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:233-241
https://erjsh.journals.ekb.eg

Reducing Energy Consumption Indoors by Applying Nano Aerogel to The Building Envelope.

خفض استهلاك الطاقة داخل المبانى من خلال تطبيق مادة الايروجيل النانوية على الغلاف الخارجى للمبنى

Rewina Salah Abd El-Fattah [*1];TAREK SAAD ELHINNAWY[1]; Islam Ghonimi[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 studies the effect of nanotechnology on the environmental performance of the building. The research focuses on one of the nano-treated building materials, which is aerogel, and its impact on the performance of the envelope of buildings and improving energy efficiency. The research prepares a sample of aerogel in the laboratory and measures its actual physical-thermal properties (thermal conductivity, density) using the KD2 Pro thermal properties measuring device. It uses these properties in environmental simulation. The research uses the Design Builder simulation program to conduct an applied study to measure the effect of aerogel when used in the components of the outer envelope (walls-ceilings-openings), to measure its effect on energy consumption. The impact of using aerogel as a component of the envelope of a hypothetical building will be measured, with a set of design Parameters for the walls and ceilings, as well as the opening glass. These parameters were chosen based on the applications commonly used in architectural projects in the Egyptian construction market. These parameters were tested individually, and then the best of them was chosen as an ideal alternative that includes the best parameters in terms of thermal behavior performance for the building. The necessary results and recommendations were reached regarding the efficiency of using aerogel in the envelope of the building

الملخص: يدرس هذا البحث تأثير تقنية النانو على الأداء البيئى للمبنى، ويركز البحث على أحد مواد البناء المعالجة بالنانو وهى مادة الايروجيل وتأثيرها على أداء الغلاف الخارجى للمبانى وتحسين كفاءة الطاقة. حيث يقوم البحث بتحضير عينة من الايروجيل معمليا وقياس خواصها الفيزيوحرارية الفعلية (موصلية حرارية، كثافة) باستخدام جهاز قياس الخواص الحرارية KD2 Pro، واستخدام تلك الخواص فى المحاكاة البيئية، حيث يقوم البحث باستخدام برنامج المحاكاة Design Builder بعمل دراسة تطبيقية لقياس تأثير مادة الايروجيل عند استخدامها فى مكونات الغلاف الخارجى (حوائط-أسقف-فتحات)، وذلك لقياس تأثيرها على استهلاك الطاقة. وسوف يتم قياس تأثير استخدام مادة الايروجيل ضمن مكونات الغلاف الخارجى لمبنى افتراضى مع وضع مجموعة من البدائل التصميمية لقطاع الحوائط والأسقف، وكذلك زجاج الفتحات وقد تم اختيار هذه البدائل بناءا على التطبيقات المألوف استخدامها فى المشروعات المعمارية فى سوق البناء المصري، وقد تم اختبار تلك البدائل منفردين ثم اختيار أفضلهم كبديل مثالى يضم أفضل البدائل أداءا للسلوك الحرارى للمبنى.وصولا للنتائج والتوصيات اللازمة بمدى كفاءة استخدام الايروجيل فى الغلاف الخارجى للمبنى.

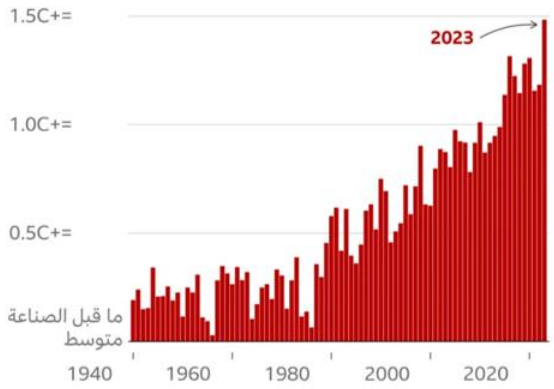
الكلمات المفتاحية: تقنية النانو فى العمارة، تأثير مواد النانو على غلاف المبنى، مادة الايروجيل ، المحاكاة البيئية ، الأداء الحرارى للغلاف الخارجى.

1. المقدمة:

تلعب تقنية النانو دورًا مهمًا فى الهندسة المعمارية بشكل عام وتقنيات مواد البناء بشكل خاص، حيث تسهم هذه التقنية فى إنتاج مواد بناء ذات خواص مميزة، حيث تحقق مواد أقوى، أخف وزنا، أكثر شفافية، وكذلك أقل استهلاكا للطاقة . من أجل تحقيق خفض استهلاك الطاقة يتم دمج استخدام مواد بناء معالجة بتقنية النانو فى غلاف المبنى، ومن أهم مواد النانو تأثيرا على الغلاف الخارجى هى مادة الايروجيل، وبالتالى يتم الاستفادة من الخواص الفيزيوحرارية لتلك المادة وادخالها لبرنامج المحاكاة Design Builder واجراء المحاكاة لبدائل الغلاف الخارجى المختلفة للوصول الى أفضل النتائج وتلك هى محور الدراسة.

2- المشكلة البحثية

تجاوزت ظاهرة الاحتباس الحراري 1.5 درجة مئوية خلال فترة 12 شهراً بين فبراير 2023 ويناير 2024، ويأتي ذلك بعد إعلان 2023 العام الأعلى حرارةً في التاريخ[1] ، كما هو موضح فى شكل رقم(1)، ولمواجهة تلك التحديات أصبح لزاما على الأفراد التكيف مع تلك الظروف من خلال تحسين منظومة عزل المبانى وخفض استهلاك الطاقة. لذا وجب التفكير فى تقنيات جديدة كتقنية النانو، ودراسة كيفية دمجها فى غلاف المبنى لتأثيرها الفعال فى توفير بيئة داخلية مريحة للانسان، وكذلك تؤدى الى خفض استهلاك الطاقة.



شكل رقم(1):متوسط درجة الحرارة العالمية
المصدر: https://climate.copernicus.eu/climate-reanalysis, access 10-9-2024

3- هدف البحث

تطوير أداء الغلاف الخارجى للمبنى لتوفير بيئة داخلية مريحة للانسان، وخفض استهلاك الطاقة. لمواجهة ظاهرة التغير المناخى من خلال استخدام تقنيات البناء الحديثة كتقنية النانو.

4- خلفية عن استخدام مادة الايروجيل فى المبانى

4-1 تقنية النانو

يتم تعريف تقنية النانو لغويا بأنها تطبيق المفاهيم النظرية للعلوم الطبيعية على المستويات متناهية الصغر، ويتم التعريف علميا بأنها انتاج مواد وأنظمة وأجهزة تتسم بخصائص ووظائف فريدة يدخل في تركيبها جسيمات نانوية[2].

يتم دمج تقنية النانو مع العمارة من خلال تطوير مواد البناء وإنتاج مبانى تتفاعل مع الانسان والبيئة المحيطة بما يعرف بعمارة النانو [3] ، حيث تهدف عمارة النانو الى تحقيق الأداء البيئي والاقتصادي، خفض متطلبات الطاقة، تحقيق درجات حرارة مثالية لراحة الانسان داخل الفراغات الداخلية، وكذلك خفض الملوثات والحفاظ على سلامة النظام البيئى [4].

4-2 تأثير مواد النانو على الغلاف الخارجى

تستخدم مواد البناء المعالجة بالنانو على الغلاف الخارجي سواء على الحوائط، الفتحات، والأسقف وأهم تلك المواد كما هو موضح فى جدول رقم(1). حيث يتضح أهمية مادة الأيروجيل وإمكانية تواجدها بأشكال مختلفة، وبالتالى يمكن تطبيقها في أماكن مختلفة على الغلاف الخارجي للمبنى سواء الزجاج أو الحوائط أو الأسقف، حيث أثبتت أهميتها فى العزل الحرارى الجيد فى الأبحاث المصرية والعالمية، لذلك يتم الاستفادة من خواص تلك المادة وادخالها لبرنامج المحاكاة لاثبات الفرضية البحثية.

جدول رقم(1): المقارنة بين مواد البناء المعالجة بالنانو المستخدمة على الغلاف الخارجى للمبنى

المادة	الاستخدام	المميزات	العيوب
Aerogel [5]	يمكن تطبيقها بكامل الغلاف الخارجي (حوائط، أسقف، زجاج، طلاءات)	-انخفاض الموصلية الحرارية0.01 وات/م.ك -الشفافية فيمكنها أن تكون شفافة تماما أو نصف شفافة -عزل الصوت -مقاومة الحريق والرطوبة -خفة وزنها حيث يصل وزنها إلى أقل من 0.2 ملجم/سم^3 -المتانة فهى تتحمل الضغط والصدمات -صديقة للبيئة وتتكيف مع ظروف الموقع ويتم تركيبها بسهولة كالمواد التقليدية -تتوفر بأشكال متعددة	-ارتفاع أسعارها
VIP [6]	يمكن تطبيقها فى الحوائط وعلى الأسقف	-انخفاض الموصلية الحرارية 0.008 وات/م.ك -خفة وزنها حيث يصل سمكها الى 25مم -عزل الصوت	-ارتفاع أسعارها -غير شفافة وغير قابلة للتعديل -ترتفع الموصلية الحرارية لها مع مرور الزمن -التعامل معها بدقة أثناء التركيب حيث يؤدى التداول الخاطئ الى تلفها
PCM [7]	يمكن تطبيقها بين الزجاج والحوائط والأسقف	-تخزين كمية كبيرة من الحرارة -التكيف مع درجات الحرارة المختلفة -صديقة للبيئة	ارتفاع سعرها -ثقل وزنها -حساسة للتلف والتغيرات الكيميائية
Low- E-Coating [8]	يمكن تطبيقها على الزجاج والطوب والحوائط	-خفض انبعاثات ثانى أكسيد الكربون بنسبة 55%، -انخفاض استهلاك الطاقة بنسبة 63% -مقاومة الرطوبة بنسبة تصل الى 85%). -تقليل التوصيل الحراري الناتج عن الإشعاع بين أسطح الألواح الزجاجية إلى حوالي 0.1 وات - عزل الصوت -مادة صديقة للبيئة	-ارتفاع سعرها -عدم إمكانية استخدامها على كامل الغلاف الخارجى

ETFE [9]	تستخدم كغلاف خارجي لكامل المبنى	-تعطي شفافية فائقة للمبني بتشكيلات مختلفة - مقاومة للتآكل - خفة الوزن، حيث يتراوح وزنها بين 1.4 و1.7 جرام لكل سنتيمتر مكعب -تحمل درجات حرارة عالية تصل إلى 150 درجة مئوية -- توفير مساحات داخلية كبيرة خالية من العناصر الهيكلية - شفافية عالية وانتقال للضوء الجيد، وتصل نسبة الانتقال للضوء إلى 95٪ - تمتع ETFE بمرونة عالية ويمكنها تحمل الضغط والانحناء دون تشوه.	-قيمة الموصلية الحرارية0.2 وات/م.ك -ارتفاع سعرها -تحتاج خيرة ومعدات خاصة للتركيب -عدم توفيرها بأشكال مختلفة

4-3 مادة الايروجيل

تناولت مشكلة البحث العديد من الدراسات السابقة سواء على الصعيد المحلى أو الدولى، حيث تطرقت تلك الدراسات الى مواد البناء المعالجة بالنانو وأهميتها في العمارة خاصة تأثيرها على الغلاف الخارجي للمبانى، ومن تلك المواد مادة الايروجيل، والتى بدأت عندما أنتج صامويل ستيفنز كيستلر العديد من الأنواع المختلفة من الأيروجيل، بما في ذلك أيروجيل السيليكا الشفافة بكثافة منخفضة تصل إلى 0.030 جم سم^2 . [10]

تتكون مادة الأيروجيل من رغوة هوائية خفيفة للغاية، تتكون من 95% إلى 99.9% من الهواء. أما المادة المتبقية تشبه الزجاج تسمى ثاني أكسيد السيليكون أو السيليكا.[11] كما هو موضح فى شكل رقم(2).

شكل رقم(2): مادة الأيروجيل

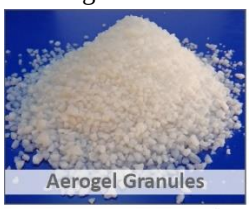
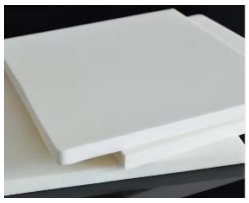
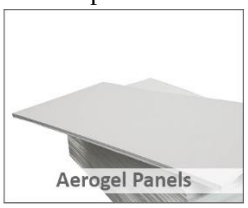
المصدر: https://www.cabotcorp.com/solutions/products-plus/aerogel/particles, access31/1/2024

تتواجد مادة الايروجيل فى الطبيعة بالعديد من الأشكال كالحبيبات Granules ، الألواح panels ، البطانيات Blankets ، اللوحات Boards كما هو موضح فى جدول رقم(2).

جدول رقم(2): أشكال مادة الأيروجيل وأماكن تطبيقها والموصلية الحرارية لكل شكل

المصدر:access 31/1/2024, https://gharpedia.com/blog/aerogel-sustainable-building-material

Aerogel - An Innovative Material for Sustainable Building! (gharpedia.com),*access24/3/2024*

أشكال الأيروجيل	blankets	granules	Boards	panels
				
أماكن تطبيقها	الحوائط المستوية وغير المستوية	بين الحوائط المزدوجة والزجاج المزدوج	على الحوائط والأسقف	بين الزجاج
الموصلية الحرارية	15 ميجاوات / (م.ك)	19 ميجاوات / (م.ك)	19:16 ميجاوات / (م.ك)	19 ميجاوات / (م.ك)

5- المحاكاة البيئية

- قياس الخواص الفيزيائية للايروجيل

تم عمل القياسات الفيزيوحرارية على عينة من حبيبات الايروجيل سمك 3مم تم تحضيرها معمليا، حيث تمت القياسات فى معهد بحوث فيزيقا المنشأت والعوامل البيئية المحيطة التابع للمركز القومى لبحوث الاسكان والبناء باستخدام جهاز قياس الخواص الحرارية KD2 Pro، وكانت قيمة الموصلية الحرارية 0.02 وات/م.ك، والكثافة 180 كجم/م^3.

- البيانات المناخية

تم استخدام البيانات المناخية لمدينة القاهرة حيث تقع ضمن اقليم القاهرة والدلتا، عند خطوط طول 31.4، وخطوط عرض 30.13، من خلال استخدام محطة رصد مطار القاهرة، واستخدام ملف الطقس Cairo Intl Airport (ETMY) 623660 ومن خلال برنامج"Climate Consultant " تم استعراض الخصائص المناخية للمدينة حيث اتضح أن معظم ساعات اليوم أعلى من مستوى الراحة الحرارية، وذلك بداية من شهر ابريل حتى شهر أكتوبر، حيث يصل الى الذروة فى شهر يوليو ليمثل معظم ساعات اليوم فوق مستوى الراحة الحرارية، حيث تصل درجة الحرارة أعلى من 40 درجة مئوية ثم ينخفض الى نهاية العام.

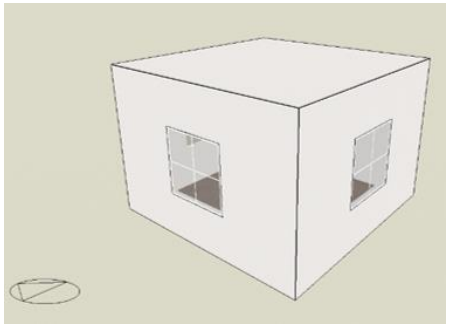
- مواصفات غرفة الاختبار

تم تصميم غرفة اختبار افتراضية مربعة الشكل بمساحة 25م^2 بارتفاع 3.5م، وتم وضع فتحات فى الحوائط الأربعة كل منهم بعرض 1.5م وارتفاع 1.5م كما هو موضح بشكل رقم(3)، بنسبة فتحات 12% تقريبا من مساحة الحائط ليمثل متوسط نسب الفتحات WWR "Window to Wall Ratio" طبقا

للكود المصرى لتحسين كفاءة الطاقة فى المبانى للسماح بدخول أشعة الشمس من جميع الاتجاهات، وذلك بهدف اظهار تأثير
الفتحات بشكل واضح على الأحمال الحرارية المكتسبة، وكذلك لإظهار الاختلاف عند تغيير مواصفات الزجاج واضافة ماده الايروجيل لكى يكون تأثير استخدام مادة الايروجيل أكثر وضوحا وهو الهدف من البحث.

- البدائل التصميمية لعناصر الغلاف الخارجى المستخدم فى المحاكاة

تم وضع بدائل تصميمية لعناصر الغلاف الخارجى ضمن مكونات غرفة الاختبار، والتى تشمل تحديدا الحوائط والأسقف والفتحات لقياس تأثير التغيير فى مواصفاتها ومقارنة تأثيرها بعد استخدام مواد النانو عامة ومادة الايروجيل تحديدا. وقد تم اختيار هذه البدائل بناءا على التطبيقات المألوف استخدامها فى المشروعات المعمارية فى سوق البناء المصري. كما هو موضح فى الجدول رقم(3).



شكل رقم(3): شكل غرفة الاختبار المستخدمة فى المحاكاة

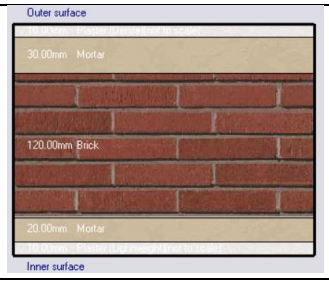
المصدر: برنامج Design Builder

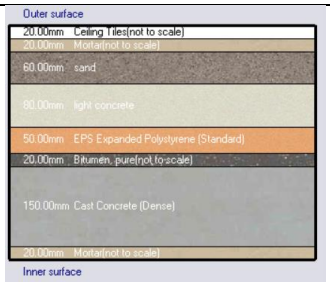
جدول رقم(3): البدائل التصميمية للغلاف الخارجى المستخدمة فى المحاكاة

المصدر: الباحث

الغلاف الخارجى	البدائل التصميمية	مواصفات البديل
البديل الأساسى	بديل1	حائط مفرد سمك 12سم، زجاج مفرد شفاف سمك 3مم، ، سقف خرسانى سمك 15 سم وعزل من مادة البوليسترين سمك5سم
الحوائط	بديل2	حائط مفرد سمك25 سم
	بديل3	حائط مزدوج سمك الحائط 12سم والفراغ هواء سمك5سم
	بديل4	حائط مزدوج سمك الحائط 12سم وعزل صوف صخرى سمك5سم
	بديل5	حائط مزدوج سمك الحائط 12سم وعزل بوليسترين سمك5سم
	بديل6	حائط مزدوج سمك الحائط 12سم وعزل ايروجيل سمك5سم
السقف	بديل7	عزل السقف مكون من مادة الصوف الصخرى سمك5سم
	بديل8	عزل السقف مكون من مادة الايروجيل سمك 5سم
الزجاج	بديل9	زجاج الفتحات مفرد شفاف سمك6مم
	بديل10	زجاج الفتحات مزدوج من الزجاج الشفاف سمك 6مم والفراغ هواء سمك12مم
	بديل11	زجاج الفتحات مزدوج من الزجاج الشفاف سمك 6مم والفراغ أرجون سمك12مم
	بديل12	زجاج الفتحات مزدوج من الزجاج الشفاف سمك 6مم والفراغ ايروجيل سمك12مم
البديل المثالى	بديل13	حائط مزدوج سمك الحائط 12سم والفراغ ايروجيل سمك5سم، زجاج مزدوج سمك 6مم والفراغ ايروجيل سمك 12مم، ، سقف خرسانى وعزل من مادة الايروجيل سمك5سم

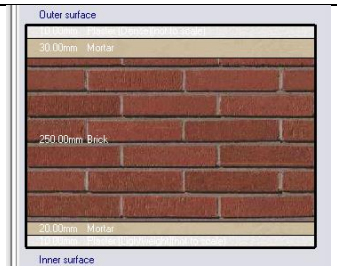
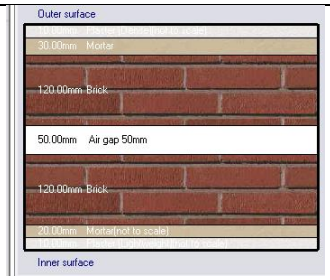
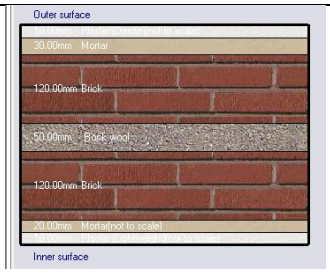
المصدر: الباحث، برنامج Design Builder

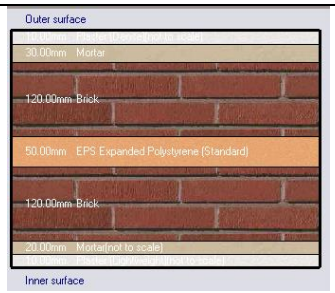
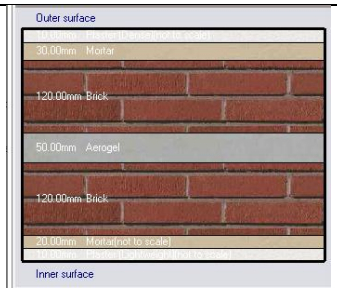
الغلاف الخارجى	المكونات	الخواص			القطاع
		R value	R total	U value	
الحائط	- دهان خارجى سمك 1سم	0.02	0.48	2.1	
	-بياض سمك 3سم	0.034			
	- طوب طفلى سمك 12 سم	0.17			
	-بياض سمك 2سم	0.023			
	-دهان داخلى سمك 1سم	0.06			
	-بلاط سطح 2سم	0.36			
	-مونة سمك2سم	0.023			
	-رمل 6سم	0.035			

السقف	-خرسانة ميول 8سم	0.11	2.16	0.46	
	- عزل حرارى من البوليسترين سمك 5سم	1.25			
	-عزل مائى 2سم	0.12			
	-خرسانة مسلحة 15 سم	0.11			
	-بياض داخلى 2سم	0.023			
الزجاج	زجاج مفرد شفاف سمك 3مم	SHGC= 0.861 VT= 0.898 U Value= 5.894			

جدول رقم(5): خواص ومكونات قطاع الحائط المستخدم فى كل بديل

المصدر: الباحث، برنامج Design Builder

البديل	مكونات الحائط	الخواص			قطاع الحائط
		R value	R total	U value	
بديل2	- دهان خارجى سمك 1سم	0.02	0.66	1.52	
	-بياض سمك 3سم	0.034			
	- طوب طفلى سمك 25 سم	0.35			
	-بياض سمك 2سم	0.023			
	-دهان داخلى سمك 1سم	0.06			
بديل3	- دهان خارجى سمك 1سم	0.02	0.85	1.17	
	-بياض سمك 3سم	0.034			
	- طوب طفلى سمك 12 سم	0.17			
	-فراغ هواء سمك 5سم	-			
	- طوب طفلى سمك 12 سم	0.17			
	-بياض سمك 2سم	0.023			
	-دهان داخلى سمك 1سم	0.06			
بديل4	- دهان خارجى سمك 1سم	0.02	1.71	0.59	
	-بياض سمك 3سم	0.034			
	- طوب طفلى سمك 12 سم	0.17			
	عزل حرارى من الصوف الصخرى سمك 5سم	1.064			
	- طوب طفلى سمك 12 سم	0.17			

	-بياض سمك 2سم	0.023			
	-دهان داخلى سمك 1سم	0.06			
بديل5	- دهان خارجى سمك 1سم	0.02	1.89	0.53	
	-بياض سمك 3سم	0.034			
	- طوب طفلى سمك 12 سم	0.17			
	-عزل حرارى من البوليسترين الممدد سمك 5سم	1.25			
	- طوب طفلى سمك 12 سم	0.17			
	-بياض سمك 2سم	0.023			
	-دهان داخلى سمك 1سم	0.06			
بديل6	- دهان خارجى سمك 1سم	0.02	3.14	0.32	
	-بياض سمك 3سم	0.034			
	- طوب طفلى سمك 12 سم	0.17			
	-عزل حرارى من الايروجيل سمك 5سم	2.5			
	- طوب طفلى سمك 12 سم	0.17			
	-بياض سمك 2سم	0.023			
	-دهان داخلى سمك 1سم	0.06			

1-5 البديل الأساسى (بديل1)

تم اختيار كافة مكونات عناصر الإنشاء للغلاف الخارجى للبديل الأساسى بما يعبر عن نمط الإنشاء والوضع التقليدى لمعظم أعمال البناء فى الواقع المصرى حتى تكون المقارنة حقيقية والتأثير واضح. حيث تم استخدام الطبقة الخارجية من دهان خارجى سمك1م وبياض سمك 3م ثم حائط مفرد سمك 12سم وطبقة بياض داخلى سمك 2سم ودهان سمك 1سم، تم استخدام سقف مكون من بياض داخلى سمك 2سم، خرسانة مسلحة سمك 15 سم، عزل مائى سمك 2سم، عزل حرارى من مادة البوليسترين الممدد سمك 5سم، رمل سمك 6سم، مونة سمك 2سم، بلاط سطح سمك2سم، كذلك تم استخدام زجاج مفرد شفاف سمك3مم كما هو موضح فى جدول رقم(4).

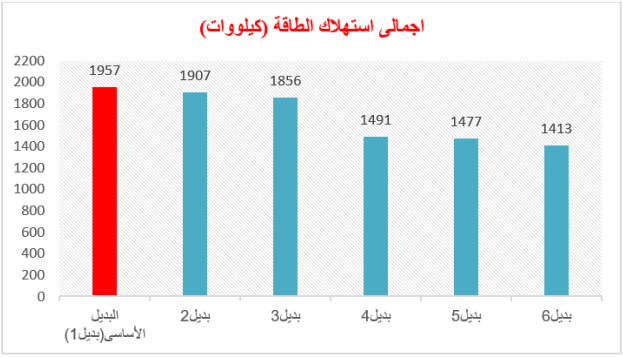
تم ادخال البيانات السابقة لمواصفات غرفة الاختبار واجراء المحاكاة الحرارية وكانت قيمة استهلاك الطاقة خلال العام بمعدل 1957 كيلووات، بما يعادل 78=25/1957 كيلو وات لكل متر مربع من مساحة الغرفة.

2-5 البدائل التصميمية للحوائط

تم استخدام مكونات قطاع الحائط فى كل بديل من البدائل التصميمية للحوائط كما هو موضح فى الجدول رقم(5).

تم ادخال البيانات المرفقة فى جدول رقم(5) وعمل المحاكاة للبدائل التصميمية للحوائط وكانت النتيجة كالتالى.

يتضح من خلال شكل رقم(4) أن بديل 6 الذى يستخدم حائط مزدوج من الايروجيل هو أقل البدائل استهلاكا للطاقة حيث ينخفض بنسبة 28% عن البديل الأساسى (بديل1). ولكن يتضح أيضا تقارب قيم كل من البديل 6،5،4 فى كلا من استهلاك الطاقة وانبعاثات ثانى أكسيد الكربون، وذلك يرجع الى استخدام زجاج غير عازل فى البديل الأساسى مما يؤدى الى دخول نسبة كبيرة من الحرارة داخل المبنى، مما يؤثر على نتائج المحاكاة لبدائل الحوائط العازلة.



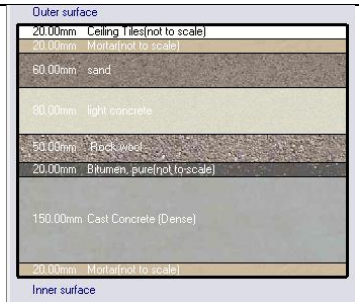
شكل رقم(4): اجمالى استهلاك الطاقة لقطاعات الحوائط
المصدر: الباحث، برنامج Design builder

3-5 البدائل التصميمية للسقف

تم استخدام مكونات السقف فى كل بديل من البدائل التصميمية للسقف كما فى جدول رقم(6).

جدول رقم(6): خواص ومكونات طبقات السقف المستخدم فى كل بديل

المصدر: الباحث، برنامج Design Builder

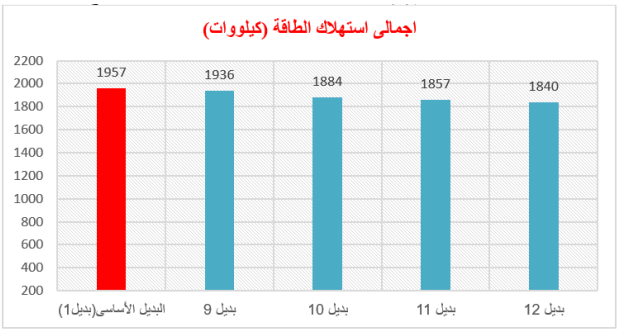
البديل	مكونات السقف	الخواص			قطاع السقف
		R value	R total	U value	
بديل7	-بلاط سطح 2سم	0.36	1.98	0.51	
	-مونة سمك2سم	0.023			
	-رمل 6سم	0.035			
	-خرسانة ميول 8سم	0.11			
	- عزل حرارى من مادة الصوف الصخرى 5سم	1.064			
	-عزل مائى 2سم	0.12			
	-خرسانة مسلحة 15 سم	0.11			
	-بياض داخلى 2سم	0.023			
بديل8	-بلاط سطح 2سم	0.36	3.41	0.29	
	-مونة سمك2سم	0.023			
	-رمل 6سم	0.035			
	-خرسانة ميول 8سم	0.11			
	- عزل حرارى من مادة الايروجيل 5سم	2.5			
	-عزل مائى 2سم	0.12			
	-خرسانة مسلحة 15 سم	0.11			
	-بياض داخلى 2سم	0.023			

جدول رقم(7): خواص ومكونات قطاع الزجاج المستخدم فى كل بديل

المصدر: الباحث، برنامجDesign Builder

البديل	مكونات الزجاج	الخواص			قطاع الزجاج
		SHGC	VT	U value	
بديل 9	زجاج شفاف سمك 6 مم	0.82	0.88	5.78	Single glass 6mm
بديل 10	-اللوح الزجاجي الخارجي: زجاج شفاف سمك 6 مم -الفراغ: هواء سمك 12 ملم - اللوح الزجاجي الداخلي : زجاج شفاف سمك 6 مم	0.76	0.81	2.73	Single glass 6mm Air 12mm Single glass 6mm
بديل 11	-اللوح الزجاجي الخارجي: زجاج شفاف سمك 6 مم -الفراغ: أرجون سمك 12 مم - اللوح الزجاجي الداخلي: زجاج شفاف سمك 6 مم	0.70	0.78	2.52	Single glass 6mm Argon 12mm Single glass 6mm
بديل 12	-اللوح الزجاجي الخارجي: زجاج شفاف سمك 6 مم -الفراغ: ايروجيل سمك 12 مم - اللوح الزجاجي الداخلي: زجاج شفاف سمك 6 مم	0.65	0.72	0.34	Single glass 6mm Aerogel 12mm Single glass 6mm

تم ادخال البيانات المرفقة فى جدول رقم(7) وعمل المحاكاة للبدائل التصميمية للزجاج وكانت النتيجة كالتالى.



شكل رقم(6): اجمالى استهلاك الطاقة لقطاعات الزجاج

المصدر: الباحث، برنامجDesign Builder

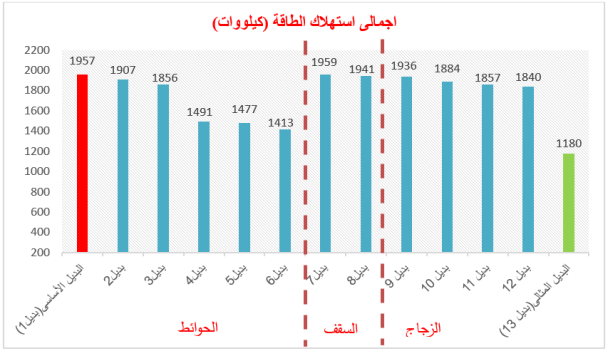
يتضح من خلال شكل رقم(6) أن البديل 12 الذى يستخدم زجاج مزدوج من الايروجيل هو أقل البدائل استهلاكا للطاقة، ولكن ينخفض بنسبة 6% فقط عن البديل الأساسى، كذلك ينخفض عن البديل السابق(بديل11)بنسبة 0.9% فقط، وذلك يرجع لعدم عزل الحوائط فالحائط المستخدم هو حائط 12 سم، وبالتالى يؤدى الى دخول نسبة كبيرة من الحرارة داخل المبنى من خلال الحوائط مما يؤدى الى التأثير بشكل محدود على نتائج المحاكاة لبدائل الزجاج.

5-5 البديل المثالى (بديل 13)

تم تغيير المواد الانشائية المستخدمة فى البديل الأول بغلاف خارجى كامل يحتوى على البديل الأفضل فى كل مكون من الغلاف الخارجى(حوائط،سقف،زجاج)، وبالتالى يتكون البديل المثالى من حائط مزدوج سمك الحائط 12سم والفراغ ايروجيل سمك5سم، زجاج مزدوج سمك 6مم والفراغ ايروجيل سمك 12مم، سقف مكون من مادة الايروجيل سمك5سم، وبعد اجراء المحاكاة كانت قيمة استهلاك الكهرباء خلال العام بمعدل 1180 كيلووات، بما يعادل 25/1180= 47كيلو وات لكل متر مربع من مساحة الغرفة.

6- مناقشة نتائج المحاكاة البيئية للبدائل

من خلال عملية المحاكاة البيئية تم الوصول لنتائج اجمالى استهلاك الطاقة فى كل بديل من البدائل التصميمية كما فى شكل رقم(7) ، كذلك تم معرفة نسب تغيير كل بديل تم استخدامه على الغلاف الخارجى (حوائط-أسقف-زجاج) عن البديل الأساسى وكذلك نسبة التغيير عن البديل السابق له فى ذات الغلاف، ونسبة تغيير البديل المثالى عن البديل السابق له فى القيمة كما هو موضح فى جدول رقم(8).



شكل رقم(7): اجمالى استهلاك الطاقة بالكيلو وات

المصدر: الباحث، برنامج Design Builder

جدول رقم(8): المقارنة بين البدائل التصميمية واجمالى استهلاك الطاقة ونسب التغيير المصدر: الباحث

الغلاف الخارجى	البدائل التصميمية	اجمالى استهلاك الطاقة (كيلووات)	نسبة التغيير عن البديل الأساسى(%)	نسبة التغيير عن البديل السابق (%)
البديل الأساسى	بديل1	1957	-	-
الحوائط	بديل2	1907	2.6	-
	بديل3	1856	5.2	2.7
	بديل4	1491	24	18.8
	بديل5	1477	25	1
	بديل6	1413	28	3
السقف	بديل7	1959	0.1	-
	بديل8	1941	0.8	0.9
الزجاج	بديل9	1936	1.1	-
	بديل10	1884	3.7	2.6
	بديل11	1857	5.1	1.4
	بديل12	1840	6	0.9
البديل المثالى	بديل13	1180	40	-

يتضح من خلال شكل رقم(7)، وجدول رقم(8) مايلى:

- فى البديل رقم(6) اضافة مادة عازلة كالايروجيل سمك 5سم بين حائط مزدوج من الطوب 12سم تؤثر بشكل اضافى فى قطاع الحائط عن بدائل العزل الأخرى، ولكن نوع مادة العزل الحرارى فى البديل4(الصوف الصخرى) والبديل5(البوليسترين) والبديل6 (الايروجيل) لا تختلف بشكل كبير فى التأثير على الحائط، ويمكن تفسير ذلك لعدم عزل الزجاج مما يؤدى الى التأثير على العزل الحرارى للمبنى.
- فى البديل رقم(8) تغيير نوع مادة العزل الحرارى واستخدام الايروجيل فى طبقات السقف يؤثر بشكل محدود جدا فى خفض استهلاك الطاقة بنسبة حوالى 1% مما يظهر ضعف تأثير الايروجيل كعازل حرارى فى طبقات السقف فلا تختلف نوع مادة العزل الحرارى المستخدم.
- فى البديل رقم(12) تغيير نوع الزجاج من زجاج 3مم الى زجاج مزدوج 6مم والفراغ ايروجيل 12مم لا يؤثر بشكل كبير مع الاستخدام فى الفتحات، مما يوضح ضعف تأثير الايروجيل كعازل فى الزجاج ويمكن تفسير ذلك لعدم عزل الحوائط الخارجية مما يؤدى الى تأثيرها على العزل الحرارى للمبنى.
- فى البديل رقم(13) الذى يستخدم مادة الايروجيل على الغلاف الخارجى بأكمله (حائط،سقف،زجاج) هو أقل البدائل استهلاكا للطاقة والذى يقدر بقيمة 1180 كيلو وات، حيث ينخفض بنسبة 40% عن البديل الأساسى رقم(1) وبالتالى فان وجود مادة الايروجيل على كامل الغلاف الخارجى للمبنى من أسقف وحوائط وفتحات يؤدى الى أفضل النتائج فى خفض استهلاك الطاقة، وبالتالى يعد البديل 13 هو البديل المثالى، وبالتالى يلزم عزل كلا من الفتحات والأسقف والحوائط الخارجية للمبنى بأكمله، وذلك لتحقيق أقل استهلاك للطاقة داخل المبنى، كذلك استخدام مادة الايروجيل للوصول لأفضل عزل حرارى داخل المبنى.

- **النتائج:**

نتائج الدراسة النظرية

- تعتبر مادة الايروجيل من أهم مواد النانو العازلة للحرارة، حيث تمتلك العديد من الخواص، ويمكن تطبيقها في أماكن مختلفة على الغلاف الخارجي للمبنى سواء الزجاج أو الحوائط أو الأسقف.
- تمتلك مادة الايروجيل العديد من الخواص كالشفافية، معامل توصيل حرارى منخفض، مادة فعالة لامتصاص الصوت، مقاومة للرطوبة، تمتلك مسامية عالية، مقاومة للحريق.

نتائج الدراسة التطبيقية

- أظهرت القياسات الفيزيوحرارية انخفاض قيمة الموصلية الحرارية لمادة الايروجيل حيث تقدر بقيمة 0.02 وات/م.ك، وبالتالى يمكن تضمين مادة الايروجيل كأحد مواد العزل الحرارى الكود المصرى لتحسين كفاءة الطاقة فى المبانى، وكذلك المواصفات العامة لبنود أعمال العزل الحرارى.
- أظهرت نتائج المحاكاة انخفاض استهلاك الطاقة بنسبة 40% عند استخدام مادة الايروجيل على الغلاف الخارجى بأكمله (حائط،سقف،زجاج) عن البديل الأساسى الذى يستخدم مواد شائعة الاستخدام، وبالتالى فان وجود مادة الايروجيل على كامل الغلاف الخارجى للمبنى من أسقف وحوائط وفتحات يؤدى الى أفضل النتائج فى خفض استهلاك الطاقة وتوفير عزل حرارى جيد داخل المبنى.

- **التوصيات:**

- يجب مراعاة تصميم الغلاف الخارجى بحيث يواجه التحديات البيئية خاصة تغير المناخ.
- 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.
- وضع مقترح للتشريع اللازم لتوصيف مواد البناء المعالجة بالنانو والزامية تنفيذها.
- يجب الأخذ فى الاعتبار قبل تصميم المبانى العوامل الجوية واستخدام تقنيات البناء الحديثة لتحقيق الراحة الحرارية وتخفيض استهلاك الطاقة فى مصر خاصة بعد الظروف التى تمر بها من زيادة درجات الحرارة، وكذلك انخفاض مخزون الطاقة.
- ضرورة التعاون بين مراكز الأبحاث العالمية والمصرية لالقاء الضوء على تقنية النانو ودورها الفعال فى خفض استهلاك الطاقة من خلال الغلاف الخارجى.

المراجع:

[1]. https://climate.copernicus.eu/climate-reanalysis

[2]. https://www.scribd.com/

[3]. Ahmed, Basant, and Nader Gharib. "Paths Towards Energy Efficient Buildings Using Nano Architecture." In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 974, no. 1, 2020.

[4]. محمد عبد الله، خالد هشام، الاستدامة مدخل أساسى لتطبيق تكنولوجيا النانو، بحث، مجلة كلية الهندسة، جامعة القاهرة،2018 .

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

[6]. R.Abdel Galil ,F.Hassan, A.El Dien Sarhan , Towards an Energy Efficient Buildings, The Use of Nanomaterials in Building Envelope Retrofit, paper , 9th international conference on nano technology in construction, 2017.

[7]. (7 Wang, Q., Wu, R., Wu, Y. and Zhao, C.Y. Parametric analysis of using PCM walls for heating loads reduction. Energy and buildings, 172, pp.328-336, 2018.

[8]. B. Petter, J.Simen, E. Kalnæs, and T. Gao , Low-Emissivity Materials for Building Applications: A State-of-the-Art Review and Future Research Perspectives, PAPER, Energy and Buildings 96, 2015.

[9]. رضا محمود حمادة، التقنيات البيئية الحديثة بواجهات المباني وترشيدها للطاقة المستهلكة في تحقيق الراحة الحرارية، بحث، كلية الهندسة، مجلة العلوم الهندسية جامعة أسيوط، المجلد 48، العدد6، 2020

[10]. http://www.aerogel.org

[11]. Zaman, Ahsan, Fei Huang, Man Jiang, Wei Wei, and Zuowan Zhou. "Preparation, properties, and applications of natural cellulosic aerogels: a review." Energy and Built Environment 1, no. 1, 2020