

الدليل الإرشادي لأنظمة ومواد العزل الحراري وفق متطلبات كود البناء السعودي

الإصدار الأول

23 أغسطس 2021

جدول المحتويات

3	تمهيد
3	مقدمة
4	تعريف العزل الحراري
4	مواد العزل الحراري
5	مزايا العزل الحراري
6	كود البناء السعودي، قسم ترشيد الطاقة (SBC 601 - SBC 602) ومتطلباته
7	مصطلحات
9	المناطق
10	المتطلبات
13	طرق حساب المتطلبات
18	الطريقة الرئيسية: طريقة المسار الموازي- Parallel Path Method
24	طريقة المسار التسلسلي Series Calculation Method
34	طريقة المسار المتحاور Isothermal Path Method
41	طريقة المحاكاة المتطورة ثنائية الأبعاد Two Dimensional Method (Advance Simulation)
41	طريقة المنطقة المتطورة Modified Zone Method
42	إجراء اختبار في المختبر Laboratory Test
46	الملاحق
46	ملحق أ: دليل المواد
56	ملحق ب: خصائص النوافذ والقباب
67	ملحق ج: المقاومة الحرارية للمسارات الهوائية

تمهيد

تم إعداد هذا الدليل لإيضاح كيفية تطبيق العزل الحراري لغللاف المبنى وفق متطلبات كود البناء السعودي (601-602)، وبيان مزايا العزل الحراري، والخواص المختلفة له، والعوامل التي تؤثر على اختيار المواد المناسبة، وبيان أنواعه، وأهم الاعتبارات الواجب إتباعها عند استخدامه. ويعد هذا الدليل (دليل استرشادي) حيث لا يغني عن الرجوع إلى كود البناء السعودي (601-602)، وأي تعارض فيما بينهما فإن نصوص الكود هي المرجع الأساسي.

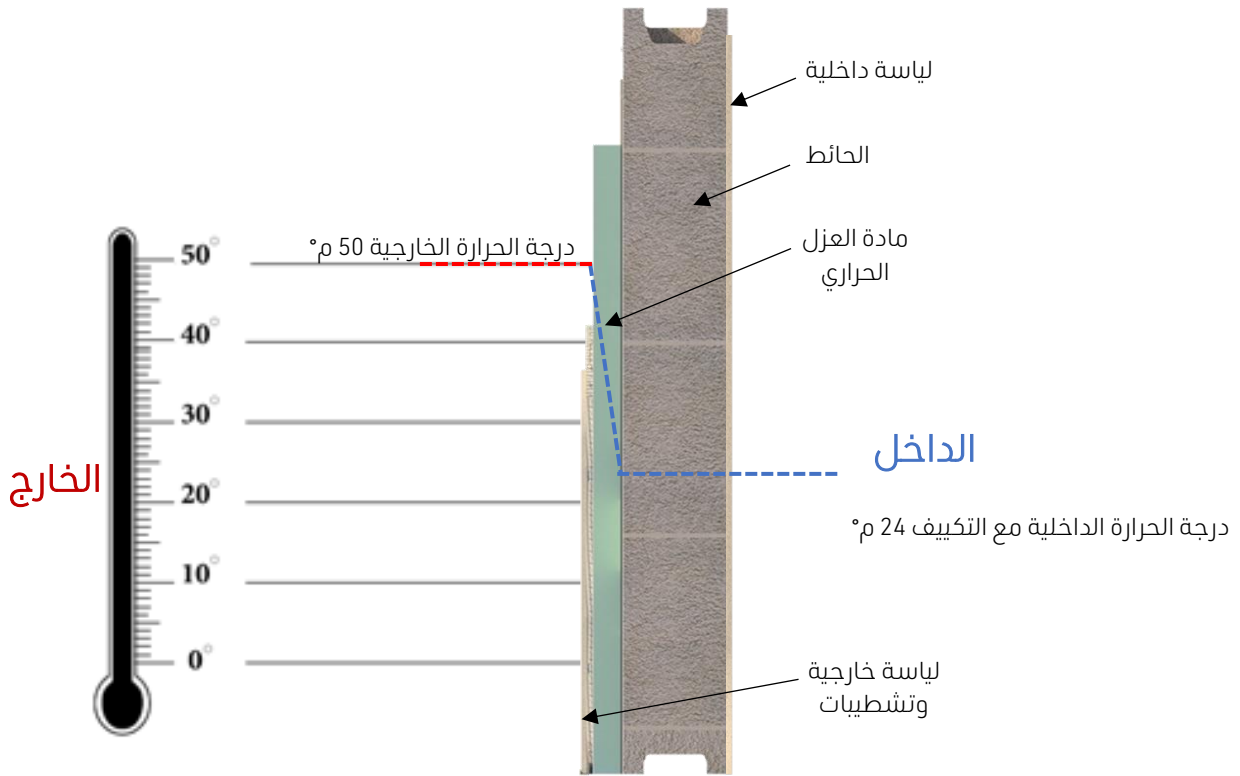
مقدمة

يسود معظم مناطق المملكة مناخ قاري تتفاوت فيه درجات الحرارة صيفاً وشتاءً تفاوتاً كبيراً، مما يؤثر بشكل ملحوظ على عناصر المبنى حيث يكون الفرق بين درجتي الحرارة داخل وخارج المبنى كبيراً جداً يضطر معه المستفيد إلى استخدام أجهزة التكييف لفترات طويلة وذلك للحد من ارتفاع درجات الحرارة داخل المبنى.

ونظراً لأن أجهزة التكييف تستهلك ما يقارب 70% من الطاقة الكهربائية خلال فصل الصيف، لذا فإن استخدام العزل الحراري في المبنى يعتبر من أهم العوامل المساعدة في خفض استهلاك الطاقة الكهربائية المستخدمة في أغراض التكييف، وذلك بسبب دوره في الحد من تسرب الحرارة من خلال غلاف المبنى، وعليه بادرت العديد من الدول لسن تشريعات وقوانين ووضع لوائح لاستخدام العزل الحراري بشكل إلزامي في كل المباني، ومن هذا المنطلق قامت الدولة رعاها الله بسن عدة تشريعات ملزمة لتطبيق العزل الحراري في المباني كان أولها صدور الأمر السامي الكريم رقم 905 / 7 م بتاريخ 29 / 4 / 1405 هـ القاضي بإلزامية تطبيق العزل الحراري على كافة مباني الجهات الحكومية، كما تم صدور الأمر السامي الكريم رقم 6927 / م ب بتاريخ 22 / 9 / 1431 هـ والذي ينص على إلزامية تطبيق العزل الحراري على جميع المباني الجديدة السكنية والتجارية أو أي منشآت أخرى أسوة بالمنشآت الحكومية. وبناء عليه عملت الهيئة السعودية للمواصفات والمقاييس والجودة بالتنسيق مع المركز السعودي لكفاءة الطاقة ضمن منظومة البرنامج السعودي لكفاءة الطاقة في عام 2014م على إصدار اللائحة الفنية رقم SASO 2856/2014 "قيم معامل الانتقال الحراري للمباني السكنية" وكذلك إصدار 16 مواصفة قياسية سعودية لمواد العزل الحراري، وتوجت جميع تلك الجهود السابقة بصدور نظام كود البناء السعودي ولائحته التنفيذية التي نصّت في المادة السادسة على تطبيق متطلبات واشتراطات الكود المتعلقة بالعزل الحراري على جميع أعمال البناء فور سريان النظام، دون النظر في مراحل التدرج في تطبيق الكود.

تعريف العزل الحراري

هي مادة أو نظام يضمن التقليل من عملية الانتقال الحراري من خارج إلى داخل المبنى أو العكس، وخاصة عند التفاوت الكبير في درجات الحرارة بين خارج وداخل المبنى (كما هو موضح بالرسم التوضيحي 1). ويطبق العزل الحراري على غلاف المبنى بالكامل والذي يشمل السقف العلوي والجدران الخارجية والنوافذ والقباب والأبواب الخارجية.



رسم توضيحي 1: أثر العزل الحراري داخل المبنى

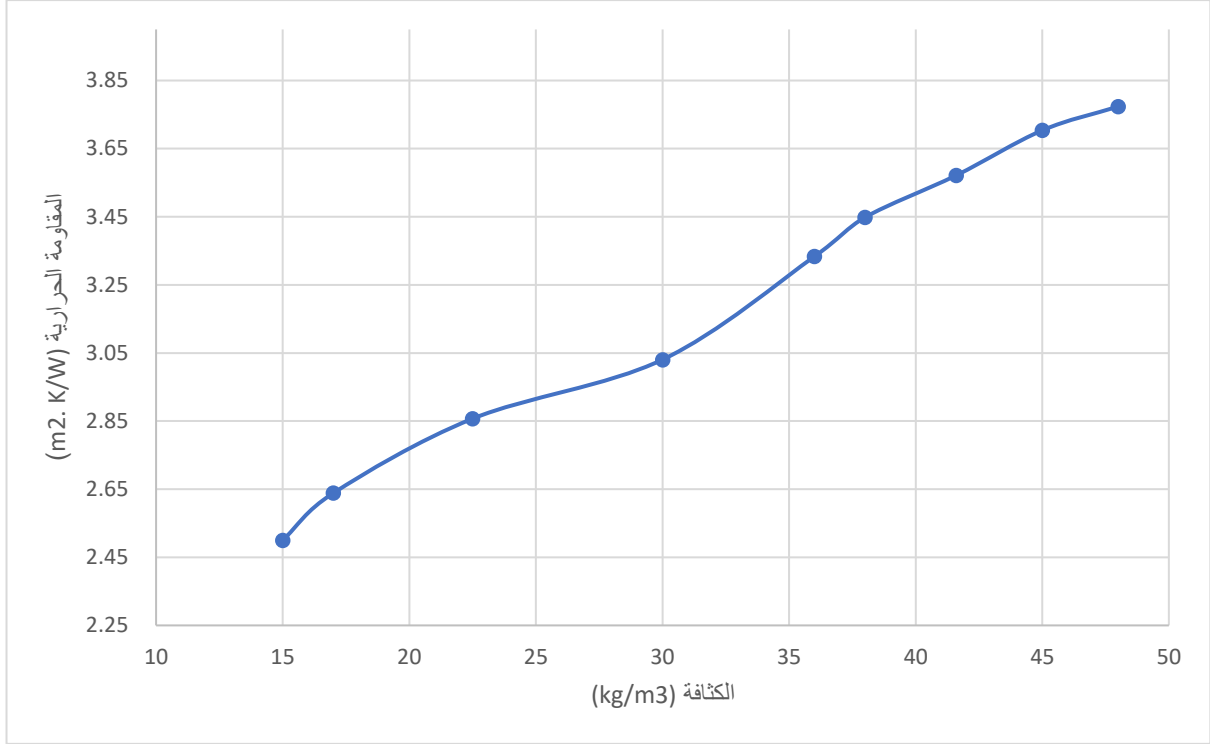
مواد العزل الحراري

هناك العديد من مواد العزل الحراري بعضها تكون على شكل الواح أو لفائف أو شكل رغوة أو مواد سائبة. على سبيل المثال لا الحصر (البوليستايرين، البوليوريثان، الصوف الصخري، الصوف الزجاجي، البيرلايت... الخ). ولمعرفة خصائص المواد الحرارية انظر (الملحق أ) نهاية الدليل.

ويجب أن تحتوي مواد العزل على بيانات إيضاحية توضح كثافتها وخصائصها الحرارية للتحقق من توافق المادة المستخدمة مع التصميم الهندسي.

يتم اختيار مادة العزل المناسبة لتوافق القيمة الحسابية لمعامل الانتقال الحراري. ويعتمد العزل الحراري على كثافة المادة في تحديد خصائصها الحرارية بحيث كلما زادت الكثافة زادت

المقاومة الحرارية. ويوضح الرسم البياني أدناه العلاقة الطردية بين قيمة المقاومة الحرارية وكثافة المادة (مثال لأحدى مواد العزل الحراري).



رسم توضيحي 2: علاقة المقاومة الحرارية مع كثافة العازل الحراري

مزايا العزل الحراري

هناك عدة مزايا تجعل العزل الحراري ذا أهمية خاصة في إنشاء المباني ومن هذا المزايا ما يلي:

1. تخفيض الطاقة الكهربائية المستهلكة للتبريد والتدفئة بما يقارب 40%.
2. تقليل سعة أجهزة التكييف وتكاليف صيانتها.
3. حماية مواد المبنى من تغيرات درجة الحرارة.
4. حماية الأثاث داخل المبنى.
5. رفع مستوى الراحة الحرارية داخل المبنى.
6. تقليل الأحمال الكهربائية في أوقات الذروة.
7. حماية البيئة وذلك بتقليل الانبعاثات الكربونية الضارة بالبيئة.

كود البناء السعودي، قسم ترشيد الطاقة (SBC 601 _ SBC 602) ومتطلباته

يهدف كود البناء السعودي قسم ترشيد الطاقة إلى بيان متطلبات تصميم المباني لتوفير الطاقة في المملكة العربية السعودية، ويُغطي (SBC 601) جميع المباني عدا المباني السكنية المنخفضة، بينما يُغطي (SBC 602) المباني السكنية منخفضة الارتفاع (3 أدوار فأقل).

ويشمل الكود متطلبات كفاءة الطاقة لتصميم البناء أو ترميمه أو إضافة أجزاء أو معدات / أنظمة أو استبدال معدات / أنظمة قديمة لجميع ما يلي:

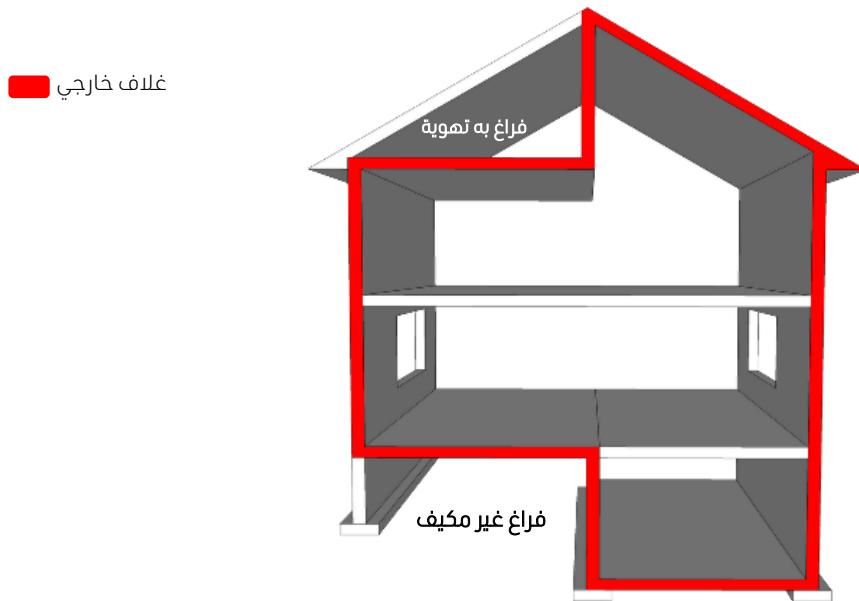
أ. وحدات سكنية جديدة وأنظمتها

ب. أجزاء جديدة وأنظمتها

1. أجزاء جديدة من الوحدات السكنية

2. معدات / أنظمة جديدة في الوحدات السكنية

ويستعرض الكود المتطلبات بشكل تفصيلي لكل نوع من أنواع المباني بكافة أنظمتها. ويقتصر هذا الدليل على شرح متطلبات الكفاءة لغلاف المبنى من جدران خارجية، وسطح علوي ونوافذ والأبواب الخارجية. كما تجدر الإشارة إلى أن هذا الدليل للاسترشاد فقط ولا يغني عن الرجوع للكود دائماً.



رسم توضيحي 3: رسم توضيحي لغلاف المبنى

مصطلحات

يستعرض هذا القسم أهم المصطلحات التقنية والفنية لتسهيل على القارئ المفاهيم والنتائج.

مساحة تجميعات كافة الأبواب: وهي المساحة المعتمدة لتجميعات الأبواب (بما في ذلك الإطار) التي تغلق مساحة مكيفة. بيد أن الأبواب التي تكون فيها فتحة الضوء أكبر من 50% من مساحة الباب أو تساويها، فإن المساحة الكلية لتجميع الباب فيها تُعد بمثابة مساحة نوافذ. **مساحة جميع الجدران الخارجية (الإجمالي):** هي مساحة السطح الخارجي للتجميعات التالية التي تتضمن مساحة مكيفة: تجميعات الجدران المعتمدة، بما في ذلك الرُّكُنِيَّات (spandrels) بين الطوابق والحواف المحيطة بالأرضيات، وتجميعات النوافذ، بما في ذلك جميع الأسطح الزجاجية وما يغطيها، ومكونات الأطر، وتجميعات الأبواب؛ ويستثنى من ذلك فتحات التهوية، والشبكيّات، والأنابيب.

مساحة كافة تجميعات الأرضيات: وهي مساحة السطح الداخلي لهذه التجميعات التي تتضمن المساحة المكيفة.

غلاف البناء الخارجي (غلاف المبنى): عناصر المبنى التي تفصل المساحة المُكَيِّفة عن الخارج.

العزل المستمر (c.i.): العزل الذي يكون مستمرًا في جميع الأجزاء الإنشائية من دون الجسور الحرارية ما عدا نقاط التثبيت وفتحات الخدمة. ويتم تثبيته على الأسطح المعتمدة في الداخل أو الخارج، أو يكون جزءًا مدمجًا في أي سطح معزول من غلاف المبنى.

مبنى العائلات المتعددة: مبنى مكون من ثلاثة أدوار أو أقل فوق سطح الأرض، يشتمل على ثلاث وحدات سكنية أو أكثر غير الدوبلكس (الوحدة السكنية المزدوجة)، بما في ذلك المبنى المُصنَّع (الجاهز).

الدوبلكس (وحدة سكنية مزدوجة): مبنى لا يتجاوز ارتفاعه ثلاثة طوابق، ويتكون من عدة وحدات سكنية لعائلة واحدة، تكون مُشيّدة في مجموعة مكونة من ثلاث وحدات مترابطة أو أكثر، تمتد كل وحدة من أساس المبنى إلى السطح، مع وجود فناء خارجي من جانبيين على الأقل.

منزل العائلة الواحدة: مبنى مؤلف من وحدة سكنية واحدة أو اثنتين أو دوبلكس (وحدة سكنية مزدوجة)، بما في ذلك المنازل الجاهزة.

معامل الكسب الحراري الشمسي (SHGC): نسبة الاشعاع الشمسي الساقط والمتسرب من خلال النافذة الزجاجية أو القباب وذلك بواسطة الانتقال المباشر للداخل أو امتصاص زجاج النافذة أو القباب له ثم التسرب لاحقًا إلى الداخل ويعبر عنه بقيمة بين (0) و(1) ويكون مقدار

حرارة الشمس المنتقلة خلال النافذة أو القباب أقل كلما كان معامل الكسب الحراري الشمسي منخفض لتلك النافذة.

مُعامل (R) (المقاومة الحرارية): هي عكس الانتقال الحراري. وحدة (R) هي: م².ك / واط (m²·K/W). كلما زادت المقاومة الحرارية، قل الكسب الحراري للنظام.
ملاحظة: الوحدة (م².م / واط) (m²·°C/W) تعادل الوحدة (م².ك / واط) (m²·K/W).

مُعامل (U) (مُعامل الانتقال الحراري): المعدل الزمني للتدفق الحراري لوحد المساحة الناتجة عن وحدة الفرق في درجات الحرارة بين الشريحة الهوائية في الجانب الدافئ والشريحة الهوائية في الجانب البارد للعناصر الإنشائية داخل وخارج المبنى. وحدة U هي (واط / م².ك) (W/m²·K). كلما قل مُعامل الانتقال الحراري، قل الكسب الحراري للنظام.
ملاحظة: الوحدة (واط / م².م) (W/m²·°C) تعادل الوحدة (واط / م².ك) (W/m²·K).

الموصلية الحرارية (K): خاصية المادة في نقل وتوصيل الحرارة. وحدة (K) هي (واط / م.ك) (W/m·K)
ملاحظة: الوحدة (واط / م.م) (W/m·°C) تعادل الوحدة (واط / م.ك) (W/m·K).

مؤشر الانعكاس الشمسي (SRI): مؤشر يقيس كلاً من الانعكاس الشمسي والانبعث الحراري من سطح غير نافذ، وله قيمة بين 0 و100.
الجدران: هي تلك الأجزاء من غلاف المبنى التي تكون عمودية أو مائلة بزاوية 30 درجة أو أقل من المستوى العمودي.

- **فوق مستوى الطابق الأرضي:** جميع الجدران الخارجية لأي طابق إذا كان ما مجموعه 50% أو أكثر من إجمالي مساحة الجدار الخارجي للطابق مُعرضاً للهواء الخارجي.
- **تحت مستوى الطابق الأرضي:** جميع الجدران الخارجية لأي طابق إذا كان ما مجموعه أكثر من 50% من إجمالي مساحة الجدار الخارجي تحت مستوى الطابق الأرضي.
- **الجدار الكلي:** جدار مبني من الخرسانة، أو خرسانة البناء، أو أسمنت العزل (ICF)، أو عوازل البناء، أو الطوب (باستثناء الطوب الأحمر)، أو التراب (الطوب النيء، أو قوالب التراب المضغوط، أو التراب المدكوك).

مدة درجة التبريد (CDD): هي طريقة لتحديد عدد الساعات السنوية التي تحتاج للتبريد.
الجسور الحرارية: هي أجزاء من هيكل المبنى الخارجي التي تفقد سماتها في مقاومة الحرارة وتختلف عن الأجزاء المحيطة بها.

المناطق

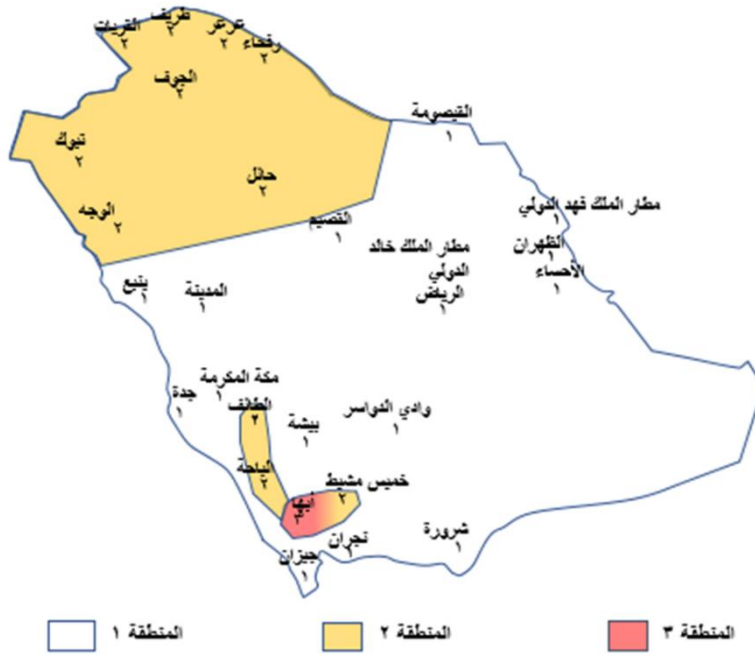
وضعت متطلبات معامل انتقال الحرارة (U-value) وفق تقسيم خريطة المملكة إلى ثلاثة مناطق مناخية (3 Climate Zones) حسب درجات CDD:

المنطقة (1) ، لدرجة التبريد (CDD) محسوبة عند 10 م⁰ أكبر من 5000 ساعة.

المنطقة (2) ، لدرجة التبريد (CDD) محسوبة عند 10 م⁰ أقل من أو يساوي 5000 ساعة وأكبر من 3500 ساعة.

المنطقة (3) ، أقل أو يساوي 3500 ساعة.

يوضح الرسم البياني توزيع المدن الرئيسية وفق المناطق المناخية:



رسم توضيحي 4: المناطق الحرارية لمدينة المملكة

المتطلبات

يتطرق هذا الدليل إلى عرض متطلبات وطريقة حساب أنظمة غلاف المبنى، ولإيضاح أهمية العزل الحراري وآلية التطبيق وإعطاء أمثلة على الأنظمة والممارسات السليمة المحققة للمتطلبات ولتجنب الأنظمة أو الممارسات الخاطئة.

يجب أن يتوافق تصميم العزل الحراري لغلاف المبنى مع اشتراطات كود البناء السعودي، ومن ضمن ذلك:

1. ألا تتجاوز مساحة نسق (القباب) 5% من مساحة الأسقف العلوية الإجمالية لكل فئة مساحة مُكيفة في المباني المشمولة بـ (كود 601) مع إمكانية زيادة مساحة القباب 6% وفق شروط محددة نص عليها الكود (الفقرة 5.5.4.2.2).

2. ألا تتجاوز مساحة نسق (القباب) 3% من مساحة الأسقف العلوية الإجمالية لكل فئة مساحة مُكيفة في المباني المشمولة بـ (كود 602).

3. ألا تتجاوز مساحة نسق النوافذ العمودية 25% من مساحة الجدران الخارجية الإجمالية لكل فئة مساحة مُكيفة في المباني المشمولة بـ (كود 602).

4. يجب أن تكون الجدران والأسقف الخارجية فاتحة اللون، بمؤشر انعكاس شمسي (SRI 0.5) فأكثر في المباني المشمولة بـ (كود 602) كلما زادت قيمة SRI كان اللون فاتحاً. وفي حال كان المعامل أقل من 0.5 (غامقاً)، تصبح قيمة المقاومة الحرارية (R) أكثر شدة بـ 15% (أو يُضرب معامل الانتقال الحراري معامل (U) بـ 0.875)، أي يُتطلب عزل حراري أكبر أو أكثر كثافة. لذا يُنصح باستخدام الألوان الفاتحة.

5. يجب أن يكون مُعامل الانتقال الحراري (U-Value) هو الأساس الذي يتم استخدامه لتحديد المتطلبات وإثبات الالتزام بالقوانين لجميع عناصر غلاف المبنى من سقف علوي وجدران خارجية ونوافذ وقباب وأبواب خارجية وفق جدول 5.1 في الكود السعودي 601 ووفق جدول 5.2 في الكود السعودي 602. ونستعرض في الجداول التالية بعض أهم القيم المذكورة بالكود (601-602)، (لمزيد من التفاصيل يرجع للكود (601-602)).

توضح الجداول أدناه قيم معامل الانتقال الحراري (U-Value) القصوى وقيم معامل المقاومة الحرارية (R-Value) الدنيا لبعض أجزاء غلاف المبنى. حيث يوضح (جدول 1) قيم معامل الانتقال الحراري (U-Value) للجدران الخارجية والسقف العلوي. ويوضح (جدول 2) قيم معامل

المقاومة الحرارية المساوية لمعامل الانتقال الحراري بشرط ان يكون العزل الحراري مستمرًا (C.I).

جدول 1: قيم معامل انتقال الحرارة (U) للجدران والاسطح

قيمة مُعامل (U) (مُعامل الانتقال الحراري) (W/m ² K)						الكود
منطقة 3		منطقة 2		منطقة 1		
أسطح	جدران	أسطح	جدران	أسطح	جدران	
0.397	0.698	0.340	0.591	0.272	0.511	601 غير سكني
	0.591		0.511		0.454	601 سكني
	0.511		0.454		0.403	602

جدول 2: قيم معامل المقاومة الحرارية (R) للجدران والاسطح

قيمة مُعامل (R) (مُعامل المقاومة الحرارية) (m ² .K/W)						الكود
منطقة 3		منطقة 2		منطقة 1		
أسطح	جدران	أسطح	جدران	أسطح	جدران	
2.38	1.34	2.80	1.67	3.54	1.81	601 غير سكني
	1.67		1.81		2.06	601 سكني
	1.81		2.06		2.36	602

كما توضح الجداول أدناه قيم معامل الانتقال الحراري (U- Value) القصوى للنوافذ والقباب. مع مُعامل الكسب الحراري الشمسي (%). وفي حال عدم توفر بيانات الخصائص الحرارية للمنتج من

قبل المصنّع، بالإمكان الاستدلال بالجدول المرفقة في (الملحق ب) لمعرفة قيم معامل الانتقال الحراري ومعامل الكسب الحراري الشمسي لأنظمة النوافذ والقباب.

جدول 3: قيم معامل انتقال الحرارة والكسب الشمسي للنوافذ

جميع المناطق المناخية		الكود
مُعامل الكسب الحراري الشمسي (%)	قيمة مُعامل (U) (W/m^2K)	
0.25	مساحة الواجهة اقل 40%: $U = 2.89$	601 غير سكني
	مساحة الواجهة بين 40% - 50%: $U = 2.38$	601 سكني
0.25	مساحة الواجهة أكبر 50%: $U = 1.87$	602

جدول 4: قيم معامل انتقال الحرارة والكسب الشمسي للقباب

جميع المناطق المناخية		الكود
مُعامل الكسب الحراري الشمسي (%)	قيمة مُعامل (U) (W/m^2K)	
0.35	$U = 4.259$	601 غير سكني
		601 سكني
		602

يوضح القسم التالي طرق حساب معامل الانتقال الحراري (U-Value) وكيفية استخدام المعادلات بالشكل الصحيح، ويستعرض أمثلة تفصيلية لطرق استخدام المعادلات ونتائج الحسابات لكل نظام بشكل مستقل حسب المعطيات والتفاصيل.

طرق حساب المتطلبات

يجب أن يكون مُعامل الانتقال الحراري (U-Value) هو الأساس الذي يتم استخدامه لتحديد المتطلبات وإثبات الالتزام بالقوانين لجميع عناصر غلاف المبنى من سقف علوي وجدران خارجية ونوافذ وقباب وأبواب خارجية. وتعتمد جميع تصاميم مُعامل (U) على تناسب الهواء داخل وخارج المبنى (air-to-air)، بما في ذلك الأغشية الهوائية الداخلية والخارجية. ويجب أن يتم حساب تصميم معامل (U) بما يتوافق مع الإجراءات الواردة في كود البناء السعودي. حيث يتم حساب متطلبات الكود من خلال:

1. تحقيق الحد الأدنى لقيم المقاومة الحرارية (R) بشرط استمرارية العزل الحراري.

2. تحقيق الحد الأعلى لمعامل الانتقال الحراري (U) لكامل الغلاف.

وذلك حسب التفصيل التالي:

أولاً: تحقيق الحد الأدنى لقيم المقاومة الحرارية (R) مباشرة إذا كان النظام المستخدم نظام متجانس والعزل الحراري متصل (عناصر مكونات الغلاف عبارة عن طبقات تغطي كافة أجزاء الغلاف)، ويمكن الحصول على قيمة المقاومة الحرارية من الجداول المعرفة في الكود لأنظمة الشائعة أو من خلال الخصائص الحرارية المعلنة من قبل المصنِّع (الموصلية الحرارية او المقاومة الحرارية) من خلال المعادلة التالية:

معادلة 1: معادلة حساب معامل المقاومة الحرارية

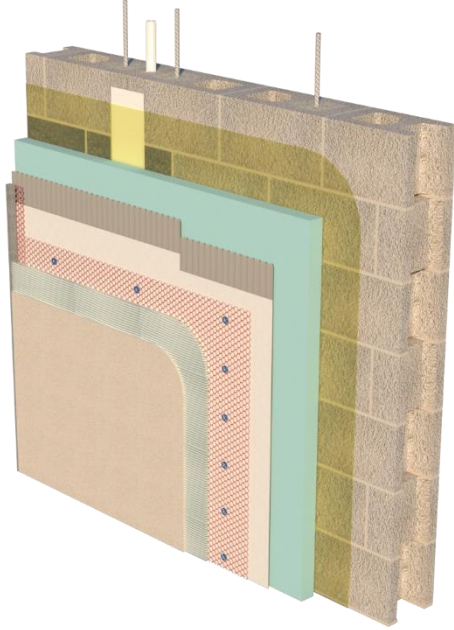
$$R = \frac{X}{K}$$

حيث:

- R = المقاومة الحرارية للطبقة في النظام بوحدة م².كلفن / واط (m².K/W)
- X = سماكة الطبقة في النظام بوحدة المتر (m)
- K = الموصلية الحرارية بوحدة واط / م.كلفن (W/m.K)

مثال جميع الأمثلة استرشادية بهدف توضيح آلية حساب كل طريقة.

لدي خيار تصميم جدار خارجي مع عزل متصل بسماكة 7.5 سم مع موصلية حرارية (K) 0.03 (W/m.k) مُزوَّدة من قبل المصنع. هل النظام محقق لمتطلبات الكود السعودي للعزل الحراري؟



رسم توضيحي 5: نظام جدار بعزل خارجي مستمر

حسب المتطلبات، يمكن التحقق من توافق النظام مع كود البناء من خلال تحليل النظام عبر طريقة الموصلية الحرارية اذا كان العزل الحراري مستمرًا. ومن خلال المعادلة 1، يمكن حساب قيمة R. حيث X هي السماكة (متر) و K هي الموصلية الحرارية.

$$R = \frac{X}{K} = \frac{0.075}{0.03} = 2.5 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$$

حُسب معامل المقاومة الحرارية كما هو موضح أعلاه بقيمة 2.5 (C.1) م² كلفن / واط وهي قيمة مطابقة لمتطلبات الكود السعودي لكفاءة الطاقة في جميع المناطق.

جدول 5: نتيجة حساب معامل الانتقال الحراري للجدار مع العزل الخارجي

منطقة 3	منطقة 2	منطقة 1	الكود
مطابق ✓	مطابق ✓	مطابق ✓	601 غير سكني
مطابق ✓	مطابق ✓	مطابق ✓	601 سكني
مطابق ✓	مطابق ✓	مطابق ✓	602

ثانيًا: تحقيق الحد الأعلى لمعامل الانتقال الحراري (U) لكامل الغلاف حيث تختلف طرق حساب معامل الانتقال الحراري حسب مكونات النظام وتعقيده. وتعتبر الطريقة الأساسية للحساب هي طريقة المسار الموازي - Parallel Path Method من خلال المعادلة التالية:

معادلة 2: معادلة المسار الموازي Parallel Path Method

$$U = \frac{(U_1 \times A_1) + (U_2 \times A_2) + \dots + (U_n \times A_n)}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

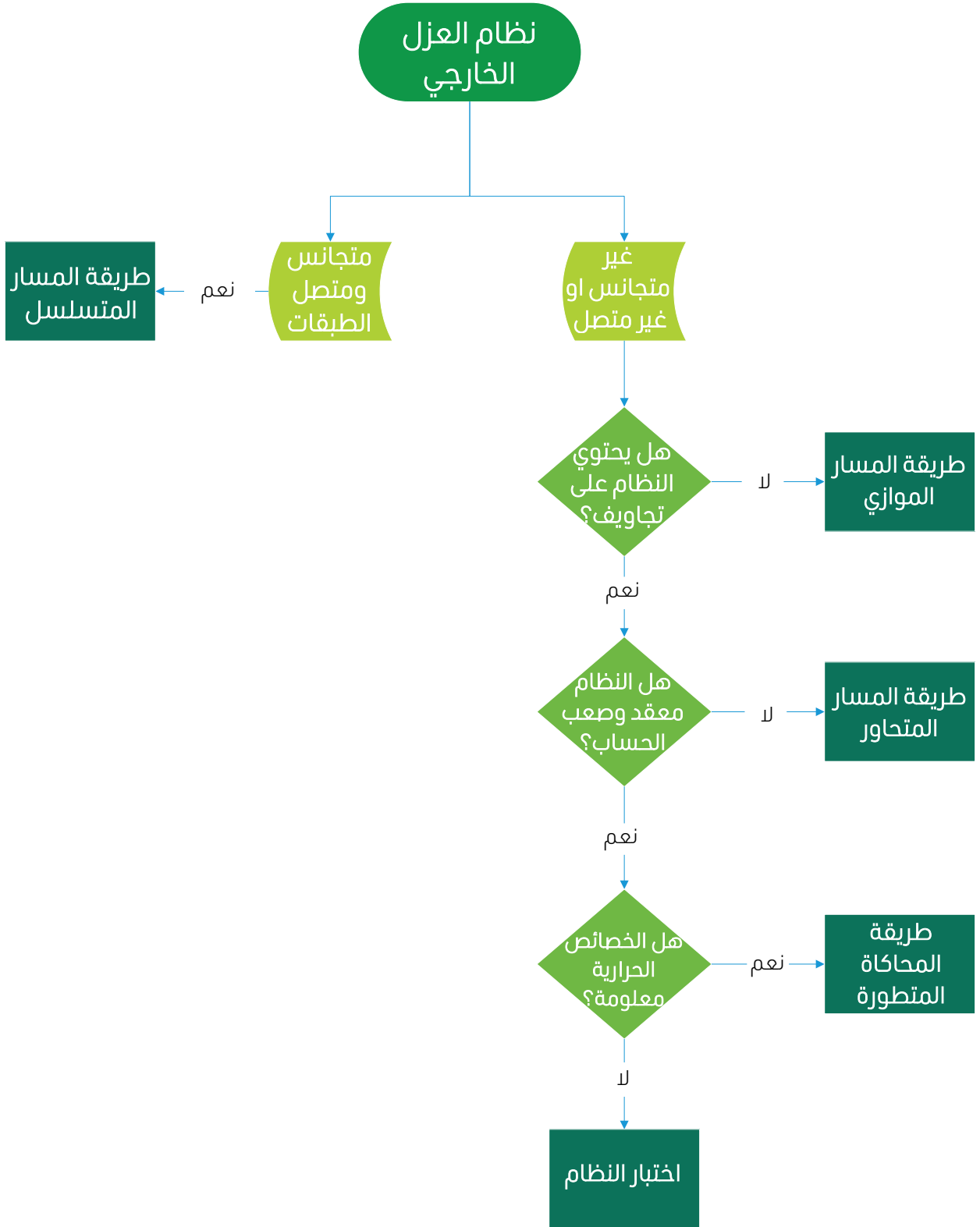
حيث:

- U = معامل الانتقال الحراري لكامل النظام (W/m².K)
- U₁ = معامل الانتقال الحراري للتجمع الأول (W/m².K)
- U₂ = معامل الانتقال الحراري للتجمع الثاني (W/m².K)
- U_n = معامل الانتقال الحراري للتجمع الأخير (W/m².K)
- A₁ = مساحة الوجه للتجمع الأول (W/m².K)
- A₂ = مساحة الوجه للتجمع الثاني (W/m².K)
- A_n = مساحة الوجه للتجمع الأخير (W/m².K)

وفي حال تعذر استخدام الطريقة الرئيسية (طريقة المسار الموازي) فهناك (5) طرق بديلة يمكن استخدامها وفقًا للبندين UM 5.4.3.9 و UM 5.9.3.6 من الكود السعودي (601-602) وهي كما يلي:

1. طريقة المسار التسلسلي Series Calculation Method
2. طريقة المسار المتحاور Isothermal Path Method
3. طريقة المحاكاة المتطورة ثنائية الأبعاد (Advance Two-Dimensional Method Simulation)
4. طريقة المنطقة المتطورة Modified Zone Method
5. إجراء اختبار في المختبر Laboratory Test

يوضح الرسم البياني التالي التسلسل المنطقي لكيفية التعامل مع الأنظمة لحساب قيمة معامل الانتقال الحراري.



رسم توضيحي 6: الرسم التوضيحي لمعرفة اختيار طريقة حساب معامل الانتقال الحراري

يوضح الجدول التالي الطرق البديلة المقبولة لحساب معامل الانتقال الحراري حسب الأنظمة

جدول 6: طرق الحساب البديلة المقبولة حسب الأنظمة

طرق الحساب المقبولة					النظام
الاختبار	المحاكاة المتطورة	المنطقة المتطورة	المسار المتحاور	المسار المتسلسل	
☑	☑			☑	سطح مع طبقة عازلة مستمرة
☑	☑	☑	(1) ☑		علية من جسور حديدية الصغيرة (Attic steel joists)
☑	☑		(3) ☑	(2) ☑	علية من جسور خرسانية الصغيرة (concrete joists)
☑	☑		☑		جدار خارجي
☑	☑	☑	(1) ☑		جدار بإطار حديدي
☑	☑		☑		جدار خارجي (تحت مستوى سطح الأرض)
☑	☑		(3) ☑	(2) ☑	بلاطة الأدوار (Floors)
☑	☑	☑	(1) ☑		جسور حديدية صغيرة للأدوار Steel-Joist Floors
	☑				بلاطة الدور الأرضي (Slab-on-grade)

- (1) يجب أن تكون طبقات العزل متوافقة مع جدولي A9.2A و A9.2B في الملحق A في الكود
(2) يجب أن تكون الخرسانة متماثلة ومتجانسة
(3) تستخدم الطريقة عندما يحتوي النظام على تجايف.

الطريقة الرئيسية: طريقة المسار الموازي- Parallel Path Method

تستخدم هذه الطريقة عندما يكون نظام السطح الخارجي أو الجدران الخارجية غير متجانس أو معقد الطبقات، أو غير متصل الطبقات وتتخلله الجسور الحرارية والتعرجات، وتحسب هذه الطريقة استخدام المعادلة التالية:

معادلة 3: معادلة المسار الموازي Parallel Path Method

$$U = \frac{(U_1 \times A_1) + (U_2 \times A_2) + \dots + (U_n \times A_n)}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

حيث:

U = معامل الانتقال الحراري لكامل النظام ($W/m^2.K$)

U_1 = معامل الانتقال الحراري للتجمع الأول ($W/m^2.K$)

U_2 = معامل الانتقال الحراري للتجمع الثاني ($W/m^2.K$)

U_n = معامل الانتقال الحراري للتجمع الأخير ($W/m^2.K$)

A_1 = مساحة الوجه للتجمع الأول ($W/m^2.K$)

A_2 = مساحة الوجه للتجمع الثاني ($W/m^2.K$)

A_n = مساحة الوجه للتجمع الأخير ($W/m^2.K$)

مثال جميع الأمثلة استرشادية بهدف توضيح آلية حساب كل طريقة.



رسم توضيحي 7: جدار من البلوك المحشو بمادة العزل الحراري

والمثال التالي يوضح كيفية حساب معامل الانتقال باستخدام طريقة المسار الموازي - Parallel Path

مثال: لدي جدار خارجي مكون من البلوك (الطوب) الخرساني المحشو بمادة عزل حراري، هل يحقق هذا الجدار متطلبات الكود؟

الجواب:

لمعرفة ذلك يجب أولاً حساب قيمة الموصلية الحرارية لهذا النظام؟

وللعلم عندما تكون طبقات النظام

1. غير متجانسة

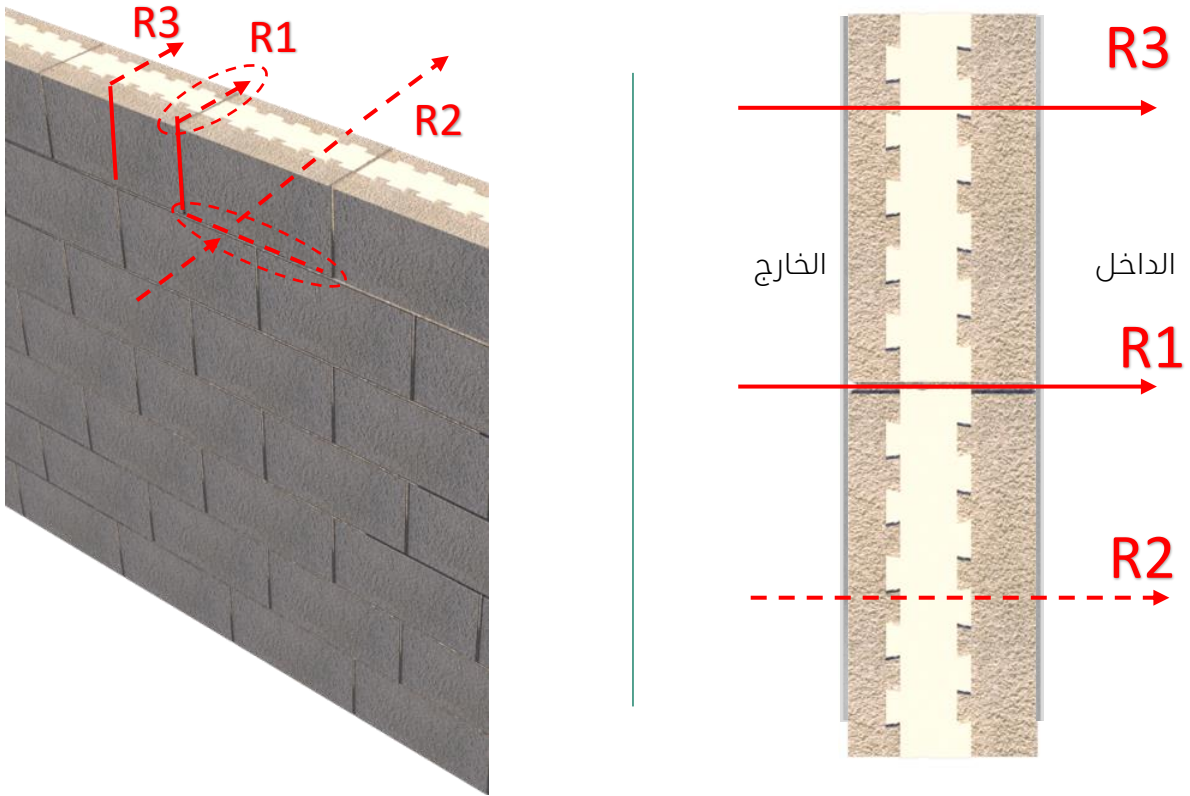
2. وغير متصلة

يتم حساب قيمة الموصلية الحرارية بطريقة المسار المتوازي Parallel Path Method.

أي أنه يتم حساب معامل الانتقال الحراري لكل مسار على حده ويتم حساب المتوسط الحسابي للمعامل حسب الحجم والمساحة لكل مسار. ويمثل الرسم البياني أدناه المسارات الحرارية المنطبقة على هذا النظام وهي 3 مسارات وجميعها مختلفة لاختلاف المقاومة الحرارية لكل مسار.

تساؤل: لماذا يوجد ثلاث مسارات لانتقال الحرارة في هذا النظام؟

الجواب: بسبب وجود المونة العمودية والأفقية بين وحدات الطوب (البلوك) مما يؤدي إلى انقطاع العزل الحراري المحشو في البلوك ويسبب في وجود جسور حرارية حيث أن الحرارة سوف تجد طريقها من المناطق الحارة في الخارج إلى داخل المبنى عبر المونة العمودية والأفقية مما يقلل من كفاءة العزل الحراري في النظام بشكل كامل.



رسم توضيحي 8: مقطع داخلي للواجهة الرأسية (يمين)، مقطع ثلاثي الأبعاد لكامل النظام (يسار)

ملاحظة تم إزالة اللياسة الخارجية في الرسم ثلاثي الأبعاد للنظام لتوضيح المسارات الحرارية حيث

- المسار الأول R1 هو المسار الحراري من خلال المونة ما بين وحدتي البلوك العمودية
- المسار الثاني R2 هو المسار الحراري من خلال المونة ما بين وحدتي البلوك الأفقية
- المسار الثالث R3 هو المسار الحراري من خلال وحدة البلوك.

ولحساب قيمة الموصلية الحرارية لكامل النظام يتم حساب الموصلية الحرارية لكل مسار على حدة ويتم اعتبار المتوسط الموزون (Weighted Average) للنظام كاملاً كما هو موضح في الجداول التالية:

جدول 7: المقاومة الحرارية للمسار الحراري رقم 1

المقاومة الحرارية (m ² .K/W)	السماكة (cm)	الموصلية الحرارية (²) K (W/m.K)	مساحة الوجه (cm ²)	الطبقة
0.030			20 X 2 X 1.5 = 60 cm ² = 0.006 m ²	الهواء الخارجي (1)
0.015	1.5	1.0		لياسة خارجية
0.2	20	1.0		مونة
0.015	1.5	1.0		لياسة داخلية
0.120				الهواء الداخلي (1)
(m ² .K/W) 0.38				مجموع المقاومة الحرارية للمسار ΣR 1

جدول 8: المقاومة الحرارية للمسار الحراري رقم 2

المقاومة الحرارية (m ² .K/W)	السماكة (cm)	الموصلية الحرارية (²) K (W/m.K)	مساحة الوجه (cm ²)	الطبقة
0.030			43 X 2 X 1.5 = 129 cm ² = 0.0129 m ²	الهواء الخارجي (1)
0.015	1.5	1.0		لياسة خارجية
0.2	20	1.0		مونة
0.015	1.5	1.0		لياسة داخلية
0.120				الهواء الداخلي (1)
(m ² .K/W) 0.38				مجموع المقاومة الحرارية للمسار ΣR 2

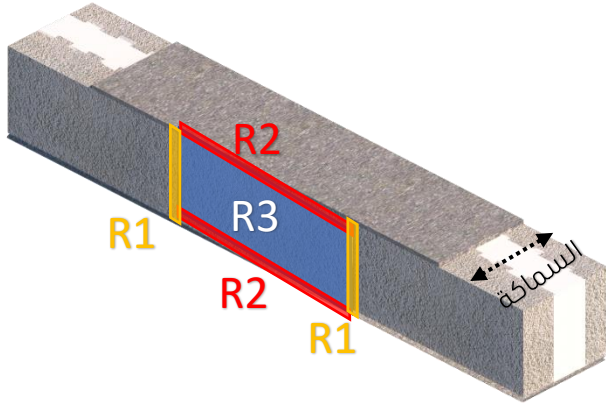
جدول 9: المقاومة الحرارية للمسار الحراري رقم 3

المقاومة الحرارية (m ² .K/W)	السماكة (cm)	الموصلية الحرارية (²) K (W/m.K)	مساحة الوجه (cm ²)	الطبقة
0.030			40 X 20 = 800 cm ² = 0.08 m ²	الهواء الخارجي (1)
0.015	1.5	1.0		لياسة خارجية
0.038235	6.5	1.7		البلوك الخرساني
1.756757	6.5	0.037		العزل الحراري (3)
0.041176	7	1.7		البلوك الخرساني
0.015	1.5	1.0		لياسة داخلية
0.120				الهواء الداخلي (1)
(m ² .K/W) 2.0162				مجموع المقاومة الحرارية للمسار ΣR 3

- (1) المقاومة الحرارية للهواء الداخلي والخارجي حسب النظام الإنشائي (انظر الملحق ج).
(2) الموصلية الحرارية تعتمد على خصائص المواد المصنعة (انظر الملحق أ) لمعرفة الموصلية الحرارية لأغلب المواد المتعلقة بالبناء.
(3) قيمة الموصلية الحرارية للعزل الحراري تُعلن من قبل المُصنِّع (Rated declared) على حسب نوع المادة وكثافتها أو تحسب من خلال الجدول في الملحق أ.
(4) يجب استعمال الـ(م) بدل الـ(سم) ومساحة الوجه بالـ(م²) عند التعويض في معادلة رقم 2.

وكما هو موضح في المقطع الهندسي لنظام الجدار الخرساني المحشو بطبقة عازلة المساحة المحددة للمسار وهي المساحات الملونة والسماكة لكامل الجدار.

حيث



- اللون الأصفر للمسار الحراري R1 وهي للمونة العمودية
- اللون الأحمر للمسار الحراري R2 وهي للمونة الأفقية
- اللون الأزرق للمسار الحراري R3 وهي لوحدة البلوك

رسم توضيحي 9: مقطع ثلاثي الأبعاد للبلوك المحشو بمادة عزل حراري

مجموع المقاومة الحرارية للمسار 1

$$(m^2.K/W) 0.38 = 0.12 + 0.015 + 0.2 + 0.015 + 0.030 = \Sigma R1$$

$$U_1 = \frac{1}{\Sigma R1} = \frac{1}{0.38} = 2.6316 (W/m^2.K)$$

مساحة الوجه تحسب = عرض المونة العمودية X طول المونة العمودية X الجهتين (2)

$$A_1 = 1.5 \text{ سم} \times 20 \text{ سم} \times 2 = 60 \text{ سم}^2 = 0.006 \text{ م}^2$$

مجموع المقاومة الحرارية للمسار 2

$$(m^2.K/W) 0.38 = 0.12 + 0.015 + 0.2 + 0.015 + 0.030 = \Sigma R2$$

$$U_2 = \frac{1}{\Sigma R1} = \frac{1}{0.38} = 2.6316 (W/m^2.K)$$

مساحة الوجه تحسب = عرض المونة الأفقية X طول المونة الأفقية X الجهتين (2)

$$A_2 = 1.5 \text{ سم} \times 43 \text{ سم} \times 2 = 129 \text{ سم}^2 = 0.0129 \text{ م}^2$$

مجموع المقاومة الحرارية للمسار 3

$$(m^2.K/W) 2.016 = 0.12 + 0.015 + 0.041176 + 1.756757 + 0.038235 + 0.015 + 0.030 = \Sigma R3$$

$$U_3 = \frac{1}{\Sigma R1} = \frac{1}{2.016} = 0.49599 (W/m^2.K)$$

بينما مساحة الوجه تحسب كالتالي = عرض وحدة X طول وحدة البلوك

$$A_3 = 20 \text{ سم} \times 40 \text{ سم} = 800 \text{ سم}^2 = 0.08 \text{ م}^2$$

يحسب معامل الانتقال الحراري الموزون حسب معادلة المسار المتوازي Parallel Path.

$$U = \frac{(U_1 \times A_1) + (U_2 \times A_2) + (U_3 \times A_3)}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$U = \frac{(2.6316 \times 0.006) + (2.6316 \times 0.012) + (0.49599 \times 0.08)}{0.006 + 0.0129 + 0.08}$$

$$U = 0.9041 \text{ (W/m}^2\text{.K)}$$

حُسب معامل الانتقال الحراري كما هو موضح أعلاه بقيمة **0.9041** واط / م² كلفن وهي قيمة **غير مطابقة** لمتطلبات الكود السعودي لكفاءة الطاقة في جميع المناطق.

جدول 10: نتيجة حساب معامل الانتقال الحراري للبلوك الخرساني المحشو

منطقة 3	منطقة 2	منطقة 1	الكود
غير مطابق ❌	غير مطابق ❌	غير مطابق ❌	601 غير سكني
غير مطابق ❌	غير مطابق ❌	غير مطابق ❌	601 سكني
غير مطابق ❌	غير مطابق ❌	غير مطابق ❌	602

وفيما يلي، سيتم استعراض وشرح الطرق البديلة لمعامل الانتقال الحراري:

طريقة المسار التسلسلي Series Calculation Method

تستخدم هذه الطريقة عندما يكون نظام السطح الخارجي أو الجدران الخارجية متجانس، متصل طبقاته وخالي من أي جسور حرارية أو تعرجات، وتحسب هذه الطريقة حسب المعادلات الآتية:

معادلة 4: معادلات المسار التسلسلي Series Calculation Method

$$\Sigma R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

$$R = \frac{X}{K}$$

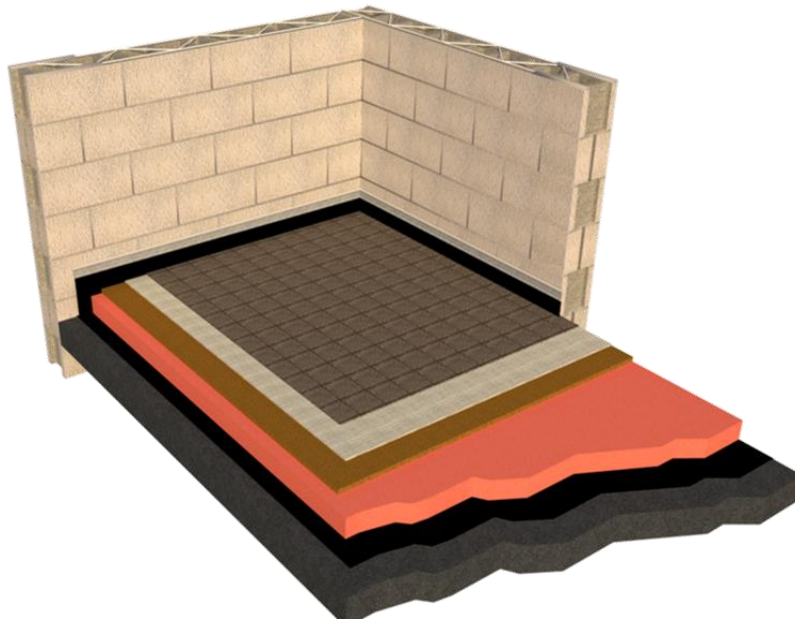
$$U = \frac{1}{\Sigma R}$$

حيث

- U = معامل الانتقال الحراري للنظام بوحدة واط / م². كلفن (W/m².K)
- R = المقاومة الحرارية للطبقة في النظام بوحدة م². كلفن / واط (m².K/W)
- X = سماكة الطبقة في النظام بوحدة المتر (m)
- K = الموصلية الحرارية بوحدة واط / م. كلفن (W/m.K)

أمثلة: جميع الأمثلة استرشادية بهدف توضيح آلية حساب كل طريقة

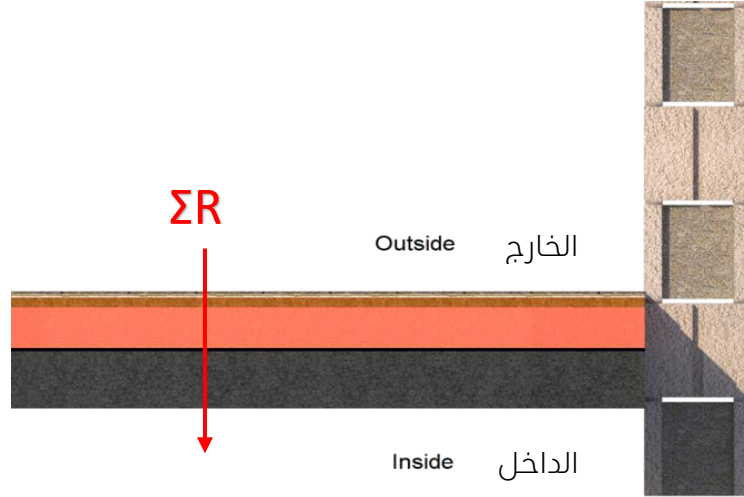
مثال 1: لدي سطح علوي بطبقة عزل حراري مقدارها 6 سم، وتفصيل طبقات السطح كما بالرسم التوضيحي



رسم توضيحي 10: مقطع ثلاثي الأبعاد للسطح الخارجي للمبنى

كيف يتم حساب قيمة معامل الانتقال الحراري لهذا النظام؟

عندما تكون طبقات النظام للقسم الإنشائي الخارجي متجانسة ومتصلة، يتم حساب قيمة الموصلية الحرارية بطريقة المسار التسلسلي (التوالي) Series Calculation Method وطريقة حسابها كالآتي:



رسم توضيحي 11: مقطع ثنائي ابعاد للسطح الخارجي للمبنى في مثال 1 توضيحيًا لطبقات النظام

جدول 11: جدول حساب معامل الانتقال الحراري للسطح الخارجي

المقاومة الحرارية ($m^2 \cdot K/W$)	السماكة (سم) (cm) ⁽⁴⁾	الموصلية الحرارية ($W/m \cdot K$) ⁽²⁾	الكثافة (kg/m^3)	الطبقة
0.030				الهواء الخارجي ⁽¹⁾
0.009	1	1.1	1900	بلاط السطح
0.013	2	1.5	1900	خلطة اسمنتية (مونة للبلاط)
0.067	2	0.3	1500	رمل
2.143	6	0.028 ⁽³⁾	36	مادة العزل الحراري
0.059	1	0.17	1100	بيثيومين (العزل المائي)
0.118	20	1.7	2300	خرسانة إنشائية مسلحة
0.013	2	1.5	1900	لياسة داخلية
0.170				الهواء الداخلي ⁽¹⁾
($m^2 \cdot K/W$) 2.623				مجموع المقاومة الحرارية ΣR

- (1) المقاومة الحرارية للهواء الداخلي والخارجي حسب النظام الإنشائي (انظر الملحق ج).
- (2) الموصلية الحرارية تعتمد على خصائص المواد المصنعة (انظر الملحق أ) لمعرفة الموصلية الحرارية لأغلب المواد المتعلقة بالبناء.
- (3) قيمة الموصلية الحرارية للعزل الحراري تُعلن من قبل المُصنِّع (Rated declared) على حسب نوع المادة وكثافتها أو تحسب من خلال الجدول في الملحق أ.
- (4) يجب استعمال (م) بدل ال(سم) ومساحة الوجه بال(م²) عند التعويض في معادلة رقم 3.

مجموع المقاومة الحرارية

$$(m2.K/W) 2.623 = 0.170 + 0.013 + 0.118 + 0.059 + 2.143 + 0.067 + 0.013 + 0.009 + 0.030 = \Sigma R$$

$$U = \frac{1}{\Sigma R} = \frac{1}{2.623} = 0.3814 (W/m2.K)$$

حُسب معامل الانتقال الحراري كما هو موضح أعلاه بقيمة **0.3814** واط / م² كلفن وهي قيمة مطابقة لمتطلبات الكود السعودي لكفاءة الطاقة في منطقة 3.

جدول 12: نتيجة حساب معامل الانتقال الحراري للسطح الخارجي حسب تطبيقه في الكود السعودي

منطقة 3	منطقة 2	منطقة 1	الكود
 مطابق	 غير مطابق	 غير مطابق	601 غير سكني
			601 سكني
			602

بعد إيضاح أن معامل الانتقال الحراري المحسوب لا يحقق متطلبات الكود للمنطقة 1 والمنطقة 2 بسبب تجاوز القيمة (0.272 و 0.340 (m².K/W)،

ما هي الحلول المقترحة ليصبح النظام مطابقاً؟

العنصر الأكثر فعالية في تحسين المقاومة الحرارية للنظام هو مادة العزل الحراري كما وُضح في الأقسام السابقة. ولتحقيق متطلبات الكود يجب أن تكون المقاومة الحرارية أكبر. ويمكن تحقيق ذلك من خلال ما يلي:

1. زيادة سماكة العزل الحراري
2. أو استخدام نفس مادة العزل الحراري بكثافة أعلى (زيادة الكثافة يزيد المقاومة الحرارية).
3. أو تغيير مادة العزل الحراري بخصائص حرارية أفضل. (موصلية حرارية Kمنخفضة)

مثال: زيادة سماكة مادة العزل الحراري، زيادة 3 سم للعزل الحراري على نفس الخصائص في المثال السابق يحقق متطلبات الكود في جميع المناطق لتصبح آلية الحساب كالآتي:

جدول 13: جدول حساب معامل الانتقال الحراري للسطح الخارجي بعد اضافة 3 سم

المقاومة الحرارية (m ² .K/W)	السماكة (سم) (4) (cm)	الموصلية الحرارية (²) K (W/m.K)	الكثافة (kg/m ³)	الطبقة
0.030				الهواء الخارجي (1)
0.009	1	1.1	1900	بلاط السطح
0.013	2	1.5	1900	خلطة اسمنتية (مونة للبلاط)
0.067	2	0.3	1500	رمل
3.214	9	0.028 (3)	36	مادة العزل الحراري
0.059	1	0.17	1100	بيثيومين (العزل المائي)
0.118	20	1.7	2300	خرسانة إنشائية مسلحة
0.013	2	1.5	1900	لياسة داخلية
0.170				الهواء الداخلي (1)
(m².K/W) 3.693				مجموع المقاومة الحرارية ΣR

- (1) المقاومة الحرارية للهواء الداخلي والخارجي حسب النظام الإنشائي (انظر الملحق ج).
(2) الموصلية الحرارية تعتمد على خصائص المواد المصنعة (انظر الملحق أ) لمعرفة الموصلية الحرارية لأغلب المواد المتعلقة بالبناء.
(3) قيمة الموصلية الحرارية للعزل الحراري تُعلن من قبل المُصنِّع (Rated declared) على حسب نوع المادة وكثافتها أو تحسب من خلال الجدول في الملحق أ.
(4) يجب استعمال ال(م) بدل ال(سم) ومساحة الوجه بال(م2) عند التعويض في معادلة رقم 3.




مجموع المقاومة الحرارية

$$(m^2.K/W)3.693 = 0.170 + 0.013 + 0.118 + 0.059 + 3.214 + 0.067 + 0.013 + 0.009 + 0.030 = \Sigma R$$

$$U = \frac{1}{\Sigma R} = \frac{1}{3.693} = 0.270 (W/m^2.K)$$

حُسب معامل الانتقال الحراري كما هو موضح أعلاه بقيمة **0.270** واط / م² كلفن وهي قيمة مطابقة لمتطلبات الكود السعودي لكفاءة الطاقة في جميع المناطق.

جدول 14: نتيجة حساب معامل الانتقال الحراري للسطح الخارجي بعد اضافة 3 سم

منطقة 3	منطقة 2	منطقة 1	الكود
مطابق 	مطابق 	مطابق 	601 غير سكني
			601 سكني
			602

مثال: استخدام نفس مادة العزل الحراري بكثافة أعلى، نستخدم مادة عزل حراري أخرى بكثافة أعلى (42 كلغم/م³) بدلاً عن الكثافة السابقة (36 كلغم/م³) مع تثبيت السماكة (6 سم) على نفس النظام في نفس المثال كما هو موضح بالجدول 10:

جدول 15: جدول حساب معامل الانتقال الحراري للسطح الخارجي بعد تكثيف العزل الحراري إلى 42 كلغم/م³

المقاومة الحرارية (m ² .K/W)	السماكة (سم) (4) (cm)	الموصلية الحرارية (2) K (W/m.K)	الكثافة (kg/m ³)	الطبقة
0.030				الهواء الخارجي (1)
0.009	1	1.1	1900	بلاط السطح
0.013	2	1.5	1900	خلطة اسمنتية (مونة للبلاط)
0.067	2	0.3	1500	رمل
2.5	6	0.024 (3)	42	مادة العزل الحراري
0.059	1	0.17	1100	بيتيومين (العزل المائي)
0.118	20	1.7	2300	خرسانة إنشائية مسلحة
0.013	2	1.5	1900	لياسة داخلية
0.170				الهواء الداخلي (1)
(m ² .K/W) 2.979				مجموع المقاومة الحرارية ΣR

- (1) المقاومة الحرارية للهواء الداخلي والخارجي حسب النظام الإنشائي (انظر الملحق ج).
 (2) الموصلية الحرارية تعتمد على خصائص المواد المصنعة (انظر الملحق أ) لمعرفة الموصلية الحرارية لأغلب المواد المتعلقة بالبناء.
 (3) قيمة الموصلية الحرارية للعزل الحراري تُعلن من قبل المُصنِّع (Rated declared) على حسب نوع المادة وكثافتها أو تحسب من خلال الجدول في الملحق أ.
 (4) يجب استعمال ال(م) بدل ال(سم) ومساحة الوجه بال(م2) عند التعويض في معادلة رقم 3.




مجموع المقاومة الحرارية

$$(m^2.K/W) 2.979 = 0.170 + 0.013 + 0.118 + 0.059 + 2.5 + 0.067 + 0.013 + 0.009 + 0.030 = \Sigma R$$

$$U = \frac{1}{\Sigma R} = \frac{1}{2.979} = 0.3357 (W/m^2.K)$$

حُسب معامل الانتقال الحراري كما هو موضح أعلاه بقيمة 0.3357 واط / م² كلفن وهي قيمة مطابقة لمتطلبات الكود السعودي لكفاءة الطاقة في منطقة 2 ومنطقة 3 وغير مطابق لمتطلبات المنطقة 1.

جدول 16: نتيجة حساب معامل الانتقال الحراري للسطح الخارجي بعد تخفيف العزل الحراري 6 كلغم/ م³

منطقة 3	منطقة 2	منطقة 1	الكود
مطابق 	مطابق 	غير مطابق 	601 غير سكني
			601 سكني
			602

مثال: تغيير مادة العزل الحراري بخصائص حرارية أفضل، نستخدم مادة عزل حراري أخرى بخصائص حرارية مختلفة، حيث تم اختيار مادة ذات موصلية حرارية منخفضة عن المادة السابقة مع تثبيت السماكة على نفس المثال السابق الموضح بالجدول 10

حيث تم استخدام مادة عزل حراري بسماكة 6 سم و موصلية حرارية 0.020 (W/m.K)

جدول 17: جدول حساب معامل الانتقال الحراري للسطح الخارجي بعد تغيير مادة العزل الحراري

الطبقة	الكثافة (kg/m ³)	الموصلية الحرارية (W/m.K) (2)	السماكة (سم) (4) (cm)	المقاومة الحرارية (m ² .K/W)
الهواء الخارجي (1)				0.030
بلاط السطح	1900	1.1	1	0.009
خلطة اسمنتية (مونة للبلاط)	1900	1.5	2	0.013
رمل	1500	0.3	2	0.067
مادة العزل الحراري	35	0.020 (3)	6	3
بيتيومين (العزل المائي)	1100	0.17	1	0.059
خرسانة إنشائية مسلحة	2300	1.7	20	0.118
لياسة داخلية	1900	1.5	2	0.013
الهواء الداخلي (1)				0.170
مجموع المقاومة الحرارية ΣR				3.479 (m ² .K/W)

- (1) المقاومة الحرارية للهواء الداخلي والخارجي حسب النظام الإنشائي (انظر الملحق ج).
- (2) الموصلية الحرارية تعتمد على خصائص المواد المصنعة (انظر الملحق أ) لمعرفة الموصلية الحرارية لأغلب المواد المتعلقة بالبناء.
- (3) قيمة الموصلية الحرارية للعزل الحراري تُعلن من قبل المُصنِّع (Rated declared) على حسب نوع المادة وكثافتها أو تحسب من خلال الجدول في الملحق أ.
- (4) يجب استعمال ال(م) بدل ال(سم) ومساحة الوجه بال(م²) عند التعويض في معادلة رقم 3.

مجموع المقاومة الحرارية

$$(m^2.K/W)3.479 = 0.170 + 0.013 + 0.118 + 0.059 + 3.0 + 0.067 + 0.013 + 0.009 + 0.030 = \Sigma R$$

$$U = \frac{1}{\Sigma R} = \frac{1}{3.479} = 0.287 (W/m^2.K)$$

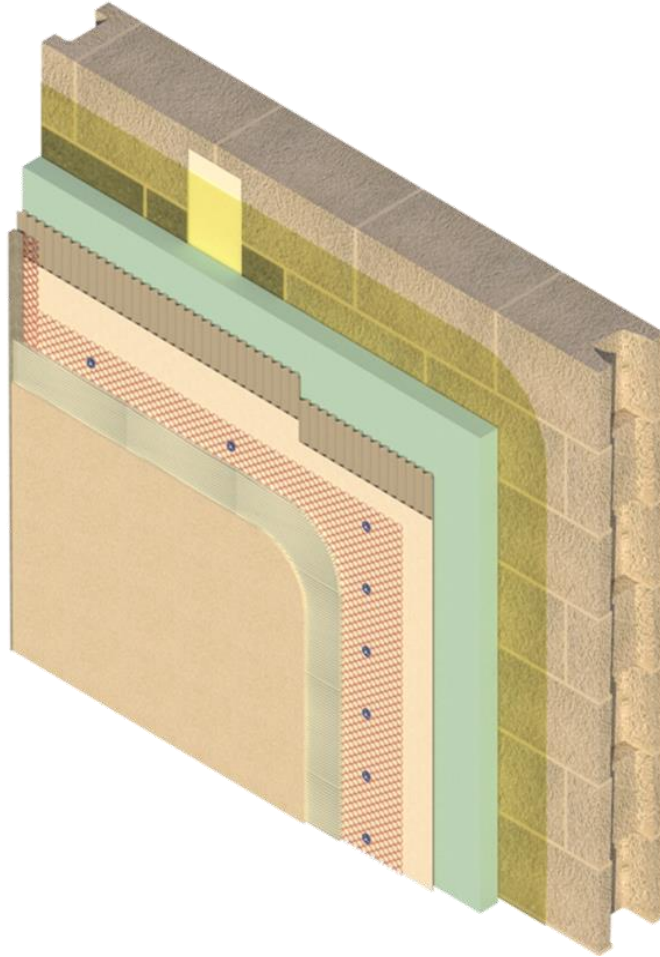
حُسب معامل الانتقال الحراري كما هو موضح أعلاه بقيمة **0.287** واط / م² كلفن وهي قيمة مطابقة لمتطلبات الكود السعودي لكفاءة الطاقة في منطقة 2 ومنطقة 3 وغير مطابق لمتطلبات المنطقة 1.

جدول 18: نتيجة حساب معامل الانتقال الحراري للسطح الخارجي بعد تكثيف العزل الحراري 6 كلغم/ م³

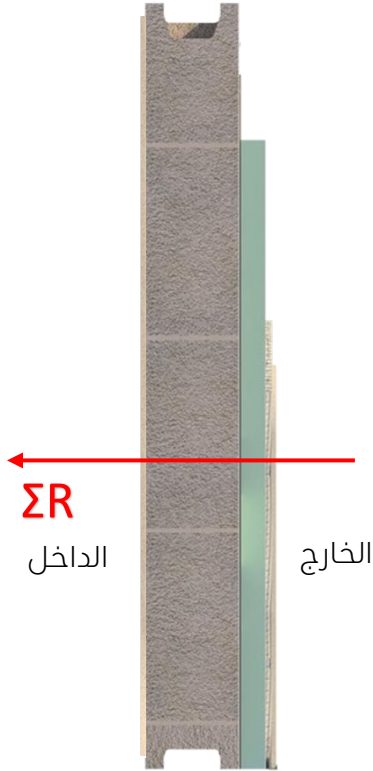
منطقة 3	منطقة 2	منطقة 1	الكود
 مطابق	 مطابق	 غير مطابق	601 غير سكني
			601 سكني
			602

أمثلة: جميع الأمثلة استرشادية بهدف توضيح آلية حساب كل طريقة

مثال 2: تم تصميم حائط باستخدام ألواح عزل حراري خارجية مستمرة، هل هذا النظام مناسب ويحقق متطلبات الكود السعودي؟



رسم توضيحي 12: مقطع هندسي لجدار مع طبقة مستمرة من العزل خارجي



رسم توضيحي 13: مقطع عرضي للجدار

كما هو موضح بالرسم الهندسي أن طبقات الجدار الخارجي مستمرة ومتجانسة مع بعضها البعض دون أي تجاوز أو فراغات أو انقطاعات لمادة العزل الحراري.

وبالتالي يتم حساب معامل الانتقال الحراري (U) بالطريقة المتسلسلة كما هو موضح بالجدول التالي:

جدول 19: جدول حساب معامل الانتقال الحراري للجدار مع العزل الخارجي

المقاومة الحرارية (m ² .K/W)	السماكة (سم) (cm) ⁽⁴⁾	الموصلية الحرارية (K (W/m.K) ⁽²⁾	الكثافة (kg/m ³)	الطبقة
0.030				الهواء الخارجي ⁽¹⁾
0.028	2	0.72	1856	طلاء خارجي بروفيل
0.000	0.01	1	-	طلاء أساس
0.010	1	1	-	شبكة لياقة
0.001	0.05	1	-	طبقة تصريف مياه
2.273	5	0.022	32	مادة العزل الحراري ⁽²⁾
0.003	0.05	0.2	-	طبقة مضادة للأبخرة والرطوبة
0.088	15	1.7	2160	بلوك خرساني مصمت
0.020	2	1	1800	لياقة داخلية وطلاء
0.12				الهواء الداخلي ⁽¹⁾
(m².K/W) 2.572				مجموع المقاومة الحرارية ΣR

- (1) المقاومة الحرارية للهواء الداخلي والخارجي حسب النظام الإنشائي (انظر الملحق ج).
- (2) الموصلية الحرارية تعتمد على خصائص المواد المصنعة (انظر الملحق نهاية الدليل) لمعرفة الموصلية الحرارية لأغلب المواد المتعلقة بالبناء.
- (3) قيمة الموصلية الحرارية للعزل الحراري تُعلن من قبل المُصنِّع (Rated declared) على حسب نوع المادة وكثافتها.
- (4) يجب استعمال ال(م) بدل ال(سم) ومساحة الوجه بال(م²) عند التعويض في معادلة رقم 3.

مجموع المقاومة الحرارية

$$(m^2.K/W) 2.572 = 0.12 + 0.02 + 0.088 + 0.003 + 2.273 + 0.010 + 0.000 + 0.028 + 0.030 = \Sigma R$$

$$U = \frac{1}{\Sigma R} = \frac{1}{2.572} = 0.389 (W/m^2.K)$$

حُسب معامل الانتقال الحراري كما هو موضح أعلاه بقيمة **0.389** واط / م² كلفن وهي قيمة مطابقة لمتطلبات الكود السعودي لكفاءة الطاقة في جميع المناطق

جدول 20: نتيجة حساب معامل الانتقال الحراري للجدار مع العزل الخارجي

منطقة 3	منطقة 2	منطقة 1	الكود
مطابق ✓	مطابق ✓	مطابق ✓	601 غير سكني
مطابق ✓	مطابق ✓	مطابق ✓	601 سكني
مطابق ✓	مطابق ✓	مطابق ✓	602

طريقة المسار المتحاور Isothermal Path Method

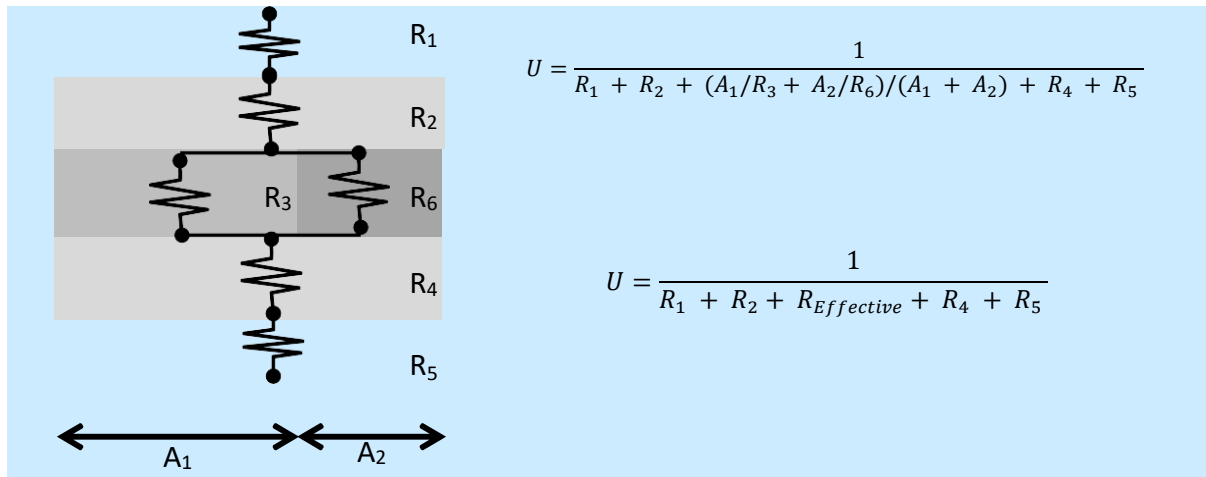
تستخدم هذه الطريقة عندما يكون نظام السطح الخارجي أو الجدران الخارجية غير متجانس ويحتوي على تجاويف وفراغات هوائية

ولا تستخدم هذه الطريقة بشكل سليم

- يجب تحديد الطبقات المتصلة على التوازي وجمعها بمعادلة المسار الموازي
- ويجب تحديد الطبقات المتصلة على التوالي وجمعها بمعادلة المسار المتسلسل
- ثم جمع محصلي المسارين بمقاومة الحرارية المحصلة لجميع المسارات بطريقة موزونة Weighted Average.

وتتم الحسابات حسب المعادلات الآتية:

معادلة 5: معادلات حسب المسار المتحاور Isothermal Path Method



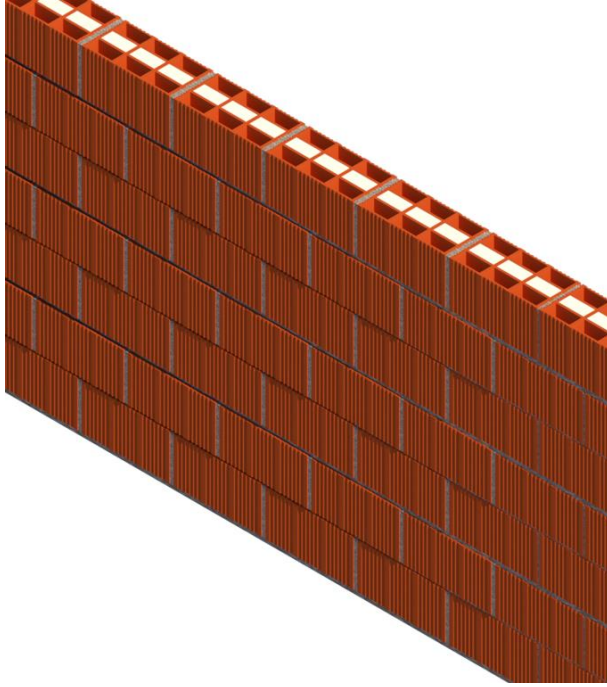
حيث

- U = معامل الانتقال الحراري للنظام بوحدة واط / م². كلفن (W/m².K)
- R_1, R_2, R_4, R_5 = المقاومة الحرارية للطبقات المتصلة على التوالي م². كلفن / واط (m².K/W)
- R_3, R_6 = المقاومة الحرارية للطبقات المتصلة على التوازي م². كلفن / واط (m².K/W)
- $R_{Effective}$ = هي المقاومة الحرارية المحصلة للطبقات المتوازية م². كلفن / واط (m².K/W)
- A_1 = مساحة الوجه للمسار الأول (W/m².K)
- A_2 = مساحة الوجه للمسار الثاني (W/m².K)

أمثلة: جميع الأمثلة استرشادية بهدف توضيح آلية حساب كل طريقة

مثال 1: يُشاع أن الجدار الخارجي المكون من البلوك (الطوب) الأحمر المحشو بطبقة عازلة يمثل

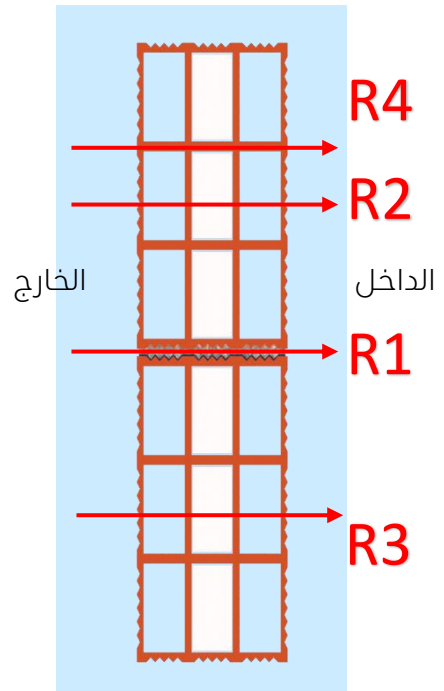
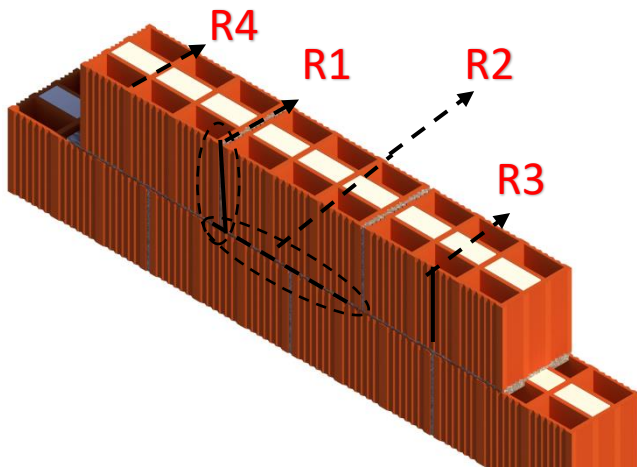
نظام عازل للحرارة، فهل يحقق مثل هذا النظام متطلبات الكود؟



رسم توضيحي 14: نظام جدار من البلوك الاحمر المحشو بطبقة عازلة

حسب المقطع الهندسي للبلوك الأحمر المكون من المادة الطينية وصلصاليه (Clay) فان الطريقة السليمة لحساب معامل الانتقال الحراري هي طريقة المسار المتحاور Isothermal. وتستخدم هذه الطريقة لعدة أسباب

- الطبقات غير متجانسة من خلال المقطع العرضي للنظام
- الطبقات غير متصلة فيما بينها
- يحتوي على تجاويف وفراغات هوائية
- يحتوي على جسور حرارية من خلال المونة بين الوحدات



رسم توضيحي 15: مقطع داخلي للواجهة الرأسية (يمين)، مقطع ثلاثي الأبعاد لخامل النظام (يسار)

ملاحظة تم إزالة اللباسة الخارجية في الرسم ثلاثي الأبعاد للنظام لتوضيح المسارات الحرارية

حيث

- المسار الأول R1 هو المسار الحراري من خلال المونة ما بين وحدتي البلوك العمودية
- المسار الثاني R2 هو المسار الحراري من خلال المونة ما بين وحدتي البلوك الأفقية
- المسار الثالث R3 هو المسار الحراري من خلال وحدة البلوك النافذ من خلال التجويف والعازل.
- المسار الرابع R4 هو المسار الحراري من خلال وحدة البلوك النافذ من خلال السماكة المصمتة خلال البلوك.

يتم حساب كل مسار على حدة ويتم اعتبار المتوسط الموزون (weighted Average) للنظام كاملاً هي الطريقة المثلى للحساب، ويتم حسابها كالتالي:

جدول 21: المقاومة الحرارية للمسار الحراري رقم 1

المقاومة الحرارية (m ² .K/W)	السماكة (cm)	الموصلية الحرارية (W/m.K) (K ²)	مساحة الوجه (cm ²)	الطبقة
0.030			20 X 2 X 1.5 = 60 cm ² = 0.006 m ²	الهواء الخارجي (1)
0.015	1.5	1.0		لياسة خارجية
0.2	20	1.0		مونة
0.015	1.5	1.0		لياسة داخلية
0.120				الهواء الداخلي (1)
(m ² .K/W) 0.38				مجموع المقاومة الحرارية للمسار 1 ΣR

جدول 22: المقاومة الحرارية للمسار الحراري رقم 2

المقاومة الحرارية (m ² .K/W)	السماكة (cm)	الموصلية الحرارية (W/m.K) (K ²)	مساحة الوجه (cm ²)	الطبقة
0.030			43 X 2 X 1.5 = 129 cm ² = 0.0129 m ²	الهواء الخارجي (1)
0.015	1.5	1.0		لياسة خارجية
0.2	20	1.0		مونة
0.015	1.5	1.0		لياسة داخلية
0.120				الهواء الداخلي (1)
(m ² .K/W) 0.38				مجموع المقاومة الحرارية للمسار 2 ΣR

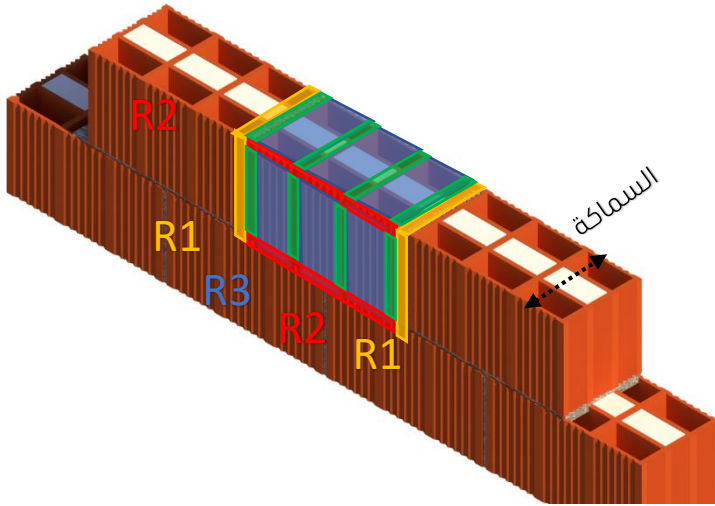
جدول 23: المقاومة الحرارية للمسار الحراري رقم 3

المقاومة الحرارية (m ² .K/W)	السماكة (cm)	الموصلية الحرارية (W/m.K) (°K)	مساحة الوجه (cm ²)	الطبقة
0.030			35 X 20 = 700 cm ² = 0.07 m ²	الهواء الخارجي (1)
0.015	1.5	1.0		لياسة خارجية
0.02155	1.25	0.58		بلوك احمر
0.18				تفريغ هوائي (5)
0.02155	1.25	0.58		بلوك احمر
1.35135	5	0.037		عزل حراري (3)
0.02155	1.25	0.58		بلوك احمر
0.18				تفريغ هوائي (5)
0.02155	1.25	0.58		بلوك احمر
0.015	1.5	1.0		لياسة داخلية
0.120				الهواء الداخلي (1)
(m ² .K/W) 1.97755				مجموع المقاومة الحرارية للمسار 3 ΣR

جدول 24: المقاومة الحرارية للمسار الحراري رقم 4

المقاومة الحرارية (m ² .K/W)	السماكة (cm)	الموصلية الحرارية (W/m.K) (°K)	مساحة الوجه (cm ²)	الطبقة
0.030			5 X 20 = 100 cm ² = 0.01 m ²	الهواء الخارجي (1)
0.015	1.5	1.0		لياسة خارجية
0.3448	20	0.58		بلوك احمر
0.015	1.5	1.0		لياسة داخلية
0.120				الهواء الداخلي (1)
(m ² .K/W) 0.5248				مجموع المقاومة الحرارية للمسار 4 ΣR

- (1) المقاومة الحرارية للهواء الداخلي والخارجي حسب النظام الإنشائي (انظر الملحق ج).
- (2) الموصلية الحرارية تعتمد على خصائص المواد المصنعة (انظر الملحق أ) لمعرفة الموصلية الحرارية لأغلب المواد المتعلقة بالبناء.
- (3) قيمة الموصلية الحرارية للعزل الحراري تُعلن من قبل المُصنِّع (Rated declared) على حسب نوع المادة وكتافتها أو تحسب من خلال الجدول في الملحق أ.
- (4) يجب استعمال ال(م) بدل ال(سم) ومساحة الوجه بال(م) عند التعويض في معادلة رقم 4.
- (5) قيم التجايف الحرارية المذكورة في كود البناء السعودي جدول 9.4A (انظر الملحق ج).



رسم توضيحي 16: مقطع ثلاثي الأبعاد للبلوك الأحمر المحشو بمادة عزل حراري

وكما هو موضح في المقطع الهندسي لنظام الجدار الخرساني المحشو بطبقة عازلة المساحة المحددة للمسار وهي المساحات الملونة والسماعة لكامل الجدار

حيث

- اللون الأصفر للمسار الحراري R1 وهي للمونة العمودية
- اللون الأحمر للمسار الحراري R2 وهي للمونة الأفقية

• اللون الأزرق للمسار الحراري R3 وهي لوحدة البلوك النافذ من خلال التجويف والعازل.

• المسار الرابع R4 هو المسار الحراري من خلال وحدة البلوك النافذ من خلال السماعة المصمتة خلال البلوك.

مجموع المقاومة الحرارية للمسار 1

$$(\text{m}^2.\text{K}/\text{W}) 0.38 = 0.12 + 0.015 + 0.2 + 0.015 + 0.030 = \Sigma R1$$

$$U_1 = \frac{1}{\Sigma R1} = \frac{1}{0.38} = 2.6316 (\text{W}/\text{m}^2.\text{K})$$

مساحة الوجه تحسب = عرض المونة العمودية X طول المونة العمودية X الجهتين (2)

$$A_1 = 1.5 = 20 \text{ سم} \times 2 \text{ سم} \times 60 \text{ سم} = 0.006 \text{ م}^2$$

مجموع المقاومة الحرارية للمسار 2

$$(\text{m}^2.\text{K}/\text{W}) 0.38 = 0.12 + 0.015 + 0.2 + 0.015 + 0.030 = \Sigma R2$$

$$U_2 = \frac{1}{\Sigma R1} = \frac{1}{0.38} = 2.6316 (\text{W}/\text{m}^2.\text{K})$$

مساحة الوجه تحسب كالآتي = عرض المونة الأفقية X طول المونة الأفقية X الجهتين (2)

$$A_2 = 1.5 = 43 \text{ سم} \times 2 \text{ سم} \times 129 \text{ سم} = 0.0129 \text{ م}^2$$

مجموع المقاومة الحرارية للمسار 3

$$=0.12 + 0.015 + 0.02155 + 0.18 + 0.02155 + 1.35135 + 0.02155 + 0.18 + 0.015 + 0.030 = \Sigma R3$$

$$(m^2.K/W) 1.97755$$

$$U_3 = \frac{1}{\Sigma R1} = \frac{1}{1.97755} = 0.50567 (W/m^2.K)$$

مساحة الوجه تحسب كالتالي = مساحة البلوك - مساحة الجزء المصمت

مساحة اللون الأزرق = مساحة البلوك - (اللون الأخضر بالرسم البياني)

$A_3 =$ عرض وحدة \times طول وحدة البلوك - (طول البلوك \times عرض الجزء المصمت)

$$A_3 = 20 \text{ سم} \times 40 \text{ سم} - [20 \text{ سم} \times 1.25 \times (4 \text{ مساحات})]$$

$$A_3 = 800 \text{ سم}^2 - 100 \text{ سم}^2 = 700 \text{ سم}^2 = 0.07 \text{ م}^2$$

مجموع المقاومة الحرارية للمسار 4

$$(m^2.K/W) 0.38 = 0.12 + 0.015 + 0.34482 + 0.015 + 0.030 = \Sigma R1$$

$$U_1 = \frac{1}{\Sigma R1} = \frac{1}{0.524} = 1.9053 (W/m^2.K)$$

مساحة الوجه تحسب = عرض المونة العمودية \times طول المونة العمودية \times الجهتين (2)

$$A_1 = 1.25 \text{ سم} \times 20 \text{ سم} \times 4 = 100 \text{ سم}^2 = 0.01 \text{ م}^2$$

يحسب معامل الانتقال الحراري الموزون حسب معادلة النظام المتحاور

$$U = \frac{(U1 \times A1) + (U2 \times A2) + (U \text{ effective } 3 \times A \text{ effective } 3) + (U4 \times A4)}{A1 + A2 + A \text{ effective } 3 + A4}$$

$$U = \frac{(2.6316 \times 0.006) + (2.6316 \times 0.0129) + (0.50567 \times 0.07) + (1.9053 \times 0.01)}{0.006 + 0.0129 + 0.07 + 0.01}$$

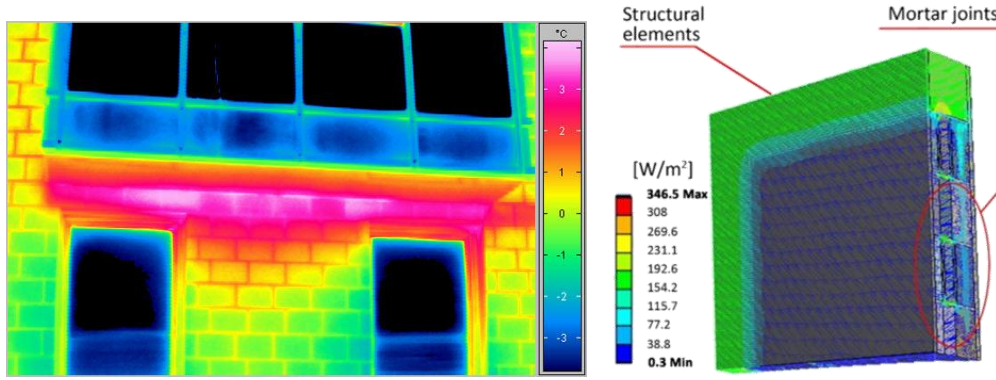
$$U = 1.0535 (W/m^2.K)$$

حُسب معامل الانتقال الحراري كما هو موضح أعلاه بقيمة 1.0535 واط / م² كلفن وهي قيمة غير مطابقة لمتطلبات الكود السعودي لكفاءة الطاقة في جميع المناطق.

جدول 25: نتيجة حساب معامل الانتقال الحراري لجدار من البلوك الاحمر المحشو بطبقة عازلة

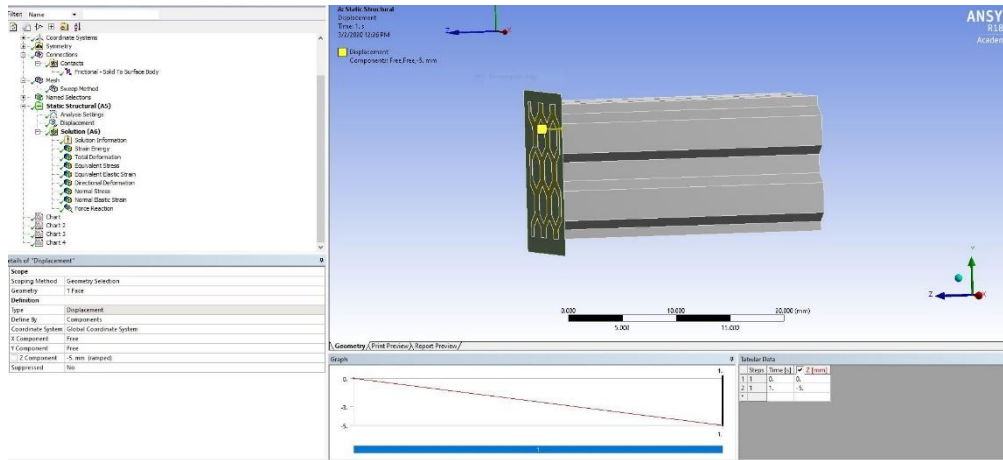
منطقة 3	منطقة 2	منطقة 1	الكود
غير مطابق ❌	غير مطابق ❌	غير مطابق ❌	601 غير سكني
غير مطابق ❌	غير مطابق ❌	غير مطابق ❌	601 سكني
غير مطابق ❌	غير مطابق ❌	غير مطابق ❌	602

طريقة المحاكاة المتطورة ثنائية الأبعاد (Advance Simulation) Two Dimensional Method تستخدم هذه الطريقة عندما تكون أنظمة السطح الخارجي أو الجدران الخارجية معقدة وتحتوي على العديد من المواد والأنظمة والتجاويف، ويعمل نظام المحاكاة المتطور باستخدام الحاسب الآلي حيث يتطرق إلى المسارات الحرارية في جميع الاتجاهات من جانب أو خلال النظام. وتتم آلية العمل وفق هذه الطريقة بتقسيم النظام إلى عدد كبير من الأجزاء الصغيرة. ويتميز هذا النوع من طرق الحساب بأنه من أدق الطرق لإيجاد معامل الانتقال الحراري، ويستعمل غالبًا كوسيلة للتحقق من نتائج الاختبار بشرط توفر الخصائص الحرارية لطبقات النظام.



رسم توضيحي 17: نتيجة حساب الانتقال الحراري من برنامج المحاكاة المتطورة

طريقة المنطقة المتطورة Modified Zone Method تستخدم هذه الطريقة عندما تكون أنظمة السطح الخارجي أو الجدران الخارجية تحتوي على ألواح أو إطارات معدنية، وهي طريقة تستعمل عندما يكون النظام غير مدرج في جداول الكود A9.2A و A9.2B. وتعتبر هذه الطريقة متطورة حيث يتم تحليل أجزاء وطبقات النظام إلى أنظمة صغيرة لتحديد المسار الحراري بشكل دقيق.



رسم توضيحي 18: نتيجة حساب الانتقال الحراري من خلال طريقة المنطقة المتطورة

إجراء اختبار في المختبر Laboratory Test

تستخدم هذه الطريقة عندما تكون أنظمة السطح الخارجي أو الجدران الخارجية معقدة وتحتوي على العديد من المواد والأنظمة والتجاويف وغير معروفة الخصائص الحرارية. وتعتبر هذه الطريقة الأدق حيث يتم بناء نظام واقعي واختباره ليتم تحديد خصائصه الحرارية.

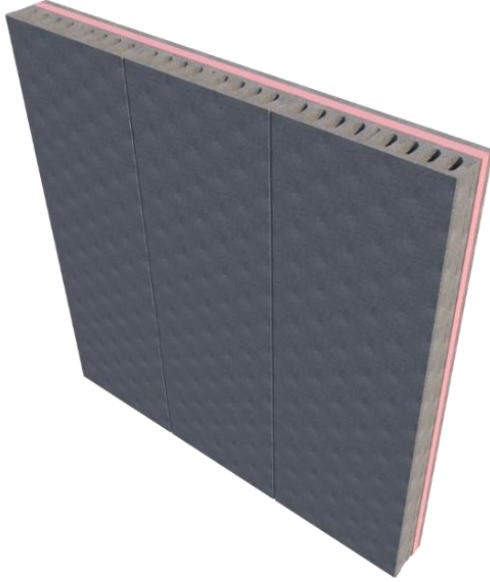
ويمكن إجراء اختبارات أنظمة البناء من خلال مختبر العزل في مختبر الهيئة السعودية للمواصفات والمقاييس أو أي مختبر معتمد في هذا المجال.



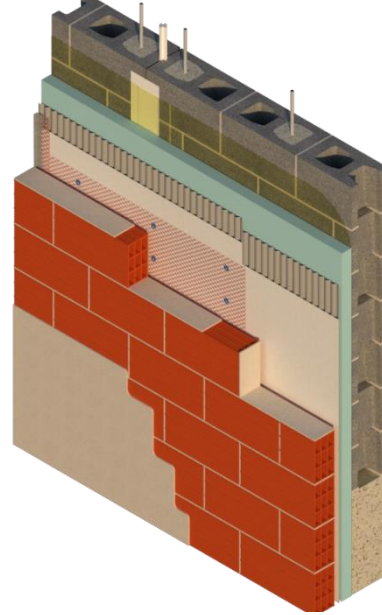
رسم توضيحي 19: اختبار النظام لتحديد معامل الانتقال الحراري

**أمثلة: جميع الأمثلة استرشادية بهدف توضيح طريقة حساب معامل الانتقال الحراري
للأنظمة الشائعة**

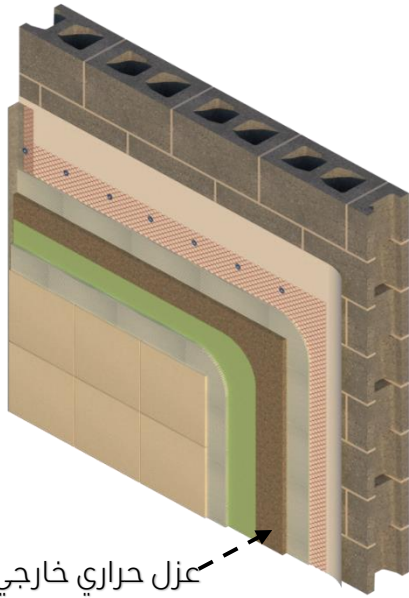
توضح الصور التالية بعض الممارسات السليمة للعزل الحراري بشرط إجراء الطريقة الصحيحة
لحساب معامل الانتقال الحراري أو معامل المقاومة الحرارية:



ألواح الساندويتش الخرسانية المعزولة
سابقة الصب Precast

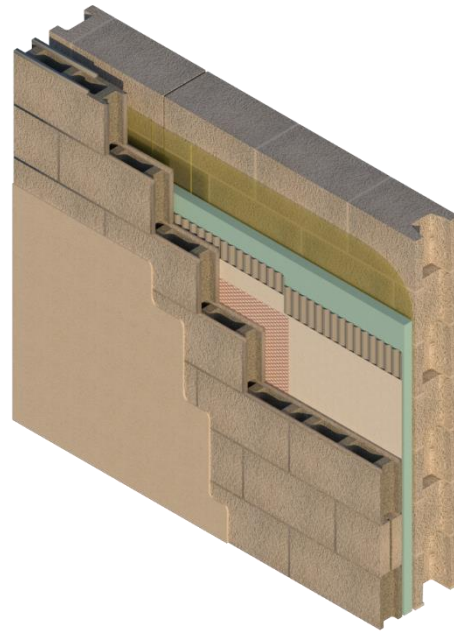


نظام حائط مكون من جدارين

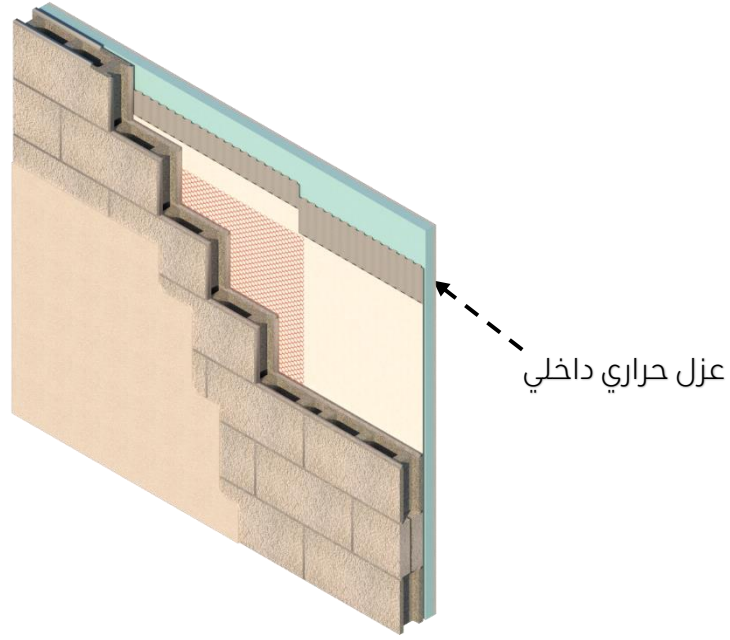


عزل حراري خارجي

نظام حائط بالعزل الخارجي

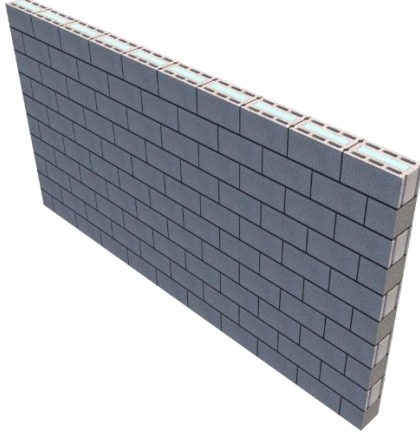


نظام حائط مكون من جدارين

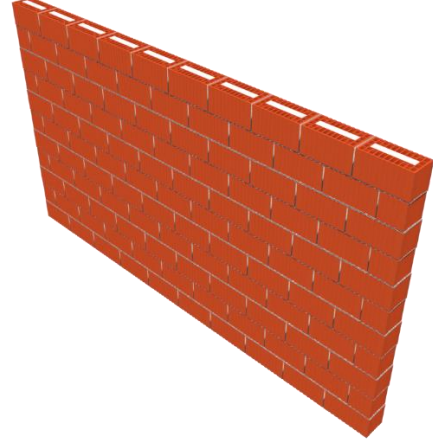


ملاحظة: العزل الحراري مستمر على مستوى النظام والعناصر الإنشائية

توضح الصور التالية بعض الممارسات الخاطئة لأنظمة العزل الحراري:



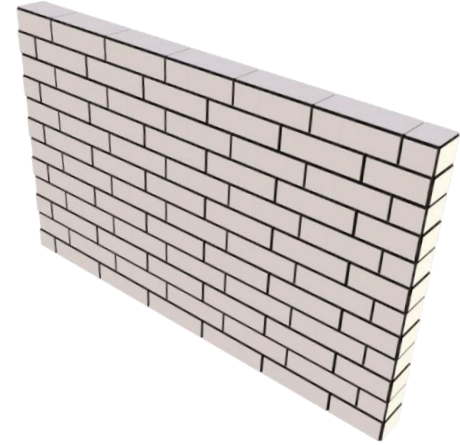
نظام حائط من البلوك البركاني المحشو



نظام حائط من البلوك الأحمر المحشو



نظام حائط من البلوك الخرساني المحشو



نظام حائط من البلوك الخلوي (البلوك الأبيض)

استخدام هذه الأنظمة تعتبر ممارسات خاطئة لعدم وجود عزل مستمر

الملاحق

ملحق أ: دليل المواد

ملاحظة: في حال وجود قيم للخصائص الحرارية معلنة من قبل الصانع بناء على نتائج اختبار معتمدة يؤخذ بتلك القيم في الحسابات.

النظام	المادة	الاسم بالعربي	Name	الموصلية الحرارية (W /mK)	الكثافة (kg/m ³)
أرضيات وأسقف Roof and Flooring	تربة Soil	رمل	Sand	0.30	1500
		صهارة بركانية (لافا)	Lava	0.27	1500
		خفاف	Pumice	0.07	350
		الطين (الصلصال) الرغوي	Foamed Clay	0.19	1000
		خبث افران الحديد	Blast Furnace Slag	0.110	560
		خبث رغوي	Foamed slag	0.13	640
		تربة حصي	Aggregate Sand	1.4	-
		تربة طينية (صلصال)	Clay	1.50	-
		تربة رملية طينية طفالية (طمي)	Loam	1.20	-
		الانشائي Construction	خرسانة Concrete	خرسانة خلوية	Concrete, aerated
				0.29	850
بلاطة انشائية خرسانية خلوية	Concrete, aerated roofing slab			0.16	500
صبة خرسانية كلسية	Concrete, calcareous compound			1.15	1775
صبة خرسانية	Concrete, cast			1.28	2100
صبة خرسانية كثيفة	Concrete, cast, dense			1.40	2100
صبة خرسانية خفيفة الوزن	Concrete, cast, lightweight			0.38	1200
صبة خرسانية (غير مسلحة)	Concrete (not reinforced)			1.70	2200
				2.20	2400
صبة خرسانية (مسلحة)	Concrete (Reinforced)			1.90	2300
				2.30	2500
خرسانة مع رغوة بوليستيرين	Concrete, polystyrene foam			0.07	220
				0.11	400
				0.20	650
خرسانة مع كتل الخبث	Concrete, slag/Concrete conglomerate			0.60	1250

الكثافة (kg/m ³)	الموصلية الحرارية (W /mK)	Name	الاسم بالعربي	المادة	النظام		
2000	1.20	Concrete, close textured, light, using porous textured aggregate	خرسانة خفيفة محكمة باستخدام ركام مسامي محكم	Concrete خرسانة	انشائي Construction		
1600	0.81	Concrete, light, with non-porous aggr.	خرسانة خفيفة مع ركام غير مسامي				
1800	1.10						
2000	1.40						
600	0.22	Concrete, light, porous aggregate, no quartz sand admixtures	خرسانة خفيفة مع ركام مسامي خال من خلائط رمل الكوارتز				
700	0.26						
800	0.28						
1000	0.36						
1200	0.46						
1400	0.57						
1600	0.75						
1800	0.92						
2000	1.20						
200	0.08					Lightweight Concrete	خرسانة خفيفة الوزن
300	0.12						
500	0.17						
625-675	0.2 - 0.34						
775	0.23-0.38						
825	0.4 - 0.43						
1000	0.35 - 0.5						
1000	0.50						
1300	0.45-0.8						
1600	0.7-1.2						
1900	0.95-1.4						
1150	0.350	Concrete, lightweight, Aglite.	خرسانة خفيفة ركامي الطين الممدد				
1220	0.379						
1230	0.431						
320	0.07	Foamed Concrete	خرسانة رغوية				
400	0.084						
704	0.149						

الكثافة (kg/m ³)	الموصلية الحرارية (W /mK)	Name	الاسم بالعربي	المادة	النظام
1400-1600	0.7-0.8	Limestone Cement Plaster	لياسة اسمنتية كلسية	مونة/لياسة Plaster / Mortar	متعدد الاستخدام Multi-purpose
1120	0.38	Gypsum Plaster	لياسة جبسية		
1280	0.46				
1600	0.7 - 1.2	Lime mortar	مونة جيرية		
880	0.25	Foamed Cement Plaster	لياسة اسمنتية رغوية		
480	0.14	Vermiculite Plaster	لياسة فيرميكيولائيتية		
640	0.20				
800	0.26				
960	0.30				
	0.1 - 0.2	Insulating Cement Plaster/Mortar	مونة/لياسة عازلة اسمنتية	مونة/لياسة عازلة Insulating Plaster / Mortar	متعدد الاستخدام Multi-purpose
400	0.08	Perlite Plaster	لياسة بيرلايتية		
600	0.19				
90	0.02-0.025	Silica aerogel insulating powder	مسحوق السيليكا ايروجيل العازل		
1280	0.53	Solid Concrete Block	الطوب (بلوك) خرساني مصمت	بلوك/طوب Masonry Block/Brick	الجدران Walls
1440	0.68				
1600	0.79				
1840	1.04				
2000	1.28				
2160	1.7				
2240	1.94				
750	0.577	Hollow Concrete Block	الطوب (بلوك) خرساني مفرغ		
848	0.671				
1040	1.049				
1216	1.353				
1400	0.9500	Hordy Block	هوردي		
600	0.32	Lightwiegth Concrete Block	الطوب (بلوك) خرساني مصمت الخفيف		
800	0.39				
1000	0.46				
1400	0.63				
1800	0.87				
600 - 1600	0.35 - 1.00	Lightwight Hollow Concrete Block	الطوب (بلوك) خرساني الخفيف		

الكثافة (kg/m ³)	الموصلية الحرارية (W /mK)	Name	الاسم بالعربي	المادة	النظام
500	0.29	Lightwight Hollow Concrete Block	الطوب (بلوك) خرساني مفرغ الخفيف	بلوك/طوب Masonry Block/Brick	جدران Walls
600	0.35				
800	0.47				
1000	0.65				
1200	0.77				
1400	0.91				
1600	1.00				
1300	0.75	Clay Block	طوب طيني محروق (بلوك احمر) (مصمت)		
1500	0.85				
1700	1.00				
2100	1.12				
1200	0.50	Hollow Clay Block	طوب طيني (بلوك احمر) (مثقوب)		
1400	0.58				
1600	0.68				
1800	0.81				
2000	0.96				
500	0.22	Lightweight Clay Block	طوب طيني (بلوك احمر) (خفيف)		
600	0.24				
700	0.27				
800	0.31				
400	0.13	Aerated Block (White)	البلوك الخلوي (الأبيض) مصمت		
700	0.22				
1000	0.40				
1700	0.70				
500	0.20	Concrete Pumice Block	البلوك البركاني		
600	0.22				
700	0.25				
800	0.28				
415	0.11	Spruce	خشب الشوح	خشب طبيعي Wood	متعدد الاستخدام Multi-purpose
660	0.14	Pine	خشب الصنوبر		
704	0.17	Oak	خشب البلوط		
700	0.17	Beech	خشب الزان		
700	0.17	Teak	خشب الساج		
660	0.14	Walnut	خشب الجوز		
700	0.16	Mahogany	خشب الماهوجوني		

الكثافة (kg/m ³)	الموصلية الحرارية (W /mK)	Name	الاسم بالعربي	المادة	النظام		
2100	1.10	Cement Paving Tile	بلاط ترصيف اسمنتي	أرضيات وبلاط Flooring and Tiles	أرضيات Flooring		
1900	0.85	Clay Tile	بلاط طيني محروق (الأحمر)				
1900	0.85	Clay Shingle Tile	بلاط قرميد				
2000	1.20	Mosaic Tile	بلاط سيراميكي موزاييك (موزال)				
1900	0.55	Asbestos Cement Tile	بلاط اسمنتي اسبستي				
1700 - 2300	0.5 - 1.2	Asphalt	اسفلت				
1600	0.30	Rubber Tile	بلاط مطاطي				
1000	0.17	Linoleum	اللينوليوم				
700	0.08	Cork Linoleum	اللينوليوم الفليني				
400	0.12	Moquette with Fiber underlay	سجاد (موكيت) مع لبادة سفلية ليفية				
400	0.10	Moquette with Rubber underlay	سجاد (موكيت) مع لبادة سفلية مطاطية				
1400	0.34	Epoxy silica floor	ايوكسي مع سيليكات للأرضيات				
1200	0.20	Epoxy casting	صب ابوكسي				
160	0.06	Carpet, synthetic	سجاد صناعي				
160	0.045	Wool felt underlay	سجاد مع لبادة صوفى				
660	0.14	Pine parquet	أرضيات خشبية صنوبرية			ألواح Board	متعدد الاستخدام Multi-purpose
704	0.17	Oak parquet	أرضيات خشبية بلوطية				
660	0.14	Teak parquet	أرضيات خشبية ساجية				
1000	0.210	Gypsum Board	ألواح جبس				
950	0.16	Gypsum Board (Carton supported)	ألواح جبس مقوى بالكرتون				
545-700	0.1-0.23	Plywood Board	ألواح الخشب (ابلكاش)				
800	0.15	Chip Board	ألواح شظايا خشبية مضغوطة				
200	0.05	Rough Fiberwood Board	ألواح خشب ليفي قاسي				
320	0.06	Mid Fiberwood Board	ألواح خشب ليفي متوسط				
275	0.07	Soft Fiberwood Board	ألواح خشب ليفي طري				
500	0.10	Wood Wool	ألواح الصوف الخشبي				
16	0.05	Perlite Board	ألواح بيرلايت				
310	0.06	Straw Board	ألواح قش				
765	0.10	Cardboard	ألواح كرتون مقوى عادي				
765	0.10	Rough Cardboard	ألواح كرتون مقوى مشتمع				

الكثافة (kg/m ³)	الموصلية الحرارية (W /mK)	Name	الاسم بالعربي	المادة	النظام
48 - 29	0.025 - 0.04	Polystyrene rigid foam	رغوة البوليسترين	البوليسترين Polystyrene	العزل الحراري Thermal Insulation
12	0.046	Expanded polystyrene	البوليسترين الممدد		
15	0.040				
18	0.038				
22	0.036				
29	0.034				
35	0.030				
42	0.028				
20	0.031	Extruded polystyrene	البوليسترين المنبثق		
30	0.029				
35	0.027				
42	0.026				
48	0.025				
14	0.054	Polyurethane foam	رغوة البوليوريثان		
28	0.030				
30	0.028				
32	0.025				
28	0.032	Polyurethane foam board	ألواح رغوة البوليوريثان		
30	0.030				
32	0.028				
35	0.021				
34-30	0.021- 0.027	Polyurethane, gas filled, rigid, new	البوليوريثان معبأ بالغاز		
160	0.04	Cork Board	ألواح فلين ممدد	فلين Cork	متعدد الاستخدام Multi-purpose
240	0.055	Cork Board with Asphalt or Bitumen	ألواح فلين مع البيوتومين او الاسفلت		
640	0.145				
480	0.060	Cork Board with Rubber	ألواح فلين مع المطاط		

الكثافة kg/m ³ ()	الموصلية الحرارية (W /mK)	Name	الاسم بالعربي	المادة	النظام
15	0.040	Expanded plastic panels	ألواح بلاستيكية ممددة	مواد عازلة Insulating Material	مواد عازلة Insulating Material
80	0.035	Polyvinyl chloride, rigid foam, small pore	كلوريد متعدد الأطراف، رغوة صلبة، مسام صغيرة		
25	0.041				
37	0.035	Polyvinyl chloride foam	رغوة كلوريد متعدد الأطراف		
30	0.03	Urea formaldehyde	فورمالدهايد اليوريا		
10	0.04				
14	0.054	Urea resin foam	رغوة اليوريا الصمغية		
10	0.041	Urea formaldehyde resin foam	رغوة فورمالدهايد اليوريا الصمغية		
18	0.036	Ureaformaldehyde foam	رغوة فورمالدهايد اليوريا		
14	0.054	Urethane foam	رغوة يوريثان		
20	0.04	Urethane formaldehyde foam	رغوة يوريثان فورمالدهيد		
10	0.05				
115	0.046 - 0.052	Cork, loose raw granules	حببيبات فلين خام		
188	0.051	Sawdust	نشارة خشب		
92-150	0.032-0.047	Rock Wool	صوف صخري		
69-250	0.032-0.043	Glass Wool	صوف زجاجي		
192	0.038	Slag Wool	صوف خبثي		
65	0.042-0.09	Perlite, granules	حببيبات بيرلايت		
100 - 75	0.075-0.135	Vermiculite, granules	حببيبات فيرميكوليت متفشر		
1100	0.17	Bitumen rolls with aluminum layers	لفائف بيتومينية مع شرائح الألمنيوم	حواجز أبخرة Vapor Retarder	الحدان والاسطح والارضيات Walls, roofs, floors"
-	0.19 - 0.21	Polyvinyl chloride thin layers	شرائح رقيقة من بولي الفينيل كلوريد		

الكثافة (kg/m ³)	الموصلية الحرارية (W /mK)	Name	الاسم بالعربي	المادة	النظام
-	0.46	Aluminium paint	طلاء الومنيوم	طلاء/ورنيش Paint/Varnish	الحدان Walls
800	0.16	Anti-condensation paint	طلاء مضاد للترسب		
4645	2.16	Zinc-filled paint	طلاء مدعم بالزئبق		
1075	0.19	Thermo-setting varnish	ورنيش مثبت حراري		
-	0.32	Varnish	ورنيش		
-	0.08 _ 0.11	Insulating render, polystyrene bubbles	طلاء عازل فقاعات بوليسترين		
2000	1.40	Cement coating	طلاء تكسية اسمنتية		
1100	0.70	Decorative render (synthetic resin),	طلاء للديكور		
1856	0.72	Stucco	طلاء جبسي او البروفيل		
1300	0.50	External rendering	طلاء خارجي		
2000	1.30	Sandstone components	حجر رملي		
2420	1.80	Lime stone	حجر الكلس (حجر جير)		
2750	1.72	Slate	حجر صخري (سليت)		
-	50	Metal or metal cladding	واجهة فلزية (تكسية معدنية) كلادينج		
2000	1.15	Terracotta	تاراكوتا (طين)		
1700	0.81	Terracotta tiles	بلاط التاراكوتا (طين)		
1700	1.00				
2435	1.59	Terrazo	بلاط تيرازو (بلاط بلدي)		
3000	3.5	Basalt	بازلت		
2750	2.91	Calcareous white marble	رخام أبيض (كالكيوس)		
2750	3.49				
2200	1.69	Calcareous white, semi-firm	رخام أبيض (كالكيوس) شبه قاسي		
2350	2.09	Calcareous white, firm	رخام أبيض (كالكيوس) قاسي		
2550	2.21				
2800	3.50	Crystalline metamorphic rock	الصخور المتحولة البلورية		

الكثافة (kg/m ³)	الموصلية الحرارية (W /mK)	Name	الاسم بالعربي	المادة	النظام
2250	1.70	Stone	حجر	احجار Stones	الارضيات وواجهات Cladding & Flooring
2700	3.50	Flint	فليت (حجر القداحة)		
2875	3.49	Gneiss	نيس (صخر صواني)		
2600 - 2875	2.4 - 3.49	Granite	غرانيت		
2700	3.49	Granite, bluestone	غرانيت ازرق		
1600	115-140	Graphite achreson, solid	غرافيت		
2250	2.90	Lava	لafa		
2180	1.5	Limestone	حجر كلسي		
2750	2.3 - 2.9				
2500	2.00	Marble	رخام		
2700	2.50				
2190	1.4 - 1.5	Quartz	كوارتز		
2650	2.9	Red granite	غرانيت احمر		
2000	1.30	Sandstone	حجر رملي		
2200	1.83				
2000	1.2 - 1.3	Sandstone tiles	بلاط حجر رملي		
2600	2.3	Sedimentary rock	صخور رسوبية		
2500	2.00	White marble	رخام ابيض		
2800	200	Aluminum	المنيوم	فلزات Metals	متعدد الاستخدام Multi-purpose
8930	380	Copper	نحاس		
7000	40	Cast Iron	حديد		
11340	35	Lead	رصاص		
7800	45-60	Steel	فولاذ (صلب)		
8000	16	Stainless steel, 20% Ni	فولاذ (صلب) غير قابل للصدأ (حديد ستانليس)، 20% نيكل		
7850	29	Stainless steel, 5% Ni	فولاذ (صلب) غير قابل للصدأ (حديد ستانليس)، 5% نيكل		
7800	50	Steel, carbon	فولاذ (صلب) كربوني		
7200	110	Zinc	خارصين (زنك)		
7300	65	Tin	قصدير		

الكثافة (kg/m ³)	الموصلية الحرارية (W /mK)	Name	الاسم بالعربي	المادة	النظام
2000	0.70	Mastic Asphalt	معجون اسفيلتي	Waterproof عزل مائي	الحدان والاسطح والارضيات Walls, roofs, floors
2250	1.22				
1100	0.17	Bitumen	بيتومين		
1100	0.17	Bitumen Roll	لفائف بيتومينية للاسقف		
1400	0.40	EPDM	مطاط صناعي (مطاط ايثيلين - بروبيلين)		
1200	0.19	Linoleum, PVC tiles	بلاط من اللينيوم وال PVC	PVC كلوريد متعدد الفاينيل	متعدد الاستخدام Multi-purpose
1600	0.22	P.V.C. linoleum	لينليوم ب PVC		
1750	0.35	Plastic linoleum	لينليوم بلاستيكي		
-	0.20	PVC	PVC		
-	0.83	PVC sheet or tile	ورق أو بلاط ال PVC		
1200	0.19	PVC tiles	بلاط ال PVC		
1500	0.23	Plastic coating	طبقة بلاستيكية		

ملحق ب: خصائص النوافذ والقباب

جدول A8.1A : معامل الانتقال الحراري للقباب الزجاجية مجهزة البيانات (W/m ² .K)								
قابل (قبة زجاجية بدون تطويق للاطار (الافتح او مغلق			(الافتح او مغلق قبة زجاجية مع تطويق للاطار (قابل				نوع الاطار	
عنصر	نوع الزجاج	المنيوم بدون حاجز جسور حرارية	حاجز جسور حرارية مع المنيوم	المنيوم المدعم PVC او كسوة المنيوم والخشب	الخشب او الفينيل PVC	المنيوم بدون حاجز جسور حرارية	حاجز جسور حرارية مع المنيوم	زجاج بنائي (حامل للوزان) نسبيا
طبقة من الزجاج								
1	3 مم من الزجاج	11.24	10.73	9.96	8.34	7.73	7.09	7.09
2	6.4 مم من زجاج بوليبرب او ايرلاي	10.33	9.82	9.07	7.45	6.9	6.26	6.26
3	3 mm aerylie/polyearb	10.79	10.27	9.52	7.89	7.31	6.67	6.67
طبقتين من الزجاج								
4	مع 6.4 فراغ هوائي بين الطبقتين	7.44	6.32	5.94	4.79	4.64	3.99	3.74
5	مع 12.7 فراغ هوائي ن بين الطبقتين	7.39	6.27	5.9	4.74	4.59	3.95	3.7
6	مع 6.4 فراغ غاز الارغون بين الطبقتين	7.19	6.06	5.7	4.54	4.4	3.75	3.5
7	مع 12.7 فراغ غاز الارغون بين الطبقتين	7.19	6.06	5.7	4.54	4.4	3.75	3.5
طبقتين من الزجاج مع نفاذية ضوئية 60%								
8	طبقتين من الزجاج مع فراغ هوائي 6.4 مم	7.24	6.11	5.75	4.59	4.45	3.8	3.55
9	طبقتين من الزجاج مع فراغ هوائي 12.7 مم	7.19	6.06	5.7	4.54	4.4	3.75	3.5
10	طبقتين من الزجاج مع فراغ غاز الارغون 6.4 مم	6.98	5.86	5.49	4.34	4.2	3.56	3.31
11	طبقتين من الزجاج مع فراغ غاز الارغون 12.7 مم	6.98	5.86	5.49	4.34	4.2	3.56	3.31
طبقتين من الزجاج مع نفاذية ضوئية 40%								
12	طبقتين من الزجاج مع فراغ هوائي 6.4 مم	7.09	5.96	5.59	4.44	4.3	3.66	3.41
13	طبقتين من الزجاج مع فراغ هوائي 12.7 مم	7.03	5.91	5.54	4.39	4.25	3.61	3.36
14	طبقتين من الزجاج مع فراغ غاز الارغون 6.4 مم	6.73	5.6	5.24	4.09	3.96	3.32	3.07

3.16	3.41	4.06	4.19	5.34	5.7	6.83	طبقتين من الزجاج مع فراغ غاز الارقون 12.7 مم	15
طبقتين من الزجاج مع نفاذية ضوئية 20%								
3.16	3.41	4.06	4.19	5.34	5.7	6.83	طبقتين من الزجاج مع فراغ هوائي 6.4 مم	16
3.16	3.41	4.06	4.19	5.34	5.7	6.83	طبقتين من الزجاج مع فراغ هوائي 12.7 مم	17
2.83	3.07	3.72	3.84	4.99	5.34	6.47	طبقتين من الزجاج مع فراغ غاز الارقون 6.4 مم	18
2.87	3.12	3.77	3.89	5.04	5.39	6.52	طبقتين من الزجاج مع فراغ غاز الارقون 12.7 مم	19
طبقتين من الزجاج مع نفاذية ضوئية 10%								
3.07	3.32	3.96	4.09	5.24	5.6	6.73	طبقتين من الزجاج مع فراغ هوائي 6.4 مم	20
3.07	3.32	3.96	4.09	5.24	5.6	6.73	طبقتين من الزجاج مع فراغ هوائي 12.7 مم	21
2.68	2.93	3.57	3.69	4.84	5.18	6.31	طبقتين من الزجاج مع فراغ غاز الارقون 6.4 مم	22
2.78	3.03	3.67	3.79	4.94	5.29	6.41	طبقتين من الزجاج مع فراغ غاز الارقون 12.7 مم	23
طبقتين من الزجاج مع نفاذية ضوئية 5%								
2.97	3.22	3.87	3.99	5.14	5.5	6.62	طبقتين من الزجاج مع فراغ هوائي 6.4 مم	24
3.02	3.27	3.91	4.04	5.19	5.55	6.67	طبقتين من الزجاج مع فراغ هوائي 12.7 مم	25
2.58	2.83	3.48	3.58	4.73	5.08	6.21	طبقتين من الزجاج مع فراغ غاز الارقون 6.4 مم	26
2.68	2.93	3.57	3.69	4.84	5.18	6.31	طبقتين من الزجاج مع فراغ غاز الارقون 12.7 مم	27
3 طبقات من الزجاج								
2.71	3.02	3.65	3.63	4.77	5.07	6.38	3 طبقات من الزجاج مع فراغ هوائي 6.4 مم	28
2.56	2.88	3.51	3.48	4.62	4.92	6.22	3 طبقات من الزجاج مع فراغ هوائي 12.7 مم	29
2.51	2.83	3.46	3.43	4.56	4.86	6.17	3 طبقات من الزجاج مع فراغ غاز الارقون 6.4 مم	30

2.41	2.73	3.36	3.33	4.46	4.76	6.07	3 طبقات من الزجاج مع فراغ غاز الارقون 12.7 مم	31
3 طبقات من الزجاج مع نفاذية ضوئية 20% على طبقة واحدة								
2.46	2.78	3.41	3.38	4.51	4.81	6.12	3 طبقات من الزجاج مع فراغ هوائي 6.4 مم	32
2.32	2.63	3.26	3.22	4.36	4.65	5.96	3 طبقات من الزجاج مع فراغ هوائي 12.7 مم	33
2.17	2.49	3.11	3.07	4.21	4.5	5.81	3 طبقات من الزجاج مع فراغ غاز الارقون 6.4 مم	34
2.12	2.44	3.07	3.02	4.15	4.44	5.75	3 طبقات من الزجاج مع فراغ غاز الارقون 12.7 مم	35
3 طبقات من الزجاج مع نفاذية ضوئية 20% على طبقتين								
2.22	2.53	3.16	3.12	4.26	4.55	5.86	3 طبقات من الزجاج مع فراغ هوائي 6.4 مم	36
2.12	2.44	3.07	3.02	4.15	4.44	5.75	3 طبقات من الزجاج مع فراغ هوائي 12.7 مم	37
1.97	2.29	2.92	2.86	4	4.29	5.6	3 طبقات من الزجاج مع فراغ غاز الارقون 6.4 مم	38
1.87	2.19	2.82	2.76	3.9	4.18	5.49	3 طبقات من الزجاج مع فراغ غاز الارقون 12.7 مم	39
3 طبقات من الزجاج مع نفاذية ضوئية 10% على طبقتين								
2.12	2.44	3.07	3.02	4.15	4.44	5.75	3 طبقات من الزجاج مع فراغ هوائي 6.4 مم	40
2.02	2.34	2.97	2.91	4.05	4.34	5.65	3 طبقات من الزجاج مع فراغ هوائي 12.7 مم	41
1.82	2.14	2.77	2.71	3.84	4.13	5.44	3 طبقات من الزجاج مع فراغ غاز الارقون 6.4 مم	42
1.78	2.09	2.72	2.66	3.79	4.07	5.38	3 طبقات من الزجاج مع فراغ غاز الارقون 12.7 مم	43
4 طبقات من الزجاج مع نفاذية ضوئية 10% على طبقتين								
1.87	2.19	2.82	2.76	3.9	4.18	5.49	4 طبقات من الزجاج مع فراغ هوائي 6.4 مم	44
1.73	2.04	2.67	2.6	3.74	4.02	5.33	4 طبقات من الزجاج مع فراغ هوائي 12.7 مم	45
1.68	1.99	2.62	2.55	3.69	3.97	5.28	4 طبقات من الزجاج مع فراغ غاز الارقون 6.4 مم	46
1.58	1.9	2.52	2.45	3.59	3.86	5.17	4 طبقات من الزجاج مع فراغ غاز الارقون 12.7 مم	47
1.43	1.75	2.38	2.29	3.43	3.7	5.01	4 طبقات من الزجاج مع فراغ هوائي 6.4 مم	48

جدول A8.1B: خصائص القباب الزجاجية مجهولة البيانات (معامل الكسب الحراري الشمسي و النفاذية الضوئية)						:Glazing Type		نوع الزجاج
قباب غير معرفة قابلة للفتح وثابتة						عدد طبقات الزجاج	عدد الطبقات المطلوبة مع النفاذية	
المنيوم بدون حاجز حرارية		المنيوم مع حاجز حرارية		PVC / خشب / فينيل فايبرغلاس				المواصفات
معامل نفاذة الضوء	معامل الكسب الحراري الشمسي	معامل نفاذة الضوء	معامل الكسب الحراري الشمسي	معامل نفاذة الضوء	معامل الكسب الحراري الشمسي			
0.73	0.73	0.76	0.78	0.76	0.82	3 طبقة زجاجية واحدة مم	زجاج شفاف	
0.72	0.69	0.75	0.74	0.75	0.78	6 طبقة زجاجية واحدة مم		
0.92	0.83	0.92	0.83	0.92	0.83	طبقة زجاجية واحدة اكريليكية/بوليكربونيت		
0.64	0.59	0.66	0.64	0.66	0.68	طبقتين مزدوجتين من الزجاج		
0.63	0.62	0.65	0.67	0.65	0.71	طبقتين مزدوجتين من الزجاج مع نفاذية 40% على سطح واحد فقط		
0.59	0.57	0.61	0.62	0.61	0.66	طبقتين مزدوجتين من الزجاج مع نفاذية 20% على سطح واحد فقط		
0.61	0.51	0.63	0.55	0.63	0.59	طبقتين مزدوجتين من الزجاج مع نفاذية 10% على سطح واحد فقط		
0.89	0.77	0.89	0.77	0.89	0.77	طبقتين مزدوجتين من الزجاج اكريليكى/بوليكربونيت		
0.57	0.52	0.59	0.56	0.59	0.6	3 طبقات من الزجاج		
0.57	0.56	0.6	0.6	0.6	0.64	3 طبقات من الزجاج مع نفاذية 40% على سطح واحد فقط		
0.53	0.51	0.55	0.55	0.55	0.59	3 طبقات من الزجاج مع نفاذية 20% على سطح واحد فقط		
0.54	0.46	0.56	0.5	0.56	0.54	3 طبقات من الزجاج مع نفاذية 10% على سطح واحد فقط		
0.55	0.53	0.57	0.58	0.57	0.62	3 طبقات من الزجاج مع نفاذية 40% على سطحين		
0.49	0.48	0.51	0.52	0.51	0.56	3 طبقات من الزجاج مع نفاذية 20% على سطحين		
0.52	0.4	0.54	0.43	0.54	0.47	3 طبقات من الزجاج مع نفاذية 10% على سطحين		
0.85	0.71	0.85	0.71	0.85	0.71	3 طبقات من الزجاج اكريليكى/بوليكربونيت		
0.46	0.33	0.48	0.37	0.48	0.41	4 طبقات من الزجاج مع نفاذية 10% على سطحين		

0.81	0.65	0.81	0.65	0.81	0.65	4 طبقات من الزجاج اكريليكى/بوليكربونيت	مظلل زجاج
0.56	0.62	0.58	0.66	0.58	0.7	طبقة زجاجية واحدة 3 مم	
0.44	0.52	0.45	0.56	0.45	0.61	طبقة زجاجية واحدة 6 مم	
0.27	0.46	0.27	0.46	0.27	0.46	طبقة زجاجية واحدة اكريليكية/بوليكربونيت	
0.39	0.42	0.4	0.46	0.4	0.5	طبقتين مزدوجتين من الزجاج	
0.48	0.5	0.5	0.55	0.5	0.59	طبقتين مزدوجتين من الزجاج مع نفاذية 40% على سطح واحد فقط	
0.36	0.39	0.37	0.43	0.37	0.47	طبقتين مزدوجتين من الزجاج مع نفاذية 20% على سطح واحد فقط	
0.37	0.35	0.38	0.39	0.38	0.43	طبقتين مزدوجتين من الزجاج مع نفاذية 10% على سطح واحد فقط	
0.25	0.37	0.25	0.37	0.25	0.37	طبقتين مزدوجتين من الزجاج اكريليكى/بوليكربونيت	
0.21	0.34	0.22	0.37	0.22	0.42	3 طبقات من الزجاج	
0.44	0.45	0.45	0.49	0.45	0.53	3 طبقات من الزجاج مع نفاذية 40% على سطح واحد فقط	
0.32	0.35	0.33	0.38	0.33	0.42	3 طبقات من الزجاج مع نفاذية 20% على سطح واحد فقط	
0.33	0.31	0.34	0.35	0.34	0.39	3 طبقات من الزجاج مع نفاذية 10% على سطح واحد فقط	
0.42	0.43	0.43	0.47	0.43	0.51	3 طبقات من الزجاج مع نفاذية 40% على سطحين	
0.29	0.32	0.31	0.36	0.31	0.4	3 طبقات من الزجاج مع نفاذية 20% على سطحين	
0.31	0.27	0.32	0.3	0.32	0.34	3 طبقات من الزجاج مع نفاذية 10% على سطحين	
0.23	0.3	0.23	0.3	0.23	0.3	3 طبقات من الزجاج اكريليكى/بوليكربونيت	
0.28	0.23	0.29	0.26	0.29	0.3	4 طبقات من الزجاج مع نفاذية 10% على سطحين	
0.25	0.27	0.25	0.27	0.25	0.27	4 طبقات من الزجاج اكريليكى/بوليكربونيت	

جدول A8.2: معامل الانتقال الحراري للنوافذ الأفقية مجهولة البيانات - (W/m ² .K)										
نوافذ ثابتة (غير قابلة للفتح)					نوافذ قابلة للفتح					
نوع الاطار الزجاج	المنيووم بدون حاجز حرارية	المنيووم مع حاجز حرارية	المنيووم مع حاجز حرارية	المنيووم بدون حاجز حرارية	فايرغلاس / المعزول / الفينيل PVC	الحشب او الفينيل PVC	المدعم PVC او كسوة الفينيل والخشب	المنيووم مع حاجز حرارية	المنيووم بدون حاجز حرارية	نوع الزجاج
طبقتين من الزجاج										
6 مم فراغ هوائي	4.6	3.63	3.23	3.12	2.84	3.86	3.52	3.18	3.12	3.18
12 مم فراغ هوائي	4.31	3.29	2.95	2.84	2.55	3.52	3.18	2.84	2.72	2.84
6 مم فراغ غاز ارجون	4.43	3.46	3.06	2.95	2.67	3.69	3.35	3.01	2.89	2.95
12 مم فراغ غاز ارجون	4.14	3.18	2.84	2.72	2.44	3.4	3.01	2.72	2.55	2.67
طبقتين مزدوجتين من الزجاج مع نفاذية 20% على سطح واحد فقط										
6 مم فراغ هوائي	4.14	3.18	2.84	2.72	2.44	3.4	3.01	2.72	2.55	2.67
12 مم فراغ هوائي	3.69	2.72	2.44	2.33	2.1	2.89	2.55	2.21	1.99	2.21
6 مم فراغ غاز ارجون	3.86	2.89	2.55	2.44	2.21	3.06	2.67	2.38	2.16	2.38
12 مم فراغ غاز ارجون	3.46	2.55	2.21	2.16	1.87	2.67	2.33	1.99	1.7	1.99
طبقتين مزدوجتين من الزجاج مع نفاذية 10% على سطح واحد فقط										
6 مم فراغ هوائي	4.03	3.06	2.72	2.61	2.33	3.23	2.89	2.55	2.38	2.55
12 مم فراغ هوائي	3.57	2.61	2.33	2.21	1.93	2.78	2.38	2.1	1.82	2.1
6 مم فراغ غاز ارجون	3.69	2.72	2.44	2.33	2.1	2.89	2.55	2.21	1.99	2.21
12 مم فراغ غاز ارجون	3.35	2.38	2.1	2.04	1.76	2.5	2.16	1.87	1.53	1.82

طبقتين من الزجاج مع نفاذية ضوئية 5%										
2.33	2.5	2.5	2.84	3.18	2.33	2.55	2.67	3.01	3.97	6 مم فراغ هوائي
1.7	1.99	1.99	2.33	2.67	1.87	2.16	2.21	2.55	3.46	12 مم فراغ هوائي
1.87	2.1	2.16	2.44	2.78	1.99	2.27	2.38	2.67	3.63	6 مم فراغ غاز ارجون
1.42	1.76	1.76	2.04	2.44	1.7	1.93	2.04	2.33	3.23	12 مم فراغ غاز ارجون
3 طبقات من الزجاج										
2.16	2.38	2.38	2.67	3.01	2.16	2.44	2.44	2.78	3.8	6 مم فراغ هوائي
1.76	2.04	2.04	2.33	2.67	1.93	2.16	2.16	2.5	3.46	12 مم فراغ هوائي
1.93	2.16	2.16	2.5	2.84	2.04	2.27	2.33	2.61	3.57	6 مم فراغ غاز ارجون
1.65	1.93	1.93	2.27	2.55	1.82	2.04	2.1	2.38	3.35	12 مم فراغ غاز ارجون
3 طبقات من الزجاج مع نفاذية 20% على سطحين										
1.87	2.1	2.1	2.44	2.78	1.99	2.21	2.27	2.55	3.52	6 مم فراغ هوائي
1.42	1.76	1.76	2.04	2.38	1.65	1.87	1.93	2.21	3.18	12 مم فراغ هوائي
1.59	1.87	1.87	2.21	2.55	1.76	2.04	2.04	2.33	3.29	6 مم فراغ غاز ارجون
1.25	1.59	1.59	1.87	2.21	1.53	1.76	1.82	2.1	3.06	12 مم فراغ غاز ارجون
3 طبقات من الزجاج مع نفاذية 10% على سطحين										
1.53	1.82	1.82	2.16	2.5	1.76	1.99	2.04	2.27	3.29	6 مم فراغ هوائي
1.02	1.42	1.42	1.7	2.04	1.42	1.59	1.65	1.93	2.84	12 مم فراغ هوائي

1.19	1.53	1.53	1.87	2.16	1.53	1.76	1.76	2.04	3.01	6 مم فراغ غاز ارجون
0.79	1.19	1.19	1.53	1.82	1.25	1.48	1.48	1.7	2.67	12 مم فراغ غاز ارجون

Table A8.3 معاميل الانتقال الحراري الشمسي ومعامل النفاذية الضوئية للنوافذ مجهولة البيانات										
معاميل النفاذية الضوئية للنوافذ				معاميل الانتقال الحراري الشمسي						
إطارات أخرى		إطار المنيوم		إطارات أخرى		إطار المنيوم				
ثابتة (غير قابلة للفتح)	قابلة للفتح	ثابتة (غير قابلة للفتح)	قابلة للفتح	ثابتة (غير قابلة للفتح)	قابلة للفتح	ثابتة (غير قابلة للفتح)	قابلة للفتح	سماكة الزجاج		نوع الزجاج
								mm		طبقتين مزدوجتين من الزجاج
0.72	0.65	0.73	0.72	0.67	0.62	0.7	0.69		3	طبقتين شفافة
0.7	0.62	0.7	0.69	0.62	0.57	0.64	0.64		6	طبقتين شفافة
0.56	0.5	0.56	0.55	0.55	0.5	0.57	0.57		3	طبقة شفافة وطبقة مظلة (بني)
0.42	0.38	0.42	0.42	0.43	0.4	0.45	0.45		6	طبقة شفافة وطبقة مظلة (بني)
0.67	0.6	0.68	0.67	0.53	0.49	0.55	0.55		3	طبقة شفافة وطبقة مظلة (اخضر)
0.61	0.54	0.61	0.61	0.43	0.4	0.45	0.45		6	طبقة شفافة وطبقة مظلة (اخضر)
0.5	0.45	0.5	0.5	0.53	0.49	0.55	0.55		3	طبقة شفافة وطبقة مظلة (رصاصي)
0.37	0.33	0.37	0.36	0.42	0.38	0.43	0.43		6	طبقة شفافة وطبقة مظلة (رصاصي)
0.6	0.54	0.6	0.6	0.44	0.41	0.46	0.46		6	طبقة شفافة وطبقة مظلة (اخضر وازرق)
0.53	0.47	0.53	0.53	0.35	0.32	0.36	0.36		6	طبقة شفافة وطبقة مظلة

										عاكسة (اخضر وازرق)
طبقتين مزدوجتين من الزجاج العاكس										
0.07	0.06	0.06	0.06	0.12	0.11	0.13	0.13		6	مدعم ذاتية شفافية %8
0.12	0.1	0.12	0.12	0.15	0.14	0.16	0.17		6	مدعم ذاتية شفافية %14
0.17	0.14	0.16	0.16	0.2	0.18	0.21	0.21		6	مدعم ذاتية شفافية %20
0.11	0.09	0.1	0.1	0.14	0.14	0.16	0.16		6	مدعم ذاتية شفافية %14 مظلة بالاخضر
0.17	0.14	0.16	0.16	0.19	0.18	0.2	0.2		6	مدعم ذاتية شفافية %20 ومظلة
0.25	0.22	0.24	0.24	0.26	0.24	0.27	0.27		6	مدعم ذاتية شفافية %30 ومظلة
طبقتين مزدوجتين من الزجاج قليل النفاذية (Low-E) نفاذية 20% على السطح الثاني										
0.68	0.61	0.68	0.68	0.58	0.53	0.6	0.59		3	CLR LE
0.65	0.58	0.66	0.65	0.53	0.49	0.55	0.55		6	CLR LE
طبقتين مزدوجتين من الزجاج قليل النفاذية (Low-E) نفاذية 20% على السطح الثالث										
0.68	0.61	0.68	0.68	0.62	0.57	0.64	0.64		3	LE CLR
0.65	0.58	0.66	0.65	0.58	0.53	0.6	0.59		6	LE CLR
0.52	0.46	0.52	0.52	0.51	0.46	0.52	0.52		3	LE BRZ
0.41	0.36	0.41	0.4	0.4	0.37	0.42	0.42		6	LE BRZ
0.63	0.56	0.63	0.62	0.49	0.45	0.51	0.5		3	LE GRN
0.55	0.49	0.55	0.54	0.36	0.34	0.38	0.38		6	LE GRN
0.48	0.42	0.48	0.47	0.48	0.44	0.5	0.5		3	LE GRY
0.34	0.3	0.33	0.33	0.35	0.32	0.36	0.36		6	LE GRY

0.56	0.5	0.56	0.55	0.4	0.37	0.42	0.42		6	BLUGRN LE
0.49	0.44	0.5	0.49	0.3	0.28	0.32	0.32		6	GRN HI-P LE
طبقتين مزدوجتين من الزجاج قليل النفاذية (Low-E) نفاذية 10% على السطح الثاني										
0.68	0.61	0.68	0.68	0.58	0.53	0.6	0.59		3	CLR LE
0.64	0.58	0.65	0.64	0.53	0.49	0.55	0.55		6	CLR LE
طبقتين مزدوجتين من الزجاج قليل النفاذية (Low-E) نفاذية 10% على السطح الثالث										
0.67	0.6	0.68	0.67	0.53	0.49	0.55	0.55		3	شفاف Low E
0.64	0.58	0.65	0.64	0.5	0.46	0.52	0.51		6	شفاف Low E
0.51	0.46	0.51	0.51	0.43	0.39	0.44	0.44		3	بني Low E
0.41	0.36	0.41	0.4	0.35	0.32	0.36	0.36		6	بني Low E
0.61	0.54	0.61	0.61	0.41	0.38	0.43	0.42		3	اخضر E
0.55	0.49	0.55	0.54	0.32	0.3	0.34	0.34		6	اخضر E
0.47	0.42	0.47	0.46	0.41	0.38	0.43	0.42		3	رصاصي Low E
0.34	0.3	0.33	0.33	0.3	0.28	0.32	0.32		6	رصاصي Low E
0.56	0.5	0.56	0.55	0.35	0.32	0.36	0.36		6	اخضر أزرق Low E
0.51	0.46	0.51	0.51	0.28	0.26	0.29	0.29		6	اخضر عال الاداء Low E
طبقتين مزدوجتين من الزجاج قليل النفاذية (Low-E) نفاذية 5% على السطح الثالث										
0.64	0.58	0.65	0.64	0.36	0.34	0.38	0.38		3	شفاف Low E
0.63	0.56	0.63	0.62	0.33	0.3	0.34	0.34		6	شفاف Low E
0.38	0.34	0.38	0.37	0.23	0.22	0.25	0.25		6	بني مع شفاف Low E
0.54	0.48	0.54	0.53	0.28	0.26	0.29	0.29		6	اخضر مع شفاف Low E
0.32	0.28	0.32	0.31	0.21	0.2	0.23	0.23		6	رصاصي مع شفاف Low E

0.41	0.36	0.41	0.4	0.24	0.22	0.25	0.26		6	ازرق مع شفاف Low E
0.48	0.42	0.48	0.47	0.24	0.22	0.25	0.26		6	اخضر عال الأداء مع شفاف Low E
3 طبقات من الزجاج										
0.66	0.59	0.67	0.66	0.6	0.55	0.62	0.62		3	CLR CLR CLR
0.63	0.56	0.63	0.62	0.54	0.5	0.56	0.56		6	CLR CLR CLR
0.48	0.42	0.48	0.47	0.29	0.26	0.3	0.3		6	GRN HI-P CLR CLR
3 طبقات من الزجاج 20% على السطح الثاني										
0.61	0.54	0.61	0.61	0.53	0.49	0.55	0.55		3	3 طبقات شفافة
0.57	0.51	0.58	0.57	0.47	0.43	0.49	0.49		6	طبقتين شفافة وطبقة Low e
3 طبقات من الزجاج 20% على السطح الخامس										
0.61	0.54	0.61	0.61	0.55	0.5	0.57	0.57		3	طبقتين شفافة وطبقة Low e
0.57	0.51	0.58	0.57	0.5	0.46	0.52	0.51		6	طبقتين شفافة وطبقة Low e
3 طبقات من الزجاج 10% على السطح الثاني والخامس										
0.56	0.5	0.56	0.55	0.36	0.34	0.38	0.38		3	طبقتين شفافة وطبقة Low e
0.53	0.47	0.53	0.53	0.32	0.3	0.34	0.34		6	طبقتين شفافة وطبقة Low e

ملحق ج: المقاومة الحرارية للمسارات الهوائية

المقاومة الحرارية للهواء الداخلي والخارجي		
معامل المقاومة الحرارية (R-Value) (K.m ² /W)	داخلي / خارجي	النظام الانشائي
0.12	داخلي	جدار
0.03	خارجي	
0.17	داخلي	سطح
0.03	خارجي	

جدول A9.4A قيم معامل المقاومة الحرارية للتجاويف الهوائية						
المقاومة الحرارية R-Value - m ² ·°C/W					سمائة الفراغ الهوائي (مم)	العنصر
النفاذية الفعالة					mm	
0.82	0.5	0.2	0.05	0.03		
0.14)	0.19	0.29	0.41	0.44	13	سطح (اتجاه الحرارة للاسفل)
0.15	0.21	0.37	0.58	0.63	19	
0.17	0.25	0.49	0.94	1.07	38	
0.18	0.28	0.6	1.44	1.89	89	
0.18	0.28	0.63	1.63	2.07	140	
0.14	0.19	0.29	0.41	0.44	13	جدار
0.15	0.21	0.37	0.57	0.62	19	
0.18	0.26	0.42	0.63	0.67	38	
0.18	0.25	0.41	0.6	0.64	89	
0.15	0.22	0.38	0.61	0.66	140	
0.15	0.2	0.28	0.36	0.38	13	سطح / دور (اتجاه الحرارة للاعلى)
0.15	0.2	0.3	0.39	0.41	19	
0.16	0.21	0.32	0.42	0.44	38	
0.16	0.23	0.34	0.47	0.49	89	
0.17	0.23	0.36	0.5	0.52	140	