

## دراسة الأداء الطاقى للجدران المنفذة بالتربة المدكوكة، دراسة مقارنة في منطقة القلمون

بريف دمشق

ميس عيسى، أ.د. غسان عبود

<sup>1</sup>طالبة دكتوراة في قسم علوم البناء والتشييد، جامعة دمشق.

<sup>2</sup>أستاذ في كلية الهندسة المعمارية- قسم علوم البناء والتشييد- جامعة دمشق.

### الملخص

تؤكد العديد من الفرضيات العالمية الحالية على ضرورة التوجه نحو الإنشاء بالتربة المدكوكة، لما لها من دور في مواجهة تحديات الطاقة الحالية، وقد جاء ذلك بالتركيز على قدرة المادة على الحفاظ على درجة حرارة داخلية مريحة. استناداً إلى ذلك، يعتمد البحث على تحليل وتوصيف الأساليب الممكنة في الإنشاء بالتربة المدكوكة، وإسقاط ذلك محلياً على مبنى بمنطقة القلمون في ريف دمشق، ليتم العمل على تقييم كفاءة الطاقة باحتمالات التنفيذ الممكنة، ومقارنة النتائج مع كفاءة الطاقة الحاصلة في المباني المُشادة بالخرسانة المسلحة في منطقة القلمون.

يستعرض البحث بناء مبني بعدة طرق إنشاء: الأولى: تقليدية، حيث يُبنى بالكامل بتقنية التربة المدكوكة بحالتين (سماكة جدران 40 سم، سماكة جدران 60 سم)، الثانية تقليدية محدثة: من جدران تربة مدكوكة معادلة ومعزولة (SIREWALL)، أما الثالثة: فهي من الخرسانة المسلحة (والمغلف هو جدران مضاعفة من البلوك الاسمنتي مع فراغ هوائي وسطي). بهدف المقارنة بين أدائهم، تم إجراء محاكاة للسلوك الحراري لكل منها عن طريق برنامج المحاكاة الحرارية الديناميكية (Design Builder).

تاريخ الإيداع: 2022/4/27

تاريخ القبول: 2022/12/15



حقوق النشر: جامعة دمشق - سورية،

يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب

الترخيص CC BY-NC-SA 04

**الكلمات المفتاحية:** الإنشاء الترابي، التربة المدكوكة، نظام انشائي مستدام، فيزياء

مباني، إنشاء مباني، ريف دمشق، محاكاة حرارية، أداء طاقي.

## A Study Of The Energy Performance Of Walls Constructed With Rammed Earth, A Comparative Study In The Qalamoun Area In Damascus Countryside

Mais Issa<sup>1</sup>, Dr. Ghassan Aboud<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PH.D student, Damascus Univesity.

<sup>2</sup>A professor at Damascus Univesity.

### Abstract

Many of the current global hypotheses emphasize the need to move towards construction with rammed soil, because of its role in facing the current energy challenges, and this came by focusing on the ability of the material to maintain a comfortable internal temperature. Based on this, the research depends on the analysis and description of the possible methods of construction with compacted soil, and locally projecting that onto a building in the Qalamoun area in Damascus countryside, in order to work on evaluating energy efficiency with possible implementation possibilities, and comparing the results with the energy efficiency of buildings constructed with reinforced concrete in the area Qalamoun.

The research reviews a building built in several construction methods: The first: traditional, where it is built entirely with rammed earth technology in two cases (wall thickness of 40 cm, wall thickness of 60 cm), the second is traditional, modernized: of stablized and isolated rammed earth walls (SIREWALL), and the third: it is from Concrete (double block walls with middle air space). In order to compare their performance, the thermal behavior of each of them was simulated using the thermodynamic simulation program (Design Builder).

**Keywords:** Earthen Construction, Rammed Earth, Sustainable Structural System, SIREWALL, Thermal Simulation, Energy Performance, Building Phisichs, Damascus Countryside.

Received: 27/4/2022  
Accepted: 15/12/2022



**Copyright:** Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

**المقدمة:**

في سياق عالمي يتمحور حول التنمية المستدامة وكفاءة الطاقة، أصبح العمل على تقليل استهلاك الطاقة للمباني مطلباً رئيسياً. يُعد قطاع البناء اليوم، الذي يشمل غالبية المباني الحديثة، مسؤول عن 36% من إجمالي مدخول الطاقة و 51% من استهلاك الكهرباء. هذه الأرقام المقلقة دعت جميع المتحدثين في قطاع البناء إلى اقتراح حلول فعالة وسهلة المنال من أجل تحسين الأداء الحراري للغلاف، والذي يُعتبر المصدر الأساسي لفقد الطاقة، {Ronald, 2009, 5}.

منذ بداية استخدامه في قطاع البناء والتشييد، أثبت البناء بالتربة المدكوكة دائماً موثوقيته بقدر ما أثبتت المواد البيئية المحلية التي تُطبق ما تملكه من خصائص حرارية ممتازة. على سبيل المثال، فإن الإنشاء بالتربة المدكوكة قادر على تخفيف وطأة حرارة الصيف وبرد الشتاء. هذه الخاصية تخفف اللجوء إلى أنظمة تكييف الهواء والتدفئة، مما يؤدي إلى التقليل من استهلاك الطاقة، {Wiçal et al., 2018,1}.

**إشكالية البحث:**

بالرغم من الانتعاش العالمي الحاصل مؤخراً في تكنولوجيا الإنشاء الترابي عامة وخاصة البناء بالتربة المدكوكة، إلا أن هناك تقصير واضح في التغطية عنه محلياً، ونقص في الوعي والإدراك لأهمية هذه المادة من ناحية تخفيف الأعباء الاقتصادية (تكاليف تدفئة وتكييف).

**هدف البحث:**

هدف البحث هو إظهار تأثير مادة المغلف المستخدم في المبنى لتحسين الراحة الحرارية ضمنه، من خلال دراسة الأداء الطاقي لمبنى سكني يستخدم الإنشاء بالتربة المدكوكة (بعده حالات منها) ويستخدم تقنيات التصميم السلبي للتهوية والتدفئة في مناخ ريف دمشق، منطقة القلمون (بلدة النبك).

**حدود البحث:**

- الحدود المكانية للبحث: منطقة القلمون في ريف دمشق. الحدود الزمانية للبحث: ضمن الفترة الحالية لسنة 2022. الحدود البحثية: تم التركيز على نمط واحد من أنماط العمارة التقليدية الترابية وهو التربة المدكوكة ومقارنتها مع ما هو حالياً شائع في المنطقة (جدران البلوك الاسمنتي).

**منهجية البحث:**

تم الاعتماد على المنهج المقارن المعتمد في البداية على المنهج النظري التحليلي للتعريف بالحالة الدراسية (المبنى المفترض).

ثم تم رفع المبنى المدروس في برنامج DESIGNBUILDER وإدخال المعلومات اللازمة لإجراء محاكاة على هذا المبنى، والحصول على نتائجها بعد تحديد البارامترات المتغيرة (في هذه الحالة مادة البناء وسماكة الجدار) ومقارنة هذه النتائج.

**مفاهيم ومصطلحات:**

- المحاكاة الحرارية الديناميكية (Dynamic Thermal Simulation): تستخدم المحاكاة الحرارية الديناميكية (DTS) نموذجاً ثلاثي الأبعاد لمبنى لمحاكاة سلوكه الحراري ساعة بساعة. تأخذ هذه التقنية في الاعتبار: القصور الحراري الذاتي للمبنى، هذه الخاصية مهمة بشكل كبير إذا تم استخدام المبنى بشكل متقطع وللاسترخاء خلال أشهر الصيف مثلاً.

- القصور الحراري الذاتي (Thermal inertia): أو ما يعرف بالعتالة الحرارية هي خاصية للمادة تعبر عن درجة البطء التي تصل بها درجة حرارة هذه المادة إلى درجة حرارة البيئة المحيطة، {Szokolay, 2008, 9}.

- تأثير الجدار البارد (Cold wall effect): يشير تأثير الجدار البارد إلى حالة يكون فيها الهيكل مثل خزان، وعاء،

قبل Gagliano & al. حيث تم تحسين العزل الحراري لغلاف المبنى واستخدام مصادر الطاقة المتجددة، مما أدى إلى اقتصاد الطاقة وزيادة الراحة. كما أن Jaher & al قادو محاكاة حرارية ديناميكية تهدف إلى تقييم الجودة الحرارية للتربة المدكوكة كإكساء خارجي لمنزل منخفض التكلفة في بنغلاديش. أظهرت نتائج المحاكاة أن التحسينات المضافة فيما يتعلق بالراحة الحرارية واستهلاك الطاقة يمكن أن تنتج عن استخدام التربة المدكوكة كإكساء خارجي.

### ثوابت ومتغيرات الدراسة:

يتطلب تطبيق المنهج المقارن على حالة دراسية ما وجود مجموعة من الثوابت والمتغيرات تؤخذ بعين الاعتبار عند القيام بعملية التحليل والمقارنة وهي موضحة في الجدول (1).

الجدول (1) ثوابت ومتغيرات الدراسة، الباحثة

المتغيرات	الثوابت
المواد الانشائية للمبنى	موقع المبنى، الطقس المحلي. اتجاه المبنى وتوزيع الأجزاء والترجيح.
العطالة الحرارية	تدفئة وتكييف، التهوية والإضاءة. إشغال أجزاء المبنى وسلوك المستخدمين.

### 1- محددات البيئة المحيطة:

#### 1-1 المناخ:

تقع منطقة القلمون في سلسلة جبلية في غرب سوريا تمتد من الدريج جنوباً إلى البريج شمالاً وتكون إلى الشمال الغربي من مدينة دمشق، وتسمى سلسلة جبال لبنان الشرقية أيضاً. تنتشر عليها من الجهة السورية مدن وقرى وبلدات شهيرة مثل الزيداني، وادي بردى، ببرد، التل، صيدنايا، عين منين، معلولا، رنكوس، تقيتا، بخعة، جبعدين، عين التينة، الدريج، حلبون، النبك، القطيفة، الرحيبة، جبرود، قارة، دير عطية، رأس المعزة، السحل، عسال الورد وحوش عرب وغيرها، [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com).

تم اختيار بلدة النبك كموقع توضع فيه مبنى الحالة الدراسية، باعتبار النبك هي عاصمة القلمون.

مبنى، وما إلى ذلك أقل درجة حرارة من الخارج عن المنتج المخزن داخل الهيكل.

- الموصلية أو الناقلية الحرارية (U-value): هي معدل نقل الحرارة من خلال بنية ما (والتي يمكن أن تكون مادة مفردة أو مركبة)، موزعة حسب الاختلاف في درجة الحرارة عبر ذلك الهيكل. وحدة القياس  $W / m^2K$ .

- المقاومة الحرارية (R-value): هو مقياس لقدرة المادة على مقاومة الحرارة التي تنتقل عبرها. كلما زادت قيمة ال R، كان الأداء الحراري للعزل أفضل، {Szkolay, 2008, 6}.

- قدرة التدفئة (Heating capacity): وهي نسبة الحرارة التي تمتصها مادة ما لتغيير درجة الحرارة.

- قدرة التبريد (cooling capacity) هي قياس إمكانية نظام التهوية (طبيعي أو ميكانيكي)، لخفض حرارة الفراغ، {Kharagpur, 2011}.

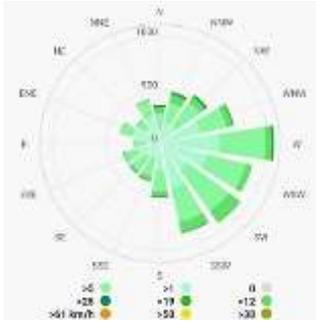
- الفقد الحراري: هو الحركة المتعمدة أو غير المقصودة للحرارة من مادة إلى أخرى. يمكن أن يحدث هذا من خلال التوصيل، الحمل الحراري أو الإشعاع، {Szkolay, 2008, 9}.

### الدراسات السابقة:

تم إجراء العديد من المهام البحثية، التي اقترحت حلول قادرة على تحسين جودة الطاقة للمغلف. قام (Soebarto & al) بدراسة حول الأداء الداخلي لمنازل التربة المدكوكة، حيث قارنت الدراسة بين أداء مبنيين سكنيين قائمين في (Willunga)، جنوب استراليا، أحدهما مؤلفة جدرانها بالكامل من التربة المدكوكة والآخر يستخدم جدران التربة المدكوكة المعزولة. أظهرت النتائج أن المسكن المعزول ممكن أن يكون أدفاً ب 5 درجات عن المسكن غير المعزول مما يؤدي إلى استهلاك أقل للطاقة في التدفئة.

تمت دراسة تجديد لسكن الاجتماعي مما أعطى فرصة مثيرة للاهتمام لتقليل استهلاك الطاقة وزيادة راحة السكان من

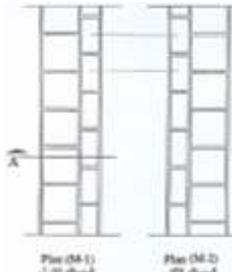
الرياح السائدة في المنطقة عموماً هي رياح غربية معتدلة غالباً وباردة شتاءً، الشكل (2)، [www.meteoblue.com](http://www.meteoblue.com).



الشكل (2) وردة الرياح في بلدة النبك، [12].

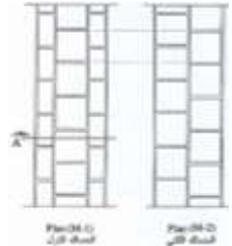
### 2-1 نماذج الجدران في منطقة القلمون:

**1- النموذج الأول:** جدار من اللبن يتم فيه انشاء المدمك الواحد عرضياً باستعمال لبنة واحدة وابنتها، مع التأكيد على التناوب في توضع قطع اللبن بين المداميك المتتالية، أبعاد اللبنة (28x28x10) سم، بنت اللبنة (28x14x10) سم. يبلغ عرض الجدار هنا بحدود 51 سم، الشكل (3).



الشكل (3) جزء من مسقط لجدار النموذج الأول، {صفوان، 2001}.

**2- النموذج الثاني:** جدار من اللبن يتشكل فيه المدمك الواحد عرضياً باتعمال لبنتين أو لبنة وبننتين، يبلغ عرض الجدار بحدود 65 سم، الشكل (4).

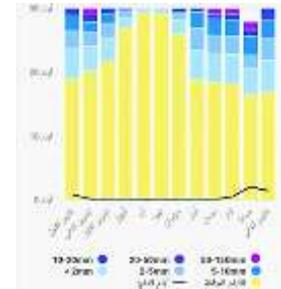


الشكل (4) جزء من مسقط لجدار النموذج الثاني،

{صفوان، 2001}.

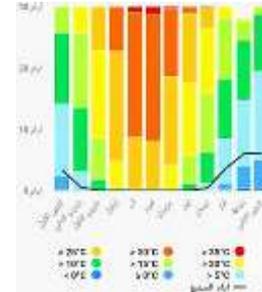
تقع بلدة النبك في منتصف المسافة بين مدينتي دمشق وحمص وتبعد حوالي 80 كم عن مدينة دمشق. ترتفع النبك عن سطح البحر حوالي 1400 م تقريباً. الطقس معتدل جاف صيفاً وبارد جاف شتاءً.

يبلغ معدل الامطار السنوي حوالي (150) مم، كما تهطل الثلوج في أشهر كانون الأول والثاني، شباط وآذار وهي ذات تأثير هام في مخزون المياه الجوفية في المنطقة، المخطط (1).

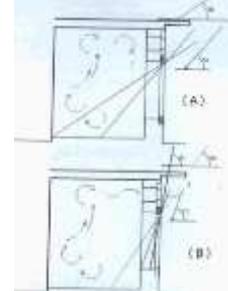


المخطط (1) كميات الهطول سنوياً في بلدة النبك، [12].

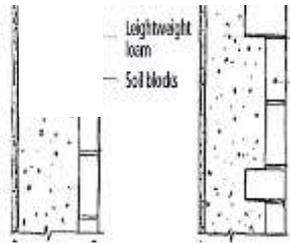
تتراوح درجات الحرارة في بلدة النبك ما بين ثلاثين درجة مئوية صيفاً إلى ما دون الـ 5° تحت الصفر شتاءً حسب السنوات العشرين الماضية، المخطط (2).



المخطط (2) درجات الحرارة العظمى والدنيا في النبك سنوياً، [12].



الشكل (1) زوايا التشميس في فترة الانقلاب الشتوي (A)، فترة الانقلاب الصيفي (B)، في القلمون، {صفوان، 2001}



الشكل (7) مسقط لجدارين مثال مشابه للنموذج الخامس (جدار مختلط)، {صفوان، 2001}.

تعتبر الفترة الممتدة من نهايات القرن التاسع عشر وحتى الثلاثينات من القرن العشرين فترة انتقالية في تصميم المسكن المحلي. بداية من السكن التقليدي منذ آلاف السنين وحتى المسكن الخرسانى الحديث (إنشاء هيكل من الخرسانة المسلحة + مغلف من جدران مفردة من البلوك الاسمنتي)، {صفوان، 75، 2001}.

مع وضع كود العزل السوري عام 2007 بدأ تطبيق المغلف المؤلف من جدران مضاعفة من البلوك الاسمنتي وبينها عازل هو فراغ هوائي. الجدول (2)، يبين تصنيف لنماذج الجدران التقليدية المستخدمة في منطقة القلمون.

الجدول (2)، نماذج الجدران التقليدية الترابية الموجودة

في منطقة القلمون، الباحثة

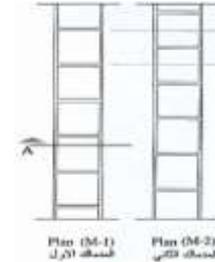
غير حاملة		حاملة		
تصاوين	داخلية	داخلية	خارجية	
جدار لبن (30-45) سم	جدار لبن (30-45) سم	جدار لبن مؤلف من لبنة وابنتها (51) سم	جدار لبن مؤلف من لبنتين (65) سم	
جدار دك (45-60) سم		جدار دك (45) سم	جدار لبن مؤلف من لبنة وابنتها (51) سم	جدران مختلطة (51-65) سم
			جدار دك (45-80) سم	جدار دك (80-45) سم

## 2- وصف مبنى الحالة الدراسية:

المبنى المدروس هو مبنى افتراضي يقع في منطقة القلمون، المبنى سكني عائلي (6 أشخاص)، مؤلف من طابقين، الطابق الأرضي يمتد على مساحة 167.5 م<sup>2</sup>، ويضم

## 3- النموذج الثالث: جدار من اللبن، يتشكل المدمك

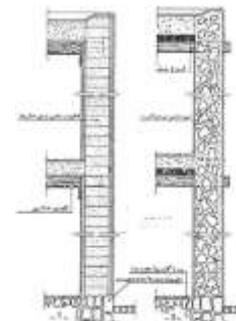
الواحد فيه عرضيا باستعمال لبنة واحدة فقط ويصادف هذا النموذج غالبا في جدران التصاوين الخارجية، عرضه يتراوح ما بين (30-45) سم حسب نوع اللبنة المستخدمة، الشكل (5).



الشكل (5) جزء من مسقط لجدار النموذج الثالث، {صفوان، 2001}.

## 4- النموذج الرابع: جدران التربة المدكوكة: يمكن أن

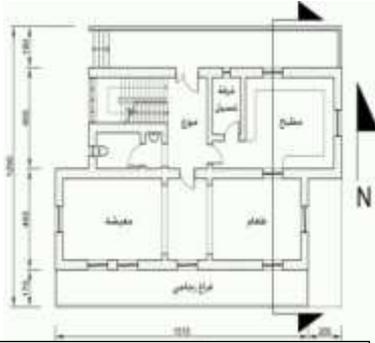
تكون هذه الخلطة ضمن قالب خشبي وتسمى جدران مدكوكة بالقالب الخشبي ويمكن أن يُخلط المزيج مع أحجار حرة (لبن مغموس بالحجارة)، وتسمى جدران مدكوكة خليطة. والتي تكون غالبا خارجية حاملة أو تصاوين، بسماكة بين 45-80 سم، الشكل (6).



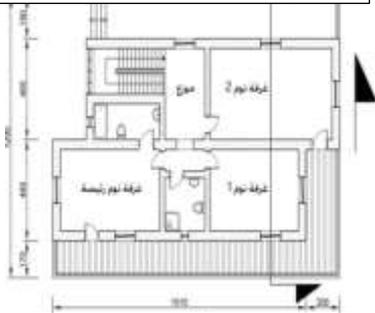
الشكل (6) مقطع في جدار لبن مغموس بالحجارة (يمين)، جدار تربة مدكوكة (يسار)، {كبريت، 2000}.

## 5- النموذج الخامس: الجدران المختلطة: وهي جدران

خارجية تبنى من التربة المدكوكة من الداخل ويتم إكساؤها بالحجر من الخارج وهو غالبا ما يسمى بحجر النحيت بسماكة (51-65) سم، الشكل (7).



المخطط (3) مسقط الطابق الأرضي للمبنى المدروس، الباحثة.



المخطط (4) مسقط الطابق الأول للمبنى المدروس، الباحثة.

كما أن اختيار مادة مناسبة لإنشاء الجدران وبسماكة جيدة سيساعد على تأمين الحماية والمكاسب الحرارية المناسبين.

### 3-3-3- الإضاءة الطبيعية:

تم تركيز الفتحة بشكل كبير في المبنى على الواجهتين الجنوبية والشرقية، مع وجود فتحات محمية على الواجهة الغربية. فوق الموزع في الطابق العلوي يوجد جملون متقاطع مع السقف المائل، مزود بنوافذ علوية لتأمين إضاءة علوية، الشكل (8). هناك أيضاً نوافذ علوية في فرق المنسوب بين السقفين المائلين، الشكل (9)، الشكل (10).

بهو الدخول (فراغ موزع) على أحد جوانبه يوجد المطبخ وغرفة الغسيل.

على الجانب الآخر من الموزع هناك فراغ الدرج ودورة مياه، في الجهة المقابلة للدخول هناك فراغ المعيشة وغرفة الطعام وهناك اتصال بين غرفة الطعام والمطبخ عن طريق نافذة تخدمية، كما أن هناك فراغ زجاجي على الجهة الجنوبية المقابلة لفراغات المعيشة، المخطط (3). الطابق الأول مساحته 179 م<sup>2</sup>، مؤلف بشكل أساسي من غرفة النوم الرئيسية المزودة بحمام خاص، وغرفتين نوم لهما حمام مشترك، كما أن هناك شرفة مشتركة لغرف النوم، المخطط (4).

### 3- استجابة مبنى الحالة الدراسية لمحددات

#### البيئة المحيطة:

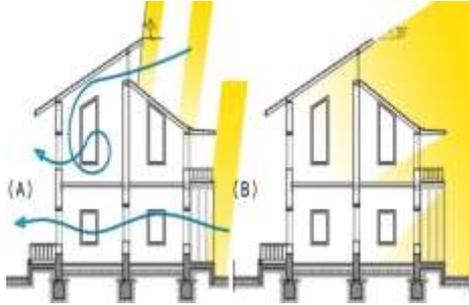
#### 3-1- توجيه المبنى:

يقع المطبخ في الجهة الشمالية الشرقية وهو توجه مناسب للاتجاه الجنوبي الغربي للرياح السائدة والدخول يكون من الجهة الشمالية، غرف المعيشة والطعام تكون على الجهة الجنوبية للاستفادة من المساهمات الشمسية السلبية شتاءً، كما أن غرف النوم في الطابق العلوي موجهة شرقاً وجنوباً.

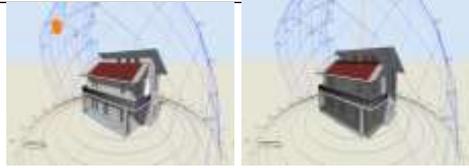
#### 3-2- الاستجابة الحرارية:

هناك فراغ زجاجي على الواجهة الجنوبية لفراغات المعيشة والطعام، يخزن هذا الفراغ الزجاجي المكاسب الحرارية نهائياً للاستفادة منها ليلاً في فصل الشتاء، وهو قابل للفتح في الفصول الحارة لتقليل المكاسب الحرارية، كما أن الشرفة العلوية البارزة تحمي هذه الفراغات من هذه المكاسب الحرارية صيفاً، الشكل (9).

كذلك فإن أسقف المبنى ممتدة عن جدران المبنى تحمي المبنى من المكاسب الحرارية غير المرغوب بها (خاصة على الواجهة الجنوبية والغربية).



الشكل (9) مقطع في بناء الحالة الدراسية يبين نوافذ فرق المنسوب مع حركة الرياح وزوايا التشميس في فترة الانقلاب



الشكل (10) اليمين: لقطة منظورية للمبنى المدروس مع توضيح مسارات الشمس والظل صيفاً، اليسار: لقطة منظورية

فمثلاً، على الواجهة الجنوبية (خلف الفراغ الزجاجي)، يُفضل اختيار مادة للجدار تكون ذات سعة حرارية كبيرة لتكون قادرة على تخزين المكاسب الحرارية نهاراً وإطلاقها ليلاً في الأيام الباردة. ويجدر بالذكر أن الجدران الترابية عموماً بخصائصها الفيزيائية وسماكتها الكبيرة قادرة على تأمين هذه السعة الحرارية الكبيرة.

#### 4 - دراسة تركيب الجدران المختارة للمقارنة:

##### 4-1- الخيار الأول: التربة المدكوكة بحالتين:

المبنى يكون مبني بالكامل بتقنية التربة المدكوكة. جميع الجدران الشاقولية (الخارجية والداخلية) مؤلفة من خليط يتكون من (2/3) خلطة ترابية تتألف من (25% طين + 70% رمل وحصويات + 5% كلس مطفاً) + 1/3 قش).

السقف مؤلف من جوائز خشبية رئيسية وثانوية وطبقة دفوف خشبية. بالنسبة لسماكة الجدران الخارجية هناك حالتان، الأولى: الجدران الخارجية بسماكة (40) سم، والتي تمثل الحد الأدنى لسماكة الجدران الحاملة من التربة المدكوكة وفق كود زيمبابوي، {SAZS 724, 2001}، أما الحالة الثانية فهي أن



الشكل (8) لقطة ثلاثية الأبعاد للمبنى المدروس، مرفوع على برنامج Designbuilder، الباحثة.

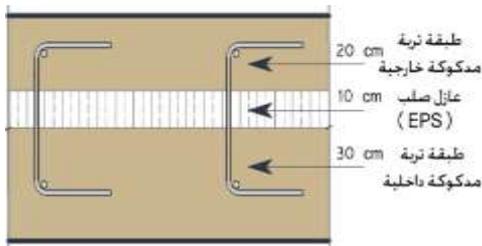
##### 3-4- التهوية الطبيعية:

من ناحية دورة الهواء، فإن المبنى يستفيد من نمطين من التهوية الطبيعية: التهوية الأفقية العابرة عبر فتحات النوافذ المتقابلة أو المتجاورة (على جدارين متجاورين)، والتهوية الشاقولية عبر الفتحات العلوية في الأسقف و فرق المنسوب (chimney effect)، الشكل (9).

##### 3-5- مواد الإنشاء:

لاختيار مادة إنشاء مناسبة، تم الأخذ بالاعتبار الظروف المناخية والجوية ونماذج الجدران الموجودة في المنطقة والتي تمت مناقشتها في الفقرة (1).

حيث أن اختيار مادة إنشاء مناسبة سيؤمن الحماية والمكاسب الحرارية المناسبين وسيؤمن الحماية من الأمطار والتلوج.



الشكل (11) جزء من مقطع أفقي في جدار تربة مدكوكة معزول،

بتصرف من [www.SIREWALL.com](http://www.SIREWALL.com)

الخصائص الحرارية لهذا الجدار موضحة في الجدول (4).

الجدول (4) الخصائص الحرارية لجدار التربة المدكوكة المعزول،

{Cheikhi, et al., 2020}

60	سماعة الجدار (cm)
4.138	المقاومة الحرارية (-m2/k/w)
0.242	الناقلية الحرارية (W/m2-k)

4-3- الخيار الثالث: (جدران مضاعفة من البلوك

الاسمنتي):

بهدف مقارنة الأداء الحراري لمبنى التربة المدكوكة تم خلق متغير آخر للمبنى المدروس: وهو مبنى من الخرسانة المسلحة ومغلف من البلوك الاسمنتي المبنى (جدار مضاعف من البلوك وفراغ هوائي وسطي كعازل). وهي تتجاوب مع نموذج الانشاء المبنى المستخدم في النسيج الحضري في محيط دمشق حالياً. تركيب هذه الجدران ملخص بالجدول (5).

الجدول (5) تكوين الجدران الخارجية للخيار المبنى من الخرسانة

المسلحة، الباحثة.

الجدران الخارجية	المغلف
30	السماعة (cm)
طينة إسمنتية- بلوك	الإنشاء من الخارج إلى
اسمنتي (15 سم)- فراغ	داخل
هوائي- بلوك إسمنتي	
(10 سم)- طينة إسمنتية	
1.077	قيمة ال U (W/m2.K)

5- ملخص حرارة المبنى:

الملخص الحراري للمبنى تم الحصول عليه باستخدام مجموعة ال (Block load) ضمن البرنامج. وهو يحسب حمولات الصيف/ الشتاء للمباني. يمكن أيضاً حساب متطلبات

تكون الجدران الخارجية بسماكة 60 سم، ليتم مقارنتها لاحقاً بجدران تربة مدكوكة معزولة بنفس السماكة 60 سم، والتي تمثل الحد الأدنى لسماكة جدران تربة مدكوكة معزولة. الخصائص الحرارية الفيزيائية لجدران المبنى كانت هدفاً للدراسة في دراسات سابقة، {Jannot, et al., 2010}، معتمدة على منهجية الصفيحة الساخنة غير المتناظرة ذات الحالة الثابتة ( the steady state asymmetric hot plate method ) لتحديد الموصلية الحرارية ( $\lambda$ )، ومنهجية الانتقال اللامتناظر للصفيحة الحرارية (the asymmetrical transient Hot Plate method) لتحديد الإفراط (e) (effusivity). ومنهجية الوميض (flash method) لتحديد الانتشار (a) (diffusivity) للخليط المستخدم في انشاء المبنى المدروس. القيم المستخدمة في الدراسة ملخصة في الجدول (3).

الجدول (3) الخصائص الحرارية الفيزيائية للتربة المدكوكة،

{Jannot, et al., 2010}

0.463	الموصلية الحرارية (W.m-1.K-1) ( $\lambda$ )
3.13	الانتشار الحراري (m2.s-1) (a.10-7)
648.07	الإفراط الحراري (e) (w.s1/2.m-2K-1)
1128.59	الحرارة المحددة C (J.Kg-1.K-1)
1310.69	الكثافة p (Kg/m3)

4-2- الخيار الثاني: الإنشاء بجدران التربة المدكوكة

المعادلة والمعزولة (Sirewall):

هذه الجدران هي الخطوة الجديدة لجدران التربة المدكوكة، وهي مؤلفة من ثلاث طبقات، طبقتين داخليتين وخارجية من التربة المدكوكة بينهما عازل حراري صلب مثل ( expanded polystyrene (EPS)، الحد الأدنى لسماكة هذه الجدران هي 60 سم، الشكل (11)

- جدران بسماكة 60 سم مبنية من الترتية المدكوكة الشكل (12-B).
- جدران بسماكة 60 سم مبنية من الترتية المدكوكة المعزولة، الشكل (12-C).
- جدران مضاعفة بسماكة 30 سم، مبنية من البلوك الاسمنتي، الشكل (12-D).

لكل من المتغيرات الأربعة المدروسة، تم تقسيم المبنى المدروس إلى عدة مناطق حرارية وفقاً لوظيفة كل منها وموقعها وما إذا كانت مكيفة أم لا (البيت الزجاجي والشرفة). في الطابق الأرضي لدينا (6 مناطق)، وفي الطابق الأول لدينا (6 مناطق). تم تلخيص تركيب الجدران المستخدمة لكل متغير في الجدول (3) لمتغير بناء الترتية المدكوكة وفي الجدول (4) لجدران ال (Sirewall) وفي الجدول (5) لمتغير جدار البلوك الاسمنتي المبنى. تم ضبط نقطة ضبط التدفئة عند درجة حرارة 20° وتم ضبط درجة حرارة التبريد عند 26° درجة مئوية ثم حددنا عدد مستخدمي المبنى (6 أشخاص) والجدول الزمني السنوي للإشغال واستخدام معدات التدفئة وتكييف الهواء.

ثم تم البدء في تحديد مخرجات المحاكاة. وتشمل هذه درجة الحرارة الداخلية لكل مساحة مدروسة، درجات الحرارة المشعة، الفقد الحراري، متطلبات التدفئة والتبريد وإجمالي استهلاك الطاقة للمبنى.

#### 6-2- نتائج المحاكاة الحرارية:

تم إجراء محاكاة متطلبات الطاقة للحالات الأربعة لمقارنة متطلبات الطاقة بال (kWh / m<sup>2</sup> / year) للتدفئة والتبريد للمباني الترابية والمباني الخرسانية. تظهر نتائج محاكاة الطاقة الديناميكية التي تم إجراؤها على برنامج Design Builder ما يلي:

التدفئة والتبريد. هذه المجموعة تستخدم طريقة عامل الاستجابة لحساب الحمولات. هذه الطريقة موافق عليها من قبل (ASHRA<sup>1</sup>) كطريقة مناسبة لحساب الحمولات الساعية. من أجل هذه الدراسة، فإن الهدف وراء تركيب التوازن الحراري هو لتحديد استهلاك الطاقة للمتغيرات الأربعة ومقارنتها (متغير الترتية المدكوكة (بسماكتين)، متغير الترتية المدكوكة المعزولة ومتغير جدران المغلف من البلوك الاسمنتي). النتائج مبينة في الجدول (6).

الجدول (6) قدرات التدفئة والتبريد للمتغيرات الأربعة، الباحثة

خيار الإنشاء	قدرة التدفئة (KW)	قدرة التبريد (KW)
الإنشاء بالترتية المدكوكة	40 سم	15.25
	60 سم	14.8
جدران Sirewall	10.41	13.65
جدران مضاعفة من البلوك اسمنتي	22.23	19.64

من المهم ملاحظة أن قدرة التبريد وقدرة التدفئة للإنشاء بالترتية المدكوكة (المعزولة وغير المعزولة) هي أقل من تلك التي للإنشاء البيتوني للمبنى المدروس.

#### 6- مقارنة الأداء الطاقى:

##### 6-1- المحاكاة الحرارية الديناميكية:

تحاكي المحاكاة الحرارية الديناميكية (DTS) سلوك المبنى ساعة بساعة. للقيام بذلك، يتم تنفيذ المحاكاة باستخدام برنامج Design Builder الذي يستخدم محرك المحاكاة الديناميكي EnergyPlus لنمذجة الأداء الحراري للمبنى. هذا يأخذ في الاعتبار المعلمات (البارامترات) التي تم ذكرها في فقرة (ثوابت ومتغيرات البحث).

##### المتغيرات الأربعة المدروسة هي:

- جدران بسماكة 40 سم مبنية من الترتية المدكوكة، الشكل (12-A).

الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتبريد وتكييف الهواء: ASHRAE<sup>1</sup> وهي جمعية مهنية أمريكية تسعى إلى تطوير تصميم وبناء أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء والتبريد

- تم تحسين درجات حرارة التشغيل والإشعاع لتقليل الإحساس بـ "الجدار البارد" بسبب اختلاف درجة الحرارة بين الهواء وسطح الجدار، الجدول (7).

الجدول (7) درجات الحرارة في الخيارات الأربعة، الباحثة

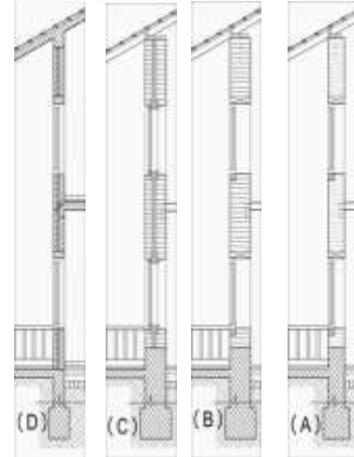
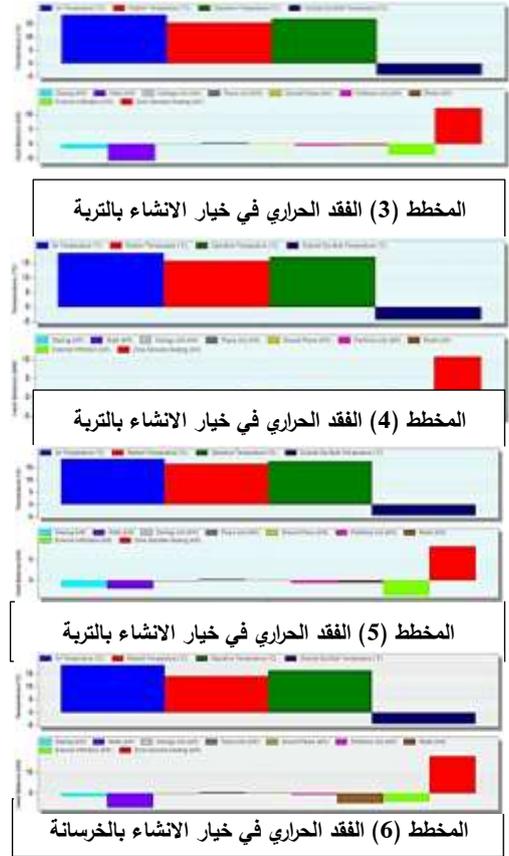
درجة الحرارة المشعة التشغيل (C°)	درجة الحرارة المشعة التشغيل (C°)	درجة الحرارة المشعة التشغيل (C°)	خيار الانشاء	
			السماعة (cm)	الانشاء
17.00	15.49	18.5	40	الانشاء بالترتية المدكوكة
17.17	15.83	18.5	60	الانشاء بالترتية المدكوكة
17.55	16.58	18.5	جدران Sirewall	الانشاء بالترتية المدكوكة
16.36	14.23	18.5	جدران البلوك الاسمنتي	الانشاء بالترتية المدكوكة

- تم تسجيل انخفاض في الفقد الحراري عبر الجدران (اللون البنفسجي في المخططات البيانية (3,4,5)، في إنشاء الترتية المدكوكة (المعزولة وغير المعزولة) في الطابقين الأرضي والأول مقارنة بمتغير الجدران المضاعفة من البلوك الإسمنتي، المخطط (6)، الجدول (8).

الجدول (8) الفقد الحراري في الخيارات المدروسة، الباحثة.

الخيار	الفقد الحراري (KW)	
	الجدران	الأسقف
الانشاء بالترتية المدكوكة	40	0.56
	60	0.56
جدران (sirewall)	2.00	0.56
جدران البلوك الاسمنتي	6.87	4.75

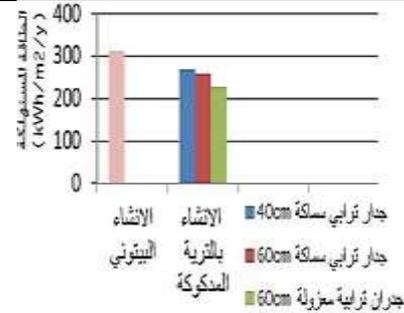
أظهرت النتائج انخفاض باستهلاك الطاقة لمبنى الترتية المدكوكة (المعزولة وغير المعزولة)، حيث يوضح الجدول (9) انخفاض في استهلاك الطاقة بنسبة تصل إلى (14%) تقريبا عند مقارنة جدار ترتية مدكوكة بالحد الأدنى للسماعة (40 سم) بمتغير جدران البلوك الاسمنتي.



الشكل (12) مقطع لجدار خارجي في المبنى المدروس بعدة حالات: جدار من الترتية المدكوكة (A) بسماعة 40 سم، وجدار من الترتية المدكوكة (B) بسماعة 60 سم، جدار من الترتية المدكوكة المعادلة

الجدول (9) الطاقة المستهلكة على كامل مساحة المبنى سنويا، الباحثة.

الطاقة المستهلكة (kWh/m <sup>2</sup> /y)		الخيار الإنشاء
268.45	40	الإنشاء بالتربة المدكوكة
258.16	60	
228.63	جدران (sirewall)	جدران الاسمنتي
312.56		جدران الاسمنتي



المخطط (7) مخطط بياني للطاقة المستهلكة سنويا في طرق الإنشاء المدروسة، الباحثة.

كما نلاحظ في الرسم البياني (7)، انخفاض الطاقة المستهلكة في مباني التربة المدكوكة مع زيادة سماكة الجدار الترابي.

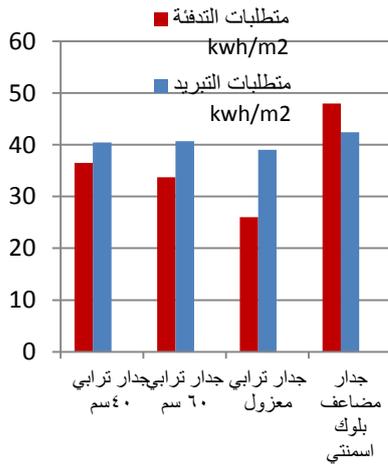
نجد انخفاض في الطاقة المستهلكة يصل إلى 11.5% عند مقارنة الطاقة المستهلكة في المبنى ذو جدران التربة المدكوكة المعزولة مع الطاقة المستهلكة في المبنى ذو جدران التربة المدكوكة غير المعزولة وبنفس السماكة.

يبين الجدول (10)، انخفاضا في متطلبات التدفئة في متغير الإنشاء بالتربة المدكوكة (المعزولة وغير المعزولة)، حيث عند مقارنة جدار تربة مدكوكة له الحد الأدنى للسماكة (40 سم) بمتغير الجدران المضاعفة من البلوك الاسمنتي نجد انخفاضا في متطلبات التدفئة يصل إلى (24%) كما يبين انخفاضا طفيفا في متطلبات التبريد في هذا الإنشاء يصل إلى (4%) مقارنة بمتغير الجدران المضاعفة من البلوك الاسمنتي.

الجدول (10) متطلبات التدفئة والتبريد السنوية، الباحثة.

الخيار	متطلبات التدفئة kwh/m <sup>2</sup>	متطلبات التبريد kwh/m <sup>2</sup>
الإنشاء بالتربة المدكوكة	40	40.46
	60	40.72
جدران (sirewall)	26.04	39.02
جدران البلوك الاسمنتي	47.96	42.41

أظهرت النتائج أيضا انخفاض في متطلبات التبريد عن متطلبات التدفئة في الإنشاء الخرساني، بينما في الإنشاء بالتربة المدكوكة حدث العكس، إذ تبين أن هناك ارتفاع في متطلبات التبريد عن متطلبات التدفئة، الجدول (10)، المخطط (8).



المخطط (8) مخطط بياني لمتطلبات التدفئة والتبريد في طرق الإنشاء المدروسة، الباحثة.

حيث يتم زيادة أحمال تكييف الهواء لأن جدرانها ذات القصور الذاتي الحراري العالي تميز الإنشاء بالتربة المدكوكة. يؤدي هذا القصور الذاتي إلى امتصاص الحرارة القادمة من الإشعاع الشمسي النهاري، وتخزينها، ثم حصرها داخل الجدران. سيستدعي إخلاءها مزيداً من الوقت الأمر الذي سيتطلب استخدام مكيف الهواء، لتعويض الإحساس بعدم

الراحة الحرارية الناجم عن هذا الخاصية،  
{ Wiçal et al., 2018 }.

## 7- النتائج:

سمحت المحاكاة الحرارية الديناميكية للمتغيرات الأربعة (التربة المدكوكة غير المعزولة (بسمكتي جدران)، التربة المدكوكة المعزولة والبيتون المبني للمبنى المدروس بالحصول على رسومات بيانية لدرجة الحرارة، وتقدير كمي لاحتياجات التدفئة والتبريد، وقراءة الفقد الحراري، ... كل هذه النتائج، لمقارنة الأداء الحراري لإنشاء بالتربة المدكوكة وإنشاء الجدران المضاعفة من البلوك الاسمنتي وتأثير إضافة عازل حراري للتربة المدكوكة وتحديد نقاط القوة والضعف لكل منهما. النتائج المستخلصة من الدراسة هي كما يلي:

- التربة المدكوكة هي مادة بناء بيئية ومتجددة وموفرة للطاقة. تتناسب تماماً مع نهج كفاءة الطاقة.

- يتيح استخدام التربة المدكوكة في البناء تقليل بعض الظواهر، التي لوحظت في جدران البلوك الاسمنتي. نعد كمثال ظاهرة الجدران الباردة.

- التربة المدكوكة هي مادة ذات قصور حراري عالي. وتزداد هذه الخاصية مع زيادة سماكة الجدار. لذا يجب مراعاة هذه الميزة بحذر: حيث أنها تقلل من متطلبات التدفئة بشكل كبير في الشتاء، لكنها تتسبب في زيادة حمل تكييف الهواء في الصيف. حيث إن الجدران ذات القصور الذاتي الحراري العالي تمتص حرارة الإشعاع الشمسي وتخزنه وتعيده في مرحلة التحول (بالتوازي مع زمن الامتصاص). وهذا يجعل من الممكن في الشتاء تمديد الشعور بالراحة الحرارية وتقليل استخدام أنظمة التدفئة، مما يؤدي إلى زيادة حمل الطاقة بنسبة تزيد عن ال (20%)، في حين يؤدي التدفق الحراري خلال فصل الصيف إلى زيادة الإحساس بالحرارة الزائدة، الأمر الذي يتطلب التوجه نحو استخدام إضافي لأنظمة التبريد، ولكن تبقى مقارنة أو أقل لمتطلبات التبريد اللازمة لجدران البلوك الاسمنتي. وللمحد من عواقب هذه الظاهرة، يوصى بما يلي:

1- تقليل المعدل الإجمالي للنوافذ في الإنشاءات الترابية، إذ كلما زاد عدد النوافذ، زاد امتصاص المبنى للحرارة. من اللافت للنظر أن الإنشاءات الترابية التقليدية في دمشق هي مبانٍ غير شفافة، وتستفيد فقط من أسطح محدودة للفتحات. ومع ذلك، فهي محمية من التغيرات المناخية الخارجية، مما يوفر النضارة في الصيف والفتور في الشتاء.

2- تشجيع استخدام وسائل التظليل الثابتة والمدروسة للفتحات المواجهة للجنوب. مما يتيح الاستفادة المبنى من مساهمات الطاقة الشمسية السلبية في الشتاء وتقليل ارتفاع درجة الحرارة في الصيف.

3- تعزيز التهوية الليلية عن طريق إنشاء مداخن الهواء، والتهوية العابرة، وشبكات التهوية، وما إلى ذلك، يسمح هذا الإجراء بإخلاء الحرارة الزائدة المتراكمة أثناء النهار بسرعة أكبر، وبالتالي تقليل الحاجة إلى تكييف الهواء خلال أيام الصيف.

- لم يقلل تطبيق عازل ضمن جدران التربة المدكوكة من خاصية القصور الحراري الذاتي، وزاد التفاوت بين الطاقة المستهلكة للتدفئة والطاقة المستهلكة للتبريد. حيث تم تقليل الأخيرة بنسبة طفيفة تصل إلى 4% وتم تقليل متطلبات التدفئة بنسبة تقارب ال 23% عن حالة جدران تربة مدكوكة غير معزولة بنفس السماكة.

- قدمت نتائج المحاكاة الحاسوبية لاستخدام الجدران المبنية بتقنيات التربة المدكوكة نتائج أفضل من حيث الفقد الحراري والطاقة المستهلكة، وذلك عند مقارنتها وعند مقارنتها بجدار مضاعف من البلوك الاسمنتي، حيث نلاحظ انخفاض في الطاقة المستهلكة بنسبة تصل إلى 30% تقريبا.

جاء هذا البحث في سياق دراسة جدران التربة المدكوكة من ناحية الأداء الطاقي فقط، حيث وجدنا أن هذه الجدران بحالاتها الثلاث المدروسة في هذا البحث، كانت أكثر وفرا في الطاقة من جدران البلوك الإسمنتي المضاعفة. ويبقى اختيار أو تطبيق أي من هذه الحالات (أو غيرها) يتبع عوامل متعلقة بقدرات ووقت التنفيذ والعامل الاقتصادي.

هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل

(501100020595).

## المراجع References

- [1] Rael, Ronald. (2009). **Earth architecture**, Princeton Architectural Press: New York. P:9.
- [2] Szokolay, Steven. (2008). **Introduction to architectural science The Basis of Sustainable Design**. Second edition: United Kingdom.
- [3] Design Builder Software Ltd. (2009). **DesignBuilder 6.1 User's Manual**, Available at: <https://designbuilder.co.uk/download/documents>.
- [4] صفوان، أنس. (2001). **المساكن التقليدية في مدينة ببيروود الخصائص والتطور بدءاً من نهايات القرن التاسع عشر حتى منتصف القرن العشرين**، كلية الهندسة المعمارية: جامعة دمشق.
- [5] كبريت، زكريا. (2000). **البيت الدمشقي**، دمشق.
- [6] ARSO, SADCSTAN. (2001). **Rammed earth structures code of practice for Africa (SAZS 724)**, Zimbabwe: Africa.
- [7] Jannot, Yves, Felix, Vincent, Degiovanni, Alian. (2010). **A centered hot plate method for measurement of thermal properties of thin insulating materials**, Measurement Science and Technology, Volume 21, number 3.
- [8] Kharagpur, Meit. (2011). **Cooling And Heating Load Calculations-Estimation Of Required Cooling/Heating Capacity**. Lesson 35. P:3,4.
- [9] Cheikhi, Wiçal, Baba, Khadija, Lamrani, Sidi Mohamed, Nounah, Abderrahmane, Khalfaoui, Mohamed, Bahi, Lahcen. (2018). **Study of indoor performances of a building using Rammed earth**. <https://www.researchgate.net>. 10.3.2022.
- [10] Cheikhi, Wiçal, Baba, Khadija, Lamrani, Sidi Mohamed, Nounah, Abderrahmane, Khalfaoui, Mohamed, Bahi, Lahcen. (2020). **Effect of adding insulation on the energy performances of rammed earth buildings in hot and arid climates**. <https://www.researchgate.net>. 20.3.2022.
- [11] [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com) [12] [www.meteoblue.com](http://www.meteoblue.com)
- [13] [www.SIREWALL.com](http://www.SIREWALL.com)