دائـــــرة الـــطـــاقـــة
DEPARTMENT OF ENERGY

دليل أحمال التبريد لإمـــارة أبوظبـــي

www.doe.gov.ae

قائمة التحديثات على المستند

الرقم المرجعي لطلبات التحديث على المستند	رقم الصفحة	ملخص التحديث	تاريخ السريان الجديد
النسخة الأصلية (DoE_PR_P04_001)	الكل	لا ينطبق	مايو 2026

جدول المحتويات

1. مقدمة **11**
1.1 النطاق 12

2. ظروف التصميم البيئية **13**
2.1 ظروف التصميم المحيطة لحمل التبريد 13
2.2 ظروف التصميم المحيطة لحمل التهوية 14

3. ظروف التصميم الداخلي **16**
3.1 الراحة الحرارية 16
3.2 تقسيم المناطق 16
3.2.1 التحكم في درجة الحرارة 18
3.2.2 حركة الهواء 19

4. الشكل الهندسي للمبنى **20**
4.1 التوجيه 20
4.2 أساليب تمثيل الأحمال 20
4.2.1 أسلوب الحمل الكلي للنظام 21
4.2.2 أسلوب المناطق الحرارية المستقلة 21
4.3 تظليل المبنى 21
4.4 المباني المجاورة 21

5. المكاسب الحرارية الخارجية **22**
5.1 غلاف المبنى 22
5.1.1 الجدران 22
5.1.2 الأسطح 23
5.1.3 (النوافذ والأسقف الزجاجية) 23
5.1.4 الأرضيات 23
5.1.5 الجدران الداخلية المجاورة للمناطق غير المكيّفة 23
5.1.6 تقييم استراتيجيات التصميم السلبي لخفض حمل التبريد 24
5.2 التهوية 24
5.2.1 استرداد الحرارة 25
5.2.2 جودة الهواء الداخلي 25
5.2.3 ضغط المبنى 26
5.2.4 التحكم في التهوية حسب الطلب 26
5.3 تسرب الهواء 27

6. المكاسب الحرارية الداخلية **28**
6.1 الإضاءة 28
6.2 الإشغال 28
6.3 المعدات 30
6.4 الاكتساب الحراري من المحركات 31

7. تصميم النظام **32**
7.1 هامش الأمان 32
7.2 حمل التبريد المتنوع 33
7.2.1 تباين الحمل الشمسي 35
7.2.2 تنوع الاكتساب الحراري الداخلي 37
7.2.3 تباين تسرب الهواء 37
7.2.4 تنوع التهوية 38

جدول المحتويات

7.3 خسائر النظام	**38**
7.3.1 العزل الحراري	38
7.3.2 التسريب في مجاري الهواء (Duct)	38
7.4 المبالغة في التصميم بسبب ظروف تصميم خارجية غير معيارية	39
8. محطة التبريد	**41**
8.1 السعة المركبة (الأساسية والاحتياطية)	41
9. مراجعة التصميم والتحقق منه	**42**
10. المراجع	**43**
الملحق 1: متطلبات برمجيات المحاكاة	**44**

الأشكال

الشكل 1: فوائد دليل أحمال التبريد لمختلف الأطراف المعنية	11
الشكل 2: رسم توضيحي لنطاق الراحة الحرارية في مدينة أبوظبي	13
الشكل 3: التقسيم غير الصحيح للمناطق قد يسبب عدم الراحة، والتبريد المفرط، وهدر الطاقة	17
الشكل 4: التقسيم الصحيح للمناطق يوفر ظروفًا مريحة ويقلل الشكاوى	17
الشكل 5 : مقارنة بين الأنظمة القائمة على التشغيل والإيقاف (ON-OFF) وأنظمة التحكم المتغير (Modulating)	18
الشكل 6: توزيع الهواء في الحيز المأهول	19
الشكل 7: منهجيات مختلفة لتقسيم المناطق - الحمل الكلي للنظام (يسار) والكتل الحرارية المستقلة (يمين)	20
الشكل 8: نموذج لتصميم مكتب	29
الشكل 9: نموذج لتصميم مطعم	29
الشكل 10: حمل ذروة الطلب المتغير	33
الشكل 11: نمط حمل التبريد المتغير مقارنة بالنمط غير المتغير لأربع مناطق	35
الشكل 12: تسرّب الهواء للداخل والخارج نتيجة الرياح	38
الشكل 13 :مقارنة أحمال التبريد لظروف تصميم بيئية مختلفة	40

الجداول

الجدول 1: ظروف التصميم البيئية لحسابات الكسب الحراري – أبوظبي	14
الجدول 2: ظروف تصميم الهواء المحيط لحسابات أنظمة التهوية – أبوظبي	14
الجدول 3: مقارنة بين استراتيجيات تقسيم المناطق غير الصحيحة (الشكل 3) والصحيحة (الشكل 4)	17
الجدول 4:حساب عامل التنوع	34
الجدول 5 :مقارنة حمل التبريد بالساعة لـ 4 مناطق	36
الجدول 6: مثال على تنوع الإشغال	37
الجدول 7: ملخص منهجيات حساب أحمال التبريد	45

تمهيد

يُمثّل إعداد «دليل أحمال التبريد» لإمارة أبوظبي علامةً فارقةً في مسيرة تحقيق كفاءة الطاقة وتعزيز الاستدامة في البيئة العمرانية للإمارة. وفي ظل ما يشهده المناخ العالمي من تغيرٍ مستمرٍ، وما يطرأ على الطلب على الطاقة من تصاعدٍ؛ فقد اكتسبت الحسابات الدقيقة لأحمال التبريد، المدعومة بالبيانات، أهميةً بالغة تفوق أي وقتٍ مضى. وبما أن أنظمة تكييف الهواء هي المستهلك الأول للطاقة في مباني أبوظبي؛ فإن تحديد أحجامها تحديدًا سليمًا يُعَدُّ ركيزةً أساسيةً لخفض التكاليف الرأسمالية للمعدات والبنية التحتية، وتحقيق الاستخدام الأمثل للطاقة، وضبط نفقات التشغيل، فضلاً عن تعزيز الأداء العام للنظام.

وقد أُعدّ هذا الدليل بعناية فائقةٍ استجابةً لتلك التحديات، مُستلهمًا مادته من أفضل الممارسات في المعايير الدولية، ومُراعيًا الظروف والمتطلبات المتفردة لإمارة أبوظبي. ويضع الدليل بين أيدي المطورين ومُلّاك المباني والممارسين في مجالات الهندسة والعمارة والإنشاء جملةً من التوصيات لانتهاجها؛ للدقة في حساب أحمال التبريد، وضمان تحديد أحجام أنظمة التكييف بدقة. ويبين الدليل أيضًا عواقب الاعتماد على افتراضاتٍ وعوامل متغيرة تفتقر إلى الدقة خلال عملية تصميم التكييف، ويُنبِّه على المخاطر المقترنة بالتعديلات غير الدقيقة أو ترك مدخلاتٍ جوهريةٍ في حسابات الأحمال.

وإلى جانب الدليل، استُحدِثت «أداة التحقق من أحمال التبريد» (CLVT)؛ لتتيح للمستخدمين مقارنة حساباتهم لأحمال التبريد بالحسابات المُعَدَّة بموجب توصيات الدليل. ومع ذلك، فإن الدليل - معززًا بالأداة - لا يطرح منهجًا جديدًا لحساب أحمال التبريد، ولا يحل محل التقنيات المعتمدة، ولا يقدّم تعليماتٍ تفصيلية لإجراء تلك الحسابات؛ بل يحث على اتباع أفضل الممارسات لتحديد حجم معدات التكييف تحديدًا سليمًا، مما يسهم -عند الالتزام به- في معالجة المكيفات كبيرة الحجم والمستخدمة بكثرة. ويطرح الدليل أيضًا حلاً شاملاً للممارسين والمسؤولين الحكوميين للتحقق من أحمال التبريد للمباني الجديدة والقائمة قياسًا على أفضل الممارسات؛ تعزيزًا للاتساق والموثوقية في المشاريع كافة.

الاختصارات والمصطلحات

تكييف الهواء	AC
معدل تغيير الهواء في الساعة (مقاسًا بـ م^3/ساعة)	ACH
أبوظبي	AD
الجدران فوق مستوى سطح الأرض	AGW
وحدة تزويد الهواء	AHU
الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتبريد وتكييف الهواء	ASHRAE
الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد	ASTM
غرفة نوم	BR
مركز البيئة المشيدة في جامعة كاليفورنيا بيركلي	CBE
التصميم الأولي	CD
ديناميكا الموائع الحسابية	CFD
المعهد المعتمد لمهندسي خدمات البناء	CIBSE
دليل أحمال التبريد	CLM
أداة التحقق من أحمال التبريد	CLVT
ثاني أكسيد الكربون	CO_2
تأثير كواندا (ميل نفاثة المائع لملازمة الأسطح المحاذية لها)	COANDA
درجة الحرارة الجافة (مقاسة بالدرجة المئوية)	DBT
تبريد المناطق	DC
محطة تبريد المناطق	DCP
التهوية الموجهة حسب الطلب	DCV
التصميم التفصيلي	DD
شركات التوزيع (شركات المرافق)	DISCOs
دائرة البلديات والنقل – أبوظبي	DMT
دائرة الطاقة – أبوظبي	DoE
إدارة جانب الطلب	DSM
جهاز تهوية استرجاع الطاقة	ERV
وحدة تزويد الهواء النقي	FAHU
وحدة الفان كويل	FCU
حديد مجلفن	GI
التدفئة والتهوية وتكييف الهواء	HVAC
جودة الهواء الداخلي	IAQ

الاختصارات والمصطلحات

IESVE	حلول البيئة المتكاملة - البيئة الافتراضية (برنامج يُستخدم لحسابات أحمال التبريد)
LPD	كثافة طاقة الإضاءة (تُقاس بـ واط/م^2)
MAHU	وحدة تزويد الهواء النقي
MEP	الأعمال الميكانيكية والكهربائية وأعمال السباكة
R-value	قيمة المقاومة الحرارية (R)؛ مقياس لمقاومة المادة لتدفق الحرارة (م^2·كلفن/واط)
SHGC	معامل الاكتساب الحراري الشمسي
SMACNA	الجمعية الوطنية لمقاولي الصفائح المعدنية وتكييف الهواء
U-Value	معامل الانتقال الحراري (قيمة U)؛ تشير إلى مدى كفاءة عنصر البناء في توصيل الحرارة (تُقاس بـ واط/م^2·كلفن)
VOCs	المركبات العضوية المتطايرة
WBT	درجة الحرارة الرطبة (تُقاس بالدرجة المئوية)
WWR	نسبة النوافذ إلى الجدران

وحدات القياس

°C	درجة مئوية (وحدة قياس الحرارة)
ΔT	دلتا T (فرق درجات الحرارة)
fpm	قدم في الدقيقة (وحدة لسرعة الهواء)
K	كلفن (وحدة قياس الحرارة المطلقة)
kW	كيلوواط (وحدة للقدرة)
L	لتر (وحدة للحجم)
L/s	لتر في الثانية (وحدة لمعدل تدفق الهواء)
L/s.m^2	لتر في الثانية لكل متر مربع (وحدة لتدفق الهواء لكل وحدة مساحة)
m/s	متر في الثانية (وحدة للسرعة)
m³/h	متر مكعب في الساعة (وحدة لمعدل تدفق الهواء)
m²·K/W	متر مربع كلفن لكل واط (وحدة للمقاومة الحرارية)
NE	الشمال الشرقي (اتجاه)
NW	الشمال الغربي (اتجاه)
Pa	باسكال (وحدة للضغط)
PM	المواد الجسيمية (الجسيمات العالقة)

وحدات القياس

الجنوب الشرقي (اتجاه)	SE
الجنوب الغربي (اتجاه)	SW
واط لكل متر مربع كلفن (وحدة معامل انتقال الحرارة)	W/m^2K

دلالات الألفاظ

يجمع هذا الدليل بين صيغ الإلزام (المعايير) وصيغ التوصية (الإرشادات)؛ والتي تهدف إلى ضمان الحفاظ على الحد الأدنى من المعايير بالإضافة إلى السماح لمصممي أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء بالتفسير.
وتحدد دلالات العبارات وفقًا للصيغ الآتية:

(يجب/يتحتم) و (ويجب ألا/يحظر): عبارات إلزامية.
(ينبغي) و(ينبغي ألا): عبارتان تفيدان التوصية أو التوقع.
(يمكن) و(لا يمكن): تشيران إلى القدرة المادية أو التقنية، ولا تقتضيان الإلزام.
(قد/يجوز) و (قد لا/لا يجوز): تشيران إلى الاحتمالية أو الإذن.

وإضافةً إلى ذلك، استُخدِمت أساليب التنسيق التالية:

- تشير النصوص الواردة داخل مربعات خضراء إلى توصيات يجدر بالمصممين مراعاتها أثناء المشروع. ومثال ذلك:
توصية للمصممين ينبغي ألا تختلف ظروف التصميم المحيطة عن القيم المحددة بناءً على تقدير شخصي عشوائي، أو رغبة، أو تعليمات أو طلب من العميل.

- وتشير النصوص ضمن المربعات الزرقاء الفاتحة إلى مقتطفاتٍ مختارة من إرشادات وتعليمات. مثال:
"ينبغي تصميم أنظمة تكييف الهواء والتهوية على نحوٍ يكفل بقاء المبنى تحت ضغطٍ إيجابي".
دليل التصميم لإمارة أبوظبي - مؤسسة مهندسي خدمات البناء المعتمدين (CIBSE)

- وتتضمن النصوص ضمن المربعات ذات اللون "اللون الكافوري" أمثلةً تطبيقية، كالحسابات، أُورِدت لغايات التمثيل. مثال:

مثال
في مبنى مكاتب تبلغ مساحة مكاتبه الكلية 10,000 م^2، لو فُرِض أن كثافة طاقة الإضاءة تبلغ 10 واط/م^2 استنادًا لقاعدة عامة، بينما في حين أن التصميم الفعلي لا يتعدى 6 واط/م^2؛ فإن المبالغة في التقدير الناجمة عن ذلك ستؤثر تأثيرًا جوهريًا في حمل التبريد.

الاكتساب الحراري التقديري للإضاءة = (10000 × 10) / 1000 = 100 كيلوواط
الاكتساب الحراري الواقعي للإضاءة = (10000 × 6) / 1000 = 60 كيلوواط
فائض حمل التبريد بسبب الإضاءة = 100 - 60 = 40 كيلوواط (أي زيادة في التصميم بنسبة 66%)

ومن شأن هذه الزيادة غير الضرورية في حمل التبريد، وقدرها 40 كيلوواط، أن تُفضي إلى استخدام معدات تكييف أكبر من الحاجة، وارتفاع التكاليف الرأسمالية، وضعف كفاءة أداء الطاقة. ولتجنّب ذلك، ينبغي أن تستند حسابات أحمال التبريد إلى تصميم الإضاءة الفعلي، وأن تشمل جميع التركيبات ذات الصلة، مع تجنب الافتراضات العشوائية لكثافة طاقة الإضاءة.

1. مقدمة

دعمًا لاستراتيجية أبوظبي لكفاءة الطاقة والمياه 2030 (استراتيجية إدارة جانب الطلب 2030)؛ طوَّرت دائرة الطاقة، بالتعاون مع دائرة البلديات والنقل في أبوظبي، "دليل أحمال التبريد" للإمارة. ويهدف الدليل إلى معالجة الظاهرة المستفحلة المتمثلة في الأحجام الكبيرة جداً لأنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC)، وما يقترن بها من قصورٍ في الكفاءة بسبب سوءُ تصميم معدات التبريد.

يضع الدليل بين أيدي الممارسين نهجًا عمليًا مُبسَّطًا، مُجدٍ اقتصاديًا، لحساب أحمال التبريد بدقة، وضبط أحجام أنظمة التبريد في المباني الجديدة؛ بما يُفضي في النهاية إلى خفض التكاليف الرأسمالية والتشغيلية المرتبطة بأنظمة التكييف والتهوية. ويصب هذا في مصلحة المطورين والمستثمرين وأصحاب المباني ومشغليها والمستخدمين النهائيين؛ إذ يُتيح مرونةً في التصميم وتخصيصًا أمثل للموارد، مما يعزز التنافسية في السوق، ويُحقق وفورات في الطاقة دون المساس بالراحة، فضلاً عن إطالة العمر الافتراضي لمعدات التكييف وخفض تكاليف صيانتها. وأخيرًا، يعود الدليل بالنفع على الحكومة والمجتمع بأسره؛ لما يُشجع عليه من حفظ الموارد، وتقليل الضغط على البنية التحتية، والحد من الأثر البيئي، كما هو مبيَّن في الشكل 1.

الحكومة والمجتمع

حفظ الموارد

يسهم تجنب استخدام المعدات ذات الحجم الكبير في حفظ الموارد؛ عبر تقليص الطلب على المواد الخام والطاقة المستنزفة في تصنيع الأنظمة الكبيرة وتشغيلها.

الضغط على البنية التحتية

يُغني استخدام الأنظمة، ذات الأحجام المناسبة، عن الحاجة إلى بنيةٍ تحتيةٍ كهربائيةٍ إضافيةٍ لتشغيلها، ويخفف العبء الواقع على الشبكة الكهربائية القائمة؛ مما يعزز أمن الطاقة واستقرارها في المجتمع.

الأثر البيئي

تستهلك أنظمة التكييف والتهوية، المصممة بمقاساتٍ صحيحة، طاقةً أقل عادةً من الوحدات كبيرة الحجم، ولذا فهي ذات بصماتٍ كربونيةٍ أقل.

أصحاب المباني والمشغلون والمستخدمون النهائيون

وفورات الطاقة

تكفل مواءمةُ أحجام أنظمة التكييف والتهوية رفعَ الكفاءة التشغيلية، مما يترجم إلى خفضٍ في الإنفاق، ومن ثَمَّ انخفاض تكاليف الخدمات والمرافق على المدى الطويل.

تعزيز الراحة

قد يُفضِي تركيبُ وحداتٍ كبيرة الحجم إلى حدوث ما يُعرف بظاهرة "الدوران القصير" أي تعاقب التشغيل والإيقاف بسرعة، وهو ما يُحدث تفاوتًا في توزيع درجات الحرارة وخللاً في ضبط الرطوبة؛ مما يُؤثّر سلبًا على مستويات راحة شاغلي المبنى.

إطالة العمر الافتراضي وخفض نفقات الصيانة

تتعرض الأنظمة التي تزيد سعتها عن حاجة المكان للتلف سريعًا بسبب كثرة التردد بين التشغيل والتوقف، وهو ما يؤدي إلى زيادة تكاليف الصيانة والإصلاح.

المطورون والمستثمرون

القدرة التنافسية في السوق

تُمكِّن مواءمةُ أحجام أنظمة التكييف والتهوية المطورين من وضع مشاريعهم في موقعٍ استراتيجي متميز، بصفتها مشاريع تراعي المسؤولية البيئية والاستدامة الاقتصادية. وتكفل هذه الاستراتيجية تعزيز جاذبية المشروع تسويقيًا، واستقطاب أصحاب المصلحة الذين يضعون الاستدامة والجدوى الاقتصادية في صدارة أولوياتهم الاستثمارية.

مرونة التصميم

تكفل الأنظمةُ ذات الأحجام المناسبة مرونةً في التصميم المعماري واستغلال المساحات؛ مما يفسح المجال لاستراتيجياتٍ معماريةٍ أكثر ابتكارًا، واستثمارٍ أمثل للمساحة المتاحة.

تخصيص الموارد الأمثل

يسمح اختيارُ أنظمةٍ ذات أبعادٍ ملائمةٍ للمطورين بتوزيع الموارد بكفاءةٍ أعلى عبر مكونات المشروع المختلفة. فبتجنب شراء معداتٍ تفوق الحاجة، يُمكن للمطورين إعادة توجيه الاستثمارات نحو مجالاتٍ حيويةٍ أخرى، كاستخدام مواد بناءٍ متطورة، أو دمج تقنياتٍ متقدمة، أو إضافة مرافق تكميلية؛ وهو ما يرفع في المحصلة من القيمة الكلية للمشروع ويضاعف جاذبيته.

ويكمّل هذا الدليل "أداة التحقق من أحمال التبريد" (CLVT) المعتمدة على برنامج «إكسل»؛ إعانةً للممارسين والمسؤولين على تحسين أحمال تبريد المباني والتحقق منها لمجموعةٍ متنوعةٍ من أنماط الأبنية.

يتحتم على المصممين ضبط أحجام معدات التدفئة والتهوية وتكييف الهواء ببناء نماذج ضمن برمجيات المحاكاة المناسبة (وفق الملحق 1: متطلبات برمجيات المحاكاة). ويُستحسن لفرق التصميم، خلال مراحل العمل، التزام المبادئ الواردة في الدليل؛ إسهامًا في خفض سعة التكييف المطلوبة. ويمكن استخدام أداة التحقق (CLVT) لإجراء مقارنة معيارية لسعات التكييف المقترحة، إذ ينبغي للمصممين إدخال المعاملات الرئيسية في الأداة، ومنها مساحات غلاف المبنى وخصائصه الحرارية، ومعدلات تسرب الهواء، والأحمال الداخلية الناشئة عن الإضاءة والمعدات والإشغال، وغيرها. وفضلاً عن ذلك، تُدخَل مخرجات النموذج، كأحمال الذروة المتباينة، وهوامش الاحتياط، وعوامل الأمان، والسعة الكلية لمحطة التبريد. وبناءً عليه، تستخرج الأداة حمل تبريد مرجعيٍّ بناءً على المدخلات، وتُبرز التباينات؛ مساعدةً بذلك في كشف أي تضخيم في التصميم. فإن تجاوزت قيمة التصميم هامش 10%± من المعيار الذي أصدرته الأداة؛ وجب على المصمم تقديم تبريرٍ واضحٍ، مدعومٍ بالوثائق اللازمة إن اقتضى الأمر، لتفسير هذا التباين.

1.1 النطاق

يسري هذا الدليل على مشاريع التطوير الجديدة في إمارة أبوظبي، راسمًا المبادئ التي يمكن اعتمادها بدءًا من مرحلة التصميم المبدئي (CD) وصولاً إلى التصميم التفصيلي (DD) بنسبة 100%. وترمي هذه المبادئ إلى ضمان دقة حساب الأحمال الحرارية، ونجاعة استراتيجيات التحكم، وتحقيق الراحة للمستخدمين، وملاءمة أحجام أنظمة التكييف المنفصلة. غير أن نطاق أداة التحقق (CLVT) المصاحبة ينحصر في أنماط المباني التالية، التي تشكل الجزء الأكبر من حمل التبريد في الإمارة.

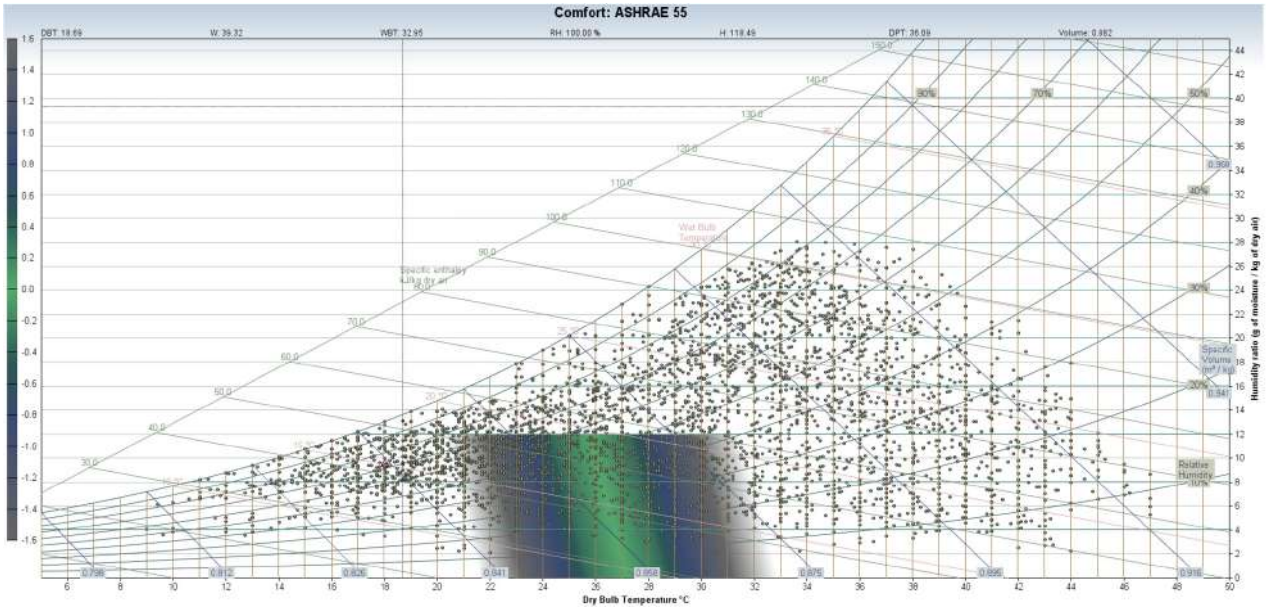
المكاتب
دور العبادة
الفنادق
المدارس
متاجر التجزئة
المطاعم
المباني السكنية متعددة الوحدات
الفلل

وتُستثنى من ذلك مبانٍ رئيسية، مثل مراكز البيانات، ومنشآت التصنيع، ومدن الملاهي، ومراكز المعارض، والمستشفيات، وما شابهها من مرافق؛ نظرًا للتقلب الشديد في أحمال تبريدها واعتمادها على اشتراطات تصميم خاصة، كمعدلات التهوية المرتفعة، أو الحرارة الداخلية المنبعثة من العمليات الصناعية، أو ضبط درجات الحرارة الداخلية عند مستوياتٍ منخفضة تختلف كليًا عما هو سائد في المباني التجارية والسكنية. ونتيجة لذلك، يتعذر على أي أداة قياسية التعبير عن أداء هذه المباني تعبيرًا دقيقًا، ولذا فإنها تستلزم أساليب نمذجة مصممة خصيصًا لوظائفها.

تنبيه: لم تُصمّم الأداة للمشاريع المخدومة بمحطات تبريد المناطق.

2. ظروف التصميم البيئية

يؤثّر مناخ أبوظبي المتسم بارتفاع درجات الحرارة والرطوبة، تأثيرًا مباشرًا في كفاءة أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء وأدائها. ويعدُّ استيعاب طبيعة درجات الحرارة في هذه المنطقة ركيزةً جوهريةً لتصميم أنظمةٍ تحفظ الراحة وجودة الهواء الداخلي (LQA)، بأقل قدرٍ من استهلاك الطاقة. ويعرض الشكل 2 أدناه مخططًا سيكرومتريًا (Psychrometric Chart) تعلوه نقاط بياناتٍ تمثل الظروف الجوية المحيطة بأبوظبي، والمستقاة من أحدث ملف لـ "سنة الأرصاد الجوية النموذجية" (TMY). وتشير النطاقات الملونة إلى فئات الراحة الحرارية وفق معيار (ASHRAE 55)؛ فيرمز اللون الأخضر إلى ظروف الراحة المُثلى والأكثر تفضيلاً، ويمثل الأزرق ظروف الراحة المقبولة، في حين يعبر الرمادي عن الفترات التي تُعد غير مريحةٍ حراريًا.



الشكل 2: رسم توضيحي لنطاق الراحة الحرارية في مدينة أبوظبي

2.1 ظروف التصميم المحيطة لحمل التبريد

عند احتساب حمل التبريد للمبنى، يمثل "الكسب الخارجي" عادةً المكوّن الأكبر؛ ونعني به الحرارة النافذة إلى المبنى عبر غلافه -من جدران ونوافذ وأسطح- قادمةً من المحيط الخارجي. ويرتبط هذا الكسب في المقام الأول بحمل الحرارة المحسوسة، الذي يقع تحت التأثير المباشر لدرجة الحرارة الجافة (DBT). ولذا تُستخدم ظروف ذروة الحرارة الجافة في موقع المبنى لتحديد مقدار الكسب الحراري المحسوس المتسرب إلى الداخل.

ويتحتم اعتماد ظروف التصميم الخارجية لمدينتي أبوظبي والعين -كما هو محدد في الجدول -1 عند حساب المكاسب الحرارية عبر أغلفة المباني للمشاريع الواقعة فيهما. ويسري استخدام بيانات هذين الموقعين على المشاريع في المناطق الساحلية ومناطق البر الأخرى من الإمارة، على التوالي، مع مراعاة التعديلات الواردة في القسم 2.2 أدناه. وقد صنف معيار (ASHRAE 169-2021) -بشأن البيانات المناخية لتصميم المباني- المنطقة المناخية لأبوظبي ضمن الفئة (0B). وحدد دليل أساسيات (ASHRAE) لعام 2021 (الفصل 14: التصميم المناخي) ظروف التصميم الخارجي لدرجة الحرارة الجافة بما يوافق التكرار التراكمي السنوي للحدوث (في الظروف الحارة) بنسب 0.4%، و1%، و 2% وفقًا لكود أبوظبي الدولي لترشيد استهلاك الطاقة (ADIECC)، فإن منطقة مناخ إمارة أبوظبي تُصنَّف ضمن المنطقة المناخية رقم (1)

واتساقًا مع أفضل الممارسات المحلية والدولية، يُستحسَن اعتماد شرط التصميم (نسبة 0.4%)؛ لضمان تقييم الأداء الحراري للمبنى في ضوء ظروف ذروةٍ أكثر حدةً، غير أنها محتملة الحدوث. وبالنظر إلى المنحى العالمي لارتفاع الحرارة، فإن الأخذ بشرط التصميم (0.4%) يوفر هامش أمانٍ إضافيًا، يخفّف -إلى حدٍّ ما- من خطر قصور أداء النظام أو انعدام الراحة مستقبلاً جراء تصاعد درجات الحرارة المحيطة. ومن شأن هذا النهج أن يرفع دقة تحديد أحجام المعدات، ويعزز قدرة المبنى على التكيف مع سيناريوهات التغير المناخي المتوقعة. وفي هذا الصدد، يوضح المثال الوارد في القسم 7.4 أثر استخدام درجات حرارةٍ خارجيةٍ للتصميم تفوق المعيار، وما ينبني على ذلك من اختيار معدات ذات احجام اكبر من متطلبات تصميم المبنى.

الجدول 1: ظروف التصميم المحيطة لحسابات الاكتساب الحراري – أبوظبي

المُتغيِّر	**مدينة أبوظبي** (ممثلةً للمناطق الساحلية)	**مدينة العين** (ممثلةً لمناطق البر)	المرجع
المنطقة المناخية	B0 / 1	B0 / 1	ASHRAE 169-2021 / كود أبوظبي الدولي لترشيد استهلاك الطاقة
درجة الحرارة الجافة (DBT)	46.1 درجة مئوية	48.8 درجة مئوية	كود أبوظبي الدولي لترشيد استهلاك الطاقة
درجة الحرارة الرطبة (WBT)	29.4 درجة مئوية	28.3 درجة مئوية	كود أبوظبي الدولي لترشيد استهلاك الطاقة
خط العرض	24.433 شمالاً	24.262 شمالاً	2021 ASHRAE Handbook – Fundamentals
خط الطول	54.651 شرقًا	54.609 شرقًا	2021 ASHRAE Handbook – Fundamentals
الارتفاع	27 مترًا	265 مترًا	2021 ASHRAE Handbook – Fundamentals

توصية للمصممين

ينبغي ألا تنحرف ظروف التصميم المحيطة عن القيم المقررة؛ استنادًا إلى حكمٍ شخصيٍ عشوائي، أو تفضيلٍ، أو توجيهٍ من العميل أو طلبٍ منه.

2.2 ظروف التصميم المحيطة لحمل التهوية

عند حساب أحمال التهوية، التي تُعنى بتحديد كمية الهواء الخارجي اللازمة للحفاظ على جودة الهواء الداخلي؛ فإن التركيز يتحول إلى التحكم في درجات الحرارة والرطوبة معًا. وتستهلك إزالة الرطوبة من الهواء الخارجي جزءًا كبيرًا من حمل التبريد، ولا سيما في المناطق الرطبة؛ والمقصود هنا الطاقةُ اللازمة لتخليص الهواء من الرطوبة والتحكّم بمستوياتها داخل المبنى، وهي عمليةٌ تتولاها عادةً وحدات تزويد الهواء النقي (FAHUs)، ووحدات تزويد الهواء النقي (MAHUs)، وأجهزة تهوية استرداد الطاقة (ERVs). وبما أن الرطوبة وثيقة الصلة بدرجة الحرارة الرطبة (WBT)؛ فإن ذروة درجة الحرارة الرطبة -لا الجافة- هي العامل الحاكم في تحديد حمل الحرارة الكامنة المحتمل للهواء الخارجي. وعليه، يجب اعتماد ظروف التصميم الخارجية لمدينتي أبوظبي والعين، الواردة في الجدول 2، عند حساب حمل التهوية.

الجدول 2: ظروف تصميم الهواء المحيط لحسابات أنظمة التهوية – أبوظبي

المُتغيِّر	**مدينة أبوظبي** (ممثلةً للمناطق الساحلية)	**مدينة العين** (ممثلةً لمناطق البر)	المرجع
درجة الحرارة الجافة	35.3 درجة مئوية	35.8 درجة مئوية	دليل أساسيات ASHRAE 2021
درجة الحرارة الرطبة	30.6 درجة مئوية	28.8 درجة مئوية	دليل أساسيات ASHRAE 2021

تتفاوت التغيرات المناخية الإقليمية -أي درجات الحرارة الجافة والرطبة- في مناطق أخرى من إمارة أبوظبي، مثل ليوا ومدينة زايد وغيرهما؛ غير أن ظروف التصميم المحيطة في «أداة التحقق» (CLVT) قد ضُبِطَت لمدينتي أبوظبي والعين حصرًا، ولن تبلغ دقتها الدرجة ذاتها في غيرهما. ويسع المصممين لتلك المواقع الأخرى اتباع المبادئ الواردة في الدليل، مع وجوب تعديل نماذجهم لتلائم مواقعهم المحددة، ومراعاة توجيهات النقاط الثلاث التالية في هذا القسم. ويتاح فعل ذلك داخل الأداة عبر إدراج حمل إضافي في ورقة «الأحمال الأخرى»

وفي حال إمداد حيزٍ واحد أو أكثر بهواءٍ نقيٍ غير معالج، يتم حساب حمل النظام وفقًا لشرطي التصميم كليهما (ذروة الحمل المحيط المحسوس، وذروة الحمل المحيط الكامن). وتُعتمد القيمة الكبرى منهما لتصميم النظام على مستوى الحيز، في حين يُطبَّق الحمل المتغير (Diversified Load) لتصميم النظام على مستوى المبنى.

1. متطلبات التعديل

يتحتم على المشاريع الواقعة خارج نطاق مدينتي أبوظبي والعين تكييف ظروف تصميم التبريد (درجتي الحرارة الجافة والرطبة) بطريقة ملائمة؛ بحيث تراعي المناخات المحلية الدقيقة. ويجب اعتماد هذه القيم المُعدَّلة، على نحوٍ مُطَّرِد، في:

- حسابات الاكتساب الحراري للغلاف.
- أحمال التهوية (الكامنة/المحسوسة).
- حجم النظام والملفات.
- اختيار ملف الطقس للمحاكاة.

2. مصادر البيانات المعتمدة

يتعين على المصممين الاستناد في تعديلاتهم الإقليمية إلى أحد المصادر الآتية:

- دليل أساسيات (ASHRAE)، الفصل 14: ظروف التصميم المناخي (أحدث طبعة).
- بيانات الأرصاد الجوية الوطنية لدولة الإمارات، متى كانت متاحةً للعموم أو صادرةً رسميًا.

3. توثيق التصميم

يلزم المصممين حفظُ وثائق تعديلاتهم؛ كبيئة التصميم المحيطة (الحرارة الجافة والرطبة) المستخدمة، والبيانات الداعمة مثل مصدر ملف الطقس، والنسبة المئوية المستخدمة، وغيرها؛ وذلك للرجوع إليها مستقبلاً.

3. ظروف التصميم الداخلي

ترتبط ظروف التصميم الداخلي - من درجة حرارة، ورطوبة نسبية، وسرعة هواء - ارتباطًا وثيقًا بالراحة الحرارية لشاغلي المبنى، وهي راحةٌ تتأثر كذلك بطبيعة الملبس، ومستويات النشاط، والسن، والجنس. وبناءً على ذلك، تُوضَع مُحددات التصميم الداخلي لضمان تحقيق راحةٍ حراريةٍ مقبولةٍ لـ 80% من الشاغلين داخل حيزٍ معين؛ امتثالاً لتوصية معيار (ASHRAE 55-2023) بشأن الظروف البيئية الحرارية للإشغال البشري. ومن الجدير بالذكر أن عدم الالتزام بهذه الشروط، فضلاً عن رداءة تقسيم مناطق النظام وضوابط التحكم، أن يُفضي إلى المبالغة في أحجام معدات التكييف وزيادة استهلاك الطاقة.

توصية للمصممين

يجدر بالمصممين الاستعانةُ بأدوات تحليل الراحة الحرارية المتقدمة، كأداة (CBE Thermal Comfort Tool) المعتمدة لدى العديد من أنظمة تصنيف المباني الخضراء؛ وذلك للتدليل على أن المساحات الداخلية خاليةٌ من أي زيادةٍ أو نقصانٍ في التبريد. وتستوعب هذه الأدوات عوامل التأثير الجوهرية، كالعزل الحراري للملابس، ونشاط الشاغلين، ووظيفة الحيز، وظروف التصميم؛ مما يكفل وقوع تلك الظروف ضمن نطاق الراحة المقبول الذي حدده معيار (ASHRAE 55-2023).

3.1 الراحة الحرارية

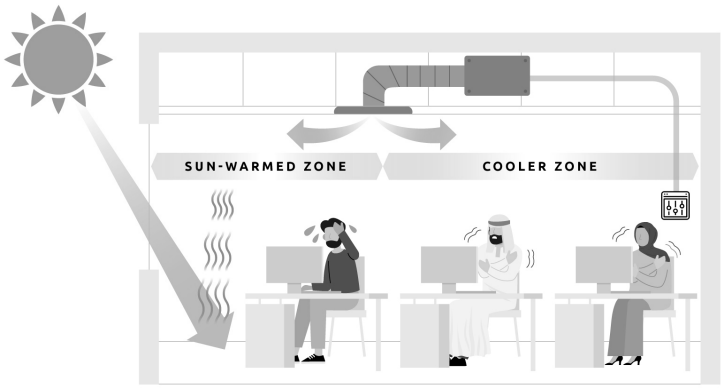
لتحقيق الراحة الحرارية في الأماكن المكيفة، ينبغي ضبط درجات الحرارة الجافة، والرطوبة، ودرجة الحرارة الإشعاعية، وسرعة الهواء. يضع كود أبوظبي الدولي لترشيد استهلاك الطاقة ومعيار ASHRAE 55-2023 مجموعات محددة من درجة الحرارة الجافة والرطوبة النسبية، بما يشمل معايير محددة لحركة الهواء، بهدف توفير مستوى مقبول من الراحة الحرارية لـ 80٪ من شاغلي الحيز المحدد

ومن المتعذر عمليًا توحيد درجة الحرارة والرطوبة وسرعة الهواء لشاغلي المبنى جميعهم. وفضلاً عن ذلك، ينطوي التنظيم الحراري في جسم الإنسان على تبديد الحرارة، بنسبٍ متفاوتةٍ من الحرارة المحسوسة والكامنة، تبعًا لمستوى النشاط والظروف المحيطة. فعلى سبيل المثال، وبحسب دليل أساسيات ASHRAE لعام 2021، يبدد الجسم البشري في حالة السكون ما يقارب 130 واط، معظمها حرارة محسوسة. وفي المقابل، يرتفع هذا الرقم أثناء ممارسة الرياضة ليصل إلى 580 واط، مع تزايد حصة الحرارة الكامنة، ولا سيما عبر التعرق حينما تفوق درجة الحرارة المحيطة درجة حرارة الجسم.

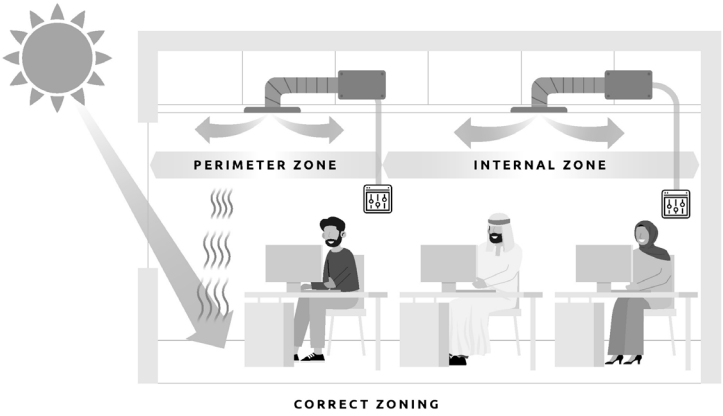
وبناءً على ما تقدم، يُنصح المصممون بتصميم أنظمة تكييفٍ وتهويةٍ قادرةٍ على توفير الراحة الحرارية لشاغلي المبنى؛ وذلك عبر المراعاة الدقيقة لطبيعة استخدام الحيز المقصود، ومستويات نشاط الشاغلين ونوعية ملابسهم.

3.2 تقسيم المناطق

يؤدي دمج المساحات الداخلية والخارجية ضمن منظومة تبريدٍ واحدةٍ إلى تفاوتٍ في درجات الحرارة على مدار اليوم، حتى وإن كان ذلك ضمن منطقةٍ شاملة موحدة وينشأ هذا التغير/ التنوع من تباين خصائص الأحمال؛ فالمساحات الداخلية تتأثر غالبًا بالمكاسب الحرارية الداخلية، في حين تخضع المساحات الخارجية لتأثير كلٍّ من المكاسب الحرارية الشمسية والداخلية معًا، كما هو موضح في الشكل 3 والشكل 4.



الشكل 3: التقسيم غير الصحيح للمناطق قد يسبب عدم الراحة، والتبريد المفرط، وهدر الطاقة



الشكل 4: التقسيم الصحيح للمناطق يوفر ظروفًا مريحة ويقلل الشكاوى

الجدول 3: مقارنة بين استراتيجيات تقسيم المناطق غير الصحيحة (الشكل 3) والصحيحة (الشكل 4)

الشكل 3: التقسيم غير الصحيح للمناطق	الشكل 4: التقسيم الصحيح للمناطق
الاعتماد على مجرى إمداد واحد ومنظم حرارة (Thermostat) واحد في منطقة مركزية تكون عادةً أكثر برودة.	تخصيص منطقتين مستقلتين للتكييف: إحداهما للمحيط المواجه للشمس، والأخرى للعمق الداخلي.
يتحكم منظم الحرارة في درجة الحرارة بناءً على حالة المنطقة المركزية؛ مما ينتج عنه تجاهل لأحمال المناطق الطرفية.	تزويد كل منطقة بمنظم حرارة مستقل أو وحدة تحكم طرفية، مثل صندوق حجم الهواء المتغير (VAV) أو وحدة الفان كويل (FCU)، لتلبي أحمال كل منطقة بدقة.
يحدث ارتفاع في الحرارة في المناطق المعرضة للشمس، بينما يحدث تبريد مفرط في الوسط. مما يؤثّر على الراحة الحرارية للعديد من الشاغلين سلبًا.	تحسين الراحة في جميع المناطق، مع تعديل الحرارة بما يوافق تعرض كل منطقة وظروف إشغالها.
جهاز استشعار واحد لدرجة الحرارة مُثبت في منطقة مركزية عند الجدار الخلفي، ولا يعكس اختلاف الظروف عبر كامل المساحة.	تظهر قراءات منفصلة لدرجة الحرارة في منطقة المحيط وفي المنطقة المركزية، مما يتيح تحكمًا دقيقًا وسريع الاستجابة في كل منطقة.
تزايد وتيرة الشكاوى الحرارية من المستخدمين في أنحاء مختلفة من المكان.	انخفاض شكاوى الراحة نتيجة توازن توزيع الحرارة والتحكم الموضعي.

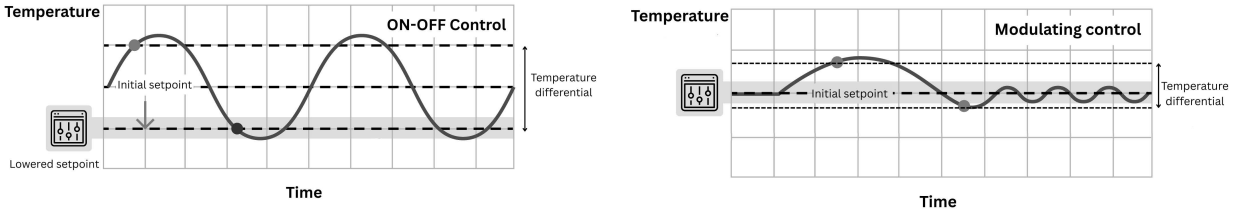
لضمان الراحة الحرارية، يمكن للمصممين تطبيق التدابير التالية:

- تركيب أنظمة ضبط حراري مستقلة في كل غرفة، والحرص على وضع أجهزة الاستشعار في مواقعها الصحيحة.
- اعتماد أنظمة تحكم متعددة المناطق للمساحات المفتوحة التي تتجاوز مساحتها 40 مترًا مربعًا، ولا سيّما تلك التي تتسم باختلاف اتجاهات واجهاتها.
- توزيع أنظمة تحكم حراري مستقلة داخل المناطق (الطرفية) للمساحات المفتوحة أو الغرف الواسعة، التي يتجاوز عمقها 5 أمتار (انظر الشكل 4).
- تقسيم المساحات ذات السقف المرتفع (مزدوجة الارتفاع) التي تتميز بواجهات ممتدة، كالمداخل، إلى مناطق؛ لضمان إفراد المساحة المجاورة للواجهات الزجاجية الكبيرة بتحكم مستقل.

3.2.1 التحكم في درجة الحرارة

يشيعُ في المنطقة استخدام نظام التحكم القائم على التشغيل والإيقاف (ON-OFF) لمعدات التكييف؛ ويرجع ذلك أساسًا إلى كفاءته الاقتصادية وبساطة متطلبات صيانته. ومع ذلك، تتضمن طريقة التحكم هذه فارقًا تشغيليًّا، يُشار إليه عادةً بلفظ النطاق الهامد (dead band)، لتنظيم عمل المعدات. وينتج عن هذا الاختلاف انحراف في درجة حرارة الغرفة، حيث تتأرجح صعودًا أو هبوطًا عن نقطة الضبط المقررة -أي الدرجة التي يرغبها المستخدم- بنحو 0.5 –1.0° درجة مئوية. ونتيجةً لذلك، قد تدفع هذه التقلبات الحرارية الشاغلين إلى خفض نقطة ضبط الثرموستات احتياطًا؛ لضمان عدم تجاوز الحرارة الفعلية الحد المرغوب، مما يتسبب في هدر الطاقة.

يتولى نظام التحكم المتغير (Modulating) تنظيم درجة حرارة هواء الإمداد لتتوافق مع الحمل الحراري للغرفة، ويحافظ على درجة حرارة الغرفة قريبةً من نقطة الضبط. وبما أن معظم المستخدمين يميلون لاختيار نقطة ضبطٍ تتماشى مع درجة الحرارة (التصميمية) فإن هذا يضمن مستوىً أعلى من الراحة وترشيداً لاستهلاك الطاقة، وهو ما يظهره الشكل 5.



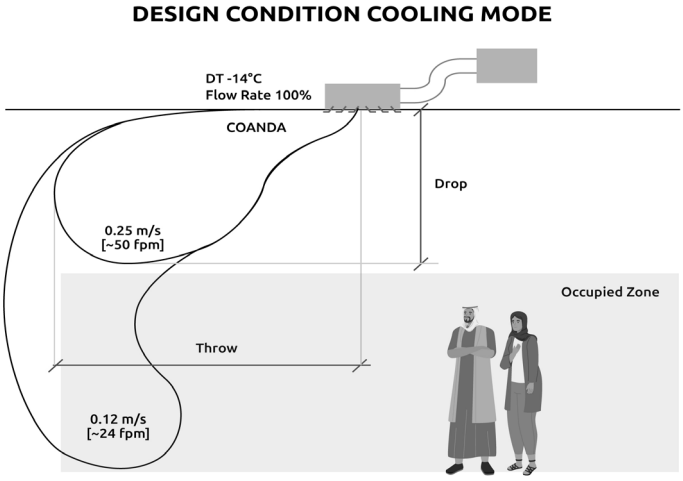
الشكل 5: نظام التحكم تشغيل/إيقاف مقابل نظام التحكم المتغير

توصية للمصممين

ينبغي تزويد جميع أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء، الجديدة منها والمُحدَّثة، بأنظمة تحكم متغير (Modulating controls)، وتجنب آليات التحكم القائمة على "التشغيل والإيقاف"؛ إلا في الحالات التي يكون فيها تطبيق أسلوب التعديل المستمر مجديًا تقنيًا أو اقتصاديًا.

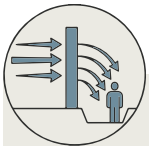
3.2.2 حركة الهواء

يُعد التوزيع السليم للهواء أمرًا حاسمًا للراحة الحرارية؛ فالأنظمة غير الفعالة تتسبب في نشوء تيارات هوائية ومناطق راكدة، مما يتطلب تغيير درجات الحرارة لضمان الراحة. وتُعد سرعة الهواء المنتظمة التي تتراوح بين 0.1 إلى 0.25 م/ث داخل المنطقة المأهولة هي السرعة المثلى. إذ قد تؤدي السرعات التي تقل عن 0.05 م/ث إلى ركود الهواء، في حين قد تتسبب السرعات التي تتجاوز 0.25 م/ث في نشوء تيارات هوائية مزعجة. وبناءً على ذلك، يجب أن تُعطى الأولوية عند اختيار مخارج الهواء لتوزيع الهواء في كامل الغرفة، مع الحرص على أن تكون السرعة النهائية المقدرة بـ 0.25 م/ث محصورة في المنطقة التي تعلو الحيز المأهول، كما يوضح الشكل 6.



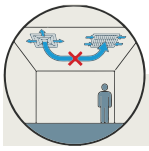
الشكل 6: توزيع الهواء في الحيز المأهول

قد تخضع مخارج الهواء وتشكيلاتها لقيود تفرضها الاعتبارات الجمالية أو محددات أخرى. لذا، ينبغي للمصممين الالتزام بالمبادئ المذكورة أعلاه، والحفاظ على تعاونٍ وثيقٍ لمنع ظهور العيوب الآتية:



الاندفاع المفرط

ارتطام تيارات الهواء بالجدران المقابلة أو عوائق السقف ضمن مسافة الاندفاع المحددة لها؛ مما يؤدي إلى انحراف الهواء نحو الأسفل إلى المنطقة المشغولة.



قصر الدورة

توجيه مخارج هواء الإمداد مباشرة باتجاه فتحات الهواء الراجع؛ فيتغير مسار التدفق قبل الأوان، ولا تتحقّق الفائدة المرجوة منه.

مناطق الركود

المساحات المشغولة التي تتسم بعدم كفاية حركة الهواء؛ مما يفضي إلى ركوده.

4. الشكل الهندسي للمبنى

يوضح هذا القسم أهمية توجيه المبنى وهندسته في عمليات نمذجة الطاقة، ويشرح أساليب حساب الحمل الحراري، بدءًا من نهج الحمل الكلي للنظام (Block Load) وصولاً إلى نهج "التقسيم الحراري" (Thermal Zoning) الأكثر تفصيلاً. ويمكن استخدام أداة التحقّق (CLVT) لتحليل أثر الأشكال الهندسية المختلفة للمبنى، وذلك بإدخال البيانات ذات الصلة في ورقتي "نسيج المبنى" (Building Fabric) و"الأحمال الأخرى" (Other load).

4.1 التوجيه

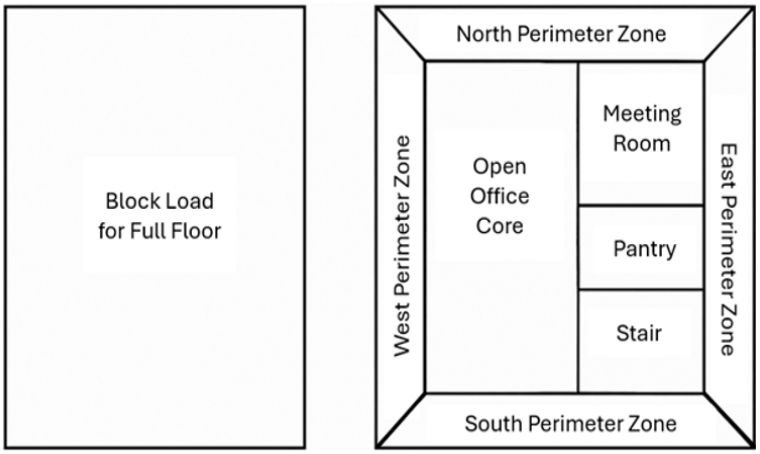
يكتسب توجيه المبنى أهمية بالغةً في تقرير مقدار الإشعاع الشمسي وتوقيت سقوطه على مختلف الواجهات؛ مما يؤثر مباشرةً على الاكتساب الحراري الشمسي، ومن ثم على حمل التبريد الكلي. لذا، ينبغي للمصممين مراعاة توجيه المبنى خلال مرحلة التصميم وتمثيله بدقة. فالمدخلات الخاطئة تفضي إلى نتائج غير دقيقة، مما قد يسفر عن تقدير أحجام أنظمة التكييف والتهوية بالنقصان أو الزيادة عن الحد المطلوب. في حين تكفل المطابقة المتأنية مع تخطيط الموقع الفعلي إلى الحصول على تقديرات موثوقة وواقعية للأحمال.

4.2 أساليب تمثيل الأحمال

يُقصد بالتقسيم الحراري تجزئة المبنى إلى مناطق حرارية متعددة، تتمتع كل منها بخصائص وأنماط أحمال متميزة. وتكمن أهمية هذا التقسيم في دقّة تمثيل الأحمال الداخلية والخارجية، وأنماط الإشغال، وتوزيع النظام، والتعرض الشمسي. ويتيح التقسيم الحراري السليم إجراء عمليات محاكاة أقرب للواقع، ويضمن تناسب سعة معدات التكييف مع عاملي التباين والطلب المتزامن. وتُحدَّد المناطق عادةً استنادًا إلى المعايير التالية:

- طبيعة استخدام المكان وشاغليه؛ مثل المكاتب، والممرات، وغرف الخوادم الحاسوبية.
- الاتجاه والتعرض للشمس.
- المكاسب الحرارية الداخلية الناتجة عن المعدات والإضاءة
- ساعات التشغيل وجداول التحكم في التكييف.
- مخطط نظام التكييف وتمديدات القنوات الهوائية.

يزيد التقسيم الحراري من دقة حساب الأحمال، ويحسن قرارات تصميم النظام، ويكفل توازنًا أفضل للأحمال عبر شبكة التكييف والتهوية. ويوضح الشكل 7 أدناه مثالاً للتقسيم الحراري يُقارن بين أسلوب الحمل الكلي للنظام (Block Load) والتقسيم الحراري:



الشكل 7: منهجيات مختلفة لتقسيم المناطق - الحمل الكلي للنظام (يسار) والكتل الحرارية المستقلة (يمين)

4.2.1 أسلوب الحمل الكلي للنظام

ينظر هذا الأسلوب إلى المبنى برمته، أو أجزاء كبيرة منه، باعتباره وحدةً حراريةً موحدةً عند حساب ذروة حمل التبريد. وتُستخدم هذه الطريقة عادةً في مراحل التصميم المبكرة (مثل التصميم المبدئي) عند شحّ المعلومات المتاحة، أو لغايات إجراء تقدير سريع وعام للنظام. ويعتمد الأسلوب على دمج جميع الأحمال الداخلية والخارجية دون مراعاة الاختلاف بين المناطق، ويتميز بالخصائص الرئيسية التالية:

- افتراض تزامن حمل الذروة في جميع أرجاء المبنى.
- مراكمة جميع المكاسب الحرارية الداخلية والخارجية.
- تقديم تقديرٍ متحفظٍ للأحمال، أي أعلى غالبًا، مما يخدم التحديد الأولي لأحجام النظام.
- تسهيل عملية اختيار معدات التكييف والتهوية في المراحل الأولى.

ويشار إلى أن هذه الطريقة لا تعبّر عن تباين الأحمال الداخلية عبر المساحات المختلفة، مما يجعلها غير ملائمة للاختيار النهائي للمعدات أو تصميم توزيع المناطق.

4.2.2 أسلوب المناطق الحرارية المستقلة

بعد التقدير الأولي العام، يتطلب التصميم التفصيلي استراتيجيةً للتقسيم الحراري. إذ يقسم هذا النهج المبنى إلى مناطق متعددة، تتمتع كل منها بخصائص أحمال متفرّدة؛ وذلك لترسم صورة أدقّ عن ظروف التشغيل الواقعية.

ولحساب حمل التبريد بدقة، يُنصح بمعاملة كل منطقة تكييف على أنّها كتلة حرارية منفصلة. إلّا إنه يجوز دمج مناطق تكييف مختلفة لتكوين كتلة حرارية واحدة، أو كتل حرارية متماثلة تُستخدم معها المضاعفات الحسابية، شريطة استيفاء جميع الشروط التالية:

- تماثل تصنيف استخدام المكان في كافة أرجاء الكتلة الحرارية.
- أن تواجه جميع مناطق التكييف في الكتلة الحرارية -المحاذية للجدران الخارجية الزجاجية أو شبه الخارجية الزجاجية- الاتجاه ذاته، أو ألّا يتجاوز الاختلاف في اتجاهاتها 45 درجة.
- أن تُربط جميع المناطق بنظام تكييف واحد.
- توافق جداول التشغيل في جميع المناطق.
- تُحدّد المناطق الطرفية بأنها المناطق التي تقع على بعد مسافة 4م إلى 6م من الجدار الخارجي.

4.3 تظليل المبنى

تؤثر أجهزة تظليل المبنى على المكاسب الحرارية الخارجية، غير أن بعض منصات البرمجيات لا تدعم الإدخال الهندسي المفصل لهياكل التظليل المعقدة. وفي مثل هذه الحالات، يوصى باختيار برنامج (انظر الملحق 1: متطلبات برمجيات المحاكاة) قادرٍ على محاكاة تأثيرات التظليل بدقة مقبولة. أما في أداة التحقّق (CLVT)، فيمكن احتساب أخذ التظليل بإدخال حمل سالب في ورقة عمل "الأحمال الأخرى".

توصية للمصممين

لخفض حمل التبريد بفاعلية، ينبغي توفير تظليلٍ أمثل؛ وذلك باستخدام وسائل تظليلٍ أفقيةٍ للنوافذ الموجودة على الواجهة الجنوبية، ومزيجٍ من التظليل الرأسي والأفقي للواجهات الشرقية والغربية، وتظليلٍ أفقيٍ للأسقف الزجاجية.

4.4 المباني المجاورة

يجب أن تتضمن النماذج البرمجية المستخدمة لحساب حمل التبريد نماذج كتلية (Massing models) للمباني أو الهياكل المحيطة؛ وذلك لتقييم تأثيرها على الحمل. وفي أداة التحقّق (CLVT)، يمكن احتساب تأثير التظليل هذا بإدخال حمل سالب في ورقة عمل "الأحمال الأخرى".

علاوةً على ذلك، يتعين التحقق من طبيعة الهياكل المحيطة، وتحديد ما إذا كانت دائمة أم مؤقتة. فإذا كانت أي مبانٍ مجاورة مدرجةً ضمن خطط الهدم أو إعادة التطوير مستقبلاً؛ فلا يصح اعتماد تأثير تظليلها الحالي في حسابات الأحمال طويلة الأجل. ومن شأن إغفال هذا الاعتبار أن يفضي إلى قصورٍ في تقدير المكاسب الشمسية، ومن ثم تقليص سعة أنظمة التبريد عن الحد اللازم، ما يؤثّر سلبًا على الراحة الحرارية وأداء أنظمة التكييف في المستقبل.

5. المكاسب الحرارية الخارجية

تُعرّف المكاسب الحرارية الخارجية بأنها الأحمال الحرارية التي تنشأ من خارج المساحة المكيَّفة، وتسهم في إجمالي طلب التبريد للمبنى. وتنتقل هذه المكاسب في المقام الأول عبر غلاف المبنى؛ نتيجةً للإشعاع الشمسي، والتوصيل الحراري عبر المواد، والتهوية، وتسرب الهواء. ويُعد التقييم الدقيق للمكاسب الحرارية الخارجية أمرًا ضروريًا لإجراء حسابات دقيقة لحمل التبريد، ولتحديد الحجم الأمثل لنظام التدفئة والتهوية وتكييف الهواء.

يمكن تصنيف المكاسب الحرارية الخارجية إلى المصادر الرئيسية التالية:

- الإشعاع الشمسي النافذ عبر الزجاج (النوافذ والأسقف الزجاجية).
- التوصيل الحراري عبر عناصر البناء المعتمة (الجدران، الأسقف، الأرضيات).
- معالجة هواء التهوية الخارجي.
- تسرب الهواء من خلال الفجوات غير المتعمدة في الغلاف.
- امتصاص أسطح المبنى للإشعاع الشمسي وإعادة بثه.

يجب تقييم كل مكون من هذه المكونات بدقّة بناءً على تصميم المبنى، وتوجيهه، ومواده، والظروف المناخية المحلية. ويمكن استخدام أداة التحقّق (CLVT) لهذا الغرض عن طريق إدخال البيانات ذات الصلة في أوراق عمل "نسيج المبنى" (Building Fabric)، و"التسرب" (Infiltration)، و"التهوية" (Ventilation)، و"أحمال أخرى" (Other load)، ومن ثم تقييم التباين في المكاسب الحرارية في ورقة عمل "مخرجات الأداة" (Tool Output).

5.1 غلاف المبنى

يمثل غلاف المبنى الحاجز الرئيسي بين المحيط الداخلي والخارجي. ويؤثر أداؤه الحراري مباشرةً على حجم المكاسب الحرارية الخارجية، ومن ثمَّ على حمل التبريد. ولتحديد ذروة الطلب على التبريد بدقة، يجب أن تراعي أدوات الحساب خصائص طبقات البناء والكتلة الحرارية؛ إذ تؤثر هذه العناصر على كيفية امتصاص الحرارة وتخزينها وإطلاقها بمرور الوقت.

وفيما يلي العناصر الرئيسية لغلاف المبنى التي ينبغي إدراجها في حسابات حمل التبريد:

5.1.1 الجدران

يحدث انتقال الحرارة عبر الجدران الخارجية عن طريق التوصيل (Conduction) أساسًا، متأثرًا بخصائص مواد الجدار (الموصلية الحرارية، والسماكة، والكثافة) وبالتعرض للإشعاع الشمسي المباشر. ولضمان دقة حسابات الاكتساب الحراري من الجدران، يجب مراعاة الجوانب التالية:

- الكتلة الحرارية ونوع العزل كما هو محدد في التصميم؛ لما لهما من دور رئيسي في حسابات حمل الذروة.
- لون الجدار ومعامل انعكاس المادة (الألبيدو)؛ لتأثيرهما على امتصاص الحرارة الشمسية.
- الجسور الحرارية (Thermal bridging)؛ نظرًا لتأثيرها على القيمة الإجمالية لمعامل الانتقال الحراري (U-Value) للجدار.

توصية للمصممين

تسهم الجدران المعزولة، التي تتمتع بكتلة حرارية مكشوفة عالية، في صد انتقال الحرارة وإبطاء وصوله إلى الحيز الداخلي للمبنى، مما يقلل من أحمال ذروة التبريد، ويُحتمل أن يؤجّل حدوثها إلى وقت لاحق من النهار. وتساعد التشطيبات فاتحة اللون والعاكسة في خفض المكاسب الحرارية. أما الجسور الحرارية، فإنها تقلل من فاعلية عزل الجدران.

5.1.2 الأسطح

غالبًا ما تتعرض الأسطح لأعلى مستويات الإشعاع الشمسي؛ وبحكم تكوينها الذي يغلب عليه الطابع الأفقي، فإنها تتلقى القدر الأكبر من الإشعاع الشمسي المركز. لذا، يجب مراعاة العوامل التالية لضمان دقة حسابات حمل التبريد:

- الكتلة الحرارية ونوع العزل كما هو محدد في التصميم؛ نظرًا لدورهما الأساسي في حسابات حمل الذروة.
- لون السطح ومعامل انعكاس المادة (الألبيدو)؛ لتأثيرهما على امتصاص الحرارة الشمسية.

توصية للمصممين

تسهم الجدران المعزولة، التي تتمتع بكتلة حرارية مكشوفة عالية، في صد انتقال الحرارة وإبطاء وصوله إلى الحيز الداخلي للمبنى، مما يقلل من أحمال ذروة التبريد، ويُحتمل أن يؤجّل حدوثها إلى وقت لاحق من النهار. وتساعد التشطيبات فاتحة اللون والعاكسة، بالإضافة إلى العزل عالي الأداء، على تقليل المكاسب الحرارية. وبالمثل، يمكن للأسطح الباردة (Cool roofs) -مثل تلك التي تتميز بانعكاسية وابتعاثية عالية - أن تقلل انتقال الحرارة إلى أدنى حد، وتُعد الأسطح الخضراء (المغطاة بالنباتات) -إن أمكن تنفيذها- وسيلة فعالة لخفض المكاسب الحرارية.

5.1.3 (النوافذ والأسقف الزجاجية)

تُعد الأسطح الزجاجية غالبًا المكونات الأكثر تغيرًا وتعقيدًا في غلاف المبنى من حيث الاكتساب الحراري. فهي تسمح بمرور الإشعاع الشمسي المباشر إلى داخل المبنى، وتسمح بانتقال الحرارة عن طريق التوصيل (Conductive heat transfer) بنسبة أكبر مما تسمح به الجدران؛ مما يجعل تمثيلها الدقيق في حسابات الأحمال مسألة جوهرية. ويجب مراعاة العوامل التالية عند إجراء حسابات الاكتساب الحراري للنوافذ والأسقف الزجاجية:

- معامل الاكتساب الحراري الشمسي (SHGC): الذي يعدُّ ضروريًا لتحديد كمية الإشعاع الشمسي النافذ عبر الزجاج.
- نوع الزجاج: مثل الزجاج المزدوج، أو الطلاء منخفض الانبعاثية (Low-e)، والتي يجب تحديدها بدقة.
- القيمة الإجمالية لمعامل الانتقال الحراري (U-Value) للعناصر الزجاجية: أي يجب احتساب الإطارات عند حساب قيم (U-Values) لتجميعات النوافذ والأسقف الزجاجية، وعدم الاكتفاء بقيم وسط اللوح الزجاجي التي ترد عادةً في أوراق بيانات الشركة المصنعة.
- نسب مساحة الإطار إلى الزجاج: يجب تحديدها بدقّة وفق مواصفات النافذة لضمان دقّة نمذجة الأداء الحراري.

توصية للمصممين

ينبغي اختيار زجاج مزدوج أو ثلاثي الطبقات وطلاءات منخفضة الانبعاثية (Low-e)، وانتقاء زجاج يتميز بقيم متدنيةٍ لمعامل الانتقال الحراري (U-Value) ومعامل الاكتساب الحراري الشمسي (SHGC)؛ وذلك لتقليل المكاسب الحرارية عبر الزجاج إلى أدنى حد.

5.1.4 الأرضيات

عندما يقع الحيز المكيّف فوق مناطق غير مكيّفة (مثل مواقف السيارات، أو مساحات الخدمات، أو الأقبية)، أو عندما تكون الأرضية معرضة للهواء الخارجي (مثل الأجزاء الكابولية "Cantilevered"، أو البروزات، أو بواطن الأسقف "Soffits")، أو عندما تكون الأرضية ملامسة للأرض مباشرة؛ فإن الانتقال الحراري عبر مكونات الأرضية قد يصبح مصدرًا كبيرًا للكسب الحراري. ولضمان دقة تقديرات حمل التبريد، يجب إدراج الاكتساب الحراري بالتوصيل عبر الأرضية في الحسابات بوضوح. ويتطلب ذلك تقييم بنية الإنشاء، ومستويات العزل، والظروف الحرارية التي يتعرض لها السطح السفلي. إذ قد يؤدي إغفال ذلك إلى تقدير طلبات التبريد بأقل من الواقع، لا سيما في المناخات الحارة أو أثناء فترات ذروة الحمل.

5.1.5 الجدران الداخلية المجاورة للمناطق غير المكيّفة

قد تؤدي فروق درجات الحرارة عبر الجدران الفاصلة بين المناطق المكيّفة والمساحات غير المكيّفة (مثل غرف الخدمات، ومواقف السيارات، وغرف التخزين، وما إلى ذلك) إلى انتقال حراري كبير. وعليه، ينبغي مراعاة الكتلة الحرارية ونوع العزل لهذه الجدران الداخلية وفقاً لما هو محدد في التصميم؛ نظرًا لدورهما الرئيسي في حساب حمل الذروة.

توصية للمصممين

ينبغي دمج العزل أو القواطع الحرارية (Thermal Breaks) بهدف تقليل انتقال الحرارة من الحيزات غير المكيّفة ذات الحرارة المرتفعة.

5.1.6 تقييم استراتيجيات التصميم السلبي لخفض حمل التبريد

حرصًا على الإدارة الفعالة لأحمال التبريد، ينبغي إلزام فريق التصميم بتقييم تدابير التصميم السلبي بأسلوب منهجيّ ودمجها منذ المراحل المبكرة للمشروع، وتحديدًا خلال مرحلة التصميم المبدئي (CD)، قبل اللجوء إلى الأنظمة الميكانيكية النشطة. وتساعد الاستراتيجيات السلبية في تقليل المكاسب الحرارية، مما يخفض بدوره الطلب على أنظمة التبريد الميكانيكية. بغية تقدير فاعلية استراتيجيات التصميم السلبي في الحد من أحمال التبريد، بمقدور فرق التصميم في مرحلة التصميم المبدئي الموازنة بين خيارين أو أكثر لكل من الاستراتيجيات التالية، وتحديد أثرهما على الحمل الحراري للمبنى:

العزل الحراري للعناصر المعتمة	الأداء الحراري للزجاج	نسبة النافذة إلى الجدار (WWR)	استراتيجيات التظليل	توجيه المبنى
تقييم خيارات مختلفة لقيم الانتقال الحراري (U-Value) للأسقف والجدران والأرضيات؛ لتقليل دخول الحرارة الخارجية عبر غلاف المبنى.	تقييم مجموعة من أنواع الزجاج ذات معاملات كسب حراري شمسي (SHGC) وقيم نفاذية حرارية (U-Values) متفاوتة؛ لتحديد الخيارات التي تقلل كلاً من الانتقال الحراري الشمسي والتوصيلي وتحقق ضوء نهار كافٍ.	تحقيق التوازن في هذه النسبة بما يضمن وصول ضوء النهار وكسب الحرارة الشمسية. وفي حال اقتراح نسب عالية، يجب تبرير ذلك عبر المحاكاة، وتخفيف أحمال التبريد المرتفعة الناتجة عنها بتدابير التظليل والزجاج الملائمة.	تقييم تأثير وسائل التظليل الخارجية الثابتة أو المتحركة، أو البروزات، أو الزعانف (Fins)، أو الحواجز؛ لحجب الإشعاع الشمسي المباشر، لا سيما عن الأسطح الزجاجية.	تحسين تخطيط المبنى وتوجيهه لتقليل التعرض للمكاسب الشمسية إلى أدنى حد، وإيلاء الأولوية لتوزيع النوافذ على الواجهات لتتلقى أقل قدرٍ من أشعة الشمس.

توصية للمصممين

ينبغي على المصممين إجراء تقييم فعال لتأثير استراتيجيات التصميم السلبي في خفض أحمال ذروة التبريد خلال المراحل المبكرة للمشروع، وتوثيق هذا التحليل في تقرير يلخص التدابير التي دُرست، أو اعتُمدت، أو استُبعدت؛ مع تقديم تبرير لكل قرار استنادًا إلى سياق الموقع، والجدوى، والتأثير على الأداء.

5.2 التهوية

جرت العادة أن تتولى أنظمة التهوية ضبط مستويات ثاني أكسيد الكربون والروائح والأكسجين، غير أن المتطلبات الراهنة تفرض عليها التعامل مع هذه العناصر وغيرها من الملوثات المتنوعة؛ لضمان جودة هواء داخلي (IAQ) سليمة، باعتبارها عاملاً تصميميًا جوهريًا لرفاهية الشاغلين وإنتاجيتهم. وفي حين توجّه معايير (ASHRAE 62.1) و(62.2) عملية التهوية، فإن تحقيق جودة هواء داخلي مرضية يستدعي اعتبارات تصميم إضافية.

وليس من السهل أبدًا الحفاظ على جودة هواء داخلي جيدة مع تقليل طاقة التبريد إلى أدنى حد في الوقت ذاته. فرغم أهميّة التهوية الفعالة للبيئات الصحية، إلا أنها تزيد من أحمال التبريد وتكاليف الطاقة، لا سيما في المناخات الحارة والرطبة.

وتشرح الأقسام اللاحقة المنهجيات المقترحة لتحقيق التوازن بين جودة الهواء الداخلي الجيدة والتصميم الموفر للطاقة.

توصية للمصممين

إن دمج أنظمة التهوية الموجهة حسب الطلب (DCV) وتقنيات ترشيح الهواء واسترجاع الطاقة عالية الكفاءة، إلى جانب الحد من التسرب الهوائي؛ من شأنه تحقيق جودة هواء داخلي جيدة في إطار تصميم يتسم بكفاءة استهلاك الطاقة.

5.2.1 استرداد الحرارة

تفرض معايير (ASHRAE) الحالية وجود نظام لاسترداد الحرارة في تصاميم التهوية؛ نظرًا لفوائده في خفض طلبات التبريد وحفظ الطاقة. وتوجد عدة أنواع لهذه الأنظمة، تشمل: العجلات الحرارية (Thermal wheels)، والمبادلات الحرارية الصفائحية متعاكسة التدفق (Counterflow heat plate)، والأنابيب الحرارية (Heat pipes)، وأنظمة الشبكات المترابطة (Run-around systems). لذا، يُنصح المصممون باتباع معايير (ASHRAE)، وكود أبوظبي الدولي لترشيد استهلاك الطاقة (ADIECC)، وكود أبوظبي الدولي للأعمال الميكانيكية (ADIMC)، والرجوع إلى أدلة (ASHRAE) ذات الصلة لتحديد مزايا وعيوب كل نوع من أنواع أساليب استرداد الحرارة، واختيار الحل الأكثر كفاءة لمشروعهم.

توصية للمصممين

ينبغي إعطاء الأولوية لمعدات استرداد الحرارة عالية الفاعلية في وحدات تزويد الهواء النقي (FAHUs) ووحدات تزويد الهواء المختلط (MAHUs) متى أمكن ذلك، مع الاسترشاد بمعايير وكتيبات (ASHRAE) (الأنظمة والمعدات، والأساسيات) لتوجيه عملية الاختيار. ويجب أن يحقق اختيار النظام ما يلي:

- الامتثال لمعايير (ASHRAE 90) و(62)، وكود أبوظبي الدولي لترشيد استهلاك الطاقة (ADIECC) وكود أبوظبي الدولي للأعمال الميكانيكية (ADIMC).
- إثبات التوافق مع الظروف المناخية الحارة والرطبة في أبوظبي وأنظمة الصيانة المُتَّبعة.

5.2.2 جودة الهواء الداخلي

من جوانب جودة الهواء الداخلي التي غالبًا ما لا تُوفى حقها في أساليب التصميم التقليدية، مسألة التحكم في ملوثات الهواء الأخرى، وفي مقدمتها الجسيمات العالقة (PM) والمركبات العضوية المتطايرة (VOCs)، إذ تُعد هذه العناصر من ملوثات الهواء الرئيسة ذات التداعيات الصحية الخطيرة. وترتبط الجسيمات الدقيقة (PM2.5)، على وجه الخصوص، بملايين الوفيات المبكرة عالميًا. وفي حين تحظى عوامل مثل درجة الحرارة والرطوبة بالاعتبار الدائم عند تقييم صحة البيئة الداخلية، فإن تحديد مستويات الجسيمات داخل الحيز أثناء مرحلة التصميم ينطوي على تعقيد بالغ. وينشأ هذا التعقيد من التأثير الكبير لجودة البناء، وعمليات إدارة المرافق، والمناخ المحلي المصغر (Micro-climate). وينبع تلوث الهواء الداخلي من مصدرين رئيسيين: الملوثات المتولدة داخليًا، والملوثات المنقولة من البيئات الخارجية. ويمكن التخفيف من حدة هذه المصادر من خلال عدة استراتيجيات:

- تنفيذ تدابير ضبط تسرّب الهواء، ولا سيما عبر رفع الإحكام (منع تسرب الهواء)، وهو تدبير حاسم للحد من الدخول المباشر للملوثات الخارجية. ويُوصى بقوّةٍ بتصميم المباني الجديدة بدرجة عالية من الإحكام؛ لتعزيز رفاهية شاغلي المبنى وتعزيز كفاءة الطاقة.
- الحفاظ على الضغط الإيجابي داخل المبنى عبر نظام التهوية الميكانيكية. لمزيد من التفاصيل، راجع القسم 5.2.3.
- توظيف أنظمة تنقية الهواء الملائمة في معدات التهوية وتكييف الهواء -كوحدات تزويد الهواء النقي (FAHUs)، ووحدات مناولة الهواء (AHUs)، ووحدات تزويد هواء التعويض (MAHUs)- إذ سيسهم ذلك في تحسين جودة الهواء الداخلي عن طريق الحد من انتقال التلوث من الخارج إلى الداخل، وإزالة الجسيمات المتولدة داخليًا أو المنقولة.
- التصميم الدقيق للمساحات التي تشهد عمليات باعثة للجسيمات: مثل الطباعة، أو الطلاء بالرش، أو غيرها من العمليات المماثلة. ويُوصى باتخاذ تدابير مثل استخدام مساحات فرعية جيدة التهوية، وسلبية الضغط، ومعزولة بإحكام.
- استخدام منتجات ومواد خالية من المركبات العضوية المتطايرة: في أعمال البناء والأثاث.
- التهوية المكثفة للمباني حديثة الإنشاء: وإجراء اختبارات جودة الهواء الداخلي (IAQ) قبل الإشغال.

توصية للمصممين

يتطلب تحقيق درجة عالية من الإحكام (منع تسرب الهواء) في المبنى سد جميع نقاط التسرب المحتملة. وينبغي التركيز بصفة خاصة على نقاط التقاء الجدران، ونقاط تلاقي النوافذ والأبواب، ومواضع مرور التمديدات الخدمية.

5.2.3 ضغط المبنى

"ينبغي تصميم أنظمة التكييف والتهوية بما يكفل بقاء المبنى ضمن نطاق الضغط الإيجابي". — دليل تصميم المعهد المعتمد لمهندسي خدمات البناء (CIBSE) لأبوظبي.

يعدُّ الضغط الميكانيكي الآلية الوحيدة التي تُعتمد في تصاميم ومواصفات أنظمة التكييف والتهوية لتنظيم تسرب الهواء المحيط إلى داخل المبنى، وما يصاحبه من دخول الجسيمات العالقة المحمولة في ذلك الهواء. وتقوم هذه المنهجية على ضخ كميات مدروسة من الهواء الخارجي إلى داخل نظام المعالجة الجوية للمبنى تفوق حجم الهواء الذي يطرد أو يُصرف للخارج. ويُعد هذا التفاوت ضروريًا لإنشاء ضغط داخلي موجب مقارنة بالبيئة الخارجية. ويتحقق ذلك من خلال الموازنة اليدوية بزيادة نسبة الهواء النقي بمقدار 10% تقريبًا، أو تلقائيًا عبر مستشعرات فرق الضغط وأنظمة التهوية الموجهة حسب الطلب.

توصية للمصممين

يوصى باحتساب معدلات تسرب الهواء للأبواب والنوافذ، والتحقق من أن توفير فائض الهواء النقي (Surplus fresh air) يعادل أو يفوق معدلات التسرب في جميع ظروف التشغيل.

5.2.4 التحكم في التهوية حسب الطلب

تستند حسابات التهوية إلى معدلات الإشغال القصوى لضمان هامش أمان في التصميم، رغم أن الإشغال الفعلي عرضة للتفاوت. وتُعد أنظمة التهوية الموجهة حسب الطلب (DCV) متطلبًا ضروريًا لترشيد الطاقة في المساحات الكبيرة أو عالية الكثافة؛ وذلك امتثالاً للمعايير واللوائح التنظيمية. وينبغي استيعاب وظيفة نظام (DCV) المصمم للحفاظ على تركيز ثاني أكسيد الكربون ضمن النطاقات التي تحددها مستشعرات النظام لضمان جودة هواء داخلي جيدة؛ نظرًا لأن تشغيله قد يؤدي إلى انخفاض ضغط المبنى أو تحوله إلى ضغط سلبي، ما يفضي لاحقًا إلى تسرب هوائي غير مرغوب ومشاكل في جودة الهواء الداخلي.

توصية للمصممين

عند استخدام أنظمة التهوية الموجهة حسب الطلب (DCV)، ينبغي للمصممين ضمان توفير هواء نقي كافٍ، وفرق تدفق هواء محدد مسبقًا بين تيارات هواء الإمداد والراجع.

5.3 تسرب الهواء

يتسرب الهواء الخارجي إلى المساحات المأهولة في المبنى عبر الفتحات المعمارية المقصودة (مثل النوافذ والأبواب)، والفتحات العَرَضية (مثل الشقوق). وقد يؤدي هذا الدخول إلى مشاكل تتعلق بالرطوبة ونمو العفن. علاوة على ذلك، يجب إدراج المكاسب الحرارية المحسوسة والكامنة التي يحملها الهواء المتسرب ضمن حسابات حمل التبريد.

رغم شيوع احتساب تسرب الهواء باستخدام معدل ثابت يعتمد على "معدل تغير الهواء في الساعة" (ACH)، فإن هذا النهج الموحد يقصر عن رصد الاختلافات عبر مناطق المبنى. فالمناطق التي تشهد حركة مرور كثيفة، مثل المداخل، تُظهر تسربًا أكبر، بينما يكون التسرب في المساحات الداخلية ضئيلاً أو مهملاً. وبناءً على ذلك، يوصى بتحديد حمل التسرب لكل منطقة على حدة، مع مراعاة معايير محددة مثل أبعاد الأبواب والنوافذ القابلة للفتح وطرازها. فعلى سبيل المثال، سيُظهر الحيز المزوَّد بباب شرفة منزلق (Sliding door) درجة تسرب أعلى مقارنة بحيز مماثل يحتوي على نافذة مفصلية (Hinged window) أصغر حجمًا.

لا ينبغي استخدام البيانات المستمدة من اختبارات تسرّب الهواء للمبنى بالكامل مباشرةً في حسابات حمل التبريد؛ إذ تُجرى هذه الاختبارات عند مستويات ضغط مرتفعة (50 أو 75 باسكال عادةً)، في حين يعمل المبنى في ظل فروق ضغط أقل بكثير. ولذا، يجب تحويل نتائج الاختبار بطريقةٍ مناسبةٍ لتماثل ظروف التشغيل الفعلية قبل استخدامها في الحسابات.

مثال

تحويل بيانات اختبار تسرّب الهواء لاستخدامها في تحليل حمل التبريد وفقًا لمعيار (ASHRAE 90.1):

يمكن تحويل معدل تسرب الهواء لغلاف المبنى (I_75Pa) عند فرق ضغط قدره 75 باسكال إلى وحدات مناسبة لاستخدامها في برمجيات حسابات حمل التبريد

يُحسب تسرب الهواء (I_AGW) بالاستناد إلى مساحة الجدران الواقعة فوق مستوى سطح الأرض (A_AGW)، والتي تفصل الأجزاء المكيّفة عن المحيط الخارجي، باستخدام المعادلة التالية

$$I_AGW = 0.112 \times I_75Pa \times (S \setminus A_AGW)$$

عند استخدام معدل تسرب الهواء المُقاس لغلاف المبنى عند فرق ضغط 75 باسكال للتصميم المقترح، يُحسب معدل تسرب الهواء على النحو الآتي

$$I_75Pa = Q \setminus S$$

حيث:

I_75Pa: معدل تسرب الهواء لغلاف المبنى (لتر/ثانية·م^2) عند فرق ضغط ثابت للمبنى قدره 75 باسكال.

Q: حجم الهواء (لتر/ثانية) المتدفق عبر غلاف المبنى عند إخضاعه لفرق ضغط قدره 75 باسكال، وفقًا لمعيار (ASTM E 779).

S: المساحة الكلية لغلاف المبنى (م^2)، وتشمل الطابق السفلي، وأي جدران تحت مستوى سطح الأرض أو فوقه، والسطح (بما في ذلك الفتحات الرأسية والأسقف الزجاجية)

I_AGW: معدل تسرب الهواء المُعدَّل لغلاف المبنى (لتر/ثانية·م^2) عند سرعة رياح مرجعية تبلغ 4.47 م/ث، وبنسبة وتناسب مع مساحة الجدران الواقعة فوق مستوى سطح الأرض لغلاف المبنى

A_AGW: المساحة الكلية للجدران الواقعة فوق مستوى سطح الأرض لغلاف المبنى (م^2).

توصية للمصممين

يسهم تنفيذ تدابير معززة للإحكام (منع تسرب الهواء) في المبنى في تحسين جودة الهواء الداخلي، وضمان راحة الشاغلين، وحفظ الطاقة. وينبغي إجراء اختبار الإحكام للمبنى كاملاً وفقًا لمعيار الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد (ASTM E779) أو ما يماثله من معايير ومعدلات تسرب. وفي حال عدم إجراء اختبار الإحكام، يجب اعتبار معدل تسرب الهواء عند فرق ضغط ثابت للمبنى قدره 75 باسكال مساويًا لـ 2.03 لتر/ثانية.م^2.

6. المكاسب الحرارية الداخلية

يستعرض هذا القسم الأحمال الحرارية الداخلية للمبنى، والمترتبة على الحرارة المنبعثة داخل الحيز المكيّف من مصادر متفرقة، كالإضاءة، والحواسيب، والآلات المكتبية، والشاغلين، والمعدات الميكانيكية والكهربائية من مراوح ومضخات وضواغط ومحولات. ويتحتم على نظام التبريد معادلة هذه المكاسب الحرارية لضمان بيئة مريحة للمستخدمين.

وتعتمد حسابات المكاسب الحرارية الداخلية عادةً على سيناريو "أسوء الظروف" لتحديد أحجام أنظمة التبريد؛ وهو نهج يصلح للاستخدام على مستوى الغرفة أو المنطقة لضمان كفاءة الأنظمة في تحقيق الراحة أثناء حمل الذروة. غير أن جمع أحمال الذروة لكل منطقة على حدة يفضي إلى تضخيم سعة نظام التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC)؛ لذا يوصى باعتماد "معامل التباين" -كما هو موضح في القسم 7.2- عند حساب إجمالي المكاسب الحرارية للمبنى أو المشروع ككل.

ويؤدي تجاهل هذه التوصية، أو الاستناد إلى افتراضات عالية غير مبررة للمكاسب الداخلية، إلى زيادة مغلوطة في حمل التبريد. وفي المقابل، قد تسفر الافتراضات الخاطئة في حالات أخرى عن نقص في سعة أنظمة التبريد. وتراعي أداة التحقّق (CLVT) هذه المكاسب في ورقة "المكاسب الداخلية"، حيث يتعين إدخال القيم ذات الصلة لكل مساحة على حدة.

6.1 الإضاءة

تسهم الإضاءة في المكاسب الحرارية الداخلية عبر انتقال الحرارة بالإشعاع والحمل، وهو ما يتطلب مراعاتها بدقة في حسابات حمل التبريد. وعادةً ما يُعتمد عامل كثافة طاقة الإضاءة (LPD) بوحدة واط/م^2 لهذه الغاية. إلا أن التقدير غير الدقيق لهذا العامل، بالاعتماد على القيم التقديرية العامة أو الحدود الافتراضية لمعيار (ASHRAE 90.1) بدلاً من تصميم الإضاءة الفعلي المحدد للمشروع، يؤدي غالبًا إلى زيادة غير ضرورية في حجم معدات التبريد والمبالغة في تصميم النظام، مما يتسبب في ارتفاع التكاليف الأولية واستهلاك الطاقة معًا.

مثال

في مبنى مكاتب تبلغ المساحة الإجمالية للمكاتب فيه 10,000 م^2، لو افترضنا أن كثافة طاقة الإضاءة (LPD) تعادل 10 واط/م^2 بناءً على قاعدة عامة، بينما يقتصر التصميم الفعلي على 6 واط/م^2 فقط؛ فإن هذا التقدير المفرط يؤثر تأثيرًا جوهريًا على حمل التبريد

كسب حرارة الإضاءة المُفترض = (10×10,000)\1,000=100" kW"

كسب حرارة الإضاءة الفعلي = (6×10,000)\1,000=60" kW"

فائض حمل التبريد المُقدر للإضاءة = 100-60=40" kW"

(أي تضخيم التصميم بنسبة 66%)

وتقود هذه الزيادة غير المبررة (40 كيلوواط) في حمل التبريد إلى استخدام معدات تكييف (HVAC) أكبر حجمًا من الحاجة، وارتفاع التكاليف الرأسمالية، وضعف كفاءة أداء الطاقة. وتجنبًا لذلك، ينبغي بناء حسابات حمل التبريد على تصميم الإضاءة الفعلي، وإدراج جميع التركيبات المعنية، مع تجنب الافتراضات العشوائية لكثافة طاقة الإضاءة

6.2 الإشغال

ينبغي تحديد كثافة الإشغال استنادًا إلى مخطط توزيع الأثاث الفعلي، عوضًا عن الاكتفاء بالقيم القياسية. وفي حال غياب مخططات الأثاث، يمكن الرجوع إلى معايير الصناعة ذات الصلة، مثل (ASHRAE 62.1). ومع ذلك، يجب على المصممين تلافي الزيادة والنقصان في هذه القيم على حدٍّ سواء، ويمكن التحقق من ذلك بمقارنتها بمخطط نموذجي لنوع الحيز المعني. ويوصي معيار (ASHRAE 62.1) بكثافة إشغال قدرها 20 م^2/شخص للمكاتب المفتوحة، إلا أن الممارسة العملية المستندة إلى مخططات الأثاث الفعلية قد تظهر نسبة إشغال أعلى (أي مساحة أقل بالمتر المربع للشخص الواحد). ويؤدي اعتماد القيمة القياسية الافتراضية في هذه الحالة إلى احتمال تحديد حجم أنظمة التبريد والتهوية بأقل من اللازم، مما يتسبب في نقص تدفق الهواء وعدم الشعور بالراحة.

مثال

بناءً على مخطط المكتب المفتوح الوارد في الشكل 8، تُحسب كثافة الإشغال بمعدل 6 م²/شخص (نتيجة قسمة 236.5 م² على 39 شاغلاً). واستُثنيت مقاعد العمل المشترك تجنّبًا لازدواجية الاحتساب؛ إذ يشغلها عادةً الموظفون أنفسهم.

الشكل 8: نموذج لتصميم مكتب

الشكل 9: نموذج لتصميم مطعم

مثال

مثال توضيحي، تبلغ مساحة المطعم الموضح في الشكل 9 حوالي 160 م² بإشغال يصل إلى 50 شخصاً (43 زائراً و7 موظفين)، مما يحقق كثافة إشغال تقارب 3.2 م² للشخص الواحد.

ولمناطق تناول الطعام في المطاعم، مثل تلك الموضحة في الشكل 9، يقترح معيار (ASHRAE 62.1) كثافة 1.43 م^2/شخص. إلا أن المخططات الفعلية، بما تحتويه من منصات تقديم ومسارات حركة ومناطق انتظار، تفرز عادةً مستويات إشغال أقل (أي مساحة أكبر بالمتر المربع للشخص). ويقود الاعتماد على المعيار الافتراضي في هذه الحالات إلى تضخيم سعة أنظمة التبريد والتهوية، مما يرفع التكاليف الرأسمالية واستهلاك الطاقة معًا.

وينبغي الاستناد إلى دليل (ASHRE) "الأساسيات" (2021) (Fundamentals) لتحديد جميع الأحمال الحرارية المحسوسة والكامنة، حفاظًا على دقة تصميم نظام التبريد. وباعتماد هذه الممارسات المثلى، يمكن تصميم أنظمة التكييف (HVAC) لتعزيز الأداء والراحة وكفاءة الطاقة، مع تجنب الزيادة أو النقص غير المبرر في الحجم.

وإجمالاً، ضمانًا لدقة حسابات أحمال التبريد، ينبغي للمصممين الالتزام بما يلي:

- استخدام كثافة الإشغال وفقاً لمخطط الأثاث كلما أمكن ذلك.
- التحقّق من الإشغال التشغيلي الأقصى المتوقع بالتعاون مع العميل وفريق تصميم المشروع.
- اقتصار اللجوء إلى قيم الإشغال الافتراضية على الحالات التي يثبت فيها عدم وجود معلومات أخرى.
- تطبيق المكاسب الحرارية المحسوسة والكامنة المناسبة وفقًا لمستويات النشاط.

توصية للمصممين

ينبغي التحقق من كثافة الإشغال بناء على تخطيط المساحات الفعلي، وفي حال عدم توفر مخطط توزيع الأثاث، يمكن الاستناد في افتراضات الإشغال إلى كود أبوظبي الدولي للأعمال الميكانيكية (الجدول 403.3) أو أحدث معايير ASHRAE 62.1 و 62.2.

6.3 المعدات

يجب حساب المكاسب الحرارية للمعدات استنادًا إلى معدلات التبديد الحراري (Heat dissipation) الفعلية للمعدات المحددة للمشروع، عوضًا عن الركون إلى الافتراضات العامة. ولضمان دقة حسابات حمل التبريد، ينبغي تطبيق "عوامل التباين" (Diversity factors) بناءً على فرضيات تشغيلية واقعية وحسابات تفصيلية. وتسهم المراعاة الدقيقة لأنماط استخدام المعدات في تجنّب المبالغة في التصميم (Overdesigning) وتحسين أداء النظام. فعلى سبيل المثال:

غرف الغسيل	المطابخ	غرف النوم	المكاتب
تنحصر وظيفة سخان الماء في منظومة الغسيل بتسخين المياه التي يُتخلَّص منها لاحقًا عبر الصرف، مما يعني عدم إسهامه إسهامًا ملموسًا في الاكتساب الحراري للمكان. ومع ذلك، فإن المكونات التي تعمل بالمحركات (مثل محركات الغسالات والمجففات) تبدد الحرارة داخل الغرفة، مما يستلزم إدراجها في حسابات الأحمال.	تتولى شفاطات المطبخ سحب الجزء الأكبر من الحرارة المنبعثة عن أجهزة الطهي وطردها، فلا يتبقى سوى جزء يسير من الاكتساب الحراري المؤثر على الحيز المكيّف. لذا، ينبغي أن تقتصر حسابات التبريد على رصد الحرارة المتبقية في الحيز بعد عملية التهوية.	رغم استهلاك بعض الأجهزة لطاقة عالية -كمجففات الشعر والمكاوي- فإن تشغيلها المتقطع ولفترات وجيزة يجعل إسهامها في الحمل الحراري الكلي هامشية. لذا، يُعد احتساب هذه الأحمال ضمن حسابات التبريد المستمر ممارسة غير دقيقة.	يُقدر الاكتساب الحراري لمعدات المكاتب عادةً بـ 15 واط/م^2 (وفقاً لمعيار CIBSE TM37). ورغم ذلك، يجب اعتماد الحمل الفعلي، القائم على المعدات المستخدمة فعليًّا، في حسابات حمل التبريد.

ومن خلال تطبيق أفضل الممارسات هذه، يمكن تحديد الحجم الأمثل لأنظمة التكييف (HVAC)، مما يؤدي إلى تحسين كفاءة الطاقة، وخفض التكاليف، وتعزيز الراحة الداخلية.

توصية للمصممين

لتحسين الدقة، ينبغي تأسيس تقديرات حمل التبريد على مواصفات المعدات الفعلية ومعدلات تبديدها للحرارة.

6.4 الاكتساب الحراري من المحركات

يجب إدراج الحرارة الناتجة عن محركات المراوح والمضخات التي تخدم أنظمة التبريد ضمن الحمل الكلي للنظام. فهذه المكونات تولد حرارة أثناء التشغيل، وبناءً على موقعها، ينتقل جزء من تلك الحرارة، أو كاملها في بعض الحالات، إلى تيار الهواء أو الماء المعالج.

ففي وحدات تزويد الهواء (AHUs) التي تعتمد ترتيب مراوح السحب (Draw-through)، تضاف حرارة محرك المروحة إلى تيار الهواء بعد تبريده عبر الملف، مما يرفع درجة حرارة هواء الإمداد ويزيد الحمل على ملف التبريد. وبالمثل، تضيف مضخات تدوير المياه المبردة (Chilled water) أو مياه المكثف (Condenser water) حرارة إلى السائل الذي تحركه، مما يرفع طلب التبريد على المبردات (Chillers).

توصية للمصممين

يضمن الاحتساب الدقيق لمكاسب الطاقة الداخلية تحديدًا واقعيًا لحجم النظام، ويمنع التقليل من تقدير متطلبات التبريد الفعلية.

7. تصميم النظام

استنادًا إلى العوامل الموضحة سابقًا، مثل ظروف التصميم البيئية الخارجية، ومستويات الراحة الداخلية، وهندسة المبنى، والمكاسب الحرارية الداخلية والخارجية، يُحتسب حمل التبريد الناتج وتصميم النظام الملائم. وقد صُمِّمَت أداة التحقّق (CLVT) لإعانة المصممين على تحويل أحمال التبريد المحسوبة إلى قوالب تصميمية تتسم بالدقة والكفاءة. ومن خلال توفير منصة منظمة لإدخال المعطيات المناخية والإنشائية والتشغيلية، تتيح الأداة التحقق من حسابات حمل التبريد مع ضمان الامتثال للأكواد والإرشادات المحلية. ويتمثل الهدف منها في مرحلة تصميم النظام في مساعدة المصممين على تفادي زيادة الحجم غير الضرورية.

7.1 هامش الأمان

يؤدي تطبيق عوامل أمان متعددة في مراحل متفرقة، تشمل حسابات الأحمال واختيار المعدات وتصميم المحطة، إلى أنظمة ذات أحجام وهوامش أمان تفوق الحاجة. لذا، يتعين على المصممين تعريف جميع عوامل الأمان بدقة وتبريرها استنادًا إلى ما يتطلّبه المشروع تحديدًا، مع ضرورة تجنّب التطبيق التتابعي أو التراكمي لهذه العوامل، تحديدا بين مرحلتي حساب أحمال المكان والاختيار النهائي للمعدات الرئيسية.

ينبغي أن تصف حسابات الأحمال المبنى بدقة، وينبغي أن تكون جميع مدخلات الحسابات دقيقة قدر المستطاع دون استخدام عوامل أمان؛ إذ إن إدخال عوامل أمان تراكمية في مستويات متعددة من الحسابات يؤدي إلى أحمال غير واقعية ومبالغ في حجمها. — دليل ASHRE - الأساسيات (ASHRAE Handbook – Fundamentals).

جرت العادة على إدراج عوامل أمان بنسب تتراوح بين 10 و20% في حسابات حمل التبريد، بهدف تعويض الفروق المحتملة بين قيم معامل الانتقال الحراري (U-Values) الفعلية والمعتمدة، وكذلك أخطاء الحساب اليدوي، وتسرب الهواء، وقصور العزل، وافتقار العمالة للمهارة أو الأدوات، وظروف الموقع المعقدة. وقد أفضت عوامل الأمان هذه إلى وجود معدات مبالغ في حجمها وارتفاع في التكاليف. ولكن نظرًا للتحسينات في ممارسات البناء والتكنولوجيا والخبرات، باتت القضايا المشار إليها أقل شيوعًا. وعليه، لا يشجع على إدراج عامل أمان افتراضي اتباعًا للإجراءات المُعتادة لإدارة المخاطر دون دراسة متأنية وتبرير شامل.

توصية للمصممين

إن اتباع أسلوب إخفاء أوجه القصور في التصميم أو التنفيذ من خلال المبالغة في حجم المعدات، وما يفضي إليه ذلك من تضخيم لتكاليف المشروع، أمر مرفوضٌ وينطوي على ظلمٍ لمالك المشروع أو المستثمر. ويجب تبرير جميع الهوامش المطبقة بالاستناد إلى تقدير هندسي مدروس.

تطرح بعض محددات التصميم، مثل الاكتساب الحراري في قنوات الإمداد والهواء الراجع، وتسرب الهواء من القنوات، ومكاسب الهواء الراجع غير المنقول عبر قنوات (Non-ducted) أو عبر حيز الهواء الراجع (Plenum)، تحديات أمام دقة الحسابات. وبناء عليه، قد يرى البعض ضرورة إدراج المصممين لعامل أمان لمراعاة هذه العناصر. غير أنه وقبل اعتماد أي عامل أمان، يتحتم إجراء مراجعة شاملة للنظام للتحقق من أن سعته الاحتياطية كافية لتعويض الخسائر الطفيفة أو استيعاب هذا الاكتساب الحراري جزئيًا. فعلى سبيل المثال، عادة ما يتم اختيار وحدات الفان كويل (FCUs) بناء على تدفق الهواء عند السرعة المتوسطة لتلبية أحمال التبريد، مما يوفر غالبًا فائضًا في السعة يتراوح بين 3 و7% مقارنة بحمل التصميم، فضلا عن إمكانية التشغيل بالسرعة العالية لرفع القدرة وقت الذروة، وهو ما يعد كافيًا لاستيعاب هذا الاكتساب الحراري.

ومع ذلك، فإن "دليل تصميم المعهد المعتمد لمهندسي خدمات البناء لأبوظبي (CIBSE): الحد الأدنى لمعايير تصميم الخدمات الميكانيكية" -الذي يستند إلى ممارسات هندسية رصينة- يتيح هامش تفاوت يصل إلى 10% للأحمال المحسوسة و5% للأحمال الكامنة، وذلك عند حساب الحمل الحراري لكل حيز على حدة وتحديد حجم أنظمة التكييف.

7.2 حمل التبريد المتنوع

تؤكد جميع المعايير والإرشادات الدولية، مثل "دليل تصميم المعهد المعتمد لمهندسي خدمات البناء (CIBSE)" و"دليل (ASHRE) - الأساسيات" (ASHRAE Handbook- Fundamentals)، على ضرورة أن يراعي المصممون تنوع الأحمال عند تصميم المحطة المركزية.

"ينبغي في التصميم مراعاة أنماط التنوّع للأشخاص والإضاءة والمعدّات ونحوها، وإدراجُ ذلك في حسابات محطّة تكييف الهواء."
— دليل تصميم المعهد المعتمد لمهندسي خدمات البناء (CIBSE) لأبوظبي.

"أما في المباني الضخمة التي تتعدد فيها أنظمة التكييف والتهوية، فينبغي عند تصميم المعدات المركزية القائمة على تلك الأنظمة، مراعاة الأحمال المتزامنة وما يلحق بها من عوامل تباين إضافية." دليل ASHRE – الأساسيات (– ASHRE Handbook Fundamentals).

لا يقتصر حساب الحمل الكلي للمبنى على الجمع البسيط للأحمال الفردية لكل فراغ فيه، لأن هذه الفراغات لا تبلغ ذروة الطلب في آن واحد؛ والواقع أن الفراغات المختلفة تسجل أقصى أحمالها في أوقات متباينة من اليوم، أو حتى عبر فصول مختلفة.

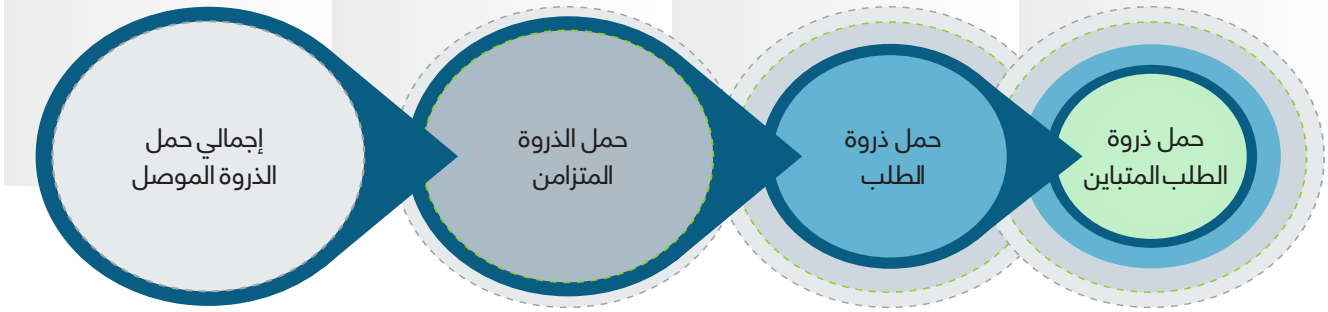
وبناءً عليه، ولضمان دقة حساب الحمل الكلي للمبنى وملاءمة أحجام محطة التبريد ومعداتها، يلزم مراعاة معاملات التباين كما هو مبين في الشكل 10 والجدول 4؛ إذ يكفل النهج المقترح تلافي المبالغة في تحجيم معدات المحطة، والحد من النفقات الرأسمالية غير الضرورية، وتجنب تدني كفاءة استخدام الطاقة.

الخطوة 1
إجمالي حمل الذروة الموصل الكلي (وهو مجموع أحمال الذروة للفراغات مع التهوية وسائر أحمال الذروة الأخرى).

الخطوة 2
حساب حمل الذروة المتزامن بمراعاة التباين الشمسي وتباين التهوية.
راجع القسمين 7-2-1 و7-2-4.

الخطوة 3
استبعاد أحمال عوامل الأمان التي أضيفت إلى الحسابات.
راجع القسم 7-1.

الخطوة 4
حساب معامل التباين لجميع الأحمال الداخلية.
راجع القسمين 7-2-2 و 7-2-3.



الشكل 10: حمل ذروة الطلب المتغير

فرضيات حسابات الأحمال	عامل الأمان (%)	ملاحظة
عوامل أمان (الحمل المحسوس)	SF_S	بافتراض أن المصمم قد استخدم نسبة 10%
عوامل أمان (الحمل الكامن)	SF_L	بافتراض أن المصمم قد استخدم نسبة 5%
معاملات حسابات الأحمال	**الحمل (كيلو واط)**	**ملاحظة**
إجمالي الحمل المحسوس لجميع الفراغات	L_{TS}	مجموع الأحمال المحسوسة للغرف
إجمالي الحمل الكامن لجميع الفراغات	L_{TL}	مجموع الأحمال الكامنة للغرف
حمل الذروة المحسوس المتزامن	L_{CPS}	راجع القسم 7-2-1
حمل تحييد الإضاءة	L_{LD}	L_LD= إجمالي حمل الإضاءة من حساب حمل التبريد – حمل الإضاءة الفعلي راجع القسمين 7-2-1 و7-2-2
حمل تحييد الأفراد (المحسوس)	L_{PDS}	L_PDS = إجمالي الحمل المحسوس للأشخاص من حساب حمل التبريد × (عدد الأشخاص الفعلي / عدد الأشخاص من حساب حمل التبريد) راجع القسمين 7-2-2 و7-2-6
حمل تحييد الأفراد (الكامن)	L_{PDL}	L_PDL = إجمالي الحمل الكامن للأشخاص من حساب حمل التبريد × (عدد الأشخاص الفعلي / عدد الأشخاص من حساب حمل التبريد) راجع القسمين 7-2-2 و7-2-6
حمل تحييد المعدات (المحسوس)	L_{EDS}	L_EDS = إجمالي الحمل المحسوس للمعدات من حساب حمل التبريد – حمل المعدات الفعلي راجع الأقسام 7-2-2 و7-2-4 و7-2-6
حمل تحييد المعدات (الكامن)	L_{EDL}	L_EDL = إجمالي الحمل الكامن للمعدات من حساب حمل التبريد – حمل المعدات الفعلي راجع القسمين 7-2-2 و7-2-6
حمل حيود تسرب الهواء (المحسوس)	L_{IDS}	L_IDS = إجمالي الحمل المحسوس لتسرب الهواء من حساب حمل التبريد × معامل تباين تسرب الهواء راجع القسمين 7-2-3 و7-2-5
حمل تحييد تسرب الهواء (الكامن)	L_{IDL}	L_IDL = إجمالي الحمل الكامن لتسرب الهواء من حساب حمل التبريد × معامل تباين تسرب الهواء راجع القسمين 7-2-3 و7-2-5
حمل التهوية الفعلي (وحدات تزويد الهواء النقي FAHUs ووحدات تزويد الهواء النقي MAHUs)	L_{VA}	L_VA = حمل التهوية عند درجة الحرارة الخارجية وليس عند ذروة إزالة الرطوبة راجع الأقسام 7-2-1 و7-2-2 و7-2-5 و7-2-4
أحمال تبريد أخرى خاضعة للتباين	L_{OT}	مثل حمل تبريد المسبح (المسابح)
حمل طلب التبريد المتباين	L_{CD}	L_CD=L_CPS-\{[L_LD+L_PDS+L_EDS+L_IDS]×(1-SF_S)\}+L_TL-\{[L_PDL+L_EDL+L_IDL]×(1-SF_L)\}+L_VA+L_OT
نتائج حسابات الأحمال	**النتيجة (%)**	**ملاحظة**
معامل التباين العام	DF	DF=L_CD \/(L_TL+L_TS)

7.2.1 تباين الحمل الشمسي

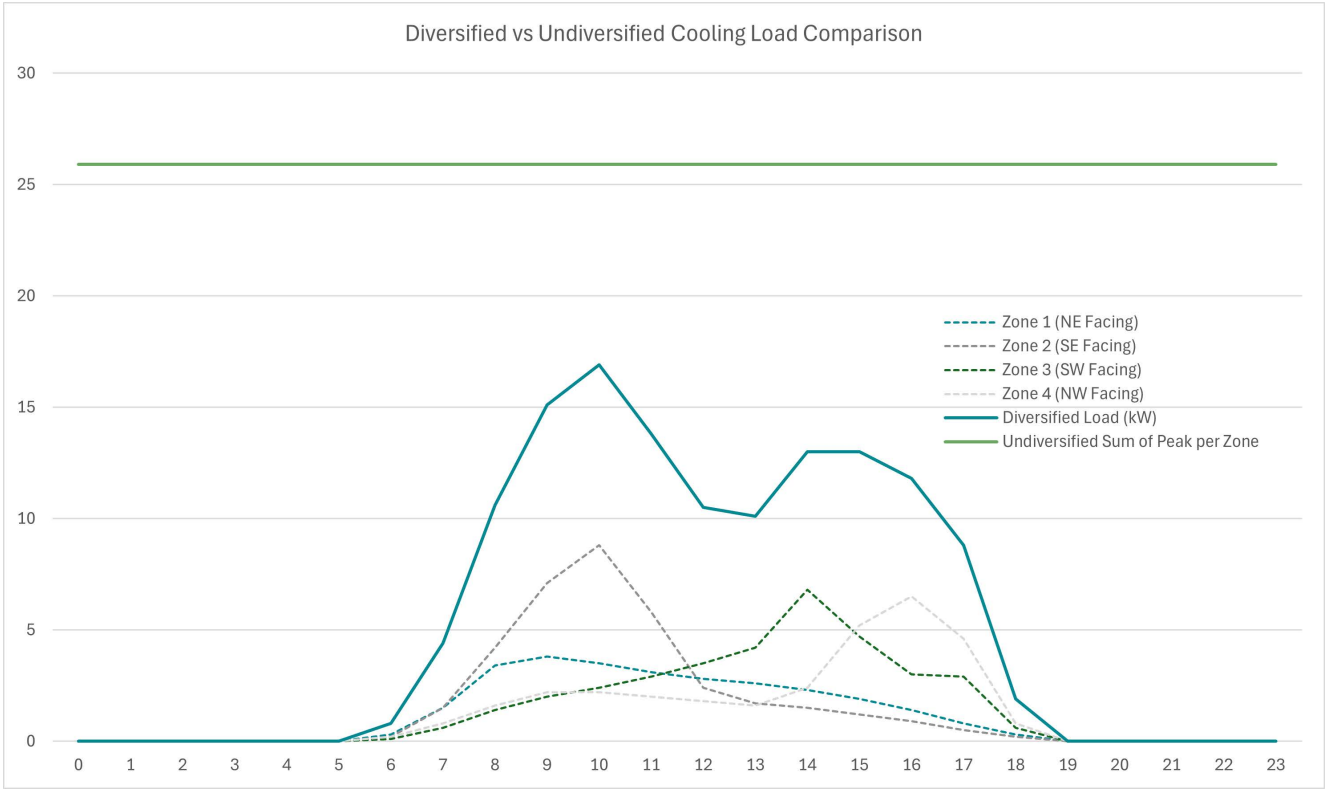
تشهد المباني ذروات متفاوتة للكسب الشمسي على مدار اليوم، وذلك تبعًا لمسار الشمس؛ وتحديدًا، تبلغ الواجهات الشرقية أقصى كسب شمسي في الصباح، بينما تسجل الواجهات الغربية ذروة الكسب في المساء.

يعتمد بلوغ ذروة الحمل الشمسي المتزامن للمبنى اعتمادًا أساسيًّا على مساحة الأجزاء الزجاجية -نظرًا لكون التباين الشمسي على الجدران محكمة العزل تعتبر ضئيلة- فضلاً عن شكل المبنى وتوجيهه. وبناءً عليه، سيُظهر المبنى المستطيل ذو المساحات الزجاجية الكبيرة المواجهة للشرق والغرب معامل تباين شمسي أعلى من مبنى مماثل ذي مساحات زجاجية مواجهة للشمال والجنوب.

يتسنى تعيين حمل الذروة المتزامن للمبنى -مع مراعاة تباين الحمل الشمسي- عن طريق برمجيات محاكاة المباني القادرة على حساب الأحمال الساعية لكل فراغ. كذلك يُستعان بأداة التحقّق (CLVT) لتقدير معامل تباين ذروة الحمل الشمسي، إذ تعتمد على بيانات ساعية وتحسب الأحمال الشمسية في فواصل زمنية قدرها ساعة واحدة؛ فترصد الأداة ذروة الكسب الشمسي لكل واجهة منفردة، ثم تضم هذه الذروة بعضها إلى بعض وكأنها وقعت في لحظة واحدة، ممثلةً بذلك سيناريو افتراضيًّا ل "أسوأ الظروف" دون اعتبارٍ للتباين الزمني. بعد ذلك، تستخلص الأداة حمل الذروة الشمسي الكلي الفعلي للمبنى استنادًا إلى البيانات الساعية. وبما أن الذروة الكسب تحدث في أوقات متباينة، فإن حمل الذروة المتزامن هذا يكون عادة أدنى من حاصل جمع ذروات الواجهات منفردة.

على سبيل المثال، يوضح الشكل 11 الفرق بين أحمال التبريد المتنوعة وغير المتنوعة:

- لكل منطقة (الخطوط المتقطعة) منحنى حمل تبريد فريد يعتمد على توجيهها ووقت الذروة فيها.
- يمثل الخط الأخضر المجموع غير المتنوع لأحمال الذروة (أي لو في حال تحديد سعة كل منطقة وجمعها بصورة منفصلة، بافتراض تزامن وقت الذروة).
- يبين الخط الأزرق المتصل الحمل الكلي المتنوع، وهو عبارة عن الجمع ساعة بساعة لجميع المناطق، بما يعبر عن الطلب الفعلي المتزامن.



الشكل 11: نمط حمل التبريد المتغير مقارنة بالنمط غير المتغير لأربع مناطق

الجدول 5 :مقارنة حمل التبريد بالساعة لـ 4 مناطق

الساعة	المنطقة 1 (الواجهة الشمالية الشرقية)	المنطقة 2 (الواجهة الجنوبية الشرقية)	المنطقة 3 (الواجهة الجنوبية الغربية)	المنطقة 4 (الواجهة الشمالية الغربية)	الحمل المتنوع (ك.و)
0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	
6	0.3	0.2	0.1	0.2	0.8
7	1.5	1.5	0.6	0.8	4.4
8	3.4	4.2	1.4	1.6	10.7
9	**3.8**	7.1	2.0	2.2	15.1
10	3.5	**8.8**	2.4	2.2	**16.9**
11	3.1	5.8	2.9	2.0	13.9
12	2.8	2.4	3.5	1.8	10.6
13	2.6	1.7	4.2	1.6	10.0
14	2.3	1.5	**6.8**	2.4	13.0
15	1.9	1.2	4.7	5.2	13.0
16	1.4	0.9	3.0	**6.5**	11.9
17	0.8	0.5	2.9	4.6	8.9
18	0.3	0.2	0.6	0.8	1.8
19	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	
21	0	0	0	0	
22	0	0	0	0	
23	0	0	0	0	
ذروة الحمل غير المتنوع لكل منطقة (ك.و)	**3.8**	**8.8**	**6.8**	**6.5**	**16.9**
مجموع ذروة الأحمال غير المتنوعة للمناطق (ك.و)	**25.9**				

مثال

بناء على الجدول 5 أعلاه، يبلغ الحمل المتنوع ذروته (16.9 كيلوواط) عند إجمالي أقل بكثير من المجموع غير المتنوع (21.5 كيلوواط). ولذا، فإن استخدام الأول يتيح تصميم سعة محطة التبريد بدقة وفعالية أكبر.

7.2.2 تنوع الاكتساب الحراري الداخلي

يعتمد حجم المعدات المركزية على الحمل الكلي (Block Load) للمبنى بالكامل في وقت ذروة حمل المبنى، وليس على مجموع أحمال الذروة للوحدات الطرفية الفردية في الغرف. وينبغي أن تراعي أحمال التبريد عوامل التباين المناسبة لأحمال الإنارة والشاغلين.

دليل ASHRAE - الأنظمة والمعدات (ASHRAE Handbook – System and Equipment)

في حين أن حمل الذروة للمناطق الفردية يمثل سيناريو "أسوأ الظروف"، فإن هذا النهج قد يؤدي إلى تقييم غير دقيق للحمل الكلي للمبنى. لذا، يُنصح بمراعاة انخفاض احتمالية أن تكون جميع فراغات المبنى مشغولة بالكامل في اللحظة ذاتها.
فعلى سبيل المثال، يتنقل قاطنو الوحدات السكنية بين الغرف المختلفة، لكنهم لا يشغلون جميع الغرف في آن واحد. وبالمثل في بيئة العمل المكتبية، فإن الأفراد الموجودين في مكاتبهم هم أنفسهم من سيشغلون قاعات الاجتماعات.
وكما هو موضح في الجدول 6، فإن تطبيق عامل تباين بنسبة 27% على الاكتساب الحراري للشاغلين يُعد إجراءً مناسبًا لنموذج شقة مكونة من غرفتي نوم وتضم عائلة من أربعة أفراد.

الجدول 6: مثال على تنوع الإشغال

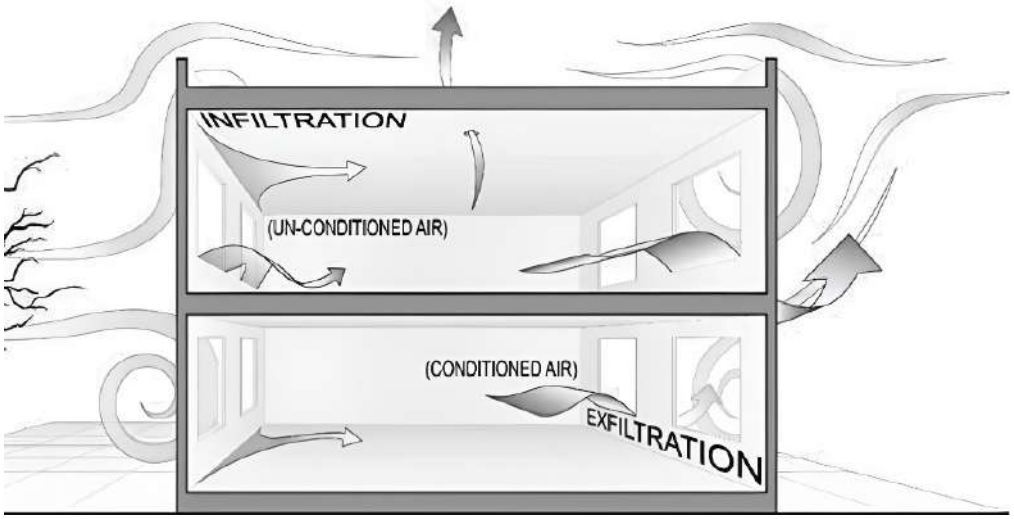
المناطق الفردية لشقة ذات غرفتي نوم	عدد الأشخاص	المعدات التي تخدم المنطقة
غرفة المعيشة	8	وحدة تكييف رقم 1
المطبخ	2	وحدة تكييف رقم 1
الردهة الداخلية	1	وحدة تكييف رقم 1
غرفة النوم 1	2	وحدة تكييف رقم 2
غرفة النوم 2	2	وحدة تكييف رقم 3
المجموع	15 شخصًا	3 وحدات تكييف
العدد الواقعي	4 أشخاص	على مستوى المحطة المركزية
معامل التباين	4/15 = 27%	على مستوى المحطة المركزية

يتعين على المصمم حساب أحمال الاكتساب الحراري الداخلي، واستخدام عوامل تباين الأحمال المناسبة لتفادي تضخيم حجم المحطة المركزية. ويوفر دليل ASHRAE - الأساسيات (وتحديدا الفصلان 17 و18) إرشادات شاملة حول تباين المكاسب الداخلية، والتي ينبغي للمصممين الاستناد إليها لحساب حمل المبنى بدقة. وعلاوة على ذلك، يمكن استخدام أداة التحقّق (CLVT) لتحديد تباين الأحمال الحرارية.
الداخلية

7.2.3 تباين تسرب الهواء

تستند حسابات تسرب الهواء في الأماكن أو المناطق المنفردة إلى سيناريو "أسوأ الظروف"، وذلك بافتراض سرعة الرياح القصوى. على العكس من ذلك، وعند النظر إلى المبنى ككل، يكون معدل التسرب المعتمد قابلا للتطبيق فقط على الجهة المقابلة للرياح، أما الواجهات الأخرى، فتشهد تسربًا في حدوده الدنيا. فضلاً عن ذلك، فإن احتمالية تزامن ظروف الذروة الصيفية مع سرعة الرياح القصوى هو أمر بعيد الاحتمال.
وفي المباني التي يشكل فيها التسرب جزءًا جوهريًا من المكاسب الحرارية الخارجية (غالبًا 15% فأكثر)، لا بد من إجراء تحليلات مستفيضة لتقدير تأثيره بدقّة. لذا، يوصى في مثل هذه الحالات باستخدام تقنيات متطورة كدراسات ديناميكا الموائع الحسابية (CFD) لتقييم تغيُّر معدلات التسرب باختلاف التوجيه وتعرض الواجهة. إذ تسهم هذه الدراسات في استيعاب توزيع ضغط الرياح، وتأثير المدخنة، ومسارات التسرب الموضعية، وهي العوامل التي تحكم كيفية نفاذ الهواء إلى داخل المبنى.

وباستيعاب هذه الاختلافات، تتيح النتائج تطبيق التنوع على المناطق أو الواجهات كلٍّ على حدة، عوضًا عن التطبيق الموحد لمعدلات تسرب "الحالة الأسوأ" على المبنى بأسره. ويسفر هذا الأسلوب الدقيق عن تقديرات واقعية ومثالية لحمل الذروة، متفاديًا بذلك التضخيم غير المبرر في تصميم أنظمة التكييف والتهوية (HVAC).



الشكل 12: تسرّب الهواء للداخل والخارج نتيجة الرياح

7.2.4 تنوع التهوية

في المناطق عالية الرطوبة، مثل مدينة أبوظبي وغيرها من المناطق الساحلية بالإمارة، تستلزم حسابات أحمال الهواء النقي -عند الاستناد إلى ظروف إزالة الرطوبة- سعة تبريد أكبر مقارنة بتلك المستندة إلى ذروة الحرارة الجافة (DBT)، وهو المعيار المتبع عادة لتحديد حجم محطة التبريد. ولهذا، ينبغي حساب حمل التهوية وفقًا لظروف الذروة للمحطة المركزية، وذلك لتمثيل حمل التهوية المتنوع الواقع على المحطة بدقة.

توصية للمصممين

ينبغي تحديد إجمالي أحمال تبريد المبنى بدقة، وعدم اللجوء لمجرد جمع أحمال الحيزات المنفردة. ويستلزم ذلك تطبيق عوامل التنوع على الأحمال الشمسية والمكاسب الداخلية والتسرب والتهوية، منعًا للمبالغة في السعة وإهدار الطاقة

7.3 خسائر النظام

لا تصل سعة التبريد الناتجة عن المحطة المركزية بتمامها إلى فراغات المبنى؛ نظرًا لما يتخلّل نظام التوزيع من خسائر، تتركز أساسًا في شبكة المياه المبردة، وشبكة أنابيب وسيط التبريد، ونظم مجاري الهواء. ومن هنا، يمثل توظيف العزل الحراري فائق الأداء، ومجاري الهواء قليلة التسرب، سبلاً فعالة للحد من هذه الخسائر.

7.3.1 العزل الحراري

يُعد العزل الحراري للأنابيب وقنوات الهواء متطلبًا إلزاميًا في مشاريع أبوظبي، بموجب معيار كود أبوظبي الدولي لترشيد استهلاك الطاقة (ADIECC). ومع أن أداء العزل يُقاس بمقاومته الحرارية (قيمة R) المحددة أثناء التصنيع، فإن هذه القيمة قد تتناقص بمرور الوقت. ويؤدي هذا التدهور إلى زيادة فقد الطاقة، واحتمال تعطل أنظمة التكييف والتهوية (HVAC)، وبالنهاية هدر الطاقة. لذا، يستلزم تدني قيمة R تحديد مواد عزل عالية الجودة تمتثل للمعايير ذات الصلة.

تختلف تبعات التسرب باختلاف نظام قنوات الهواء المعني:

- في أنظمة قنوات هواء الإمداد والهواء النقي: ينجم عن تسرب الهواء انخفاض في كمية الهواء الموردة إلى الفراغات المكيفة. ويستلزم عدم معالجة هذه المسألة أثناء مرحلة التصميم زيادة تدفق الهواء عند التشغيل التجريبي لتحقيق المعدل المحدد، مما يزيد استهلاك طاقة المراوح وحمل التبريد.
- في قنوات هواء السحب: يقتضي تسرب الهواء تعزيز تدفق الهواء واستهلاك طاقة المراوح لبلوغ مستهدفات التدفق التصميمية. ويترتب على زيادة التدفق هذه ارتفاع درجة حرارة هواء السحب، مما يضعف كفاءة استرجاع الحرارة ويزيد حمل التبريد.
- في قنوات الهواء الراجع: يُدخل تسرّب الهواء هواءً غير مكيف إلى داخل النظام، فيزيد بذلك حمل التبريد. وإضافة إلى ذلك، قد يتسبب هذا التسرب في تلوث الهواء إذا ما مرّ هواء الراجع عبر فراغ سقفي تابع لمنطقة معرّضة للرطوبة، وهي غالبًا مناطق ذات أسقف معلّقة غير محكمة الإغلاق، أو قد يُسبب مشكلات تتعلق بالرطوبة والعفن ونمو الفطريات إن مرَّ مجرى الهواء الراجع بفراغات خارجية.

توصية للمصممين

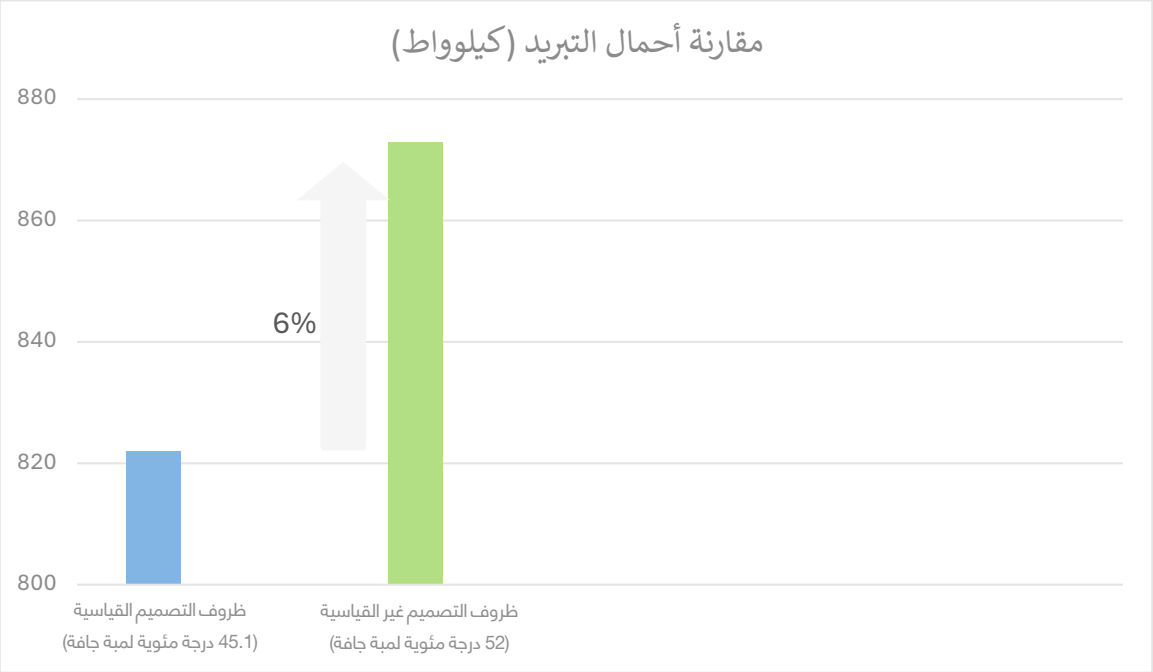
ينبغي للمصممين توخي الدقة عند اختيار وتوصيف قنوات الهواء، مع إيلاء اهتمام خاص لمعدلات التسرب وتأثيرها على تصميم النظام وتشغيله واستهلاك الطاقة. ويشمل ذلك الالتزام بالمعايير المعتمدة (مثل دليل SMACNA لاختبار تسرب قنوات التكييف أو معيار DW 144)، ودراسة إمكانية استخدام القنوات الدائرية أو البيضاوية المعزولة مسبقًا في المواقع الملائمة؛ نظرًا لتميزها بتسرب هواء أقل – ومن ثمَّ فواقد طاقة أقل - مقارنة بالمجاري المستطيلة ذات فئة الإحكام نفسها. ويتعين على المصممين أيضًا منح الأولوية لاختبارات التسرب في القنوات الرئيسية داخل غرف المعدات والصواعد، حيث يكون التأثير أكبر، بدلاً من التركيز على الفروع الطرفية الصغيرة.

7.4 المبالغة في التصميم بسبب ظروف تصميم خارجية غير معيارية

عند تحديد سعة محطة التبريد بناءً على ظروف تصميم خارجية تتجاوز القيم المنصوص عليها في الأكواد المحلية أو المعايير الدولية مثل ASHRAE، فإن النتيجة غالبًا ما تكون زيادة مفرطةً وغير ضروريةٍ في سعة محطة التبريد وأنظمة التكييف والتهوية (HVAC) المرتبطة بها، مما يشكل عبئًا على مالك المبنى، فضلاً عن زيادة تكاليف البنية التحتية لتوزيع الكهرباء.

مثال

أظهر تصميم مبنى مكاتب نموذجي، استنادًا إلى ظروف التصميم القياسية لـ ASHRAE (45.1 درجة مئوية حرارة جافة و23.0 درجة مئوية حرارة رطبة)، أن حمل ذروة محطة التبريد يبلغ 822 كيلوواط. وعند تحليل المبنى ذاته عند درجة حرارة 52 درجة مئوية جافة و23.0 درجة مئوية رطبة، ارتفع حمل التبريد المحسوب إلى 873 كيلوواط. ويمثل هذا زيادة تقارب 6% في حجم النظام للمبنى محل الدراسة، وهي زيادة ناتجة حصرًا عن اعتماد ظروف جوية غير قياسية.



الشكل 13: مقارنة أحمال التبريد لظروف تصميم بيئية مختلفة

توصية للمصممين

ينبغي للمصممين الالتزام بظروف التصميم الخارجية الموصى بها والواردة في القسم 2 من هذا الدليل. وفي حال وجود أي حيود عن هذه الظروف، يجب تقديم تبرير منطقي لذلك وتوثيق الأثر المترتب عليه.

8. محطة التبريد

تؤدي السعة المفرطة في محطات التبريد إلى نفقات ومتطلبات بنية تحتية غير ضرورية. لذا، وعقب الانتهاء من تصميم النظام، يتعين على المهندسين إعطاء الأولوية لتحسين السعة المركبة لتتلاءم بدقة مع أحمال التبريد المحسوبة.

ويوصى بإجراء تحليل شامل لتكلفة دورة الحياة (LCCA) لاختيار تقنية التبريد التي تحقق أقل استهلاك للطاقة وأدنى تكلفة تشغيلية. وينبغي أن يشمل هذا التحليل التكلفة الرأسمالية الأولية، والنفقات الجارية، وتقنيات كفاءة الطاقة المتقدمة (مثل تخزين الطاقة الحرارية أو استرداد الحرارة)، واستراتيجيات التعاقد المبتكرة مثل "التبريد كخدمة" (CaaS).

وينبغي مراعاة الأثر البيئي لوسائط التبريد، وإمكانية الربط المستقبلي مع أنظمة تبريد المناطق. وبوجه خاص، يجب مراعاة الاعتبارات التالية عند اختيار محطة التبريد.

8.1 السعة المركبة (الأساسية والاحتياطية)

تؤدي محطات التبريد ذات السعة المفرطة -والتي غالبًا ما تصل إلى ضعف سعة التبريد المطلوبة- إلى تكبد تكاليف ومتطلبات بنية تحتية غير ضرورية. وغالباً ما يُلجأ لتلبية حمل التبريد الأقصى عبر تحديد مضاعفات لسعة مبرد قياسي (على سبيل المثال، تغطية الحمل المحسوب بثلاثة مبردات سعة كل منها 33%، مع إضافة مبرد رابع بنفس السعة لتحقيق متطلب مرونة N+1). ولم يعد هذا النهج الحل الأكثر كفاءة أو جدوى اقتصادية، ويعزى ذلك أساسًا إلى العوامل التالية

الإصلاحات وتوفر قطع الغيار

أدى الطلب عبر الإنترنت والشحن السريع إلى تقليص الوقت اللازم للإصلاحات وتوفير قطع الغيار إلى حدٍّ كبير.

الصيانة التنبؤية

- تتيح المراقبة عن بعد للمصنعين رصد المشكلات المحتملة ومعالجتها قبل أن تتسبب في توقف النظام، مما يقلل الحاجة إلى مبردات احتياطية.

الاستئجار المؤقت للمبردات

يعد استئجار المبردات حلاً متاحاً وسريعًا لتعويض السعة أثناء التوقفات المفاجئة أو الصيانة، مما يغني عن الشراء الدائم لمبرد احتياطي. ولكن يشترط لذلك التخطيط لتوصيلات هذه المبردات أثناء التصميم الأولي وتنفيذها خلال مرحلة الإنشاء.

توصية للمصممين

ينبغي للمصممين تحديد سعات معدات محطة التبريد، ولا سيما المبردات، مراعين كفاءتها عند عامل الحمل الفردي الذي يقتضيه أداء المحطة الكلي لتلبية أحمال التبريد عبر مختلف الفصول. ولضمان المرونة التشغيلية بالتزامن مع تقليل عدد المعدات، ينبغي افتراض وقوع أعطال في وحدات محددة خلال فترات متباينة من العام، للتثبت من مقدرة بقية النظام على الوفاء بإجمالي الطلب. ويتعين إجمال هذه الحيثيات في تقييم مخاطر شامل؛ لبيان المسوغات الفنية للعميل بشأن جدوى الاستثمار في مبردات احتياطية من عدمه.

ينبغي أن يحيط تقييم المخاطر بجميع الاعتبارات الرأسمالية والمادية، ويشمل ذلك -على سبيل المثال لا الحصر- الزيادة المقدرة في سعة حمل التبريد وسبل توفيرها، والمتطلبات المكانية الإضافية لتوصيلات معدات محطة التبريد والأجهزة الملحقة، وضرورة توسيع المحول الكهربائي وزيادة مساحة المحطة الفرعية. وفي شأن توفير الطاقة الإضافية، ينبغي لتقييم المخاطر أن يزن أساليب مختلفة، كالتثبيت في الموقع أو احتمالات الإيجار، فضلاً عن أفضل التوليفات من سعات التبريد لضمان الأداء الفعال.

علاوة على ذلك، ينبغي دمج العوامل التشغيلية في صلب تقييم المخاطر، ويشمل ذلك الضمانات، واتفاقيات مستوى الخدمة مع المصنّعين، والترتيبات اللوجستية، والاستراتيجيات التشغيلية المقترحة لتعظيم الكفاءة والحد من التدهور، فضلاً عن نهج محدد بدقة متناهية للصيانة الوقائية والتصحيحية.

9. مراجعة التصميم والتحقق منه

قد تتخلل التصاميم والحسابات أخطاء ناجمة عن العوامل البشرية، مما يجعل التحقق الدقيق من التصميم بواسطة خبير مختص في كل مرحلة ضرورة لضمان التوافق مع أفضل الممارسات والمعايير المعتمدة في القطاع.

ينبغي أن يمتلك مراجع التصميم الخبرة اللازمة ومستوىً عاليًا من الثقة المهنية لتمكينه من تحسين التصاميم، واكتشاف الأخطاء، وتطبيق المعايير المثلى. وينبغي على المصمم التحقق من جميع عناصر عملية التصميم، مثل التصور الأولي، وتخطيط المساحات، والحسابات، والمواصفات، واختيار المعدات وتحديد أحجامها. ويمكن توظيف أداة التحقّق (CLVT) وقائمة التحقق المقترنة بها لتكون أداةً مساندةً تيسّر عملية مراجعة التصميم والتحقق منه وتحسّن مخرجاتها.

توصية للمصممين

ينبغي أن يتولى عضو خبير في الفريق، ممن يمتلك المهارات والخبرة المناسبة، مراجعة كل مرحلة من مراحل التصميم والحساب والتحقق منها؛ لضمان دقة التصميم، وسلامته من الأخطاء، وامتثاله لأفضل الممارسات والمعايير.

10. المراجع

1. Abu Dhabi International Building Code (ADIBC)
2. Abu Dhabi International Energy Conservation Code (ADIECC)
3. Abu Dhabi International Mechanical Code (ADIMC)
4. ANSI/ASHRAE/ACCA Standard 183-2007 (RA 2014) - Peak Cooling and Heating Load Calculations in Buildings Except Low-Rise Residential Buildings
5. ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2022 - Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings
6. ASHRAE 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
7. ASHRAE 62 - Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality
8. ASHRAE 169 – Climatic Data for Building Design standard
9. ASHRAE Handbook – Fundamentals
10. ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment
11. ASHRAE Load Calculation Applications Manual (SI), Second Edition
12. ASTM E779 - Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization
13. Centre for Built Environment (CBE) Thermal Comfort online tool for thermal comfort calculations and visualizations
14. CIBSE Design Guide for Abu Dhabi
15. CIBSE TM37 - Design for improved solar shading control
16. DW 144 - Building and Engineering Services Association - specification for sheet metal ductwork
17. SMACNA - HVAC Systems Duct Design Manual
18. Strategy Guideline: Accurate Heating and Cooling Load Calculations – U.S. Department of Energy

الملحق 1: متطلبات برمجيات المحاكاة

يقع على عاتق المصمم مسؤولية ضمان توافق جميع المدخلات والفرضيات مع دليل أحمال التبريد (CLM) وتوجيهات (ASHRAE) ذات الصلة (لا سيما دليل أساسيات (Fundamentals) ومعيار ASHRAE 90.1). ومع ذلك، وتوخيًا لضمان موثوقية حسابات أحمال التبريد وقابليتها للتحقق، يجب أن تستوفي أي برمجيات محاكاة مستخدمة في إطار هذه المنهجية المتطلبات التالية، المعدلة عن معيار ASHRAE 90.1-2007 (الملحق G - طريقة تقييم الأداء (PRM)

1. الامتثال لطريقة تقييم الأداء (PRM) كما هي محددة في الملحق G من معيار ASHRAE 90.1، مع وجوب التحقق من مطابقة البرمجيات لمعيار ASHRAE 140. ويجب إتاحة الوثائق التي تثبت التحقق بموجب المعيار 140 والقدرة على النمذجة وفق الملحق G عند الطلب
2. دعم إجراء محاكاة كاملة لكل ساعة (8,760 ساعة/سنة) باستخدام بيانات مناخية ساعية (تشمل الإشعاع الشمسي، ودرجات الحرارة الجافة/الرطبة، والرطوبة، والرياح) تمثل موقع المشروع بدقة
3. نمذجة كل من الأحمال الإجمالية (Block) وأحمال المناطق (Zonal)، مع دعم ما لا يقل عن 10 مناطق حرارية.
4. المحاكاة الدقيقة لما يلي:
   - المكاسب الحرارية الداخلية والخارجية (الأشخاص، الإضاءة، المعدات، غلاف المبنى).
   - تأثيرات الكتلة الحرارية.
   - منحنيات التصحيح والحمل الجزئي لنظام التكييف والتهوية (HVAC).
   - استراتيجيات التهوية وتسرّب الهواء المعتمدة في التصميم.
   - التغيرات الساعية في جداول الإشغال والتحكّم.
5. إتاحة حساب أحمال التبريد المتنوعة (Diversified) على مستوى المحطة المركزية.
6. شمول أو قبول طرق حساب استثنائية للعناصر غير الممثلة في النمذجة المباشرة، شريطة تقديم وثائق كاملة بشأنها.
7. استخدام معطيات الطقس التصميمية نفسها في الحالة المرجعية والحالة المقترحة.

ومع أن دائرة الطاقة لا تعتمد رسميًّا برمجيات محاكاة بعينها أو تزكيها، فإن الأدوات التالية (بأحدث إصداراتها) تُعد عمومًا ممتثلة للمتطلبات المذكورة سابقًا، شريطة استخدامها على نحو ملائم ووفقًا لأفضل الممارسات

1. IES VE
2. HAP
3. EnergyPlus
4. TRACE
5. TAS

نظرة عامة على منهجيات حساب أحمال التبريد

يُعد استيعاب المنهجية الكامنة وراء طرق حساب أحمال التبريد ركيزة أساسية لانتقاء الأداة الأمثل. ومن هذا المنطلق، يعرض الجدول 7 أدناه خلاصةً للأساليب الشائعة، مقرونةً بمجالات تطبيقها ومحدداتها في تحليل أحمال التبريد. ويشكل هذا الجدول مرجعًا للمصممين، مبرزًا اعتماد أداة التحقّق (CLVT) حصرًا على طريقة "التوازن الحراري" (HB)، التي تُقر جمعية مهندسي التدفئة والتبريد وتكييف الهواء الأمريكية (ASHRAE) بأنها المنهجية الأكثر انضباطًا ودقة للحسابات الديناميكية لأحمال التبريد

الشكل 13: مقارنة أحمال التبريد لظروف تصميم بيئية مختلفة

منهجية حساب حمل التبريد	الوصف	القيود / المحددات
CLTD/CLF (فرق درجة حرارة حمل التبريد / معامل حمل التبريد)	طريقة جدولية مبسطة تعتمد على فوارق درجات الحرارة ومعاملات الحمل.	لا تحيط إحاطة تامة بالكتلة الحرارية الديناميكية أو الأنظمة الزجاجية المعقدة؛ لذا فهي ذات كفاءة محدودة عند تطبيقها على المباني الضخمة أو المعقدة.
Heat Balance (HB) Method (طريقة التوازن الحراري)	حل متكامل لتوازن الحرارة للأسطح والحيزات؛ وتُعد المنهجية الأكثر انضباطًا وصرامة لدى (ASHRAE).	تتطلب برمجيات متخصصة؛ وتستلزم مجهودًا أكبر؛ وإعدادها يتسم بالتعقيد.
TETD/TA (فرق درجة الحرارة المكافئ الكلي / المتوسط الزمني)	طريقة مبسطة قديمة تستخدم فوارق درجات الحرارة المكافئة عبر الزمن.	حلت محلها طريقة (RTS)؛ وتعد أقل دقة بالنسبة للمكونات الإنشائية الحديثة.
TFM (Transfer Function Method) (طريقة دالة التحويل)	نموذج ديناميكي لتدفق الحرارة يستخدم دوال التحويل.	استُعيض عنها بغيرها في الغالب؛ نظرًا لتعقيدها في الحسابات اليدوية.
RTS (Radiant Time Series) (السلاسل الزمنية الإشعاعية)	طريقة ديناميكية يدوية توصي بها ASHRAE، وتحقق توازنًا بين الدقة والعملية.	أكثر تعقيدًا من طريقة (CLTD/CLF)؛ وتتطلب عناية دقيقة أثناء الإعداد.