SEBHA UNIVERSITY JOURNAL OF PURE & APPLIED SCIENCES VOL.22 NO. 3 2023
DOI: 10.51984/JOPAS.V22I3.2738

مجلة جامعة سبها للعلوم البحتة والتطبيقية
Sebha University Journal of Pure & Applied Sciences

Journal homepage: www.sebhau.edu.ly/journal/index.php/jopas

إمكانية استخدام الخرسانة المعالجة بالاتوكلاف في مباني بيئات المناطق الحارة (الحالة الدراسية مدينة سبها)

*لؤي اسماعيل حمد العشعوش و محمد الولي عبد القادر الشريف

قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة سبها، ليبيا

الملخص

تتسارع تكنولوجيا البناء عالميا في طرح مواد ونظريات جديدة في عالم يسعى لتحقيق المزيد من الاستدامة في ذات المجال، مع المحافظة على الغايات الوظيفية والاستفادة المثلى من المباني وتحقيق راحة المستخدمين، ومن خلال الاطلاع على الواقع المناخي الصحراوي الحار الذي يعيشه الانسان القاطن في الجنوب الليبي ونظم ومواد البناء المستخدمة فيه. كان لابد من البحث عن مواد بناء بديلة عن تلك المستخدمة حالياً لمواجهة الفروقات الحرارية التي تتفاوت بين درجة حرارة تصل الى " 44.2° صيفا & 2.29° شتاءاً " من اجل تحقيق مفهوم الراحة الحرارية في المباني السكنية وغيرها من المباني. وعليه من خلال الدراسة المعمقة للباحثين في خواص مادة الخرسانة المعالجة بالاتوكلافautoclaved aerated concrete or AAC" " وتطبيقها عالميا واقليميا في مناخات مشابهة لمدينة سبها، واستخدام المنهج الوصفي والتحليلي للبحث، جاءت هذه الدراسة لتبين اهمية استخدام هذه المادة من خلال عمل محاكاة لبناء سكني في مدينة سبها لتوضيح الاثر الرجعي من استخدامها مقارنة بالبلوك الاسمنتي المنتشر حاليا، حيث اوضحت نتائج الدراسة بأن مادة الـ AAC خفضت قيمة معامل انتقال الحرارة الخارجية من 1.93 W/m²k للجدار من البلوك الاسمنتي إلى 0.58 W/m²k ، وقللت ما قيمته 23.25% من عدد ساعات التبريد غير المستوفاة بنفس السماكة لنفس الفراغ، وقد خلصت الدراسة كذلك الى امكانية طرح استخدام هذه المادة مستقبلا في بناء المباني في ليبيا وخاصة في المنطقة الجنوبية.

الكلمات المفتاحية:

الخرسانة المهواة
المعالجة ضمن افران الضغط
الخرسانة المعزولة
الخرسانة الخفيفة
التصنيع
الخصائص

The possibility of using autoclaved aerated concrete in buildings in hot environments (case of study is Sebha city)

*Louy Esmail Al Ashoush, Mohammed Al Wally Abdalqader Al Sharef

Department of Architectural Engineering, College of Engineering, Sebha University, Libya

A B S T R A C T

Building technology is accelerating globally in introducing new materials and theories in a world that seeks to achieve more sustainability in the same field, while preserving the functional goals and making the best use of buildings and achieving the comfort of users, and by looking at the hot desert climatic reality experienced by the people living in the south of Libya, systems and materials construction used in it. It was necessary to search for alternative building materials for those currently used to face the thermal differences that vary between a temperature of "44.2° in summer & 2.29° in winter" in order to achieve the concept of thermal comfort in residential buildings and other buildings .Accordingly, through the in-depth study of the researchers in the properties of the autoclaved concrete material "autoclaved aerated concrete or AAC" and its application globally and regionally in climates similar to the city of Sebha, and the use of the descriptive and analytical approach to research. The results of the study showed that the AAC reduced the value of the external heat transfer coefficient from 1.93 W/m²k for the cement block wall to 0.58 W/m²k, and reduced by 23.25% the number of unfulfilled cooling hours with the same

Keywords:

Aerated
Autoclaved
Cellular
Concrete
Insulating concrete
Lightweight
Manufacture
Properties

*Corresponding author:
E-mail addresses: luay.alashoush@sebhau.edu.ly, (M. Al Sharef) moh.alsharef@sebhau.edu.ly

Article History : Received 20 July 2023 - Received in revised form 21 September 2023 - Accepted 02 October 2023

thickness for the same void. The study also concluded that it is possible The use of this material in the future in the construction of buildings in Libya, especially in the southern region.

1. المقدمة:

يتناول البحث مشكلة الاستخدام التقليدي لمواد البناء وامكانية تطوير واستخدام وادخال مواد جديدة على السوق الليبية لصناعة البناء مستوحاة من تجارب عالمية ذات ظروف مماثلة الموجودة في ليبيا، حيث تم اختيار مادة الخرسانة المعالجة بالاوتوكلاف (AAC) وهي مادة غير موجودة بشكل عادي في الطبيعة ولكنها مادة ذات توليد صناعي وانتاج مخبري. ويتم تصنيعها لاستخدامات مختلفة. فهي اما ان تكون انشائية على شكل جدران او ارضيات او اسقف مسبقة الصنع مسلحة لتتحمل الاحمال الحية والميتة في البناء او على شكل وحدات بنائية ترتبط ببعضها البعض عن طريق مواد الربط كالبلاط وغيرها او غير انشائية في شكل الواح تستخدم لغايات الاكساء.

وتهدف الدراسة الى امكانية ادخال هذه المادة للسوق المحلي والاستفادة منها لإدخال مفهوم العمارة الخضراء واستخدام المنهجية المناسبة لتحقيق اهداف الدراسة والتي اعتمدت على المنهجين الوصفي والتحليلي واجراء محاكاة لمسكن في منطقة الدراسة باستخدام هذه المادة ومقارنتها بالبلوك الاسمنتي التقليدي، ومن ثم تم التطرق إلى الاطار النظري الذي اوضح تاريخ المادة وتطورها والمداخلات التي اثرت على استخدامها خلال الفترة الاخيرة، حيث تم التطرق إلى توقعات السوق العالمية للمادة خلال العشر سنوات القادمة مع توضيح تعاظم استخدامها خلال السنوات الماضية عالميا، وانتقل البحث إلى مرحلة اظهار التركيب الكيميائي للمادة وعرض نظري لجملة من الصفات المعمارية والانشائية للمادة وصفاتها وتكيفها مع متطلبات السوق في مجالات الاكساء والانشاء والتدفئة وغيرها .

واوضح البحث كذلك تجربة استخدام هذه المادة واختبارها في مدينة ماكسيكو سيتي المكسيكية ذات المناخ المقارب بعوامله للحالة الدراسية للبحث وهي مدينة سبها الواقعة في الجنوب الليبي.

وتم التطرق للجانب التحليلي للبحث بوصف ووضع فرضيات الدارسة على مسكن ضمن الحالة الدراسية المستهدفة باستخدام عدة ادوات ووسائل والاستعانة بالمعايير المعمارية من حيث الموقع والمساحة والتوجيه للمبنى اضافة إلى انماط التدفئة والتكييف المعتمدة ووظيفة المحاكاة التي تم تطبيقها بالدراسة وتقديم جداول لتصنيف الاداء واخيرا تم الخروج بمجموعة من النتائج والتوصيات لعلها ستفيد اصحاب القرار والمهتمين والدارسين مستقبلا.

2. مشكلة البحث:

لوحظ لعدة عقود استخدام البلوك الاسمنتي المفرغ في البناء بليبيا ومنها مناطق الجنوب الليبي ذات المناخ الحار والجاف ولوحظ عدم قدرة هذه المادة لتحقيق الراحة الحرارية مع التكلفة العالية لتحقيقها باستخدام وسائل التكييف داخل المباني.

3. اهداف الدراسة:

- التشجيع لاستخدام مادة الخرسانة المعالجة بالاتوكلاف ذات كفاءة عالية وخصائص جيدة لتحقيق الراحة الحرارية افضل من البلوك الاسمنتي المفرغ.
- سعرها سيكون في متناول الجميع لتوفر موادها الخام محليا بعد تجاوز التكلفة اللازمة لمصانع اعداد منتجات المادة.

4. **منهجية الدراسة**:

استخدام المنهج الوصفي والتحليلي للتعرف على تاريخ وصناعة هذه المادة الخرسانية المعالجة بالاتوكلاف وبعض مميزاتها واستخدام اسلوب المحاكاة بتصميم احد المساكن بمدينة سبها وعمل مقارنة باستخدام حوائط نفس الغرفة بالمنزل مرة باستخدام البلوك الاسمنتي ومرة بالبلوك المعالج بالاتوكلاف والخروج بتحليل لتوضيح نتائج الفرق بين المادتين.

5. الاطار النظري :

تم انتاج مادة AAC منذ بداية القرن العشرين ففي عام 1880 حصل الباحث الالماني Michaelisعلى براءة اختراع لعمليات المعالجة بالبخار .وفي عام 1889 حصل التشيكي Hoffmanعلى براءة اختراع لاختباره طريقة لتهوية "Aerating" الخرسانة بثاني اكسيد الكربون " CO2 " كما استخدم الامريكيان Aylsworth و Dyer مسحوق الالمنيوم وهيدروكسيد الكالسيوم للحصول على خليط اسمنتي مسامي حازا عليه براءة اختراع في عام 1914 .

وفي عام 1920 دفع المعماري والمخترع السويدي DR.Axel Eriksson عجلة التطور بمادة AAC الى الامام من خلال تصنيعة الخطلة المهواة بمزيج من الحجر الجيري والاردواز او ما يسمى بصيغة الجير " lime formula "و تحصل بموجبها على براءة اختراع .

"ومن جانب اخر جاء التقدم العلمي الحقيقي المفاجئ في صناعة البناء في عام 1923 عندما اكتشف المهندس المعماري Axel Eriksson ان الكتلة الرغوية الرطبة يمكن وبسهولة معالجهتا بعملية الضغط البخاري والمعروفة ايضا بالتعقيم بالبخار عالي الضغط " Autoclaving " واثناء التقدم للحصول على براءة اختراع ، تم التوصل إلى نتيجتين مهمين :

1.تتصلب المادة بسرعة بفضل عملية التعقيم بالبخار عالي الضغط .

2.الانكماش شبه غائب بعد المعالجة بالبخار مقارنةً بالمعالجة بالهواء الطبيعي."[3]

بالإضافة لذلك عمد Axel Eriksson إلى استخدام مواد بديلة مثل"pulverized ash" او ما يعرف بالرماد المسحوق كبديل للإسمنت / والجير والتي ساهمت في تقليل تكاليف التصنيع لهذه المواد التقليدية الباهظة . واستمر التطور لهذه المادة باستخدام أسماء تجارية مختلفة مثل Yxhult ومن ثم تغير إلى Ytong وبعدها Durox و Siporit وكانت Siporex هي اول تسميه تجارية للمادة ادخل فيها التسليح وبدا استخدامها بأشكال انشائية في الاسقف والواح الارضيات والعتبات عام 1935 كما في الشكل (1)

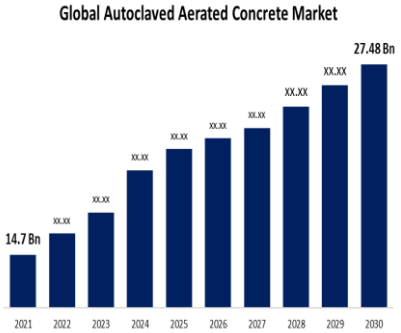
.

الشكل(1) يوضح الخرسانة المسلحة المعالجة بالاوتوكلاف [3]

6. توقعات السوق العالمية للخرسانة المعالجة بالاتوكلاف حتى عام 2030:

لغاية 2014 باحصائية عالمية هناك اكثر من 3000 منشأة على مستوى العالم لانتاج ما يقارب 450 مليون متراً مكعبا سنويا من البلوكات غير المسلحة. [13] توقعات السوق العالمية للخرسانة المعالجة بالاتوكلاف حتى عام 2030 :

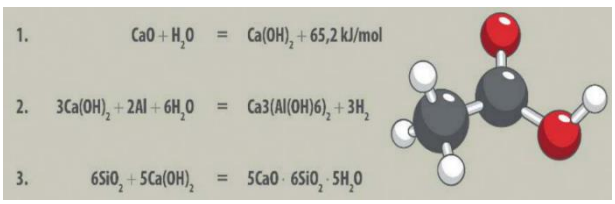
- بلغت قيمة السوق العالمية للخرسانة المعالجة بالاتوكلاف 14.7 مليار دولار أمريكي في عام 2021 .
- ينمو السوق بمعدل نمو سنوي مركب يبلغ 7.2٪ من عام 2022 إلى عام 2030.
- من المتوقع أن يصل السوق العالمي للخرسانة الخلوية المعالجة بالاتوكلاف إلى 27.48 مليار دولار أمريكي بحلول عام 2030 .
- من المتوقع أن تنمو منطقة آسيا والمحيط الهادئ بأسرع ما يمكن خلال فترة التنبؤ.



والشكل (2) يوضح قيمة السوق العالمية للخرسانة المعالجة بالاتوكلاف حتى سنة 2030 [13]

7. التركيب الكيميائي لمادة AAC:

`هو دمج العناصر التالية (الاسمنت، الجير، الكلس، الحي، ومسحوق الرمل) بإضافة الألمنيوم لتمديد الخليط الناتج وليكون الناتج هو Tobermorite او ما يعرف بسيليكات الكالسيوم المميهة C5S6H5 وفق التفاعل الموضح في الشكل (3):



الشكل (3) يوضح المعادلة الكيميائية للخرسانة المعالجة بالاوتوكلاف [3]

وعليه فإن مادة الـ AAC هي خرسانة مسامية خفيفة الوزن ناتجة عن التفاعل الكيميائي بين الاسمنت والرمل، حيث لاتحتوي غالبا على مواد خشنة، وهي ناتج لتفاعلات بين اكاسيد الكالسيوم والسيليكا ويكون التفاعل ضمن افران ذات درجات حرارة وضغط كبيرين مما يضفي القوة وثبات في ابعاد المنتج وغيرها من الخصائص. ويشار لهذا المنتج في كثير من الاحيان بالخرسانة المهواة "aerated concrete" او البيتون الغازي "gasbeton" او الخرسانة الخفيفة المعالجة بافران الضغط والحرارة "autoclaved lightweight concrete(ALC)".

التوضيح التالي يبين النسب المئوية المكونة لمادة AAC كالاتي:

- نسبة الرماد المتطاير 65-70٪ والرمل الخشن 55-65٪.
- نسبة الأسمنت مع الرماد المتطاير هي 6-15٪ والرمل 10-20٪ .
- نسبة الجير مع الرماد المتطاير 18-25٪ والرمل 20-30٪ .
- النسبة المئوية للجبس مع الرماد المتطاير 3-5٪ والرمل 2-3٪ .
- النسبة المئوية لمسحوق الألومنيوم (600 كجم / م 3) هي 8٪ أو 0.05٪ - 0.08٪ بالحجم (يعتمد على السماكة المحددة مسبقًا).
- نسبة الماء بالرماد المتطاير 0.6 والرمل 0.65٪. [1]

8. الدراسة الوصفية وخصائص مادة AAC :

تشكل الجدران ما نسبته 75-80 % من حجم اي مبنى تقريبا وتؤثر خصائص المواد المستخدمة على الاداء الحراري للمبنى وتوفير الارتياح الحراري لمستخدمي الفراغ باختلاف الوظيفة.

لذلك وجب على المصمم المعماري معرفة خواص المواد الواجب استخدامها من الناقلية الحرارية والاحتفاظ الحراري،الكثافة النسبية، القدرة على تحمل الاوزان المطبقة وتوزيعها وغيرها من الخواص منذ مراحل التصميم الاولى للمشروع والا ستصبح عملية المعالجة الملحقة للوصول إلى غايات الارتياح الحراري مكلفة.

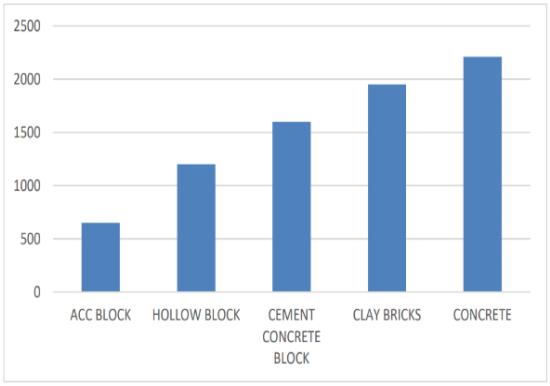
1.8.المظهر Appearance:

هي مادة ذات ألوان فاتحة وتحتوي على العديد من الفراغات الصغيرة والتي يمكن ان تضاف كميزة للمادة لا توجد طريقة فورية لمرور المياه من خلال المواد؛ مهما كان الأمر ، يمكن أن تمتص الرطوبة ويلزم تغطية مناسبة لمنع تسرب المياه. ويمكن القول بأن "لها شكل وملمس موحد، مما يعطي سطحًا مستويًا للجدران .يوجد انخفاض إجمالي بنسبة 35٪ في تكلفة اللياسة ."[4]

2.8 مقاسات التصنيع والكثافة Size and Density:

تصنع كتل (AAC) بطول 625mm ، وارتفاع 250mm ، وبسماكات مختلفة القيم: 100-125-150-200-225-250-300 mm ،مع ارتياب±1.5mmويتراوح وزنها الحجمي من 600kg/m³ - 650 ، في حين ان الوزن الحجمي للبلوك الاسمنتي العادي يتراوح بين (1750-2000 kg/m³) وتبلغ كثافة الكتل الرطبة حوالي 800 kg/m³.

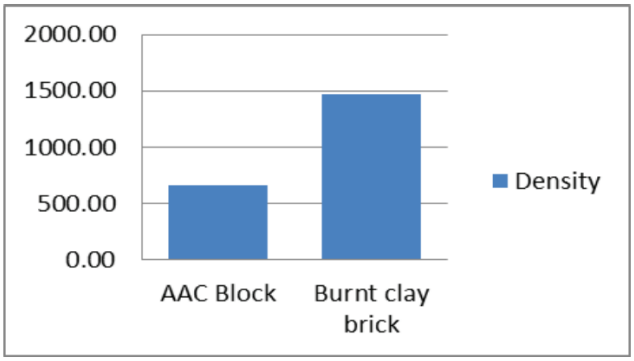
والشكل (4) يوضح مقارنه كثافة AAC مع بعض المواد.



الشكل(4) يوضح الخرسانة المسلحة المعالجة بالاوتوكلاف [7]

3.8.الكفاءة الانشائية Structural Capability:

"جودة ضغط كتل مادة AAC ممتازة، حيث تتراوح جودة الضغط من 35 إلى 50 كجم / سم 2(وفقًا لمعيار IS: 2185)، ويمكنها ان تتحمل انشائياً مبنى بارتفاع ثلاثة طوابق بشكل آمن فهي أخف بمقدار 3 إلى 4 مرات من الطوب التقليدي...ويقلل استخدامها من الحمل الإجمالي الميت للمبنى،مما يسمح ببناء مبانٍ أطول."1"وكما ان " استخدامها يضمن وصلات أقل وبالتالي يعطي المزيد من الأمان للهيكل أثناء الزلازل. " [5] بالمقارنة مثلا مع الطوب الطيني المحروق "لوحظ أن كثافة الطوب الطيني المحروق أكبر نسبيًا من كثافة AAC.لذلك هي أفضل خيار لهيكل مقاومة الزلازل."[6] وبالنسبة لاستخدام فولاذ التسليح فتبين انه "إذا استخدمنا الخرسانة الخلوية المعالجة بالاتوكلاف في الهيكل، فإننا نوفر ما يصل إلى 15٪ من الفولاذ" [7] والشكل (5) يوضح هذه المقارنة.



الشكل(5) مقارنة متوسط الكثافة [6]

4.8. خاصية العزل الصوتي Acoustic properties:

"بفضل الجيوب الهوائية المغلقة، يمكن أن توفر (AAC) عزلًا جيدًا للصوت حيث .تتميز بخصائص امتصاص الصوت الفائقة.. وتوفر ما يبلغ حوالي 42 ديسيبل . ويبلغ مؤشر خفض الصوت 45 ديسيبل للجدران بسمك 200mm ويعتبر ذلك مثالي للمدارس والمستشفيات والفنادق والمكاتب والإسكان متعدد العائلات وغيرها من الهياكل التي تتطلب عزلًا صوتيًا." [1]

5.8. مقاومة الحريق والحشرات Fire and Vermin Resistance :

"كما هو الحال مع الخرسانة العادية ، فإن AAC مقاومة للحريق، وهذه المادة غير عضوية تمامًا وغير قابلة للاحتراق." [8] وكذلك لا يمكن إتلاف أو إصابة AAC بالنمل الأبيض والآفات الأخرى .ولا تجذب القوارض أو الآفات الأخرى ولا يمكن أن تتلف بسبب ذلك. [1]

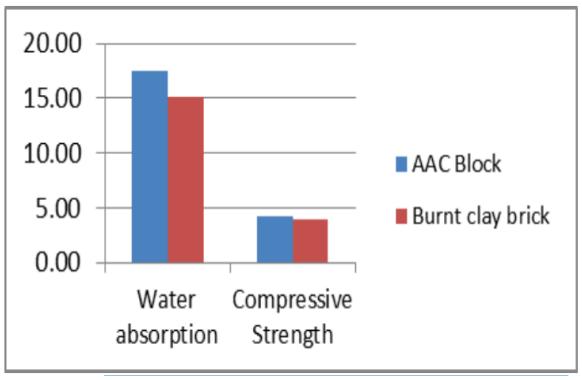
6.8 لمتانة ومقاومة الرطوبة Durability and Moisture Resistance :

تسمح الطبيعة المسامية للمادة للرطوبة بالتغلغل إلى الطبقات الداخلية، ولكنها لا تضعفها هيكلياً وانما تؤثر على أدائها الحراري . ولكن طبقات الاكساء التقليدية مثل الطلاء الاكريليك البوليميري - والذي ينصح استخدامه في المناطق الرطبة - يمنع وصول الرطوبة ويباعد ازمنة الصيانة المطلوبة للمادة .

وعمر هذه المادة طويل " لأنها لا تتأثر بالمناخات القاسية أو التغيرات الشديدة في الظروف الجوية. ولن تتحلل في ظل التغيرات المناخية العادية أيضًا." [8]

7.8. امتصاص الماء Water Absorption :

لوحظ أن امتصاص الماء في الطوب الطيني المحروق هو اقل نسبيًا من AAC لذلك فإن الطوب الطيني المحترق أفضل قليلاً من والشكل (6) يوضح مقارنة بين متوسط قيمة امتصاص الماء وقوة الانضغاط.



الشكل (6) مقارنة بين متوسط قيمة امتصاص الماء وقوة الانضغاط [6]

8.8. السمية والتهوية Toxicity and Breathability :

تسهل الطبيعة الهوائية لـ AAC عملية التهوية ،ولا توجد مواد سامة ولا رائحة في المنتج النهائي. ومع ذلك،فإنها تتطلب احتياطات مماثلة لتلك الخاصة بمناولة وحز المنتجات الخرسانية .حيث يُنصح بارتداء معدات الوقاية الشخصية مثل القفازات والنظارات وأقنعة التنفس أثناء القطع ، بسبب الغبار الناعم الناتج عن المنتجات الخرسانية .وإذا تم استخدام طبقات طلاء منخفضة السمية ونفاذة للبخار مع الحرص على عدم حبس الرطوبة منعاً لتكثفها،فقد تكون AAC مادة مثالية للمنازل التي تحتاج لمراعاة الحساسية الكيميائية.

9.8.امكانية الانشاء وتوفرها وتكلفتها Constructability, Availability, and Cost :

"تساعد الأحجام المختلفة للكتل على تقليل عدد الوصلات في بناء الجدار . وهي أخف فتجعل البناء أسهل وأسرع .وتقلل وقت البناء بنسبة 20٪ .فهي سهلة التثبيت...ويمكن قطعها بسهولة، وحفرها، وتسميرها، وطحنها، وحزها لتلائم المتطلبات النوعية. كما أنها تبسط التمديدات الصحية والكهربائية، مثل الأنابيب أو المداخن ، والتي يمكن تركيبها بعد اكتمال عملية البناء .وتنتج عن عملية البناء باستخدامها القليل من النفايات حيث يمكن إعادة استخدام قطع البلوك في تشييد الجدران." [1]

ويلاحظ بان" الكسر في كتل AAC يكاد لا يذكر مقارنة بالطوب العادي . ويقلل من الفاقد في الكتل ويزيد من نسبة الاستخدام." [4] ويذكر ان"نسبة الكسر العام اقل من 5% في حين ان متوسط الكسر في الطوب الطيني من 10-12%" [7] وكذلك "كمية المونة الإسمنتية المطلوبة أقل في كتل AAC لأنها ذات شكل منتظم وأقل عددًا من المفاصل مقارنة بالطوب الطيني. " [7]

10.8.صديقة للبيئة Environmentally friendly :

ولها 3 جوانب في هذا المجال :

A. "تساعد على تقليل 30٪ على الأقل من النفايات البيئية بدلاً من استخدام الخرسانة التقليدية .حيث تخفض ما نسبتة 50٪ في انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. ويعد استخدامها خيارًا أفضل للبيئة." [8]

B. عند استخدام الرماد المتطاير الناتج عن المحطات الحرارية فاننا نعيد تدوير المادة و تشغيلها بشكل فعال في عملية البناء فإن " اختيار AAC التي تحتوي على 0.25٪ من مسحوق الألمنيوم والاستبدال الجزئي لـ 20٪ من الأسمنت بالرماد المتطاير على أنها الخليط الأنسب والأكثر استدامة." [9]

C. الاثر الحراري الراجع وتخفيف الحمل الحراري في المبنى كما وضح سابقا .

11.8.العزل الحراري Thermal Insulation :

"تعتبر الكثافة المنخفضة ، فقاعات الهواء ، وكمية المسام وتوزيعها وغياب الركام الخشن من العوامل الحاسمة للعزل الحراري وتتأثر الموصلية الحرارية أيضًا بمحتوى الرطوبة."[10] وكما أن"خصائص العزل الحراري لمادة (AAC) جيدة جدًا مقارنة بمواد البناء الأخرى . يعطي جدار AAC بسمك 200mm (R-value rating of 1.43) مع محتوى رطوبة بنسبة 5%حسب الوزن موصلية حرارية تبلغ (0.16 kW/m°C) وبالتالي يتم تقليل تكلفة الطاقة المستهلكة في تكييف الهواء."" [1] وفي كثافة حجمية تصل ل 550 kg/m2 بسماكة 20cm للجدار وفق شركة اسباك السعودية بلغت الموصلية 0.1521 والتي " تلتقي مع معطيات الاكواد العالمية مثل ASTM, ACI والمعايير البريطانية ..كما وتتوافق مع معايير جامعة الملك فهد والمعايير التنظيمية في المملكة العربية السعودية (SASO).[10]

9. التجربة المكسيكية مثالا كتجربة عالمية :

1.9.المعطيات المكانية والبيئة للتجربة :

تم إجراء مراقبة حرارية طولية في نموذج مسكن اقتصادي مناخي حيوي تم بناؤه باستخدام نظام AAC ، في مدينة Mexicali, Baja California, México

وهذه المدينة تقع على خط عرض 32 درجة شمالاً و 115 درجة غرباً على ارتفاع 3 أمتار فوق مستوى سطح البحر .المناخ المحلي هو نوع شديد الحرارة ودافئ وجاف، مع تغيرات قوية ويومية وموسمية، ويغلب عليها الطقس في الأيام المشمسة وإشعاع شمسي شديد.

ففي شهر تموز، يبلغ الحد الأقصى لمتوسط درجة الحرارة السنوية 31.4 درجة مئوية، وبلغ متوسط درجة الحرارة القصوى 42.9 درجة مئوية ، مع درجات حرارة شهرية قصوى تبلغ 45.0 درجة مئوية ودرجات حرارة يومية قصوى تصل إلى 52 درجة مئوية .

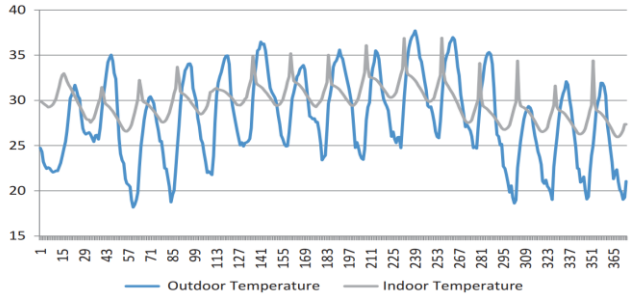
في شهر آب ، كان متوسط درجة الحرارة القصوى 42.0 درجة مئوية ، مع درجات حرارة شهرية قصوى تبلغ 44.2 درجة مئوية ودرجات حرارة يومية قصوى تصل إلى 49.4 درجة مئوية ؛ بينما في ديسمبر متوسط درجة الحرارة الصغرى هو 6.8 درجة مئوية و 7.1 درجة مئوية في يناير ، مع درجات حرارة شهرية لا تقل عن 3.4 درجة مئوية .معدل هطول الأمطار السنوي 73.3mm في شهري كانون الاول والثاني .

2.9.المعطيات التصميمية للتجربة :

نموذج الاسكان المدروس هو نموذج مدروس من قبل اللجنة الوطنية للاسكان في المكسيك فقد تم تصميمه بشكل مناسب للظروف المناخية في مدينة Mexicali وهو منزل بمساحة 120m² الواجهة الرئيسية باتجاه الشمال والمحور الطول بين الشمال والجنوب ومؤلف من غرفة معيشة وغرفة طعام ومطبخ وغرفتي نوم وحمام مع اسقف مائلة بارتفاعات تزيد عن 240cm مراعين في التصميم النوافذ العالية وعناصر التظليل الشاقولية والافقية .

3.9.نتائج التجربة :

"يعمل المغلف الانشائي للمبنى بنظام AAC على إخماد تذبذبات درجة الحرارة اليومية ، فبينما تتأرجح التقلبات الخارجية اليومية بين 10C°و16C°؛ في الداخل، كان التذبذب أصغر،حوالي 6 درجات مئوية ، كما هو موضح في الجدول (1)والشكل (7)."2"



الشكل (7) التذبذب في درجات الحرارة داخل وخارج المبنى

الجدول (1) التذبذب في درجات الحرارة

	في الخارج		في الداخل (منزل مبنى بمادة AAC)			
	DBTo (c°)	Rho (%)	DBTi (c°)	RHi (%)	BGTi (c°)	BGTi-b(c°)
الاعظمي	37.717	94.333	36.898	56.926	35.616	33.888
الاصغري	18.167	5.333	25.951	22.687	25.969	26.983
الوسطي	27.877	30.688	29.833	34.131	29.888	30.308
التذبذب	19.550		10.947		9.647	6.904

DBTo هي درجة الحرارة الجافة الخارجية ، Rho هي الرطوبة النسبة الخارجية ، DBTi هي درجة الحرارة الجافة الداخلية ، Rhi هي الرطوبة النسبة الداخلية ، BGTi درجة الحرارة والاشعاع الشمسي الداخلي ، BGTi-b درجة الحرارة والاشعاع الشمسي الداخلي في غرفة النوم "2"

4.9.خلاصة التجربة :

"في المناخ الحار والجاف ، يكون البناء باستخدام نظام AAC مناسبًا حراريًا ، نظرًا لانخفاض قيم التوصيل الحراري ، مقارنةً بالأنظمة المستخدمة تقليديًا لسلسلة المساكن المنفصلة لعائلة واحدة .ففي هذه الحالة سيؤدي استخدامها إلى تقليل نقل الحرارة إلى داخل المنزل ،....و يمكن أن يؤدي بدوره إلى تأخير تبريد البناء في الصيف" [2] .

10. الدراسة الافتراضية لحالة منزل في مدينة سبها :

1.10.الادوات والمعايير المعتمدة للتجربة :

تمت عمليه محاكاة للدراسة النظرية بواسطة برنامج ArchiCAD النسخة 25 المدعمة بميزة المصمم البيئي الاحتياطي Reserve Eco designer والمعلومات المناخية للمكان معتمدة على المعيار القياسي "ASHRAE 90.1" والمعلومات المناخية الدقيقة "LBY_SB_Sabha.AP.621240_TMYx.2007-2021"[11]

2.10.الإفترضات المعمارية للتجربة :

تم نمذجة مخطط لمسكن تقليدي في الجنوب الليبي في مدينة سبها على خط

عرض 27° 3' 12.0960" وطول 14° 24' 51.2820" وعلى ارض بمساحة 500m² بابعاد 25m*20m وبمسطح بناء بلغ 189.9 m² توزعت فراغاته المعمارية بالشكل التالي وخصصت غرفة استقبال الرجال "**المربوعة**" كعينة

دراسية بالمواصفات الفنية الواردة بالجدول (2) والمخطط (1)التالية :

جدول (2) ابعاد ومساحات الفراغات المعمارية للمنزل المقترح

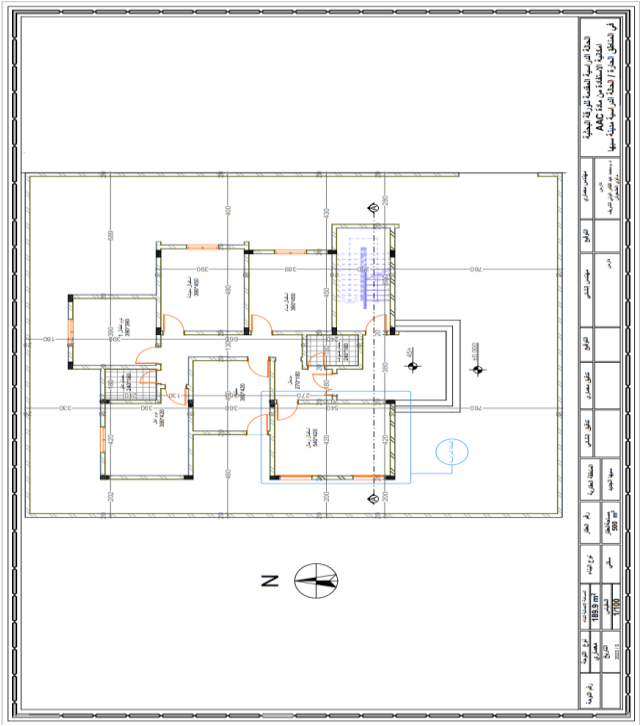
2.2.10 الموضع والتوجيه للمربوعة :

الموضع : في الزاوية الجنوبية الغربية من المسكن بمحور شمالي جنوبي، يرفع البناء ككل عن الارض **45cm لكي نتجنب اثر للحرارة القادمة من التربة** فيما لو كان تحت او مع منسوب الارض، مع العلم اخذت درجة حرارة الارضية المؤلفة من طبقات الاكساء لارضية ملامسة للارض بعين الاعتبار -.

التوجيه :" واجهة بطول 465cm باتجاه الجنوب و 585cm باتجاه الغرب و260cm باتجاه الشمال و 270cm باتجاه الشرق مطلة على المدخل ومتداخلة مع المطبخ وفراغ المدخل كما هو موضح بالمخطط السابق.

3.2.10 التظليل :

لم تستخدم اي الية تظليل اضافية للواجهات الجنوبية والشرقية والغربية في الغرفة ومع وجود تظليل جزئي بحكم قرب الغرفة من السور الغربي **لم يدخل في دراسة التظليل للعنية** .



مخطط (1) لمسكن تقليدي في الجنوب الليبي في مدينة سبها

4.2.10التهوية :

للغرفة نافذتان باتجاه الغرب وباب داخلي باتجاه المنزل **" لم تدخل دراسة التهوية الطبيعية في النتائج الحرارية ".**

5.2.10الأثاث وعناصر التزيين الداخلية :

الأثاث : كأي غرفة استقبال في الجنوب الليبي ولكن اعتبرت الغرفة **خالية من الاثاث.**

عناصر التزيين الداخلية "الديكور" : **اعتبرت الغرفة خالية من اي تشكيل على الجدران او الاسقف**

هذه الاعتبارات تأتي لتثبيت كمية الهواء الموجود ضمن الغرفة وكي لا يلعب الاثاث او عناصر التشكيل الداخلي دورا في عمليات التبريد والتكييف .

10نمط التدفئة والتبريد :

حددت الكهرباء كمصدر الطاقة المعتمد لاجهزة التبريد والتدفئة بسعر قدره 0.04 من الدينار الليبي :

a. للتبريد : اعتمدت وحدة التبريد الجدراية المؤلفة من قطعتين

اسم الفراغ	طول الفراغ (cm)	عرض الفراغ (cm)	المساحة الداخلية (m²)
استقبال رجال "المربوعة "	**540**	**420**	**22.4**
غرفة استقبال نساء	450	390	17.2
غرفة معيشة	480	390	18.5
مطبخ	420	360	14.5
نوم اهل	420	390	17.2
نوم اطفال	390	390	15
حمام ضيوف	240	180	4.2
حمام رئيسي	240	180	4.2
بيت الدرج	540	250	13.3

داخلية وخارجية مع المواصفات الفنية الواردة بالجدول (3):

الجدول (3) المواصفات الفنية لجهاز التبريد الجداري المقترح

Cooling Capacity	12000 Btu/hr
Free Cooling Limit	5°C
Circulation Pump Electricity Demand	60%
Maximum Allowed Relative Humidity	65%

b. التدفئة : اعتمدت وحدة تدفئة كهربائية " مشعات " مع المواصفات الفنية الواردة في الجدول (4) :

الجدول (4) المواصفات الفنية لجهاز التدفئة الكهربائية المقترح

Heating Output		5000 w
Heating Factor		3.45
Evaporator temperature	Nominal	7 °C
	Lowest	2 °C
Condenser temperature	Nominal	35 °C
	Highest	55 °C

7.2.10مواصفات الاكساء والعناصر الانشائية الحاملة للفراغ وعناصر الفتح والاغلاق وموادها :

اعتمدت جملة من المواصفات الاكسائية والانشائية في الفراغ بما يمثل الطرق الشائعة في عملية البناء في الجنوب الليبي فكان الجدول(5) معبرا عنها:

الجدول (5) المواصفات التنفيذية للفراغ

العنصر	المواصفات	السماكة
السقف	بلاطة خرسانية مسلحة نوع هوردي	22cm
	طبقة طينة اسمنتية داخلية	1.5cm
الاعمدة (4)	من الخرسانة المسلحة موزعة على زوايا الفراغ	20*40cm
الارضية	صبة خرسانية مسلحة بمستوى الجوائز الارضية	8cm
	طبقة رمل ميول	6cm
	مونة اسمنتية	2cm
	بلاط " موزاييك "	2cm
نافذتان 150*150cm نسبة	باطار خشبي ثابت	5cm
التزجيج 5% لكامل الفراغ	مؤطر الزجاج خشبي متحرك	3cm
	زجاج شفاف عادي	3mm
باب داخلي 210*100cm	باطار خشبي ثابت	5cm
	درفة متحركة من الخشب	4cm

8.2.10 وظيفة الفراغ والانارة والراحة الحرارية :

وظيفة الفراغ : حدد الاشغال الفعلي لوظيفة الغرفة " كغرفة استقبال " بعدد ساعات مفترض ب 18 ساعة .

الانارة : فترة الاستخدام المعتمدة هي fluorescent lighting tube بنفس زمن التشغيل .

الراحة الحرارية : حددت درجة الحرارة بين درجتي 20 -26 درجة حرارية وفق الاكواد المعتمدة .

3.10.حالات الدراسة المقارنة :

الحالة الدراسية الاولى " الحالة التقليدية " الجدول (6)

الجدول (6) الحالة الدراسية الاولى الحالة المنتشرة لجدار

اسم المادة	السماكةmm	الناقلية الحرارية W/mk	الكثافة kg/m³	الاحتفاظ الحراري j/kgk
طبقة اسمنتية	15	1.0000	1800	1000
بلوك اسمنتي	200	0.6000	1420	880
طبقة اسمنتية	15	1.0000	1800	1000

الحالة الدراسية الثانية " الحالة المقترحة " الجدول (7)

الجدول (7) الحالة الدراسية الثانية لجدار من AAC

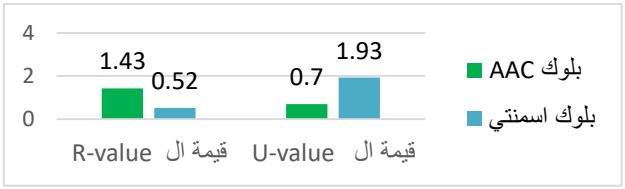
اسم المادة	السماكةmm	الناقلية الحرارية W/mk	الكثافة kg/m³	الاحتفاظ الحراري j/kgk
طبقة اسمنتية	15	1.0000	1800	1000
بلوك AAC	200	0.1600	500	1240
طبقة اسمنتية	15	1.0000	1800	1000

فرضنا في الحالتين أن " طريقة البناء للبلوك والتركيب الكيميائي للمونة الاسمنتية الرابطة وسماكتها ثابتة للحالتين "

4.10.نتائج المحاكاة :

1.4.10 قيمة المقاومة والناقلية الحرارية U&R-value :

كانت قيمتي الناقلية والمقاومة الحرارية للجدار الجنوبي للغرفة وهو الاكثر تعرضا للاشعاع الشمسي كما هو موضع بالتمثيل البياني (1) :



التمثيل البياني (1) جدول مقارنة لقيمتي U&R-value لكامل الجدار

2.4.10الجدول (8) قيم الاحتياج الحراري واصدارCO2:

الجدول (8)

	Key Values	وحدة القياس	حالة 2	حالة 1
Internal Temperature	Min. (10:00 Dec. 12)	°C	13.19	13.00
	Annual Mean		25.35	25.15
	Max. (01:00 Jul. 27)		35.76	35.14
Unmet Load Hours	Heating	hrs/a	488	526
	Cooling		171	167
Heat Transfer Coefficient U value	Floors	W/m²K	1.41 - 1.41	1.41 - 1.41
	External		4.09 - 0.70	4.09 - 1.93
	Underground		-	-
	Openings		3.06 - 2.11	3.06 - 2.11
Annual Supplies	Heating	kWh	11.99	23.80
	Cooling		10606.93	12176.35
Peak Loads	Heating	kW	0.65	1.04
	Cooling		5.49	6.34
HVAC Design Data				
Heating Demand	Yearly	kWh	11	23
	Peak Hourly 14:00 Dec. 13	kh	0.6	1.0
Cooling Demand	Yearly	kWh	10606	12176
	Peak Hourly 17:00 Jun. 27	kh	5.5	6.3
Temperatur Internal e	Max 25:00 Jul. 26	°C	13.2	13.0
	Min. 09:00 Dec. 12		35.8	35.1
Number of Used Hours in Year	Heating	hrs	48	66
	Cooling		4316	4218
Unmet Load Hours in Year	Heating		488	526
	Cooling		171	167
Energy Consumption by Targets		DL		
Heating	Quantity	kWh/a	11	23
	Primary		15	30
Cooling	Quantity	kWh/a	10606	12176
	Primary		60700	69704
	Cost	DL	507	582
Co2 Emission		kg/a	2742	3144

3.4.10. جدول تصنيف الاداء :

يبين الجدول (9) المقارنة بين الحالتين و قيم التوفير في الاحتياج الحراري وانبعاث غاز ثنائي اوكسيد الكربون وقيمة الاستهلاك المالي :

الجدول (9)

		وحدة القياس	حالة 2	حالة 1	معادل التوفير %
Heating	Energy Use	kWh	11.99	18.80	36.20
	Peak Demand	kW	0.65	0.81	19.91
Cooling	Energy Use	kWh	10606.93	12325.38	13.94
	Peak Demand	kW	5.49	6.06	9.46
Co2 Emission		kg/a	2742	3144	12.79
Cost		DL	507	582	14.79

11. الاستنتاجات :

ان استبدال مادة AAC كوحدات بنائية عوضاً عن وحدات الاسمنت العادية يوفر ما قيمته:

- 36.20 % من استهلاك الطاقة للتدفئة.
- 13.94% من استهلاك الطاقة للتبريد ويقلل بما نسبته
- 12.79% من انبعاثات غاز ثنائي أوكسيد الكربون .
- 14.79% من التكلفة الخاصة بالتكييف .

12. التوصيات :

- ضرورة دراسة واستثمار المادة في البناء في المساكن الليبية وخاصة في مساكن الجنوب الليبي .

13. المراجع :

[1]- Mohamd kamal (2020). Analysis of autoclaved aerated concrete (AAC) blocks with reference to its potential and

Materials, Department of Civil Engineering, University of Engineering and Management, Rajasthan, India.

[8]- Hiren Talati & others (2018). A STUDY OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE BLOCK AS A ALTERNETIVE BUILDING CONSTRUCTION MATERIAL, Civil Engineering Department, Dr. Jivraj Mehta Institute Of Technology-Mogar, Gujarat, India , IJARII, Vol-4 Issue-1 2018 -ISSN(O)-2395-4396

[9]- Ndu susan and Elson Jhon (2019). EVALUATION OF PROPERTIES OF AERATED CONCRETE PARTIALLY REPLACED BY CEMENT WITH FLY ASH, international gournal of advanced engineering and technology, volume 10 issue 1, ISSN Print :0976-6480.

[10]-ESPAC represents the green standard in the Autoclave Aerated Concrete industry that others strive to match. ESPAC is a Saudi-Emirati company that specializes in Precast Aerated Concrete (PAC). Dammam 34324 - 7333 | Saudi Arabia

[11]-https://climate.onebuilding.org/

[12]-www.sphericalinsights.com Spherical Insights

sustainability, king Fahed university of petroleum and minerals.

[2]- Remona & others (2019). Thermal Monitoring of Low-Income Housings Built with Autoclaved Aerated Concrete in a Hot-Dry Climate, selected papers from the World Renwebale Energey Network Med Green Fourm.

[3]- Willem van Boggelen (2018) (History of Autoclaved Aerated Concrete, AAC Worldwide .

[4]- Janni & Velsuny (2018). Performance Evolution of AAC Concrete blocks, international journal of management and engineering, ISSN NO: 2249-7455.

[5]- Parshant & Navdeep (2013). Comparison of Autoclaved Aerated Concrete Blocks with Red Bricks, internatonal journal of engineering and technology, vol 2, ISSN: 2278-0181

[6]- Ima and Nepal (2019). COMPARATIVE STUDY ON AUTOCLAVED AERATED CONCRETE BLOCK AND CONVENTIONAL BURNT CLAY BRICK, KEC Conference,

[7]- Himanshu and V.Khan (2019). Use of Autoclaved Aerated Concrete Blocks as Energy Efficient Building Construction