Cool Up
Upscaling Sustainable Cooling

دليل الحلول الفنية للتبريد المستدام في مصر

مارس 2022

دليل الحلول التقنية للتبريد المستدام في مصر

coolupprogramme.org
Twitter
Newsletter
Email

Supported by:

based on a decision of
the German Bundestag

برنامج كوول أب هو جزء من مبادرة المناخ الدولية تدعمها الوزارة الاتحادية للبيئة وحماية الطبيعة والسلامة النووية وحماية المستهلك استناداً إلى قرار اتخذه البرلمان الألماني (البوندستاغ).

المعلومات والآراء الواردة في هذا المطبوعة تخص المؤلفين ولا تعكس بالضرورة الرأي الرسمي لمبادرة المناخ الدولية أو الوزارة الاتحادية للبيئة وحماية الطبيعة والسلامة النووية وحماية المستهلك.

تم إعداد هذه المطبوعة بواسطة المؤلفين للاستخدام فقط من قبل برنامج كوول أب حيث يمثل ماورد فيها الحكم المهني للمؤلفين بناءً على المعلومات المتاحة في وقت إعداد هذا التقرير. ولا يتحمل شركاء اتحاد Cool Up مسؤولية استخدام أي طرف ثالث لهذا التقرير أو الاعتماد عليه أو أي قرارات تستند إليه. وليكن معلوماً لدى قراء هذا التقرير بأنهم يتحملون جميع المسؤوليات التي تقع على عاتقهم هم أو أي أطراف أخرى نتيجة اعتمادهم على هذا التقرير أو البيانات والمعلومات والنتائج والآراء الواردة فيه، والتي تعتبر آراء المؤلفين ولا تمثل بالضرورة آراء حكومات مصر والأردن ولبنان وتركيا وألمانيا.

جهة النشر

Guidehouse Germany GmbH
Albrechtstr. 10C
10117 Berlin, Germany
+49 (0)30 297735790
www.guidehouse.com
© 2022 Guidehouse Germany GmbH

المؤلفون

المؤلفون الرئيسيون:
Markus Offermann (Guidehouse)

Mads Giltrup, Selimcan Azizoglu (UNDP – United Nations Development Programme)

المؤلفون المساهمون:
Alexander Pohl, Mustafa Abunofal (Guidehouse)

Ahmed A. Hassan, Norhan El Dallal (Industrial Development Group)

Ronny Mai (ILK – Institute of Air Handling and Refrigeration, Dresden Germany)

مراجعة:
Nesen Surmeli-Anac (Guidehouse)
Mohamed Salheen (Industrial Development Group)
Mathias Safarik (ILK – Institute of Air Handling and Refrigeration, Dresden Germany)
Antoine Azar, Ghaleb Elmheirat (UNDP – United Nations Development Programme)
Barbara Gschrey (Öko-Recherche)

التاريخ

مارس 2022

التواصل

تواصل معنا عبر info@coolupprogramme.org
زورونا على موقعنا www.coolupprogramme.org

جدول المحتويات

1. المقدمة ..... Error! Bookmark not defined.

1-1 برنامج كوول أب ..... **Error! Bookmark not defined.**

2-1 هدف التقرير ونطاقه ..... **Error! Bookmark not defined.**

2. **نظرة عامة على تقنيات التبريد الدولية** ..... **Error! Bookmark not defined.**

2-1 تكييف الهواء ..... Error! Bookmark not defined.

2-2 التبريد التجاري ..... Error! Bookmark not defined.

2-3 حلول التبريد المستدامة ..... Error! Bookmark not defined.

2-3-1 نظرة عامة على مواد التبريد الطبيعية 6

2-3-2 حلول تكييف الهواء المستدام ..... **Error! Bookmark not defined.**

2-3-2-1 نظرة عامة ..... **Error! Bookmark not defined.**

2-3-2-2 العوائق الرئيسية أمام تنفيذ تكييف الهواء المستدام 10

2-3-2-3 تدابير خفض الطلب على التكييف 11

2-3-2-4 حلول إمداد الطاقة المتجددة 12

2-3-3 حلول التبريد التجاري المستدام 13

2-3-3-1 نظرة عامة على مواد التبريد 13

2-3-3-2 العوائق الرئيسية أمام تنفيذ التبريد التجاري المستدام 16

2-3-3-3 تدابير تقليل الطلب على الطاقة لتشغيل أنظمة التبريد التجارية 16

3. أمثلة الممارسات الفضلى الوطنية **17**

4. أقتراحات لتنفيذ التبريد المستدام **21**

4-1 القائمة الطويلة 21

4-1-1 تكييف الهواء 21

4-1-2 التبريد التجاري 22

4-2 التقييم متعدد الأبعاد **23**

5. المراجع **30**

الملحق أ: نظرة عامة على خصائص مواد التبريد **31**

الأشكال

الشكل 1: أقسام التبريد الفرعية المختلفة..... **Error! Bookmark not defined.**
الشكل 2: نظرة عامة على التقييم متعدد الأبعاد 23

الجداول

الجدول 1: نظرة عامة على أهم خصائص أنظمة التكييف الأكثر ملاءمة لمنطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا 3
الجدول 2: نظرة عامة على أهم خصائص أنظمة التبريد التجاري الرئيسية 5
الجدول 3: نظرة عامة على مواد التبريد الطبيعية الأكثر شيوعًا..... 6
الجدول 4: نظرة عامة على أهم خصائص أنظمة تكييف الهواء البديلة الأكثر ملاءمة التي تستعمل مواد تبريد طبيعية 8
الجدول 5: نظرة عامة على أهم خصائص لأنظمة التبريد البديلة الأكثر أهمية التي تستعمل مواد تبريد طبيعية..... 13
الجدول 6: أمثلة الممارسات الفضلى الوطنية 17
الجدول 7: التقييم متعدد الأبعاد لتكييف الهواء..... 24
الجدول 8: التقييم متعدد الأبعاد للتبريد التجاري 27
الجدول 9: *نظرة عامة على خصائص مواد التبريد ذات الصلة* 31

الاختصارات

AC	تكييف الهواء
°C	درجة مئوية
CHP	الحرارة والطاقة المشتركة
COP	معامل الأداء
DX Chillers	وحدة تبريد ذات نظام التمدد المباشر (مواد التبريد الدائرة في المبنى)
EEI	مؤشر كفاءة الطاقة
EER	نسبة كفاءة الطاقة
EKK	كفاءة النظام الموسمية الشاملة والتي تغطي جميع مكونات نظام تكييف الهواء وفقًا للمعيار الألماني DIN SPEC 15240:2019-03
e.g.	على سبيل المثال
GWP	القدرة على التسبب في الاحترار العالمي
HC	المركبات الهيدروكربونية
HCFC	المركبات الهيدروكلورفلوروكربونية
HFC	المركبات الهيدروفلوروكربونية
kW	كيلو واط (وحدة مترية لقياس السعة / الطاقة)
MENA region	منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا
MT	درجة حرارة متوسطة (تبريد)
N.A.	غير متاح
LT	درجة حرارة منخفضة (تبريد)
PV	كهروضوئي
SEER	نسبة كفاءة الطاقة الموسمية
RE	الطاقة المتجددة
RT	طن تبريد (وحدة قياس سعة التبريد: 1 طن تبريد = 3.52 كيلو واط)
VRF Systems	أنظمة التدفق المتغير (أنظمة متقدمة مكونة من وحدات متعددة منفصلة)

1. المقدمة

مع توقع زيادة الطلب على الطاقة بنسبة 50٪ بحلول عام 2040[1]، تواجه بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا مجموعة من التحديات المتعلقة بتغير المناخ، حيث تشمل تحديات الطاقة في المنطقة النمو السكاني السريع، والتوسع الحضري، والبنية التحتية الهشة للطاقة. وفي نفس الوقت يمثل التبريد في المنازل المجهزة بتكييف الهواء بالفعل مصدرًا رئيسيًا لاستهلاك الطاقة في المنطقة. كما أنه من المتوقع أن يزداد استخدام التبريد بشكل أكبر لأنه مع تحسن مستوى المعيشة، تستخدم المزيد من الأسر أنظمة تكييف الهواء، إلا أن هناك إمكانية كبيرة لتوفير الطاقة عند استبدال العديد من أنظمة التبريد والتكييف ذات كفاءة الطاقة المنخفضة المستخدمة حالياً بأخرى ذات كفاءة عالية. وهناك تأثير مناخي آخر ناجم عن التبريد يأتي من مواد التبريد التي لا تزال مستخدمة في العديد من مكيفات الهواء والثلاجات اليوم. فمثل هذه المبردات ذات القدرة العالية على إحداث الاحترار العالمي هي أقوى 2000 مرة (انبعاثات غازات الدفيئة المباشرة) بالنسبة للمناخ من ثاني أكسيد الكربون وبدائل مواد التبريد الطبيعية.لذلك فإنه بدون تنفيذ سياسات عامة أخرى ، قد ترتفع الانبعاثات المباشرة وغير المباشرة من التبريد والتجميد بنسبة 90٪ فوق مستويات عام 2017 بحلول عام 2050، مما يؤدي إلى حلقة ردود فعل مفرغة.

1-1 برنامج كوول أب

يشجع برنامج كوول أب Cool Up التغيير التكنولوجي المتسارع والتنفيذ المبكر لتعديل كيغالي لبروتوكول مونتريال واتفاقية باريس في مصر والأردن ولبنان وتركيا. ويركز البرنامج على توفير مواد التبريد الطبيعية والحلول الموفرة للطاقة للتخفيف من آثار ارتفاع الطلب على التبريد. يعتمد نهج برنامج كوول أب على أربع ركائز: تقليل الطلب على التبريد، والخفض التدريجي للمركبات الهيدروفلوروكربونية (HFCs)، واستبدال وإعادة تدوير المعدات والمبردات غير الفعالة، والتدريب وزيادة الوعي.

يركز نهج البرنامج متعدد القطاعات على قطاع التكييف السكني والتجاري (تكييف الهواء) وقطاع التبريد التجاري.

ويهدف البرنامج إلى تطوير قدرة مؤسسية دائمة وزيادة نشر تقنيات التبريد المستدامة في السوق. ومن أجل التمكين من تحول سوق التبريد نحو تقنيات التبريد المستدامة، سيقوم برنامج كوول أب بما يلي:

- تعزيز الحوار عبر القطاعات بين الجهات الفاعلة الوطنية لتعزيز الإحساس لديهم بالملكية لدعم إحداث أثر طويل المدى.
- تطوير الإجراءات والسياسات التي من شأنها خلق بيئة تنظيمية داعمة.
- تطوير آليات مالية وهياكل تمويلية للتمكين من تحول سوق التبريد.
- دعم نشر وتعميم التقنيات الحالية والناشئة التي تعمل بمواد التبريد الطبيعية.
- توفير الموارد اللازمة لتنمية القدرات في مجال التبريد المستدام في البلدان الأربعة الشريكة للبرنامج.

في بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، يشكل التبريد مصدرًا رئيسيًا لاستهلاك الطاقة والتي تنتج انبعاثات غير مباشرة من غازات الدفيئة (GHG) وتساهم في استنفاد طبقة الأوزون والاحترار العالمي. ولذلك يسعى برنامج كوول أب إلى مواجهة هذا التحدي في البلدان الشريكة له من خلال التخفيف من الآثار السلبية لمواد التبريد من خلال تعزيز التغيير التكنولوجي المتسارع وتسهيل التنفيذ المبكر لتعديل كيغالي واتفاقية باريس.

وينقسم البرنامج إلى ثلاث ركائز:

- السياسات واللوائح
- التكنولوجيا والأسواق
- التمويل ونماذج الأعمال

[1] British Patrol, "BP Energy Outlook 2018 Edition"

2-1 هدف التقرير ونطاقه

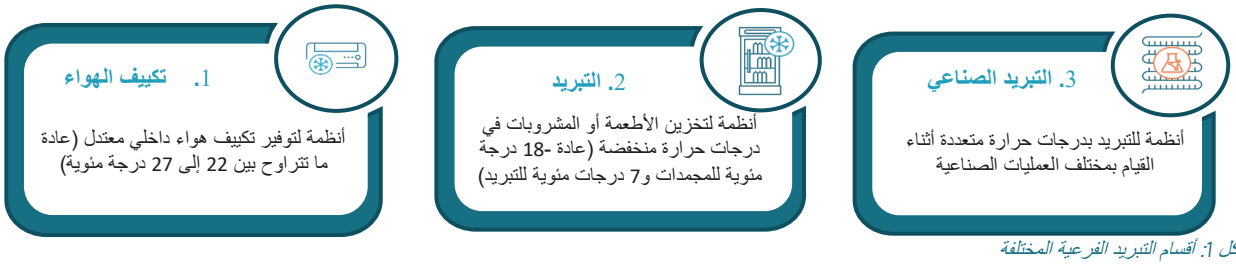
يوفر هذا التقرير معلومات حول خيارات التبريد المستدام في مصر. ويخاطب التقرير أصحاب المصلحة من مختلف القطاعات مثل صانعي السياسات وهيئات التمويل، كما يستهدف المخططين والمصنعين وكل من يهمه الأمر. والهدف الرئيسي وراء ذلك هو تسهيل التحول إلى التبريد المستدام في مصر مع التركيز بشكل خاص على تكييف الهواء والتبريد التجاري. وتم توفير الخلفية التفصيلية لسوق التبريد المصري في تقرير حالة قطاع التبريد في مصر الصادر عن برنامج كوول أب.[2]

- يقدم الفصل 2 ملخصًا شاملًا حول تقنيات التبريد الدولية بما في ذلك وصف للتقنيات الشائعة الحالية وبدائلها المستدامة.
- يقدم الفصل 3 نظرة عامة حول الأنشطة الحالية التي تعد أمثلة للممارسات الوطنية الفضلى من حيث استخدام عناصر التبريد المستدامة.
- يتطرق الفصل 4 إلى نتائج الفصول السابقة، وتم إجراء تقييم متعدد الأبعاد لتلك الفصول لاستخلاص حلول التبريد المستدامة الموصى بها لمصر. ويجب أن تساعد هذه الحلول في مواجهة أدنى معوقات التنفيذ وأن تتمتع في الوقت نفسه بإمكانية عالية للحد من مكافئ ثاني أكسيد الكربون دون خلق تأثيرات لا رجعة فيها بهدف تحقيق الحياد المناخي طويل المدى

[2] لمزيد من المعلومات، زر موقع: https://www.coolupprogramme.org/knowledge-base/reports/cooling-sector-status-report-egypt/

2. نظرة عامة على تقنيات التبريد الدولية

يشير التبريد بشكل عام إلى انتقال الحرارة من مسطح ذي درجة حرارة عالية إلى مسطح منخفض الحرارة. ويتم شرح ثلاثة فروع من أفرع تلك العملية فيما يلي: التكييف والتبريد والتبريد الصناعي كما هو مبين في الشكل 1.



الشكل 1: أقسام التبريد الفرعية المختلفة

يركز برنامج كوول أب على تكييف الهواء والتبريد التجاري. وفي الأقسام التالية، يتم شرح السمات الرئيسية لهذين القسمين الفرعيين شرحًا تفصيليًا:

أكبر.

2-1 تكييف الهواء

يمكن تصنيف تقنيات تكييف الهواء في فئتين عامتين، لكل منهما فئات فرعية:

1. أنظمة مركزية تخدم فيها وحدة تبريد مركزية عدة وحدات نقل :
   أ. وحدات التبريد القائمة على الضغط بالماء / المحلول الملحي
   ب. وحدات تبريد ذات نظام التمدد المباشر (DX-systems) (شاملة الوحدات الموجودة على السطح)
   ج. وحدات التبريد القائمة على امتصاص الماء / المحلول الملحي
   د. أنظمة التدفق المتغير / أنظمة متعددة الوحدات المنفصلة (multi-split)

2. أنظمة لامركزية تخدم فيها وحدة تبريد واحدة جميع وحدات النقل:
   أ. وحدات منفصلة فردية
   ب. وحدات الشباك / الحائط
   ج. وحدات مضغوطة متحركة (الوحدات المحمولة)

يقدم الجدول التالي نظرة عامة حول الخصائص الرئيسية لأنظمة التكييف الأكثر شيوعًا في الشرق الأوسط وشمال أفريقيا.

***الجدول 1** نظرة عامة على أهم خصائص أنظمة التكييف الأكثر ملاءمة لمنطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا* [3]

تقنيات تكييف الهواء	نطاق القدرة النموذجي	متوسط معدل التسرب السنوي [10]	مواد التبريد قيد الاستخدام البدائل القديمة التي لا تزال متاحة / الشائعة / الجديدة [12]	معدل كفاءة الطاقة	كفاءة النظام الموسمية الشاملة [2] بالاتحاد الأوروبي / المناخ الحار (مثل القاهرة)	ملاحظات
وحدات التبريد بالضغط (من هواء إلى ماء)	< 10 كيلو واط	1-22 %	R22 / R134a, R410A, 407C/ R32, R1234ze, R513A	2.8[3]-4.0[4]	3.4-5.3[5]/ 2.8-4.3[5]	تتمتع بإمكانية التخزين الحراري والتحكم في الرطوبة
وحدات التبريد بالضغط (من ماء إلى ماء)	< 10 كيلو واط	1-22 %	R22 / R134a, R410A, 407C/ R1234ze, R513A	*4.0-6.0*[6]	*3.7-6.2*[6] *3.3-5.5*[6]	تتمتع بإمكانية التخزين الحراري والتحكم في الرطوبة
وحدات الأسطح	حتى 300 كيلو واط	1-10 %	R22 / R134a, R410A, 407C/ R32, R1234ze, R513A	2.4-4.3	3.2-5.8/ 2.7/4.9	تتمتع بإمكانية التحكم في الرطوبة

[3] ما لم يذكر خلاف ذلك، تستند المعلومات إلى تقديرات وحسابات الخبراء المشاركين في المشروع.

تقنيات تكييف الهواء	نطاق القدرة النموذجي	متوسط معدل التسرب السنوي [10]	مواد التبريد قيد الاستخدام البدائل القديمة التي لا تزال متاحة / الشائعة / الجديدة [12]	معدل كفاءة الطاقة	كفاءة النظام الموسمية الشاملة [2] بالاتحاد الأوروبي / المناخ الحار (مثل القاهرة)	ملاحظات
وحدات التبريد بالامتصاص (من ماء إلى ماء)	5 - 5000 كيلو واط	غير متاح	R717, R718	الحرارة: 0.5 - 1.3[11]	الحرارة: 1.9-2.5/ 1.9/2.5[7]	تتطلب ماء لإعادة التبريد عند ارتفاع درجات الحرارة المحيطة تتمتع بإمكانية التخزين الحراري (على غرار وحدات التبريد بالضغط)
أنظمة التدفق المتغير / أنظمة متعددة الوحدات المنفصلة	5 - 50 كيلو واط	1-11 %	R22/ R410A, R407C/R32	2,2-4,7	4.6[8]-9.0/ 3.4-7.1	تمتلك أعلى معدلات تسرب من بين الأنظمة المحددة تتطلب أعلى تكاليف استثمار من بين الأنظمة المحددة توفر راحة قليلة ولا تتحكم في إزالة الرطوبة
وحدات منفصلة فردية	> 12 كيلو واط	1-10%	R22/ R410A, R407C/ R32	2.2-5.2	4.4-9.5[9]/ 3.3-7.3	تتسم بأعلى كفاءة ممكنة وأقل تكلفة من بين الأنظمة المحددة، وعلى الرغم من ذلك تنخفض قدرتها على توفير الراحة ولا تتحكم في إزالة الرطوبة

1) نسبة كفاءة الطاقة في ظروف عملية التصميم (وحدات التبريد: 12/7/35، أخرى: 27/35): قيمة الحد الأدنى الجديد المستنبط من لوائح التصميم الإيكولوجي للاتحاد الأوروبي (للأنظمة المركزية: EU 2281/2016، للوحدة < 12 كيلو واط: EU 206 / 2012) محسوبة وفقًا لـ EN 14511؛ وهو أفضل معيار حالي وفقًا لشهادة اعتماد يوروفنت (https://www.eurovent-certification.com/en/)

2) تم حساب كفاءة النظام الموسمية وفقًا لمعيار DIN SPEC 15240: 2019-03. ويحدد شامل أوجه كفاءة النظام الموسمية بما في ذلك جميع مكونات أنظمة تكييف الهواء، مما يتيح مقارنة كفاءات الأنظمة المختلفة. ولن يكون هذا ممكنًا من خلال استخدام معايير الكفاءة الشائعة مثل نسبة كفاءة الطاقة أو نسبة كفاءة الطاقة الموسمية. فعلى سبيل المثال، لا تأخذ تلك المعايير في الاعتبار سوى كفاءة وحدة التبريد نفسها عند قياس كفاءة أنظمة تكييف الهواء ذات وحدة تبريد مركزية ولا تأخذ في الاعتبار أنظمة التوزيع والنقل المطلوبة. وعلى النقيض، تأخذ كفاءة النظام الموسمية في الاعتبار نسبة عوامل الطاقة الأولية للكهرباء (افتراضًا 2.5) والحرارة (افتراضًا 0.7) عند التطرق في وحدات التبريد بالامتصاص.

3) لوائح التصميم الإيكولوجي للاتحاد الأوروبي <400 كيلو واط

4) فئة الأنظمة المعباة، التبريد فقط

5) عند افتراض وجود أنظمة توزيع ونقل عالية الكفاءة

6) دون احتساب طاقة وحدة إعادة التبريد

7) العوامل الأولية المأخوذة في الاعتبار: الكهرباء 2.5، والحرارة من 0.7 على مقياس الحرارة والطاقة المشتركة

8) المتطلبات المشتقة للوحدات التي تستخدم مادة تبريد: قدرة التسبب في الاحترار العالمي تزيد عن 150 (GWP>150) وعدم ازدياد السعة عن 6 كيلو واط (capacity < 6 kW)

9) نسبة كفاءة الطاقة الموسمية (وفقا للاتحاد الأوروبي): 10.6

10) القيم الإحصائية شاملةً حالات الخسارة الكاملة النادر حدوثها بسبب الشقوق الضخمة، والتي تم تجميعها من مصادر مختلفة، على سبيل المثال (pae-engineers.com 2020)، و (قسم الأبحاث بمجلس موارد الهواء بكاليفورنيا 2017)، و(أوفرمان وآخرون 2016)، (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي 2021)، (SBZ-Online.de 2018)، و(بول أشفورد وآخرون، 2006)

11) 0.5 (الامتصاص والأمونيا)؛ و1.3 (ماء ذو تأثير مزدوج / بروميد الليثيوم). لا تشمل قيم نسبة معدل كفاءة الطاقة المحددة استهلاك المعدات الإضافية من الكهرباء.

12) يمكن الاطلاع على نظرة عامة حول المواصفات الرئيسية لمواد التبريد المختلفة في الملحق

2-2 التبريد التجاري

تختلف أنظمة التبريد التجاري عن الثلاجات المنزلية الشائعة من حيث الحجم والتقنيات والإعداد. فعادة ما تكون تلك الأنظمة أقوى من تلك الموجودة في الوحدات السكنية وقد تشمل ضواغط ومكثفات في موقع مختلف عن صندوق التبريد. ويمكن تصنيف تلك الأنظمة، من حيث تجزئة السوق، إلى ثلاث فئات عامة لكل منها فئات فرعية:

- أنظمة مركزية: وهي أنظمة كبيرة موزعة تشمل مبخرات متعددة متصلة بجهاز تحكم عن بعد للضاغط ومكثف خارجي. يمكن لهذه الأنظمة أن تخدم عدة أحمال تبريد
  - الأنظمة المركزية المباشرة: يتم تصقيع مادة التبريد الأولية خلال عملية التمدد المباشر ثم يتم تدويرها لتبريد الوسط المستهدف، عادة ما يكون الطعام
  - الأنظمة المركزية غير المباشرة: تتضمن العملية خطوة وسيطة لنقل الحرارة حيث يتم تصقيع مادة التبريد الثانوية بواسطة مادة تبريد أولية ثم يتم تدويرها لتبريد الوسط المستهدف.
- وحدات التكثيف التي تعمل بتوصيل المبخر في المساحة المبردة بضاغط ومكثف عن بعد. ويمكن لهذه الأنظمة أن تخدم ما يصل إلى ثلاثة أحمال تبريد.
- الوحدات المستقلة هي أجهزة صغيرة مدمجة موصلة بالكهرباء تشبه أجهزة التبريد المنزلية. ويمكن لهذه الأنظمة أن تخدم حمل تبريد واحد فقط.

تعمل أنظمة التبريد التجارية بمستويين من درجات الحرارة:

- درجة حرارة متوسطة (MT): تحفظ المنتجات المبردة مثل منتجات الألبان والفواكه وما إلى ذلك، والتي تتراوح عادة بين 0 درجة مئوية و 8 درجة مئوية.
- درجة حرارة منخفضة (LT): تحفظ المنتجات المجمدة مثل الأسماك واللحوم وما إلى ذلك، وتتراوح عادة بين -18 درجة مئوية و -25 درجة مئوية.

يقدم الجدول التالي نظرة عامة على خصائص أنظمة التبريد التجاري الرئيسية :

الجدول 2 *نظرة عامة على أهم خصائص أنظمة التبريد التجاري الرئيسية:*[4]

نظام التبريد التجاري	نطاق القدرة النموذجي[7]	متوسط معدل التسرب السنوي[4]	مواد التبريد قيد الاستخدام البدائل القديمة التي لا تزال متاحة / الشائعة / الجديدة[5]	معامل كفاءة الأداء[1] / مؤشر كفاءة الطاقة	نسبة كفاءة الطاقة[2] في الظروف المناخية الحارة	ملاحظات
الأنظمة المركزية	40 كيلوواط – 200	10% - 35%	القديمة: R22 الشائعة: R404A R134a, R407A.F الجديدة: R744 R449A, R450A	1.7 – 4.4[1]	غير متاح	تتراوح الكفاءة المحددة بين الحد الأدنى من متطلبات معامل أداء الأنظمة التي تقل عن 200 كيلوواط والحد الأقصى الذي يصل إلى 300 كيلوواط
وحدات التكثيف	2 كيلوواط – 20	10%-35%	القديمة: R22 الشائعة: R404A R134a, R407A/F الجديدة: R1234yf R1234ze, R454A	درجة حرارة منخفضة: 0.8 – 2.5[1] درجة حرارة متوسطة: 1.5 – 2.5[1]	درجة حرارة منخفضة: 0.65 – 2[2] درجة حرارة متوسطة: 1.24 – 2[2]	تم بناء نطاق الكفاءة وفقًا للمنتجات المعتمدة / المدرجة الأدنى والأفضل أداءً في قاعدة بيانات رابطة مصنعي مكونات التبريد الأوروبية (ASERCOM6) التي تشمل نطاق القدرة التشغيلية المخصص.
الوحدات المستقلة	0.1 – 1 كيلوواط	1-15%	القديمة: R12 R22 الشائعة: R404A R134a الجديدة: R290 R600a, R1234ze R1234yf	الحد الأدنى من مؤشر كفاءة الطاقة: 170[3] الحد الأدنى من مؤشر كفاءة الطاقة: 20[3]	غير متاح	تم تحديد المستويات العليا والسفلى من مؤشر كفاءة طاقة الوحدات المستقلة وفقًا للائحة المفوضية الأوروبية التفويضية لعام 2018/2019. وتختلف نطاقات القيمة باختلاف فئات المنتجات.

1) مقاييس التحميل الكامل ودرجة حرارة محيطة تصل إلى 32 درجة مئوية
2)مقاييس التحميل الكامل ودرجة حرارة محيطة تصل إلى 43 درجة مئوية
3) يتم تحديد متوسط كفاءة استخدام الطاقة من خلال قياس مختلف فئات المنتجات المستقلة والتي تشمل مجمدات السوبر ماركت وثلاجة السوبر ماركت ومجمدات الآيس كريم ومبردات المشروبات وآلات البيع وواجهات عرض الجيلاتي المصنوع يدويًا.
4) المصدر: (بول أشفورد وآخرون، 2006)
5) يمكن الاطلاع على نظرة عامة حول المواصفات الرئيسية لمواد التبريد المختلفة في الملحق
6) قم بزيارة https://www.asercom.org/
7) المصدر: (برنامج الأمم المتحدة للبيئة، أمانة الأوزون، 2015)

[4] ما لم يذكر خلاف ذلك، تستند المعلومات إلى تقديرات وحسابات الخبراء المشاركين في المشروع.

3-2 حلول التبريد المستدام

يقدم هذا الفصل لمحة عامة عن حلول التبريد المستدام لتكييف الهواء والتبريد التجاري.

يوفر الخفض التدريجي من المركبات الهيدروكلورفلوروكربونية بموجب بروتوكول مونتريال والخفض التدريجي العالمي للمركبات الهيدروفلوروكربونية للدول النامية فرصة لاعتماد بدائل صديقة للمناخ وفعالة من حيث الطاقة. وقد أقر أطراف بروتوكول مونتريال بذلك في القرارات المتخذة في اجتماع كيغالي للأطراف لعام 2016 الذي انعقد بالتزامن مع إجراء التعديلات الخاصة بالمركبات الهيدروفلوروكربونية. ويمكن أن يؤدي ربط كفاءة الطاقة بالتخفيض التدريجي للمركبات الهيدروفلوروكربونية إلى تعزيز الفوائد المناخية لتعديل كيغالي بشكل كبير، ولذا لا ينبغي أن نضيع تلك الفرصة. كما أن اتفاقية باريس تلزم الدول الموقعة بالإدخال التدريجي للتقنيات النظيفة والموفرة للطاقة والصديقة للمناخ وتهيئة الأسواق لاستيعابها.

يهدف التبريد المستدام إلى خفض انبعاثات الكربون لتصل إلى الصفر من خلال المعايير التالية:

- عدم استخدام مواد التبريد المفلورة (الحلول الممكنة: استخدام مواد التبريد الطبيعية أو الأخذ في الاعتبار ما يسمى "التقنيات غير التقليدية" التي لا تستعمل مواد التبريد)
- زيادة كفاءة استخدام الطاقة
- استغلال الطاقات المتجددة للتوليد

تسعى الحلول الفنية الموصى بها في هذا التقرير إلى إدراج هذه الجوانب لتوجيه خيارات التكنولوجيا من أجل تحقيق أقصى مستويات خفض الانبعاثات. والنظرات العامة التالية ليست حصرية. فقد يمكن تطبيق المزيد من الحلول الفنية التي تستخدم مواد التبريد الطبيعية والتي قد تتسم بكفاءة الطاقة.

2-3-1 نظرة عامة على مواد التبريد الطبيعية

يتطلب التبريد المستدام عدم استخدام مواد تبريد ضارة بالبيئة مثل الغازات المفلورة. وتفي أنظمة التبريد التي تستخدم مواد التبريد الطبيعية بهذا المطلب. فالمبردات الطبيعية هي مواد غير اصطناعية تنشأ عن عمليات كيميائية حيوية تحدث في الطبيعة وبالتالي لا تؤدي إلى انبعاثات دائمة وسامة ومنتجات متحللة. علاوة على ذلك، فإن تلك لها تأثير ضئيل أو منعدم على المناخ. وتتوافر مواد التبريد الطبيعية محليًا ولا تخضع للتخفيضات بموجب بروتوكول مونتريال وتعديل كيغالي، وبالتالي من المتوقع أن تظل أسعارها مستقرة نسبيًا مقارنة بأسعار المركبات الهيدروفلوروكربونية.

يقدم الجدول التالي نظرة عامة حول إيجابيات وسلبيات المبردات الطبيعية الأكثر شيوعًا.

***الجدول 3** نظرة عامة على مواد التبريد الطبيعية الأكثر شيوعًا*

مواد التبريد	الإيجابيات	التحديات
R744 (ثاني أكسيد الكربون) عمليات الانتقال الحرج عملية دون الحرجة (تتطلب الربط المتعاقب مع مادة تبريد أخرى)	▶ غير قابل للاشتعال ▶ غير سام ▶ وضع تشغيل الانتقال الحرج [1] ▶ تقنيات مشهورة تستخدم على نطاق واسع في البلدان المتقدمة ▶ وضع التشغيل دون الحرج [2] ▶ أقل تكلفة من وضع تشغيل الانتقال الحرج ▶ مناسبة في درجات الحرارة المحيطة المرتفعة	▶ مادة تعمل تحت ضغط عالٍ وتتطلب مكونات وأنابيب ذات ثبات مرتفع. وبالتالي فإن الاستثمارات الأولية في تلك المادة تفوق تلك المخصصة للمعدات الأخرى. ▶ غاز خانق: يتطلب اتخاذ تدابير أمنية محددة ▶ الانتقال الحرج: ▶ تختل الكفاءة عند إجراء عمليات الانتقال الحرج في البلدان ذات درجات الحرارة المحيطة المرتفعة ▶ صعوبة تطبيق الحلول الفنية من حيث التركيب والتشغيل، لا سيما بسبب الضغط العالي (يتطلب التركيب والصيانة والخدمة موظفين متخصصين) ▶ دون الحرج ▶ الحاجة لتطبيق متطلبات السلامة وتوفير موظفي خدمات مدربين عند استخدام المبردات القابلة للاشتعال في النظام التعاقبي [3]
المركبات الهيدروكربونية مثل R1270، و R290، و R600a	▶ مستخدمة على نطاق واسع في التبريد المنزلي لعقود طويلة ▶ تم وضع معظم معايير تصميم المنتجات بالفعل ▶ التقنيات المستخدمة بسيطة نسبيًا وفعالة من حيث التكلفة ▶ عادة ما تتمتع بكفاءة الطاقة أعلى من مواد التبريد التقليدية	▶ تقع ضمن تصنيف قابلية الاشتعال A3 [4] ▶ تتطلب اتخاذ تدابير أمان محددة. فعلى سبيل المثال، لا ينبغي تدوير مادة التبريد داخل المباني عند تطبيق حلول R290 (البروبان). ومع ذلك، يُسمح باستخدام شحنات أصغر في الأنظمة المستقلة ومكيفات الهواء المنفصلة السكنية على سبيل المثال ▶ يجب تدريب موظفي الخدمة على التعامل مع مواد التبريد القابلة للاشتعال إذا لم يكونوا مدربين بالفعل ▶ فرض قيود حمولة قصوى بسبب معايير السلامة [5]

مواد التبريد	الإيجابيات	التحديات
R717 (الأمونيا)	كفاءة طاقة عالية	▶ تقع ضمن تصنيف السمية ب: تتطلب اتخاذ تدابير أمان محددة. فعلى سبيل المثال، يجب وضع المعدات في غرفة الآلات ومنع دخول أي فرد سوى الموظفين الفنيين ▶ يجب أن يحمل موظفو التركيب والصيانة والخدمات شهادات تدريب خاصة
R718 [6] (الماء)	▶ غير قابل للاشتعال ▶ غير سام ▶ عادة ما تتمتع بكفاءة الطاقة أعلى من مواد التبريد التقليدية ▶ تساعد في تجنب أي مشاكل سلامة	▶ توافر عدد قليل من وحدات التبريد التي تستعمله حتى الآن ▶ تتطب تلك الوحدات مساحة أكبر مقارنة بالوحدات التقليدية ▶ ارتفاع محدود في درجات حرارة الوحدة المتاحة

1) يختلف ثاني أكسيد الكربون عن مواد التبريد الأخرى، فيدخل في "الوضع الحرج" عند كونه بين بخار وسائل. ويحدث هذا في نطاق درجة الحرارة تصل إلى 32 درجة مئوية تقريبًا مما يقع من نفس نطاق درجة الحرارة المحيطة الشائعة في البلدان الدافئة. وهناك حلان، أما أن يتم تشغيل الوحدة بأنظمة تستخدم ثاني أكسيد الكربون في عمليات الانتقال الحرج، مما يتطلب زيادة ضغط النظام بشدة والذي يحتاج بدوره إلى مكونات باهظة الثمن وتشغيل متقدم، أو أن يتم التشغيل باستخدام أنظمة فرعية دون حرجة تعمل على الاحتفاظ بدرجة حرارة مكثف نظام ثاني أكسيد الكربون بدرجة تقل عن درجة الحرارة الحرجة من خلال نظام ثانوي (في هذه الحالة، وحدة تبريد تعمل بمادة R290).

2) تشمل الأنظمة التعاقبية على مبادل (مبادلات) حرارة ويؤدي كل مبادل إلى انخفاض كفاءة الطاقة.

3) يمكن أيضًا استخدام مواد التبريد الطبيعية غير قابلة للاشتعال (R718) أو قابلة للاشتعال بشكل معتدل (R717) خلال مرحلة ارتفاع حرارة النظام التعاقبي

4) يميز معيار الجمعية الأمريكية لمهندسي التبريد والتدفئة وتكييف الهواء (ASHRAE) رقم 34 بين الآتي: (A1) مادة لا تنشر اللهب، و(A2L) مادة ذات قابلية اشتعال منخفضة مع سرعة احتراق قصوى تقل عن 10 سم / ثانية، و(A2) مادة ذات قابلية اشتعال منخفضة، و(A3) مادة ذات قابلية اشتعال عالية.

5) يتم حاليًا تحديث العديد من المعايير ذات صلة، وعلى وجه التحديد المعيار IEC 60335-2-40: وتمت الوافقة على المعيار المنقح في أبريل 2022: فأصبح الآن من الممكن استخدام شحنات أعلى بكثير من مواد التبريد القابلة للاشتعال في مكيفات الهواء السكنية ومضخات الحرارة ومزيلات الرطوبة بحيث يمكن لأنواع المعدات الأكبر حجمًا أن تعمل على المركبات الهيدروكربونية.

6) تقنيات في مرحلة مبكرة من التطوير: لا يتوافر تجاريًا سوى عدد قليل من المنتجات في الوقت الحالية<

2-3-2 حلول تكييف الهواء المستدام

2-3-2-1 *نظرة عامة*

يقدم الجدول التالي نظرة عامة على الخصائص الرئيسية لأنظمة تكييف الهواء التي تستخدم مواد التبريد الطبيعية:

***الجدول 4** نظرة عامة على أهم خصائص أنظمة تكييف الهواء البديلة الأكثر ملاءمة التي تستعمل مواد تبريد طبيعية*[5]

تقنيات تكييف الهواء	نطاق القدرة	مادة التبريد	معدل كفاءة الطاقة [1]	التطبيقات	الإيجابيات	التحديات
وحدات التبريد بالضغط (من الهواء إلى ماء)	60-400 كيلو واط	R744	2[2]	عملية الانتقال الحرج أو دون الحرجة		▶ ترتفع تكلفة الاستثمار مقارنة بالتقنيات الأخرى التي تستخدم مواد تبريد طبيعية ▶ كفاءتها منخفضة
	50-650 كيلو واط	R290	2.7-3.8		▶ تم وضع معايير تصميم المنتج بالفعل ▶ التقنيات المستخدمة بسيطة نسبيًا وفعالة من حيث التكلفة ▶ عادة ما تتمتع بكفاءة طاقة أعلى من مواد التبريد التقليدية	▶ تقع ضمن تصنيف قابلية الاشتعال A3 ▶ تطلب تصاميم محددة لمنع انتشار مواد التبريد في مباني مناطق الاستخدام
	100-1700 كيلو واط	R717	2.7-5.4		▶ عادة ما تتمتع بكفاءة طاقة أعلى من البدائل المذكورة أعلاه	▶ السمية: يتم اتخاذ تدابير أمان إضافية، حيث يجب عدم تدوير مواد التبريد داخل المبنى ▶ يتطلب التركيب والصيانة والخدمة موظفين متخصصين
	35-120 كيلو واط	R718	3.1-10[3]	تربو يعمل على مرحلة واحدة أو مزدوجة[4]	▶ لا توجد مشاكل متعلقة بالسلامة ▶ لا تتطلب دراية فنية بمواد التبريد	▶ ترتفع تكلفة الاستثمار فيها مقارنة بالتقنيات التقليدية ▶ نطاق /ارتفاع محدود لدرجات الحرارة

[5] ما لم يذكر خلاف ذلك، تستند المعلومات إلى تقديرات وحسابات الخبراء المشاركين في المشروع.

تقنيات تكييف الهواء	نطاق القدرة	مادة التبريد	معدل كفاءة الطاقة 1	التعليقات	الإيجابيات	التحديات
وحدات التبريد بالضغط (من ماء إلى ماء)	غير متاح	R290	غير متاح		▶ تم وضع معايير تصميم المنتج بالفعل ▶ التقنيات المستخدمة بسيطة نسبيًا وفعالة من حيث التكلفة ▶ عادة ما تتمتع بكفاءة الطاقة أعلى من مواد التبريد التقليدية	▶ تقع ضمن تصنيف قابلية الاشتعال A3 ▶ تطلب تصاميم محددة لمنع تدوير مواد التبريد في مباني مناطق الاستخدام
	100-3500 كيلو واط	R717	3.5-5.5		▶ تتمتع بكفاءة الطاقة أعلى من بالبدائل المذكورة أعلاه	▶ السمومية: يتم اتخاذ تدابير أمان إضافية لمنع تدوير مواد التبريد داخل المبنى ▶ يتطلب التركيب والصيانة والخدمة موظفين متخصصين
	35-350 كيلو واط	R718	5.1[5]		▶ لا توجد مشاكل متعلقة بالسلامة ▶ لا تتطلب دراية فنية بمواد التبريد	▶ ترتفع تكلفة الاستثمار فيها مقارنة بالتقنيات التقليدية ▶ نطاق /ارتفاع محدود لدرجات الحرارة
وحدات الأسطح	غير متاح	R290	غير متاح	مجرد مشروع تجريبي حاليًا [6]	▶ تشير الدلالات أنها تتسم بكفاءة طاقة أعلى من بالبدائل التقليدية ▶ يمكن تشغيل الوحدات في درجات حرارة محيطة أعلى من البدائل التقليدية ▶	▶ مستويات تكلفة غير معروفة ▶ تقع ضمن تصنيف قابلية الاشتعال A3(=> تتطلب تدابير ▶ سلامة إضافية للحد من مخاطر تسرب مادة التبريد واختالطها بالهواء المضخوخ.)
وحدات التبريد القائمة على امتصاص الماء / المحلول الملحي	>50 كيلو واط	R717	0.6[7]	ثنائي عامل – امتصاص: ماء/ R717	▶ يمكن أن تكون جزءًا من نظام فعال ثنائي أو ثلاثي التوليد (كهرباء + تبريد (+ تدفئة)) ▶ الإرتفاعات في درجات الحرارة ممكن مقابل الامتصاص القائم على R718 وإعادة التبريد الجاف ▶ تعد خيار جيد لاستخدام مصادر الحرارة (المتجددة / المهدرة)	▶ يزيد الطلب على إعادة تبريد بما يفوق الضغط
	15 - 4.000 كيلو واط غير متاح	R718	0.75	ثنائي عامل – امتصاص: R718 / بروميد الليثيوم	▶ يمكن أن تكون جزءًا من نظام فعال ثنائي أو ثلاثي التوليد (كهرباء + تبريد (+ تدفئة)) ▶ تعد خيارًا جيدًا لاستخدام مصادر الحرارة (المتجددة / المهدرة) ▶ لا توجد مشاكل متعلقة بالسلامة	▶ ارتفاع محدود في درجات الحرارة (إعادة التبريد بالتبخير أو ارتفاع درجة المياه المبردة
	8-100 كيلو واط غير متاح	R718	0.6	ثنائيات عاملة – امتصاص R718 / هلام السيليكا R718 / الزيوليت	▶ يمكن أن تكون جزءًا من نظام فعال ثنائي أو ثلاثي التوليد (كهرباء + تبريد (+ تدفئة)) ▶ تعد خيارًا جيدًا لاستخدام مصادر الحرارة (المتجددة / المهدرة) ▶ لا توجد مشاكل متعلقة بالسلامة	▶ ارتفاع محدود في درجات الحرارة (إعادة التبريد بالتبخير أو ارتفاع درجة المياه المبردة ▶ تشمل عملية التدوير
أنظمة التدفق المتغير / أنظمة متعددة الوحدات المنفصلة	غير متاح	R744	غير متاح			▶ ترتفع تكلفة الاستثمار فيها ▶ كفاءتها منخفضة
	غير متاح	R744	غير متاح			▶ غير فعال من حيث التكلفة عند استعمالها في أنظمة الصغيرة

تقنيات تكييف الهواء	نطاق القدرة	مادة التبريد	معدل كفاءة الطاقة 1	التعليقات	الإيجابيات	التحديات
وحدات منفصلة فردية	حتى 5 كيلو واط	R290	غير متاح[9]		▶ تقنيات مشهورة مستخدمة بالفعل في بعض المناطق ▶ تم تصميم المنتج ومعايير السلامة بالفعل [10] ▶ تتسم بكفاءة الطاقة ▶ من المتوقع أن تقل التكلفة عندما تشيع تلك التقنيات	▶ يجب مراعاة متطلبات السلامة المحددة عند التركيب والصيانة
تبريد مباشر من الأرض أو مياه البحر	50-1000 كيلو واط	-	>20 (طاقة المضخة)		▶ يطبق فقط عندما تقل درجات حرارة الماء عن 14 درجة مئوية (مناخ معتدل، لا يتوفق مع المناخات الأكثر دفئًا)	

1) معدل كفاءة الطاقة عند التصميم وفقًا لمعيار EN 14511 (وحدات التبريد: 12/7/35، أجهزة أخري: 27/35).
2) القيمة الواردة تشير فقط إلى كفاءة التبريد، وهناك مزايا أخرى يمكن تحقيقها عند استخدام طلب الماء الساخن.
3) لا يوجد مقياس للكفاءة في الشروط العيارية، فتم التصميم بشكل أساسي ليكون مقياسًا للكفاءة في درجات حرارة الماء شديدة الانخفاض.
4) لا يمكن وصف وحدات التبريد المتوفرة حاليًا بوضوح على أنها "تحول الهواء إلى ماء" ولكن يمكن توضيح أنها تستخدم مواد تبريد جافة يتم تسليمها في هيئة حزمة
5) تم التحديد وفقًا لشروط التصميم 30/35 – 12/7 :EN 14511 لوحدة تبريد بقدرة 350 كيلو واط
6) راجع: Yoshimoto 2020
7) الكفاءة الحرارية: طاقة التبريد / Driving heat
8) تقنيات في مرحلة مبكرة من التطوير: لا يتوافر تجاريًا سوى عدد قليل من المنتجات في الوقت الحالي. ولا توجد حلول لمواد التبريد القابلة للاشتعال أو السامة بحيث تواكب أحمال مواد التبريد الداخلية العالية
9) يتمتع منتج واحد على الأقل بنسبة كفاءة الطاقة الموسمية (الاتحاد الأوروبي)> 7
10) بالموافقة على المعيار IEC 60335-2-40 المنقح في أبريل 2022، أصبح من الممكن الآن تحميل شحنات أعلى بكثير من مواد التبريد القابلة للاشتعال في مكيفات الهواء السكنية ومضخات الحرارة ومزيلات الرطوبة مما يسمح باستخدام المركبات الهيدروكربونية لتشغيل المعدات الأكبر حجمً

يمكن الحصول على لمحات عامة ممتازة حول تقنيات تكييف الهواء المستدامة المستخدمة من قواعد بيانات المنتج الخاصة بإدارة معلومات الطاقة (EIA) / (Greenpeace)

المصادر:

- تكييف الهواء المنزلي:
  https://cooltechnologies.org/sector/domestic-air-conditioning/
- تكييف الهواء التجاري / الصناعي:
  https://cooltechnologies.org/sector/commercial-industrial-air-conditioning/
- علاوة على ذلك، توفر قاعدة البيانات https://hydrocarbons21.com/ معلومات خاصة حول تقنيات الهيدروكربون

2-2-3-2 العوائق الرئيسية أمام تطبيق حلول التكييف المستدام

تم تحديد العوائق التالية التي تعرقل تطبيق الحلول المستدامة المطروحة :

- المقاومة من جهة رواد السوق الذين لديهم إما مصلحة اقتصادية في الترويج لمواد التبريد الاصطناعية أو المترددون لأن الطلب على تكييف الهواء المستدام منخفض نسبيًا في الوقت الحالي.[6]
- نقص الخبرة في التعامل مع منتجات التكييف المستدامة، خاصةً عمال التركيب الذين يلعبون دورًا رئيسيًا في زيادة استيعاب السوق لحلول مواد التبريد الطبيعية.
- نقص المعرفة والمهارات اللازمة لا سيما في التعامل مع مواد التبريد القابلة للاشتعال (للتركيب والصيانة والإصلاح والتشغيل).
- التكاليف الاستثمارية المرتفعة نسبيًا بسبب القدرات الإنتاجية الضعيفة والمنافسة السوقية المنخفضة ونقص الخبرة.

وتجدر الإشارة إلى أنه تم تعديل معايير السلامة الدولية التي كانت تحد سابقًا حجم استخدام شحنات المبردات القابلة للاشتعال وبالتالي كانت تعوق استيعاب السوق لمواد التبريد الطبيعية. وتم نشر النسخة المحدثة من IEC 60335-2-40 في صيف 2022 التي من المتوقع أن تزيل الحواجز السابقة لاستخدام المركبات الهيدروكربونية في تكييف الهواء والمضخات الحرارية السكنية.

[6] على سبيل المثال، اطلع على Hasse, "Statement of Volkmar Hasse Cooling (Cooling expert and former head of GIZ Proklima) on day 3 of the "Green Cooling Summit

3-2-3-2 *تدابير خفض الطلب على التكييف*

يعد خفض الطلب على الطاقة أحد العناصر الأساسية لتحقيق التبريد المستدام. وهناك العديد من الخيارات لتقليل الطلب على أجهزة التكييف. ,توفر القائمة التالية لمحة عامة عن التدابير الأكثر أهمية:

- التظليل الشمسي الفعال (عادة ما يكون الأكثر فعالية هو: أجهزة التظليل الخارجي المتحركة التي يتم التحكم بها أوتوماتيكيًا)
- البنية المحكمة
- التهوية على حسب الطلب، بما في ذلك التهوية الليلية لتبريد الحرارة (التبريد السلبي) و / أو الموفرات
- أجهزة الاستشعار على النوافذ والأبواب (لإيقاف مكيف الهواء عند فتح باب أو نافذة)
- غلاف المباني ذا نقل حرارة منخفض (عازل وزجاج مزدوج على الأقل) أو على الأقل استخدام ألوان زاهية للسقف والواجهة لتقليل تغلغل حرارة الشمس (استخدم المواد ذات مؤشر الانعكاس الشمسي العالي (SRI))
- الكتل الحرارية العالية (تسمح بتقليل الحمل الأقصى وزيادة كفاءة التبريد السلبي)
- تقليل الحمل الداخلي (الأجهزة والإضاءة الفعالة)
- أنظمة المراقبة والتحكم المناسبة (للتكييف حسب الطلب) (توفير التكييف في المناطق التي تحتاج له وفي المباني الكبيرة فقط مع ضبط تلك الأنظمة على أعلى درجة حرارة مقبولة: تطبيق نظام أتمتة مركزي للمباني)
- أنظمة التوزيع الفعالة (استخدام الماء أكثر فعالية من الهواء، كما ينبغي تركيب أنظمة الأنابيب ومجاري الهواء المعزولة بشكل جيد)
- الأنظمة الفعالة لتوزيع التبريد على مختلف الغرف (تحتاج الأنظمة السلبية مثل الأسقف المبردة أو الحزم المبردة إلى طاقة أقل من الطاقة المستخدمة في وحدات ملف المروحة أو أثناء تكييف الهواء من خلال التهوية المركزية)
- في حالة وحدات التبريد المركزية: من المهم ارتفاع درجات حرارة النظام (دورة الماء البارد) وانخفاض درجة حرارة مياه التبريد (على سبيل المثال من خلال استخدام الطاقة الحرارية الأرضية أو مياه البحر)
- الصيانة السليمة
- ضمان التشغيل الأمثل من خلال التشغيل السليم لأنظمة البناء الفنية وإجراء التفتيش بانتظام

2-3-2-4 حلول إمدادات الطاقة المتجددة

يعتبر توفير الطاقة المتجددة شرطًا أساسيًا آخر للتبريد المستدام يمكن تحقيقه إما عن طريق مصادر الطاقة المتجددة في المتاحة في الموقع أو خارجه. ويمكن للخيارات الموضحة أدناه أن تخدم تكييف الهواء والتبريد التجاري ولكن عادة ما تخدم أيضًا مستهلكين آخرين في الموقع.

خيارات متاحة في الموقع:

- الطاقة الشمسية الكهروضوئية
- الطاقة الشمسية الحرارية
- مخزون الطاقة لتغير الحمل (طاقة حرارية أو مولدة من بطاريات)

خيارات متاحة خارج الموقع:

- الكهرباء المتجددة المولدة من:
  - الطاقة الشمسية الكهروضوئية من المزارع الكهروضوئية
  - محطات الطاقة الحرارية الشمسية المركزة
  - طاقة الرياح
- أنظمة تبريد المناطق المتجددة بنسبة 100٪

2-3-3 حلول التبريد التجاري المستدام

2-3-3-1 نظرة عامة على مواد التبريد

يقدم الجدول التالي نظرة عامة على الخصائص الرئيسية لأنظمة التبريد أهمية صلة التي تستخدم مواد تبريد طبيعية:

***الجدول 5** نظرة عامة على الخصائص الرئيسية لأنظمة التبريد البديلة الأكثر أهمية التي تستعمل مواد تبريد طبيعية*[7]

النظام التبريد التجاري	مواد التبريد	الكفاءة	ملاحظات	الإيجابيات	التحديات
الأنظمة المباشرة المركزية	R744[1]	غير متاح	عمليات الانتقال الحرج	▶ تقنيات معروفة مستخدمة على نطاق واسع في البلدان المتقدمة	▶ تكاليف الاستثمار الأولي عالية نسبيًا ▶ تقل الكفاءة عند إجراء عمليات الانتقال الحرج في البلدان ذات درجات الحرارة المحيطة المرتفعة ▶ يصعب تطبيق حلول التركيب والخدمة من الناحية الفنية، لا سيما بسبب الضغط العالي (تتطلب موظفين متخصصين للتخطيط والتركيب والصيانة)
			العمليات دون الحرجة	▶ يمكن أن يكون الحل استخدام مواد تبريد طبيعية بنسبة 100٪ في نظام تعاقبي من خلال استخدامها مع R290 أو R717 من أجل تبريد الماء بغرض الحفاظ على ثاني أكسيد الكربون في الحالة دون الحرجة ▶ يمكن أن تستند حلول الفنادق، على سبيل المثال، إلى تقنيات شائعة ▶ لا تشكل خدمة التقنيات تعقيدًا ▶ يمكن استخدامها في البلدان ذات درجات الحرارة المحيطة المرتفعة	▶ تكاليف الاستثمار عالية نسبيًا ▶ يتطلب التركيب والصيانة والخدمة موظفين متخصصين

[7] ما لم يذكر خلاف ذلك، تستند المعلومات إلى تقديرات وحسابات الخبراء المشاركين في المشروع.

النظام التبريد التجاري	مواد التبريد	الكفاءة	ملاحظات	الإيجابيات	التحديات
الأنظمة المركزية غير المباشرة	R744	غير متاح	عمليات دون الحرجة	▶ تكلف أقل من الأنظمة عبر الحرجة ▶ يمكن تطبيق حلول باستخدام وحدات R744 ذات الحلقة الثانوية، كما يمكن استخدام تلك الحلول لتحقيق التبريد والتجميد	▶ يجب اتباع متطلبات السلامة عند استخدام R290 على سبيل المثال في النظام التعاقبي ▶ يتطلب التركيب والصيانة والخدمة موظفين متخصصين
	R290	غير متاح		▶ تم وضع معايير تصميم المنتج بالفعل ▶ التقنيات المستخدمة بسيطة نسبيًا وفعالة من حيث التكلفة ▶ عادة ما تتمتع بكفاءة طاقة أعلى من مواد التبريد التقليدية ▶	▶ تقع ضمن تصنيف قابلية الاشتعال A3
	R717	غير متاح		▶ تم وضع معايير تصميم المنتج بالفعل ▶ التقنيات المستخدمة بسيطة نسبيًا وفعالة من حيث التكلفة ▶ تتمتع بكفاءة طاقة أعلى من مواد التبريد التقليدية	▶ يجب معالجة مشاكل السمية
وحدات التكثيف (من الصغيرة إلى متوسطة الحجم)	R744	درجة حرارة متوسطة: 1.76 – 3.83 درجة حرارة منخفضة: – 0.96 1.92[2]		كفاءة الطاقة جيدة	▶ تكاليف الاستثمار الأولي عالية نسبيًا
	R290	غير متاح		▶ تم وضع معايير تصميم المنتج بالفعل ▶ التقنيات المستخدمة بسيطة نسبيًا وفعالة من حيث التكلفة ▶ تتمتع بكفاءة طاقة أعلى من مواد التبريد التقليدية ▶ المكونات ومواد التبريد متاحة بوفرة	▶ يتطلب التركيب والصيانة والخدمة موظفين متخصصين

النظام التبريد التجاري	مواد التبريد	الكفاءة	ملاحظات	الإيجابيات	التحديات
وحدات قائمة بذاتها (ثلاجات)	R290/R600a	غير متاح	يتم استخدام R600a عادة في الوحدات الصغيرة	▶ تستخدمها شركات تصنيع وحدات العرض المستقلة الكبرى على نطاق واسع ▶ كفاءة طاقة عالية ▶ المكونات ومواد التبريد متاحة بوفرة	▶ يتطلب التركيب والصيانة والخدمة موظفين متخصصين ▶ تتكبد شركات التصنيع الصغيرة تكاليف رأسمالية مرتفعة للإعداد خطوط الإنتاج
	R744	غير متاح		كفاءة الطاقة جيدة	▶ ارتفاع تكاليف المكونات مثل الضواغط ومحدودية توافرها
وحدات قائمة بذاتها (مجمدات)	R290	غير متاح		▶ تستخدمها شركات تصنيع وحدات العرض المستقلة الكبرى على نطاق واسع ▶ تتمتع بكفاءة الطاقة ▶ المكونات متاحة	▶ ترتبط إمكانية تقديم الخدمات بطريقة التعامل مع مواد التبريد القابلة للاشتعال ▶ تتكبد شركات التصنيع الصغيرة تكاليف رأسمالية مرتفعة للإعداد خطوط الإنتاج [3]

1) بسبب سمية R717 وقابلية اشتعال المركبات الهيدروكربونية، فإن R744 هو الخيار الوحيد المتاح حاليًا للأنظمة المباشرة
2) تم تحديد نطاقات الكفاءة (درجة الحرارة المتوسطة ودرجة الحرارة المنخفضة) بناء على عدد محدود جدًا من المنتجات ولا تعتبر شاملة
3) يرجع ذلك في الأساس إلى أنه تم إيقاف العديد من أنظمة الاختبار التي كانت تستعملها عدة شركات منها شركة كوكاكولا وغيرها

يمكن الاضطلاع على نظرة عامة ممتازة حول تقنيات التبريد التجاري المستدام المستخدمة بالفعل في قاعدة بيانات إدارة معلومات الطاقة / منظمة السلام الأخضر (EIA / Greenpeace)

المصدر: https://cooltechnologies.org/sector/commercial-refrigeration/

2-3-3-2 العوائق الرئيسية أمام تنفيذ التبريد التجاري المستدام

تم تحديد العوائق التالية التي تعرقل تنفيذ الحلول المستدامة المطروحة:

- افتقار الخبرة المحلية لتطبيق حلول التبريد التجاري المستدام خاصة حلول الأنظمة المركزية ووحدات التكثيف
- الخوف من استخدام مواد التبريد القابلة للاشتعال
- افتقار المعرفة والمهارات لا سيما في التعامل مع مواد التبريد القابلة للاشتعال (من حيث التركيب والصيانة والتخلص منها)
- ارتفاع تكاليف الاستثمار بشكل نسبي بسبب ضعف القدرات الإنتاجية وانخفاض المنافسة في السوق ونقص الخبرة.

2-3-3-3 تدابير تقليل الطلب على الطاقة لتشغيل أنظمة التبريد التجارية

إلى جانب كفاءة أنظمة الضغط واختيار مادة التبريد الصديقة للبيئة، يعد اتخاذ المزيد من التدابير لضمان انخفاض الطلب على الطاقة عنصرًا أساسيًا لتحقيق التبريد التجاري المستدام. وهناك العديد من الخيارات لتقليل الطلب على الطاقة للتبريد التجاري. وتوفر القائمة التالية لمحة عامة عن التدابير الأكثر أهمية:

- اتخاذ تدابير تقليل فقد الحمل الحراري من خزائن العرض والعدادات المبردة (على سبيل المثال، باستخدام الأبواب الزجاجية والستائر الهوائية وما إلى ذلك)
- خفض نقل الحرارة عن طريق العزل الجيد
- إضاءة الشاشات بفاعلية عن طؤبق استخدام إضاءة ليد (LED) على سبيل المثال
- استخدام أنظمة إدارة الطاقة لتقليل استهلاك الكهرباء في ثلاجات العرض التجارية على سبيل المثال
- إجراء الصيانة الوقائية والعلاجية المناسبة خاصة على الأنظمة المركزية ووحدات التكثيف:
  - أنظمة توزيع جيدة العزل
  - أنظمة مراقبة وتحكم مناسبة
  - ضمان التشغيل الأمثل من خلال التشغيل المناسب لأنظمة البناء التقنية والتفتيش المنتظم

3. أمثلة الممارسات الفضلى الوطنية

يقدم الجدول التالي نظرة عامة على المشاريع التي تشمل جوانب محددة من التبريد المستدام (مواد التبريد الطبيعية / كفاءة الطاقة / الطاقة المتجددة) في المباني أو التبريد التجاري المستدام. وأسفر البحث الثانوي ومساهمات أصحاب المصلحة الوطنيين المختلفين عن هذه القائمة.

تفي مشاريع الممارسات الفضلى المحددة بهدف واحد على الأقل من أهداف برنامج كوول أب المستدامة (المحايدة مناخيًا).

وتشمل تلك الأهداف (من بين أمور أخرى): أنظمة التبريد دون مواد التبريد المفلورة (مثل مواد التبريد الطبيعية وأنظمة التبريد الحراري)، وتدابير تقليل الطلب على التبريد بشكل كبير، والتبريد باستخدام الطاقات المتجددة، ومخزون الثلج (التي قد تتيح تبريدًا محايدًا مناخيًا باستخدام الطاقة الشمسية)، ومكونات تقنيات التبريد الفعالة (التي يمكن استخدامها في الأنظمة ذات مواد التبريد الطبيعية، مثل أنظمة تبريد المناطق).

الجدول 6 *أمثلة الممارسات الفضلى الوطنية*

الرقم	اسم المشروع	الوصف معلومات المشروع/ النتائج الرئيسية	معلومات السنة/ الموقع/ التمويل وكيان التنفيذ	المصدر روابط
1	مشروع إيجيبترا (برنامج اختبار مواد التبريد البديلة ذات القدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي لتستخدم بصناعات تكييف الهواء المصرية)	يركز مشروع إيجيبترا (برنامج اختبار مواد التبريد البديلة ذات القدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي لتستخدم بصناعات تكييف الهواء المصرية) على تعزيز استخدام مواد التبريد ذات القدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي بقطاع تكييف الهواء. حيث هدف البرنامج لاختيار النماذج الأولية لوحدة تكييف الهواء المنفصلة والوحدة المركزية واستخدام مواد التبريد البديلة ومقارنة تلك النماذج بالوحدات الأساسية. وكانت R290 أحدى المواد المستخدمة كبديل لـ R22 في النماذج الأولية لوحدة تكييف الهواء المنفصلة : تضمنت النتائج الرئيسية انخفاضًا كبيرا في القدرة (10-20٪) ولكن لم يكن يحدث اشتقاقات كبيرة (+-4٪) فيما يتعلق بالكفاءة. كما تظهر نتائج الاختبار أن جميع مواد التبريد المستخدمة في المشروع هي بدائل قابلة للتطبيق من ناحية الديناميكا الحرارية. ولكن يجب إجراء الزيد من الدراسات حول الجدوى تلم البدائل من حيث المعايير الأخرى مثل التوافر التجاري والتكلفة والسلامة من بين أمور أخرى.	2019 بدعم من الأمم المتحدة وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي ومنظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية	https://www.ozonactionmeetings.org/system/files/egypra_report_1.pdf
2	قرية بالبحرية	تطبق هذه القرية تصورًا للتبريد السلبي بقاعدة تضم 150 عاملًا في مزرعة شاي في الصحراء. فتشمل مباني ضخمة من الحجر الجيري والألوان الفاتحة وتطبيق مفهوم التهوية الطبيعية الذكي. علاوة على ذلك، تمنع الأرضيات المرتفعة في تلك المباني ارتفاع الحرارة من الأرض وتقلل درجة الحرارة الداخلية بما يصل إلى 10 درجة مئوية.	2020 تصور: شركة ECOnsult	https://www.intelligentliving.co/econsult-sustainable-natural-cooling-village-egypt/
3	مشروع تبريد المناطق بالقرية الذكية	يبلغ إجمالي قدرة محطة التبريد الخاصة بالمشروع 24000 طن تبريد / ساعة، ويتم إنجازه المشروع على 4 مراحل في مايو 2004، تم منح شركة جاس كول (GASCOOL) عقد أول مشروع تبريد / تدفئة في مصر في القرية الذكية ساري لمدة 50 عامًا.	2004	https://www.gascool-eg.com/index.php/en/projects-en/dcps/45-project1-en

الرقم	اسم المشروع	الوصف معلومات المشروع/ النتائج الرئيسية	معلومات السنة/ الموقع/ التمويل وكيان التنفيذ	المصدر روابط
4	حرم الجامعة الأمريكية بالقاهرة الجديدة	▶ يتم توفير الماء الساخن باستخدام الغاز العادم الصادر من مجموعة من مولدات الغاز بقدرة 3 = 1600 كيلو واط تعمل جنبًا إلى جنب مع غلايات استرداد الحرارة. ▶ يتم تلبية المتطلبات الكهربائية لحرم الجامعة باستخدام مجموعة من المولدات التي تعمل بالغاز ويتم استيراد الحمولة في أوقات الذروة من الشبكة الوطنية ▶ تتكون المحطة من وحدات تبريد بالامتصاص تعمل بالغاز ذات قدرة 4 × 1200 طن تبريد+ 1 × 700 من شركة إبارا (Ebara) ▶ غلايتان للمياه الساخنة تصل قدرة كل منهما إلى 600 كيلو واط وثلاث مجموعات من مولدات تصنف قدرة كل منهما عند 2000 كيلو فولت أمبير ▶ توفر المحطة كلا من الماء المبرد الساخن لنظام الأنابيب	شركة جاس كول، بدأ التشغيل في عام 2007 لمدة 20 عامًا بنظام البناء والامتلاك والتشغيل	https://www.gascool-eg.com/index.php/en/projects-en/dcps/44-western-deser-en
5	مجمع غاز الصحراء الغربية (المصرية للغازات الطبيعية)	الاستبدال الكامل للنظام القديم الذي يتكون من 75 مبرد تصل قدرة تبريد كل منها إلى خمسة أطنان بمحطة مركزية تزود جميع المباني بالمياه المبردة ذات قدرة تبريد إجمالية تبلغ 400 طن تبريد (القدرة الاسمية) عن طريق استخدام وحدات تبريد بالامتصاص المباشر	شركة جاس كول	https://www.gascool-eg.com/index.php/en/projects-en/green-energy/83-mep1
6	نادي القطامية الرياضي (بتروسبورت)	يتكون المشروع من محطة مركزية بقدرة تبريد إجمالية تبلغ 600 طن تبريد لتزويد مبنى الإدارة وناديين اجتماعيين بالماء البارد / الساخن لتشغيل نظام تكييف الهواء عن طريق استخدام نظام تبريد/تدفئة المنطقة. تضم المحطة نظام تدفئة لحمامات السباحة كما تضم وحدات التبريد بالامتصاص المباشر من شركة إبارا لتوليد حمولات التبريد	شركة جاس كول (تم توقيع العقد في 2006)	https://www.gascool-eg.com/index.php/en/projects-en/green-energy/106-mep1-2
7	مشاريع تبريد المناطق المختلفة تضطلع بها مجموعة شاكر الاستشارية	▶ منطقة الأعمال المركزية بالعاصمة الجديدة: 55,000 طن تبريد ▶ محطات تبريد بمجمع كيان: 60.000 طن تبريد ▶ كايرو فستيفال سيتي: 25000 طن تبريد ▶ مول مصر : 15000 طن تبريد ▶ سيتي سنتر ألماظة: 9500 طن تبريد ▶ مجمع سيتي ستارز، القاهرة: 16000 طن تبريد	مجموعة شاكر الاستشارية	https://www.shakergroup.com/district-cooling/

الرقم	اسم المشروع	الوصف معلومات المشروع/ النتائج الرئيسية	معلومات السنة/ الموقع/ التمويل وكيان التنفيذ	المصدر روابط
8	مشاريع تبريد المناطق المختلفة تضطلع بها شركة جاز تشل	▶ محطة تبريد كايرو فستيفال سيتي القائمة على التيار المباشر: مرحلتان بسعة إجمالية 30,000 طن تبريد ▶ محطة تبريد أمريكانا بلازا القائمة على التيار المباشر: وحدات التبريد بالامتصاص من شركة كاواساكي بقدرة تبريد تبلغ 4200 طن تبريد (قابلة للتوسيع إلى 6000 طن تبريد) ▶ محطة تبريد جامعة مصر للعلوم والتكنولوجيا: محطة ذات قدرة تبريد إجمالية تبلغ 5000 طن تبريد حيث يتم استخدام وحدات التبريد بالامتصاص من شركة كاواساكي ▶ أركان مول (الشيخ زايد): تصل قدرة التبريد 1700 طن تبريد حيث يتم استخدام وحدات التبريد بالامتصاص من شركة كاواساكي بمكاتب أركان والمباني التجارية ومنشئات التوريد أيضًا ▶ مشروع تبريد مجمع أركان من خلال استخدام وحدات تبريد ذات قدرة تبلغ 4200 طن تبريد لتلبية احتياجات التوسيعات الجديدة بالمجمع التي تشمل فندقًا وشقق فندقية ومكاتب ومسرح ومنطقة تجارية	شركة جاز تشل	http://www.gaschill.net/
9	المبنى الغربي للشركة الشرقية إيسترن كومباني	تم التعاقد مع شركة جاز تشل لبناء محطة بقدرة تبلغ 1000 طن تبريد (مصنع مجهز بوحدات تبريد) و 3000 طن تبريد (منطقة الحركة الجوية) تستخدم وحدات التبريد بالامتصاص من شركة كاواساكي	شركة جاز تشل	http://www.gaschill.net/
10	محطة تبريد منتجع الجلالة القائمة على التيار المباشر	▶ تبلغ مساحة المشروع المبنية حوالي 3500 متر مكعب ▶ تبلغ قدرة التبريد الإجمالية للمحطة التي تعمل باستخدام المياه المبردة 16866 كيلو واط (4800 طن) ▶ تحتوي المحطة على أربعة وحدات تبريد متوازية تعمل بالطرد المركزي ووحدة تبريد بالماء بالإضافة إلى عملها بمركب HFC-134a . وتستخدم وحدات التبريد دورة ضغط البخار وتبلغ قدرة كل منها 2 × 5622 كيلو واط (2 × 1600 طن تبريد) عند التشغيل بسرعة ثابتة، و2 × 2،811 كيلو واط (2 × 800 طن تبريد) عند التشغيل بسرعة متغيرة.	ينفيذ المشروع مجموعة مكونة مكون من مجموعة الاستشاريين الهندسيين (ECG) وشركة مصر للتنمية الهندسية (MEDCOM) وشركة ECM Energy Service.	https://www.ecgsa.com/project/al-galala-resort-district-cooling-plant/

باختصار، فإن معظم الأمثلة المذكورة أعلاه هي حلول تبريد المناطق تعمل بالغاز، وتم ذكرها لأن هناك حلول لا تشمل مواد تبريد مفلورة. وعلى الرغم من هذا الجزء الإيجابي، فإن التشغيل بالغاز الأحفوري لا يتوافق مع المعايير المحددة لحلول التبريد المستدام المدرجة في برنامج كوول أب.

تقتصر مواد التبريد الطبيعية في مصر على:

- الأمونيا (R717) في محطات التبريد الكبيرة جدًا
- استخدام المياه (R718) في وحدات التبريد القائمة على بروميد الليثيوم / امتصاص الماء التي تعمل بالغاز

وفيما يتعلق بإمدادات الطاقة المتجددة، يمكن أن:

- تقوم بعض الشركات بشراء الألواح الكهروضوئية لتقليل فواتير الكهرباء الخاصة بها، ولكن يبدو حتى الآن أنه لا يوجد شركة تشغلها الطاقة المتجددة بشكل كامل.
- الطاقات المتجددة في مصر هي في الغالب مركزية، ويتم توليد الكهرباء لخدمة الشبكة
- تقتصر التقنيات التي تعمل بالطاقة الحرارية مثل وحدات التبريد بالامتصاص أو الامتزاز على الطاقة المتجددة في الغالب على المشاريع البحثية[8] ولكن ليس لها أي استخدام تجاري حتى الآن

[8] غير مدرج في قائمة المعلومات المفقودة

4. اقتراحات بشأن تنفيذ التبريد المستدام

يقدم هذا الفصل توصيات حول أنسب خيارات حلول التبريد المستدام في مصر. وتم أخذ الفصول السابقة في الاعتبار عند تجميع هذه التوصيات.

تم وضع قائمة طويلة من الحلول التقنية التي ثبت أنها مناسبة وناضجة في العديد من البلدان المتقدمة / النامية، وتنطوي اللائحة على كلا المجالين الرئيسيين؛ تكييف الهواء والتبريد التجاري. كما تم إجراء تقييم منهجي للحلول المدرجة مما أسفر عن توصيات لحلول التبريد المستدام في مصر.

يجب أن تواجه الحلول الموصى بها أدنى معوقات التنفيذ وأن تتمتع في الوقت نفسه بإمكانية عالية للحد من مكافئ ثاني أكسيد الكربون دون خلق تأثيرات غير قابلة لإصلاح على هدف تحقيق الحياد المناخي طويل المدى.

وتتوافق حلول التبريد المستدام المقترحة مع أهداف برنامج كوول أب التي تنص على عدم استخدام مواد التبريد المضرة بالبيئة مثل الغازات المفلورة وخفض الطلب على الطاقة من خلال تحقيق كفاءة عالية والتوافق مع إمدادات الطاقة المتجددة بالكامل.

وعلى هذا النحو، سيتم إزالة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المباشرة الناجمة عن استخدام مواد التبريد تقريبًا.

4-1 القائمة الطويلة

4-1-1 حلول تكييف الهواء

يجب أن يكون الموقع المستهدف لتطبيق الحل مبنى نموذجي رائد في مجال كفاءة الطاقة وليس فقط في أنظمة التبريد. من الناحية المثالية، يجب تزويد المبنى بالطاقة المتجددة (على سبيل المثال، الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الموقع).

وحدة تبريد مركزية تعمل بالمركبات الهيدروكربونية

لا ينبغي تدوير مواد التبريد الهيدروكربونية داخل المباني نظرًا لقابلية اشتعالها. لذلك، يُقترح إنشاء وحدة تبريد ماء المبنى مثبتة على السطح أو بعيد عن المنطقة ليولد مزيجًا من الماء المبرد / الغليكول ومن ثم ينشره في المبنى ووحدات مناولة الهواء (AHU) بجميع أنحائه وبذلك يتم استخدام السائل المبرد لنشر الهواء البارد.

يجب أن يكون الموقع المستهدف لتطبيق الحل نموذجًا يحتذى به في مجال كفاءة الطاقة وليس فقط في مجال أنظمة التبريد. ومن المتوقع تحقيق وفورات طفيفة في استهلاك الطاقة بفضل التقنيات الحديثة واستخدام R290 كمادة تبريد.

وحدة تبريد مركزية تعمل بالأمونيا

نظرًا لسمية الأمونيا (R717)، لا ينبغي نشر مادة التبريد داخل المبنى. لذلك، من الحلول المقترحة إنشاء وحدة تبريد ماء خارجية مثبتة ليولد مزيجًا من الماء المبرد / الغليكول ومن ثم ينشره في المبنى ووحدات مناولة الهواء (AHU) بجميع أنحائه وبذلك يتم استخدام السائل المبرد لنشر الهواء البارد.

ومن المتوقع تحقيق وفورات طفيفة في استهلاك الطاقة بفضل التقنيات الحديثة واستخدام R717 كمبرد.

ولأنه من المتوقع تركيب وحدات تبريد في المباني القائمة، يجب أن تكون المباني مُجهزة بأنظمة تكييف الهواء المركزية القائمة على التبريد بالماء.

وحدات تكييف هواء منفصلة لامركزية تعمل بمادة R290

تتسبب مكيفات الهواء المنفصلة السكنية في جزء كبير من انبعاثات المركبات الهيدروكلورفلوروكربونية والمركبات الهيدروفلوروكربونية نظرًا لشيوع استخدامها ومن المتوقع أن يزداد استخدامها في هذا القطاع بسبب زيادة عدد السكان وارتفاع مستويات المعيشة وزيادة الحاجة إلى التبريد السهل. والحل المقترح هنا أن تحل مادة R290 محل المركبات الهيدروفلوروكربونية كمادة التبريد المستخدمة في الوحدات المنفصلة. ولكن قد يكون قبول السوق لهذا التغيير محدودًا كما أنه سيتطلب تطوير قطاع الخدمات حيث سيحتاج الموظفون إلى التدريب على التعامل مع مواد التبريد القابلة للاشتعال. ومع ذلك، فإن هناك حاجة بالفعل للتدريب على التعامل مع مواد تبريد أخرى قابلة للاشتعال مثل المركبات الهيدروفلوروكربونية R32 .

وحدة تبريد مركزية R718

التطبيق المفضل هنا هو مراكز البيانات لأن درجات حرارة الماء المبرد التي تزيد عن 20 درجة مئوية (>20 درجة مئوية) تفي بمتطلبات التبريد في كثير من الأحيان كما يمكن تعميم مبردات R718 الموجودة بشكل كامل. وبالإضافة إلى ذلك، قد يتبع المشغلين نهج الاستدامة. فمن المتوقع أن يكون هناك توفير في استهلاك الطاقة بسبب الكفاءة العالية لغاز التبريد وشدة انخفاض درجة حرارة الماء المبرد.

وحدات تبريد مركزية بالامتصاص

تستخدم وحدات التبريد الامتصاصية الحرارة كمصدر رئيس لطاقة التشغيل. ويتراوح معامل أدائها بين 0.6 و 0.8 اعتمادًا على نوع المبرد. يمكنك الاطلاع أيضًا على الفصل 3-1) الذي يتطرق في موضوعين: درجات مصادر الحرارة، فيوضح الفصل أن درجات الحرارة المرتفعة تؤدي إلى ارتفاع معامل الأداء؛ والحجم، حيث يوضح أن الكفاءة تزيد بزيادة حجم المبرد. كما تطلق المكثفات ضعف الحرارة التي تطلقها وحدات التبريد الكهربائية القائمة على الضغط. لذلك، تعد هذه الأنظمة مفيدة بشكل خاص عندما يمكن إعادة استخدام الحرارة المطرودة في الفنادق أو المستشفيات على سبيل المثال. وعلاوة على ذلك، يتمتع هذا النظام بالمرونة حيث يسمح بتخزين الطاقة الحرارية بكلا نوعيها: الباردة والساخنة. وبالمقارنة

بوحدات التبريد الكهربائية القائمة على الضغط، فإن كفاءة وحدات التبريد بالامتصاص منخفضة ويجب تشغيلها بحرارة متجددة أو مهدرة لتصير مستدامة.

حلول الرصد والمراقبة

يمكن لحلول الرصد والمراقبة من خلال جمع البيانات وحفظ المعايير الأساسية مثل استهلاك الطاقة وأداء التبريد ومعلومات الصيانة والتسرب وما إلى ذلك أن توفر مزيدًا من الإحصاءات و الأفكار حول كفاءة النظام والمساعدة في تحديد إمكانات تعظيم الاستفادة منه. ونظرًا لندرة البيانات الفعلية المجمعة من المنطقة حول كفاءة النظام، تتيح تلك البيانات الموثوقة عملية المقارنة مع البيانات المجمعة من المناطق الأخرى وعبر التقنيات. وعلاوة على ذلك، يجب استخدام هذا الحل لإجراء عمليات التدقيق الخاصة بالطاقة في التركيبات الحالية.

يجب أن يدور الحل المقترح حول وحدة مركزية معنية بجمع البيانات بمدخلات تتفاعل مع مختلف أنواع أجهزة الاستشعار بغرض قياس، على سبيل المثال، درجات الحرارة واستهلاك الطاقة. وينبغي أن تتمتع وحدة التحكم بخاصية التواصل من أجل حفظ البيانات في قاعدة بيانات مركزية مثل تطبيق الحلول السحابية. كما يجب أن يشمل الأداء الوظيفي للبرامج خواص مرجعية لقياس الأداء في مواقع الأجهزة المختلفة.

تدابير التبريد السلبي للحد من استخدام مكيفات الهواء

قد تشمل الحلول أنظمة تهوية أو غيرها من التقنيات لزيادة الراحة في المناطق الدافئة دون اللجوء إلى مكيفات الهواء.

نظرًا لقلة انتشار أنظمة تكييف الهواء خاصة في المباني السكنية، فإن الإجراءات الاحتياطية لتحسين الراحة يمكن أن توفر بديلاً ميسور التكلفة بدلاً من تركيب مكيفات الهواء. ويعد التظليل الشمسي الفعال أحد العناصر الرئيسية لحجب أشعة الشمس وامتصاص حرارتها، كما يساعد دهان أسقف وواجهات المباني بألوان زاهية على التقليل من شدة حرارة الشمس. وبالإضافة إلى ذلك، يجب منع التهوية الخارجية الحارة، وذلك بغلق الثقوب الواضحة في هيكل المبنى وإبقاء النوافذ والأبواب مغلقة عندما يكون الجو حارًا بالخارج.

للتبريد عن طريق التهوية، ينبغي تركيب أجهزة لقياس الحرارة (في الداخل والخارج) وذلك لتحديد أفضل وقت لفتح النوافذ أو الأبواب من أجل تبريد الغرف. كما يمكن تقليل الأحمال الداخلية (على سبيل المثال، من خلال إيقاف التشغيل بدلاً من ضبط الجهاز على وضع السكون، وأخذ كفاءة استهلاك الطاقة في الاعتبارعند شراء معدات جديدة). وأخيرًا، يمكن للمراوح البسيطة زيادة الراحة عن طريق تحريك الهواء مما يقلل من درجة الحرارة المؤثرة (المحسوسة) بما يصل إلى 3 درجات مئوية.

تبريد المناطق دون استخدام المواد الاصطناعية مثل المركبات الهيدروفلوروكربونية

يمكن أن يشكل تبريد المناطق حلاً اقتصاديًا في الأحياء / المجمعات الجديدة. وتتيح المحطات المركزية عادة تحقيق وفورات كبيرة في التكاليف وتحسين الكفاءات وتعزيز صيانة أنظمة التوليد. ومع ذلك، تتطلب تلك الأنظمة استثمارات إضافية عالية لإنشاء الشبكات والتي لا يمكن عادةً جمعها إلا من خلال إبرام عقود طويلة الأجل وتحديد التزامات التوصيل .

ولتحقيق الاستدامة، يجب ألا تستخدم محطات تبريد المناطق مواد تبريد مفلورة، فيجب تشغيلها بمصادر الطاقة المتجددة. أما بالنسبة للأنظمة الكبيرة، عادة ما يكون من الأكثر اقتصادًا تلبية متطلبات السلامة الخاصة التي تنشأ عن استخدام المبرد الطبيعي R717، والأمر نفسه ينطبق على استخدام الطاقات المتجددة. وتعتبر صهاريج التخزين الضرورية أكثر اقتصادًا وفعالية من معدات التبريد اللامركزية الصغيرة.

4-1-2 حلول التبريد التجاري

حل محلات السوبر الماركت (مبدأ عمل ثاني أكسيد الكربون في الحالة دون الحرجة)

يتم استخدام أنظمة الانتقال الحرج لغاز ثاني أكسيد الكربون على نطاق واسع في البلدان المتقدمة وخاصة في جميع أنحاء أوروبا. ومع ذلك، فإن هذه الأنظمة مكلفة بسبب ارتفاع الاستثمارات الأولية كما أنها تتطلب معرفة ومهارات خاصة لصيانتها وخدمتها. ونظرًا لأن محلات السوبرماركت تطلب نوعان محددان من التبريد مثل التبريد بدرجة حرارة متوسطة ودرجة حرارة منخفضة، فإن الحل المقترح هو استخدام وحدة التبريد بالماء / الغليكول القائمة على المركبات الهيدروكربونية من أجل توزيع السائل المبرد في السوبر ماركت لتحقيق التبريد بدرجات الحرارة المتوسطة. وبالنسبة للتبريد بدرجات حرارة منخفضة، يُقترح استخدام وحدات منفردة تعمل بثاني أكسيد الكربون في الوضع دون الحرج. ويتم الاحتفاظ بالمكثفات تحت درجة الحرارة الحرجة باستخدام العائد من السائل المبرد بعد استعماله في الثلاجات الموجودة بالفعل. ويُسمح باستعمال وحدات العرض المستقلة التي تستخدم مواد التبريد الهيدروكربونية، بل ويمكن أيضًا استخدام شحنات أعلى منها بعد تعديل معيار اللجنة الكهروتقنية الدولية رقم 60335-2-89.

يوصى بوضع وحدتين تبريد بمادة R290، سواء كانا موجودتان أو جدد، بشكل متوازي خارج المبنى. ولكن قد يتطلب سوبر ماركت كبير الحجم استخدام عدة وحدات، وفي تلك الحالة يتم وضع وحدات تعمل بثاني أكسيد الكربون في الوضع دون الحرج داخل المبنى.

ومن المتوقع تحقيق وفورات طفيفة في استهلاك الطاقة بفضل التقنيات الحديثة واستخدام R744 / R290 كمواد تبريد، حتى عندما نقارنها مع أحدث الوفورات الناجمة عن استخدام جيل جديد من أنظمة التبريد التقليدية. وتجدر الإشارة إلى أنه يجب استبدال الخزانات ووحدات العرض الحالية في محلات السوبر ماركت القائمة من خلال تطبيق الحل المذكور أعلاه.

حل محلات السوبر الماركت (مبدأ عمل ثاني أكسيد الكربون في حالة الانتقال الحرج)

تستخدم الأنظمة القائمة على ثاني أكسيد الكربون في حالة الانتقال الحرج على نطاق واسع في محلات السوبر ماركت الكبرى في البلدان المتقدمة. فهذه الأنظمة موفرة للطاقة، لكنها لا تزال مكلفة نسبيًا، كما أنه حل معقد تقنيًا من حيث التركيب والصيانة.

مفهوم التصنيع الفعال من حيث التكلفة لتحول مصنعي الثلاجات التجارية الصغيرة

تستخدم معظم الشركات الكبرى المصنعة لوحدات العرض المستقلة حاليًا المركبات الهيدروكربونية (R290 أو R600a) كمواد تبريد. ونظرًا لأهمية اتباع لوائح السلامة، تزيد تكلفة التركيب الفني لمعدات الإنتاج داخل مباني المصنع بقليل عن تكلفة تركيب وحدات التبريد بالمركبات الهيدروفلوروكربونية وفقًا للخبرة المكتسبة من التركيبات الهيدروكربونية الأخرى المستعملة في التبريد المنزلي والتجاري.

وتشمل أقسام التصنيع الأخري الثلاجات والمجمدات التجارية المصممة خصيصًا للمطاعم والحانات على سبيل المثال. وعادة ما تصنع الشركات الصغيرة المنتجات حسب الطلب حيث أنها لا تستطيع تحمل تكاليف الاستثمار الأولي المطلوب على عكس شركات التصنيع الكبرى. ولا تزال الشركات تستخدم مواد التبريد الهيدروفلوروكربونية التقليدية مثل R134a أو R404A.

وتقترح إحدى التوصيات تصميم عملية تصنيع منخفض التكلفة وفقًا لمعايير السلامة الدولية خصيصًا لجهات التصنيع الصغرى.

تطوير قطاع الخدمات السكنية والتجارية القائم على المركبات الهيدروكربونية

يعد توافر البنية التحتية الخدمية ذات الصلة إحدى العوائق الرئيسية أمام إسراع وتيرة نشر تقنيات التبريد وتكييف الهواء التي تستخدم مواد تبريد طبيعية. فتحتاج خدمة المنتجات التي تستعمل مواد التبريد القابلة للاشتعال إلى عمالة مدربة ومعدات مناسبة. وهذا ينطبق بشكل خاص على البلدان التي تحتوي على قطاع خدمات كبير وغير رسمي يجعل تنفيذ متطلبات التدريب على نطاق واسع مهمة معقدة وطويلة الأجل. لذلك، يوصى بتطوير برنامج تدريبي خاص لقطاع الخدمات غير الرسمي.

حلول الرصد والمراقبة

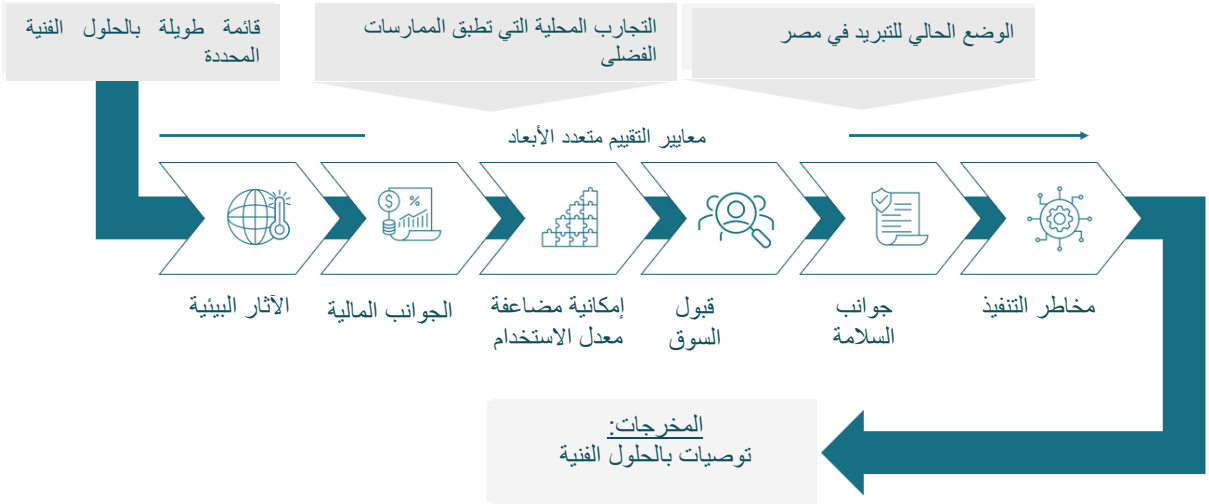
كما هو الحال في قطاع تكييف الهواء، يمكن لحلول الرصد والمراقبة الناجمة عن جمع البيانات وحفظ المعايير الأساسية مثل استهلاك الطاقة وأداء التبريد ومعلومات الصيانة والتسرب وما إلى ذلك أن توفر مزيدًا من الإحصاءات و الأفكار حول كفاءة النظام والمساعدة في تحديد إمكانات تعظيم الإستفادة منه في الصيانة الوقائية وتوفير حوافز لإنشاء أبنية / أقسام تتوافق مع متطلبات استخدام مواد التبريد الطبيعية.

2-4 التقييم متعدد الأبعاد

وفقًا للخصائص المحددة لكل بلد، فإنه يتم تقييم كل حل فني بناءً على ستة معايير رئيسية، تشمل الأثر البيئي، والجوانب المالية، وإمكانية مضاعفة معدل الاستخدام، وقبول السوق، وجوانب السلامة، ومخاطر التنفيذ (الشكل 2).

وأخيرًا، يأخذ هذا القسم نتائج الفصول السابقة في الإعتبار، كما تم إجراء تقييم متعدد الأبعاد لاستنباط حلول التبريد المستدام الموصى بها لمصر والتي من المفترض أن تساعد في مواجهة أدنى معوقات التنفيذ وأن تتمتع في الوقت نفسه بإمكانية عالية للحد من مكافئ ثاني أكسيد الكربون دون خلق تأثيرات غير قابلة للإصلاح على هدف تحقيق الحياد المناخي طويل المدى.

ويتم تقييم الحلول المدرجة في القائمة الطويلة وفقًا للمعايير التالية المذكورة حسب الأولوية (الشكل 2).



الشكل 2: *نظرة عامة على التقييم متعدد الأبعاد*

4-2-1 تكييف الهواء

الجدول 7 التقييم متعدد الأبعاد لتكييف الهواء

النوع	نوع المبنى المطبق عليه الحل	الآثار البيئية	الجوانب المالية	إمكانية مضاعفة معدل الاستخدام	قبول السوق	جوانب السلامة	مخاطر التنفيذ	التوصيات
وحدة تبريد مركزية تعمل بالمركبات الهيدروكربونية	الفنادق أو المباني التجارية الكبيرة	استبدال الأنظمة القائمة على المركبات الهيدروكلورفلوروكربونية والمركبات الهيدروفلوروكربونية ذات القدرة العالية على إحداث الاحترار العالمي بأنظمة جديدة تستهلك طاقة أقل قليلاً من الحلول القائمة على المركبات الهيدروفلوروكربونية	يكلف استبدال الأنظمة الحالية مبالغ باهظة. ولكن نظرًا لعدد المشاريع الجديدة، يبدو الحل فعالًا من حيث التكلفة نظرًا لاستخدام الأنظمة الجديدة مواد تبريد طبيعية	هناك إمكانية لمضاعفة معدل استخدام تلك الأنظمة بشكل كبير خاصة في القاهرة بسبب مشروع 'القاهرة الجديدة'	تعتبر معارضة استخدام مواد التبريد القابلة للاشتعال في الأماكن العامة محدودة حيث أن وحدات التبريد توضع خارج المباني في الهواء الطلق	اتباع معايير دولية راسخة والوفاء بمتطلبات تعيين عمال تركيب معتمدين وشبكة خدمات	يجب احترام القواعد والمعايير المحلية لاستخدام مواد التبريد القابلة للاشتعال	**جاهز للتطبيق**: هناك إمكانية لمضاعفة معدل الاستخدام بسبب حجم البلد والاستثمارات في المنطقة وخاصة في القاهرة
وحدة تبريد مركزية تعمل بالأمونيا (R717)	الفنادق أو المباني التجارية الكبيرة	لا يتم استخدام المركبات الهيدروكلورفلوروكربونية / المركبات الهيدروفلوروكربونية تحقيق كفاءة طاقة عالية	يكلف استبدال الأنظمة الحالية مبالغ باهظة. ولكن التركيبات الجديدة لديها تأثير مالي أقل	ترجع انخفاض إمكانية مضاعفة معدل الاستخدام إلى القبول الملحوظ للتقنيات التي تستخدم مادة NH3 [9]	هناك اعتراض على استخدام مواد التبريد السامة في الأماكن العامة	اتباع معايير دولية راسخة والوفاء بمتطلبات تعيين عمال تركيب معتمدين وشبكة خدمات والشروط التي تنص على وضع تلك الأنظمة في غرفة آلات منفصلة محظورة على العامة	القواعد والمعايير المحلية تحكم استخدام مواد التبريد السامة، ونقص الفنيين المؤهلين وذوي الخبرة	**فرص التطبيق المستقبلية**: تقل الفرص بسبب نقص المعرفة بإنشاءات المباني العامة الحالية وانعدام الأمن المرتبط بعدم قبول السوق

[9] تأتي المقاومة الرئيسية ضد استخدام الأمونيا (NH3) من شركات الإنشاءات المدنية وصناع القرارات المعنية بالتقنيات المستخدمة.

النوع	نوع المبنى المطبق عليه الحل	الآثار البيئية	الجوانب المالية	إمكانية مضاعفة معدل الاستخدام	قبول السوق	جوانب السلامة	مخاطر التنفيذ	التوصيات
وحدات تكييف هواء منفصلة تعمل بالمركبات الهيدروكربونية	المباني السكنية والفنادق والمكاتب	لا يتم استخدام المركبات الهيدروكلوروفلوروكربونية / المركبات الهيدروفلوروكربونية	تعد حاليًا وحدات تكييف الهواء المنفصلة التي تستخدم مادة R290 أكثر تكلفة من المنتجات الهيدروفلوروكربونية. ومع ذلك، فمن المرجح أن ينخفض السعر تزامنًا مع زيادة كميات الإنتاج وقد تصير المركبات الهيدروكربونية أرخص من المركبات الهيدروفلوروكربونية في المستقبل	إمكانيات عالية بسبب الاستخدام على نطاق الواسع	هناك خطر عدم تقبل السوق حيث اختارت الشركات المصنعة المحلية في مصر استخدام مادة R32	اتباع معيار دولي محدث بشأن أحجام الشحنات. والوفاء بمتطلبات تعيين فني تركيب وموظفي خدمة معتمدين.	يعد إعداد موظفي قطاع الخدمات مطلبًا أساسيًا.	**فرص التطبيق المستقبلية**: يتحول قطاع تكييف الهواء بمصر إلى استخدام **R32** حاليًا
وحدة مركزية للتبريد بالماء (R718)	مراكز البيانات	استعمال مواد تبريد طبيعية غير قابلة للاشتعال وغير سامة وتتمتع بكفاءة الطاقة	لا توجد معلومات متاحة	إمكانيات محدودة بسبب ظروف مصر المناخية	لا توجد مخاطر	لا توجد مخاطر على السلامة تتعلق بقابلية الاشتعال أو السمية	ليس هناك أي لوائح من المتوقع اتباعها احتمالية حدوث مشاكل متعلقة بالأداء في البلدان ذات درجات الحرارة المحيطة العالية	**فرص التطبيق المستقبلية**: تمتع الأنظمة بالكفاءة لهو أمر شكوك فيه في البلدان ذات درجات الحرارة المحيطة المرتفعة
وحدة مركزية للتبريد بالامتصاص	الفنادق أو المباني التجارية الكبيرة	تنخفض قدرة إحداث الاحترار العالمي نتيجة للتدفئة الشمسية	لا توجد معلومات متاحة	إمكانية عالية حيث أنه يمكن التغلب على القيود الأخرى	مخاطر ضئيلة	انخفاض المخاطر على السلامة	حل تقني معقد من حيث التركيب والصيانة	**فرص التطبيق المستقبلية:** يبدو أن وحدات التبريد بالطاقة الشمسية الكهروضوئية + الفعالة المزودة بمواد تبريد طبيعية هي الحل الأمثل، ولكن هناك حاجة لإجراء المزيد من الاختبارات
حلول الرصد	المباني التي يطبق بها حلول وحدات التبريد المركزية	تحسين كفاءة الطاقة وتوليد ومعلومات عن التسرب وفشل النظام	استثمار منخفض مقارنة بالفائدة	إمكانية عالية	مخاطر ضئيلة	لا توجد مخاطر على السلامة	تقع مشكلات عملية متعلقة بتركيب المستشعرات وهناك حاجة إلى موظفين مدربين وتكنولوجيا معلومات مستقرة.	**جاهز للتطبيق**
تدابير التبريد السلبي	مكاتب ومتاجر متوسطة إلى كبيرة الحجم	استهلاك طاقة منخفضة	أقل تكلفة من حلول تكييف الهواء	إمكانية عالية	يمكن أن تؤدي قدرة التبريد المحدودة إلى راحة محدودة.	لا توجد مخاطر على السلامة	لا يوجد تعقيدات	**جاهز للتطبيق** حل منخفض التكلفة ذا استهلاك طاقة منخفض

النوع	نوع المبنى المطبق عليه الحل	الآثار البيئية	الجوانب المالية	إمكانية مضاعفة معدل الاستخدام	قبول السوق	جوانب السلامة	مخاطر التنفيذ	التوصيات
التبريد المناطقي المستدام (وحدات فعالة للتبريد بالضغط تستعمل مادة R717، والإمدادات من الكهرباء المتجددة، وتوليد الطاقة الكهروضوئية محليًا، وتكامل التخزين الحراري)	الأحياء الجديدة (مختلف انواع المباني) وتحويل أنظمة تبريد المناطق الحالية	حل ذو تأثير عالي حيث يضمن تبريدًا مستدامًا لمناطق بأكملها ويسمح بحسن التخزين والتكامل المتجدد	إن تبريد المناطق باستخدام مبردات الامتصاص التي تعمل بالغاز مازال / كان جذابًا اقتصاديًا وشائعًا ولكنه ليس مستدامًا ومستقبليًا. فستحتاج تلك الأنظمة إلى التكيف مع إمدادات الطاقة في المستقبل.	يقتصر على المناطق الجديدة وتحول أنظمة تبريد المناطق الحالية.	معدلات قبول التبريد المنطقي عالية	توجد خبرة كافية للتعامل مع المخاطر على السلامة (سمية R717)	هناك حاجة لتوفير مساحة إضافية للأنظمة والمخازن الزائدة عن الحاجة، كما تطرأ مشاكل إدارية عند دمج الأنظمة الكهروضوئية الموزعة على المباني المجهزة (على سبيل المثال، الملاك الآخرون	**التوصيات:** النظر في خيارات دمج وحدات التبريد الكهروضوئية المحلية ووحدات التبريد بالضغط التي تستعمل مادة R717 والتخزين الحراري في أنظمة تبريد المناطق الجديدة أو القائمة

2-2-4 التبريد التجاري

الجدول 8 التقييم المتعدد الأبعاد للتبريد التجاري

النوع	نوع المبنى المطبق عليه الحل	الآثار البيئية	الجوانب المالية	إمكانية مضاعفة معدل الاستخدام	قبول السوق	جوانب السلامة	مخاطر التنفيذ
حل محلات السوبر الماركت المعتمد على ثاني أكسيد الكربون في الحالة دون الحرجة	خفض استهلاك الطاقة بقليل عن معدلاته في الحلول القائمة على المركبات الهيدروفلوروكربونية	تحول محلات السوبر ماركت الموجودة بالفعل مكلف	إمكانية عالية - واحد لكل 50000 نسمة – ويتوسع الاستخدام بشكل رئيسي في محلات السوبر ماركت الكبيرة والمتوسطة. ويمكن استخدام الحل مع أنظمة ثاني أكسيد الكربون في الحالة دون الحرجة والأنظمة القائمة على المركبات الهيدروكربونية	قبول عالي	اتباع مفاهيم سلامة متقدمة، والوفاء بمتطلبات تعيين عمال تركيب مدربين وموظفي خدمة	مخاطر ضئيلة، لذا يمكن تطبيقه مع مختلف التقنيات المعروفة	**جاهز للتطبيق:** يساعد حجم البلد على زيادة إمكانات مضاعفة معدل الاستخدام والقدرة على الحفاظ على مثل هذه الأنظمة.
حل محلات السوبر الماركت المعتمد على ثاني أكسيد الكربون في حالة الانتقال الحرج	تحسين كفاءة الطاقة عما كانت عليه أثناء تطبيق حلول القائمة على المركبات الهيدروفلوروكربونية	استثمار أولي مرتفع	إمكانية محدودة - واحد لكل 50000 نسمة – ويتوسع الاستخدام بشكل رئيسي في محلات السوبر ماركت الكبيرة والمتوسطة. ويمكن دمج الحل مع أنظمة ثاني أكسيد الكربون في الحالة دون والأنظمة التي تستخدم المركبات الهيدروكربونية لاستبدال جميع الأنظمة القائمة على المركبات الهيدروكلوروفلوروكربونية / المركبات الهيدروفلوروكربونية.	يحد تعقد الحل تقني المرتبط بتوفير استثمار أولي مرتفع من قبول السوق	اتباع مفاهيم سلامة متقدمة، والوفاء بمتطلبات تعيين عمال تركيب مدربين وموظفي خدمة	حلول متوسطة وعالية الخطورة وشديدة التعقيد من حيث التركيب والصيانة في مصر	**فرص التطبيق المستقبلية:** تقل بسبب مخاطر تنفيذ الحلول الفنية المعقدة والمكلفة في مصر
مفهوم التصنيع لصغار الشركات المصنعة للأجهزة التجارية التي تستعمل المركبات الهيدروكربونية	وقف استخدام أنظمة التبريد التجاري القائمة على المركبات الهيدروفلوروكربونية	يتم تقييم كفاءة التكلفة لكل حالة على حدة نظرًا لشدة انخفاض إنتاج بعد الشركات	إمكانيات مضاعفة معدل الاستخدام عالية - بسبب عدد المصنعين الصغار	قبول عالي	توافر تقنيات متطورة للمصنعين الكبار. ولكن يجب أن يتم تعديلها وتحسينها لتلائم متطلبات المصنعين الصغار	تم إعداد مفاهيم متطورة منخفضة المخاطر حول السلامة والشحن	**جاهز للتطبيق:** تقنيات معروفة. وبفضل حجم مصر، هناك إمكانيات متعددة لمضاعفة معدل الاستخدام

النوع	نوع المبنى المطبق عليه الحل	الآثار البيئية	الجوانب المالية	إمكانية مضاعفة معدل الاستخدام	قبول السوق	جوانب السلامة	مخاطر التنفيذ
تطوير قطاع الخدمات السكنية والتجارية للتعامل مع مواد التبريد القابلة للاشتعال مع التركيز على المركبات الهيدروكربونية	ثمة إمكانات كبيرة لاستخدام الأجهزة التي تعمل بمواد التبريد الطبيعية.	مطلوب تجهيز فنيي الخدمة بأدوات مكلفة. ارتفاع تكلفة تدريب الفنيين.	إمكانية عالية بفضل ارتفاع عدد ورش العمل حول التبريد في مصر.	تنخفض احتمالية عدم تقبل السواق لها لأن مواد التبريد الهيدروكربونية مستخدمة بالفعل على نطاق واسع في هذا القطاع.	تقع مخاطر في البلدان ذات شبكة الخدمات غير الرسمية الأقل تطوراً	مخاطر منخفضة - تقنيات معروفة متاحة	**جاهز للتطبيق:** مواصلة البرامج بقطاع الخدمات لوضع الممارسات الفضلى الآمنة.
حلول الرصد	تحسين كفاءة الطاقة	استثمار منخفض مقارنة بالفائدة	إمكانية عالية	مخاطر ضئيلة	لا توجد مخاطر على السلامة	ثمة مشكلات عملية متعلقة بتركيب المستشعرات، وتحتاج تلك الحلول إلى موظفين مدربين وتكنولوجيا معلومات مستقرة	**جاهز للتطبيق**

3-4 الاستنتاجات والتوصيات

بناء على التقييم أعلاه، حلول التبريد المستدام التالية جاهزة للتنفيذ في مصر.

تكييف الهواء:

- تطبيق حلول تكييف الهواء المركزي القائمة على المركبات الهيدروكربونية بالفنادق والمباني التجارية
- استخدام وحدات منزلية منفصلة تعمل بمركب R290
- وضع حلول لرصد ومتابعة أداء تركيبات تكييف الهواء للتمكن من التحقق من إجراء التحسينات والتركيبات المعيارية
- تبريد المناطق (تطبيق ومتابعة إمدادات الطاقة الحرارية الشمسية لنظام تبريد المناطق الحراري الحالي)

يستخدم تبريد المناطق تقنيات مهمة والتي سيتم أخذها في الاعتبار بشكل أكبر في المستقبل بسبب جوانب مختلفة (راجع لجدول التقييم).

التبريد التجاري:

- تطوير حل محلات سوبرماركت يستخدم أنظمة ثاني أكسيد الكربون في الحالة شبة الحرجة في وحدات التبريد القائمة على المركبات الهيدروكربونية
- استخدام المركبات الهيدروكربونية (R290 و R600a) في أجهزة التبريد التجارية المستقلة وآلات البيع
- تطوير قطاع الخدمات لضمان توفير خدمة آمنة ومناسبة للثلاجات التجارية التي تستخدم المركبات الهيدروكربونية
- تطوير مفهوم استخدام المركبات الهيدروكربونية في الثلاجات التجارية خاص بمنشآت التصنيع
- وضع حلول لرصد ومتابعة أداء تركيبات تكييف الهواء للتمكن من التحقق من إجراء التحسينات والتركيبات المعيارية

يهدف هذا التقرير بشكل عام إلى توفير معلومات متعمقة لصناع القرار في مجالات الصناعة والسياسة والتمويل للحصول على نظرة عامة على الممارسات الفضلى المحلية والدولية لحلول التبريد. كما يقدم توصيات بحلول تقنية مصممة خصيصًا لتكييف الهواء وقطاعات التبريد التجاري الفرعية في مصر والتي يمكن أن تساعد في تشكيل اللوائح وأدوات التمويل وتطوير مشاريع البيان العملي. وتعتبر الحلول التقنية الموصى بها بالفعل خيارات تبريد مستدامة وناضجة ويمكن تعميمها في الإجراءات المبكرة. وتتطلب الحلول الأخرى المدرجة في القائمة الطويلة، والتي لا يوصى بها حاليًا في سياق مصر، المزيد من التطورات السياسية والاقتصادية والسوقية، وبالتالي يمكن أخذها في الاعتبار في المرحلة التالية من تطوير مسارات التبريد المستدامة في مصر.

5. المراجع

"Cooling Sector Status Report Egypt: Analysis of the current market structure, trends and insights on the refrigeration and air conditioning sector." 2022. https://www.coolupprogramme.org/knowledge-base/reports/cooling-sector-status-report-egypt/

ecomena.org. "تأثير البيئة الطبيعية على صحتك العقلية". Accessed August 19, 2022. https://www.ecomena.org/natural-environment-and-mental-health-ar/.

"FACT SHEET 4 Commercial Refrigeration." 2015. https://ozone.unep.org/sites/ozone/files/Meeting_Documents/HFCs/FS_4_Commercial_.

"Guidance for Integrating Efficient Cooling in National Policies in Lebanon." May 19, 2021. https://www.undp.org/lebanon/publications/guidance-integrating-efficient-cooling-national-policies-lebanon.

Hansen, Christopher, Jyoti Campbell, and Scott Kable. *Photodissociation of CF3CHO provides a new source of CHF3 (HFC-23) in the atmosphere: Implications for new refrigerants.*, 2021, https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-199769/v1.

Hasse, Volkmar. "Statement of Volkmar Hasse Cooling (Cooling expert and former head of GIZ Proklima) on day 3 of the Green Cooling Summit." Accessed April 5, 2022. https://www.green-cooling-initiative.org/news-media/news/news-detail/2021/06/18/green-cooling-summit-2021-highlights.

Offermann, Markus, Bernhard von Manteuffel, Julia Blume, and Daniel Kühler. "Klimaschonende Klimatisierung (Heizen und Kühlen) mit natürlichen Kältemitteln – Konzepte für Nichtwohngebäude mit Serverräumen/Rechenzentren." Umweltbundesamt (UBA), March 1, 2016. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimaschonende-klimatisierung-heizen-kuehlen.

pae-engineers.com. "City of Seattle Refrigerant Emissions Analysis: GHG Emissions Calculation Methodologies." May 5, 2020. https://www.seattle.gov/Documents/Departments/OSE/Building%20Energy/SEA_Refrigerant_Analysis_May2020.pdf.

Paul Ashford, James A. Baker, Denis Clodic, Sukumar Devotta, David Godwin, Jochen, and Harnisch et al. "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Chapter 7: Emissions of fluorinated substitutes for ozone depleting substances." 2006. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_7_Ch7_ODS_Substitutes.pdf.

Research Division of the California Air Resources Board. "Potential Impact of the Kigali Amendment on California HFC Emissions: Estimates and Methodology used to Model Potential Greenhouse Gas Emissions Reductions in California from the Global Hydrofluorocarbon (HFC) Phase-down Agreement of October 15, 2016, in Kigali, Rwanda ("Kigali Amendment")." December 15, 2017. https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2018-12/CARB-Potential-Impact-of-the-Kigali-Amendment-on-HFC-Emissions-Final-Dec-15-2017.pdf.

SBZ-Online.de. "Keine Kältemittelalternative erfüllt alle Wünsche." Accessed August 19, 2022. https://www.sbz-online.de/lueftung-klima/keine-kaeltemittelalternative-erfuellt-alle-wuensche.

الملحق أ: نظرة عامة على خصائص مواد التبريد

يقدم الجدول التالي نظرة عامة على الخصائص ذات الصلة لمواد التبريد المذكورة في هذا التقرير. وتماشياً مع تقرير تعديل كيغالي، ويتم حساب القدرة على التسبب في الاحترار العالمي المذكورة أعلاه على فترة زمنية مدتها 100 عام. وتزيد قدرة معظم مواد التبريد على إحداث الاحترار العالمي عند القياس بأطر زمنية أقصر (على سبيل المثال، تقاس قدرة المادة R32: 2690 (AR6)) على فترة زمنية تصل إلى 20 عامًا. علاوة على ذلك، لا يتم أخذ قيم القدرة على التسبب في الاحترار العالمي في الاعتبار الآثار المحتملة لنواتج تحلل الغلاف الجوي التي قد تؤثر تأثيرًا كبيرًاعلى تغير المناخ (راجع البحث حول 1234ze).[10]

الجدول 9 *نظرة عامة حول خصائص مواد التبريد ذات الصلة*

مواد التبريد من مكون واحد	فئة السلامة	القدرة على التسبب في الاحترار العالمي (100 عام)	المصدر
R11	A1	4750	IPCC AR4
R12	A1	10900	IPCC AR4
R22	A1	1810	IPCC AR4
R32	A2L	675	IPCC AR4
R124	A1	609	IPCC AR4
R125	A1	3500	IPCC AR4
R134a	A1	1430	IPCC AR4
R143a	A2L	4470	IPCC AR4
R152a	A2	124	IPCC AR4
R1234yf	A2L	0.5	IPCC AR6
R1234ze(E)	A2L	1.37	IPCC AR6
R290	A3	0	IPCC AR6
R600a	A3	3	أخرى
R1270	A3	2	أخرى
مزيج لا متعادل			
R401B	A1	1288	محسوبة على أساس (تعريف التكوين رقم ARI-700)
R404A	A1	3922	محسوبة على أساس (تعريف التكوين رقم ARI-700)
R407C	A1	1774	محسوبة على أساس (تعريف التكوين رقم ARI-700)
R410A	A1	2088	محسوبة على أساس (تعريف التكوين رقم ARI-700)
R449A	A1	1396	محسوبة على أساس (تعريف التكوين رقم ARI-700)
R450A	A1	601	محسوبة على أساس (تعريف التكوين رقم ARI-700)
R454A	A2L	237	محسوبة على أساس (تعريف التكوين رقم ARI-700)
R454B	A2L	465	محسوبة على أساس (تعريف التكوين رقم ARI-700)
مزيج ثابت الغليان			
R513A	A1	631	IPCC AR4
أخرى			
R717 (أمونيا)	B2L	0	أخرى
R718 (ماء)	A1	0	أخرى
R744 (ثاني أكسيد الكربون)	A1	1	وفقًا للتعريف

[10] جمع باحثون من جامعة نيو ساوث ويلز في سيدني أدلة تشير إلى أن أحد المنتجات النهائية الناجمة عن تحلل HFO-1234ze هو HFC-23، وهو أشد مركب هيدروفلوروكربوني تأثيرًا على المناخ ويمتلك قدرة احترار عالمي تبلغ 14800 وفقًا لتقرير التقييم الرابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (راجع: (https://assets.researchsquare.com/files/rs-199769/v1_covered.pdf?c=1631852903