

## دراسة تأثير تقسيم حجرات القرميد الجداري المسخنة بشكل جزئي على انتقال الحرارة بالحمل

الدكتور عهد محمود سليمان\*

(تاريخ الإيداع 1 / 11 / 2015. قُبل للنشر في 29 / 6 / 2016)

### □ ملخص □

ضمن تطبيقات عديدة نحاول أن نتجنب انتقال الحرارة بالحمل ولا سيما ضمن القرميد الجداري، إن حل هذه المشكلة يكمن في تقسيم الحجرة عن طريق عدد من الأعمدة بين السطحين الخارجيين. قمنا بدراسة انتقال الحرارة ضمن أشكال مختلفة للقرميد الجداري يكون فيها تقسيم الأعمدة وشفرات الهواء متغيرة. ستكون نتائج النمذجة العددية مدروسة تبعاً للمقاربتين (المحلية والكلية). تتألف المقاربة المحلية على دراسة انتقال الحرارة ضمن كل تجويف والمميز بنسبة الاستطالة التي تمثل النسبة بين ارتفاع التجويف على عرضه، بينما تتألف المقاربة الكلية على دراسة انتقال الحرارة ضمن الحجرة ككل (متضمنة كافة التجاويف). أجريت النمذجة العددية بطريقة الحجوم المنتهية و بمساعدة برنامج Fluent الذي يحل معادلات حفظ المادة، كمية الحركة والطاقة.

تبين أن وضع أعمدة ضمن الحجرة المسخنة بشكل جزئي يسمح بالمرور من الحيز الحلمي لانتقال الحرارة إلى الحيز التوصيلي ضمن شفرة الهواء (التجويف). كما إنه من غير المفيد، بل من غير المنصوح به الزيادة المفرطة في عدد الأعمدة. كما تبين أن التقسيم المتجانس للأعمدة التي لها نفس السماكة يبدو أنه الحل الأفضل من وجهة نظر ارتفاع المقاومة الحرارية الكلية للحجرة. في النهاية، تم الحصول على وسيلة تسمح بالتعرف على محتوى التركيبية المتجانسة (عدد الأعمدة وسماكاتهما، وكذلك سماكات شفرات الهواء المتغيرة) مع دقة جيدة نسبياً.

الكلمات المفتاحية: الحمل الطبيعي، عدد نوسل، القرميد الجداري، الحجرات المقسمة، مقارنة محلية، مقارنة كلية.

\* أستاذ - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا

## Study the influence of the partition the cavities of monomur brick which differently heated on heat transfer by convection

Dr. Ahed Suleiman \*

(Received 1 / 11 / 2015. Accepted 29 / 6 / 2016)

### □ ABSTRACT □

In some applications we try to avoid the transfer of heat by convection, especially through monomur bricks. The solution of this problem consist in division the cavity by putting number of columns between the two external surfaces. We've studied heat transfer in different profiles of monomur brick. The results of the numeric simulations are studied by following the two approaches (local and whole). The local approach consists of studying the heat transfer during every cavity. While the whole approach consists of study the heat transfer in whole cavity. The numeric simulation was achieved by following the finished volumes and Fluent program that solves the equations of the mass' conservation, movement and energy. It's clear that the position of columns allows passing from convective regime into conductive regime inside the cavity. The optimal solution is to homogeneous partition by columns. Finally, we've a method allowing as to define the heterogeneous structure (number of columns and their thickness, thickness of a variable cavities).

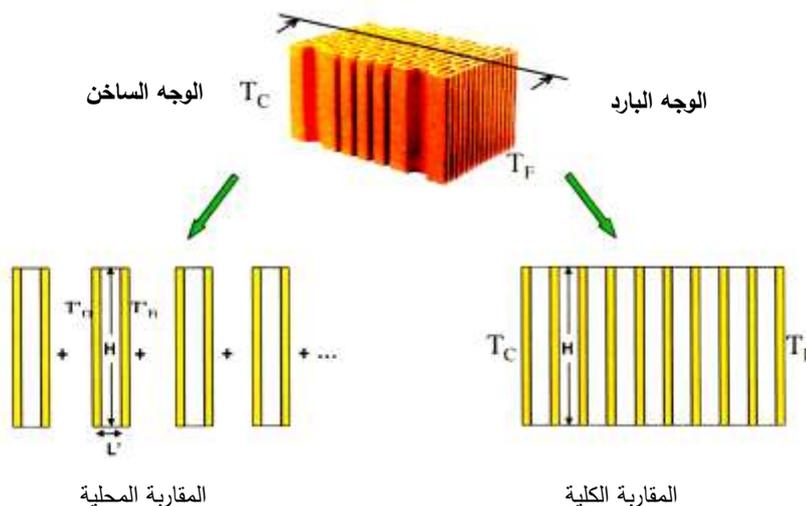
**Keywords:** Natural convection, Nusselt number, momomur brick , perforated cavities, local approach, whole approach.

---

\* Professor, Department of a Mechanical Power Engineering, - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. Email: sulahed@yahoo.fr

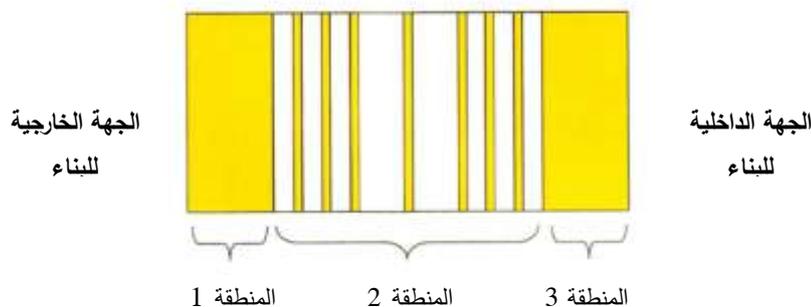
**مقدمة:**

بفرض لدينا مقطع عمودي للقرميد كحجرة مقسمة مسخنة بشكل جزئي. نهدف هنا إلى دراسة مقاربتين يمكن أن يصادفا في هذا النوع من الأشكال الهندسية: مقارنة محلية ومقارنة كلية كما هو مبين في الشكل (1).  
أجري هذا البحث في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين.



الشكل (1) نوعين من المقارنة لدراسة انتقال الحرارة ضمن القرميد.

تتألف المقارنة المحلية على دراسة انتقال الحرارة ضمن كل تجويف المميز بنسبة الاستطالة التي تمثل النسبة بين ارتفاع التجويف على عرضه، بينما تتألف المقارنة الكلية على دراسة انتقال الحرارة ضمن الحجرة ككل (متضمنة كافة التجاويف). لا نأخذ هنا الفرق في درجات الحرارة بين طرفي التجويف الواحد وإنما نأخذ الفرق بين الوجهين البارد والساخن للحجرة. كما أن الأعداد اللابعدية ليست مرجعية لنفس المقادير المرجعية ضمن المقارنة الكلية والمقارنة المحلية. يوجد العديد من الأبحاث على الحجرات المقسمة، تتعلق هذه الأبحاث بوجود أربعة أو خمسة أعمدة على الأكثر غير مهمة السماكة، ولكنها ذات سماكة ثابتة وتحصر بينها شفرات هواء ذات سماكات متجانسة. ضمن رؤيتنا المستقبلية لتطوير هذا القرميد من أجل التقاط الأحمال الحرارية المجانية من دون التأثير على إمكانية العزل الحراري لهذا القرميد. يمكننا أن نصادف حلول لهذا القرميد تكون فيه سماكات الأعمدة وشفرات الهواء متغيرة كما هو مبين في الشكل (2).



المنطقة 1 و 3: وجود قوي للغضار المشوي ← عتالة حرارية

المنطقة 2: وجود قوي للهواء ← عزل حراري

الشكل (2) نوع من القرميد ذو سماكات للغضار المشوي ولشفرات الهواء غير متجانسة.

سنقوم هنا بدراسة انتقال الحرارة ضمن أشكال مختلفة للقرميد يكون فيها تقسيم الأعمدة وشفرات الهواء متغيرة. ستكون نتائج النمذجة العددية مدروسة تبعاً للمقاربتين (المحلية والكلية).

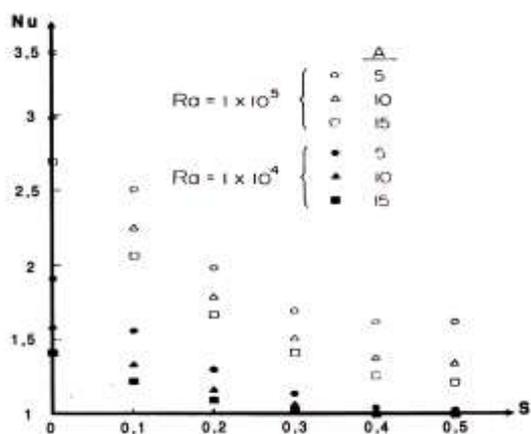
### دراسة مرجعية:

ضمن تطبيقات عديدة نحاول أن نتجنب انتقال الحرارة بالحمل ولا سيما ضمن القرميد على العموم وضمن القرميد الجداري على وجه الخصوص. إن الحل لهذه المشكلة يكمن في تقسيم الحجرة عن طريق عدد من الأعمدة بين السطحين الخارجيين [1]، [2]، [3]. كما نستبدل الحجرة ذات نسبة الاستطالة وعدد غراشوف المرتفعين بتتابع لحجرات ذات نسب استطالة عالية وأعداد غراشوف منخفضة. [4]، يظهر هذا النوع من الحلول ضمن ظروف معينة ونحصل على نفس النتيجة باستخدام عازل مسامي كلاسيكي. ضمن دراستهم العددية يقارنون النسبة المئوية لإنقاص معدل تدفق الحرارة الكلي عبر الحجرة المسخرة بشكل جزئي والمملوءة بعازل مسامي والمقسمة إلى جزأين بواسطة عمود متوضع في مركزها، الجدول (1).

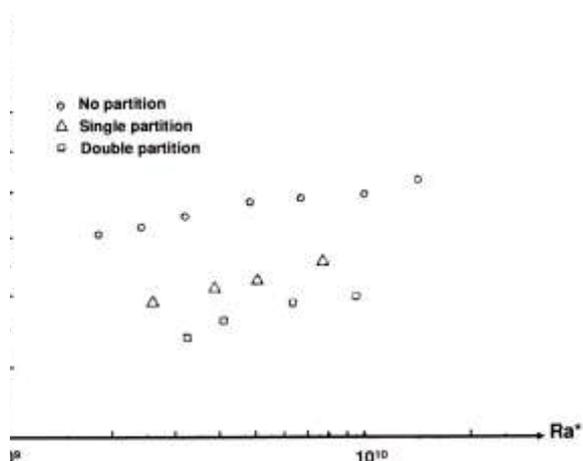
الجدول (1) معدل إنقاص انتقال الحرارة ضمن الحجرة

مقارنة بين حلين: حل عازل - حل تقسيم الحجرة، [4]

نسبة الاستطالة A	Ra ( $\times 10^4$ )	معدل إنقاص انتقال الحرارة	
		% (حجرة مملوءة بعازل مسامي)	% (حجرة مقسمة)
5	1	47.8	46.2
5	10	70.7	51.5
7.5	1	42.1	40.6
7.5	10	68.5	52.5
10	1	37.2	36.3
10	10	66.6	54.6
12.5	1	32.9	32.2
12.5	10	64.6	53.9
15	1	29.3	28.6
15	10	62.9	52.9



الشكل (3) تأثير موقع العمود على انتقال الحرارة (s : المسافة عن الجدار الساخن).



الشكل (4) تأثير عدد الأعمدة على انتقال الحرارة من أجل قيم مختلفة لعدد ريلية [5].

[5]، أظهروا أن التدفق الحراري ينخفض بنسبة 0.6 بين الحالتين بدون عمود وفي حالة وجوده وينسبة 0.8 عند إضافة العمود الثاني. لقد استنتجوا علاقة تربط عدد نوسل وعدد ريلية وعدد الأعمدة (n):

$$Nu = 0.167(n+1)^{-0.61} Ra^{1/4}$$

[6]، درسوا عددياً حالة الحجرة المسخنة جزئياً (درجة حرارة متجانسة على الوجهين) ومقسمة بعمود ذو

$$Nu = 0.149Ra^{1/4} A^{-1/4}$$

سماعة مهمة، وحصلوا على العلاقة التالية:

استنتجت هذه العلاقة من أجل قيم لعدد ريلية واقع بين  $10^3$  و  $10^6$  ومن أجل نسب استطالة  $A > 4$ . قادت

هذه الدراسة إلى أن إضافة عمود يخفض انتقال الحرارة بمقدار 55% من أجل قيم عالية لعدد ريلية. في النهاية، الموديل المستخدم (موديل الطبقة الحدية) يظهر نشوء طبقة حدية بسماكة ثابتة لكل جانب للعمود ومتغيرة بشكل خطي مع الارتفاع. إن مجال الصلاحية (سماعة أصغريه للحجرة) للموديل المستخدم قد حدد ضمن دراسة تجريبية وعددية [7] لحجرة مقسمة حيث كانت مواقع الأعمدة متغيرة. [8]، استنتجوا في دراسة تجريبية وعددية علاقة تأخذ في الحسبان نسبة الاستطالة للحجرة وعدد الأعمدة:

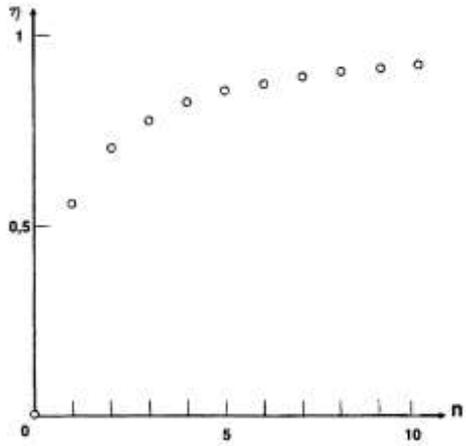
$$Nu = 0.297Ra^{1/4} A^{-1/4} (n+1)^{-1}$$

أنجزت هذه المقارنة من أجل نسب

استطالة مختلفة ومن أجل قيم مختلفة لعدد ريلية (Ra). إن خيار توزيع العمود في مركز الحجرة هو نتيجة لتغير عدد نوسل (من أجل عددين لريلية وثلاثة نسب استطالة مختلفة A) كتابع لموقع العمود ضمن الحجرة. يظهر الشكل (3) أن التوزيع المركزي هو الأكثر فعالية لأنه يسبب انخفاض عدد نوسل حوالي 50%.

[5]، ضمن دراسة تجريبية ونظرية

قاموا بتقسيم الحجرة مظهرين وجود مطابقة لدرجة الحرارة ليس فقط على طول الجزء المركزي بل أيضاً ضمن حقول المائع الواقع على وجهي العمود. أظهرت دراستهم أهمية وجود الأعمدة البينية على انخفاض التدفق الحراري، كما يظهر الشكل (4) أن التدفق الحراري الممثل بعدد نوسل، ينخفض عندما يزداد عدد الأعمدة مهما يكن عدد ريلية، لكن هذا الانخفاض ليس متناسباً مع عدد الأعمدة.

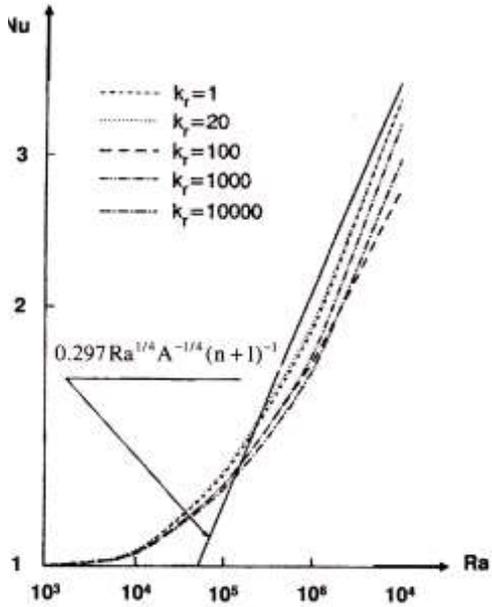


الشكل (5) معدل انخفاض تدفق الحرارة كتابع لعدد الأعمدة [8].

استنتجت هذه العلاقة من أجل قيم لعدد ريلية واقع بين  $10^3$  و  $10^9$  ومن أجل الأعداد الفردية والزوجية للأعمدة. يظهر الشكل (5) معدل إنقاص تدفق الحرارة كتابع لعدد الأعمدة. هذه النتيجة مهمة لأنها تظهر أن الارتفاع المبالغ فيه في عدد الأعمدة غير مجدي كما يظهر الشكل (5).

[9]، في دراستهم العددية، يظهرون أن المقاومة الحرارية للعمود المركزي تؤثر على درجة حرارته، كما أن تغيير هذه المقاومة ليس له تأثير على عدد نوسل (وبالتالي على انتقال الحرارة ضمن الحجرة) من أجل قيم ضعيفة لعدد ريلية.

بالمقابل، فقد أظهروا من خلال دراسة أربعة نسب استطالة وثلاثة قيم مختلفة لعدد ريلية ( $Ra > 10^4$ ) أن انتقال الحرارة يتغير مع المقاومة الحرارية للعمود وأن هذه التأثير يرتفع مع عدد ريلية.



الشكل (6) تغير عدد Nu كتابع لعدد Ra من أجل قيم مختلفة لـ  $k_r$ ، من أجل  $A=5$ ،  $n=2$  [10].

بعد الدراسة العددية والنظرية التي قاموا بها [10]، والتي وجدوا فيها تأثير البارامترات المختلفة على انتقال الحرارة ضمن الحجرة المقسمة. يظهر الشكل (6) تأثير المقاومة الحرارية للأعمدة (ممثلة هنا بنسبة الإيصالات الحرارية للمائع وللمادة المركبة للجدار  $k_r = \lambda_{\text{جدار}} / \lambda_{\text{مائع}}$ ) والتي لا نلمسها إلا اعتباراً من عدد ريلية ( $Ra > 10^4$ ). يظهر هذا الشكل أن العلاقة المستنتجة من قبل [8] والتي لا تأخذ بالحسبان المقاومة الحرارية للجدران والتي لن تكون صالحة إلا اعتباراً من عدد ريلية ( $Ra > 10^5$ ). [10]، أظهروا أن عرض شفرة الهواء وسماكة الأعمدة تؤثر على انتقال الحرارة من أجل قيم مرتفعة لعدد ريلية، كما أن ارتفاع عدد الأعمدة باستثناء التقسيم الأول لا يضيف أية فائدة إلا من أجل أعداد ريلية ( $Ra > 10^5$ ).

[11]، درسوا حجرات مسخرة جزئياً ومقسمة بأعمدة ناقلة للحرارة حيث يتغير فيها عدد الأعمدة من 1 إلى 5. لقد أكدوا من خلال هذه الدراسة أن التدفق الحراري ينخفض عندما يزداد عدد الأعمدة (انطلاقاً من عدد الأعمدة  $n > 4$ ) ومن أجل قيم لعدد ريلية  $Ra \in [5.10^5, 5.10^6]$ . كما استنتجوا أن نسبة الاستطالة ضمن هذا المجال لعدد ريلية  $Ra$  ليس لها تأثير ملحوظ على انتقال الحرارة.

بعد التمعّن بنتائج الأبحاث السابقة، يمكننا الاستنتاج أن وضع أعمدة ضمن الحجرة المسخرة بشكل جزئي أمر مهم حيث يسمح بالمرور من الحيز الحلمي لانتقال الحرارة إلى الحيز التوصيلي ضمن شفرة الهواء (التجويف). كما إنه من غير المفيد، بل من غير المنصوح به الزيادة المفرطة في عدد الأعمدة كون الحيز التوصيلي قد بلغ، كما أن وضع

الأعمدة سيخفض المقاومة الحرارية للحجرة ككل بسبب الإيصالية الحرارية لمادة الأعمدة. بالإضافة لذلك فإن نتائج [10]، حول تأثير الإيصالية الحرارية للأعمدة، والتي أظهرت أن أي تغير طفيف للإيصالية الحرارية للغضار المشوي (القرميد) يمكن أن يسبب تغيراً غير مهم على المقاومة الحرارية للحجرة ككل.

### أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى دراسة أثر تقسيم حجرة بلوك القرميد الجداري على انتقال الحرارة عبر هذه الحجرة المستخدمة في بناء الجدران الخارجية للبناء. إن القرميد المستخدم في البناء حالياً في سوريا يحوي تجاويف هوائية ليست صغيرة بالقدر الكافي للتخلص من نوع واحد من الضياعات الحرارية وهو الحمل الحراري، إذن من المهم دراسة أثر الشكل الهندسي لقلب القرميد على انتقال الحرارة وصولاً إلى الشكل الهندسي الأفضل الذي يقلل من الضياعات الحرارية من المبنى.

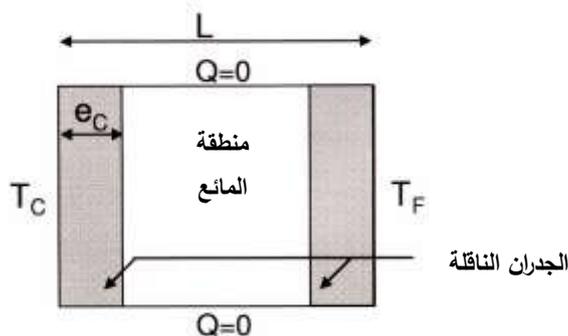
### طرائق البحث ومواده:

#### • الأعداد اللابعديّة المميزة للدراسة: $Nu$ و $Gr$ (أو $Ra$ )

إن الأعداد اللابعديّة المستخدمة في الدراسة المرجعية السابقة هي نفس المقادير التي سنستخدمها في بحثنا من أجل تمييز انتقال الحرارة في الحجرات المقسمة الحاوية على شفرات الهواء (التجاويف). وهذه الأعداد هي: عدد غراشوف (أو ريلية) المحسوب انطلاقاً من الفرق في درجات الحرارة بين الجدران الحدية للشكل الهندسي و بنسبة الاستطالة (الارتفاع الكلي مقسماً على العرض الكلي للحجرة المقسمة). هذه الأعداد ترتبط فيما بينها بعلاقات من أجل الوصول إلى عدد نوسل المُعَبَّر عنه بالنسبة للعرض الكلي للحجرة.

#### • الخطوة الأولى للربط بين المقاربة المحلية والمقاربة الكلية

كما رأينا في مقدمة هذا البحث أن مسألة الحجرات المقسمة والمسخنة بشكل جزئي يمكن أن تكون مختصرة بمقاربتين: محلية وكلية. من المهم أن يكون هناك إمكانية للعبور من مقاربة إلى أخرى. [12]، درس هذه الحالة من خلال شفرة الهواء المحدودة بجدارين عموديين ناقلين للحرارة كما هو مبين في الشكل (7). نقطة البدء بهذه الدراسة هي العلاقة المحصول عليها من قبل [13].



الشكل (7) الشكل الهندسي المدروس من قبل [12].

$$Nu_H = C \left( \frac{Pr}{Pr+0.2} Ra_H \right)^{n_1} \left( \frac{L}{H} \right)^{n_2} \quad (1)$$

هذه العلاقة تتعلق بانتقال الحرارة ضمن شفرة الهواء البسيطة، ويبين الجدول (2) قيم المعاملات ومجال الصلاحية لهذه العلاقة.

الجدول (2) قيم المعاملات ومجالات الصلاحية للعلاقة السابقة، [13]

$\frac{L}{H}$	Pr	$Ra_H$	C	$n_1$	$n_2$
$\frac{L}{H} < 0.5$	$Pr < 10^5$	$Ra_H < 10^{-13}$	0 .22	0. 28	0 .09
$\frac{L}{H} < 0.1$	$Pr < 10^5$	$\left(\frac{Pr}{0.2}\right) Ra_H \left(\frac{L}{H}\right)^3 > 10^3$	0 .18	0. 29	- 0.13

باستخدام العلاقة (1) من أجل شفرة الهواء المبينة في الشكل السابق والتي تضم فقط شفرة الهواء + الجدران الناقلين للحرارة، [12]، حصل على علاقة تربط بين عدد نوسل المحلي (شفرة الهواء فقط) وعدد نوسل الكلي (شفرة الهواء + الجدران):

$$\frac{Nu_{\text{مطي}}}{Nu_{\text{كلي}}} = (F Nu_{\text{مطي}} + 1)^{-n_1} \quad (2)$$

$$F = 2 \frac{e_c \lambda_{\text{مانع}}}{L \lambda_{\text{صلب}}} \quad \text{حيث:}$$

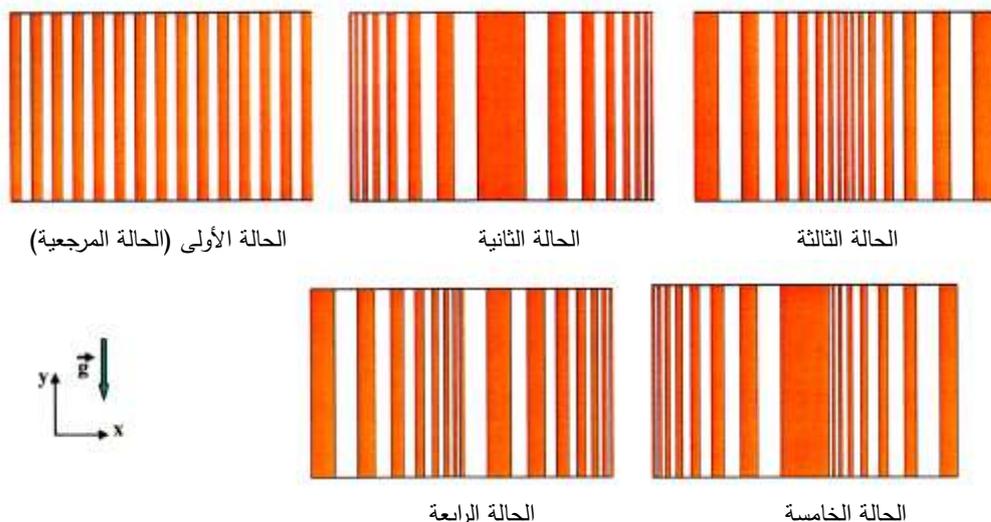
$e_c$ : عرض الجدران العمودية.  $\lambda_{\text{مانع}}/\lambda_{\text{صلب}}$ : الإيصالات الحرارية.

$L$ : عرض شفرة الهواء.  $n_1$ : الأس في العلاقة (2).

قام الباحث بتصديق العلاقة (1) من خلال الحل العددي الكلاسيكي لمعادلات حفظ المادة، كمية الحركة والطاقة وبالحساب العددي لأعداد نوسل المتعلقة بهذه الدراسة. تعتبر العلاقات الإجمالية المقدمة طريقة بسيطة وفعالة من أجل رؤية فعالية تقسيم الحجرة على الأقل من أجل الحالات النظرية المدروسة. يجب علينا التأكد من الصلاحية من أجل الحالة الخاصة المتعلقة بالجدران الأحادية التي يوجد فيها عدد مرتفع من الأعمدة وتقسيم غير متجانس أحياناً لسماكات الغضار المشوي (القرميد) والهواء، لذلك سوف نقوم بدراسة أربعة حالات لأشكال هندسية مختلفة تقدم كلاً منها حالة للحجرة المقسمة بواسطة أعمدة الغضار ذات السماكات المتغيرة. هذه الحالات الأربعة ستكون مقارنة مع الحالة المرجعية للشكل الهندسي النظامي، التي من خلالها يتحقق انتقال الحرارة بالتوصيل الصافي من وجهة نظر كلية أم محلية. تكمن الأهمية هنا بتحديد التأثير المحتمل لانتقال الحرارة بالحمل الذي يظهر ضمن عدد محدد من التجاويف، والذي يؤثر على الجودة الحرارية للحجرة ككل. يبقى عدد التجاويف محدوداً ونراقب من جهة أخرى التأثير الذي يمكن أن يحدث من خلال تغيير موقع التجاويف، المتعلق بهذا النوع من انتقال الحرارة ضمن الحجرة وبالتالي تحديد ملائمة استخدام المقاربة الكلية أو المحلية عند تطوير أو تصميم الأشكال الهندسية لقوالب القرميد.

#### • دراسة أثر بعد (مقاس) التجاويف

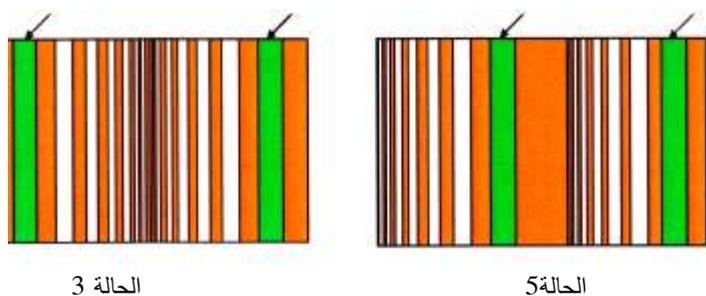
يبين الشكل (9) الحالات الأربعة المدروسة وكذلك الحالة المرجعية التي توافق تقسيم متجانس للأعمدة ذات السماكات الثابتة.



الشكل (9) التقسيم غير المتجانس للحالات المدروسة

كل الأشكال الهندسية السابقة منجزة مع الحفاظ على عدد ثابت للأعمدة والتجاويف وكذلك لسماكة مجمعة متساوية، وهذا ما يوافق كمية متساوية من مادة القرميد. اختيرت الأبعاد الكلية وكذلك عدد الأعمدة للأشكال الهندسية الخمسة السابقة بحيث يكون عدد الأعمدة الموزعة على عرض القرميد مقارنة بنسبة الاستطالة الكلية قريباً من الواقع. إن بعض السماكات لشفرة الهواء أو للغضار المشوي غير قابلة للتطبيق في الواقع ولكنها تسمح من تصديق الاستنتاجات للحالات الأكثر واقعية. الحالات المدروسة من 2 إلى 5 منجزة انطلاقاً من شفرات الهواء والغضار المشوي حيث تكون السماكات كنتيجة لتنتم الشكل الهندسي المطبق على السماكة الكلية لنصف القرميد. وهذا ما يسمح بنسخ نصف القرميد ومن ثم خلقه في الطرف الثاني، وبالتالي من تعريف الأشكال الهندسية مع محور تناظر (الحالة 2 و 3 على الشكل (9))، ومع محور غير تناظري للحالة (4) أو بدون تناظر خاص للحالة (5).

يسمح هذا الحل بإيجاد شفرة الهواء مرتين ضمن نفس الحالة ومن حالة لأخرى بأوضاع مختلفة كما في الشكل (10). والهدف من ذلك هو تحديد اثر موقع التجويف على انتقال الحرارة المحلي في قلب التجويف.



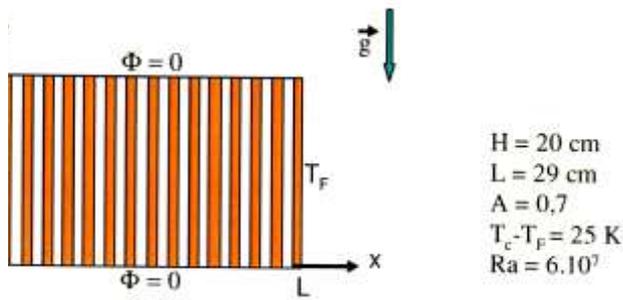
الشكل (10) موقع التجويف، ذو سماكة معطاء، ضمن نفس الحالة وضمن كل الحالات المختلفة.

أجريت النمذجة العددية بمساعدة برنامج Fluent الذي يحل معادلات حفظ المادة، كمية الحركة والطاقة. تسمح هذه المحاكاة من الوصول إلى حقل درجة الحرارة للغضار المشوي حيث خواصه الترموفيزيائية كالتالي:

$$\lambda_{tc} = 0.5 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}, C_p = 960 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}, \rho_{tc} = 1700 \text{ kg.m}^{-3}$$

كما تسمح بالوصول إلى حقل درجات الحرارة والسرعة ضمن الهواء المعتبر كمائع حقيقي والذي يملك الخواص

$$\text{الترموفيزيائية التالية: } \alpha_a = 2,22.10^{-5} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}, \beta = 3,59.10^{-3} \text{ K}^{-1}, \nu_a = 1,33.10^{-5} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$$



كما يظهر الشكل (11) فإن الشروط

الحدية من نوع درجة الحرارة المتجانسة على الجدران العمودية للقرميد ومن النوع الأديباتي على الأسطح الأفقية. نسبة الاستطالة  $A = 0.7$  وعدد ريلية  $Ra = 6.10^7$ . بالنسبة لانتقال الحرارة بالإشعاع فهو مهم.

الشكل (11) الأبعاد والشروط الحدية المعتبرة عند إجراء النمذجة العددية.

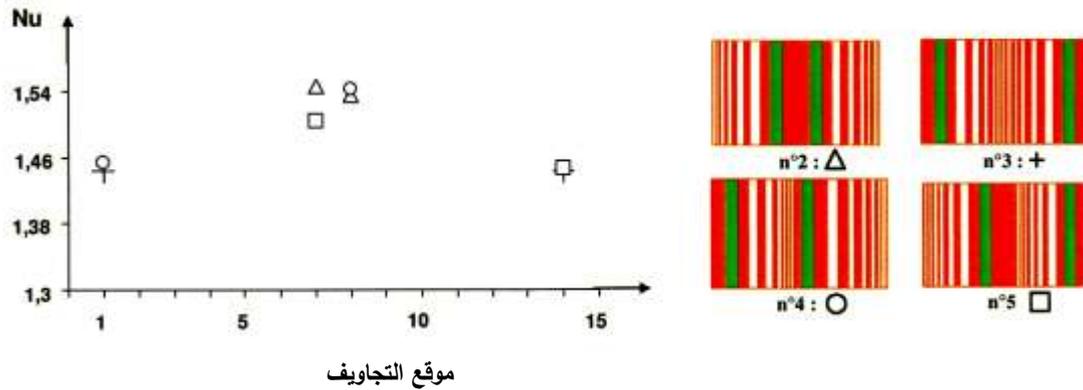
### النتائج والمناقشة:

#### • المقارنة المحلية

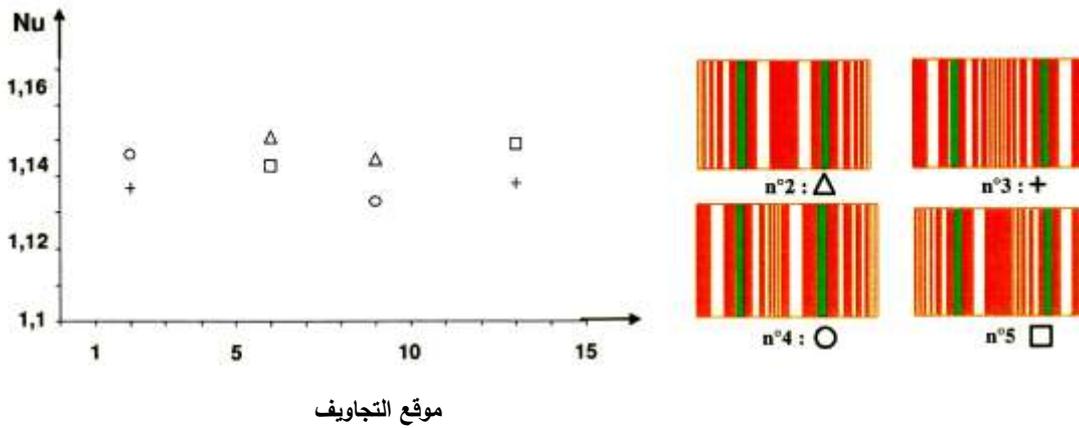
بعد نمذجة المعادلات الواصفة للمشكلة المدروسة بطريقة الحجوم المنتهية [14] واستخدام برنامج Fluent،

يمكننا تحديد نوع انتقال الحرارة وذلك عبر حساب عدد نوسل المحلي لكل تجويف وضمن كل حالة مدروسة. يبين

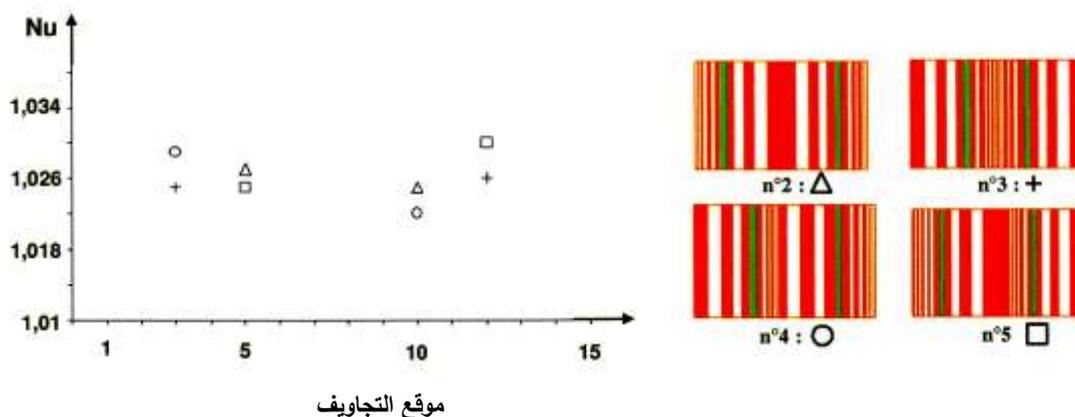
الشكل (12) قيم أعداد نوسل للتجاويف الأكثر عرضاً ( 1.1 cm ، 1.6 cm ، 2.2 cm ) على الترتيب كتابع لموقعهم ضمن الحالات الأربعة (2,3,4,5).



(a) عرض التجويف  $L' = 2.2 \text{ cm}$



(b) عرض التجويف  $L' = 1.6 \text{ cm}$



(c) عرض التجويف  $L' = 1.1 \text{ cm}$

الشكل (12) أعداد نوسل المحلية لتجاويف مختلفة كتابع لموقعهم ضمن الحجرة و للحالات الأربعة (من 2 حتى 5).

بالنسبة للتجاويف الثلاثة المعروضة، نلاحظ أن طريقة انتقال الحرارة المسيطرة هي الحمل حيث أن عدد نوسل أكبر من الواحد (أما بالنسبة للتجاويف ذات الأبعاد الصغيرة فهي ليست معروضة هنا ولكن حساب عدد نوسل يبين أن طريقة انتقال الحرارة تتم بالتوصيل). بالنسبة لكل تجويف فإن عدد نوسل يتغير بشكل طفيف مهما يكن موقع التجويف بالنسبة للآخر ضمن نفس القرميد، أو من موقع لآخر ضمن كل الحالات. بالنتيجة، يبدو أن انتقال الحرارة المحلي يكون مستقلاً عن موقع التجويف.

#### • المقارنة الكلية

سنقوم الآن بدراسة المقادير الكلية المعرفة في الدراسة المرجعية. من أجل ذلك نحسب عدد نوسل الكلي باستخدام العلاقات المعرفة سابقاً وهي:

$$[5]: \quad Nu = 0.167(n+1)^{-0.61} Ra_H^{1/4}$$

$$[6]: \quad Nu = 0.149 Ra^{1/4} A^{-1/4}$$

$$[8]: \quad Nu = 0.297 Ra^{1/4} A^{-1/4} (n+1)^{-1}$$

يظهر الجدول (3) قيم عدد نوسل الموافقة لحالتنا والناجمة من العلاقات السابقة:

الجدول (3) أعداد نوسل الناتجة من العلاقات السابقة. (\* البعد المميز هو الارتفاع (H))

	[5]	[6]	[8]
Nu	2.42*	15.65	2.23

إن القيم الناتجة يمكن مقارنتها مع تلك المحسوبة انطلاقاً من التدفقات الناتجة من النمذجة العددية.

$$Nu = \frac{\Phi_{\text{الحالة المدروسة}}}{\Phi_{\text{الرجعي}}}$$

حيث: الحالة المدروسة  $\Phi =$  تدفق الحرارة العابر للحالة المدروسة = تدفق الحرارة التوصيلي العابر للوحدة التي لها نفس الأبعاد والخاضعة لنفس الفرق في درجات الحرارة وبدون أعمدة.

إن نتائج الحالات المختلفة التي تهما في الجدول ( 4 )، تظهر في البداية أنه بالنسبة للحالة n°1 الموافقة لتقسيم متجانس للأعمدة ويعرض متساوي، يبدو أنها الحالة الأكثر فاعلية في تخفيض التدفق الحراري (تبعاً لقيمة عدد نوسل) بسبب انتظامية تقسيم الأعمدة ضمن هذه الحالة. بينما نلاحظ أنه بالنسبة للحالات الأخرى فإن انتقال الحرارة بالحمل ضمن شفرة الهواء غير قابل للإهمال.

الجدول (4) أعداد نوسل المحسوبة

	الحالة n°1	الحالة n°2	الحالة n°3	الحالة n°4	الحالة n°5
Nu	1.9	2.23	2.2	2.2	2.18

العلاقة المقدمة من قبل [6] لا تأخذ بالحسبان عدد الأعمدة وبالتالي فهي غير ملائمة لهذا النمط من الحجرات. بالمقابل فإن العلاقة المقدمة من [ 8 ] هي الأكثر ملائمة للتنبؤ بالجودة الحرارية للقرميد الأحادي الجدار. في النهاية، يمكننا دراسة فعالية الحالات المختلفة المدروسة على تخفيض التدفق الحراري، من خلال حساب فعالية التقسيم المعرفة بمعدل إنقاص التدفق الحراري ( $\eta$ ) الناتج عن إضافة الأعمدة كما يلي:

$$\eta = 1 - \frac{\varphi_{\text{الحالة المدروسة}}}{\varphi_{n=0}} \quad \text{أو} \quad \eta = 1 - \frac{Nu_{\text{الحالة المدروسة}}}{Nu_{n=0}}$$

حيث: الحالة المدروسة  $\varphi_{\text{الحالة المدروسة}} =$  تدفق الحرارة العابر للحالة المدروسة.  $\varphi_{n=0} =$  تدفق الحرارة العابر للحجرة التي لها نفس الأبعاد والخاضعة لنفس الفرق في درجات الحرارة وبدون أعمدة. يبين الجدول (5) أهمية إضافة الأعمدة على تخفيض تدفق الحرارة العابر للحجرة.

الجدول (5) فعالية التقسيم

	الحالة n°1	الحالة n°2	الحالة n°3	الحالة n°4	الحالة n°5
$\eta$ (%)	92.1	90.8	90.9	90.0	90.9

تُفسر القيم المرتفعة لـ  $\eta$  بسبب الاستطالة ( $A=0.74$ ) والفرق في درجات الحرارة ( $Gr=10^7$ ) التي تميز الحالة المرجعية لحساب الفعالية. في الواقع إن حساب عدد نوسل لهذه الحالة التي يكون فيها القرميد من أعمدة ببنية، يظهر أن انتقال الحرارة المسيطر بشكل رئيسي هو الحمل الحراري. إن عدد نوسل المحسوب  $Nu=26$  وهذا ما أثبت من قبل [8]، ولم يثبت من قبل [5]، [6]. يبين الجدول (6) قيم عدد نوسل المحسوبة بدون وجود أعمدة.

الجدول (6) عدد نوسل بدون وجود أعمدة (بدون تقسيم للحجرة). (°) البعد المميز هو الارتفاع (H)

	[5]	[6]	[8]
$Nu_{n=0}$	12.1*	16	30

في النهاية، يبدو أن وجود الحجرات ضمن الحالات من ( 2 إلى 5 )، حيث انتقال الحرارة بالحمل ليس مهملاً (ولكنه ضعيف) ليس له تأثيراً كبيراً على الجودة الحرارية للحجرة بالكامل. في الواقع يكون معدل انخفاض التدفق الحراري في هذه الحالة لا يتجاوز 2%.

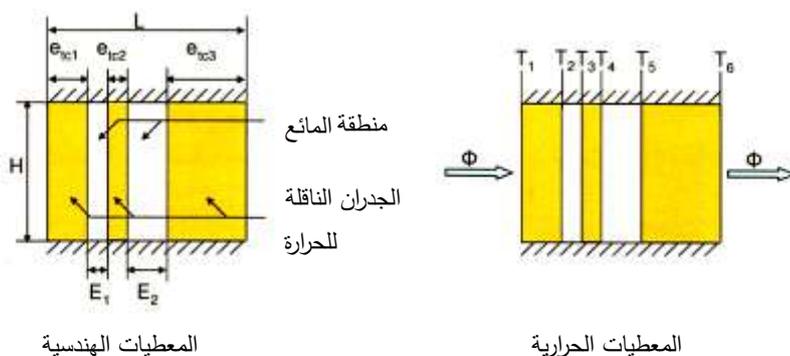
### • صلة الربط بين المقاربة الكلية والمقاربة المحلية

يمكن اعتبار الأعمال المنجزة من قبل [12] التقريب الأول للعبور من المقاربة الكلية إلى المقاربة المحلية لانتقال الحرارة ضمن حجرة مع أعمدة ناقلة للحرارة. من المهم استخدام المعادلة (2) في حالة الحجرة المقسمة حيث تكون الأعمدة وشفرات الهواء ذات سماكات متغيرة. سنقوم بتطبيق هذه العلاقة في البداية ضمن الحجرة المقسمة بعمود واحد و من ثم على الحجرة المقسمة بـ  $n$  عمود.

#### 1. حالة الحجرة المقسمة بعمود واحد ( $n=1$ )

تتكون الحجرة المدروسة المبينة في الشكل (13) من جدارين بسماكات مختلفة محافظين على درجات حرارة ثابتة ومن عمود له سماكة مختلفة عن الجدارين الآخرين، حاصرة شفرتين للهواء (تجويفين) بسماكات مختلفة. بتطبيق العلاقة المقدمة من قبل [13] على شفرة الهواء للحجرة المدروسة نحصل على العلاقة التالية:

$$Nu_i = aRa^{1/4} A_i^{-1/4} \quad (3)$$



الشكل (13) المقاربة الكلية- المقاربة المحلية ، (حالة  $n=1$ ): الشكل الهندسي للحجرة المدروسة.

حيث:  $a=0.25$  ،  $A_i = \frac{H}{E_i}$  ،  $E$ : عرض التجويف ،  $i$ : رقم التجويف.

بتطبيق العلاقة المقدمة من [8] ضمن حالتنا المتعلقة بالحجرة الكلية نحصل على:

$$Nu_G = a' Ra_G^{1/4} A_G^{-1/4} (n+1)^{-1} \quad (4)$$

ومن أجل عمود واحد ( $n=1$ ) يكون:  $Nu_G = \frac{1}{2} a' Ra_G^{1/4} A_G^{-1/4} \quad (5)$

حيث:  $a'=0.297$  ،  $A_G = \frac{H}{L}$  ،  $L$ : عرض الحجرة.

إن حفظ التدفق الحراري عبر الحجرة يقود إلى نظام المعادلات التالية:

$$\Phi = \frac{\lambda_{tc1}}{e_{tc1}} H(T_1 - T_2) \Rightarrow T_1 - T_2 = \frac{e_{tc1}}{\lambda_{tc1}} \frac{\Phi}{H} \quad (6) \quad \text{الجدار الأول:}$$

$$\Phi = \frac{\lambda_a}{E_1} Nu_1 H(T_2 - T_3) \Rightarrow T_2 - T_3 = \frac{E_1}{\lambda_a} \frac{\Phi}{Nu_1 H} \quad (7) \quad \text{التجويف الأول:}$$

$$\Phi = \frac{\lambda_{tc2}}{e_{tc2}} H(T_3 - T_4) \Rightarrow T_3 - T_4 = \frac{e_{tc2}}{\lambda_{tc2}} \frac{\Phi}{H} \quad (8) \quad \text{الجدار الثاني:}$$

$$\Phi = \frac{\lambda_a}{E_2} Nu_2 H (T_4 - T_5) \Rightarrow T_4 - T_5 = \frac{E_2}{\lambda_a} \frac{\Phi}{Nu_2 H} \quad (9) \quad \text{التجويف الثاني:}$$

$$\Phi = \frac{\lambda_{tc}}{e_{tc3}} H (T_5 - T_6) \Rightarrow T_5 - T_6 = \frac{e_{tc3}}{\lambda_{tc}} \frac{\Phi}{H} \quad (10) \quad \text{الجدار الثالث:}$$

بجمع هذا النظام من المعادلات نحصل على العلاقة التالية:

$$T_1 - T_6 = \frac{\Phi}{H} \left[ \frac{1}{\lambda_{tc}} (e_{tc1} + e_{tc2} + e_{tc3}) + \frac{1}{\lambda_a} \left( \frac{E_1}{Nu_1} + \frac{E_2}{Nu_2} \right) \right] \quad (11)$$

بأخذ شفرة الهواء الأولى (التجويف 1) يمكن كتابة العلاقة السابقة على النحو التالي:

$$\Phi = \lambda_a \frac{H}{E_1} (T_1 - T_6) \frac{Nu_1}{F_1 Nu_1 + \frac{E_2}{E_1} \frac{Nu_1}{Nu_2} + 1} \quad (12)$$

$$F_1 = \frac{e_{tc}}{E_1} \frac{\lambda_a}{\lambda_{tc}}, \quad e_{tc} = e_{tc1} + e_{tc2} + e_{tc3} \quad \text{حيث:}$$

$$\frac{Ra_1}{Ra_G} = \frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_6} \left( \frac{E_1}{L} \right)^3 \quad (13) \quad \text{ولدينا أيضاً:}$$

$$\frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_6} = \frac{1}{F_1 Nu_1 + \frac{E_2}{E_1} \frac{Nu_1}{Nu_2} + 1} \quad \text{وبالتعويض عن المعادلتين (7) و (11) نحصل على:}$$

من المعادلة الأخيرة والمعادلة (13) نحصل على:

$$\frac{Ra_1}{Ra_G} = \frac{1}{F_1 Nu_1 + \frac{E_2}{E_1} \frac{Nu_1}{Nu_2} + 1} \left( \frac{E_1}{L} \right)^3 \quad (14)$$

بنسب المعادلتين (3) و (5) ضمن التجويف الأول نحصل على:

$$\frac{Nu_1}{Nu_G} = 2 \frac{a}{a'} \left( \frac{Ra_1}{Ra_G} \right)^{1/4} \left( \frac{L}{E_1} \right)^{-1/4} \quad (15)$$

بتعويض المعادلة (14) في المعادلة (15) نحصل على النتيجة النهائية الخاصة بالتجويف الأول:

$$\frac{Nu_1}{Nu_G} = 2 \left( \frac{a}{a'} \right) \left( \frac{E_1}{L} \right) \left( F_1 Nu_1 + \frac{E_2}{E_1} \frac{Nu_1}{Nu_2} + 1 \right)^{-1/4} \quad (16)$$

بشكل مشابه يمكننا الحصول على نفس نظام المعادلات السابق بالنسبة للتجويف الثاني. تسمح هذه المعادلة الأخيرة من معرفة قيمة عدد نوسل الكلي انطلاقاً من عدد نوسل المحلي. إن هذه المعادلة غير متعلقة بنسب الاستطالة بل تعتمد فقط على المقادير التالية:

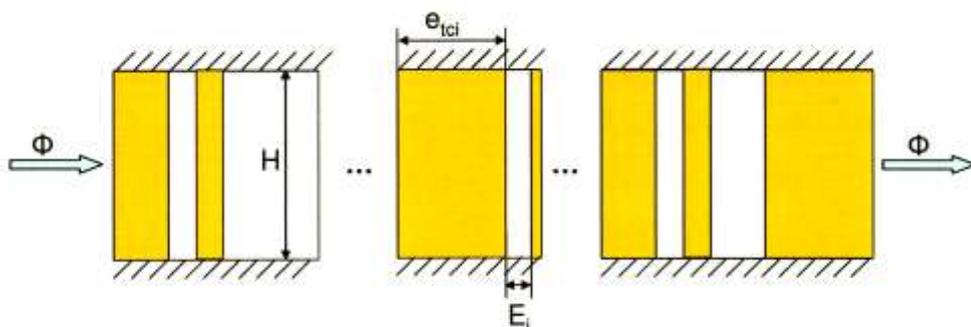
- $\frac{E_1}{L}$  (أو  $\frac{E_2}{L}$  حسب الحالة) والتي تمثل نسبة عرض التجويف المحلي على العرض الكلي للحجرة.

المكونة لجدران الحجرة، وكذلك لنسبة السماكة الكلية للأعمدة على سماكة التجويف المعبر. •  
 $F_1 = \frac{e_{tc} \lambda_a}{E_1 \lambda_{tc}}$  : العدد المجرد من البعد الممثل لنسبة عامل التوصيل الحراري للمائع ولمادة القرميد

## 2. حالة الحجرة المقسمة بـ n عمود

بتطبيق نفس الخطوات المتبعة سابقاً على الحجرة المقسمة بـ n عمود المبينة في الشكل (14)، نحصل على العلاقة الأكثر شمولية التالية:

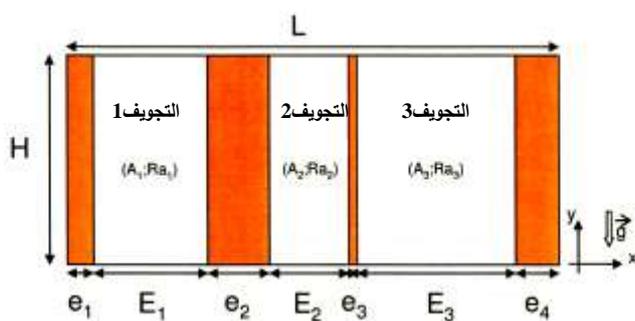
$$\frac{Nu_i}{Nu_G} = (n+1) \left( \frac{a}{a'} \right) \left( \frac{E_i}{L} \right) \left( F_1 Nu_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} \frac{E_j}{E_i} \frac{Nu_i}{Nu_j} + 1 \right)^{-1/4} \quad (17)$$



الشكل (14) المقارنة الكلية-المقارنة المحلية (حالة  $n > 1$ ) : الشكل الهندسي للحجرة المدروسة.

## 3. تصديق النتائج

سنقوم الآن بتصديق العلاقات السابقة على الشكل الهندسي المبين في الشكل (15). الحجرة المدروسة مقسمة بعمودين بسماكات مختلفة مشكلة شفرات هوائية (تجاويف) بسماكات مختلفة أيضاً. تم اختيار نسب الاستطالة المحلية والفرق في درجات الحرارة المفروضة على وجهي الحجرة بحيث يكون الحمل الحراري ضمن شفرات الهواء غير مهم.



الشكل (15) تصديق علاقات المقارنة المحلية-الكلية : الحجرة المدروسة.

إن درجات الحرارة المفروضة على الوجهين البارد والساخن على الترتيب :  $T_C = 320K, T_F = 280K$ . أما الأبعاد الهندسية للحجرة فكانت كالتالي :  $H = 20cm, e_1 = 1cm, e_2 = 2cm, e_3 = 0.5cm, e_4 = 1.5cm$  .  $E_1 = 8cm, E_2 = 6cm, E_3 = 10cm$ . تسمح هذه المعطيات بحساب الأعداد المميزة الكلية للحجرة. نجد أن عدد

ربلية الكلي و قيمة الاستطالة الكلية كالتالي:  $Ra_{\text{كلي}} = 1.3 \times 10^8$ ,  $A_{\text{كلي}} = 0.69$ . الشروط الحدية للسطوح الأفقية أديباتية. يسمح الحل العددي بحساب درجات الحرارة الوسطية الساخنة والباردة لكل التجاويف وكذلك الأعداد المميزة لكل تجويف وهذا ما يمكننا من الحصول على الجدول (7):

الجدول (7) الأعداد المميزة المحلية للمسألة المدروسة

	التجويف 1	التجويف 2	التجويف 3
$Ra_{\text{المحلي}}$	$8.2 \times 10^5$	$3.2 \times 10^5$	$1.7 \times 10^6$
$A_{\text{المحلية}}$	2.5	3.33	2

تم حساب أعداد نوسل المحلية والكلية انطلاقاً من النمذجة العددية للمعادلات الواصفة للحالة (الاستمرار - الحركة والطاقة) وباستخدام الطريقة المقدمة من قبل [15]. سمحت هذه الحسابات من التحقق من العلاقة (17). في الواقع، انطلاقاً من أعداد نوسل المحلية الثلاثة يمكننا الحصول على عدد نوسل الكلي والذي يختلف عن قيمة عدد نوسل المحسوب بالنمذجة العددية بحوالي 15%. يكمن هذا الفرق بشكل أساسي من فرضية اعتبار مشكلة انتقال الحرارة أحادية البعد، وهذه الفرضية ضرورية لكتابة المعادلة (17). إذن في النهاية، نحوز بذلك على وسيلة تسمح بالتعرف على محتوى التركيبة المتجانسة (عدد الأعمدة وسماكاتهما، وكذلك سماكات شفرات الهواء المتغيرة) مع دقة جيدة نسبياً.

### الاستنتاجات والتوصيات:

قمنا بدراسة انتقال الحرارة بالحمل ضمن الجدران الأحادية، التي يمكن أن تكون معالجة بنفس الطريقة التي تعالج بها الحجرات المقسمة والمسخرة بشكل جزئي. إن دراسة الأعمال المنجزة ضمن هذا النوع من المسائل وكذلك نتائجها أظهرت أهمية وجود الأعمدة البينية على انخفاض التدفق الحراري العابر لهذه الحجرة. إن دراسة الحالات المختلفة المقدمة في هذا البحث تظهر أن التقسيم المتجانس للأعمدة التي لها نفس السماكة يبدو أنه الحل الأفضل من وجهة نظر ارتفاع المقاومة الحرارية الكلية للحجرة. هذه المقاومة لا تتعلق بتناظر أو عدم تناظر الشكل الهندسي المدروس. ضمن الحالة التي يكون فيها عدد التجاويف محدوداً يرتفع انتقال الحرارة بالحمل ضمن القرميد (وهو ضعيف ضمن حالتنا). وكما يبدو فإن هذا التدفق لا يتعلق بموقع التجاويف المتعلقة بهذا النوع من انتقال الحرارة.

بعد أن قمنا بتقديم نوعين من المقاربة (المحلية والكلية) تمكنا من الحصول على علاقة بين أعداد نوسل المحلية و أعداد نوسل الكلية ضمن حالة الحجرة المقسمة بأعمدة بسماكات مختلفة. إن النتائج المقدمة هنا لا تأخذ بالحسبان الدمج بين التوصيل ضمن الأعمدة والحمل ضمن شفرات الهواء (يقود أحياناً إلى نتائج مذهلة كتغير عدد نوسل  $NU$  كتاب  $l$   $Kr$  [10] المقدمة في دراستنا المرجعية السابقة). لقد تم إهمال انتقال الحرارة بالإشعاع، غير أنه من غير الواضح أن تكون أهميته قليلة ضمن حالة المواد العازلة. لذلك من المهم دراسة انتقال الحرارة بالإشعاع مع احتمالية دمجها مع التوصيل والحمل الحراريين.

## المراجع:

- [1] COSTA.V.A.F., *Natural convection in partially divided square enclosures: Effects of thermal boundary conditions and thermal conductivity of the partitions*, Int. J. Heat Mass Transfer. Vol. 55, 2012, 7812-7822.
- [2] WU, W. CHING, C.Y. *Laminar natural convection in an air-filled square cavity with partitions on the top wall*. International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 53, 2010, 1759-1772.
- [3] OZTOP, H. BILGEN, E. *Natural convection in differentially heated and partially*. International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 27, 2006, 466-475.
- [4] TONG, T. W. GERNER, F.M. *Natural convection in partitioned air filed rectangular enclosures*. International Communication Heat and Mass Transfer. Vol. 13, 1986, 99-108.
- [5] ANDERSON, R. BEJAN, A. *Heat transfer through single and double vertical walls in natural convection: theory and experiment*. International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 24, 1981, 1611-1620.
- [6] NISHIMURA, T. SHIRAIISHI, M. KAWAMURA, Y. *Analysis of natural convection heat transfer in enclosures divided by a vertical partition plate*. Proc. Int. Symp. Heat Transfer . Beijing, 1985, n°851SHT-1-6.
- [7] NISHIMURA, T. SHIRAIISHI, M. KAWAMURA, Y. *Natural convection heat transfer in enclosures with an off center partition*. International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 30, 1987, 1756-1758.
- [8] NISHIMURA, T. SHIRAIISHI, NAGASAWA. F. KAWAMURA, Y. *Natural convection heat transfer in enclosures with multiple vertical partitions*. International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 31, 1988, 1679-1686.
- [9] Ho, C.J. TIH, Y.L. *Conjugate natural convection heat transfer in an air filed rectangular cavity*. International Communication Heat and Mass Transfer. Vol. 14, 1987, 91-100.
- [10] KANGNI, A. BEN YEDDER, R.. BILGEN, E. *Natural convection and conduction in enclosures with multiple vertical partitions*. International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 34, 1991, 2819-2825.
- [11] TURKOGU, H. YUCEL, N. *Natural convection heat transfer in enclosures with conducting multiple partitions and side walls*. Heat and Mass Transfer. Vol. 32, 1996, 1-8.
- [12] COSTA, V.A. F. *laminar natural convection in differentially heated rectangular enclosures with vertical diffusive walls*. International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 45, 2002, 4217-4225.
- [13] GEBART, B. JALURIA, Y. MAHAJAN,R.L. SAMMALDA, B. *Buoyancy - induced flows and transport*, Hemisphere Publishing Corporation, 1988. 1001.
- [14] PATANKAR, S. *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Hemisphere Publishing, Washington, 1980, 197.
- [15] LARTIGUE, B. *Contribution à l'étude thermique et dynamique de doubles vitrages courbés. Approche numérique et expérimentale*. Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées – Toulouse, No. 537 ,1999, 128.