Cool Up
Upscaling Sustainable Cooling

دليل الحلول الفنية للتبريد المستدام في الأردن

مارس 2022

دليل الحلول الفنية للتبريد المستدام في الأردن

Cool Up
Upscaling Sustainable Cooling

coolupprogramme.org

تويتر

الرسائل الإخبارية

البريد الإلكتروني

Supported by:
Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection
based on a decision of the German Bundestag

برنامج كوول أب Cool Up 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 Cool Up 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)

Sawsan Bawaresh, Nidal Abdalla (RSS - Royal Scientific Society)

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

مراجعة:

Nesen Surmeli-Anac (Guidehouse)

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

جهات الاتصال

تواصل معنا على info@coolupprogramme.org.

قم بزيارتنا على موقع www.coolupprogramme.org.

الفهرس

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

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

2-1 تكييف الهواء 3

2-2 التبريد التجاري 5

2-3 حلول التبريد المستدام 6

2-3-1 نظرة عامة على مواد التبريد الطبيعية 7

2-3-2 حلول تكييف الهواء المستدام 8

2-3-2-1 نظرة عامة 8

2-2-3-2 العوائق الرئيسية أمام تطبيق حلول التكييف المستدام 12

2-2-3-3 تدابير خفض الطلب على التكييف 12

2-2-3-4 حلول إمداد الطاقة المتجددة 13

2-3-3 حلول التبريد التجاري المستدام 14

2-3-3-1 نظرة عامة على مواد التبريد 14

2-3-3-2 العوائق الرئيسية أمام تنفيذ التبريد التجاري المستدام 17

2-3-3-3 تدابير تقليل الطلب على الطاقة لتشغيل أنظمة التبريد التجارية 17

3. أمثلة الممارسات الفضلى الوطنية **18**

4. اقتراحات بشأن تنفيذ التبريد المستدام ..... Error! Bookmark not defined.

4-1 القائمة الطويلة ..... **Error! Bookmark not defined.**

4-1-1 حلول تكييف الهواء 21

4-1-2 حلول التبريد التجاري 22

4-2 التقييم متعدد الأبعاد ..... **Error! Bookmark not defined.**

4-2-1 تكييف الهواء 25

4-2-2 التبريد التجاري 27

4-3 الاستنتاجات والتوصيات 28

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

الأشكال

شكل 1: الأجزاء الفرعية المختلفة للتبريد..... 3
شكل 2: نظرة عامة على التقييم متعدد الأبعاد..... 24

الجداول

جدول 1: نظرة عامة على أهم خصائص أنظمة التكييف الأكثر ملاءمة لمنطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا.....4
جدول 2: نظرة عامة على أهم خصائص أنظمة التبريد التجاري الرئيسية.....5
جدول 3: نظرة عامة على مواد التبريد الطبيعية الأكثر شيوعًا.....7
جدول 4: نظرة عامة على أهم خصائص أنظمة تكييف الهواء البديلة الأكثر ملاءمة التي تستعمل غازات التبريدطبيعية ..9
جدول 5: نظرة عامة على أهم خصائص الرئيسية لأنظمة التبريد البديلة الأكثر أهمية التي تستعملغازات التبريد طبيعية...
Error! Bookmark not defined.
جدول 6: أمثلة الممارسات الفضلى الوطنية ..... **Error! Bookmark not defined.**
جدول 7: التقييم متعدد الأبعاد لتكييف الهواء ..... **Error! Bookmark not defined.**
جدول 8: التقييم متعدد الأبعاد للتبريد التجاري ..... **Error! Bookmark not defined.**
جدول 9: نظرة عامة على خصائص مواد التبريد ذات الصلة..... **Error! Bookmark not defined.**

الاختصارات

AC	تكييف الهواء
°C	درجة مئوية
CHP	الحرارة والطاقة المشتركة
COP	معامل الأداء
DX Chillers	مرافق 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 Cool Up

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 اتاحة مواد التبريد الطبيعية والحلول الموفرة للطاقة للتخفيف من آثار ارتفاع الطلب على التبريد. يعتمد نهج برنامج كوول أب Cool Up 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) وعلى قطاع 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 Cool Up 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 تحتوي على مواد التبريد الطبيعية.
- توفير الموارد اللازمة لتنمية القدرات في مجال التبريد المستدام في البلدان الأربعة الشريكة.

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 لغازات التبريد من خلال تعزيز التغيير التكنولوجي المتسارع وتسهيل التنفيذ المبكر لتعديل كيغالي واتفاق باريس. وينقسم البرنامج إلى ثلاث ركائز:

- السياسات واللوائح
- التكنولوجيا والأسواق
- التمويل ونماذج الأعمال

[1] بريتيش باترول، "BP Energy Outlook 2018 Edition"

2-1 هدف هذا التقرير ونطاقه

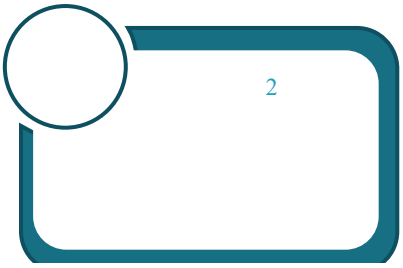
يوفر هذا التقرير معلومات حول خيارات التبريد المستدام في الأردن. ويخاطب التقرير أصحاب المصلحة من مختلف القطاعات مثل صانعي السياسات وهيئات التمويل، كما يستهدف المخططين والمصنعين وكل من يهمه الأمر. والهدف الرئيسي وراء ذلك هو تسهيل التحول إلى التبريد المستدام في لبنان مع التركيز بشكل خاص على تكييف الهواء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

- يقدم الفصل 2 لمحة عامة على 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 للأردن. 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 غير قابلة لإصلاح على هدف تحقيق الحياد المناخي طويل المدى.

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

2. نظرة عامة على تقنيات التبريد الدولية

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



شكل 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:

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

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

تقنيات التكييف	نطاق القدرة النموذجي	متوسط معدل التسرب السنوي [10]	مواد التبريد قيد الاستخدام البدائل القديمة التي لا تزال متاحة / الشائعة / الجديدة [12]	نسبة كفاءة الطاقة [1]	كفاءة النظام الموسمية الشاملة [2] بالاتحاد الأوروبي / المناخ الحار (القاهرة على سبيل المثال)	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
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 إمكانية 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/)

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

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 تحتوي على مادة التبريد: 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 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 في الضاغط عن بعد ومكثف خارجي. ويمكن لهذه الأنظمة أن تخدم عدة أحمال تبريد
  - الأنظمة المركزية المباشرة: يتم تصقيع مادة التبريد الأولية خلال عملية التمدد المباشر ثم 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 التجارية الرئيسية :

جدول 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

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

الأنظمة المركزية	40 – 200 كيلو واط	10% - 35%	القديمة: R22 الشائعة: R404A R134a, R407A.F الجديدة: R744 R449A, R450A	1.7 – 4.4[1]	غير متاح	والكفاءة المحددة هنا تعود إلى الحد الأدنى من متطلبات معامل أداء الأنظمة التي تقل عن 200 كيلوواط والحد وأكثر من 300 كيلوواط
وحدات التكثيف	2 – 20 كيلو واط	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 حساب مستويات الكفاءة على أساس أقل وأفضل النتجات أداءً المدرجة في قاعدة بيانات رابطة مصنعي مكونات التبريد الأوروبية (ASERCOM6) الخاصة بمستوى القدرة التشغيلية المحددة.
الوحدات المستقلة	1 – 7.1 كيلو واط	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 الأعلى والأفل من مؤشر كفاءة طاقة الوحدات المستقلة وفقًا للائحة المفوضية الأوروبية 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)

3-2 حلول التبريد المستدام

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

يوفر التخلص التدريجي من المركبات الهيدروكلورفلوروكربونية بموجب بروتوكول مونتريال والخفض التدريجي العالمي للمركبات الهيدروفلوروكربونية للدول النامية فرصة لاعتماد بدائل صديقة للمناخ وفعالة من حيث الطاقة. وقد اقر 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 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 الحلول الفنية الإضافية التي تستخدم مواد التبريد الطبيعية والتي قد تتسم بكفاءة الطاقة.

1-3-2 نظرة عامة على مواد التبريد الطبيعية

يتطلب التبريد المستدام عدم استخدامغازات التبريد 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. وعلاوة على ذلك، فإن تأثير مواد التبريد الطبيعية على المناخ إما ضئيل أو منعدم. وتتوافر مواد التبريد الطبيعية محليًا ولا تخضع للخفض بموجب بروتوكول مونتريال وتعديل كيغالي، وبالتالي من المتوقع أن تظل أسعارها مستقرة نسبيًا مقارنة بأسعار المركبات الهيدروفلوروكربونية.

يقدم الجدول التالي نظرة عامة حول إيجابيات وتحديات تركيب التكنولوجيات التي تستخدم مواد التبريد الطبيعية الأكثر شيوعًا.

جدول 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 مثلR290 ، و R1270، 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]
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 يكون لدى موظفي التركيب والصيانة والخدمات شهادات تدريب خاصة

مواد التبريد	الإيجابيات	التحديات
R718 (الماء) [6]	▸ غير قابل للاشتعال ▸ غير سام ▸ عادة ما تتمتع بكفاءة الطاقة أعلى من مواد التبريد التقليدية ▸ يساعد في تجنب اي مشاكل سلامة	▸ توافرعدد قليل من المبردات حتى الآن ▸ يتطلب مساحة أكبر مقارنة بالمبردات التقليدية ▸ ارتفاع محدود في درجات حرارة المبردات 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 قلة 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 الحالي.

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:

جدول 4 نظرة عامة على أهم خصائص أنظمة تكييف الهواء البديلة الأكثر ملاءمة التي تستعملغازات التبريد طبيعية[5]

تقنيات تكييف الهواء	نطاق القدرة	مادة التبريد	معدل كفاءة الطاقة [1]	التعليقات	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 تستخدمغازات التبريد 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
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

[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
	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]	▶ تشيرالدلالات 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 : R717 / ماء	▶ يمكن أن تكون جزءًا من نظام فعال ثنائى أو ثلاثى 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
	4.000– 15 كيلو واط غير متاح	R718	0.75	ثنائي عامل – امتصاص : R718 / بروميد الليثيوم	▶ يمكن أن تكون جزءًا من نظام فعال ثنائى أو ثلاثى 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

تقنيات تكييف الهواء	نطاق القدرة	مادة التبريد	كفاءة معدل الطاقة [1]	التعليقات	الإيجابيات	التحديات
	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 عملية التدوير
أنظمة التدفق المتغير / أنظمة متعددة الوحدات المنفصلة	غير متاح	R744	غير متاح			▶ ترتفع تكلفة الاستثمار فيها ▶ كفاءتها منخفضة
وحدات منفصلة فردية	غير متاح	R744	غير متاح			▶ غير فعال من حيث التكلفة عند استعمالها في أنظمة الصغيرة
	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 في حل 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 تستخدمغازات التبريد 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 حجمًا

يمكن اشتقاق لمحات عامة ممتازة حول تقنيات تكييف الهواء المستدامة المستخدمة من قواعد بيانات المنتج الخاصة بإدارة معلومات الطاقة (EIA) / س(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.

2-2-3-3 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. و 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

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

4-2-3-2 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٪

انظر على سبيل المثال، Hasse، "Statement of Volkmar Hasse Cooling (خبير التبريد والرئيس السابق لشركة GIZ Proklima) في اليوم الثالث من قمة التبريد الأخضر"

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 تستخدمغازات التبريد طبيعية:

جدول 5 نظرة عامة على الخصائص الرئيسية لأنظمة التبريد البديلة الأكثر أهمية التي تستعملغازات التبريد طبيعية[7]

نظام التبريد التجاري	مادة التبريد	معامل كفاءة الأداء [1]	ملاحظات	الإيجابيات	التحديات
			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)
الأنظمة المباشرة المركزية	R744[1]	غير متاح	العمليات دون الحرجة	▶ يمكن أن يكون الحل استخدامغازات التبريد 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.

نظام التبريد التجاري	مادة التبريد	معامل كفاءة الأداء [1]	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 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 اصغيرة 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

نظام التبريد التجاري	مادة التبريد	معامل كفاءة الأداء [1]	ملاحظات	الإيجابيات	التحديات
	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
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[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 استخدلم 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 طريق 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 الجيدة الوطنية

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

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).

جدول 6 أمثلة الممارسات الوطنية الجيدة

رقم	اسم المشروع	وصف المشروع / النتائج الرئيسية	وقت ومكان التنفيذ/ الجهة الممولة/الجهة المنفذة	Source Links
1	التبريد الشمسي للصناعة والتجارة (مشروع IKI)	تم وضع الأساس لجعل تكييف الهواء في الأردن والمنطقة مستدامًا. تم تقليل انبعاثات الغازات الدفيئة المباشرة وغير المباشرة وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري المفلورة بفضل تركيب وتشغيل أنظمة التبريد الحراري الشمسي مع المواد المبردة الطبيعية (مبردات الامتصاص). درست اللجنة الفنية المتخصصة لقطاع الكهرباء مشروع اللائحة الفنية الأردنية 2102: 2013 المتعلق بـ "اللائحة الفنية لمتطلبات التصميم البيئي لأجهزة التبريد المنزلية"، وأوصت بالموافقة على المشروع المعدل باعتباره لائحة فنية أردنية. 2102: 2013، وفقًا للبند 12 في الفقرة أ من المادة 5 من قانون المواصفات والمقاييس رقم 2000/22. في 5 ديسمبر 2013	2012 - 2017 التي تنفذها وزارة البيئة؛ وزارة الطاقة والثروة المعدنية وNERC بتمويل من GIZ	(solarthermalworld.org 2017)
2	العبدلي (الأردن): مرجع تبريد المناطق في الشرق الأوسط	يفكر البنك الأوروبي لإعادة الإعمار والتنمية في تقديم 30.0 مليون دولار أمريكي ل (الأردنية للطاقة المركزية) لإنشاء أول محطة تدفئة وتبريد مناطقي في الأردن والتي ستوفر التبريد والتدفئة لمدينة العبدلي للتنمية العمرانية التي تم بناؤها حديثًا في عمان، الأردن يعد المشروع ضروريًا لنجاح مدينة العبدلي الذي تم تطويرها لتوفير بنية تحتية تجارية وسياحية وسكنية وتجارية طويلة الأجل وعالية المستوى تهدف إلى تحويل عمان إلى مركز أعمال جديد في المنطقة. المبرد الطبيعي NH3، هو مبرد بالهواء (بدون استهلاك للمياه)، تخزين الطاقة لتقليل الحمولة القصوى	2014 الموقع: عمان نفذته ARANER بتمويل من البنك الأوروبي للإنشاء والتعمير	ARANER, “Abdali District Heating and Cooling project” (European Bank for Reconstruction and Development) ARANER, “Case Study Abdali Boulevard”

رقم	اسم المشروع	وصف المشروع / النتائج الرئيسية	وقت ومكان التنفيذ/ الجهة الممولة/الجهة المنفذة	Source Links
3	مشروع محلات سوبر ماركت السلام	سيتم مراقبة استخدام الطاقة في الأسواق التجارية لمراقبة وتسجيل مكاسب كفاءة الطاقة للنظام الجديد. وظهر أن النظام يوفر من 20-30 ٪ من الطاقة أكثر من نظام HFC مماثل الحجم في متجر قريب ومن المتوقع أن يوفر مئات الدولارات في السنة. استبدل النظام المعزز الجديد لثاني أكسيد الكربون فوق الحرج مع الضغط المتوازي لنظام R-22 لضمان الكفاءة العالية، يستخدم النظام أيضًا تقنية القاذف المتعدد وتكنولوجيا المبخر غير المحمص. سيتم استعادة الحرارة المهدرة لإمداد الماء الساخن.	2018 نفذتها منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية (اليونيدو) وائتلاف المناخ والهواء النظيف بتمويل من ائتلاف المناخ والهواء النظيف الشركة المصنعة: عابدين الصناعية	(cooltechnologies.org) (coolingpost.com 2018) (unido.org 2018)
4	مشروع الطاقة الكهروضوئية للجامعة الهاشمية		2016 الجامعة الهاشمية	(ecomena.org 2022)
5	مشروع الطاقة الشمسية المركزة والتبريد في جامعة مؤتة	شرعت جامعة مؤتة، في جنوب الأردن، في مشروع تجريبي ذات انتاج ثلاثي: تم استخدام مجمعات الطاقة الشمسية المركزة، على شكل مجمعات أحواض مكافئة، لإنتاج البخار. تم استخدام البخار بعد ذلك لتشغيل مولد كهربائي، ثم وحدة تحلية المياه وأخيراً مبرد امتصاص (سعة إجمالية 20 كيلو وات). يمكن أن تعمل المبردات باستخدام مصادر حرارة منخفضة نسبيًا، أقل من 70 درجة مئوية.	2009 تم بناؤه وتركيبه بواسطة شركة ميلينيوم إنرجي	(ases.org)
6	مشروع رائد لاستخدام الطاقة الحرارية الجوفية	تم تحويل مبنى المجلس الأعلى للعلوم والتكنولوجيا (HCST) إلى مبنى بيئي / أخضر يستخدم تقنيات الطاقة المتجددة لتوليد الكهرباء من الطاقة الشمسية، ويستخدم الطاقة الحرارية الأرضية للتدفئة والتبريد وتسخين المياه واستخدام مصابيح العزل الحراري وتوفير الطاقة.	2015-2016 ممول بشكل رئيسي من قبل الاتحاد الأوروبي RSS / NERC: تقييم الطاقة	(The Higher Council for Science and Technology)
7	مشروع ريأكت REACT	يهدف المشروع إلى إنشاء رائد مبتكر قائم على RES (التدفئة وتكييف الهواء)، لاستخدامه في بيئات محددة. تم تنفيذ المشروع التجريبي في منتجع البحر الميت في الأردن. نتائج: تركيب نظام حراري شمسي 18 مجمّعًا بمساحة 162 مترًا مربعًا، مبرد واحد بقدرة تبريد 25.7 كيلو واط ▸ إنتاج التدفئة السنوي المثالي: 71.2 ميغاواط إلى 69.6 ميغاواط ساعة لدورة التبريد في فصل الصيف. 1.6 ميجاوات ساعة لتخزين الماء الساخن في فصل الشتاء.	2006-2010 التمويل: أنظمة تكييف الهواء بالطاقة المتجددة (REACt)لدول البحر الأبيض المتوسط	(El Asmar 2008)
8	مبنى العقبة لكفاءة الطاقة	تم اختيار مبنى العقبة لكفاءة الطاقة (AREE) من قبل مشروع MED ENEC 2 الممول من الاتحاد الأوروبي كواحد من 10 مشاريع رائدة تهدف إلى تعزيز كفاءة الطاقة في المباني في منطقة البحر الأبيض المتوسط. يتكون هذا المشروع من نظام تبريد تجريبي يعمل بالطاقة الشمسية مع نظام تبريد بالامتصاص يعمل بالطاقة الشمسية تم تطويره بواسطة الشركة المصنعة المحلية Millennium Energy.	2009-2010 بتمويل من الاتحاد الأوروبي	(مركز دراسة البيئة المبنية)

رقم	اسم المشروع	وصف المشروع / النتائج الرئيسية	وقت ومكان التنفيذ/ الجهة الممولة/الجهة المنفذة	Source Links
9	مشروع MAIA-TAQA لتركيب نظام التبريد الحراري الشمسي	سيشمل المشروع تنفيذ توريد وتركيب وتشغيل نظام تبريد حراري شمسي، الذي يتضمن توريد وتركيب مجمعات الطاقة الشمسية ونظام التبريد. ويهدف هذا المشروع إلى إظهار قدرة الأنظمة الحرارية الشمسية على تقليل استهلاك الطاقة المستخدمة للتبريد في مباني المكاتب في منطقة البحر الأبيض المتوسط.	2021-تحت التنفيذ الموقع: العقبة بتمويل من الاتحاد الأوروبي في إطار برنامج ENI CBC Med	(euneighbours.eu 2021)
10	مشروع الطاقة المستدامة والتنمية الاقتصادية(SEED)	يهدف المشروع إلى تطوير المجتمعات المحلية من خلال رفع الوعي وتطبيق حلول كفاءة الطاقة والطاقة المتجددة، من خلال دفع النمو الاقتصادي المستدام للاقتصاد المستدام في محافظة عجلون ومنطقة دير علا. ودعم المشروع ست مدارس ومراكز صحية في تركيب أنظمة الطاقة المتجددة وتكييف الهواء بالإضافة إلى تجديد مبانيها لتحسين كفاءة الطاقة.	2016-2021. تم تمويله من قبل الشؤون العالمية الكندية والصندوق الأردني للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة. تم تنفيذ المشروع في محافظة عجلون ومديرية دير علا من قبل شركة كاواتر.	(cowater.com)
11	مشروع الأردن لاستخدام التبريد الشمسي في الصناعة والتجارة	تم تنفيذ مشروع تبريد بالطاقة الشمسية لأربعة مبانٍ في الأردن في عام 2017، وهي الجامعة الألمانية الأردنية، ودار ضيافة البتراء، والمركز الثقافي الملكي، ومباني غرفة تجارة إربد. لعبت جامعة برلين التقنية الألمانية (TUB) دورًا رئيسيًا في نقل التكنولوجيا والمعرفة من أجل تخطيط وتركيب ومراقبة أربعة أنظمة تكييف تعمل بالطاقة الشمسية في المباني العامة والخاصة. أظهرت مراقبة النظام لنظام التبريد كفاءة حرارية يومية (معامل الأداء) بين 0.4 و0.7. وتتكون حقولهم الشمسية من مجمعات أنابيب مفرغة مع مكثفات مكافئة مركبة من مجموعة ريتر الألمانية وجميع أنظمة التبريد بالطاقة الشمسية الأربعة تستخدم تقنية مبرد الامتصاص المطورة بواسطة TUB، التي تستخدم أبراج تبريد جافة ويمكن تشغيلها في درجات حرارة عالية للهواء المحيط	2017 / الأردن ممول من: مبادرة المناخ الدولية للوزارة الاتحادية الألمانية للبيئة وحماية الطبيعة والبناء والسلامة النووية. تم تنفيذ المشروع من قبل الوكالة الألمانية للتعاون الدولي (GIZ) ووزارة البيئة الأردنية (MoEnv).	(solarthermalworld.org 2017)
12	أختبار R290 لوحدات تكييف السطح	وجدت البتراء أن نموذجها الأولي الذي يبلغ 88 كيلو واط (TR25) باستخدام R290 أدى إلى قدرات تبريد أعلى بنسبة 2-4٪ مقارنة بـ R407C (كتوقع) عند أربع درجات حرارة محيطة (25 درجة مئوية، 35 درجة مئوية، 46.1 درجة مئوية، 50 درجة مئوية). / 77 درجة فهرنهايت، 95 درجة فهرنهايت، 115 درجة فهرنهايت، 122 درجة فهرنهايت). وتراوحت نسبة تحسين كفاءة الطاقة بين 4-9.5٪ في نفس درجات الحرارة المحيطة. وجدت الدراسة أن مكون R290 يكلف حوالي 10٪ أكثر مقارنة باستخدام R407C. مع الإنتاج الضخم في المستقبل، وتتوقع البتراء اختفاء هذه الميزة.	بواسطة البتراء (فرع المملكة العربية السعودية) 2020	(Yoshimoto 2020)

ملخص

وباختصار، كان هناك بالفعل العديد من مشاريع تعرض التبريد بالتجميع الشمسي خلال السنوات الأخيرة. وتقتصر المشاريع الأخرى على نظام تقوية واحد لتأثير ثاني أكسيد الكربون في محلات السوبر ماركت، ومشروع تجريبي للطاقة الحرارية الأرضية، والمبادرة الملكية لتحسين بيئة التعليم (بما في ذلك الطاقة الكهروضوئية للتكييف). كما تم تطوير وحدات تكييف هواء السطع التي تعتمد على R290 من قبل أحد المصنّعين الأردنيين في فرعه بالمملكة العربية السعودية. ويبدو أن نظامًا كهذا يمكن اختباره في موقع أردني مناسب. وحتى الآن، على ما يبدو، لا توجد تطبيقات لوحدات تكييف الهواء اللامركزية باستخدام مواد التبريد المستدامة (الطبيعية).

4. اقتراحات بشأن تنفيذ التبريد المستدام

يقدم هذا الفصل توصيات حول أنسب خيارات حلول التبريد المستدام في الأردن. 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 الأردن.

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.

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 معغازات التبريد 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 وارتفاع 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 1-3) 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 ....على سبيل المثال في الفنادق أو المستشفيات. 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 الإستفادة 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 القياس، 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 احتياطية للتبريد 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 المناطقغازات التبريد 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 للصيانتها 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 الدولي رقم 8-2-60335.

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 R290 / R744 كغازات التبريد ، 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) كغازات التبريد. 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 غازات التبريدطبيعية. 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 أن توفر رصد جمع البيانات وتخزين البيانات لاستهلاك الطاقة وأداء التبريد ومعلومات الصيانة والتسرب وما إلى ذلك رؤى إضافية حول كفاءة النظام والمساعدة في تحديد إمكانات التحسين وأهمية الصيانة الوقائية وتوفير حوافز للبناء / أقسام تتوافق مع المبردات الطبيعية.

3.2 كما هو الحال في قطاع تكييف الهواء، 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 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 للأردن 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.

شكل 2 :نظرة عامة على التقييم متعدد الأبعاد

1-2-4 تكييف الهواء

جدول 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 الجديدةغازات التبريد طبيعية	هناك إمكانية لمضاعفة معدل استخدام تلك الأنظمة كما يمكن الاستفادة من الممارسات الفضلى المطبقة في المملكة العربية السعودية	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:** إمكانية تطبيق التكنولوجيا فيالبتراءبالأردن.
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 [8]	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

[8] تأتي المقاومة الرئيسية ضد استخدام الأمونيا (NH3) من شركات الإنشاءات المدنية وصناع قرار التقنيات 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 (R290)	المباني السكنية والفنادق والمكاتب	لا يتم استخدام المركبات الهيدروكلوروفلوروكربونية / 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	إمكانات عالية بسبب الاستخدام على نطاق الواسع	محدود حاليًا	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**: يجب إعداد قطاع الخدمات بشكل خاص للتعامل مع الأجهزة المشحونة بـ R290.
وحدة مركزية للتبريد بالماء (R718)	مراكز البيانات	استعمال غازات التبريد طبيعية غير قابلة للاشتعال وغير سامة مشكلات في كفاءة الطاقة	لا توجد معلومات متاحة	إمكانيات محدودة بسبب ظروف الأردن 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 بـ**غازات التبريد** طبيعية هي الحل الأمثل، ولكن هناك حاجة لإجراء المزيد من الاختبارات
حلول المتابعة	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	مخاطر ضئيلة	**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

جدول 8: التقييم متعدد الأبعاد للتبريد التجاري

النوع	الأثر البيئي	الجوانب المالية	إمكانية مضاعفة معدل الاستخدام	قبول السوق	جوانب السلامة	مخاطر التنفيذ	التوصيات
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 دمجه الحل مع أنظمة ثاني أكسيد الكربون في الحالة دون الحرجة والمركبات 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:** يوفر حجم البلد إمكانية 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 كبيرة - واحد لكل 50000 نسمة – ويتوسع الاستخدام بشكل رئيسي في محلات السوبر ماركت الكبيرة والمتوسطة. ويمكن دمجه الحل مع أنظمة ثاني أكسيد الكربون في الحالة دون الحرجة والمركبات الهيدروكربونية	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 الأردن	**فرص التطبيق المستقبلية:** تقل بسبب مخاطر تنفيذ الحلول الفنية المعقدة والمكلفة في الأردن
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 لشحة انخفاض إنتاج بعد الشركات	إمكانيات مضاعفة معدل الاستخدام متوسطة - بسبب عدد المصنعين الصغار	قبول عالي	توافر تقنيات متطورة للمصنعين الكبار. ولكن يجب أن تعدل وتحسن لملائمة المصنعين الصغار	تم تطوير مفاهيم منخفضة المخاطر حول السلامة والشحن	**جاهز للتطبيق:** تقنيات معروفة. وبفضل حجم الأردن، يمكن مضاعفة الاستخدام بمعدل توسط
تطوير قطاع الخدمات السكنية والتجارية للتعامل مع مواد التبريد القابلة للاشتعال مع التركيز على المركبات الهيدروكربونية	ثمة إمكانات كبيرة لاستخدام الأجهزة ذات مواد التبريد الطبيعية.	مطلوب تجهيز فنيي الخدمة بأدوات مكلفة ارتفاع تكلفة تدريب الفنيين.	إمكانية عالية بفضل عدد ورش التبريد الكبير في الأردن.	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:** برامج متواصلة بقطاع الخدمات لوضع الممارسات الفضلى الآمنة.

النوع	الأثر البيئي	الجوانب المالية	إمكانية مضاعفة معدل الاستخدام	قبول السوق	جوانب السلامة	مخاطر التنفيذ	التوصيات
حلول المتابعة	تحسين كفاءة الطاقة	استثمار منخفض مقارنة بالفائدة	إمكانية عالية	مخاطر ضئيلة	لا توجد مخاطر على السلامة	ثمة مشكلات عملية المتعلقة بتركيب المستشعرات، وتحتاج تلك الحلول إلى موظفين مدربين وتكنولوجيا معلومات مستقرة	**جاهز للتطبيق**

3-4 الاستنتاجات والتوصيات

بناءً على التقييم أعلاه، فإن حلول التبريد المستدام التالية جاهزة للتطبيق في الأردن.

تكييف الهواء:

- تطبيق حلول تكييف الهواء المركزي القائمة على المركبات الهيدروكربونية بالفنادق والمباني التجارية
- تستخدم وحدات سبليت السكنية R290 بسعات تصل إلى 18.000 وحدة حرارية بريطانية في الساعة
- تطوير قطاع الخدمات لضمان توفير خدمة آمنة وسليمة لأنظمة تكييف الهواء التي تستخدم المركبات الهيدروكربونية
- تطوير حلول لمتابعة وتتبع أداء تركيبات تكييف الهواء لتصير قادرة على التحقق من إجراء التحسينات والتركيبات المعيارية
- تدابير التبريد السلبي وأنظمة كفاءة الطاقة العالية مثل المراوح والمضخات ذات محركات التردد المتغير VFD.

يعتبر تبريد المناطق أيضًا من التقنيات ذات الصلة، ولكن سيتم النظر فيها بشكل أكبر في المستقبل بسبب الجوانب المختلفة (انظر جدول التقييم).

التبريد التجاري:

- تطوير حل سلاسل محلات سوبرماركت يستخدم أنظمة ثاني أكسيد الكربون في الحالة شبة الحرجة بجانب مواد التبريد الهيدروكربونية
- المواد الهيدروكربونية (R290 و R600a) للمبردات التجارية وآلات البيع القائمة بذاتها
- تطوير قطاع الخدمات لضمان توفير خدمة آمنة ومناسبة للثلاجات التجارية التي تستخدم المواد الهيدروكربونية
- تطوير مفهوم لمرافق التصنيع الصغيرة للثلاجات التجارية التي تستخدم المواد الهيدروكربونية
- تطوير حلول لمتابعة وتتبع أداء تركيبات تكييف الهواء لتصير قادرة على التحقق من إجراء التحسينات والتركيبات المعيارية

يهدف هذا التقرير بشكل عام إلى توفير معلومات متعمقة لصناع القرار بخصوص 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 الأردن 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 المزيد من التطورات السياسية والاقتصادية والسوقية، وبالتالي يمكن أخذها في الاعتبار في المرحلة التالية من تطوير مسارات التبريد المستدامة في الأردن.

3. المراجع

ARANER. “Abdali District Heating and Cooling project.” Accessed August 19, 2022. https://www.araner.com/blog/abdali-jordan-district-cooling-solution.

ARANER. “Case Study Abdali Boulevard: JDE Jordan District Energy.” Accessed August 19, 2022. https://content.araner.com/hubfs/ebooks/ARANER%20DC%20CASE%20STUDY%20-%20Jordan%20District%20Cooling.pdf?utm_campaign=C6%20-%20Case%20study%20Abdali%20DC&utm_medium=email&_hsmi=49007213&_hsenc=p2ANqtz--3WFTeeyx2svQQeXiaz6bMNKyXyD717kNMhStY6qQrWzNaofJO5YcDb7X5zqNWXSCFmqFCCcQsrsG5W0P3P8gzsocpDr6TyTRM3rZJJd6rEX-porI&utm_content=49007213&utm_source=hs_automation.

ases.org. "Utilization of CSP system for tri-generation of electricity, distilled water, and cooling/heating in the southern part of Jordan" Accessed August 19, 2022. https://ases.org/wp-content/uploads/2021/11/Utilization-of-CSP-System-for-Tri-Generation-of-Electricity-Distilled-Water-and-CoolingHeating-in-the-Southern-Part-of-Jordan-.pdf

Center for the Study of the Built Environment. “AREE - Aqaba Residence Energy Efficiency.” Accessed August 19, 2022. https://www.csbe.org/aree.

Cooling Sector Status Report Jordan: 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-jordan/.

coolingpost.com. “Jordan test for CO2 refrigeration.” Accessed August 19, 2022. https://www.coolingpost.com/world-news/jordan-test-co2-refrigeration/.

cooltechnologies.org. “Al-Salam Supermarket.” Accessed August 19, 2022. https://cooltechnologies.org/case-studies/al-salam-supermarket/.

cowater.com. “Sustainable Energy and Economic Development Project (SEED): Middle East and North Africa - Jordan.” Accessed August 19, 2022. https://www.cowater.com/en/project/sustainable-energy-and-economic-development-project-seed/.

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

El Asmar, Toufic. “React: Self-sufficient renewable energy air-conditioning system for Mediterranean countries.” *Desalination* 220, 1-3 (2008): 600–611, https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.04.061.

euneighbours.eu. “Jordan: EU-funded MAIA-TAQA to install solar thermal cooling system in Aqaba.” Accessed August 19, 2022. https://www.euneighbours.eu/en/south/stay-informed/news/jordan-eu-funded-maia-taqa-install-solar-thermal-cooling-system-aqaba.

European Bank for Reconstruction and Development. “Abdali District Heating and Cooling.” Accessed August 19, 2022. https://www.ebrd.com/work-with-us/projects/psd/abdali-district-heating-and-cooling.html.

“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.
solarthermalworld.org. “Jordan: Four Demonstration Plants for Solar Air Conditioning Commissioned.” Accessed August 19, 2022. https://solarthermalworld.org/news/jordan-four-demonstration-plants-solar-air-conditioning-commissioned/.
The Higher Council for Science and Technology. “Converting The Higher Council For Science And Technology To An Environmental / Green Building.” Accessed August 19, 2022. http://www.hcst.gov.jo/en/node/265.
unido.org. “Climate-friendly supermarket refrigeration installed in Jordan.” Accessed August 19, 2022. https://www.unido.org/news/climate-friendly-supermarket-refrigeration-installed-jordan.
Yoshimoto, Devin. “Propane Outperforms R407C in Test of Rooftop AC Units.” Accessed April 5, 2022. https://accelerate24.news/regions/global/propane-outperforms-r407c-in-test-of-rooftop-ac-units/2020/.

الملحق أ: نظرة عامة حول خصائص مادة التبريد

يقدم الجدول التالي نظرة عامة على الخصائص ذات الصلة لغازات 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 إطار 20 عامًا. علاوة على ذلك، لا تأخذ قيم ال 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).[9]

جدول 9 نظرة عامة على 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

[9] 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)