مجلة جامعة أم القرى
للهندسة والعمارة
الموقع الإلكتروني: https://uqu.edu.sa/jea

التصميم الحراري لجدران المسجد الذي بناه النبي ﷺ في المدينة المنورة

أحمد كمال محمد جطل [أ،*]

[أ] قسم العلوم الأساسية، كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة حلب.

Thermal design of mosque walls built by the Prophet (peace be to him) in Al-Madinah Al-Munawwarah

Ahmad Kamal. M. Jatal [a,*]

[a] *Department of Basic Sciences، Faculty Electrical Engineering، University of Aleppo*

معلومات عن البحث

تاريخ الاستلام: ٢١/ ١/ ٢٠١٩
تاريخ القبول: ١/ ١٠/ ٢٠١٩

الكلمات المفتاحية

المسجد النبوي، التصميم الحراري، المدينة المنورة، الطاقة السلبية.

ملخص البحث

يدعي المستشرقون أن الحضارة الإسلامية في بداية نشوء الإسلام خلت من النماذج العمرانية المميزة، لذلك قمنا بهذا البحث في دراسة علمية لأهم وأول المباني التي أنشئت في بداية الهجرة النبوية إلى المدينة المنورة، إذ بنى النبي ﷺ مسجده على مرحلتين، وقد سلطنا الضوء في هذا البحث على التصميم الحراري لجدران المسجد النبوي في هاتين المرحلتين، ووجدنا أن هذا التصميم الحراري يحقق معادلتين أسميناهما معادلتي التوحيد الأولى والثانية. في المعادلة الأولى التي تمثل نظرية التوحيد الأولى تتساوى نسب مساحة المسجد والحجم الوسطي لأحد جدرانه والتغير الحجمي لهذا الجدار، وكذلك كمية الطاقة الحرارية المخزونة ضمن الجدار، في مرحلتي البناء الأولى والثانية، وهذا يعني أن وحدة الحجم من الجدار سوف تخزن كمية من الطاقة تكفي لوحدة المساحة من المسجد، إذ أن هذه الكمية زادت بنفس نسبة زيادة مساحة المسجد. أما المعادلة الثانية والتي تمثل نظرية التوحيد الثانية، فتتلخص في أن زيادة عدد المسلمين اقتضت تكبير المسجد وزيادة مساحته، وزيادة المساحة لزمها زيادة في حجم الجدران وطولها ومساحة سطحها وسماكتها بما يتناسب مع البناء الجديد. لم تكن زيادة مساحة سطح الجدران وسماكتها زيادة عشوائية، بل كانت زيادة اقتضتها ضرورة التصميم الحراري الدقيق للمسجد، فزاد معامل التوصيل الحراري للجدار في مرحلة البناء الثانية عنه في مرحلة البناء الأولى بمقدار مرة ونصف المرة، وهذا أدى إلى زيادة معامل الانتقال الحراري بالنسبة نفسها، وقلت المقاومة الحرارية للجدار بنفس المقدار، كل ذلك أدى إلى تسهيل تدفق الطاقة الحرارية وانتقالها ضمن الجدار، وبنفس النسبة أيضاً، مما أدى إلى الحفاظ على البيئة الداخلية مريحة للإقامة والسكن للقاطنين من المسلمين.

Abstract

Orientalists claim that the Islamic civilization at the beginning of the emergence of Islam devoid of distinctive architectural models. In this paper a scientific study of the most important buildings that were established at the beginning of the Prophet's migration to Medina is done. The Prophet built the mosque in two stages, and we concentrate in this paper on the thermal design of mosque walls in these two stages. It has been shown that this thermal design satisfies two equations. The first equation which represents the first monotheistic theory, the ratios of the area of the mosque and the average size of one of its walls are equal, and the volumetric change of this wall, as well as the amount of thermal energy stored within the wall, in the first and second phases of construction, this means that the size of the wall will store the amount of sufficient energy for the unit area of the mosque, as this amount increased by the same percentage increase in the mosque area. The second equation, which represents the second monotheism theory, is that the increase in the number of Muslims required the mosque to be enlarged and its area increased, and the space needed to increase the size, length, surface area and thickness of the walls in proportion to the new construction. The thermal conductivity of the wall in the second construction phase increased from the first construction phase by one and a half times, and this led to an increase in the heat transfer parameter with the same ratio and reduced the thermal resistance of the wall by the same amount. As a result, the flow of heat energy in the wall has been facilitated by the same percentage, which has led to the preservation of the comfortable internal environment for the residence and housing of Muslim residents.

Keywords

Prophet's Mosque, Thermal Design, Medina, Passive Energy

[*] بيانات التواصل:
قسم العلوم الأساسية، كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة حلب.
البريد الإلكتروني: (akamal@jmail.com) أحمد كمال محمد جطل
جميع الحقوق محفوظة لجامعة أم القرى ٢٠٢٠ © ١٦٨٥-٤٧٣٢ / ١٦٨٥-٤٧٤٠.

١. مقدمة:

يسعى الباحثون في مجالات تصميم المباني، إلى دراسة الأداء الحراري للمباني أثناء تصميمها أو التنفيذ، فيختارون مواد إنشائية أو أنظمة بناء تعمل على تخفيض الفقد الحراري من غلاف المباني إلى حده الأدنى (خليف وزملائه، ٢٠١٣)، ويهدفون في ذلك إلى توفير الطاقة المستخدمة في تكييف المباني وجعل بيئتها الداخلية مريحة للإقامة. وقد استخدم الباحثون مواد كثيرة في زيادة عازلية الجدران منها استخدام شمع البارافين كطبقة عازلة ضمن الجدران (حسن علي، ٢٠١٢)،أو استخدام المسطحات المائية والنباتية على الأسقف (حسن علي، ٢٠١٣)، وكذلك استخدام بعض مواد التغليف للجدران والأسطح المكوّنة من عدة مواد عازلة، (Ashrae ٢٠٠٥)، كما درس بعض الباحثين التوصيل الحراري عبر الغلاف الخارجي للمبنى من خلال المعالجات العمرانية والعمارة البيئية (jamel،٢٠٠٧)، ودرس باحثون أساليب رفع كفاءة الأداء الحراري للمبنى من خلال التعرف على الخصائص الحرارية لمواد الإنشاء (الجوادي، ٢٠١٦)أما في مجال دراسات المباني التراثية والتاريخية، فقد درس الكثير من الباحثين طرق تلطيف أجواء تلك المباني القديمة، وهذه الدراسات في معظمها تدخل ضمن سياق ما يسمى نظم التبريد السلبي في العمارة التراثية العربية الإسلامية (جطل، ٢٠١٧) وما فيها من نظم بسيطة ومعقدة، أما في ما يخص المسجد النبوي الشريف فهناك العديد من الدراسات لهذا المسجد ولاسيما ما يتعلق منها بأموره الإنشائية (عثمان، ١٩٩٩)، ما عدا التصميم الحراري للمسجد فلم يدرسه أحد من الباحثين، ومن هنا تأتي أهمية بحثنا وجدّته.

٢. منهجية البحث وهدفه:

استخدمنا كتباً تراثية تمثل أمهات المصادر للاطلاع على كيفية بناء المسجد النبوي وأبعاده والمواد التي استخدمت في بنائه، ثم قمنا بدراسة حسابية استخدمنا فيها المعادلات والعلاقات الرياضية اللازمة لدراسة التصميم الحراري لجدران المباني. وبعد الحصول على النتائج قمنا بتوصيفها وتحليلها، وكان هدف بحثنا توفير الطاقة المستخدمة في تلطيف الأجواء الداخلية للمباني من خلال التصميم الحراري المناسب للبيئة الحارة مثل بيئة المدينة المنورة.

٣. مقدمة نظرية عن المسجد النبوي ونشأته:

يحتل المسجد النبوي مكانة خاصة في قلوب المسلمين عبر التاريخ الإسلامي، لما يتمتع به من أهمية ورفعة بين مساجد المسلمين، فهو أحد المساجد الثلاثة التي لا تشد الرحال إلا إليها: المسجد الحرام، ومسجد النبي ﷺ والمسجد الأقصى، و كان هذا المسجد منطلق الأحداث الحاسمة في تاريخ تأسيس الدولة الإسلامية، حيث كانت القرارات تصدر، وهو مركز اجتماع النبي ﷺ بأصحابه وتدارس أمور الدعوة الإسلامية، ومركز انطلاق الجيش الإسلامي للغزوات والحروب والفتوحات وظل كذلك في عهد الخلفاء الراشدين، كما كان مركزاً لاجتماع أهل العلم وفقهاء المسلمين.

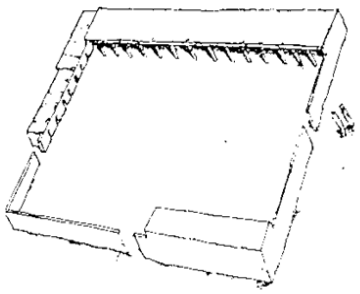
بني المسجد بإشراف النبي ﷺ ومشاركة المسلمين، وقد أسس في وسط المدينة المنورة التي كانت أول مدينة للمسلمين، ثم أصبحت بعد ذلك أساساً لقواعد بناء المدينة الإسلامية فيما بعد، والتي اعتمدت على اعتبار المسجد مركز المدينة ثم تقوم حوله المباني والمساكن والمرافق العامة. وقد بني المسجد النبوي في ربيع الأول سنة 1 هجرية الموافق للعام ٦٢٢ ميلادية (عبد الغني، ١٩٩٦)، وكان طوله سبعين ذراعاً في عرض ستين ذراعاً، وارتفاع سقفه سبعة أذرع، ولما عاد النبي ﷺ من غزوة خيبر قام بأول توسعة للمسجد في المحرّم من سنة سبع للهجرة (٧هـ – ٦٢٨م)، وذلك نظراً لزيادة عدد المسلمين، فزاد في عرضه أربعين ذراعاً، وفي طوله ثلاثين ذراعاً، فصار المسجد مربعاً مئة ذراع في مئة ذراع. (السمهودي، ١٣٢٦ هـ).

٤. المواد المستخدمة في بناء المسجد:

استخدم النبي ﷺ في بناء مسجده وبيوت زوجاته ما وفرته طبيعة المدينة المنورة من طين ونواتج نخيل، وقد خطط على يدي النبي ﷺ وبالتشاور مع المسلمين من أنصار ومهاجرين.

يروي السمهودي في كتابه "وفاء الوفاء" أن بيوت أزواج النبيﷺ كانت أربعة بلبن لها حِجر من جريد، وكانت خمسة أبيات من جريد مطينة لا حِجر لها، وعلى أبوابها مسوح من الشعر، وكان سقفها منخفضاً بحيث كان الحسن البصري يدخلها وهو صبي مراهق فينال السقف بيده (السمهودي، ١٣٢٦) .

أما مسجد النبي ﷺ فقد بناه من اللبن والطين، وجعل عمده من جذوع النخيل، وظلله على مرحلتين بالجريد وسعف النخيل، إذ ظلل النبي ﷺ في بادئ الأمر جزءاً من فناء المسجد في الركن الشمالي الغربي من جهة بيت المقدس لإقامة الصلاة فيه، وأضاف ظلة أخرى أكبر وبطول الجدار الجنوبي للفناء (السمهودي، ١٣٢٦)، وذلك عندما نزل الأمر الإلهي بالاتجاه نحو الكعبة المشرفة في الصلاة. يظهر الشكل (١) مخططاً للمسجد النبوي.



الشكل (1) مسجد النبي ﷺ وبيوت زوجاته

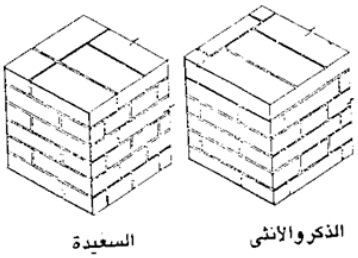
٥. الحسابات والنتائج والمناقشة:

- **التصميم الحراري للمسجد:**

يروي السمهودي أن النبي ﷺ بنى مسجده بالسميط لبنة لبنة، ثم لما كثر المسلمون زاد فيه وبناه بالسعيدة لبنة ونصف الأخرى، وبالأنثى والذكر، ثم اشتد عليهم الحر، فقالوا يا رسول الله لو أمرت بالمسجد فظلل، فقال نعم، فأمر به، فأقيمت به سواري من جذوع النخل، ثم طرح عليها عوارض وخصف، فعاش المسلمون فيه، وفي رواية أخرى لم يسطح، فشكوا الحر، فجعلوا خشبه وسواريه جذوعاً، وظللوه بالجريد ثم بالخصف، وجعلوا وسطه رحبة، وكانت أبعاد المسجد (60X70) ذراعاً، ثم زيد فيه فأصبح (100X100) ذراع، وكان ارتفاعه سبعة أذرع، وكان مربعاً (السمهودي، ١٣٢٦).

وقبل أن ندخل إلى كيفية بناء المسجد لابد أن نعرض للذراع وكم يساوي من الأمتار، وغالباً ما يعامل الذراع على أنه يساوي نصف متر (عبد الغني، ١٩٩٦)، إلا أنه في الحقيقة أقل من ذلك بقليل، يعرّف الباحثان فاخوري و خوام في كتابهما "موسوعة وحدات القياس العربية والإسلامية " الذراع الشرعي على أنه المسافة بين طرف المرفق ونهاية الإصبع الوسطى من ذراع الإنسان، وأنها تعادل ست قبضات، وكل قبضة تعادل أربع أصابع، وكل إصبع تعادل ست شعيرات معتدلات، وكل شعيرة تعادل ست شعرات من شعر ذنب البغل(فاخوري وخوام، ٢٠٠٢). وقد أعطى الباحثان قيماً مختلفة لما يساوي الذراع من المتر، منها ما يعادل (٤٩,٣٢من المتر) أو (٤٩,٣٣٤٨ من المتر) أو (٥٠,٥٤٠٨من المتر)

إلا أن الباحثين توصلا إلى أن الذراع الشرعية تساوي (٤٩,٣٢٧٤٧٧١٢٩٨٩ من المتر)، ونحن نرى أنه يمكن تقريب هذه القيمة بحث تصبح (٤٩,٣٣ من المتر) وهذه القيمة هي التي سنعتمد عليها في إجراء هذه الدراسة.

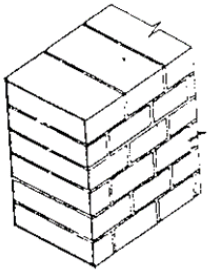


- **نظرية التوحيد الأولى:**

أ. أبعاد المسجد: بالعودة إلى ماسبق يتضح أن النبي ﷺ قد بنى مسجده على مرحلتين:

مرحلة البناء الأولى:

يظهر الشكل (٢) السميط لبنة لبنة، التي بنى بها النبي ﷺ جدران المسجد النبوي في مرحلة البناء الأولى.



الشكل (2): السميط لبنة لبنة (عثمان، ١٩٩٠)

وإذا علمنا أن السمهودي قد قاس أبعاد لبنة استخرجت من الحجرة الشريفة عند تجديد بنائها عام (٨٨١ هجرية) فبلغ طولها ذراعاً وعرضها نصف ذراع وسماكتها ربع ذراع، أي أن حجم اللبنة (1X0.5X0.25) ذراعاً مكعباً، وبالتالي فإن سمك الجدار يساوي إلى طول اللبنة، أي ذراعاً واحداً عندما كانت أبعاد المسجد (60X70) ذراعاً. وإذا افترضنا أن الذراع يساوي (٤٩,٣٣) من المتر، فإنه يمكننا أن نستمر في سياق البحث كما يلي:

نرمز بـV_1 للحجم الوسطي للجدار في مرحلة البناء الأولى، ونرمز لمساحة المسجد في هذه المرحلة بـ S_1 لارتفاع الجدار بـ h_1 وسماكة الجدار بـ D_1. ونرمز أيضاً للطول الوسطي لجدار المسجدL_1، ويمكننا من النتائج التي حصلنا عليها أن نرتب الجدول (١) الذي يمثل أبعاد مسجد النبي ﷺ في مرحلة البناء الأولى:

الجدول (1): أبعاد مسجد الرسول ﷺ في مرحلة البناء الأولى

مساحة المسجد (S1)		سماكة الجدار (D1)		الطول الوسطي لجدار المسجد (L1)		الحجم الوسطي للجدار (V1)		ارتفاع الجدار (h1)	
4200	ذراعاً مربعاً	1	ذراع	65	ذراع	455	ذراعاً مكعباً	7	ذراع
1022	متراً مربعاً	0.4933	متر	32.065	متر	54.4605	متراً مكعباً	3.453	متر

إذا استخدمنا معطيات السطر الثاني من الجدول (١) ونسبنا الحجم الوسطي للجدار إلى مساحة المسجد نجد العلاقة التالية:

$$(V1 / S1) = 0.0538\ m \quad (١)$$

إذ يلعب حجم الجدار دوراً مهماً في تخزين كمية الحرارة والبرودة المناسبتين لمساحة المسجد في مرحلة البناء الأولى.

مرحلة البناء الثانية:

يظهر الشكل (٣) السعيدة لبنة ونصف الأخرى، والأنثى والذكر، اللتين استخدمهما النبي ﷺ في مرحلة البناء الثانية للمسجد:

الشكل (3): السعيدة لبنة ونصف الأخرى، والأنثى والذكر (عثمان، ١٩٩٠)

في هذه المرحلة بلغ سمك الجدار لبنة ونصف، أي (1.5) ذراع، وأبعاد المسجد (100X100) ذراع، أي أن الزيادة في طول الجدار اقتضت الزيادة في سماكته، وبالتالي الزيادة في حجمه الوسطي، إلا أن ارتفاع جدار المسجد بقي دون زيادة، أي سبعة أذرع. مما سبق يمكننا ترتيب الجدول (٢) آخذين بعين الاعتبار تحويل الواحدات من ذراع إلى متر.

الجدول (2): أبعاد مسجد الرسول ﷺ في مرحلة البناء الثانية

مساحة المسجد (S_2)		سماكة الجدار (D_2)		الطول الوسطي لجدار المسجد (L_2)		الحجم الوسطي للجدار (V_2)		ارتفاع الجدار (h_2)	
10000	ذراعاً مربعاً	1.5	ذراع	100	ذراع	455	ذراعاً مكعباً	7	ذراع
2433.4	متراً مربعاً	0.739	متر	49.33	متر	125.88	متراً مكعباً	3.453	متر

نستخدم معطيات السطر الثاني من الجدول (٢) وننسب الحجم الوسطي للجدار إلى مساحة المسجد فنجد العلاقة (٢):

$$(V2 / S2) = 0.0530\ m \quad (٢)$$

حيث V_2 ,S_2 الحجم الوسطي للجدار ومساحة المسجد على الترتيب في مرحلة البناء الثانية.

إذ يلعب حجم الجدار دوراً مهماً في تخزين كمية الحرارة والبرودة المناسبتين لمساحة المسجد في مرحلة البناء الأولى.

نقارن العلاقتين (١) و (٢) فنجد أن النسبة في كلتا الحالتين متساوية، إذ إن الفارق بين النسبتين ($3X10^{-4}$)، وهو مقدار ضئيل جداً يمكن إهماله، ويمكننا القول إن العلاقة التالية محققة:

$$(V1 / S1) = (V2 / S2) \quad (٣)$$

إن زيادة مساحة المسجد تقتضي زيادة كمية الطاقة الحرارية المختزنة ضمن الجدران حتى تبقى عملية التوازن الحراري مقبولة.

ب. استخدام جدران المسجد كخزانات حرارية:

استخدمنا طريقتين لبيان كمية الحرارة المختزنة في جدران المسجد النبوي، الطريقة الأولى تربط بين كمية الحرارة المختزنة في الجدران وكتلة الجدران، أما الطريقة الثانية فتربط بين كمية الحرارة المختزنة وحجم الجدار.

الطريقة الأولى: تعطى كمية الحرارة المختزنة داخل أي جسم صلب بالعلاقة:

$$Qm = Cp\ X\ m X \Delta T \quad (٤)$$

حيث ترمز C_p للسعة الحرارية النوعية للمادة، وتعرّف بأنها مقدار ما تختزنه واحدة الكتلة من المادة من الطاقة الحرارية عندما تتغير درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة، وواحدتها

Joul/ kg C°.

أما (m) فترمز لكتلة الجسم الصلب وتقدر بـkg.

أما $\Delta T = T_2 - T_1$ فتمثل الفارق في درجة الحرارة بين السطح الخارجي للجدار T_2 والسطح الداخلي T_1، وتقدر بالدرجة المئوية C° أو الكلفن K°.

أما Q_m فترمز لكمية الحرارة المختزنة في مادة الجدار، وهي مقدار الطاقة الحرارية التي يفتقدها أو يكسبها الجسم الصلب الذي سعته الحرارية C_p وكتلته m عندما تتغير درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة أو كلفن واحد.

إن الجدارين في مرحلتي البناء الأولى والثانية مصنوعان من نفس المادة وهي الطين، وهذا يعني أن السعة الحرارية النوعية واحدة، وبفرض أن كلا الجدارين يخضعان لنفس التغير في درجة الحرارة (في نفس اليوم ونفس اللحظة ونفس الاتجاه)، عندئذ فإن كتلتي الجدارين سيكون لهما الدور الأبرز في تحديد كمية الحرارة المختزنة فيهما.

بفرض أن كمية الحرارة المختزنة في أحد الجدران في مرحلة البناء الأولى:

$$Q_{m1} = C_p X m_1 X \Delta T$$

وأن كمية الحرارة المختزنة في نظير الجدار السابق في مرحلة البناء الثانية:

$$Q_{m2} = C_p X m_2 X \Delta T$$

بنسب العلاقتين السابقتين بعضهما إلى بعض نجد:

$$(Qm1/ Qm2) = (m1 / m2) \quad (٥)$$

هذا يعني أن كمية الحرارة المختزنة في الجدارين في كلتا الحالتين تتناسب طرداً مع كتلتي الجدارين.

آخذين بعين الاعتبار أن اتجاه الجدار يلعب دوراً أساسياً، إذ يتلقى الجدار الشمالي أقل كمية من الإشعاع الشمسي، وبالتالي يخزن أقل كمية من الطاقة الحرارية، فيما يخزن الجداران الشرقي والغربي كمية متوسطة من الطاقة الحرارية، أما الجدار الجنوبي فهو يخزن الكمية الأكبر من الطاقة الحرارية لتلقيه أكبر كمية من الإشعاع الشمسي خلال النهار.

من جهة ثانية تعرّف كثافة الجسم الصلب بأنها كتلته مقسومة على حجمه، وتقاس بالـkg / m^3 وبالتالي:

$$\rho = m/V$$

حيث ρ و m و V تمثل كثافة وكتلة وحجم الجسم الصلب (أي الجدار) على الترتيب.

يروي السمهودي نقلاً عن المجد عن رواية محمد بن سعد قال: وجاء رجل يحسن عجن الطين، وكان من حضرموت، فقال رسول الله ﷺ: رحم الله امرأً أحسن صنعته، وقال له: الزم أنت هذا الشغل فإني أراك تحسنه، ويروي أحمد عن طلق بن علي قال: بنيت المسجد مع النبي ﷺ فكان يقول قربوا اليماني من الطين فإنه أحسنكم له مسكاً وأشدكم منكباً (السمهودي، 1326 هـ).

تمكّننا الروايتان السابقتان من افتراض مزج الطين بشكل متجانس تحت اشراف النبي ﷺ، وبالتالي افتراض أن كثافة الجدارين متساوية.

نفرض أن كثافة الجدار في الحالة الأولى هي:

$$\rho = (m_1 / V_1)$$

وهي تساوي نفس الكثافة في الحالة الثانية:

$$\rho = (m_2 / V_2)$$

يمكننا أن نستنتج من تساوي الكثافتين في العلاقتين السابقتين أن:

$$(m\,1/ m\,2) = (V1/V2) \quad (٦)$$

من تساوي العلاقتين (5) و (6) نجد:

$$(Qm1/ Qm2) = (V1/V2) \quad (٧)$$

نقلب نسب العلاقة السابقة فنجد:

$$(Qm2/ Qm1) = (V2/V1) \quad (٨)$$

الآن نستخدم القيم العددية الموجودة في الجدولين (1) و(2) وننسب V_2 على V_1 فنجد:

$$(Qm2/ Qm1) = (V2/V1) = 2.310 \quad (٩)$$

بمناقشة العلاقة (٨) نجد أن نسبة كمية الحرارة المختزنة في الجدارين تساوي نسبة حجميهما الوسطيين، وأن الحرارة المختزنة في الجدار الثاني قد تضاعفت بمقدار (٢,٣٩٠) مرة عن الحرارة المختزنة في الجدار الأول نتيجة زيادة سماكته.

الطريقة الثانية: تربط هذه الطريقة بين كمية الحرارة المختزنة في الجدران وحجمها مباشرة، تعطى كمية الحرارة المختزنة في هذه الحالة بالعلاقة:

$$QV = \rho X Cp X vX\Delta T \quad (١٠)$$

حيث ρ تمثل كثافة المادة المستخدمة في بناء الجدران، وهي الطين، وتقدر بـkg/ m^3،

وترمز C_p للسعة الحرارية النوعية للمادة، وتعرّف بأنها مقدار ما تختزنه واحدة الكتلة من المادة من الطاقة الحرارية عندما تتغير درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة، وواحدتها

Joul/ kg C°.

أما (m) فترمز لكتلة الجسم الصلب وتقدر بـkg.

أما $\Delta T = T_2 - T_1$ فتمثل الفارق في درجة الحرارة بين السطح الخارجي للجدار T_2 والسطح الداخلي T_1، وتقدّر بالدرجة المئوية C° أو الكلفن K°.

و V هي حجم المادة المدروسة (أي حجم الجدار المدروس) وتقدر بـ m^3.

أما Q_m فترمز لكمية الحرارة المختزنة في مادة الجدار، وهي مقدار الطاقة الحرارية التي يفتقدها أو يكسبها الجسم الصلب الذي سعته الحرارية C_p وكتلته m عندما تتغير درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة أو كلفن واحد.

إن الجدارين في مرحلتي البناء الأولى والثانية مصنوعان من نفس المادة وهي الطين، هذا يعني أن السعة الحرارية النوعية لمادة الجدران في كلتا الحالتين متساوية، وكما قلنا سابقاً فإن مزج الطين كان بإشراف النبي ﷺ وهذا يقتضي أن تكون كثافة مادة الطين في كلتا الحالتين متساوية، ولنفترض أن تغيير درجة الحرارة بالنسبة للجدارين كان في ظروف حرارية متشابهة في نفس الزمن، فهذا يمكّننا من افتراض أن تغيرات درجة الحرارة للجدارين متشابهة ومتساوية،

وبالتالي فإن كمية الحرارة المختزنة في كلتا الحالتين تتبعان فقط للحجم، وبالتالي تصبح المعادلتين المعبرتين عن كمية الحرارة في الحالتين هما:

$$QV1 = \rho X Cp X V1 X \Delta T \quad (١١)$$

$$Qv2 = \rho X Cp X V2 X \Delta T \quad (١٢)$$

بنسب العلاقتين بعضهما إلى بعض مع اختصار الحدود المتساوية بينهما نجد:

$$(QV1 / Qv2) = (V1 / V2) \quad (١٣)$$

هذا يعني أن كمية الطاقة الحرارية المختزنة في الجدارين في كلتا الحالتين تتناسب طرداً مع الحجم الوسطي للجدارين، آخذين بعين الاعتبار ما ورد سابقاً في اتجاهات الجدران.

نقلب نسب العلاقة السابقة فنجد:

$$(QV2 / QV1) = (V2/V1) \quad (١٤)$$

الآن نستخدم القيم العددية الموجودة في الجدولين (1) و(2) ونسب V_2 على V_1فنجد:

$$Qm2 / Qm1) = (V2/V1) = 2.310 \quad (١٥)$$

وهي نفس القيمة التي حصلنا عليها في حال تابعية كمية الطاقة المخزونة لكتلة الجدار

وهذا ما نجده بمقارنة العلاقتين(9) و(15)، أي أن كمية الطاقة الحرارية المخزونة في الجدار في حال تابعيتها لكتلة الجدار أو حجمه الوسطي هي نفسها في الحالتين.

ج. علاقة كمية الطاقة الحرارية المختزنة بمساحة المسجد:

بالعودة للعلاقة (3)

$$(V_1 / S_1) = (V_2 / S_2)$$

التي يمكن كتابتها بالشكل:

$$(V1 / V2) = (S1 / S2) \quad (١٦)$$

نقارن العلاقة السابقة بالعلاقة(7) أو العلاقة(13)، فنجد:

$$(Q_{m1} / Q_{m2}) = (V_1/V_2) = (Q_{V1} / Qv2) = (V_1 / V_2) = (S_1/S2)$$

أي:

$$(Q1 / Q2) = (S1 / S2) \quad (١٧)$$

حيث Q_1 وQ_2 تمثلان كمية الطاقة الحرارية المختزنة في الجدار الأ ول والثاني، وبقلب النسبة في هذه العلاقة نجد:

$$(Q2 / Q1) = (S2 / S1) \quad (١٨)$$

لتأكيد صحة العلاقة(18) نستخدم القيم العددية من الجدولين(1) و(2) ونسب المساحتين فنجد:

$$(S2 / S1) = 2.381 \quad (١٩)$$

حيث العلاقة (١٨) ناتجة من قلب العلاقة (١٧) في حين العلاقة (١٩) مأخوذة من القيم العددية في الجدولين (١) و (٢) بغية المقارنة.

نقارن العلاقات (٩) و (١٥) و (١٩) فنجد أن القيم متساوية والفارق بينهما هو (0.071) وهو رقم صغير جداً يمكن إهماله، والدقة في هذه الحالة ممتازة وتقع ضمن أخطاء القياس، وهذا مايبرر لنا مساواة العلاقات السابقة واستنتاج العلاقة التالية:

$$(Q2/ Q1) = ( ) = (V2/V1) S2 / S1 \quad (٢٠)$$

يعني هذا أن الزيادة في مساحة المسجد اقتضت الزيادة في سماكة جدرانه، وبالتالي الزيادة في حجم الجدران حتى تتمكن من تخزين كمية طاقة حرارية أو برودة كافية تتناسب مع زيادة مساحة المسجد، كي يستمر التوازن الحراري.

د. ثبات حجم الجدران أمام تغيرات درجة الحرارة (وثوقية الجدران):

إن زيادة أبعاد الجدار تؤدي إلى زيادة حجم الجدار المعرض لأشعة الشمس، وهذا يتطلب من الجدار مقاومة التبدلات الحرارية الطارئة على الجدار، لذلك يجب علينا دراسة التغيرات الطارئة على حجم الجدران نتيجة تغيرات درجة الحرارة. تعطى علاقة تغير حجم الجسم الصلب (الجدار) بتابعية درجة الحرارة بالعلاقة التالية:

$$\Delta V = V0 X B X \Delta T \quad (٢١)$$

حيث ΔV التغير في حجم الجدار الناتج عن تغيرات درجة الحرارةΔT.

وV_0 الحجم الأصلي عند درجة حرارة صغرى مرجعية، أماB فهو معامل التمدد الحجمي، وهو يمثل نسبة التغير في الحجم إلى الحجم الأصلي عندما ترتفع درجة الحرارة درجة مئوية واحدة.

بفرض أن الحجم الأصلي للجدار في الحالة الأولى V_1، وأن الحجم الأصلي للجدار في الحالة الثانية V_2.

وبما أن الجدارين مصنوعان من نفس المادة، فإن معامل تمددهما الحجمي متساوٍ في كلتا الحالتين أي: $B_1 = B_2 = B$

عندئذ نجد:

$$\Delta V_1 = V_1 X B X \Delta T$$

$$\Delta V_2 = V_2 X B X \Delta T$$

ننسب العلاقتين فنجد:

$$(V_1 / V_2) = (\Delta V_1 / \Delta V_2)$$

بقلب النسب السابقة نجد العلاقة التي تربط بين حجم الجدار وتغيره الحجمي في الحالتين الأولى والثانية:

$$(V2 / V1) = (\Delta V2 / \Delta V1) = 2.31 \quad (٢٢)$$

نقارن العلاقة(22) مع العلاقتين (13) و (15) فنجد:

$$(Q2 / Q1) = (V2 / V1) = (\Delta V2 / \Delta V1) \quad (٢٣)$$

حيث Q_1 و Q_2، وV_1وV_2 وV_1 وΔV_2 ،هي كمية الطاقة المخزونة في الجدار، وحجم الجدار، والتغير في حجم الجدار، في مرحلتي البناء الأولى والثانية على الترتيب.

- **نظرية التوحيد الأولى:**

يمكننا مما سبق ترتيب الجدول (٣) الذي يحوي بارامترات التصميم الحراري للمسجد:

الجدول(3): بارامترات التصميم الحراري للمسجد النبوي

Q_2 / Q_1	V_2 / V_1	S_2 / S_1	$\Delta V_2 / \Delta V_1$
2.310	2.310	2.381	2. 310

نستنتج من مجمل العلاقات السابقة العلاقة التالية:

$$(Q2 /Q1) = (V2 / V1) =(\Delta V2 /\Delta V1) = (S2 / S1) \quad (٢٤)$$

نلاحظ من دراسة العلاقة (24) أنها تساوي بين نسب مساحة المسجد والحجم الوسطي لأحد الجدران وكمية الحرارة المخزونة في أحد الجدران والتغير الحجمي للجدار في مرحلتي البناء الأولى والثانية، وهي توحد بين بارامترات التصميم الحراري لذلك يمكن تسميتها " معادلة التوحيد أو نظرية التوحيد في بناء المسجد). إن نظرية التوحيد في بناء المسجد تحقق تصميماً حرارياً مدهشاً بحيث يبقى التوازن الحراري فيه قائماً.

إن وحدة الحجم من الجدار سوف تخزن كمية من الطاقة الحرارية تكفي لوحدة المساحة من المسجد في مرحلتي البناء الأولى والثانية، وهي تخزن وحدة الطاقة الباردة في الليل لتبثها إلى وحدة المساحة من المسجد في النهار، كما تخزن وحدة الطاقة الساخنة في النهار لتعطيها إلى وحدة المساحة من المسجد في الليل، بحيث تساهم في تشكيل تيارات هوائية ناتجة عن الفوارق الحرارية تؤدي إلى تهوية المسجد، وحتى تستمر هذه التيارات الهوائية بالدوران داخل المسجد بنفس الكفاءة اقتضى التوحيد بين كمية الطاقة الحرارية والحجم للجدار ومساحة المسجد، وهذا يحقق توازناً حرارياً ممتازاً يجعل البيئة الداخلية للمسجد مريحة للإقامة.

ونلاحظ أن العلاقة (١٤) توحد بين البارامترات السابقة وبين التغير في حجم الجدران نتيجة تبدلات درجات الحرارة في مرحلتي البناء الأولى والثانية، ويمكن فهم ذلك وفق ما يلي:

إن الزيادة في مساحة المسجد أدت إلى الزيادة في طول الجدار وبالتالي إلى زيادة سطح الجدار (أو حجم الجدار) المعرض لأشعة الشمس، وحتى يبقى هذا الجدار محافظاً على جودته أمام التبدلات الحرارية خلال النهار الحار والليل البارد يجب أن يكون التغير في حجمه متناسباً مع تلك الزيادة، وهذا يمنح الجدار وثوقية عالية أمام تغيرات درجات الحرارة، ولا سيما أن بيئة المدينة المنورة موصوفة بالتفاوتات الحرارية الكبيرة بين الليل والنهار، وهذا يعني أن الجدار لن يتشقق أو يتصدع بفعل التغيرات الحرارية، وبالتالي لن ينهار.

- **نظرية التوحيد الثانية:**

يستخدم نظام العزل الحراري مواد طبيعية أو صناعية لها خواص تساعد على تخفيض معامل الانتقال الحراري إلى الحد الأدنى، ويهدف إلى تخفيض التسربات الحرارية في الشتاء من داخل المبنى إلى خارجه، وكذلك تخفيض انتقال الحرارة من خارج المبنى إلى داخله في الصيف (Ashaer,2013).

ولدراسة هذه القضية لابد من الإشارة إلى معامل الانتقال الحراري.

أ. معامل الانتقال الحراري:

يعرف بأنه المعدل الزمني للتدفق الحراري لوحدة المساحة الناتجة عن وحدة الفرق في درجات الحرارة بين الشريحة الهوائية في الجانب ذي درجة الحرارة المرتفعة والشريحة الهوائية في الجانب ذي درجة الحرارة المنخفضة (Ashaer,2013)، أي بين السطح الخارجي للجدار والسطح الداخلي له، ويرمز له بالرمز U ويقاس بواحدة W/m^2C^o ويعطى بالعلاقة:

$$U = (Q/Sw \, X\Delta T) \quad (٢٥)$$

حيث Q كمية الحرارة وتقدر بالوات أو الجول.

S_w مساحة السطح التي ترد عليه الشمس، في هذه الحالة يمثل سطح جدار المسجد ويقاس بالمتر المربع.

$\Delta = T_2 - T_1$ الفارق بين درجتي حرارة السطح الخارجي والسطح الداخلي للمسجد.

من المعادلة (25) يمكننا كتابة المعادلتين التاليتين تصفان مرحلة البناء الأولى والثانية على الترتيب.

في مرحلة البناء الأولى يعطى الانتقال الحراري بالمعادلة:

$$U1 = (Q1/ Sw1 \, X\Delta T) \quad (٢٦)$$

أما في مرحلة البناء الثانية فيعطى الانتقال الحراري بالمعادلة:

$$U2 = (Q2 / Sw2 X\Delta T) \quad (٢٧)$$

ولنفترض أن هذا الانتقال حدث في الجدارين في نفس الشروط لدرجات الحرارة، أي في نفس الزمن من العام، أي في ظروف زمنية متشابهة تكون فيها درجات الحرارة متساوية، وإذا علمنا أن المساحة المتوسطة لسطح الجدار في مرحلة البناء الأولى هي: $S_{w1} = 110.72\ m^2$.

وأن المساحة المتوسطة لسطح الجدار في مرحلة البناء الثانية هي $S_{w2} = 170.34\ m^2$

وإذا نسبنا المساحتين المتوسطتين لسطحي الجدار في مرحلتي البناء سنجد العلاقة التالية:

$$(Sw2 / Sw1) = 1.539 \quad (٢٨)$$

من العلاقة (15)نجد أن: $Q_2 = 2.310\ Q_1$.

بحل جملة المعادلتن (26) و(27) بطريقة تقسيم المعادلة الثانية على الأولى مع الأخذ بعين الاعتبار المعطيات التي أوردناها سنجد أن:

$$(U2 / U1) = 1.502 \quad (٢٩)$$

بمقارنة العلاقتين (28) و(29) نجد أن النسبة بين المساحة المتوسطة لسطح جدار المسجد تساوي إلى النسبة بين معاملي الانتقال الحراري ضمن الجدار بدقة تدخل ضمن أخطاء القياس، أي أن معامل الانتقال الحراري في الجدار للبناء الثاني سيزيد بمقدار مرة ونصف تقريباً عن حالة الجدار في البناء الأول. وهذا يعني أن الزيادة في مساحة المسجد أدت إلى الزيادة في مساحة السطح الوسطي للجدار المعرض لحرارة المحيط، وحتى يبقى الفناء الداخلي للمسجد في حالة توازن حراري لزم ذلك زيادة في الانتقال الحراري ضمن جدران المسجد، بنفس الزيادة في مساحة السطح الوسطي لجدار المسجد، وهذا هو إدهاش آخر في التصميم الحراري للمسجد النبوي.

ب. المقاومة الحرارية لجدران المسجد:

المقاومة الحرارية بشكل عام هي عكس معامل الانتقال الحراري، وتعطى بالعلاقة:

$$R = (Sw X\Delta T / Q) = 1/U \quad (٣٠)$$

وواحدتها m^2C^o/ w

وإذا افترضنا أن الجدارين في الشروط الزمنية والبيئة نفسها (اليوم والساعة نفسها في عامين مختلفين)، يمكننا أن نكتب العلاقتين اللتين تعبران عن المقاومة الحرارية للجدارين في مرحلتي البناء الأولى والثانية وفق ما يلي:

علاقة المقاومة الحرارية للجدار الأول

$$R1 = (Sw1 X \Delta T / Q1) \quad (٣١)$$

علاقة المقاومة الحرارية للجدار الثاني

$$R2 = (Sw2 X \Delta T / Q2) \quad (٣٢)$$

بملاحظة العلاقة (15) ونسب العلاقتين إحداهما إلى الأخرى نجد:

$$(R1/R2) = 1.502 \quad (٣٣)$$

نلاحظ أن العلاقة (٣٣) هي مقلوب العلاقة (٢٩) أي أن المقاومة الحرارية هي مقلوب معامل الانتقال الحراري وهذا ينسجم مع تعريف المقاومة الحرارية.

بمقارنة العلاقات (٢٨) و (٢٩) و (٣٠) يمكننا القول إن الزيادة في مساحة المسجد اقتضت الزيادة في سطح الجدران المحيطة. وحتى يحافظ المسجد على البيئة الداخلية المريحة للإقامة اقتضى ذلك الزيادة في معامل الانتقال الحراري لتقليل المقاومة الحرارية للجدران حتى يبقى معدل التدفق الحراري إلى داخل المسجد مستمراً، ولتتحقق الإقامة المريحة في داخله، وكذلك يبقى التوازن الحراري داخل المسجد محققاً.

ج. الموصلية الحرارية لجدران المسجد (معامل التوصيل الحراري):

تعرّف بأنها المعدل الزمني لتدفق الحرارة من خلال سطح مادة مساحتها($1m^2$) وسماكتها متر واحد بين سطحين من جسم المادة ويرمز لها بـ K وواحدتها w/mC^o (المواصفات القياسية السعودية، ١٩٩٨)، وتعطى بالعلاقة التالية:

$$K = (Q/D X \Delta T) \quad (٣٤)$$

حيث Q كمية الحرارة المختزنة في الجدار، وD سماكة الجدار، وΔT الفارق في درجات الحرارة بين السطحين الخارجي والداخلي للجدار، وإذا افترضنا أن الفارق في درجات الحرارة بين السطحين الخارجي والداخلي للجدارين في حالتي البناء الأولى والثانية تحدث في الفترة الزمنية نفسها، فإن هذا يمكّننا من افتراض تساوي تغيرات درجات الحرارة في الحالتين، وبالتالي من معطيات مرحلتي البناء يمكننا اشتقاق المعادلتين اللتين تعبران عن معامل التوصيل الحراري للجدران وفق ما يلي:

العلاقة الواصفة لمعامل التوصيل الحراري للجدار الأول في مرحلة البناء الأولى:

$$K1 = (Q1 / D\,1 X \Delta T) \quad (٣٥)$$

أما العلاقة الواصفة لمعامل التوصيل الحراري للجدار الثاني في مرحلة البناء الثانية:

$$K2 = (Q2 / D\,2 X \Delta T) \quad (٣٦)$$

بملاحظة العلاقة (١٥) نجد أن: $Q_2 = 2.31\ Q_1$

وبنسب سماكة الجدار في مرحلة البناء الثانية إلى سماكة الجدار في مرحلة البناء الأولى نجد العلاقة التالية:

$$(D2/D1) = 1.498 = 1.50 \quad (٣٧)$$

ننسب العلاقتين (٣٥) و(٣٦) بعضهما إلى بعض وبأخذ ما سبق بعين الاعتبار نجد العلاقة التالية:

$$(K2 / K1) = 1.542 \quad (٣٨)$$

بملاحظة العلاقتين (٣٧) و(٣٨) يمكننا القول إن الزيادة في سماكة الجدران في مرحلة البناء الثانية عن سماكته في مرحلة البناء الأولى اقتضت الزيادة في معامل التوصيل الحراري للجدار الثاني بمقدار مرة ونصف المرة عن معامل التوصيل في الجدار الأول، وهذا يؤدي إلى الزيادة في سرعة التوصيل الحراري إلى داخل البيئة الداخلية للمسجد بنفس النسبة حتى يبقى المسجد محافظاً على توازنه الحراري الداخلي، وبالتالي يحافظ على استمرار الحياة المريحة للإقامة داخل المسجد.

د. كثافة معدل التيار الحراري في الجدران:

تعطى كثافة معدل التيار الحراري المار خلال وحدة المساحة من الجدار بالعلاقة:

$$q = (Q / Sw) \quad (٣٩)$$

حيث يقاس بواحدة w/m^2

وتكون كثافة معدل التيار الحراري للجدار في مرحلة البناء الأولى:

$$q\,1 = Q1 / Sw1 \quad (٤٠)$$

أما كثافة معدل التيار الحراري للجدار في مرحلة البناء الثانية:

$$q\,2 = Q2 / Sw2 \quad (٤١)$$

حيث Q_1 وQ_2 كمية الحرارة المخزونة في الجدارين الأول والثاني على الترتيب.

و S_{w1} وS_{w2} المساحة الوسطى لسطح الجدار في مرحلتي البناء الأولى والثانية على الترتيب.

بنسب العلاقة (41) إلى العلاقة (40) آخذين بعين الاعتبار العلاقتين (15) و(28) نجد العلاقة التالية:

$$q\,2 / q\,1 = 1.5 \quad (٤٢)$$

تعني العلاقة (٤٢) أن معدل كثافة التيار الحراري في الجدران في مرحلة البناء الثانية قد ازدادت بمقدار مرة ونصف المرة عن الجدران في مرحلة البناء الأولى، وهذا يعني أن هذه الزيادة متناسبة مع زيادة سماكة الجدران في مرحلة البناء الثانية عن مرحلة البناء الأولى بالنسبة نفسها، وسبب تلك الزيادة في جريان التيار الحراري تأمين الحرارة والبرودة اللازمتين للتوازن الحراري للبيئة الداخلية للمسجد حتى يحافظ هذا التوازن الحراري على الإقامة المريحة داخل المسجد.

هـ. دراسة الانتقال الحراري ضمن جدران المسجد:

تسقط أشعة الشمس على جدران المسجد، فينعكس جزء منها إلى المحيط، ويمتص الجزء الباقي ويخزن على شكل طاقة حرارية ضمن الجدران، كما تكون درجة حرارة السطح الخارجي للجدار أكبر من درجة حرارة السطح الداخلي، تتدفق الطاقة الحرارية (أو البرودة) محمولة بواسطة جزيئات الطين متجهة من السطح ذي درجة الحرارة الأعلى إلى السطح ذي درجة الحرارة الأخفض، وهذا ما يدعى بانتقال الحرارة بواسطة التوصيل.

ويعطى معدل تدفق الحرارة ضمن الجدار بالعلاقة:

$$\Phi = [\, k(SW/D)\Delta T)] \quad (٤٣)$$

حيث k هو معامل التوصيل الحراري، وS_W مساحة سطح الجدار، و d سماكة الجدار، وΔT فارق درجات الحرارة بين السطحين الخارجي والداخلي للجدار، أو الفارق بين درجة الحرارة العليا والدنيا لسطحي الجدار، أما Φ فترمز لمعدل تدفق الحرارة ضمن جدران المسجد، وهي عبارة عن معدل انتقال الطاقة الحرارية في وحدة الزمن، وتقاس بالجول / ثانية، وإذا افترضنا أن الجدارين في مرحلة البناء الأولى والثانية يتعرضان للفارق نفسه في درجات الحرارة بين سطحيهما الخارجي والداخلي في النهار (أو الفارق في د رجة البرودة نفسه في الليل)،وهذا منطقي ومقبول لأن هذه الحالة تتكرر في اليوم والساعة نفسها من السنة.

فتكون العلاقة المعبرة عن الانتقال الحراري ضمن جدران المسجد في مرحلة البناء الأولى هي:

$$\Phi 1 = [\, k1(SW1/D1)\Delta T)] \quad (٤٤)$$

أما العلاقة المعبرة عن انتقال الحرارة ضمن الجدار في مرحلة البناء الثانية هي:

$$2 = [\, k2(SW2/D2)\Delta T)] \quad (٤٥)$$

بالاستفادة من مجمل العلاقات (٢٨) و (٣٧) و (٣٨)، وتقريب مناسب للقيم المعبرة عنها ضمن أخطاء القياس، ونسب العلاقة (٤٥) إلى العلاقة (٤٤) نجد:

العلاقة التي تربط بين الانتقال الطاقة الحرارية لجدار المسجد في مرحلتي البناء الأولى والثانية وهي:

$$(\Phi 2 / \Phi 1) = 1.581 \quad (٤٦)$$

إن الزيادة الطفيفة في نسبة الانتقال الحراري ضمن جدران المسجد عن النسب في البارامترات الأخرى لمرحلتي البناء الأولى والثانية تتراوح مابين -0.08) (0.04، وهي زيادة مقبولة وتقع ضمن أخطاء القياس، لذلك يمكن اعتبار النسب السابقة جميعها متقاربة، بل متساوية.

بمقارنة العلاقات (٢٨) و(٢٩) و(٣٣) و(٣٧) و(٣٨) و(٤٢) و(٤٦) يمكننا إنشاء الجدول (٣)

الجدول (3) البارمترات الحرارية لجدران المسجد

نسبة انتقال الطاقة الحرارية في جدران المسجد لمرحلة البناء الثانية منسوبة إلى مرحلة البناء الأولى Φ_2/Φ_1	نسبة معدل كثافة التيارالحراري في الجدران في مرحلة البناء الثانية إلى معدل كثافة التيار الحراري في مرحلة البناء الأولى q_2/q_1	نسبة معامل التوصيل الحراري لمادة الجدار في مرحلة البناء الثانية إلى معامل التوصيل للجدارفي مر حلة البناء الأولى (K_2/K_1)	نسبة المقاومة الحرارية لجدار المسجد في مرحلة البناء الأولى إلى المقاومة الحرارية للجدار في مرحلة البناء الثاني (R_1/R_2)	نسبة معامل الانتقال الحراري لجدار المسجد في مرحلة البنا ءالثانية إلى معامل الانتقال الحراري في مرحلة البناء الأولى (U_2/U_1)	نسبة سماكة جدار المسجد في مرحلة البناء الثاني إلى سماكته في مرحلة البناء الأولى (D_2/D_1)	نسبة المساحة المتوسطة لسطح جدار المسجد في مرحلة البناء الثانيةإلى الأولى (S_{w2}/S_{w1})
1.581	1.500	1.542	1.502	1.502	1.500	1.539

و. نظرية التوحيد الثانية:

من الجدول (٣) ومن مجمل العلاقات (٢٧) و(٢٨) و(٣٢) و(٣٦) و(٣٧) و(٤١) و(٤٥) يمكننا إيجاد العلاقة التالية:

$$(Sw2/Sw1) = (D2/D1) = (U2/U1) = (R1/R2) = (K2/K1) = (q2/q1) = (\Phi 2/\Phi 1) \quad (٤٧)$$

إن المساواة بين حدود العلاقة (٤٦) ممكنة كما أسلفنا لأن الفوارق بين الأرقام الموجودة في الجدول (٣) هي فوارق ضحلة، لذلك تعتبر المساواة والمعادلة (٤٦) صحيحة.

نسمي المعادلة (٤٦) بمعادلة التوحيد للبرامترات الحرارية لجدران المسجد النبوي، مع الأخذ بعين الاعتبار أن لكل جدار نظيره في مرحلتي البناء الأولى والثانية، وأن اتجاه الجدار يلعب دوراً مهماً في التصميم الحراري، وبشكل عام فإن الجدار الشمالي يتلقى أقل كمية من الطاقة الحرارية، في حين أن الجدارين الشرقي والغربي يتلقيان كمية متوسطة من الطاقة الحرارية، أما الجدار الجنوبي فيتلقى أكبر كمية من الطاقة الحرارية، إن المعادلة (٤٦) توحد بين المعاملات الحرارية الرئيسة للجدار في المسجد.

إن زيادة عدد المسلمين اقتضت تكبير المسجد وزيادة مساحته، وزيادة المساحة لزمها زيادة في حجم الجدران وطولها ومساحة سطحها وسماكتها بما يتناسب مع البناء الجديد. لم تكن زيادة مساحة سطح الجدران وسماكتها زيادة عشوائية، بل كانت زيادة اقتضتها ضرورة التصميم الحراري الدقيق للمسجد، فزاد معامل التوصيل الحراري للجدار في مرحلة البناء الثانية عنه في مرحلة البناء الأولى بمقدار مرة ونصف المرة، وهذا أدى إلى زيادة معامل الانتقال الحراري بالنسبة نفسها، وقلت المقاومة الحرارية للجدار بنفس المقدار، وكذلك زاد معدل كثافة التيار الحراري بنفس النسبة أيضاً، كل ذلك أدى تدفق الطاقة الحرارية وانتقالها ضمن الجدار وبنفس النسبة أيضاً، ليؤدي ذلك في مجملة إلى الحفاظ على البيئة الداخلية مريحة للإقامة والسكن للقاطنين من المسلمين.

إن الزيادة في بارامترات التصميم الحراري للجدار في مرحلة البناء الثانية عن مرحلة البناء الأولى يمكن تفسيرها وفق ظاهرة التخلف الزمني، وبشكل عام تعتبر الجدران السميكة خزانات للطاقة الحرارية، وهي تختزن هذه الطاقة لفترة زمنية تطول وتقصر بحسب نوع مادة الجدار وسماكته. وبالمقارنة نجد أن الطاقة الحرارية المخزنة في الجدار الثاني سيطول مكوثها فيه لفترة أطول من حالة الجدار الأول وذلك لأن سماكة الجدار الثاني ومعامل توصيله الحراري يزيد عن حالة الجدار الأول بمقدار مرة ونصف المرة، وبالتالي فإن دورة الإبطاء أو التخلف الزمني سوف تتفوق على نظيرتها في الجدار الأول. وإذا علمنا أن جداراً طينياً سماكته (0.40m) يحتفظ بالطاقة الحرارية ضمنه لمدة 15) (hrخمسة عشر ساعة (جطل، ١٩٩٩)، فيمكننا أن تنوقع أن جدران المسجد سوف تحتفظ بالطاقة الحرارية المختزنة فيها في النهار لتبثها إلى المحيط الداخلي للمسجد طوال ساعات الليل، وكذلك سوف تخزن برودة الليل لتبثها إلى المحيط الداخلي للمسجد على المدى الزمني لساعات النهار، مما يجعل درجة حرارة السطح الداخلي لجدران المسجد منخفضة نسبياً في النهار ومرتفعة نسبياً في الليل. هذا يساهم مساهمة فعالة في صناعة نقاط اجتذاب للهواء نظراً لتباين الضغط بين ساحة المسجد والمنطقة القريبة من السطح الداخلي للجدران، وبالتالي توليد تيارات هوائية لها دور مهم في تلطيف الأجواء الداخلية للمسجد، وهذه التيارات ستكون أقوى في حالة البناء الثاني عن حالة البناء الأولى، وهذا

ما يحتاجه البناء الثاني نظراً لزيادة مساحته. إن نظرية التوحيد التي برهناها بالعلاقة (46) تعني تصميماً حرارياً متفرداً اقتضته طبيعة المدينة المنورة التي توصف بشدة الحرارة ولا سيما في فصل الصيف، فكان ذلك التصميم الحراري المدهش يساهم مساهمة فعالة عظيمة في توفير بيئة مريحة لإقامة المسلمين في داخل المسجد، دون استخدام أي طاقة أو أي مادة لتغليف الجدران بغية العزل الحراري، ونلاحظ أن التبادل الحراري بين البيئة الداخلية للمسجد والمحيط الخارجي منتظم ومرتب بطريقة دقيقة دون أي كلفة أو بذخ.

إن نظريتي التوحيد الأولى الموصوفة بالعلاقة (24) (نظرية التوحيد في بناء مسجد المدينة المنورة)، والثانية الموصوفة بالعلاقة (46) تمثلان تصميماً حرارياً مدهشاً للمسجد يحقق متطلبات البيئة الحارة والجافة للمدينة المنورة، وهذا يمثل انتصاراً للحضارة الإسلامية على ادعاءات بعض المستشرقين وتقولاتهم ومزاعمهم المشبوهة بأن الحضارة الإسلامية في بدايتها خلت من الأبنية والمنشآت العمرانية، فيكون ما أوردناه رداً علمياً ناضجاً على أقاويلهم.

٦. الخلاصة:

نستخلص مما سبق:

١ - أن التصميم الحراري لبناء المسجد حقق معادلة التوحيد الأولى والتي أسميناها نظرية التوحيد الأولى، حيث تتساوى نسب مساحة المسجد والحجم الوسطي لأحد جدرانه والتغير الحجمي لهذا الجدار، وكذلك كمية الطاقة الحرارية المخزونة ضمن الجدار، في مرحلتي البناء الأولى والثانية، وهذا يعني أن وحدة الحجم من الجدار سوف تخزن كمية من الطاقة تكفي لوحدة المساحة من المسجد، إذ أن هذه الكمية زادت بنفس نسبة زيادة مساحة المسجد.

٢- أن التصميم الحراري للمسجد قد حقق معادلة التوحيد الثانية والتي أسميناها نظرية التوحيد الثانية، وتتلخص في أن زيادة عدد المسلمين اقتضت تكبير المسجد وزيادة مساحته، وزيادة المساحة لزمها زيادة في حجم الجدران وطولها ومساحة سطحها وسماكتها بما يتناسب مع البناء الجديد. لم تكن زيادة مساحة سطح الجدران وسماكتها زيادة عشوائية، بل كانت زيادة اقتضتها ضرورة التصميم الحراري الدقيق للمسجد، فزاد معامل التوصيل الحراري للجدار في مرحلة البناء الثانية عنه في مرحلة البناء الأولى بمقدار مرة ونصف المرة، وهذا أدى إلى زيادة معامل الانتقال الحراري بالنسبة نفسها، وقلت المقاومة الحرارية للجدار بنفس المقدار، كل ذلك أدى إلى تسهيل تدفق الطاقة الحرارية وانتقالها ضمن الجدار، وبنفس النسبة أيضاً.

٣- أن التصميم الحراري المدهش للمسجد رغم بساطة بنائه أدى إلى الحفاظ على البيئة الداخلية مريحة للإقامة والسكن للقاطنين من المسلمين.

٤- يمكن استمرار هذا البحث ودراسة التصميم لمبان أخرى مثل بناء الكعبة المشرفة، ومقارنة النتائج بالنتائج التي حصلنا عليها في هذا البحث.

٧. المصادروالمراجع العربية:

[١] جطل، أحمد كمال، نظم التبريد السلبي في العمارة الإسلامية، إصدار خاص، حلب، ٢٠١٦.

[٢] جطل أحمد كمال، أطروحة دكتوراة (تصنيع وتوصيف الخلايا الشمسية)، جامعة حلب، ١٩٩٩ م

[٣] الجوادي، مقداد حيدر، الجامعة التكنلوجية، قسم العمارة، بغداد، ٢٠١٦.

[٤] حسن علي، عاطف، تقليل تأثير البيئة على درجة حرارة الحيز بتغليف الجدران من الداخل، مجلة بحوث جامعة بغداد، المجلد العاشر، العدد٢، ٢٠١٢م.

[٥] حسن علي عاطف، تقليل كمية الحرارة المنتقلة من سقف المبنى باستخدام المسطحات الخضراء أو المائية، مجلة الهندسة، جامعة بغداد، المجلد ١٧، العدد . ٢٠١٣، ٦ م.

[٦] خليف، إياد كاظم وزملاؤه، مقارنة السلوك الحراري لمواد التغليف الطبيعية والصناعية للجدران، مجلة بابل للعلوم الهندسية، العدد٤، المجلد ٢١، ٢٠١٣م.

[٧] السمهودي، علي بن أحمد، وفاء الوفاء، مطبعة الآداب والمؤيد، القاهرة، ١٣٢٦ هـ.

[٨] عبد الغني، محمد الياس، تاريخ المسجد النبوي الشريف، مكتبة الملك فهد الوطنية، ط١، ١٤١٦ هـ –١٩٩٦م.

[٩] عثمان، نجوى، لمحات من الهندسة الإنشائية في كتب التراث، مجلة المهندس العربي، نقابة المهندسين السوريين، دمشق،العدد٩٩، ١٩٩٠م.

[١٠] فاخوري، محمود و خوام، صلاح الدين، موسوعة وحدات القياس العربية والإسلامية وما يعادلها بالمقادير الحديثة، مكتبة لبنان ناشرون، ط١، ٢٠٠٣م.

[١١] المواصفات القياسية السعودية، اشتراطات العزل الحراري، رقم ١٣٥٣ / ١٩٩٨م.

[١٢] AShRE تصميم كفاءة الطاقة للمباني السكنية المنخفضة في المملكة العربية السعودية، ٢٠١٣م.

المصادروالمراجع الأجنبية:

[13] Ashrae،American society of heating refrigeration and air-conditioning engineering "Hand book of fundamentals" ،2005.

[14] S.jamel، journal of Engineering. science ،Assiut university ،vol.35،No6 ،2007.