

# دراسة عن مقارنة مواد البناء في مجال العزل الحراري



الإدارة العامة للتنمية الصناعية  
إدارة صناعات مواد البناء  
١٤٢٦ - ... م

المراجع:  
المرجع: الدراسة القطاعية  
لصناعة المنتجات الفخارية  
في المملكة العربية السعودية  
الدار السعودية للخدمات الإستشارية

سع ميكلس:



# شركة اليهامة للطوب الأحمر والمنتجات الفخارية

الإدارة العامة الرياض : هاتف ٤٩٦٢٢٢٢ - ٠١ - فاكس ٤٩٣٤٢١٥  
مصنع المزاحمية : هاتف ٥٢٣١٣٢٣ - ٠١ - فاكس ٥٢٣٠٩٩٧  
مصنع الدرب : هاتف ٣٤٦٠١١١ - ٠٧ - فاكس ٤٣٦٠٧٩٨  
فرع الدمام : هاتف ٨٤١١٠٤١ - ٠٣ - فاكس ٨٤٦٩٧٤٠  
فرع المجمعه : هاتف ٤٣٢٤٤٩٩ - ٠٦ - فاكس ٤٣٢٣٠٩٤

العنوان البريدي :  
الرياض : ١١٤٨٦ ص.ب : ٢٦١٥٦ } المملكة العربية السعودية  
الدرب - ص.ب : ٥٠١٥ - جيزان }

## مقدمة

في مطلع العقد السابع من القرن الماضي تبنت حكومتنا الرشيدة سياسة اقتصادية جديدة كان من أبرز خطوطها خيار التصنيع ومن أجل تحقيق هذا الهدف أنشأت مرفقين هامين هما صندوق التنمية الصناعية السعودي ومركز الأبحاث للتنمية الصناعية (الدار السعودية للخدمات الإستشارية حالياً) أنيط بالأول تمويل المشاريع الصناعية . كما أنيط بالثاني القيام بالدراسات الأولية لبعض المشاريع الصناعية التي تحتاج إليها البلاد وتقديم المشورة الفنية للمستثمرين في مجال الصناعة .

لقد قدم هذان المرفقان ولا زالا يقدمان خدماتهما للمستثمرين ولولا وجودهما وقيامهما بأدوارهما لما تحقق هذا التطور السريع في مجال الصناعة.

وان الدار السعودية للخدمات الإستشارية لاتزال مستمرة في القيام بدورها وبفاعلية جيدة حيث تنتقي بعض المشاريع التي تفتقر إليها البلاد أما لعدم وجود ما يماثلها أو لوجود سوق متاحة تفوق الإنتاج المحلي . وكان من أهم إصدارات الدار السعودية للخدمات الإستشارية في الآونة الأخيرة دراسة عن صناعة الطوب الفخاري والأنايبيب الفخارية مقسمة

إلى عدة فصول تتضمن معلومات عن المواد الخام وطريقة التصنيع ومميزات الطوب الفخاري والأنابيب الفخارية مقارنة مع بدائلها . ومن أهم أقسام هذه الدراسة : قسم يتضمن ميزات الطوب الفخاري كمادة عازلة ، وكذلك يتحدث عن مواد العزل الأخرى ومعلومات دقيقة عن العزل الحراري.

ولأهمية وضرورة توفير العزل الحراري في مبانينا العامة والخاصة لتوفير الجو المريح لحياة الإنسان داخل المبني ليس هذا فحسب بل ولتخفيض تكلفة فاتورة الكهرباء خاصة بعد أن أصبحت فاتورة الكهرباء تشكل عبئاً ثقيلاً على كاهل مستهلكي التيار الكهربائي.

ورغبة في تعميم الفائدة من هذا القسم من الدراسة فقد استأذنا الدار السعودية للخدمات الإستشارية في طبعه وتوزيعه مجاناً . لذا يسرنا أن نقدمه لكم هدية متواضعة راجين أن تجدوا فيه ما يفيدكم.

مع تحياتك :

**شركة اليمامة**  
للطوب الأحمر والمنتجات الفخارية

## ١٠ - مميزات المنتجات الفخارية

### ١/١٠ مميزات العزل الحراري للطوب الأحمر والبلوك والهوردي الفخاري :

١/١٠ تمہید :

تأتي أهمية العزل الحراري للمباني في المملكة ( ودول الخليج ) والشرق الأوسط عامة نظراً للظروف المناخية الحارة التي تسود كثيراً من مناطقها.

ولتوفير ظروف مناخية مريحة داخل الغرف ، فقد دأبت الطرق التقليدية للبناء في البلدان الحارة إلى استخدام جدران سميكة ، وبسبب القدرة التخزينية المرتفعة للحرارة لهذه الجدران السميكة ، فإن التباينات في درجات الحرارة خارج الغرف تقل إلى معدلات شبه معادلة ، بينما تسرى الحرارة للداخل ، ومن ثم ، في فصل الصيف وخاصة بعد غروب الشمس تتشتت الطاقة الحرارية المخزونة داخل الجدران السميكة في كلا الإتجاهين إلى الهواء الخارجي وهواء الغرفة ، مما ينتج عنه ارتفاع كبير في درجة حرارة هواء الغرفة.

ونظراً لهيمنة نظم البناء الهيكلية بإستخدام الخرسانة المسلحة وحديد التسليح ، فقد درجت ممارسة البناء الحالية على استخدام جدران غير محملة وأقل سمكية وتميز بمقاومة حرارية منخفضة تعمل على تسريع تبادل الحرارة بين الهواء الخارجي وهواء داخل الغرفة ، مما ينتج عنه ظروف مناخية غير مريحة داخل الغرف.

وما تقدم : يتضح أن طرق استخدام جدران تقليدية سميكة إضافة إلى نظم البناء الهيكلية المعاصرة لم توفر ظروفاً مناخية مريحة داخل غرف المبني ، مما نتج عنه اللجوء إلى استخدام مواد عازلة مختلفة في الجدران الخارجية ( والأسقف ) ، والعمل على خفض الحمل الحراري ( التبريد ) بإستخدام نظم تكييف الهواء.

الصيغة (٣) : .....

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{X}{K} + \frac{1}{f_o}}$$

حيث :

$U$  = معامل الإنتقال الحراري  $[kcal \cdot h^{-1} \cdot m^{-2} \cdot {}^{\circ}C^{-1}]$

$X$  = سماكة التركيب بالمتر  $[m]$

$K$  = معامل التوصيل الحراري  $[kcal \cdot h^{-1} \cdot m^{-1} \cdot {}^{\circ}C^{-1}]$

$f_i$  = السعة الحرارية لغلاف الهواء الملائم للسطح الداخلي للجدار

من جهة الغرفة = ٧ وحدات  $[{}^{\circ}C^{-1} \cdot m^2 \cdot kcal \cdot h^{-1}]$

حيث يفترض هواء ساكن داخل الغرفة .

$f_o$  = السعة الحرارية لغلاف الهواء الملائم للسطح الخارجي للجدار

من جهة الجو الخارجي = ٢٠ وحدة  $[{}^{\circ}C^{-1} \cdot m^2 \cdot kcal \cdot h^{-1}]$

حيث يفترض هواء خارجي شبه متحرك (\*)

وفي حالة جدار خارجي يتكون من أكثر من عنصر إنشائي واحد فإن

معامل الإنتقال الحراري ( $U$ ) يعين كما في الصيغة (٤) كالتالي :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{X_1}{K_1} + \frac{X_2}{K_2} + \frac{X_3}{K_3} + \frac{1}{f_o}} \quad (الصيغة ٤)$$

ومع أنواع معينة من التركيبات الإنسانية التي تتخللها فراغات هوائية غير

منتظمة ( مثلما في حالة استخدام طوب مفرغ أو بلوك ) أو عند استخدام تركيب

غير متتجانس ( مثل تجويف أو فراغ هوائي يتخلل جدار مزدوج ) ، فإنه ينبغي

استخدام مقلوب السعة الحرارية ( $C$ )  $[kcal \cdot h^{-1} \cdot m^{-2} \cdot {}^{\circ}C^{-1}]$  للتعبير عن المقاومة

الحرارية للتجويف أو الفراغ الهوائي  $R: [kcal^{-1} \cdot h \cdot m^2 \cdot {}^{\circ}C]$  ، تختلف قيمة  $(\frac{1}{C})$

لفراغ الهواء في جدار مزدوج باختلاف سماكة فراغ ( التجويف ) الهوائي .

(\*) حمل رياح أقل من ١٥ ميل/ساعة حسبما هو سائد محلياً وفي منطقة الخليج وكثير من بلدان الشرق الأوسط

( الصيغة ١ ) :

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots [ \text{kcal}^{-1} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot {}^\circ\text{C} ]$$

وتتحدد المقاومة الحرارية لكل عنصر من عناصر التركيب بسماكـة العنصر (X) ، طبقاً للصيغة (٢) أي أن :

$$R_t = \frac{X_1}{K_1} + \frac{X_2}{K_2} + \frac{X_3}{K_3} + \dots [ \text{kcal} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot {}^\circ\text{C} ] \quad ( \text{الصيغة ٢} )$$

ومنها يمكن حساب معامل الإنتقال الحراري (U) ، كالتالي :

$$U = \frac{1}{R_t} [ \text{kcal} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot {}^\circ\text{C}^{-1} ]$$

#### د / معامل العزل الحراري (E) :

لحساب معامل العزل (E) لتركيب إنشائي (جدار أو سقف) معزول تطبق الصيغة الآتية :

$$E = 100 \times \frac{(U - U_i)}{U}$$

حيث :

$E$  = معامل العزل الحراري ، %.

$U$  = معامل الإنتقال الحراري للتركيب غير المعزول معبراً عنه :  
بوحدات  $[ \text{kcal} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot {}^\circ\text{C}^{-1} ]$

$U_i$  = معامل الإنتقال الحراري للتركيب المعزول معبراً عنه  
بوحدات  $[ \text{kcal} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot {}^\circ\text{C}^{-1} ]$

#### ٣/١٠ الصيغ الحرارية المطبقة على التركيبات الإنشائية ( الجدران والأسقف ) (\*) :

أ / تركيب جدار خارجي :

لحساب معامل الإنتقال الحراري (U) في جدار خارجي بسيط ( يتكون من عنصر إنشائي واحد ) سماكته س (X) متر تستخدم الصيغة (٣) الآتية :

(\*) نفس المرجع

## ٢/١١٠ أساسيات ومعاملات إنتقال الحرارة في المباني (\*) :

تنتقل الحرارة خلال مادة صلبة (جدار أو سقف) بواسطة التوصيل الحراري في غالها، بينما يمثل الحمل الحراري والإشعاع قيمة دنيا يمكن إهمالها في كثير من الأحوال.

وفي هذا السياق، تم إعتماد النظام المتري في الحسابات الحرارية التي يتناولها هذا الفصل من الدراسة.

وبعدًا تؤخذ في الإعتبار التعريف الآتي : -

### أ / معامل التوصيل الحراري (K) :

يعرف معامل التوصيل الحراري (K) بكمية الحرارة (كيلوكالوري) التي تنتقل خلال متر مربع من جسم صلب خلال ساعة ودرج حراري مقداره درجة واحدة مئوية لكل متر ، ويميز معامل التوصيل الحراري عادة كالتالي :

$$K : [ \text{kcal} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot {}^{\circ}\text{C}^{-1} ]$$

### ب / المقاومة الحرارية (R) :

وتعني مقاومة العنصر لانتقال الحرارة خلاله وهي معكوس (K) ، أي أن :

$$R = \frac{X}{K} [ \text{kcal}^{-1} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot {}^{\circ}\text{C} ]$$

حيث (X) = سمك العنصر بالمتر . [m]

### ج / معامل الإنتقال الحراري (U) :

لحساب معامل الإنتقال الحراري (U) لتركيبيات إنشائية مختلفة مثل الجدران الخارجية والفوائل أو تركيب أرضية - سقف في ظروف الحالة الثابتة (Steady-State Conditions) ، تحسب أولاً المقاومة الحرارية (قيمة R) لكل عنصر من عناصر التركيب ، ومن ثم المقاومة الكلية ( $R_t$ ) للتركيب طبقاً للصيغة (١) .

(\*) المرجع السابق .

وفي دراسة سابقة لجامعة الملك فهد للبترول والمعادن(\*) على الطوب الأحمر الفخاري وجد أنه (أي الطوب الأحمر الفخاري) يمنع التسرب الحراري بنسبة ١٩٥-١٩٧٪ بالمقارنة مع مواد البناء الأخرى التقليدية ، مثل الطوب الإسمنتي والطوب الجيري الرملي والحجر الجيري ، ونتيجة لذلك فإن حجم جهاز التكيف يقل بنسبة ١٣٪ إلى ٢٥٪ عما يحتاج إليه في مبان مشابهة بمواد بناء تقليدية أخرى. وعلى أساس أن طناً واحداً من التبريد يحتاج في المتوسط إلى حوالي ٥٣٠٠ كيلوواط/ساعة في الشهر خلال فصل الصيف ، لذا فإن خفض حجم مكيف الهواء اللازم ينخفض بدوره حجم الطاقة الالزمة للتشغيل بشكل ملحوظ يتراوح من ٣٠٪ إلى ٦٢٪ وهذا على نطاق الفرد والذي يعكس بدوره على حجم طاقة التبريد في محطات توليد الطاقة الكهربائية ، وبالتالي خفض نفقات التشغيل والصيانة في مثل هذه المحطات.

وفي هذا الفصل من الدراسة الحالية تم تناول موضوع أهمية العزل الحراري بإستخدام وحدات البناء من الطوب الأحمر وبلوكات الجدران (واهوردي) (\*\*)  
الفخاري بالمقارنة مع الأنواع التقليدية الأخرى من وحدات البناء مثل الطوب والبلوك الإسمنتي والطوب الجيري – الرملي والألواح الخرسانية مسبقة الصب ، كما يتناول هذا الفصل من الدراسة أثر زيادة كفاءة العزل الحراري للبلوك الفخاري بتطبيق الممارسات الأكثر ملائمة لبناء الجدران الخارجية والفوائل والأسقف ، وكذلك أثر إستخدام مواد عازلة خفيفة الوزن متلازمة مع البلوك الفخاري ونظائره من مواد البناء التقليدية الأخرى ، إضافة إلى أثر ممارسات البناء المحلية والظروف المناخية السائدة على إنتقال الحرارة في الجدران والأسقف وذلك في إطار تطبيق أساسيات وصيغ إنتقال الحرارة في المبني(\*\*\*) .

(\*) ملخص دراسة لإستهلاك الطاقة والتكلفة لسكن بالطوب الأحمر الفخاري مقارنة مع مواد البناء الأخرى .  
معهد البحث – جامعة الملك فهد للبترول والمعادن الظهران : المملكة العربية السعودية - ١٩٩٥ م

(\*\*) تطلق لفظة "هوردي" على بلوك السقف .

(\*\*\*) العزل الحراري للمبني " مؤسسة رينولد للنشر " نيويورك - لندن ١٩٩٦ (بالإنجليزية)

## ب / تركيب جدار (فاصل) داخلي :

حساب قيمة معامل الانتقال الحراري ( $U$ ) لجدار (فاصل) داخلي تستخدم الصيغة (٣) أو صيغة (٤) السابقتين ، ولكن مع اعتبار وجود هواء ساكن عند كلا جانبي الجدار (الفاصل) الداخلي ، ومن ثم ، فإن  $f_i = f_0 = ٧,٠$  وحدات [كيلو كالوري لكل متر مربع  $\times$  ساعة  $\times$  درجة حرارة مئوية واحدة] .

## ج / تركيب سقف - أرضية :

حساب معامل الانتقال الحراري ( $U$ ) مثل هذا التركيب الإنسائي ، فإنه يمكن استخدام أحدى الصيغتين (٣) أو (٤) المذكورتين أعلاه ، مع الأخذ في الاعتبار المعايير الحرارية الآتية :

- \* وجود هواء ساكن عند كلا جانبي التركيب ( $f_i = f_0$ ) .
- \* إنساب حراري سفلي في فصل الصيف ( $f_i = ٥,٢٧$ ) .
- \* إنساب حراري علوي في فصل الشتاء ( $f_i = ٧,٩٦$ ) .

## ٤/١٠ القيم (أو الثوابت) الحرارية لمواد البناء الأكثر إستخداماً في المملكة :

تمهيداً لإجراء حسابات حرارية لتركيبيات إنسانية مفترضة يدخل في تكوينها عناصر مختلفة من مواد البناء ، توضح في الجدول رقم (١) القيم (أو الثوابت) الحرارية لأهم مواد البناء التقليدية والعازلة للحرارة الأكثر إستخداماً في المملكة ، مع الإشارة خاصة إلى الطوب الأحمر والبلوك والهوردي الفخاري.

## ٤/١٠ الحسابات والتقييمات الحرارية :

### أ / سماكة الجدار المتজانس المسموح بها والتي توفر أفضل ظروف مناخية داخل الغرف :

للتحكم في ظروف مناخية مريحة داخل الغرف ، يجب ألا تقل المقاومة الحرارية الكلية ( $R_t$ ) لمكونات مواد البناء للجدار الخارجي عن  $١٠,٠$  [ $\text{kcal}^1 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot {}^\circ\text{C}$ ] تحت ظروف الحالة الثابتة وهواء شبه متحرك.

**جدول رقم (٢)**  
**القيم (\*) (أو الثوابت) الحرارية لمواد البناء التقليدية**  
**والعزلة للحرارة الأكثر إستخداماً في المملكة**

السعة الحرارية (C) [ kcal . h <sup>-1</sup> . m <sup>-2</sup> . °C <sup>-1</sup> ]	معامل التوصيل الحراري (K) [ kcal . h <sup>-1</sup> . m <sup>-1</sup> . °C <sup>-1</sup> ]	متوسط الوزن النوعي (P) [ Kg. m <sup>-3</sup> ]	أنواع مواد البناء
<b>١/ مواد بناء تقليدية :</b>			
—	٠,٤٧	٢١٠٠	• طوب فخاري (مصمт)
٠,٤٢	—	٨٥٠	• بلوك فخاري (مفرغ)
٠,٣٩	—	٧٨٠	• بلوك فخاري (مفرغ)
٠,٣٥	—	٦٦٠	• بلوك فخاري (مفرغ)
—	١,٠٥	٢٤٠٠	• طرب أسمنتي (مصمт)
١,٠٥	—	١٥٠٠	• بلوك أسمنتي (مفرغ)
٠,٩٤	—	١٣٠٠	• بلوك أسمنتي (مفرغ)
٠,٨٤	—	١٢٠٠	• بلوك أسمنتي (مفرغ)
—	١,١٦	٢٥٠٠	• خرسانة مسبقة الصب
—	٠,٩٦	٢٢٠٠	• طوب جيري رملي (مصمт)
—	١,٠	٢٣٠٠	• حجر جيري (كثيف)
<b>٢/ مواد بناء عازلة :</b>			
—	٠,٠٢٥	٤٠	• بولي يوريثين (صلب)
—	٠,٠٢٧	٣٠	• بولي ستايروين (مدد)
—	٠,٠٣٦	٧٠	• صوف صخري
—	٠,٠٥٠	١٠٠	• برلايت (مدد)

(\*) بالرجوع إلى بعض النشرات التجارية للمنتجين المحليين

وتحت ظروف مناخية عادية وهواء خارجي شبه متحرك.

$$\text{فإن : } f_0 = 20 \text{ [kcal.h}^{-1}.m^{-2}.^{\circ}\text{C}^{-1}\text{]}$$

$$f_i = 7 \text{ [kcal.h}^{-1}.m^{-2}.^{\circ}\text{C}^{-1}\text{]}$$

ولتعيين السماكة الدنيا المسموح بها لجدار خارجي متجانس من الطوب الأحمر الفخاري (المصمت) ، والذي يوفر ظروفاً مناخية مريحة داخل الغرف تطبق الصيغة رقم (٥) السابقة . علماً بأن التركيب المفترض لا يعلوه أي لياسة ( Bare Structure ) لتسهيل وتبسيط إجراءات الحسابات.

وحيث قيمة (K) للطوب الفخاري المصمت (\*) (من جدول رقم ٢) = ٤٧ ،

$$\therefore R = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{1}{7}} = 1$$

$$\therefore X = \frac{0,38}{0,47} = 0,80 \text{ [m]}$$

أي أنه لتوفير ظروف مناخية مريحة داخل الغرف يلزم جدار خارجي من الطوب الفخاري المصمت سماكته ٣٨ ،٠ مترًا على الأقل.

وبالمثل ، لحساب سماكة تركيب جدار ( فاصل ) داخلي متجانس من طوب أحمر فخاري مصمت (\*) ، تطبق نفس الصيغة رقم (٥) أعلاه ، ولكن مع الأخذ في الاعتبار وجود هواء ساكن عند كل جانب التركيب ؛ أي أن :

$$f_i = f_0 = 7 \text{ [kcal.h}^{-1}.m^{-2}.^{\circ}\text{C}^{-1}\text{]}$$

$$\therefore X = 0,34 \text{ [m]}$$

أي أنه لتوفير ظروف مناخية مريحة داخل الغرف فإنه يلزم جدار ( فاصل ) داخلي من الطوب الأحمر الفخاري المصمت سماكته ٣٤ ،٠ مترًا على الأقل.

وبالمثل ، وبمعلومية قيم الموصلية الحرارية بالجدول رقم (١) لمواد البناء التقليدية الأخرى مثل الطوب الإسمنتي والطوب الجيري الرملي والخرسانة مسبقة الصب والحجر الجيري ، فقد أمكن حساب السماكة الدنيا المسموح بها للجدران الخارجية والفوائل الداخلية والتي توفر أفضل ظروف مناخية داخل الغرف بإستخدام هذه المواد التقليدية ومقارنتها بالطوب الأحمر الفخاري كما هو موضح في الجدول رقم (٣) أدناه :

(\*) مثل طوب الواجهات .

### الجدول رقم (٣)

السماكة الدنيا المسموح بها للجدران الخارجية والفوائل الداخلية من مواد البناء التقليدية بالمقارنة مع الطوب الأحمر الفخاري (المصمت) لتحقيق ظروف مناخية مريحة داخل الغرف

السماكة الدنيا المسموح بها لجدار (فأصل) داخلي [m]	السماكة الدنيا المسموح بها لجدار خارجي [m]	أنواع مواد البناء التقليدية
٠,٣٤	٠,٣٨	طوب أحمر فخاري (مصمت)
٠,٧٦	٠,٨٥	طوب أسمنتي (مصمت)
٠,٨٤	٠,٩٤	خرسانة مسبقة الصب
٠,٦٩	٠,٧٨	طوب رملي - جيري
٠,٧٢	٠,٨١	حجر جيري

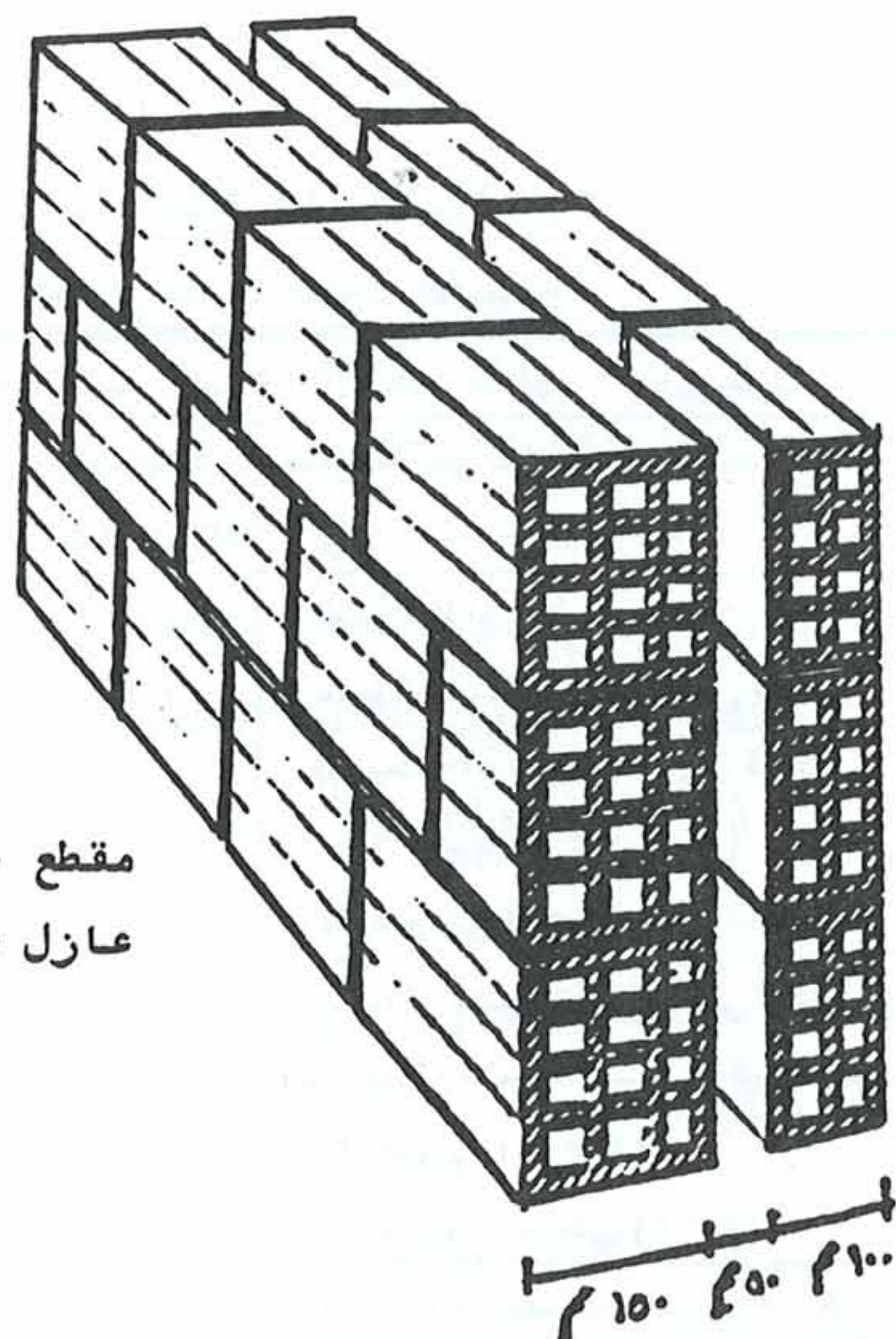
وبمقارنة سماكات تركيب متجانس لجدار خارجي أو جدار (فأصل) داخلي من مواد البناء التقليدية والموضحة بالجدول رقم (٣) أعلاه ، يتضح أن الطوب الفخاري هو أنسابها ، ومع ذلك فإنه لتوفير ظروف مناخية مريحة داخل الغرف بإستخدام مواد البناء التقليدية خلافاً للطوب الأحمر الفخاري فإنه ينبغي إستخدام سماكات كبيرة للجدران الخارجية أو الفوائل الداخلية قد تصل إلى حوالي متر ( مثلما هو الحال مع العناصر الخرسانية مسبقة الصب للجدران الخارجية ) مما يصعب تطبيقه عملياً.

#### ب / كفاءة العزل الحراري للبلوك الفخاري في الجدران الخارجية :

يوضح في الشكل رقم (٣٥ - أ) مقطع جدار غير متجانس ( وبدون تشطيب ) مكون من شريحة بلوك خارجي ( ١٠٠ مم ) وشريحة بلوك داخلي ( ١٥٠ مم ) بينهما فراغ هوائي ( ٥٠ مم ) ، بينما يوضح الشكل رقم (٣٥ - ب) ذات المقطع ولكن مع عازل بولي يوريثين الذي يملأ فراغ الهواء .

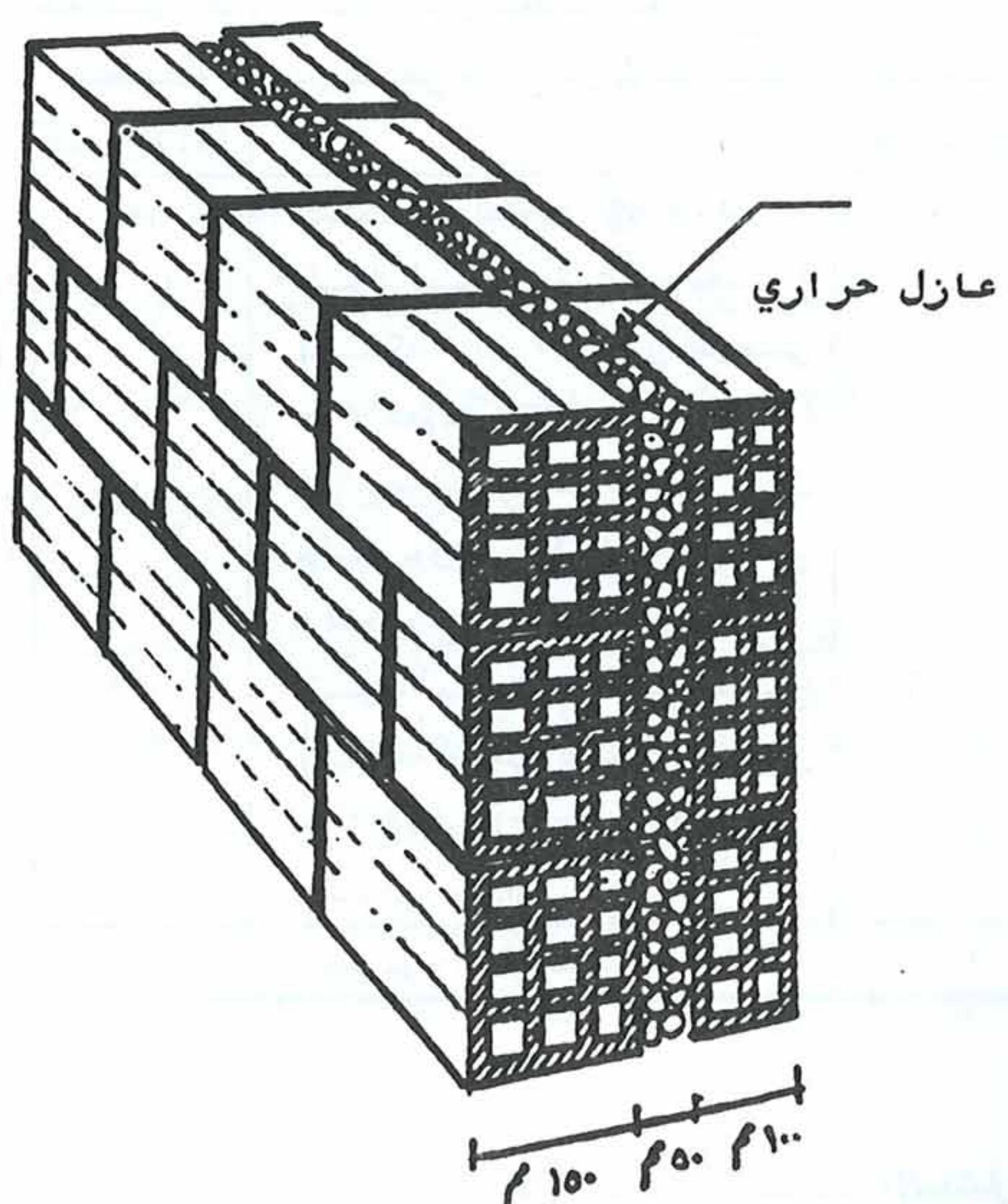
وقد حسبت (\*) المقاومة الحرارية الكلية ( $R_t$ ) لمقطع الجدار المذكور أعلاه ( والمطابق للممارسة المحلية السائدة في بناء الجدران الخارجية ) ، بإستخدام البلوك الفخاري مرة والبلوك الأسمنتي في أخرى ، وتوضح النتائج في الجدول رقم (٤) .

(\*) بالرجوع إلى معاملات إنتقال الحرارة وتطبيق الصيغ الحرارية السابق ذكرها والقيم ( والثوابت ) الحرارية في الجدول رقم (٢) .



الشكل رقم (٣٥-أ)

مقطع جدار خارجي مزدوج بدون  
عازل حراري



الشكل رقم (٣٥-ب)

مقطع جدار خارجي مزدوج  
بعازل حراري

## جدول رقم (٤)

المقاومة الحرارية لترتيب (مقطع) جدار خارجي غير متجانس

من البلوك الفخاري مقارناً بالبلوك الأسمنتى

ترتيب (مقطع) الجدار طبقاً للشكل رقم (٣٥-أ) - بدون تشطيب - بدون عازل

المقاومة الحرارية (R)	جدار خارجي مزدوج من بلوکات اسمنتية	المقاومة الحرارية (R)	جدار خارجي مزدوج من بلوکات فخارية
٠,٠٥	- غشاء الهواء الخارجي ( $f_0 = ٢٠$ )	٠,٠٥	- غشاء الهواء الخارجي ( $f_0 = ٢٠$ )
٠,١	- بلوك أسمنتي خارجي مفرغ (سماكة ١٠٠ مم؛ الوزن النوعي ١٥٠ كجم / م <sup>٣</sup> ؛ $C = ١,٠٥$ )	٠,٢٤	- بلوك فخاري خارجي مفرغ (سماكة ٨٥٠ كجم / م <sup>٣</sup> ؛ $C = ٠,٤٢$ )
٠,٢٠	- فراغ هوائي (٥٠ مم)	٠,٢٠	- فراغ هوائي (٥٠ مم)
٠,١٦	- بلوك أسمنتي داخلي مفرغ (سماكة ١٥٠ مم؛ الوزن النوعي ٧٨٠ كجم / م <sup>٣</sup> ؛ $C = ٠,٩٤$ )	٠,٣٨	- بلوك فخاري داخلي مفرغ (سماكة ١٥٠ مم؛ الوزن النوعي ٧٨٠ كجم / م <sup>٣</sup> ؛ $C = ٠,٣٩$ )
٠,١٤	- غشاء الهواء الداخلي ( $f_i = ٧$ )	٠,١٤	- غشاء الهواء الداخلي ( $f_i = ٧$ )
٠,٦٥	مجموع المقاومات الحرارية (R <sub>t</sub> )	١,٠١	مجموع المقاومات الحرارية (R <sub>t</sub> )

ترتيب (مقطع) الجدار طبقاً للشكل رقم (٣٥-ب) - بدون تشطيب - عازل

المقاومة الحرارية (R)	جدار خارجي مزدوج من بلوکات اسمنتية	المقاومة الحرارية (R)	جدار خارجي مزدوج من بلوکات فخارية
٠,٠٥	- غشاء الهواء الخارجي ( $f_0 = ٢٠$ )	٠,٠٥	- غشاء الهواء الخارجي ( $f_0 = ٢٠$ )
٠,١٠	- بلوك أسمنتي خارجي مفرغ (سماكة ١٠٠ مم؛ الوزن النوعي ١٥٠ كجم / م <sup>٣</sup> ؛ $C = ١,٠٥$ )	٠,٢٤	- بلوك فخاري خارجي مفرغ (سماكة ٨٥٠ كجم / م <sup>٣</sup> ؛ $C = ٠,٤٢$ )
٢,٠٠	- فراغ هوائي (٥٠ مم) بداخله عازل بولي يوريثين (وزنه النوعي ٤٤ كجم / م <sup>٣</sup> ؛ $K = ٠,٠٢٥$ )	٢,٠٠	- فراغ هوائي (٥٠ مم) بداخله عازل بولي يوريثين (وزنه النوعي ٤٤ كجم / م <sup>٣</sup> ؛ $K = ٠,٠٢٥$ )
٠,١٦	- بلوك أسمنتي داخلي مفرغ (سماكة ١٥٠ مم؛ الوزن النوعي ٧٨٠ كجم / م <sup>٣</sup> ؛ $C = ٠,٩٤$ )	٠,٣٨	- بلوك فخاري داخلي مفرغ (سماكة ١٥٠ مم؛ الوزن النوعي ٧٨٠ كجم / م <sup>٣</sup> ؛ $C = ٠,٣٩$ )
٠,١٤	- غشاء الهواء الداخلي ( $f_i = ٧$ )	٠,١٤	- غلاف الهواء الداخلي ( $f_i = ٧$ )
٢,٤٥	مجموع المقاومات الحرارية (R <sub>t</sub> )	٢,٨١	مجموع المقاومات الحرارية (R <sub>t</sub> )

من الجدول رقم (٤) السابق يتضح الآتي :

- مقاومة الجدران الخارجية (للحرارة) والبنية من блوك الفخاري سواءً كانت معزولة أو غير معزولة أفضل من نظيرتها من البلوك الإسمنتي.
- بإستبدال عازل البولي يوريثين بالعوازل الحرارية الأخرى المذكورة في جدول رقم (١) السابق وذلك في ترتيب (مقطع) جدار خارجي مزدوج (الشكل ٣٥-ب) من البلوك الفخاري معزول كما جاء في الجدول رقم (٤) أعلاه حسبت المقاومة الحرارية الكلية ( $R_t$ ) لذات الجدار الخارجي كالتالي :  
الصوف الصخري ، والبرلايت الممدد على التوالي وهي قيم أقل من  $2,66, 2,2, 1,81 [kcal^{-1} \cdot h \cdot m^2 \cdot {}^\circ C]$  بإستخدام عازل البولي ستايرين ، التي يتحققها إستخدام عازل البولي يوريثين (راجع جدول ٤).

- تتوقع قيم أكبر للمقاومة الحرارية الكلية ( $R_t$ ) إذا كان التركيب الجداري مشطباً (لا يتسع المجال هنا لحسابها)

وبتدر الإشارة في هذا السياق أن منتجي البلوك الفخاري (لزيادة فرص تسويق منتجهم) يطرحون جزءاً من إنتاجهم (حوالي ١٠٪) من البلوك بحيث يكون معزولاً أصلاً بالبولي يوريثين أو البولي ستايرن (العزل مبيت في البلوك) ، وفي هذه الحالة يمكن الإستغناء عن نظام ممارسة بناء الجدران الخارجية المزدوجة التي يتخللها فراغ هوائي ملئه بالعزل الحراري.

ولتقييم كفاءة العزل الحراري لذات ترتيب (مقطع) الجدار الخارجي غير المتجانس من البلوك الفخاري بإستخدام الأنواع المختلفة من المواد العازلة للحرارة المذكورة في الجدول رقم (٢) بهدف زيادة العزل ، حسبت معاملات الانتقال الحراري ( $U$ ) للترتيب المعزول وغير المعزول ، ومنه حسبت معاملات العزل الحراري ( $E$ ) كنسبة مئوية كما يتضح من الجدول رقم (٥).

## جدول رقم (٥)

معاملات العزل الحراري (E) لجدار خارجي مزدوج  
من البلوك الفخاري بإستخدام عوازل حرارية مختلفة

القيمة الحرارية (*)			التركيب الإنسائي (بدون تشطيب)
(E) [%]	(U) [kcal.h <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup> .°C <sup>-1</sup> ]	(R <sub>t</sub> ) [kcal <sup>-1</sup> .h.m <sup>-2</sup> .°C]	
	٠,٩٩	١,٠١	جدار خارجي غير معزول من البلوك الفخاري طبقاً للترتيب (المقطع) في الشكل رقم (٣٥ - أ) :-
٪٦٤	٠,٣٥٥	٢,٨١	جدار خارجي معزول من البلوك الفخاري طبقاً للترتيب في الشكل رقم (٣٥ - ب) :-
٪٦٢	٠,٣٧٥	٢,٦٦	<ul style="list-style-type: none"> <li>• بإستخدام عازل حراري من البولي يوريثين (ألواح)</li> <li>• بإستخدام عازل حراري من البولي ستايروين (ألواح)</li> </ul>
٪٥٤	٠,٤٥٤	٢,٢	<ul style="list-style-type: none"> <li>• بإستخدام عازل حراري من الصوف الصخري (ألواح)</li> </ul>
٪٤٤	٠,٥٥٢	١,٨١	<ul style="list-style-type: none"> <li>• بإستخدام عازل حراري من البرلايت الممدد (سائب)</li> </ul>

$$E = \frac{U_i - U}{U} \cdot 100 \quad (١)$$

حيث :

**U** = معامل الانتقال الحراري للترتيب (المقطع) غير المعزول

**Ui** = معامل الانتقال الحراري للترتيب (المقطع) المعزول

ومن الجدول رقم (٥) أعلاه : يتضح أن كفاءة العزل الحراري للجدران الخارجية المبنية من البلوك الفخاري والمعزولة بعازل البولي يوريثين أو البولي ستايروين تصل في المتوسط إلى حوالي ٦٤٪. مقارنة بالجدران الخارجية المنشورة غير المعزولة ، وأن عازلاً البولي يوريثين والبولي ستايروين يفضلان ما سواهما من الصوف الصخري أو البرلايت الممدد من حيث كفاءة العزل الحراري.

ومع ذلك : فإنه بالرغم من أن عوازل الصوف الصخري والبرلايت الممدد أقل كفاءة من حيث العزل الحراري مقارنة بالبولي يوريثين والبولي ستايروين كما ورد أعلاه ، إلا أن الصوف الصخري والبرلايت الممدد ، وهما من أصل

غير عضوي ، يتميزان بالديمونة بالمقارنة مع عوازل البولي يوريثين والبولي ستايرين اللذين قد يعترهما بعض التحلل بطول الزمن نظراً لطبيعتهما العضوية.

### ج / مقاومة إنتقال الحرارة للبلوك (الهوردي) الفخاري في الأسفف :

لتقييم العزل الحراري للبلوك (الهوردي) الفخاري في الأسفف بالمقارنة مع الأنواع المعاصرة لمواد البناء التقليدية من البلوك (الهوردي) الأسمسي والخرسانة المسلحة المستخدمة في الأسفف ، إفترض تركيب سقف - أرضية من الهوردي بدون تشطيب وبدون عزل مع الأخذ في الاعتبار المعايير المختلفة عند إجراء الحسابات الحرارية ، مع إهمال عامل التوصيل الحراري للأعصاب الخرسانية في سقف الهوردي ، واعتبار القيم والثوابت الحرارية الآتية :

- وجود هواء ساكن عند كلا جانبي تركيب السقف ، يعني أن :

$$(f_i = f_0 \dots [kcal \cdot h^{-1} m^{-2} \cdot {}^{\circ}C^{-1}])$$

- إنساب حراري سفلي في فصل الصيف ( $f_i = 5,27$ )

- إنساب حراري علوي في فصل الشتاء ( $f_i = 7,96$ )

- السعة الحرارية (C) للبلوك (الهوردي) الفخاري ( $60 \text{ كجم}/\text{م}^3$ ) = سماء  $0,2 \text{ م} = 35,0 \text{ بوحدات } [kcal \cdot h^{-1} \cdot m^{-2} \cdot {}^{\circ}C^{-1}] \dots$  (من جدول رقم ٢ السابق)

- السعة الحرارية (C) للبلوك (الهوردي) الإسمسي ( $120 \text{ كجم}/\text{م}^3$ ) = سماء  $0,2 \text{ م} = 84,0 \text{ بوحدات } [kcal \cdot h^{-1} \cdot m^{-2} \cdot {}^{\circ}C^{-1}] \dots$  (من جدول رقم ٢ السابق).

- معامل التوصيل الحراري (K) للخرسانة مسبقة الصب ( $2500 \text{ كجم}/\text{م}^3$ ) =  $1,16 \text{ بوحدات } [kcal \cdot h^{-1} \cdot m^{-1} \cdot {}^{\circ}C^{-1}] \dots$  (من جدول رقم ٢ السابق).

- سمك تركيب السقف (X) =  $0,20 \text{ [m]}$ .

وبتطبيق صيغ أساسيات إنتقال الحرارة في مثل هذا التركيب كما ورد في مقدمة هذا الفصل من الدراسة ، يمكن الحصول على القيم الحرارية الآتية كما هو موضح في الجدول رقم (٦) أدناه.

## جدول رقم (٦)

مقاومة إنتقال الحرارة في البلوك (اهوردي) الفخاري بالمقارنة مع البلوك (اهوردي) الإسمنتي والخرسانة مسبقة الصب في تركيب السقف

المقاومة الكلية (Rt)	المقاومات الحرارية للتركيب				تركيب سقف / أرضية (غير مشطب وغير معزول)
	$1/fi$	$R = 1/C$	$R = X/K$	$1/fi$	
٠,٩٥	٠,١٩	٠,٥٧	—	٠,١٩	أولاً : في فصل الصيف (إنسياب حراري ٧)
٠,٦٢	٠,١٩	٠,٢٤	—	٠,١٩	• بلوك (هوردي) فخاري
٠,٥٥	٠,١٩	—	٠,١٧	٠,١٩	• بلوك (هوردي) إسمنتي
					• خرسانة مسبقة الصب
٠,٨٣	٠,١٣	٠,٥٧	—	٠,١٣	ثانياً : في فصل الشتاء (إنسياب حراري ٨)
٠,٥٠	٠,١٣	٠,٢٤	—	٠,١٣	• بلوك (هوردي) إسمنتي
٠,٤٣	٠,١٣	—	٠,١٧	٠,١٣	• خرسانة مسبقة الصب

من الجدول رقم (٦) أعلاه : يتضح أن المقاومة الحرارية للبلوك (اهوردي) الفخاري في الأسقف تتفوق على نظيرتها للبلوك (اهوردي) الإسمنتي ، وتفوقاً كثيراً على المقاومة الحرارية للخرسانة مسبقة الصب سواءً في فصل الصيف أو الشتاء .

د / السلوك الحراري للطوب الأحمر والبلوك الفخاري مقارناً بالأنواع التقليدية الأخرى من مواد البناء تحت ظروف مناخية ثابتة دوريًا (\*) :

فيما سلف نوقشت بعض جوانب السلوك الحراري للطوب الأحمر الفخاري مقارنة بالأنواع التقليدية الأخرى من مواد البناء تحت ظروف حالة الثبات ، غير أن درجات حرارة الهواء الملمس لأسطح المباني في المملكة ومنطقة الخليج (وأغلب مناطق الشرق الأوسط) تكون عرضة للتقلب دوريًا (أي خلال فترة زمنية قد تكون وجيدة) مثل الفارق الكبير نسبياً في تباين درجات الحرارة خلال النهار وأثناء الليل في كثير من الأوقات وعلى مدار العام بصفة غالبة.

وفي المناقشة التالية : يتم تقييم الخصائص الحرارية للطوب الأحمر والبلوك الفخاري بالمقارنة مع الأنواع التقليدية الأخرى من مواد البناء وذلك تحت ظروف حالة الثبات الحراري الدوري بإيجاد العلاقة بين الوزن النوعي والحرارة النوعية من جهة والوزن النوعي والحرارة النوعية ومعامل التوصيل الحراري من جهة أخرى.

حيث :

الوزن النوعي ( $P$ ) ويعبّر عنه بوحدات ..... [ kg. m<sup>-3</sup> ]

الحرارة النوعية ( $C_p$ ) ويعبّر عنها بوحدات ..... [ kcal . kg<sup>-1</sup> . °C<sup>-1</sup> ]

معامل التوصيل الحراري ( $K$ ) ويعبّر عنه بوحدات .. [ kcal . h<sup>-1</sup> . m<sup>-1</sup> . °C<sup>-1</sup> ]

وعليه يمكن إستنتاج قدرة تخزين الحرارة ( $P \cdot C_p$ ) والتي عبر عنها

بوحدات ..... [ kcal . m<sup>-3</sup> . °C<sup>-1</sup> ]

وكذلك إستنتاج معامل إنتشار الحرارة ( $\alpha$ ) ويحسب كالتالي :

$$\underline{P \cdot C_p} = K$$

ويعبّر عنه بوحدات ..... [ m<sup>-2</sup> . h<sup>-1</sup> ]

ومن قيم الوزن النوعي ومعامل التوصيل الحراري للطوب الأحمر الفخاري ومواد البناء التقليدية الأخرى ( من الجدول رقم ١ السابق )، وربطها كما ورد أعلاه بالقيم المنشورة للحرارة النوعية ، يمكن حساب معاملي قدرة تخزين وإنتشار الحرارة خلال الطوب الأحمر الفخاري بالمقارنة مع مواد البناء التقليدية الأخرى في ظروف الثبات الحراري الدوري كما يتضح من الجدول رقم (٧) أدناه :

## الجدول رقم (٧)

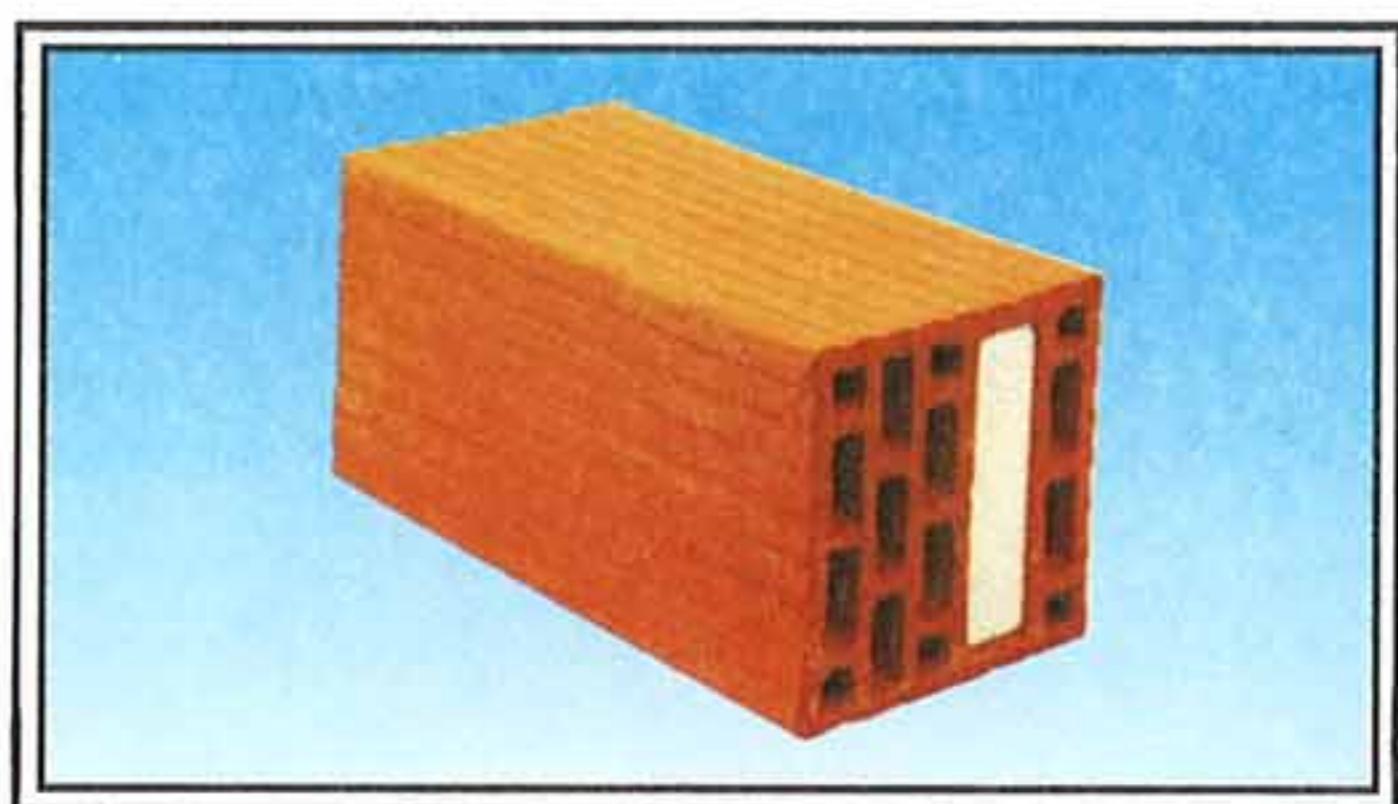
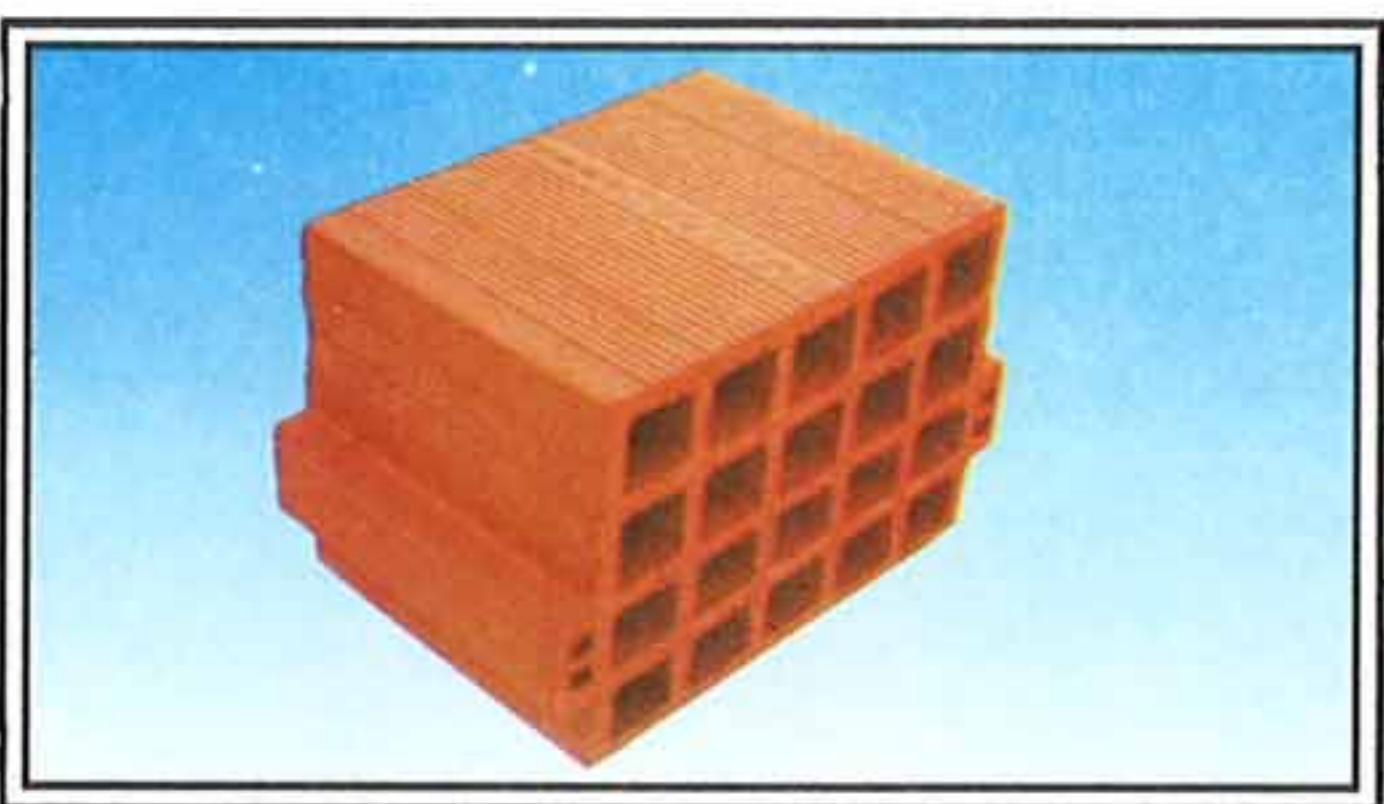
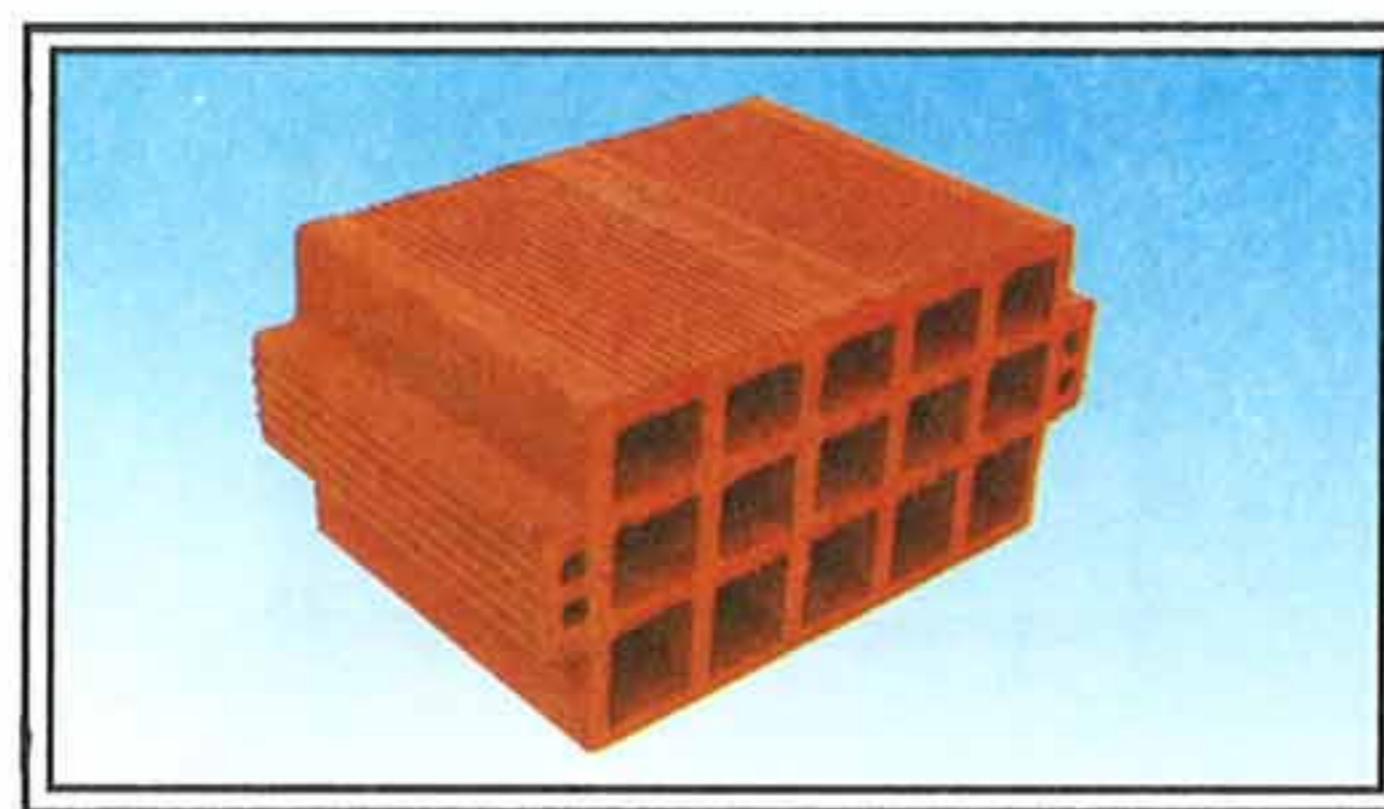
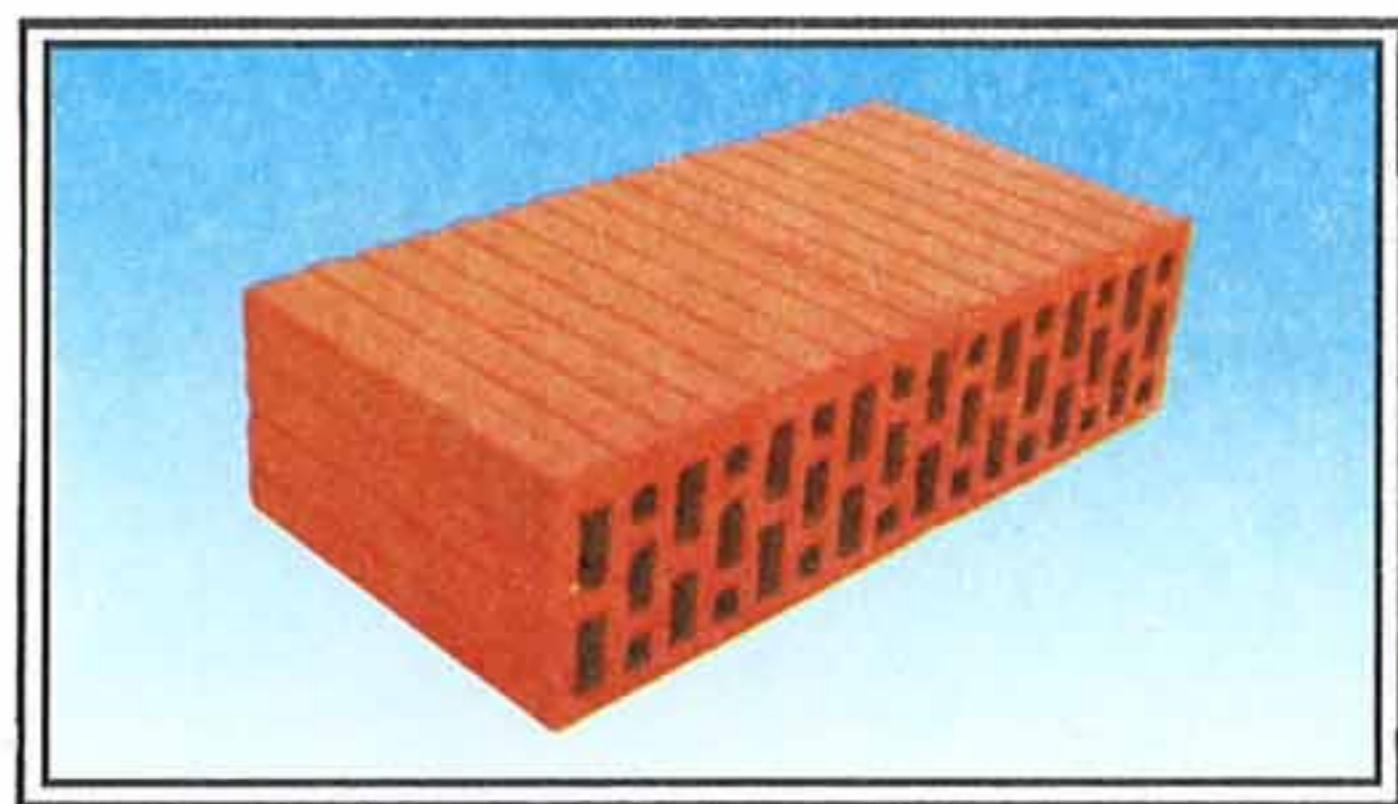
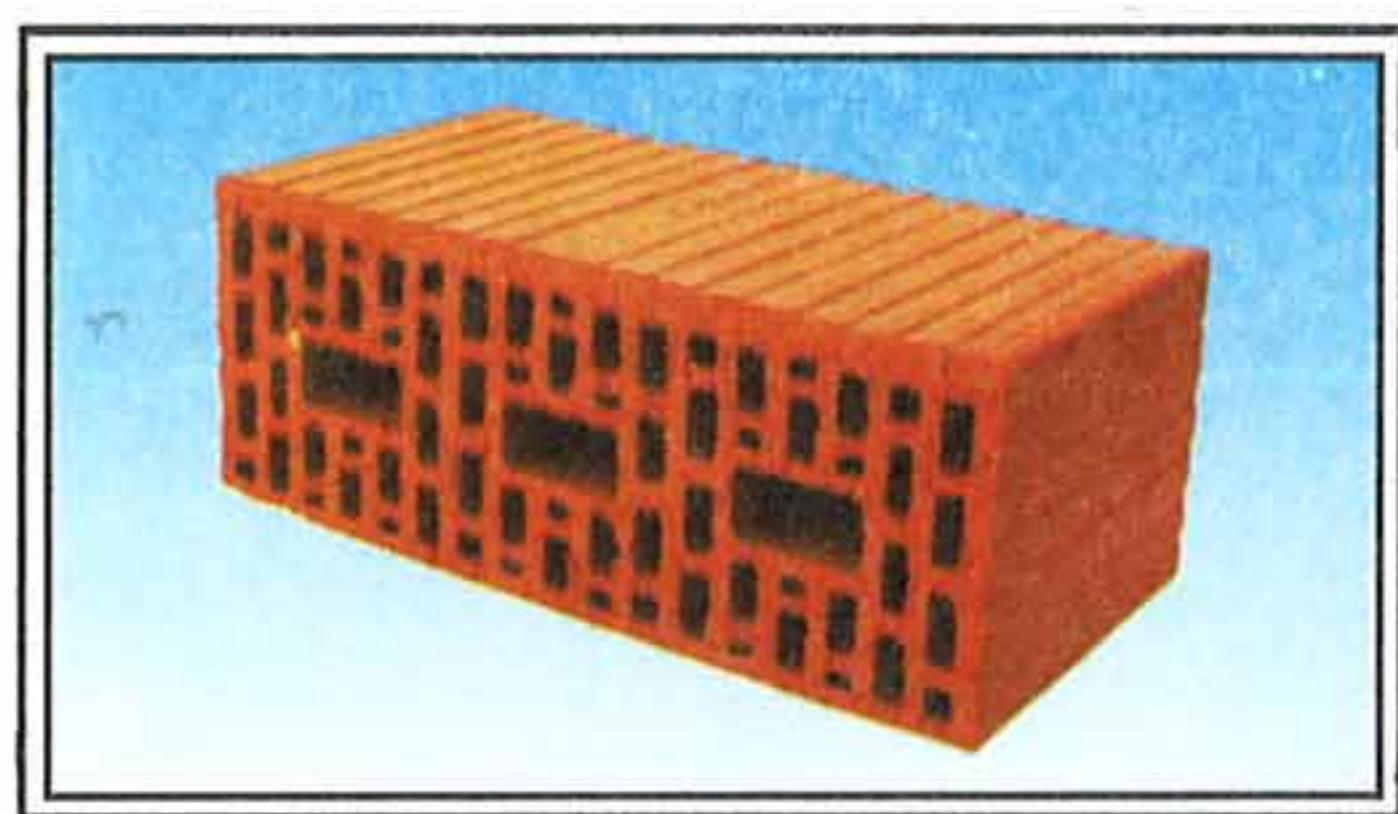
قدرة تخزين وانتشار الحرارة في الطوب الأحمر الفخاري  
بالمقارنة مع مواد البناء التقليدية الأخرى تحت ظروف الشات الحراري الدوري

أنواع مواد البناء	الوزن النوعي (*) (P) [kg. m <sup>-3</sup> ]	الحرارة النوعية (C <sub>P</sub> ) (C <sub>P</sub> ) [kcal . kg <sup>-1</sup> . °C <sup>-1</sup> ]	معامل التوصيل الحراري (K) (K) [kcal . h <sup>-1</sup> . m <sup>-1</sup> . °C <sup>-1</sup> ]	قدرة تخزين الحرارة (P.C <sub>P</sub> ) (P.C <sub>P</sub> ) [kcal . m <sup>-3</sup> . °C <sup>-1</sup> ]	معامل إنتشار الحرارة (α) (α) [m <sup>2</sup> .h <sup>-1</sup> ] × 10 <sup>-5</sup>
طوب أحمر فخاري (مصنوع)	٢١٠٠	٠,٢٠	٠,٤٧	٤٢٠	١١٢
طوب سمنتي (مصنوع)	٢٤٠٠	٠,٢٤	١,٠٥	٥٧٦	١٨٢
طوب رملي جيري (مصنوع)	٢٢٠٠	٠,٢٢	٠,٩٦	٤٨٤	١٩٨
خرسانة مسبقة الصب	٢٥٠٠	٠,٢٧	١,١٦	٦٧٥	١٧٢
حجر جيري	٢٣٠٠	٠,٢١	١,٠٠	٤٨٣	٢٠٧

ومن الجدول رقم (٧) أعلاه يتضح أن قدرة تخزين وانتشار الحرارة في الطوب الأحمر تقلان بالمقارنة مع أنواع مواد البناء التقليدية الأخرى ، مما يدل على أن استخدام الطوب الأحمر الفخاري في الجدران الخارجية يكون مناسباً في الظروف المناخية التي قد تسود فيها تقلبات دورية في درجة الحرارة خلال فترات وجيزة مثل تباينات درجات الحرارة خلال النهار والليل.

(\*) من جدول رقم (٢) السابق.

(\*\*) مقدرة بطريقة المسعر الحراري .



**شركة اليمامة**  
لتطوير الأحمر و المنتجات الفخارية

مطابع الكراستة السعودية

بالمقاصد

تلفون : ٤٤٨٦١٤٣

مطبع الكراسة السعودية - الرياض - تليفون: ٤٤٨٦١٤٣