامل الانتقال الحراري U-Value وقيمة معامل الكسب الحرارى الشمسيSHGC كما فى شكل رقم(8).
4. الأبواب الخارجية وقيم معامل الانتقال الحراري U-value كما فى شكل رقم(9).
5. رسومات توضح العزل المستمر لكامل المبنى كما فى شكل رقم(10).



شكل رقم(8): جداول حساب معامل الانتقال الحرارى للجدران والأسقف والنوافذ
المصدر: الدليل الارشادى لمتطلبات كفاءة الطاقة للمبانى السكنية، المركز السعودى لكفاءة الطاقة،2022

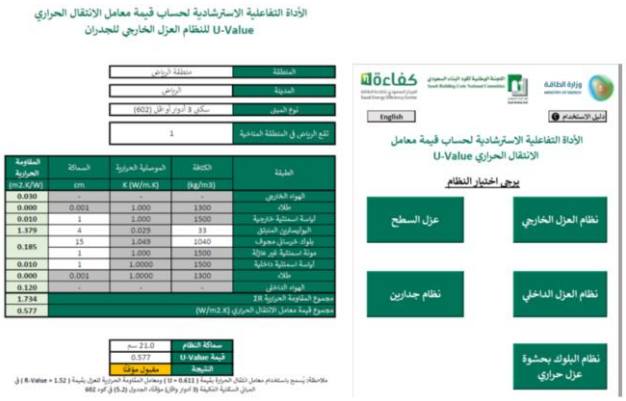


شكل رقم(9): جداول حساب معامل الانتقال الحرارى للأبواب الخارجية
المصدر: الدليل الارشادى لمتطلبات كفاءة الطاقة للمبانى السكنية ، المركز السعودى لكفاءة الطاقة،2022



شكل رقم(10): قطاعات توضح العزل المستمر للجدران والاسطح
المصدر: الدليل الارشادى لمتطلبات كفاءة الطاقة للمبانى السكنية، المركز السعودى لكفاءة الطاقة،2022

كذلك تم انشاء ألة حاسبة تفاعلية لحساب قيمة معامل الانتقال الحرارى للنظام لاعتماد مخططات كفاءة الطاقة كما فى شكل رقم(11).



شكل رقم(11): ألة حاسبة تفاعلية لحساب قيمة معامل الانتقال الحرارى
المصدر: الدليل الارشادى لمتطلبات كفاءة الطاقة للمبانى السكنية، المركز السعودى لكفاءة الطاقة،2022

من خلال تحليل أكواد الطاقة يمكن تضمين مادة الايروجيل كالتالى:

- من خلال تحليل الكود المصرى يتضح أهمية مواد العزل الحرارى فى الغلاف الخارجى، وبالتالى يمكن تضمين مادة الايروجيل كأحد مواد العزل الحرارى ذو موصلية حرارية 0.02 وات/م.ك، كثافة 180 كجم/م^3.
- من خلال تحليل الكود السعودى يتضح أهمية استخدام النظم المختلفة للعزل الحرارى على الغلاف الخارجى والزامية اعداد المخططات اللازمة لذلك للحصول على الاعتماد، وكيفية حساب قيمة الانتقال الحرارى للغلاف الخارجى باستخدام مواد العزل الحرارى الكترونيا كأداة استرشادية.
- يجب تطبيق الزامية استخدام الكود المصرى عامة واستخدام مواد العزل الحرارى تحديدا فى المبانى مع اختيار مادة العزل المناسبة للمبنى كما تم فعله فى الكود السعودى حيث أنه لم يتم الحصول على الاعتماد بدون اعداد المخططات التى تتضمن مواد عزل حرارى، وبالتالى يمكن أيضا تطبيق ذلك فى مصر من خلال عدم اصدار التراخيص اللازمة للمبنى والاعتمادات المطلوبة بدون استخدام مواد العزل الحرارى مع المتابعة على التنفيذ واذا تم المخالفة يتم فرض غرامات مالية على الشركات المنفذة. كذلك يمكن تخفيض نسبة الجمارك على الشركات التى تستورد مواد النانو حتى يمكن اتاحتها بسعر مناسب فى السوق المصرى، وبالتالى يمكن توفيرها واختيارها كأحد حلول العزل الحرارى وبالتالى يمكن الاستفادة من ذلك وتطبيق تشريعات فى مصر تلزم بتطبيق الكود المصرى لتحسين كفاءة الطاقة بعد تحديثه واضافة مواد العزل الحرارى النانونية كمادة الايروجيل.

3-6 المواصفات العامة لبنود الأعمال

تم اصدار مواصفات بنود أعمال العزل الحرارى عام 1998 ضمن المواصفات العامة لبنود الأعمال بالمركز القومى لبحوث الاسكان والبناء. لذا وجب تحديث مواصفات بنود الأعمال لظهور تقنيات ومواد حديثة بمواصفات مختلفة، وحينها يمكن ادراج المواد العازلة النانوية تحت تصنيف المواد العازلة للحرارة كالتالى:

- المواد العازلة النانوية Nano Insulation Materials : هى مواد متناهية الصغر تتراوح أبعادها بين 1 و 100 نانومتر، يدخل فى تكوينها مواد نانوية كالنانو سليكا، أنابيب النانو الكربونية، أكسيد الزنك، ثانى أكسيد التيتانيوم، وغيرها فلها أشكال متعددة، ومن أمثلة المواد العازلة النانوية مادة الايروجيل بأشكالها المختلفة، ألواح العزل المفرغة، المواد متغيرة الطور.
- مادة الايروجيل Aerogel : تتوافر تلك المادة فى ثلاثة أنواع هى حبيبات الايروجيل، بطانيات الايروجيل، لوحات الايروجيل، ويمكن عمل مواصفة قياسية للمادة بأنواعها ودمجها فى المواصفات العامة لبنود أعمال العزل الحرارى كالتالى.

جدول رقم(5): المواصفة القياسية لحبيبات الايروجيل

حبيبات الايروجيلAerogel Granules					
التكوين والشكل العام					
تتكون الايروجيل من حبيبات السليكا النانوية حيث يتم الحصول على جل السليكا من خلال عملية تسمى ب Sol-Gel حيث يتم تجهيزه من خلال مصدر خام السليكا واضافة عامل محفز. [10]					
الخصائص الحرارية والميكانيكية					
الموصلية الحرارية	الكثافة	امتصاص الماء	مقاومة الحريق		مقاومة الانضغاط

0.02وات/م^{2}كلفن [11]	150 كجم/م^3 [12]	المادة طاردة للمياه [11]	غير قابلة للاحتراق تتحمل درجات حرارة تصل إلى 1400 درجة مئوية. [6]	معامل الانضغاط يقدر بقيمة 0.0003 جيجاباسكال. [13]
الصحة والسلامة				
-تمتلك خصائص مقاومة ممتازة للحرائق. وهي مصنفة على أنها A2 لسلوكها في التعامل مع الحرائق. **-يجب دمج طرق الملء المناسبة لتحقيق العزل الحراري لتجنب إنتاج الغبار، والذي يمكن أن يتسرب بسهولة من خلال الشقوق الصغيرة.** [11]				
استخداماته فى مجال البناء				
-يمكن ملء التجاويف في الجدران المزدوجة بحبيبات الايروجيل. **-تستخدم أيضا بين لوحين شفافين من البلاستيك أو الزجاج لتشكيل لوح شفاف من الايروجيل.** [11]				

جدول رقم(6): المواصفة القياسية لبطانيات الايروجيل

بطانيات الايروجيل Aerogel Blankets				
التكوين والشكل العام				
تتكون من صوف ليفي مصنوع من ألياف عضوية وغير عضوية، حيث يتم تضمين الايروجيل داخلها. [2]				
الخصائص الحرارية والميكانيكية				
الموصلية الحرارية	الكثافة	امتصاص الماء	مقاومة الحريق	مقاومة الانضغاط
0.018وات/م^{2}كلفن). [11]	150 كجم/م^3 [12]	مطابق لحبيبات الايروجيل	مادة فعالة جدًا في وقف انتشار الحريق [6]	مطابق لحبيبات الايروجيل
الصحة والسلامة				
مطابق لحبيبات الايروجيل				
استخداماته فى مجال البناء				
تستخدم بطانيات الايروجيل لعزل الجدران الداخلية يمكن أيضًا تطبيقها على الأسطح غير المستوية، كذلك تستخدم فى تغطية النوافذ. كما تُستخدم لعزل أنابيب المياه وعزل أنابيب الطاقة الشمسية الحرارية. [11]				

جدول رقم(7): المواصفة القياسية للوحات الايروجيل

لوحات الايروجيلAerogel Boards				
التكوين والشكل العام				
يتم تصنيعها بشكل أساسي عن طريق لصق عدة طبقات من بطانيات/صفائح الايروجيل معًا. كما يتم تصنيعها عن طريق ربط حبيبات الايروجيل بالألواح بمساعدة الترقق. [2]				
الخصائص الحرارية والميكانيكية				
الموصلية الحرارية	الكثافة	امتصاص الماء	مقاومة الحريق	مقاومة الانضغاط
0.019وات/م^{2}كلفن. [11]	150 كجم/م^3 [12]	مطابق لبطانيات الايروجيل	مطابق لبطانيات الايروجيل	مطابق لبطانيات الايروجيل
الصحة والسلامة				
مطابق لحبيبات الايروجيل				
استخداماته فى مجال البناء				
تُستخدم الألواح كعزل داخلي أو كنظام مركب للعزل الحراري الخارجي. [2]				

- **النتائج:**
  - انخفاض الموصلية الحرارية لمادة الايروجيل مقارنة بمواد العزل الحرارى الأخرى حيث تقدر بقيمة حوالى 0.018 وات / مللي كلفن، وبالتالى تحقيق الراحة الحرارية داخل الفراغ.
  - انتقال الضوء بنسبة 80 ٪ سمك 10 مم من الايروجيل، يتناقص بنسبة 20٪ لكل زيادة سمك 10 مم. ، وبالرغم أن زجاج الايروجيل ليس شفاف تماما وبالتالى يعمل على حجب الرؤية للخارج الا أنه يعمل على توفير اضاءة دون وهج داخل الفراغ، وبالتالى تحقيق الراحة البصرية.
  - تتميز مادة الايروجيل بقدرتها على عزل الصوت بنسبة كبيرة وبالتالى توفر راحة صوتية للمستخدمين.
  - تتميز أيروجيل السليكا بأنها غير قابلة للاحتراق حيث تتحمل درجات حرارة تصل إلى 1400 درجة مئوية، وكذلك خفض انبعاثات ثانى أكسيد الكربون وبالتالى جودة الهواء الداخلى.

- استخدام مادة الايروجيل على الغلاف الخارجى للمبنى يؤدى الى تحسين جودة البيئة الداخلية.
- الزامية تطبيق الكود السعودى ومواد العزل الحرارى تؤكد على أهمية استخدام مواد العزل الحرارى فى المبانى.
- يمكن تضمين مادة الايروجيل ذات موصلية حرارية 0.02 وات/م.ك كأحد مواد العزل الحرارى الموجودة فى الكود المصرى.
- يمكن اعداد مواصفات قياسية لمادة الايروجيل وادراجها فى مواصفات بنود الأعمال بعد تحديثها.

- **التوصيات:**

- يجب على المعماريين الأخذ بعين الاعتبار تحسين جودة البيئة الداخلية ومراعاة عوامل تحقيقها.
- تخفيض الضرائب على استيراد مواد النانو لتشجيع المستثمرين على استيراد مواد النانو وعرضها من ضمن منتجات مواد البناء كأحد تقنيات البناء الحديثة.
- تخفيض نسبة الضريبة العقارية على المبانى التى تطبق تقنيات النانو كحافز لاستخدامها.
- التعاون بين وزارة الصناعة ومركز بحوث الاسكان والبناء لوضع مواصفات فنية لمنتجات مواد البناء النانومترية كمادة الايروجيل وادراجها فى أكواد البناء وكذلك المواصفات العامة لبنود أعمال.

- **المراجع:**

[1]. Tang, Yarong, Clive Shrubsole, and Hector Altamirano. "Indoor Air Quality and Thermal Comfort: is all well with the Well Standard?" In MC2017 masters conference people and buildings, vol. 7. NCEUB Network for Comfort and Energy Use in Buildings, 2017.

[2]. Ganobjak, Michal, Samuel Brunner, and Jannis Wernery. "Aerogel materials for heritage buildings: Materials, properties and case studies.", paper, Journal of Cultural Heritage 42(2020)

[3]. Sylvia, Leydecker. "Nano materials in architecture, interior architecture and design." BirkhauserVerlag AG ,2008.

[4]. Jelle, Bjørn Petter, Ruben Baetens, and Arild Gustavsen. "Aerogel insulation for building applications." The Sol-Gel Handbook (2015): 1385-1412

[5]. https://www.cabotcorp.com/solutions/products-plus/aerogel/frequently-asked-questions.

[6]. Riffat, Saffa B., and Guoquan Qiu. "A review of state-of-the-art aerogel applications in buildings." International Journal of Low-Carbon Technologies 8, no. 1(2013)

[7]. https://www.cabotcorp.com/solutions/products-plus/aerogel/particles

[8]. https://advancedglazings.com/case-studies/henrietta

[9]. Kurańska, M., and A. Prociak. "Nano and Biotech Based Materials for Energy Building Efficiency." Springer International Publishing, Switzerland (2016): 357-373.

[10]. Dorcheh, A. Soleimani, and M. H. Abbasi. "Silica aerogel; synthesis, properties and characterization." Journal of materials processing technology 199, no. 1-3 (2008): 10-26.

[11]. https://gharpedia.com/blog/aerogel-sustainable-building-material

[12]. https://www.cabotcorp.com/solutions/products-plus/aerogel

[13]. https://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=c864d25c235648d6b11711fd324b64d4&n=1