Cool Up
Upscaling Sustainable Cooling

دراسة احتمالات قطاع التبريد في مصر:

امكانية توفير الطاقة والانبعاثات حتى عام 2050 في قطاع التبريد وتكييف الهواء

مارس2023

دراسة احتمالات قطاع التبريد في مصر:

إمكانية توفير الطاقة والانبعاثات حتى عام 2050 في قطاع التبريد وتكييف الهواء

Cool Up
Upscaling Sustainable Cooling

www.coolupprogramme.org
Twitter
Newsletter
Email
LinkedIn

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

برنامج كوول اب هو جزء من مبادرة المناخ الدولية، التي تدعمها الوزارة الاتحادية للبيئة وحماية الطبيعة والسلامة النووية وحماية المستهلك بموجب قرار معتمدة من مجلس النواب الألماني الاتحادي (البوندستاغ).

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

أعد المؤلفين المخرجات الواردة هنا بغرض استخدامها في برنامج كوول اب وحسب. وتمثل الأعمال المنجزة المقدمة في هذه الوثيقة الرأي المهني للمؤلفين بناءً على المعلومات المتاحة في وقت إعداد هذا التقرير. ولا يتحمل شركاء اتحاد كول اب مسؤولية استخدام الغير للمخرجات أو الاعتماد عليها أو أي قرارات تستند إلى التقرير. ويرجى العلم أن قراء التقرير يتحملون التبعات المترتبة على اعتمادهم على التقرير أو البيانات والمعلومات والنتائج والآراء الواردة فيه.الآراء الواردة هنا تعود إلى 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
© 2023 Guidehouse Germany GmbH

المؤلف

المؤلفون الأساسيون:

أحمد حسن (مجموعة التنمية المتكاملة)

جان غروزينغر ونيسن سورميلي أناك ومصطفى أبونوفل ((Guidehouse

المؤلفون المساهمون:
نورهان الدلال (مجموعة التنمية المتكاملة)
فيليكس هيدل (Öko-Recherche)
ماركوس أوفرمان (Guidehouse)

مراجعة:
محمد صالحين (مجموعة التنمية المتكاملة)
كجيل بيتجنهاوسر(Guidehouse)
باربرا جشري(Öko-Recherche)
سانجيف تامهان (Frankfurt School)

التاريخ:

مارس 2023

جهات الاتصال:

تواصل معنا على: info@coolupprogramme.org.
قم بزيارتنا على موقع: www.coolupprogramme.org.

الفهرس

1- المقدمة **1**

1-1- برنامج كوول اب..... 1

1-2- هدف التقرير ونطاقه..... 2

2- Error! Bookmark not defined.

2-1- التعريفات 3

2-2- فئات المباني وأنواع المعدات في نطاق برنامجCool Up 4

2-3 - النهج المتبع في جمع البيانات..... 5

2-4 - منهجية الحساب 6

2-4-1 7

2-4-2 **Error! Bookmark not defined.**

2-4-3 9

2-4-4 10

2-4-5 10

2-4-6 **Error! Bookmark not defined.**

2-4-7 10

3 -Error! Bookmark not defined.

3-1- سنة الأساس والافتراضات العامة..... 11

3-2- الاحتمال (0) :الإتجاه الحالي..... 12

3-3- الاحتمال (1): الأثر المعتدل..... 13

3-4- الاحتمال: الأثر المرتفع..... 15

3-5- الاحتمال (3) الأثر الشديد..... 15

4- النتائج Error! Bookmark not defined.

4-1- الطلب على الكهرباء..... 17

4-1-1- احتمال الاتجاه الحالي..... 17

4-1-2 - احتمالات التخفيف..... 18

4-2- انبعاثات غازات الدفيئة المباشرة وغير المباشرة 20

4-2-1 - **Error! Bookmark not defined.**

4-2-2 - **Error! Bookmark not defined.**

4-3 التقييم الاقتصادي وتوفير التكاليف..... 26

4-3-1- **Error! Bookmark not defined.**

4-3-2- **Error! Bookmark not defined.**

5 - Error! Bookmark not defined.

الاستنتاج 1: يمثل النمو المرتفع لسوق التبريد وتكييف الهواء تحديات وفرصًا في السوق المصري 32

الاستنتاج 2: يمكن الحد من الانبعاثات بشكل كبير وعكس الاتجاه التصاعدي من خلال اتخاذ تدابير طموحة في الوقت المناسب 33

الاستنتاج 3: يمكن تحقيق وفورات كبيرة في الكهرباء من خلال الاضطلاع بالتدابير الطموحة 33

الاستنتاج 4: يتمثل مفتاح استخدام تقنيات عالية الكفاءة تعمل بمواد التبريد الطبيعية وتجنب التأثيرات التي لا رجعة فيها في اتخاذ الإجراءات الاستباقية وتسريع معدل الخفض السريع 34

الاستنتاج 5: يمكن تحقيق وفورات كبيرة في تكاليف الكهرباء من خلال التدابير الطموحة 35

الاستنتاج 6: تكلفة الوفورات: تقل الأقساط السنوية الإضافية المخصصة لتنفيذ اجراءات التخفيف عن الوفورات في تكاليف الكهرباء 35

الملاحظات الختامية..... 35

الملحق الأول: معلمات المدخلات..... 37
أ-1- تطور المباني القائمة..... 37
أ-2- إجمالي أجهزة تكييف الهواء والتبريد التجاري 37
أ-3 -**Error! Bookmark not defined.**
أ-4- خلائط مواد التبريد **Error! Bookmark not defined.**
أ-5-**Error! Bookmark not defined. -**
أ-6- معدلات الانبعاثات الناجمة عن مواد التبريد عند نهاية العمر الافتراضي 44
أ-7- كفاءة الأنظمة..... 45
أ-8- أسعار التقنيات 45
أ-9- **Error! Bookmark not defined.**
أ-10- معامل الانبعاثات..... 47
6 - المراجع 48

الأشكال

الشكل 1: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 2: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 3: العلاقة بين تكاليف التشغيل السنوية ومعدلات تسرب مواد التبريد من أنظمة تكييف الهواء الصغيرة والأنظمة التجارية 14

الشكل 4: الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي - الطلب على الكهرباء لتبريد الأماكن والتبريد التجاري 2020-2050 **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 5: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 6: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 7: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 8: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 9: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 10: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 11: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 12: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 13: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 14: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 15: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 16: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 17: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 18: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 19: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 20: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 21: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 22: **Error! Bookmark not defined.**

الشكل 23: **Error! Bookmark not defined.**

الجداول

جدول 1: **Error! Bookmark not defined.**

جدول 2: **Error! Bookmark not defined.**

جدول 3: **Error! Bookmark not defined.**

جدول 4: **Error! Bookmark not defined.**

جدول 5: **Error! Bookmark not defined.**

جدول 6: 44

جدول 7: 44

جدول 8: 45

جدول 9: 45

جدول 10: **Error! Bookmark not defined.**

حدول 11: معدل **Error! Bookmark not defined.**

جدول 12: **Error! Bookmark not defined.**

جدول 13: 47

جدول 14: 47

الإختصارات

AC	تكييف الهواء
BSRIA	جمعية بحوث ومعلومات خدمات البناء
CAPEX	النفقات الرأسمالية
CBE	البنك المركزي المصري
CFC	مركبات الكربون الكلورية فلورية
CLASP	البرنامج التعاوني لوضع بطاقات التعريف والمعايير للأجهزة
CO_2	ثاني اكسيد الكربون
COP	معامل الأداء
DC	تبريد المناطق
EE	كفاءة الطاقة
EER	نسبة كفاءة الطاقة
EOL	العمر التشغيلي المحتمل
EU	الاتحاد الأوروبي
EUR	اليورو
GCI	مبادرة التبريد الأخضر
GDP	الناتج الإجمالي المحلي
GHG	غازات الدفيئة
GWP	احتمالية إحداث احترار عالمي
HCFC	مركبات الهيدروكلوروفلوروكربون
HFC	مركبات الهيدروفلوروكربون
HFO	الأوليفينات الهيدروفلورية
IEA	وكالة الطاقة الدولية
IKI	مبادرة المناخ الدولية
IPCC	الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ
kW	كيلوواط
m^2	متر مربع
MENA	الشرق الأوسط وشمال أفريقيا
MEP	الهندسة الميكانيكية والكهربائية والسباكة
MEPS	معايير أداء الطاقة الدنيا
MP	بروتوكول مونتريال
$MtCO_{2\,eq}$	مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن
MW	ميغاواط
NDC	المساهمات المحددة وطنيا

NEEAP	الخطة الوطنية لرفع كفاءة الطاقة
NOU	وحدة الأوزون الوطنية
ODS	المواد المستنفدة للأوزون
OPEX	النفقات التشغيلية
R134a	HFC-123a (رباعي فلورو الإيثان)
R22	22-HCFC (كلورو فلورو الميثان)
R290	290-HC، البروبان (هيدروكربون)
R32	32-HFC (ثنائي فلورو الميثان)
R404A	خليط مكون من المركبات الهيدروفلوروكربونية : R143a (ثلاثي فلورو الإيثان)، R125 (خماسي كلور الإيثان)، R134a (رباعي فلورو الإيثان)
R407C	خليط مكون من المركبات الهيدروفلوروكربونية R32 (ثنائي فلورو الميثان)، 125R (خماسي فلورو الإيثان)، و R134a (رباعي فلورو الإيثان)
R410A	خليط مكون من مركبات الهيدروفلوروكربون R32(ثنائي فلورو الميثان) و 125R (خماسي فلورو الإيثان)
R600a	HC-600a، أيزوبيوتان (مركب هيدروكربون)
R717	717-3NH، الأمونيا (مبرد طبيعي)
R718	ماء (مبرد طبيعي)
R744	ثاني اكسيد الكربون
RAC	التبريد وتكييف الهواء
RCREEE	المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة
RE	الطاقة المتجددة
RTOC	لجنة الخيارات التقنية للتبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية.
R&D	البحث والتطوير
UAC	تكييف الهواء الوحدوي
UNDP	برنامج الأمم المتحدة الإنمائي
UNEP	برنامج الأمم المتحدة للبيئة
UNIDO	منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية
VRF	نظام التبريد متغير التدفق
W	واط

1- مقدمة

مع احتمال 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 استخدام 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 اب Cool Up

يشجع برنامج كوول اب على التغيير التكنولوجي المتسارع والتنفيذ المبكر لتعديل كيغالي على بروتوكول مونتريال واتفاقية باريس، في كل من مصر والأردن ولبنان وتركيا. ويركز البرنامج على تمكين نشر مواد التبريد الطبيعية والحلول الموفرة للطاقة للتخفيف من آثار ارتفاع الطلب على التبريد. ويعتمد نهج كول أب على أربع ركائز: خفض الطلب على التبريد، والخفض التدريجي لمركبات الهيدروفلوروكربون، واستبدال وإعادة تدوير المعدات ومواد التبريد غير الفعالة، و التدريب، وزيادة الوعي.

ويركز نهج برنامج كوول اب متعدد القطاعات على قطاع تكييف الهواء السكني والتجاري وقطاع التبريد التجاري.

ويهدف البرنامج إلى تطوير قدرات مؤسسية مستدامة والتوسع في نشر تقنيات التبريد المستدامة في السوق. و من أجل التمكين من تحول سوق التبريد نحو تقنيات التبريد المستدامة، يضطلع برنامج كوول اب بما يلي:

- تعزيز الحوار متعدد القطاعات بين الجهات الفاعلة الوطنية بهدف تعزيز الإحساس بالمسؤولية بينهم لدعم التأثيرات طويلة المدى
- تطوير الإجراءات المتعلقة بالسياسات العامة لخلق بيئة تنظيمية داعمة.
- وضع آليات مالية وهياكل تمويلية للتمكين من تحول سوق التبريد.
- دعم النشر التجاري التقنيات الحالية والناشئة التي تستخدم مواد تبريد طبيعية وتعميم استخدامها.
- توفير الموارد لتنمية القدرات في مجال التبريد المستدام في البلدان الشريكة الأربعة.

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 Cool Up 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
- التقنيات والأسواق
- التمويل ونماذج الأعمال

[1] BP Energy Economics, "BP Energy Outlook 2018 Edition," https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pdf

1-1- هدف التقرير ونطاقه

تقرير احتمالات قطاع التبريد هو واحد من سلسلة من التقارير التي نشرها برنامج كوول اب. نُشرت بالفعل تقارير حول أربعة مواضيع:[2]

- حالة قطاع التبريد
- التحليل التنظيمي
- تقييم سوق التمويل
- كتالوج الحلول التقنية للتبريد المستدام

تستند مدخلات البيانات لتقرير احتمالات قطاع التبريد[3] إلى تقارير حالة قطاع التبريد والتحليل التنظيمي لبرنامج كوول أب [4]

تهدف دراسة احتمالات برنامج كوول أب إلى تطوير اتجاه حالي واحد وثلاثة احتمالات تخفيف مع بدائل مختلفة للانتقال. تشمل أهدافها إنشاء:

- فهم مسارات التنمية المستدامة الممكنة لقطاع تكييف الهواء وقطاع التبريد التجاري، وكذلك
- أساس تطوير السياسات والتدابير المالية

توفر هذه الدراسة:

- أساس لأرصدة أجهزة تكييف الهواء وأنظمة التبريد التجاري الحالية والمستقبلية
- احتمالات الانبعاثات وتوفير الطاقة الإجمالية في عام 2050 نتيجة لاحتمالات التخفيف بناءً على زيادة استخدام التطبيقات المستدامة والفعالة في استهلاك الطاقة مقارنةً باحتمالات أو احتمالات الاتجاه الحالي
- التكاليف المرتبطة وفورات التكلفة المحتملة

ويمكن تقسيم التقرير على النحو التالي:

- يوضح الفصل 2 المنهجية المتبعة ومعلومات خط الأساس وطريقة الصياغة
- يوضح الفصل 3 الاحتمالات المختلفة التي تم صياغتها وتحليلها خلال هذه الدراسة وفي برنامجCool Up
- يقدم الفصل 4 نتائج التحليل وصياغة المخرجات

يلخص الفصل 5 النتائج الأساسية والاستنتاجات الرئيسية

تقرير الاحتمالات القطاعية مدعوم أيضًا بملحق يسرد معلمات الإدخال المختلفة المستخدمة في الدراسة.

[2] "Cool Up Knowledge Base: Egypt," Cool Up Programme, https://www.coolupprogramme.org/knowledge-base/?filters%5Boverview%5D=knowledge-base&filters%5Bcountry%5D%5B%5D=219&filters%5Bcategory%5D%5B%5D=reports&page_size=8&_page=1

[3] Norhan El Dallal et al., "Cooling Sector Status Report Egypt: Analysis of the current market structure, trends, and insights on the refrigeration and air conditioning sector" (Cool Up Programme, 2022), https://www.coolupprogramme.org/knowledge-base/reports/cooling-sector-status-report-egypt/

[4] Norhan El Dallal, Eslam M. Mahdy Youssef, and Katja Dinges, "Regulatory Analysis Egypt: Analysis and recommendations for the regulatory and policy instruments governing the RAC sector" (Cool Up Programme, 2022), https://www.coolupprogramme.org/knowledge-base/reports/regulatory-analysis-egypt/

2 - المنهجية المُتبعة

كانت الخطوة الأولى في تطوير دراسة احتمالات قطاع التبريد هي تكوين فهم لحالة قطاع التكييف والتبريد التجاري.

2-1- التعريفات

يستخدم برنامج كوول اب التعريفات التالية:

- تكييف الهواء (يشار إليه غالبًا باسم مكيف الهواء) هو عملية إزالة الحرارة والرطوبة من المساحات الداخلية.
- الأقساط السنوية هي عبارة عن سلسلة من المدفوعات التي يتم سدادها على فترات متساوية (سنويًا) يتم فيها توزيع صافي القيمة الحالية (NPV) للاستثمار في السنة المقابلة بالتساوي على جميع الفترات (العمر الافتراضي للمعدات) مع مراعاة القيمة الزمنية للأموال [5].
- تخزين التبريد التجاري ويشمل غرف التخزين المبرّدة على نطاق تجاري، والتي عادة ما تكون مجهزة بوحدات تكثيف أو وحدات مركزية بسعة تصل إلى 200 كيلو وات. وتعمل كمخزن لمنتجات الأغذية والمشروبات وتختلف عن التخزين البارد على النطاق الصناعي المُستخدم في معالجة الأطعمة والمشروبات وتخزينها أو في عمليات تصنيع البتروكيماويات والكيماويات والأدوية. ويمكن أن تتراوح سعة هذه الأنظمة من 5 ميغاواط إلى 30 ميغاواط[6] .
- نطاق التبريد التجاري ويشمل الأنظمة الثابتة المستخدمة لتخزين الأطعمة والمشروبات وعرضها في منافذ البيع بالتجزئة (متاجر السوبر ماركت والمتاجر) ويستخدمها مقدمي الخدمات الغذائية (المطاعم والفنادق) ولا يشمل عمليات التبريد ذاتها. ويُعرّف برنامج الأمم المتحدة للبيئة أنظمة التبريد التجاري على أنها أنظمة تتضمن عادةً وحدات مستقلة أو مركزية أو وحدات تكثيف لا تتجاوز سعتها في الغالب 200 كيلو واط، والتي تحافظ على درجات الحرارة بين -25 درجة مئوية و8 درجات مئوية[7] .
- وحدة التبريد ايام - وحدة التبريد يوم (CDD) هو قياس مصمم لتحديد الطلب على الطاقة اللازمة لتبريد المباني. ويعني عدد الدرجات التي يزيد فيها متوسط درجة حرارة اليوم عن 18 درجة مئوية). يتم حسابها على النحو التالي: متوسط درجة الحرارة اليومية (MDT) = (درجة الحرارة اليومية المرتفعة + درجة الحرارة المنخفضة اليومية) / 2 ؛ CDD = MDT - 65 درجة فهرنهايت.[8]
- انبعاثات غازات الدفيئة المباشرة وترتبط بغاز التبريد المفقود عند تشغيل كل جهاز (تسرب مادة التبريد، وتشغيل الأجهزة بعد انتهاء عمرها الافتراضي وعند التخلص منها).
- نسبة كفاءة استخدام الطاقة لكل واط تقيس كفاءة استخدام الطاقة لأجهزة التبريد بالواط .(W) ويتوافق تصنيف نسبة كفاءة استخدام الطاقة الأعلى مع كفاءة أعلى في استخدام الطاقة.
- التبريد المستدام وهو تبريد ميسور التكلفة وآمن يلبي احتياجات المستخدم بأقل تأثير ممكن على البيئة. ما يعني على وجه التحديد عدم استخدام مواد التبريد الضارة بيئيًا (مثل الغازات المفلورة) وانخفاض استهلاك الطاقة (بما في ذلك كفاءة الاستخدام العالية) والاستعداد على الأقل لاستيعاب إمدادات الطاقة المتجددة بالكامل.
- تتعلق انبعاثات غازات الدفيئة غير المباشرة بتوليد الكهرباء المستخدمة للتبريد.
- مواد التبريد المتوسطة إلى منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي وتستخدم لوصف مواد التبريد التي تقل قدرتها على إحداث الاحترار العالمي عن 750) على سبيل المثال مادة R32.
- اختراق السوق: يشير إلى معدل انتشار أجهزة التبريد، ويُعرف على أنه حصة الوحدات السكنية والمباني غير السكنية التي تستخدم نظام تكييف واحد على الأقل.
- تشبع السوق: يعرّف Mc Neil تشبع السوق على أنه دالة على التوافر (الدخل) والمناخ وحدة التبريد أيام-

[5] CFI Team, "Equivalent Annual Annuity (EAA)," Corporate Finance Institute, https://corporatefinanceinstitute.com/resources/wealth-management/equivalent-annual-annuity-eaa/

[6] United Nations Environment Programme, "2018 Report of the Refrigeration, Air Conditiong and Heat Pumps Technical Options Committee: 2018 Assessment" (United Nations Environment Programme, Kenya, 2019), https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-04/RTOC-assessment-report-2018_0.pdf

[7] Definition based on United Nations Environment Programme, *Presession Documents: Workshop on Hydrofluorocarbon Management* (2015)

[8] Gordon Scott, "Cooling Degree Day (CDD)," Investopedia, https://www.investopedia.com/terms/c/colddegreeday.asp; "Understanding Heating and Cooling Degree Days," Brightly, https://help.dudesolutions.com/Content/Documentation/Energy/UtilityDirect/Reporting/Understanding%20Heating%20and%20Cooling%20Degree%20Days.htm

حيث يمثل التوافر القدرة على تحمل تكاليف تكييف الهواء للأسر وهو دالة على دخل الأسرة ويعتبر الحد الأقصى للمناخ دالة على وحدة التبريد يوم.[9] فقًا لـ Mc Neil، فإن ملكية مكيف الهواء تقترب من الحد الأقصى من تشبع السوق المعتمد على المناخ ولكن لا تتجاوزه أبدًا. وبالنسبة للأسواق غير الناضجة، فإن معدل الملكية يهيمن على ديناميكيات القدرة على تحمل التكاليف (الدخل). بالنسبة للأسواق الناضجة، تكون مستويات الملكية قريبة من التشبع، فإن المبيعات مدفوعة إلى حد كبير بالبدائل، وزيادة السكان (إنشاءات جديدة للمباني)، وملكية أجهزة متعددة.[10]

- مواد التبريد الطبيعية هي مواد تبريد غير اصطناعية يمكن العثور عليها في الطبيعة، ولكن يجب أن تفي بمواصفات معينة (أي النقاء) قبل أن يمكن استخدامها كمواد تبريد.
- يشمل قطاع المباني غير السكنية المكاتب العامة والخاصة والتعليم والصحة والمباني الاجتماعية والفنادق والمطاعم وتجارة الجملة وتجارة التجزئة والمباني الأخرى (مثل المرافق الرياضية). ولكن لا يتم تضمين المباني والمستودعات الصناعية والزراعية والسمكية.

قطاع التبريد وتكييف الهواء

- التبريد: التبريد المنزلي والتجاري والصناعي والنقل
- مكيفات سكنية وتجارية (بما في ذلك المبرد)
- قطاع الخدمات لتكييف الهواء

- يتكون قطاع المباني السكنية من مباني لأسرة واحدة ومباني لعدة أسر.
- مواد التبريد الاصطناعية هي مواد من أصل اصطناعي (لا توجد بشكل طبيعي). وتشمل مواد التبريد تلك كل من مركبات الهيدروكلوروفلوروكربون ومركبات الهيدروفلوروكربون ضمن مواد أخرى.

2-2- فئات المباني وأنواع المعدات في نطاق برنامج Cool Up

قطاع تكييف الهواء

يركز برنامج كوول اب على قطاع التكييف التجاري والسكني.

- فئات المباني: يركز برنامج Cool Up على قطاع المباني السكنية، ويشمل المباني التي تسكن بها أسرة واحدة أو أكثر، وقطاع المباني غير السكنية، أي المكاتب العامة والخاصة ومرافق التعليم والصحة والمنشآت الاجتماعية والفنادق والمطاعم ومحال تجارة الجملة والتجزئة وغيرها (مثل المنشآت الرياضية).
  - أنواع المعدات (أنظمة تكييف الهواء): على الرغم من وجود العديد من التقنيات المختلفة في السوق، إلا أنه يمكن حصرها في قطاعات التكنولوجيا الرئيسية التالية والتي تُستخدم لوصف خصائص السوق [11]. ويمكن تقسيم أنظمة تكييف الهواء عمومًا إلى أنظمة مركزية وأنظمة لامركزية.
  - يقوم تكييف الهواء الأنبوبي بالتبريد (أو التدفئة) من خلال شبكة أنابيب. وتتكون الوحدة المركزية من ضاغط (كومبرسور) ومكثف ووحدة مداولة الهواء، ويوضع عادة في الشقيفة أو البدروم. ويُوزع الهواء البارد (أو الساخن) في أنحاء المبنى من خلال شبكات الأنابيب وفتحات التهوية. وتسمى هذه الشبكات أيضًا بأنظمة تكييف الهواء المركزية والتي يمكن تصنيفها على نطاق واسع إلى نوعين: مكيفات الهواء المركزية المنفصلة (سبليت) (نظام الفصل الأنبوبي / duct split) ومكيفات الهواء المركزية المعبأة (متعددة المناطق).[12]

[9] Michael A. McNeil and Virginie E. Letschert, "Future Air Conditioning Energy Consumption in Developing Countriesand what can be done about it: The Potential of Efficiency in theResidential Sector," Conference: ECEEE Buildings Summer Study 2007, Colle SurLoup, France, June2-6, 2007 (Lawrence Berkeley National Lab. (LBNL), Berkeley, CA, 2007), https://www.osti.gov/servlets/purl/927342.

[10] Ibid.

[11] Primary sources for these definitions are:
United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat, "FACT SHEET 7 Small Self Contained Air Conditioning" (UNEP Ozone Secretariat, Bangkok, 2015)
United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat, "FACT SHEET 8 Small Split Air Conditioning" (UNEP Ozone Secretariat, Bangkok, 2015)
United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat, "FACT SHEET 9 Large Air-Conditioning (air-to-air)" (UNEP Ozone Secretariat, Bangkok, 2015); United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat, "FACT SHEET 10 Water chillers for air conditioning" (2015)
United Nations Environment Programme, "2018 Report of the Refrigeration, Air Conditiong and Heat Pumps Technical Options Committee"

[12] CIELO, "Ducted vs. Ductless Air Conditioning Systems," https://www.cielowigle.com/blog/ducted-vs-ductless-air-conditioning-systems/

- وحدات منفصلة (سبليت): تتكون الأنظمة المنفصلة الفردية (سبليت) من وحدة داخلية وأخرى خارجية وتوفر تكييفًا لمنطقة داخلية واحدة.
- أنظمة التبريد متغيرة التدفق متعددة الوحدات المنفصلة :(Multi-split)تتكون الأنظمة متعددة الوحدات المنفصلة من وحدة خارجية واحدة وعدة وحدات داخلية. وتعد تلك الأنظمة من النظم المتطورة متعددة الوحدات. ويمكن لعدة وحدات خارجية أن تدعم العديد من الوحدات الداخلية (حتى 64 وحدة)، ويمكن ضبط الوحدات الداخلية بشكل فردي.
- لوحدات الطرفية المعبأة (مثل مكيفات السطح): توضع جميع مكونات الجهاز في صندوق واحد. وعادةً ما تركب الوحدات المعبأة في الأماكن المفتوحة (على الأسطح والشُرف) وتوفر التبريد عن طريق توصيل الهواء المكيف إلى مساحة داخلية واحدة أو أكثر.
- المبردات: تُمثل وحدات التوليد المركزية الباردة جزءا من نظام التكييف المركزي، والتي يمكن تصنيفها إلى ثلاث مجموعات:
  1- مبرّد قائم على التبريد بالماء المضغوط
  2- مبرّد قائم على التبريد بالهواء المضغوط
  3- مبردات الإشتراب (الامتصاص أو الامتزاز)

- توصل المبرّدات بنظم توزيع وتوصيل المياه/المحلول الملحي (مثل وحدات ملف المروحة أو المبادلات الحرارية أو وحدات مناولة الهواء) .

قطاع التبريد التجاري

يركز برنامج كوول أب على قطاع التبريد التجاري، أما التبريد المنزلي والصناعي غير مشمولين في نطاق البرنامج.

- فئات المباني: يركز على متاجر الزوايا والمطاعم ومتاجر السوبر ماركت والفنادق، التي تشتمل على مناطق التخزين بالتبريد.
- أنواع المعدات (أنظمة التبريد التجارية): تتمثل الأنواع الثلاثة الرئيسية للمعدات[13]في: جهاز مستقل، ووحدات تكثيف، وأنظمة مركزية (لمتاجر السوبر ماركت)، وتُستخدم أنواع المعدات المختلفة في فئات المباني المختلفة:
  - تفضل معظم متاجر السوبر ماركت المتوسطة والكبيرة استخدام الأنظمة المركزية لأنها عادة ما تكون أكثر كفاءة في إدارة استهلاك الطاقة من وحدات التكثيف والثلاجات المستقلة. وتتراوح مساحة منطقة البيع في متاجر السوبر ماركت التي تستخدم نظام تبريد مركزي من 400 متر مربع إلى 20,000 متر مربع.
  - يشيع استخدام وحدات التكثيف في المتاجر المتوسطة والصغيرة، وغالبًا ما توجد في منافذ بيع الوجبات السريعة والمطاعم والحانات ومتاجر الزاوية، وهي تسمح بتوصيل عدد أقل من الخزانات بالنظام، وتشغل مساحة أقل، وعادة ما تكون أسهل في التركيب، مقارنةً بالنظام المركزي.
  - عادةً ما تكون أنظمة التبريد المستقلة أنظمة قائمة بذاتها، مثل مجمدات الآيس كريم وصناديق العرض وماكينات البيع، وغالبًا ما تُوصف بأنها وحدات مستقلة لأنها أنظمة مغلقة لا تتطلب قدرًا كبيرًا من أعمال التركيب.

2 -3 – النهج المتبع في جمع البيانات

تم جمع البيانات الخاصة بهذه الدراسة أثناء إعداد تقرير حالة قطاع التبريد. ويمكن الاطلاع على النهج التفصيلي والمصادر المختلفة المستخدمة في تقرير حالة قطاع التبريد.[14]

أُستقيت البيانات الرئيسية من مقابلات الخبراء المنعقدة في مصر. وأُجريت المقابلات مع مجموعة متنوعة من الخبراء الذين يمثلون الشركات المصنعة وشركات التجميع وشركات البيع بالجملة والمهندسين ومستشاري الهندسة الميكانيكية والكهربائية والسباكة ومطوري المشاريع

[13] United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat 2015b

[14] El Dallal et al. 2022a

استقيت البيانات الثانوية من مجموعة متنوعة من المنشورات التي تغطي المصادر الإحصائية الوطنية والدولية والوثائق الوطنية (مثل خطة التبريد الوطنية في لبنان [15]أو مخزون المركبات الهيدروفلوروكربون في مصر من منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية (اليونيدو))[16] ، شركات أبحاث السوق (مثل أبحاث خدمات البناء وجمعية المعلومات (BSRIA) مصر[17] (، ومراجعة الأدبيات، ومعلومات إقليمية مثل البرنامج التعاوني لوضع العلامات ومعايير الأجهزة (CLASP) [18]أو المركز الإقليمي لسياسة الطاقة المتجددة وكفائة الطاقة. [19]

اشتمل نهج جمع البيانات هذا على بعض القيود مثل النقص الجزئي في الأساليب المنهجية لجمع البيانات (مثل البيانات المتعلقة باستهلاك مركبات الهيدروفلوروكربون، وأساس بيانات التكنولوجيات المستخدمة خاصة في قطاع التبريد التجاري)، فضلًا عن صعوبة الوصول إلى البيانات الرسمية وعدم توافر معلومات أساسية حول البيانات المتاحة، ونطاقات واسعة من البيانات حول النقطة نفسها في مصادر مختلفة. ونظرًا لحالة البيانات في قطاعات التبريد وتكييف الهواء الفرعية المذكورة أعلاه، يقر هذا التقرير بوجود فجوات في البيانات المُستقاة من مصادر مختلفة ما يؤدي إلى وجود تناقضات. ولتقليل تلك الفجوات، تبنى برنامج Cool Up أساليب مختلفة مثل تحليل مصادر البيانات المختلفة والتقييم المتقاطع وتحليل الموثوقية والاستعانة بآراء الخبراء.

استُخدمت العديد من الاستراتيجيات للتعامل مع محدودية البيانات. وفي حالة عدم توفر قيم خاصة بالبلد، تُعالج فجوات البيانات باستخدام المعلومات المُستقاة من الدراسات العالمية مثل تلك الصادرة عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ،[20] ووكالة الطاقة الدولية [21] ولجنة الخيارات التقنية للتبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية ومعهد روكي ماونتن [22] والبرنامج التعاوني لوضع بطاقات التعريف والمعايير للأجهزة [23]وكذلك باستخدام بيانات نموذج عالمي طورته مبادرة التبريد الأخضر[24] بالإضافة إلى المعلومات التي قدمتها مقابلات الخبراء.

يقدّر النموذج العالمي الذي طورته مبادرة التبريد الأخضر[25] البيانات حول المعدات المركبة في بيانات حول أجهزة التبريد وتكييف الهواء المستخدمة في إجمالي عدد المباني الحالية والمبيعات. كما يقدم احتمالات عن أنظمة تكييف الهواء (وكذلك المبرّدات) وأنظمة التبريد التجاري. ويتناول النموذج أيضًا القطاعات الفرعية الأخرى في مجال التبريد وتكييف الهواء. ونظرًا لتبني النموذج نهجًا عالميًا، تتأثر القيم الخاصة بكل بلد بدرجة مختلفة من عدم اليقين.يسلط النقص الملحوظ في البيانات الشاملة عن الاتجاهات الحالية في سوق التبريد وتكييف الهواء في البلدان الشريكة الضوء على الحاجة إلى مزيد من التقييمات وجمع البيانات بشكل منهجي.

ستُراقب معلمات البيانات الرئيسية طوال مدة البرنامج وستنعكس في تحديثات أنشطة البرنامج والتوصيات.

[15] National Ozone Unit Lebanon, "Guidance for Integrating Efficient Cooling in National Policies in Lebanon" (2021), https://www.lb.undp.org/content/lebanon/en/home/library/guidance-for-integrating-efficient-cooling-in-national-policies-.html

[16] United Nations Industrial Development Organization, "HFC Inventory of Jordan" (2018), https://www.ccacoalition.org/en/resources/jordan-hfc-inventory

[17] The Building Services Research & Information Association, "Split Systems 2018: Egypt" Report 61099/2 (BSRIA, Bracknell, 2018)

[18] Frank Klinckenberg and Winton Smith, "Scoping Study for Commercial Refrigeration Equipment: Mapping and Benchmarking Project - Results" (KLINCKENBERG CONSULTANTS; PUDDLE CONSULTANCY; Collaborative Labeling and Appliance Standards Program (CLASP), 2012)

Paul Waide, Sietze van der Sluis, and Thomas Michineau, "CLASP Commercial refrigeration equipment: mapping and benchmarking" (Waide Strategic Efficiency Ltd; CLASP, 2014)

[19] Regional Center for Renewable Energy and Energy Efficiency, "Field survey results for AC market in Egypt" (2019)

[20] Intergovernmental Panel on Climate Change, "Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Chapter 2: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing" (Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007), https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter2-1.pdf

[21] International Energy Agency, "The Future of Cooling - Opportunities for energy efficient air conditioning" (International Energy Agency (IEA), 2018)

[22] Iain Campbell, Ankit Kalanki, and Sneha Sachar, "Solving the Global Cooling Challenge: How to Counter the Climate Threat from Room Air Conditioners" (2018), https://rmi.org/wp-content/uploads/2018/11/Global_Cooling_Challenge_Report_2018.pdf

[23] Waide, van der Sluis and Michineau, "CLASP Commercial refrigeration equipment: mapping and benchmarking"

[24] Green Cooling Initiative, "Global greenhouse gases emissions from the RAC Sector," Green Cooling Initiative, accessed September 1, 2021, https://www.green-cooling-initiative.org/country-data/#!total-emissions/all-sectors/absolute. The model estimates data on installed equipment in the stock (as well as sales figures) for AC cooling equipment and for the commercial refrigeration sector.

[25] Green Cooling Initiative, "Global greenhouse gases emissions from the RAC Sector"

4-2 - منهجية الحساب

أستخدم نهج النمذجة متعدد الخطوط من أسفل إلى أعلى خلال هذه الدراسة لحساب ما يلي:

- تطوير أجهزة التكييف والتبريد التجاري (المخزون والمبيعات). انظر الملحق 1: معايير المدخلات
- الطلب النهائي على الطاقة وتأثيرات الكفاءة (بما في ذلك الانبعاثات غير المباشرة والوفورات)
- الانبعاثات المباشرة والوفورات (تأثير التحول إلى مواد التبريد الطبيعية وتقليل معدل التسرب)
- إجمالي التكاليف السنوية المكافئة (تكاليف التشغيل السنوية وتكاليف رأس المال (الأقساط السنوية))
- وفورات التكاليف الممكنة عبر الاحتمالات المختلفة

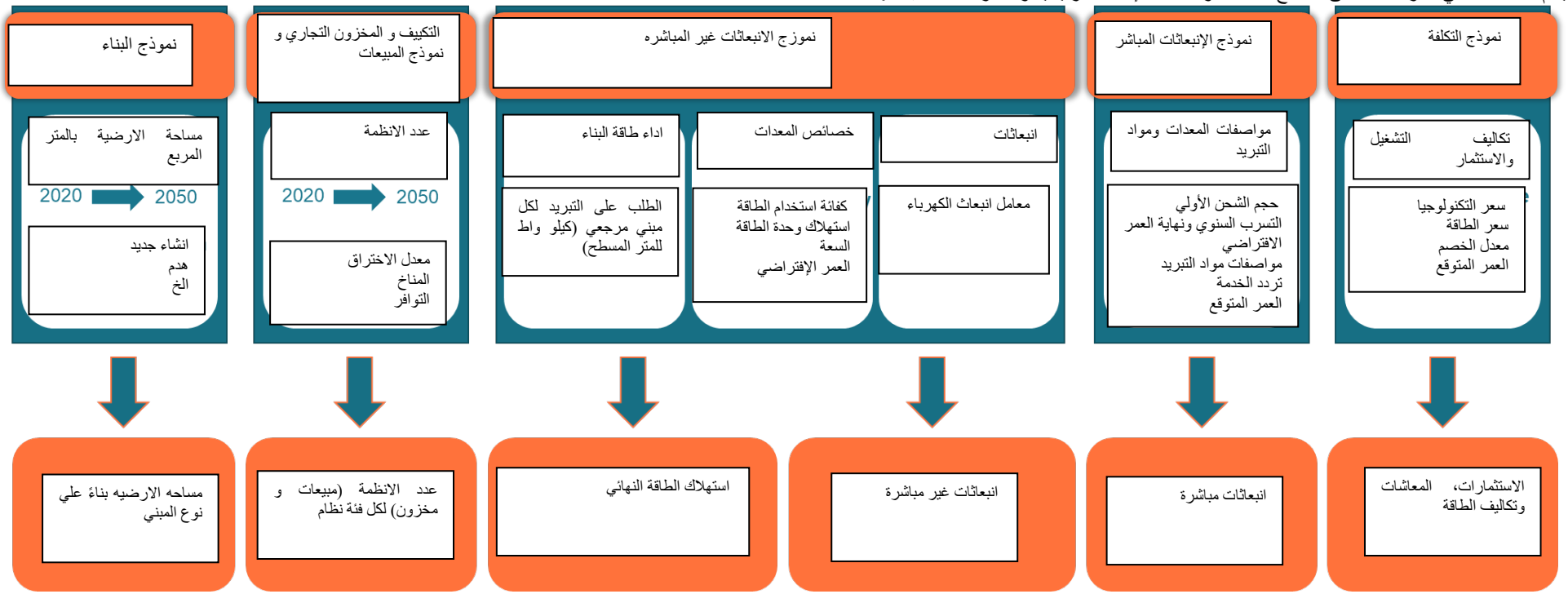
4-2-1 - نظرة عامة على منهجية الحساب والمخرجات

أستخدمت نماذج متعددة طوال الدراسة لإنتاج المخرجات الرئيسية التالية:

- تطوير مجمل المباني الحالية (عدد المباني والمساحات المكيفة). انظر الملحق 1
- تطوير أجهزة التكييف والتبريد التجاري (المخزون والمبيعات). انظر الملحق 1
- الطلب النهائي على الطاقة لكل قطاع فرعي. انظر الفصل 4-1
- الانبعاثات غير المباشرة والمباشرة لكل قطاع فرعي. انظر الفصل 4-2
- إجمالي تكاليف الأقساط السنوية لكل قطاع فرعي. انظر الفصل 4-3
- تكاليف الكهرباء ووفورات التكاليف المحتملة. انظر الفصل 4-3

تسهم النماذج المستخدمة في التوصل إلى هذه المخرجات من عام 2020 حتى عام 2050 وتشمل أربعة احتمالات مختلفة موصوفة في الفصل 3 التالي.

يقدم الشكل 1 التالي نظرة عامة على النماذج المختلفة ومعلمات الإدخال الرئيسية والمخرجات المقابلة لها.



الشكل 1 منهجية الحساب والنماذج والمخرجات المقابلة

2-4-2 - محركات الطلب على التبريد

يخضع الطلب على التبريد والحاجة إلى أنظمة تكييف الهواء للعديد من العوامل التي تؤثر على تطورهما في كلا الجانبين بناءً على الوضع الخاص بكل بلد. وخلال هذه الدراسة، أُخذت العوامل المؤثرة التالية بعين الاعتبار لتقدير النتائج:

- **النمو السكاني –** يؤثر على العدد الإجمالي للأسر وكذلك عدد الأفراد لكل أسرة ما يؤثر على الطلب على التبريد.
- **معدلات التوسع الحضري** - عادة يزيد احتمال اقتناء الأسر التي تسكن المناطق الحضرية لمكيفات الهواء أو وحدات التبريد فضلًا عن زيادة استخدام هذه الأجهزة.
- **تغير المناخ** - مع استمرار تغير المناخ، من المرجح أن تزيد درجات الحرارة في المنطقة ما يؤدي إلى زيادة الطلب على أجهزة التبريد.
- **النمو الاقتصادي** - ستؤدي زيادة النمو الاقتصادي إلى دفع الطلب في قطاع التبريد وتكييف الهواء إذ يلاحظ تقدم النشاط الاقتصادي. وبالمثل، ستؤدي زيادة أعداد الأسر الثرية إلى زيادة متوسط مساحة المسكن، وارتفاع معدلات استخدام مكيفات الهواء وهو الأمر الذي يمكن ملاحظته عادةً في الوحدات الكبرى التي تعمل لفترة أطول وتزيد حصة المساحات السكنية المكيفة.
- في ظل تزايد الثروة، يزداد **الطلب على إمكانات توفير الراحة المناخية في الأماكن المغلقة** وكذلك يُراعى الأمر في **جوانب تصميم المباني**. وهذا بدوره يساهم في النمو الأنظمة (المركزية) المستمر.

2-4-3- سوق التبريد وتكيف الهواء المستقبلي والمباني المستقبلية

كخطوة أولى، تم إعداد تصور حول احتمالات أعداد المباني المستقبلية وحالة سوق أنظمة تكييف الهواء والتبريد التجاري في المستقبل. واستلزم ذلك التنبؤ بالمبيعات وتطور حالة المباني من حيث زيادة مبيعات وتركيب أجهزة التكييف وزيادة حصة المساحات المكيفة وإجمالي عدد المباني والنمو السكاني. ويعتمد الطلب السنوي على التكييف على نموذج حساب إجمالي عدد المباني بشكل تصاعدي وكذلك يُستخدم التنبؤ بمعدل التشبع من أجل إعداد تصور حول الطلب على أنظمة تكييف الهواء. ويعتمد التشبع الكثيف على عوامل الاقتصاد الكلي مع مراعاة القدرة على تحمل التكاليف. ووفقًا لتقرير إم سي نيل[26] وتقرير **The Future of Cooling** [27] (مستقبل التبريد) الصادر عن وكالة الطاقة الدولية (**IEA**)، يرتفع معدل اقتناء الأسرة لأجهزة التكييف مع التطور الاقتصادي وزيادة دخل الأسرة. وعلاوة على ذلك، يُحدد الحد الأقصى للتشبع باستخدام أقصى تشبع مناخي كما قدمه إم سي نيل [28]. وفيما يتعلق بالأسواق الناضجة حيث تقترب مبيعات أنظمة التكييف الجديدة من مستوى تشبع السوق، فإن المبيعات مدفوعة إلى حد كبير بعمليات الاستبدال وزيادة عدد السكان وزيادة المساحات المكيفة لكل أسرة. وفي البلدان النامية من ناحية أخرى، ستهيمن ديناميات القدرة على تحمل التكاليف على إجمالي المباني والشحنات. ويتمثل الجانب الثاني في الاعتماد على المناخ.

وكانت الخطوة الثانية تحديد أنظمة التبريد التجاري وتكييف الهواء النموذجية (بما في ذلك السعة النموذجية والكفاءات ونطاقات حجم شحن غاز التبريد). واستنادًا لهيكل النموذج القديم، تم تحديد التقنيات في الفئات الرئيسية الثلاث التالية:

- **قطاع التكييف السكني:**
  - الأنظمة اللامركزية: مكيفات هواء الغرف؛ أنظمة مجاري الهواء ذات الانقسام الفردي
  - الأنظمة المركزية: أنظمة مجاري الهواء والأنظمة بلا مجاري؛ وحدة منفصلة ذو مجرى واحد، وحدات فوق السطح، وحدات متعددة الانقسام.
- **مكيفات القطاع غير السكني:**
  - الأنظمة اللامركزية
  - الأنظمة المركزية
  - المبرّدات
- **قطاع التبريد التجاري:**
  - الوحدات المستقلة: ثلاجات ومجمدات قائمة بذاتها (ذاتية التوصيل)
  - وحدات التكثيف
  - الأنظمة المركزية

[26] McNeil and Letschert, "Future Air Conditioning Energy Consumption in Developing Countries and what can be done about it: The Potential of Efficiency in the Residential Sector"
[27] International Energy Agency, "The Future of Cooling - Opportunities for energy efficient air conditioning"
[28] McNeil and Letschert, "Future Air Conditioning Energy Consumption in Developing Countries and what can be done about it: The Potential of Efficiency in the Residential Sector"

يمكن نمذجة احتمالات الاتجاه الحالي وكذلك الاحتمالات الافتراضية لتقدير الوفورات المحتملة من خلال تخصيص افتراضات المدخلات. ويمكن الاطلاع على افتراضات المدخلات مثل الكفاءة الحالية والمستقبلية أو مزيج مواد التبريد وافتراضات المدخلات الرئيسية الأخرى في الملحق 1-4.

2-4-4- الانبعاثات المباشرة

يعتمد النموذج على إجمالي الأجهزة المستخدمة سنويًا ومبيعات الأجهزة الجديدة ومكيفات الهواء وأجهزة التبريد التجاري التي بلغت نهاية العمر الافتراضي. وباتباع منهجية حساب تصاعدية، يحسب النموذج الاستهلاك السنوي لمركبات الهيدروفلوروكربون على أساس الكميات المستخدمة لشحن الأجهزة الجديدة للمرة الأولى وصيانة الأجهزة المستخدمة (إعادة شحن الكميات المتسربة) بالإضافة إلى الانبعاثات السنوية في الغلاف الجوي الناجمة عن مواد التبريد بسبب تسريب الأجهزة والانبعاثات الناتجة عن التخلص منها عند نهاية العمر الافتراضي. ونظرًا لقدرة مواد التبريد على إحداث الاحترار العالمي، يتم النظر في قيم تقرير التقييم الرابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (AR4).

2-4-5 -الطلب النهائي على الطاقة

من خلال تطبيق متوسط مساحات المباني لأنظمة تكييف الهواء والمساحات المكيفة لكل نظام تكييف، يحسب النموذج مقدار المساحات المكيفة في سنة معينة لكل نوع مبنى. وتمثل هذه المعلمة إذن الأساس لحساب الطلب على الطاقة.

ويمكن بعد ذلك دمج أرقام المبيعات وإجمالي أنظمة التبريد التجارية المستخدمة مع متوسط الطلب على الطاقة لكل نظام تمامًا مثل نظام نهج تكييف الهواء.

2-4-6- الانبعاثات غير المباشرة

يتم حساب الانبعاثات غير المباشرة بضرب قيمة الطلب على الطاقة في معامل انبعاث شبكة الكهرباء. وتمت مراعاة الانخفاض المستقبلي في معامل الانبعاث. لمزيد من التفاصيل يمكن الاطلاع على الملحق 1-10.

2-4-7- التقييم الاقتصادي وتوفير التكاليف

يتمثل الهدف من التقييم الاقتصادي في تحديد وفورات تكلفة الكهرباء، وتشمل التكلفة الإضافية لتنفيذ احتمالات التخفيف (الأقساط السنوية) وأخيراً التكلفة الإجمالية لاحتمالات التخفيف مقارنة باحتمالات الاتجاه الحالي. ويسمح نهج التكلفة الإجمالية بمقارنة إجمالي التكاليف السنوية لتنفيذ احتمالات التخفيف. إن إجمالي التكاليف السنوية هو مجموع النفقات التشغيلية (تكاليف الكهرباء) والنفقات الرأسمالية (الأقساط السنوية). وتشكل الأقساط السنوية استثمارات مقسمة على الدفعات السنوية مع الأخذ في الاعتبار العمر الافتراضي ومعدل الخصم وزيادة أسعار التقنية. وتشير تكاليف النفقات الرأسمالية إلى استثمارات الأقساط السنوية في هذه الدراسة. وتقتصر تكاليف النفقات التشغيلية على تكاليف الكهرباء ولا تشمل تكاليف الصيانة والعمالة.

تُحسب التكلفة الإجمالية للاحتمالات على النحو التالي:

- تُقدر تكاليف الكهرباء من خلال إجمالي الطلب على الطاقة ومتوسط سعر الكهرباء المقابل لكل كيلو واط ساعة لكل أسرة في القطاع السكني، وبالمثل متوسط سعر الكهرباء في مرافق القطاع التجاري (مثل محلات السوبر ماركت والمكاتب وما إلى ذلك). (انظر الملحق 1-9 لأسعار الكهرباء والزيادة السنوية المفترضة في الأسعار)
- الأقساط السنوية هي توزيع استثمارات المكونات من خلال المدفوعات السنوية (الأقساط السنوية)، مع مراعاة العمر الافتراضي ومعدل الخصم (انظر التعريف في الفصل 1-2). ويتم تقدير الأقساط السنوية على أساس مجموع تركيبات الأجهزة السنوي وسعر التقنية ومعدل الفائدة والزيادة السنوية في أسعار التقنية. (انظر الملحق 1-8 لمزيد من التفاصيل حول تكاليف التقنية والزيادة السنوية المفترضة في الأسعار)

كما تُقدر وفورات تكاليف الكهرباء والأقساط السنوية الإضافية فضلًا عن إجمالي فرق التكاليف بناءً على فرق التكاليف بين احتمالات التخفيف الواردة بالنموذج واحتمالات الاتجاه الحالي .

3- الاحتمالات وإجراءات التخفيف

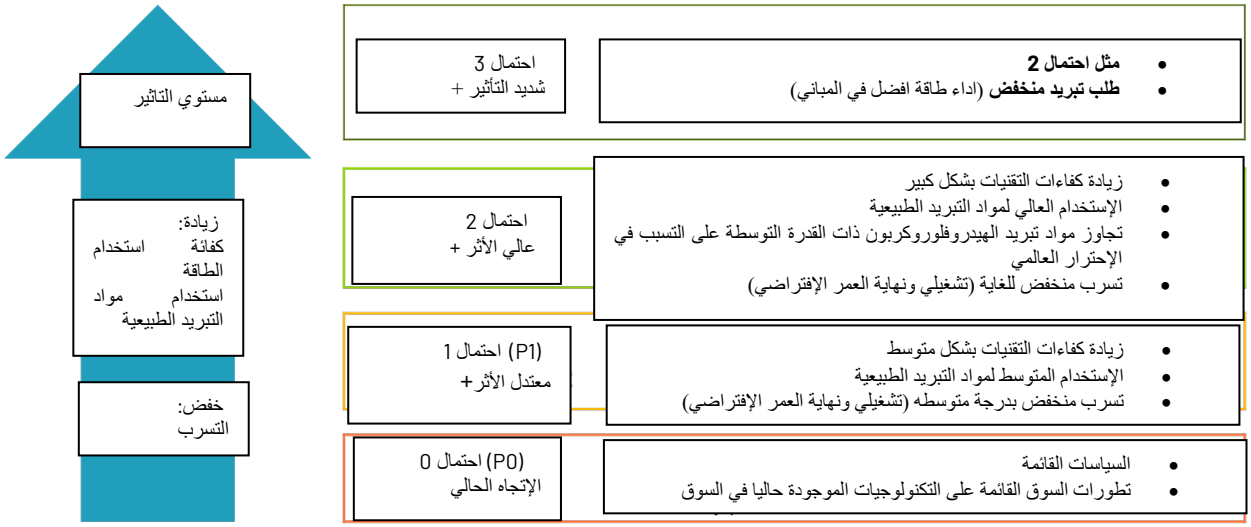
تراعي هذه الدراسة الاحتمالات المتعددة لتحول سوق قطاع التبريد حتى عام 2050. وتم تحديد وفورات الطاقة ومعدل تقليل الانبعاثات المباشرة وغير المباشرة وإجمالي تكاليف الأقساط السنوية المكافئة لكل من احتمالات التخفيف الواردة.

وهناك أربع احتمالات تم صياغتهم وتحديداً احتمال الاتجاه الحالي (يُشار إليه بالاحتمال 0) واحتمال معتدل الأثر (ويُشار إليه بالاحتمال 1) واحتمال عالي الأثر (ويُشار إليه بالاحتمال 2) واحتمال شديد التأثير (ويُشار إليه بالاحتمال 3).

ويعتمد احتمال الاتجاه الحالي على كل من التقنيات المتوفرة حاليًا في أسواق الدولة والسياسات العامة السارية. وتشهد مصر حاليًا مرحلة انتقالية من حيث غياب الالتزام بتشريع وطني للغازات المفلورة مثل اعتماد تدابير خفض مركبات الهيدروفلوروكربون تدريجيًا، ولذلك لا يفي الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي بالأهداف المحددة بموجب تعديل كيغالي (انظر المرفق 1 للاطلاع على معلومات مفصلة حول الافتراضات الأساسية). ويفترض أكثر احتمالات النموذج طموحًا ("احتمال الأثر المرتفع") معدل انتشار مرتفع لأنظمة التكييف التي تعمل بمواد التبريد الطبيعية فضلًا عن انخفاض الطلب على أنظمة التبريد (مقارنة بالاحتمال القائم على الاتجاه الحالي). ويرتبط التحول من الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي إلى الاحتمالات الأكثر طموحًا (الاحتمالات 1 و2 و3) بزيادة كفاءة نظام التبريد وزيادة استخدام مواد التبريد الطبيعية وتقليل معدلات تسرب مادة التبريد سواء أثناء التشغيل أو أثناء التخلص من النفايات عند نهاية العمر الافتراضي (انظر الشكل 2).

تسلط المقارنة بين سيناريو الاتجاه الحالي وسيناريوهات التخفيف الضوء على التأثير المحتمل للتدابير الإضافية مثل استخدام مواد التبريد الطبيعية وتبني معدلات الكفاءة الأكثر طموحًا (في قطاع التبريد والتكييف وأداء المباني) نتيجة لتطور القوانين والمعايير ذات الصلة وأدوات السياسة العامة الأخرى مثل خطط التمويل التي تؤثر على المعلّمات التقنية.

ويتطلب احتمال الأثر المرتفع، بالمقارنة مع احتمال الأثر المعتدل، تحولًا سريعًا متعدد الأوجه في السوق وفي إطار السياسة العامة بالكامل. وتشمل أمثلة احتمال الأثر المرتفع تدابير السياسة الواعدة التي تستهدف الجوانب ذات الصلة من حيث إمكانات التخفيف، بما في ذلك استخدام مواد التبريد الطبيعية والاستغناء عن الكربون في عمليات توليد الطاقة وتحسين كفاءة الصناعة والمباني على نطاق أوسع.



الشكل 2: احتمالات برنامج ***Cool Up*** وتدابير التخفيف

تتضمن الفصول الفرعية التالية شرحًا وافيًا للاحتمالات الواردة في النموذج.

3-1- سنة الأساس والافتراضات العامة

يمثل عام 2020 سنة الأساس لبيانات المدخلات مثل إجمالي الأجهزة والمبيعات وكفاءات الأنظمة وما إلى ذلك. وتم جمع البيانات المطلوبة لتحديد سنة الأساس أثناء إعداد تقرير حالة قطاع التبريد وتقارير التحليل التنظيمي. وبناءً على البيانات المُستقاة تم تحديد متوسط قيم الكفاءة وخلائط مواد التبريد المقابلة ومعدلات التسرب السنوي عند نهاية العمر الافتراضي.

ويتمثل الافتراض الأساسي لجميع الاحتمالات في ارتفاع معامل الانبعاث في عام 2050 بأكثر من النصف مقارنة بعام 2020 بسبب نزع الكربون من الشبكة.

ويتضمن الملحق 1 تفاصيل حول مصادر البيانات والافتراضات إلى جانب نظرة عامة على المعلّمات الرئيسية لسنة الأساس وكذلك الاحتمالات المختلفة.

2-3- الاحتمال 0: الاتجاه الحالي

يبحث احتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0) السياسات المنفذة حالياً مثل البرامج والقوانين وأدوات السياسة العامة الأخرى مثل القواعد والمعايير السارية وقت الدراسة (يونيو 2022) بناءً على التحليل التنظيمي[29] . وتمكنت مصر من الوفاء بالتزاماتها بموجب بروتوكول مونتريال وتعديلاته من خلال الاضطلاع بالعديد من البرامج ووضع القوانين والخطط الأخرى والقواعد والمعايير ذات الصلة. وعلى مستوى معايير أداء الطاقة الدنيا، يتم العمل بمعايير أجهزة وأنظمة التبريد بشكل جيد ومراقبة أداءها وسريانها. وتعد معايير أداء الطاقة الدنيا ووضع بطاقات التعريف على أنظمة تكييف الهواء أمرًا إلزاميًا. وعلى النقيض ثمة تقصير في الالتزام بمعايير أداء الطاقة الدنيا لأنظمة التبريد التجارية.

ويدرس احتمال الاتجاه الحالي أدوات السياسة العامة المتعلقة بالخفض التدريجي لاستهلاك المواد المستنفدة للأوزون (R22) ومعايير أداء الطاقة الدنيا المتعلقة بكفاءة أنظمة تكييف الهواء.

ولا توجد حاليًا لوائح وطنية أردنية بشأن الغازات المفلورة (مثل حظر الاستخدام أو الفحص السنوي للأجهزة) ما يترك مجالًا للتحسين والحد من معدل التسرب واسترجاع الغازات المفلورة ومعالجة مواد التبريد المستخدمة بصورة مناسبة والتحول إلى استخدام بدائل الغازات المفلورة وتدريب الفنيين وما إلى ذلك. وبالتالي لا يولى الانتباه إلى تنظيم استخدام الغازات المفلورة في الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي.

كما يتناول احتمال الاتجاه الحالي التقنيات المتاحة حاليًا في السوق والاتجاهات القائمة فيما يتعلق باستخدام بعض مواد التبريد. ويتم استنتاج الاتجاهات الحالية فيما يتعلق بمواد التبريد بناءً على ما يُباع في السوق وفقًا للمقابلات. وكذلك يتناول الاحتمال:

- **كفاءة استخدام الطاقة للأنظمة:** يُفترض ملاحظة زيادة بطيئة وثابتة ولكن طفيفة في كفاءات الأنظمة من 2020 إلى 2050 للوصول إلى متوسط كفاءة الأنظمة بحلول عام 2050 بترتيب أفضل التقنيات الوطنية المتاحة اليوم
- **التحول في استخدام مواد التبريد:** في إطار اتجاهات السوق الحالية يُفترض ما يلي:
  - تكييف الهواء: مكيفات الهواء: تشمل مواد التبريد الرئيسية المستخدمة في أنظمة التكييف الحالية مواد R410A و R134a(في المبرّدات) ويليهما R404A و . R22ومن المفترض أن خفض استهلاك مادة R410A تدرجيًا واستبدالها بمواد تبريد منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي) أي مادة (R32 وهو ما يتضح من اتجاه السوق لنظم التبريد متغير التدفق ووحدات سبليت التي تتحول نحو العمل بمواد تبريد منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي. ويُفترض، في ظل اتجاهات الصناعة الحالية، أن تصل حصة مواد التبريد الوسيطة المفلورة ذات القدرة على إحداث الاحترار العالمي إلى حوالي 45% بحلول عام 2050 لأنظمة التكييف بالإضافة إلى حصة صغيرة تبلغ 10% من مواد التبريد الطبيعية.
  - التبريد التجاري: التبريد التجاري: لا تزال مادة R404A هي مادة التبريد السائدة في أنظمة التبريد التجارية وتليها بحصص أقل مادة .R134a ومن المفترض مواصلة استخدام مادة R404A دون أي تغير تنظيمي ولكن ستنخفض حصتها ببطء بحلول عام 2050. وبصرف النظر عن مادةR404A ، يشهد السوق استخدام مواد R134a و R290بشكل أكبر . ويُفترض زيادة حصة استهلاك مواد التبريد الطبيعية من 5% في الأنظمة المستقلة إلى 50% في عام 2050) .تعتمد معظم الحصص على مادة R404A بشكل رئيسي).
- **معدل التسرب:** يُحتمال انخفاض معدل تسرب نظم تشغيل أجهزة التبريد وتكييف الهواء بشكل طفيف بمرور الوقت لكل تقنية حتى عام 2050 (انظر الجدول 7).
- استرجاع مواد التبريد المفلورة عند نهاية العمر الافتراضي: **من المتوقع زيادة معدل استرجاع مواد التبريد المفلورة عند نهاية العمر الافتراضي لأنظمة التكييف والتبريد بشكل معتدل لكل من التقنيات الواردة بالدراسة حتى عام 2050 (انظر الجدول 8).**
- كفاءة استخدام الطاقة في المباني: استُقيت معلمات غلاف المباني وعلى وجه التحديد النفاذية الحرارية (القيمة **U**) لأسطح المباني (الجدران والأسقف والأرضيات والنوافذ) من القيم الأساسية

[29] El Dallal, Mahdy Youssef and Dinges (2022)

لمشروع[30] Build_ME المعني بمعايير البناء الحالية والجديدة لمنازل الأسرة الواحدة ومنازل الأسر المتعددة ومباني المكاتب كما هو موضح في الجدول 8. وباحتمال تعزيز غلاف المباني بنسبة 10% (متطلبات أكثر صرامة لقيمة U) لكل عقد حتى عام 2050.

3-3- الاحتمال 1: احتمال معتدل الأثر

يشهد مسار احتمال الأثر المعتدل تحول قطاع التبريد بمعدل أسرع مع زيادة كفاءة استخدام الطاقة للتقنيات وزيادة استخدام مواد التبريد الطبيعية وارتفاع معدل استرجاع الانبعاثات عند نهاية العمر الافتراضي وانخفاض معدل التسرب مقارنة باحتمال الاتجاه الحالي. وقد يساهم كل من تدابير السياسة العامة الطموحة إلى حد ما مثل اللوائح الإضافية أو خطط الدعم وكذلك تسريع عمليات التنفيذ في إحداث بعض التحسينات. وعلى عكس الاحتمالات عالية الأثر (انظر الفصل التالي)، فيتم اتخاذ تدابير فردية ذات طموح محدود في الاحتمال الأول.

- كفاءة استخدام الطاقة في الأنظمة
- التدابير النموذجية التي تتناول تحسين كفاءة استخدام الطاقة وتتمثل في الالتزام بمعايير أداء الطاقة الدنيا (وبطاقات التعريف) ومراجعتها وتحديثها باستمرار. ويعد تنفيذ المعايير الدنيا لأداء الطاقة أحد الإجراءات الإلزامية في صناعة أنظمة تكييف الهواء السكنية في مصر. وبشكل عام، يجب أن تعكس تلك المعايير أداء الطاقة الدنيا التقدم المحرز في معدل كفاءة استخدام الطاقة بالأجهزة المطروحة في السوق. سنوات من أجل توفير إرشادات واضحة للقائمين على الصناعة وكذلك إتاحة الوقت ٥ويجري تحديث هذه المعايير عادةً كل سنتين إلى الكافي للتفاعل. وتتم إعادة النظر في خصائص فئات بطاقات التعريف بمجرد إدراج نسبة كبيرة من الأجهزة المتاحة في السوق (على %) في أعلى فئات بطاقات التعريف.20-15سبيل المثال أكثر من
- . وبالتالي من المفترض أن يصل متوسط كفاءة 0 مقارنة بالاحتمال 1هناك زيادة معتدلة في كفاءة استخدام الطاقة للأنظمة في الاحتمال إلى مستوى كفاءة أفضل التقنيات الوطنية المتاحة دوليًا اليوم. فعلى سبيل المثال يُفترض أن ترتفع كفاءة 2050استخدام الطاقة عام بالنسبة لمكيفات الغرف السكنية (الأنظمة 2050 في عام 0% عن الكفاءة المفترضة في الاحتمال 30استخدام الطاقة بحوالي).9اللامركزية). (انظر الجدول

- **التحول في استخدام مواد التبريد**

- التدابير النموذجية التي تتناول تحول غاز التبريد هي الأحكام التي تحظر وضع مبردات عالية القدرة على إحداث الاحترار العالمي في السوق وبرامج حوافز السوق.

- ويرجع التحول في استخدام مواد التبريد التي تعمل بها الأجهزة المطروحة في السوق في الاحتمال 1 (الأجهزة المستوردة والمصنعة محليًا) إلى برامج حوافز السوق. وبالتالي ستلعب الحلول منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي مثل استخدام R290 (البروبان) وCO2) R744) دورًا بارزًا بشكل متزايد مقارنةً بالاحتمال 0. ومع ذلك، نظرًا لغياب أحكام تحظر طرح مواد التبريد عالية القدرة على إحداث الاحترار العالمي في السوق فلا يزال من الممكن استخدام الغازات الدفيئة القوية مثل R410A أو R404A في عام 2050 وفقًا لهذا السيناريو. (انظر الجدول 5). وفيما يلي نستعرض الافتراضات المحددة في الاحتمال 1:
  - قطاع تكييف الهواء: يُفترض أن تحقق مواد التبريد الطبيعية زيادة "معتدلة" في الحصة السوقية الإجمالية مقارنة بالاحتمال القائم على الاتجاه الحالي والاحتمال عالي الأثر. ومقارنةً باحتمال الاتجاه الحالي، ستنخفض الحصة السوقية لمواد التبريد القياسية الحالية (R410A)بشكل أسرع، ومن المفترض أن يقل انتشار مواد التبريد الوسيطة) مثل R32 أو غيرها من مواد التبريد المفلورة (منخفضة) القدرة على إحداث الاحترار العالمي(وأن تبقى عند أدنى مستوى. ويُحتمال أن تزداد حصة مواد التبريد الطبيعية بشكل أسرع وأن تصل إلى مستوى انتشار أعلى بحلول عام 2050.
  - قطاع التبريد التجاري: سينخفض استخدام مواد R134a و R404A في الأنظمة المباعة حديثًا مقارنةً باحتمال الاتجاه الحالي، وستصل حصة استخدام مواد التبريد الطبيعية إلى 70% في عام 2050 لوحدات التكثيف والأنظمة المركزية.
- التدابير النموذجية لمعالجة تحسين التسرب هي فحوصات التسرب الأكثر صرامة وبناء القدرات لتحسين مهارات الفنيين الذين يتعاملون مع المعدات أثناء الخدمة وكذلك في نهاية عمرها الافتراضي.

[30] Build_ME. "Towards a Low-Carbon Building Sector in the MENA Region." https://www.buildings-mena.com/.

- **معدل التسرب التشغيلي**

تتمثل التدابير النموذجية لتحسين معدلات التسرب في الفحص الدقيق لأماكن التسرب وبناء القدرات لتنمية مهارات الفنيين الذين يتعاملون مع الأجهزة أثناء أداء خدمات الصيانة وكذلك عند نهاية العمر الافتراضي لتلك الأجهزة. وتعتبر هذه التدابير ضرورية من أجل تقليل انبعاثات الغازات المفلورة المباشرة الصادرة عن أجهزة التبريد ولا سيما مواد التبريد عالية القدرة على إحداث الاحترار العالمي. وبالإضافة إلى انخفاض الإنبعاثات المباشرة، ستنخفض الانبعاثات غير المباشرة عند تقليل معدلات التسرب. وتنخفض كفاءة استهلاك الكهرباء لأنظمة التبريد بشكل كبير عند انخفاض شحنة غاز التبريد إلى أقل من 70% تقريبًا من حجم الشحن الأصلي كما هو موضح في الشكل 3. وبالتالي ، فإن الزيادة في الانبعاثات غير المباشرة تصاحبها زيادة في تكاليف التشغيل . ملاحظة: لم تؤخذ الزيادة في تكاليف التشغيل في الاعتبار خلال هذه الدراسة، انظر القسم 7-4-2 للاطلاع على وصف تفصيلي للتكاليف.

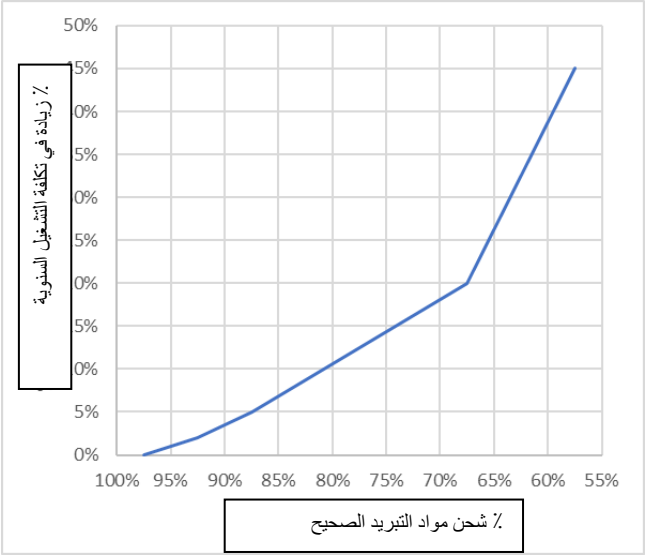


Figure 3 العلاقة بين تكاليف التشغيل السنوية ومعدلات تسرب مواد التبريد من أنظمة تكييف الهواء الصغيرة والأنظمة التجارية.[31]

- يُفترض أن ينخفض معدل التسرب في نظام تشغيل أجهزة تكييف الهواء بشكل معتدل بمرور الوقت لكل من التقنيات 1في الاحتمال 6.(انظر الجدول 0 عند مقارنته بالاحتمال 2050الواردة بالدراسة حتى عام)
- استعادة مواد التبريد المفلورة عند انتهاء العمر الافتراضي
- تتمثل التدابير النموذجية للتعامل مع استعادة مواد التبريد المفلورة عند نهاية العمر الافتراضي في أحكام تنظم استعادة واستيعاب تلك المواد إلى جانب أحكام تتعلق بالتدريب وإصدار الشهادات ووضع بطاقات التعريف. ومن شأن هذه الأحكام خفض معدلات الانبعاثات سواء على مدى العمر الافتراضي للأجهزة أو عند انتهاءه خاصةً بالنسبة لقطاع التبريد ونظم تكييف الهواء الثابتة. ونتيجة لذلك من المفترض أن يحظى موظفو خدمات الصيانة بالتأهيل الأفضل لتقليل الانبعاثات أثناء أداء الخدمة وأن يكونوا على قدر كبير من الوعي بالعواقب البيئية السلبية الناجمة عن انبعاثات الغازات المفلورة. وعلاوة على ذلك يُفترض أن يشهد القطاع تحسينات من حيث شح الأجهزة الجديدة في السوق نظرًا للتطورات التكنولوجية؛ وذلك بزيادة الحوافز الخاصة بخفض معدلات التسرب.
- في دول الإتحاد الأوربي حيث لا تخضع المركبات الهيدروفلوروكربونية المسترجعة لحدود الخفض التدريجي من المركبات الهيدروفلوروكربونية ، فإنه يمكن للغازات المسترجعة أن تضمن توافر مركبات الهيدروفلوروكربون الأساسية في السوق مستقبلاً ولا سيما مع صعوبة الخفض التدريجي.
- من المفترض أن يزيد معدل استعادة مواد التبريد المفلورة عند نهاية العمر الافتراضي لنظام التكييف بشكل معتدل لكل 1في الاحتمال 7.( ) (انظر الجدول 0 مقارنةً بالاحتمال (2050من التقنيات الواردة في الدراسة حتى عام)
- كفاءة استخدام الطاقة في المباني:
- لا يفترض أن يشهد الاحتمال 1 أي تحسينات مقارنةً بالاحتمال 0.

[31] 2020, ICF Incorporated, Supermarket Emission Reduction Analysis. Accessible online at https://www.nrdc.org/sites/default/files/supermarket-emission-reduction-analysis.pdf

3-4- الاحتمال 2: احتمال عالي الأثر

يمثل مسار الاحتمال عالي الأثر تحول قطاع التبريد بشكل أسرع مقارنةً بالاحتمال معتدل الأثر. ويُفترض أن تكون هذه التحسينات- ضمن أمور أخرى- ناتجة عن التنفيذ المنسق للإجراءات التي تشمل السياسات العامة المتعلقة بالغازات المفلورة وخطط التمويل التي تعزز استخدام مواد التبريد الطبيعية وزيادة الوعي وتنمية مهارات الفنيين مما يسرع من عملية التنفيذ. ويتناول الاحتمال عالي الأثر ما يلي:

- **كفاءة استخدام الطاقة في المباني:**
  - من المتوقع أن يشهد الاحتمال 2 زيادة كفاءة التقنيات بشكل كبير مقارنةً بالاحتماليين 0 و1. وكذلك يُفترض أن يرتفع متوسط الكفاءة بحلول عام 2050 عن كفاءة أفضل التقنيات العالمية المتاحة اليوم.
- **التحول في مواد التبريد**
  - يفترض الاحتمال 2 تدابير طموحة مثل حظر استخدام أنواع معينة من مواد التبريد. ويتبنى الاحتمال 2 حظر بعض المواد بهدف تسهيل خفض استخدام مواد التبريد مرتفعة القدرة على إحداث الاحترار العالمي في الأجهزة المطروحة في السوق. وعلاوة على ذلك يفترض الاحتمال 2 استخدام مواد التبريد الطبيعية بكثافة وانتشارها بسرعة مقارنة بالاحتمال 1 حيث يتم تُتخذ إجراءات التسريع من خلال استخدام مواد التبريد الوسيطة مثل R32 أو مواد التبريد المفلورة (منخفضة) القدرة على إحداث الاحترار العالمي، أي أنه من المفترض استبدال مواد التبريد القياسية الحالية مباشرة بمواد التبريد طبيعية وعدم استخدام مواد التبريد المفلورة كجسر لتمهيد الطريق. وفيما يلي نستعرض الافتراضات المحددة لكل قطاع:
  - قطاع تكييف الهواء: مقارنةً بالاحتمال 1، من المفترض أن يشهد استخدام مواد التبريد الطبيعية زيادة متسارعة في المجمل ويصل معدل استخدامها إلى 100% عام 2050 باستثناء أجهزة المبرّدات. وستنخفض حصة مادة التبريد القياسية الحالية (R410A) بشكل أسرع مقارنة بالاحتمال 1 نتيجة لحظر استخدام مواد التبريد التي ترتفع قدرتها على إحداث الاحترار العالمي عن 2000 في تطبيقات تكييف الهواء الجديدة) حظر استخدام R410A التي تبلغ قدرتها على إحداث الاحترار العالمي 2088 في 100 عام (الاتفاقية الدولية لوقاية النباتاتAR4). [32]
- قطاع التبريد التجاري: مقارنة بالاحتمال معتدل الأثر، يشهد استخدام مواد R134a و R404Aانخفاضاً بشكل أكبر من خلال تنفيذ الأحكام التالية: حظر استخدام مواد التبريد التي ترتفع قدرتها على إحداث الاحترار العالمي عن 2500 في تطبيقات التبريد التجاري المركزي الجديدة (بما في ذلك وحدات التكثيف)) حظر استخدام R404A التي تبلغ قدرتها على إحداث الاحترار العالمي 3922 في 100 عام] الاتفاقية الدولية لوقاية النباتات([AR4 ، ذلك بالإضافة إلى حظر استخدام مواد التبريد التي ترتفع قدرتها على إحداث الاحترار العالمي عن 1000 في أجهزة التبريد التجارية الجديدة المستقلة (محكمة الإغلاق)) حظر استخدام R134a التي تبلغ قدرتها على إحداث الاحترار العالمي 1430 في 100 عام]الاتفاقية الدولية لوقاية النباتات .([AR4 وبالتالي ستصل حصة مواد التبريد الطبيعية إلى 100% في عام 2050 لجميع الأنظمة في قطاع التبريد التجاري مقارنةً بالاحتمال 0 والاحتمال 1.
- **معدل التسرب**
  - يفترض الاحتمال 2 انخفاض معدلات تسرب أنظمة تشغيل مكيفات الهواء بدرجة كبيرة بمرور الوقت لكل تقنية حتى عام 2050 (انظر الجدول 7).
- **استعادة مواد التبريد المفلورة عند نهاية العمر الافتراضي**
  - يفترض الاحتمال 2 زيادة معدلات استعادة مواد التبريد المفلورة عند نهاية العمر الافتراضي بشكل كبير لكل تقنية من التقنيات الواردة بالدراسة حتى عام 2050 (انظر الجدول 7)[33] .
- **كفاءة استخدام الطاقة في المباني**
  - يتبنى الاحتمال 2 نفس افتراضات الاحتمال 0

[32] Intergovernmental Panel on Climate Change, "Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change"

[33] Although their share is negligible in 2050

3-5-3 الاحتمال 3: الاحتمال شديد التأثير

يعتمد الاحتمال 3 على ما ذُكر في الاحتمال 2 ويأخذ في الاعتبار أيضًا خفض الطلب على التبريد، أي زيادة كبيرة في أداء الطاقة في المباني ما يؤدي إلى انخفاض كبير في احتياجات التبريد مقارنةً بالاحتمال 2. وستتطلب التحسينات الإضافية حزم سياسات عامة أكثر تطلعًا فيما يتعلق بكفاءة استخدام الطاقة في المباني الجديدة وترميم وتحديث المباني على مدار العقود من 2020 إلى 2050.

ويفترض الاحتمال 3 رؤية تحسنًا كبيرًا بنسبة 30% في معايير حدود المباني) متطلبات أكثر صرامة لقيمة (U مقارنةً بالاحتمال 2 والاحتمال 1 والاحتمال 0. أما جميع المعايير الأخرى فتعادل الاحتمال 2 .

4- النتائج

يقدم القسم التالي نتائج النمذجة (الصياغة) في ثلاث فئات على النحو التالي:

- تقدم فئة الطلب على الكهرباء النتائج المتعلقة بتطوير الطلب على الطاقة بحلول عام 2050 في قطاعي التكييف والتبريد التجاري
- تقدم فئة غازات الدفيئة النتائج المتعلقة بالانبعاثات المقابلة المباشرة منها وغير المباشرة حتى عام 2050 في قطاعي التكييف والتبريد التجاري.
- تقدم فئة التقييم الاقتصادي النتائج المتعلقة بإجمالي تكاليف الاستثمار المحتمل ة والأقساط السنوية المقابلة شاملة الخصومات على مدى الإطار الزمني للمشروع وحتى عام 2050 وكذلك النتائج المتعلقة بوفورات التكاليف المحتمل ة للاحتمالات المختلفة مقارنة بالاحتمال القائم على الاتجاه.

تستند النتائج إلى جوانب مختلفة كما هو موضح في الفصول السابقة. . وتجدر الإشارة صراحةً إلى النمو المفرط المحتمل في المساحات المكيفة عند النظر في هذه النتائج.

ومن المتوقع أن تشهد أنظمة التكييف في مصر ما يقرب من سبعة أضعاف من 7.8 مليون وحدة في عام 2020 إلى ما يقرب من 53 مليون وحدة في عام 2050. و من المتوقع أن ينمو مخزون أنظمة التبريد التجارية من حوالي 1.1 مليون نظام في عام 2020 إلى ما يقرب من 1.4 مليون نظام في 2050. لمزيد من التفاصيل، انظر الملحق أ 1 وأل 2.

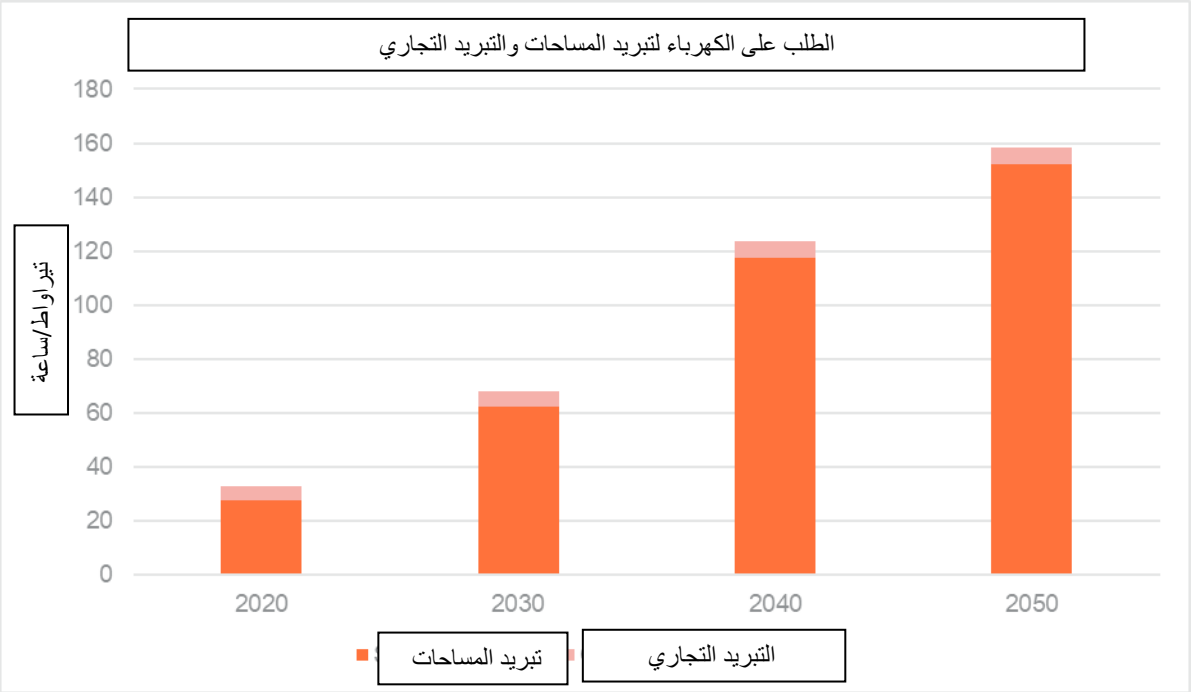
4-1- الطلب على الكهرباء

4-1-1- احتمال الاتجاه الحالي

يوضح هذا القسم احتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0) فيما يتعلق بالطلب على الكهرباء بالإضافة إلى قطاعي التكييف والتبريد التجاري.

في ظل احتمالات الاتجاه الحالي، من المتوقع أن يزداد الطلب على الكهرباء للتبريد (أنظمة تكييف الهواء) بسرعة خلال العقود القادمة، مما يُظهر زيادة بأكثر من 5 أضعاف، ليصل إلى 152 تيراواط في الساعة بحلول عام 2050 بعدما كان 28 تيراواط في الساعة في عام 2020 (الشكل 4). يمكن أن يُعزى هذا النمو الكبير بشكل مباشر إلى الزيادة في مساحة الأرضية المكيفة لكل مبنى والطلب المتزايد المقابل على معدات التكييف (انظر الشكل 22). إن النمو المتباطئ الذي لوحظ بين عامي 2040 و 2050 هو نتيجة للتحسينات الكثيرة المحتمل ة في العقود القادمة والحد الأقصى من تشبع السوق الذي تم تحقيقه في حوالي عام 2036.

ويحقق الطلب على الكهرباء الناتج عن أنشطة التبريد التجارية في اتجاه الاحتمال 0 نموًا ثابتًا من 5.3 تيراواط في الساعة في عام 2020 إلى 6.6 تيراواط في الساعة في عام 2050، مما يُظهر زيادة بنسبة 25٪ **(الشكل 4)**. ويرتبط هذا النمو بتطوير مخزون معدات التبريد التجارية (انظر الشكل 23). تعمل تحسينات كفاءة النظام على تأخير النمو فقط ولكنها لا تعكس وتيرة الاتجاه.



الشكل 4 احتمال الاتجاه الحالي - الطلب على الكهرباء لتبريد الأماكن والتبريد التجاري 2020-2050

ستخلق الزيادة المتوقعة في الطلب على الكهرباء حاجة إلى قدرات إضافية هائلة لتوليد الكهرباء.

4-1-2- احتمالات التخفيف

يشرح هذا الفصل إمكانات تخفيف الطلب على الكهرباء ويلخص الوفورات المتوقعة من احتمالات التخفيف (الاحتمال 1 و الاحتمال 2 و الاحتمال 3) مقارنةً باحتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0). كما يُظهر هذا الفصل معدل الطلب المتوقع على الكهرباء بحلول عام 2050 مقارنةً بسنة البدء في عام 2020 لكل احتمال.

يوضح الشكل **5** أن جميع الاحتمالات (**0** و**1** و**2** و**3**) تظهر ارتفاعًا في الطلب على الكهرباء في عام **2050**، مقارنةً بالأوضاع الأساسية في عام 2020. ومن المتوقع أن ينمو الطلب على الكهرباء لتبريد الأماكن بشكل مطرد في جميع الاحتمالات بين عامي 2020 و2040. ويُتوقع أن تشهد الفترة بين 2040 إلى 2050 تباطأ النمو في الاحتمالين 1 و2 وأن يستقر تقريبًا في الحتمال 3. ويرجع السبب وراء الاتجاه التصاعدي المتوقع بين 2020 و2050 إلى ارتفاع إجمالي عدد المباني إلى جانب الزيادة القوية المفترضة في متوسط المساحات المكيفة، وخاصة في المباني السكنية التي تزيد من 20% في عام 2020 إلى 50% في عام 2050. فيما تُعزى الزيادة الطفيفة التي تتلو عام 2040 إلى تأثير تشبع السوق ما يؤدي إلى انخفاض مبيعات أنظمة التكييف في القطاع السكني مقارنةً بالأعوام السابقة.[34]

من المحتمل أنه في عام **2050**، ستكون هناك حاجة إلى قدرة توليد إضافية كبيرة في جميع الاحتمالات. اعتمادًا على الاحتمالات، تبلغ الزيادة حوالي **3-5** أضعاف مقارنة بعام **2020**. وبالمقارنة مع احتمالات الاتجاه الحالي، فإن هذا من شأنه أن يتجنب قدرة توليد إضافية كبيرة في النطاق.

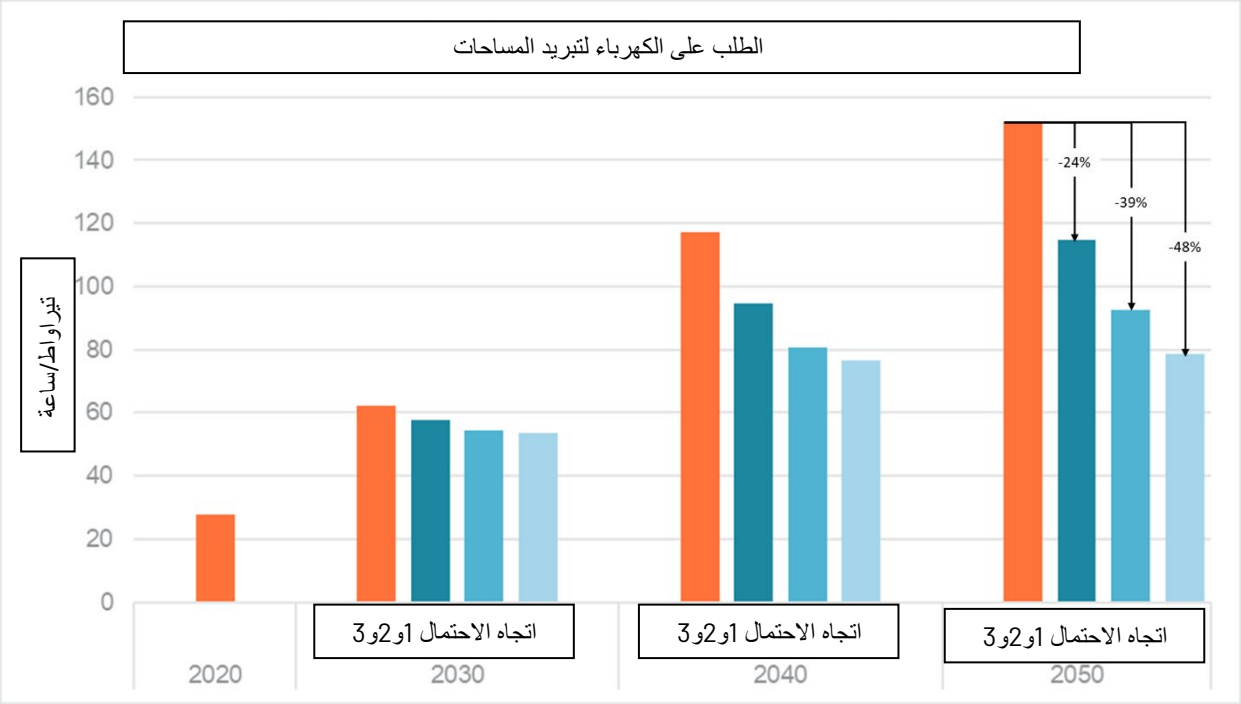
الاحتمال **1**: من المتوقع أن يزداد الطلب على الكهرباء لتبريد الأماكن (أنظمة تكييف الهواء) بسرعة خلال العقود القادمة من 1 تيراواط لكل ساعة إلى 2,8 تيراواط لكل ساعة، ما يعني أنه من المتوقع أن يتضاعف الطلب أربع مرات بحلول عام **2050** مقارنة بسنة البدء في عام **2020**. وفي عام **2050**، ويُتوقع تحقيق وفورات تُقدر بـ 23% في عام 2050 مقارنةً بالاحتمال 0.

الاحتمال **2**: من المتوقع أن يزداد الطلب على الكهرباء لتبريد الأماكن (أنظمة تكييف الهواء) بسرعة خلال العقود القادمة من **28** تيرا واط في الساعة إلى **92** تيرا واط في الساعة، ما يعني أنه من المتوقع أن يتضاعف الطلب أكثر من ثلاثة أضعاف بحلول عام **2050** مقارنة بسنة البدء في عام **2020**.

[34] In a saturated market the main driver for sales are first time installations in new buildings and replacement of dysfunctional equipment in existing buildings.

في عام 2050، من المتوقع أن يصل الطلب إلى حوالي 39٪ و 19٪ مقارنة بـ الاحتمال 0 و الاحتمال 1 على التوالي. يعتبر الاختراق القوي المفترض لأنظمة التكييف عالية الكفاءة في الاحتمال 2 كافياً لزيادة إبطاء نمو الطلب على الكهرباء في قطاع التبريد وتكييف الهواء مقارنةً بـ الاحتمال 1.

الاحتمال3 : من المتوقع أن يزداد الطلب على الكهرباء لتبريد الأماكن (أنظمة تكييف الهواء) بسرعة خلال العقود القادمة من 28 تيرا واط في الساعة إلى 80 تيراواط في الساعة، مما يعني أنه من المتوقع أن يتضاعف الطلب ثلاث مرات تقريبًا بحلول عام 2050 مقارنة بسنة البداية في عام 2020. مقارنة بـ الاحتمال 0، في عام 2050، ويُتوقع تحقيق وفورات تُقدر بـ 48٪ و 15٪ مقارنة بـ الاحتمال 2. تعد الوفورات الإضافية في الاحتمال 3 مقارنةً بالاحتمال 2 نتيجة للتحسينات الإضافية في غلاف المباني في الفترة بين 2020 و2050.



الشكل 5 احتمالات التخفيف - استهلاك الكهرباء الناتج عن تبريد الأماكن 2020-2050

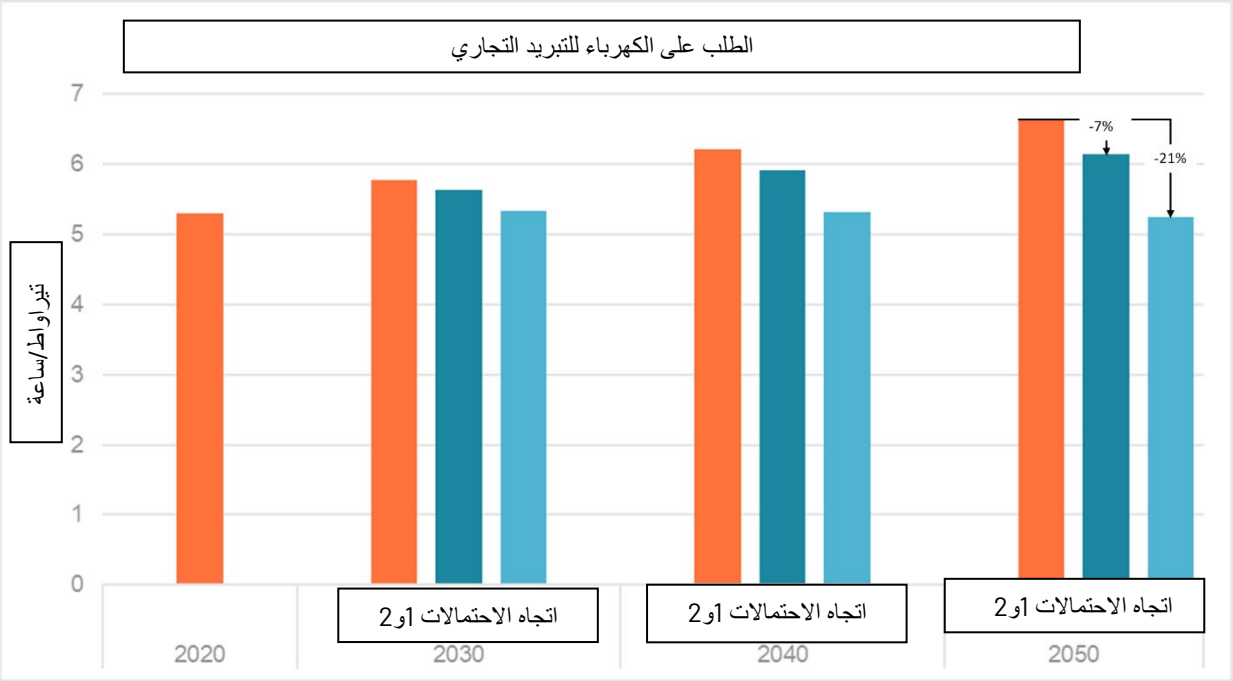
يوضح الشكل 6 أنه من المتوقع نمو الطلب على الكهرباء لأغراض التبريد التجاري باطراد في الاحتمال 0 والاحتمال 1 حتى عام 2050. ويستقر الطلب على الكهرباء في الاحتمال 2 بسبب الانتشار القوى للتقنيات عالية الكفاءة مقارنة بالاحتمال 0 و الاحتمال 1.

الاحتمال 1: من المتوقع نمو الطلب على الكهرباء لأغراض التبريد التجاري باطراد وبطء خلال العقود القادمة من 0,47 تيراواط لكل ساعة إلى 0,56 تيراواط لكل ساعة، أي أنه من المتوقع أن يزداد الطلب بنحو 20% في عام 2050 مقارنة بعام 2020. ويُفترض تحقيق وفورات بنسبة 8% في عام 2050 مقارنةً بالاحتمال 0.

الاحتمال 2: من المتوقع أن ينخفض الطلب على الكهرباء للتبريد التجاري انخفاضًا طفيفًا خلال العقود القادمة من 5.3 تيراواط في الساعة في عام 2020 إلى 5.2 تيراواط في الساعة في عام 2020. وفي عام 2050، من المتوقعتحقيق وفورات بنسبة 21٪ و 15٪ مقارنةً بـ الاحتمال 0 و الاحتمال 1 على التوالي.

تتشكل التطورات في قطاع التبريد التجاري من خلال تطوير المخزون (مثل البناء الجديد لمحلات السوبر ماركت التي تدفع تركيب معدات التبريد التجارية الجديدة) وزيادة كفاءة التقنيات.

وعلى عكس قطاع تكييف الهواء، شهد قطاع التبريد التجاري زيادة أقل بكثير في الطلب على الكهرباء في عام 2050 مقارنة بعام 2020. كما يُظهر الاحتمال 2 في عام 2050 انخفاضًا طفيفًا في الطلب على الكهرباء مقارنة بالظروف الأساسية في عام 2020 على الرغم من النمو المحتمل في الطلب على التبريد، مما يوضح الإنجاز الممكن تحقيقه من خلال تدابير السياسة المختلفة.



الشكل 6 احتمالات التخفيف - استهلاك الكهرباء لأغراض التبريد التجاري 2020-2050

2-2- انبعاثات غازات الدفيئة غير المباشرة والمباشرة

4-2-1- احتمال الاتجاه الحالي

يتناول هذا الفصل بالتفصيل الانبعاثات في احتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0) من خلال مقارنة عامي 2020 و2050. ويقدم الفصل لمحة عامة عن كمية الانبعاثات المباشرة وغير المباشرة وإجمالي الانبعاثات الناجمة عن مكيفات الهواء وقطاع التبريد التجاري. ويوضح هذا الفصل الانبعاثات المباشرة وغير المباشرة المصنفة عبر هذين القطاعين.

في عام 2020، تم حساب إجمالي الانبعاثات (كل من التكييف وقطع التبريد التجاري) لتصل إلى 27 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن منها 73٪ (20 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن) تمثل انبعاثات غير مباشرة و 27٪ (7 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن) تمثل الانبعاثات المباشرة. وفي قطاع التكييف، يمثل إجمالي الانبعاثات 22 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن منها 82٪ تمثل انبعاثات غير مباشرة و 18٪ للانبعاثات المباشرة. بينما في قطاع التبريد التجاري، يمثل إجمالي الانبعاثات 5 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون المكافئ، منها 69٪ تمثل انبعاثات غير مباشرة و 31٪ للانبعاثات المباشرة. وفي كل من مكيفات الهواء وكذلك في قطاع التبريد التجاري، تشكل الانبعاثات غير المباشرة الحصة الأكبر من الانبعاثات.

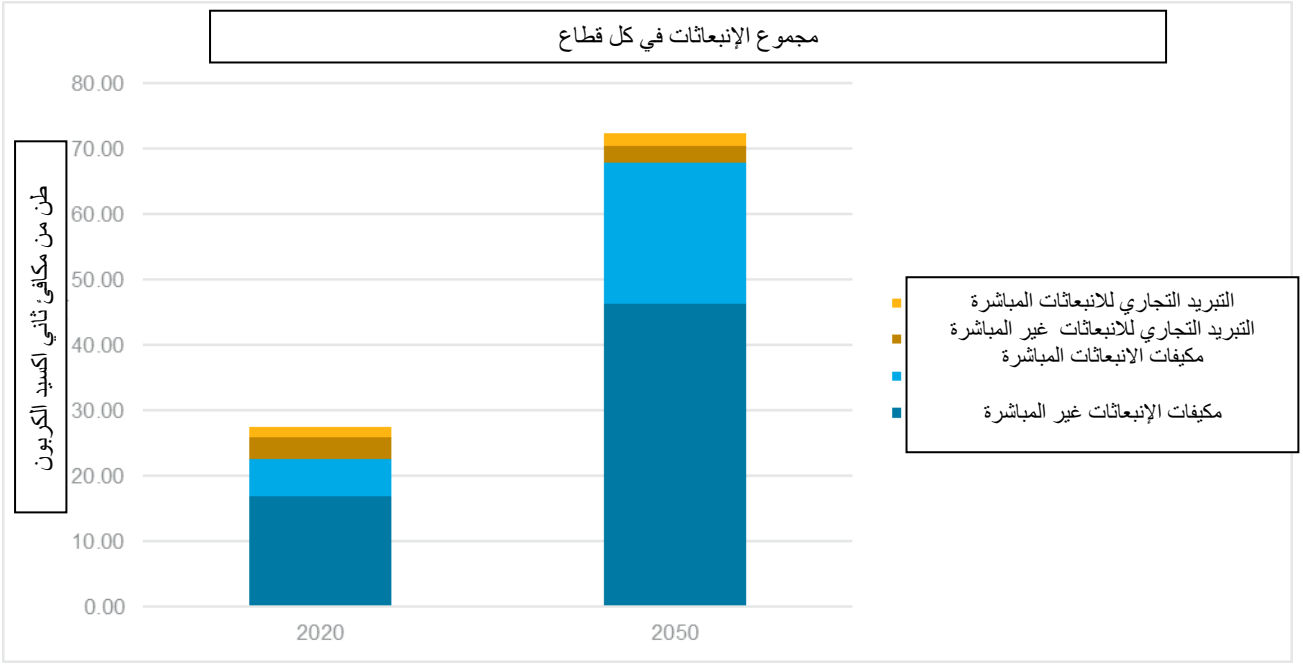
في عام 2050، من المتوقع أن يزداد إجمالي الانبعاثات (كل من التكييف وقطع التبريد التجاري) بمعامل يبلغ حوالي 2،7 لتصل إلى 72 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون المكافئ، حتى مع مراعاة إزالة الكربون من شبكات الكهرباء. من بين هذه، تمثل الانبعاثات غير المباشرة 68٪ والانبعاثات المباشرة 32٪، مما يشير إلى أنه من المتوقع أن تزداد حصة الانبعاثات المباشرة (من 27 إلى 32٪) مقارنة بعام 2020.

في عام 2050، من المتوقع أن يتضاعف إجمالي انبعاثات قطاع التكييف بأكثر من ثلاثة أضعاف لتصل إلى 67 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون. ومن المتوقع أن يظل إجمالي الانبعاثات في قطاع التبريد التجاري مستقرًا حتى عام 2050 (حوالي 5 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون المكافئ). مقارنة بعام 2020، تزداد حصة انبعاثات قطاع التكييف من إجمالي انبعاثات القطاعات المدروسة من 80٪ إلى أكثر من 90٪. ويرجع ذلك أساسًا إلى النمو المرتفع لقطاع التكييف (زيادة مساحة الأرضية المبردة) مقارنة بقطاع التبريد التجاري.

في قطاع التكييف، مقارنة بعام 2020، من المتوقع أن تزداد حصة الانبعاثات المباشرة حتى عام 2050 من 24٪ إلى 31٪ وفي قطاع التبريد التجاري من 33٪ إلى 43٪.

إن زيادة حصص الانبعاثات المباشرة في إجمالي الانبعاثات هي نتيجة للتفاعل بين عوامل مختلفة مثل عامل تناقص ثاني أكسيد الكربون المحتمل لشبكة الكهرباء، وزيادة الكفاءة، والتغير في أنواع المبردات المستخدمة وتقليل التسرب التشغيلي واستعادة المبردات في مرحلة التخلص.

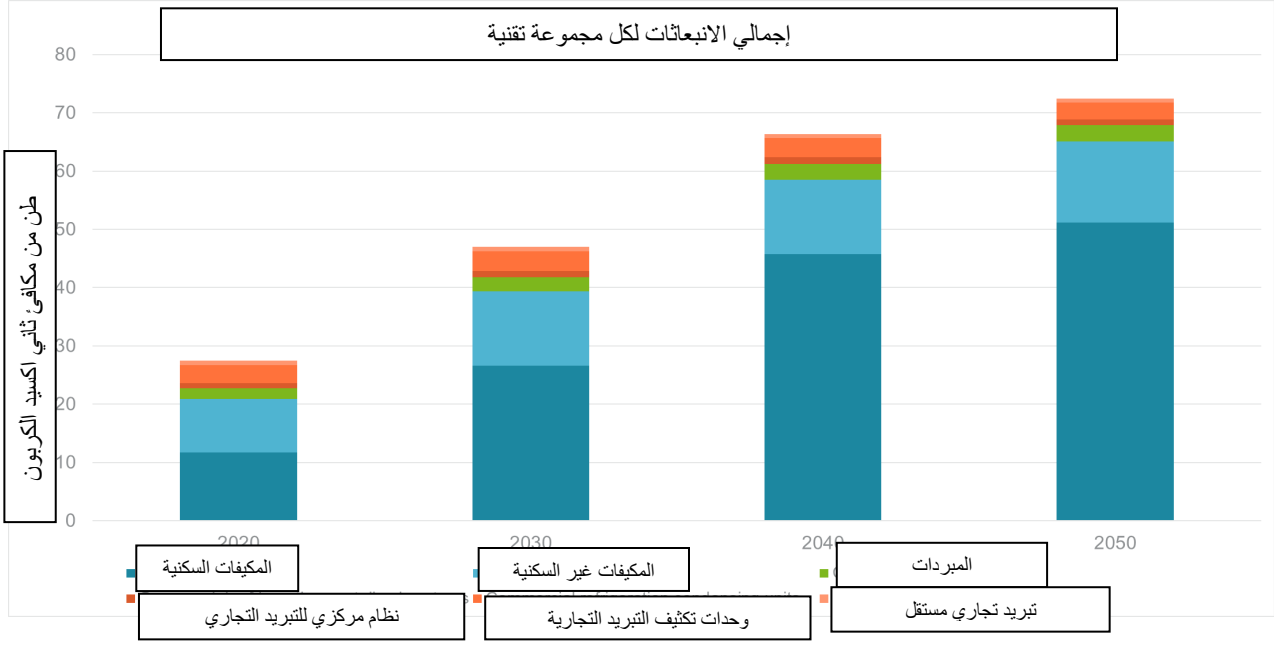
يقدم الشكل 7 نظرة عامة على إجمالي الانبعاثات غير المباشرة والمباشرة المصنفة حسب قطاعي التكييف والتبريد التجاري.



الشكل 7 نظرة عامة على إجمالي الانبعاثات غير المباشرة والمباشرة المصنفة عبر قطاع تكييف الهواء والتبريد التجاري

إجمالي الانبعاثات في قطاعات المباني والمجموعات التقنية

بعد اتجاه نمو الانبعاثات، تختلف المساهمة النسبية للانبعاثات الموزعة حسب مجموعة التقنيات على مر السنين. فيوضح الشكل 8 الانبعاثات الناتجة من فئات التقنيات المختلفة لكل عقد حتى عام 2050. ومن المتوقع أن يُظهر التكييف السكني أعلى نمو وسيكون مسؤولاً عن أكثر من 71٪ من انبعاثات القطاعات والمجموعات المدروسة في عام 2050. ومن المتوقع أن يكون قطاع التكييف غير السكني مسؤولاً عن حوالي 20٪ من انبعاثات فئات التقنيات.



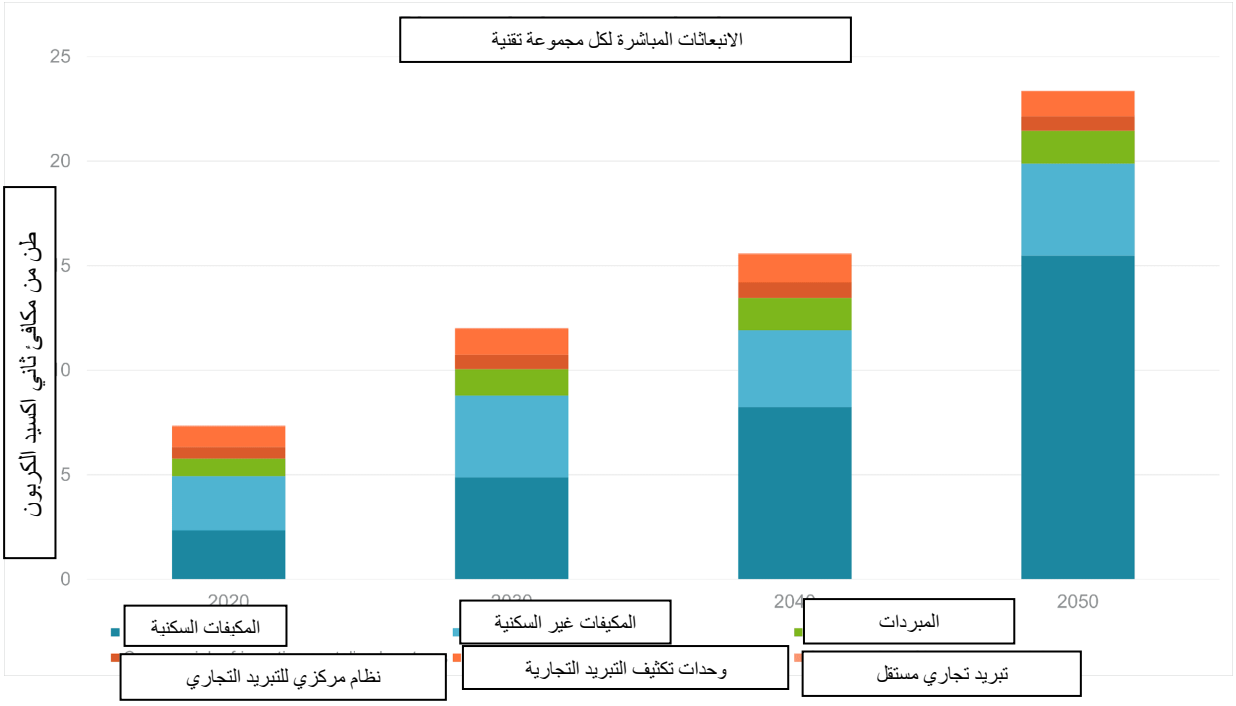
الشكل 8 اتجاهات الانبعاثات الحالية مصنفة حسب فئات التقنيات 2020-2050

الانبعاثات المباشرة في قطاعات المباني وفئات التقنيات

بلغت الانبعاثات المباشرة الناتجة عن تكييف الهواء (بما في ذلك المبردات) وقطاع التبريد التجاري حوالي 7 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن في عام 2020. حيث إن مكيفات الهواء والمبردات مسؤولة عن أكثر من 75٪ من الانبعاثات المباشرة لفئات التقنيات.

وبحلول عام 2050، من المتوقع أن تتضاعف الانبعاثات المباشرة لفئات التقنيات أكثر من ثلاثة أضعاف لتصل إلى 23 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن. وتشكل أجهزة التكييف والتبريد، التي تبلغ 21 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن، أكثر من 90٪ من هذه الانبعاثات المباشرة، مما يشير إلى أن الأهمية النسبية لنظام التكييف للانبعاثات المباشرة في مصر لا تزال تزداد بمرور الوقت.

سجلت الانبعاثات المباشرة الناتجة عن التكييف في القطاع السكني أعلى نمو في الأرقام المطلقة مع نمو من حوالي 2 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن في عام 2020 إلى 15 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن في عام 2050. والنتائج موضحة في الشكل 9.



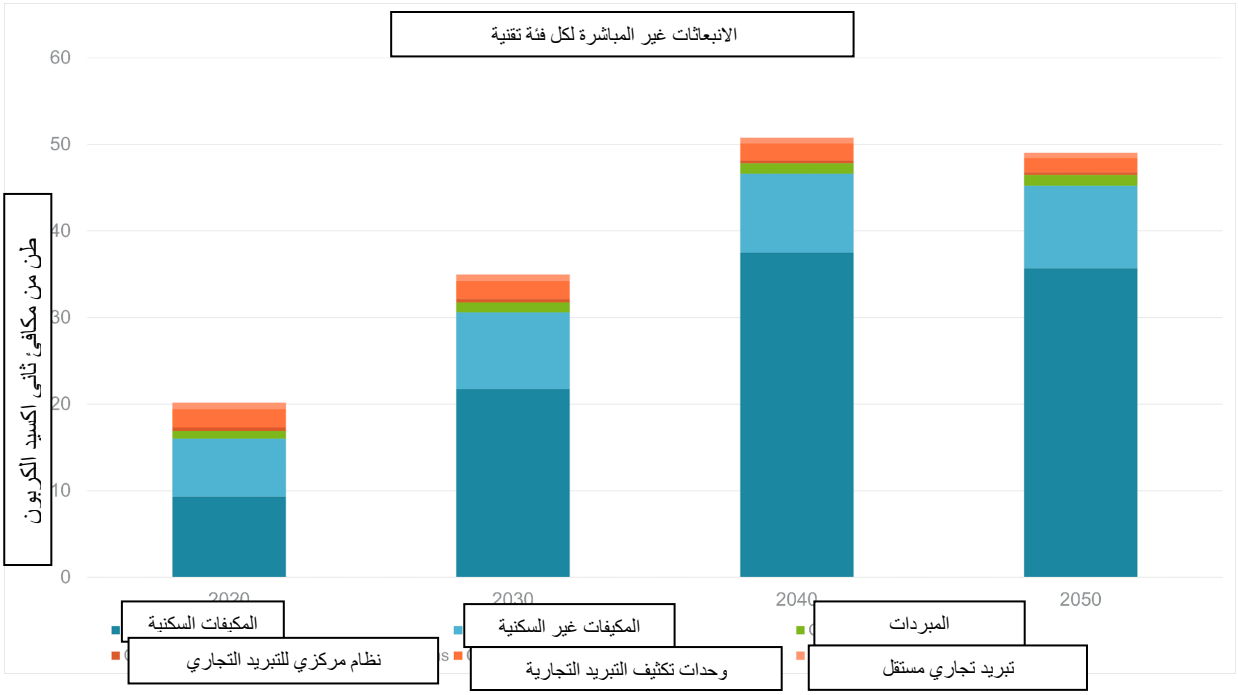
الشكل :9 الاتجاهات الحالية للانبعاثات المباشرة مصنفة حسب فئات التقنيات 2020-2050

الانبعاثات غير المباشرة في قطاعات المباني والمجمعات التكنولوجية

بلغت الانبعاثات غير المباشرة الناتجة عن تكييف الهواء (بما في ذلك المبردات) وقطاع التبريد التجاري حوالي 20 مليون طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2020. عند الوصول إلى 17 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن، تكون التكيفات والمبردات مسؤولة عن حوالي 85٪ من الانبعاثات غير المباشرة لفئات التقنيات.

وبحلول عام 2040، من المتوقع أن تزيد الانبعاثات غير المباشرة لفئات التقنيات بأكثر من الضعف لتصل إلى 50 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن. وبين عامي 2040 و 2050، تنخفض الانبعاثات بشكل طفيف بمقدار 1 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون. وتشكل أجهزة التكييف والتبريد التي تحتوي على 46 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون أكثر من 90٪ من هذه الانبعاثات غير المباشرة، مما يشير إلى أن الأهمية النسبية لنظام التكييف للانبعاثات غير المباشرة في مصر تتزايد بمرور الوقت. ويمكن ملاحظة أعلى نمو في قطاع التكييف السكني، حيث تتضاعف الانبعاثات تقريبًا أربع مرات من 9 إلى 35 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون. والنتائج موضحة في **الشكل 10.**

إن الانخفاض بين عامي 2040 و 2050 هو مجموع تأثيرات التحسينات المحتمل ة لعوامل ثاني أكسيد الكربون لشبكة الكهرباء، وتحسينات الكفاءة على مدى العقود المقبلة، والتباطؤ في نمو مخزون أنظمة تكييف الهواء بعد تحقيق أقصى قدر من تشبع السوق.



الشكل 10 الاتجاهات الحالية للانبعاثات غير المباشرة المصنفة عبر فئات التقنيات 2020-2050

4-2-2- احتمالات التخفيف

يوضح هذا القسم إمكانية تخفيف انبعاثات مكافئ ثاني أكسيد الكربون. ويظهر التوفير النسبي المحتمل لانبعاثات مكافئ ثاني أكسيد الكربون الاحتمال 1 و الاحتمال 2و الاحتمال3 مقارنةً بالاحتمالات الحالية للاتجاه (الاحتمال 0). وهي تلخص الوفورات المحتمل ة من احتمالات التخفيف (الاحتمال 1, الاحتمال 2, الاحتمال3) مقارنة مع احتمالات الاتجاه الحالي (الاحتمال 0). كما يُظهر الانبعاثات المحتمل ة في عام 2050 مقارنة بسنة البدء في عام 2020 لكل احتمال. يتكون هذا القسم من ثلاثة أجزاء، مع توضيح ما يلي:

أ) إجمالي الانبعاثات

ب) الانبعاثات المباشرة

ج) الانبعاثات غير المباشرة.

إجمالي الانبعاثات في قطاعات المباني وفئات التقنيات لكل احتمال تم تصميمه

يقدم هذا القسم الفرعي نظرة عامة على إجمالي الانبعاثات في قطاع التكييف والتبريد التجاري المصنفة عبر قطاعات المباني، والقطاع السكني وغير السكني. يتبع القسمان الفرعيين التاليين الهيكل نفسه ويقدم لمحة عامة عن الانبعاثات المباشرة وغير المباشرة على التوالي، المصنفة أيضًا عبر قطاعات المباني، السكنية وغير السكنية.

يوضح الشكل 11 أنه من المتوقع أن ينمو إجمالي انبعاثات (الاحتمال 1)، وأن ينمو)الاحتمال 2(بشكل طفيف وينخفض) الاحتمال3 (بشكل طفيف بين عامي 2020 و 2050. وفي عام 2050، بالمقارنة مع الاحتمال 0، تظهر جميع احتمالات التخفيف في)الاحتمال 1, الاحتمال 2, الاحتمال3 (وفورات كبيرة تتراوح من 36٪ إلى 64٪.

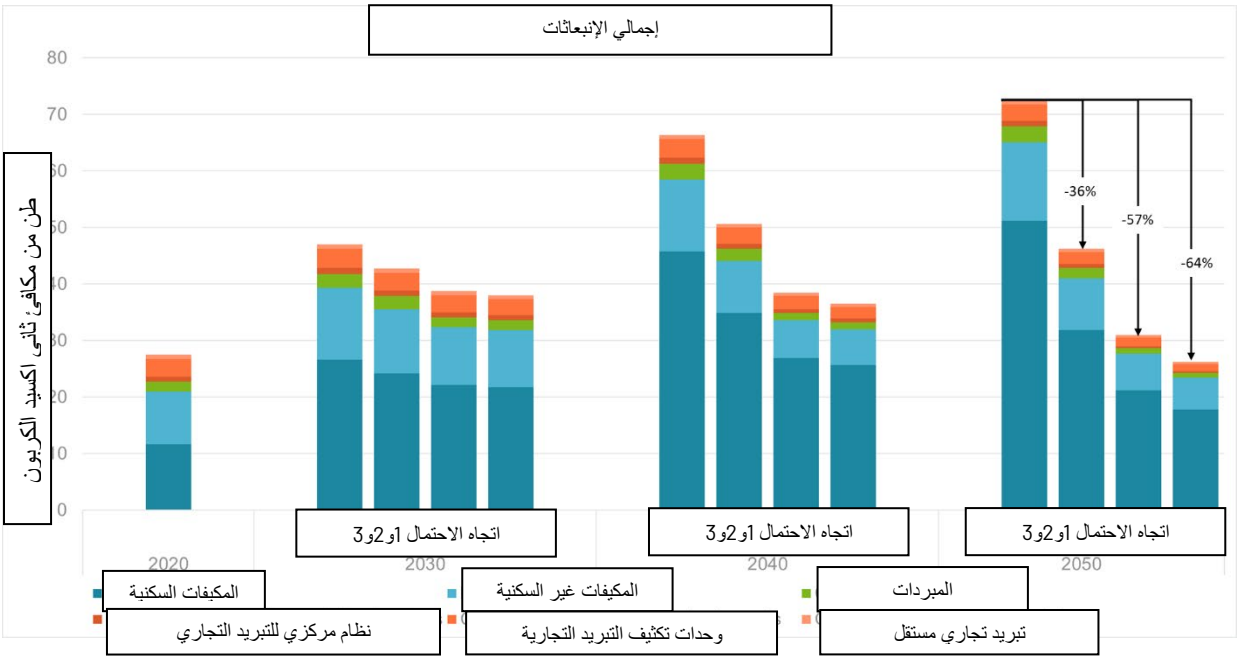
الاحتمال 1: من المتوقع أن يزداد إجمالي الانبعاثات من 27 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن إلى 45 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن، مما يعني أنه من المتوقع أن يزداد إجمالي الانبعاثات بمعامل 1.7 في عام 2050 مقارنة بسنة البداية في عام 2020. وبالمقارنة مع الاحتمال 0، في عام 2050، باحتمال أن تبلغ نسبة الوفورات 36٪.

الاحتمال 2: من المتوقع أن يزداد إجمالي الانبعاثات في عام 2050 بشكل طفيف بنحو 10٪ في عام 2050 مقارنة بسنة البداية في عام 2020. وفي عام 2050، من المتوقع تحقيق وفورات بنسبة 57٪ و 21٪ مقارنة بـ الاحتمال 0 والاحتمال 1 على التوالي. بين عامي 2040 و 2050 من المتوقع أن ينخفض إجمالي الانبعاثات.

الاحتمال3 : إنه الاحتمال الوحيد الذي يكون فيه إجمالي الانبعاثات في عام 2050 أقل قليلاً مقارنة بعام البداية 2020 (حوالي 7٪ أقل). في عام 2050، من المتوقع تحقيق وفورات بنسبة 64٪ و 7٪ مقارنة بـ الاحتمال 0 والاحتمال 2على التوالي. هذه الوفورات الإضافية في الاحتمال3 مقارنة بـ الاحتمال 2 هي نتيجة للتحسينات الإضافية في غلاف المبنى بين عامي 2020 و 2050.

بين عامي 2030 و 2040، تبدأ الانبعاثات في الانخفاض بشكل طفيف، وتتناقص بسرعة أكبر بين عامي 2040 و 2050. وتتمثل الأسباب الرئيسية لهذا التطور في التنفيذ المتسارع لغازات التبريد الطبيعية وتجنب تأثيرات الانغلاق، فضلاً عن التنفيذ المبكر لتقنيات عالية الكفاءة.

على الرغم من التأثير الموصوف بالفعل للنمو القوي لمخزون المبنى جنبًا إلى جنب مع الزيادة القوية المفترضة في متوسط مساحة الأرضية المبردة، خاصة في المباني السكنية، من المتوقع أن ينتج عن الاحتمال3 انبعاثات أقل مقارنة بسنة البداية في عام 2020. وهذا يدل على إمكانية حزم سياسات قوية وطموحة والحاجة إليها وتنفيذها المنسق، بما في ذلك السياسات التي تتناول الغازات المفلورة، وخطط التمويل التي تعزز امتصاص المبردات الطبيعية وتزيد الوعي، وتحديداً التعامل مع مهارات الفنيين. بالإضافة إلى ذلك، تُظهر السياسات المتعلقة بكفاءة البناء للمباني الجديدة والتجديد الطموح للمباني على مدى العقود من 2020 إلى 2050 إمكانات كبيرة (انظر أيضًا الفصل 3).



الشكل 11 تطور إجمالي الانبعاثات لكلاحتمال 2020-2050

الانبعاثات المباشرة في قطاعات المباني وفئات التقنيات لكل احتمال

يقدم هذا القسم الفرعي نظرة عامة على الانبعاثات المباشرة في مكيفات الهواء وقطع التبريد التجاري مصنفة حسب قطاعات المباني السكنية وغير السكنية. تنتج وفورات الانبعاثات المباشرة بشكل أساسي عن التحول إلى المبردات الوسيطة (ذات القدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي) والمبردات الطبيعية بالإضافة إلى التدابير التي تقلل التسرب (التسرب التشغيلي وكذلك تسرب العمر التشغيلي المحتمل الافتراضي).

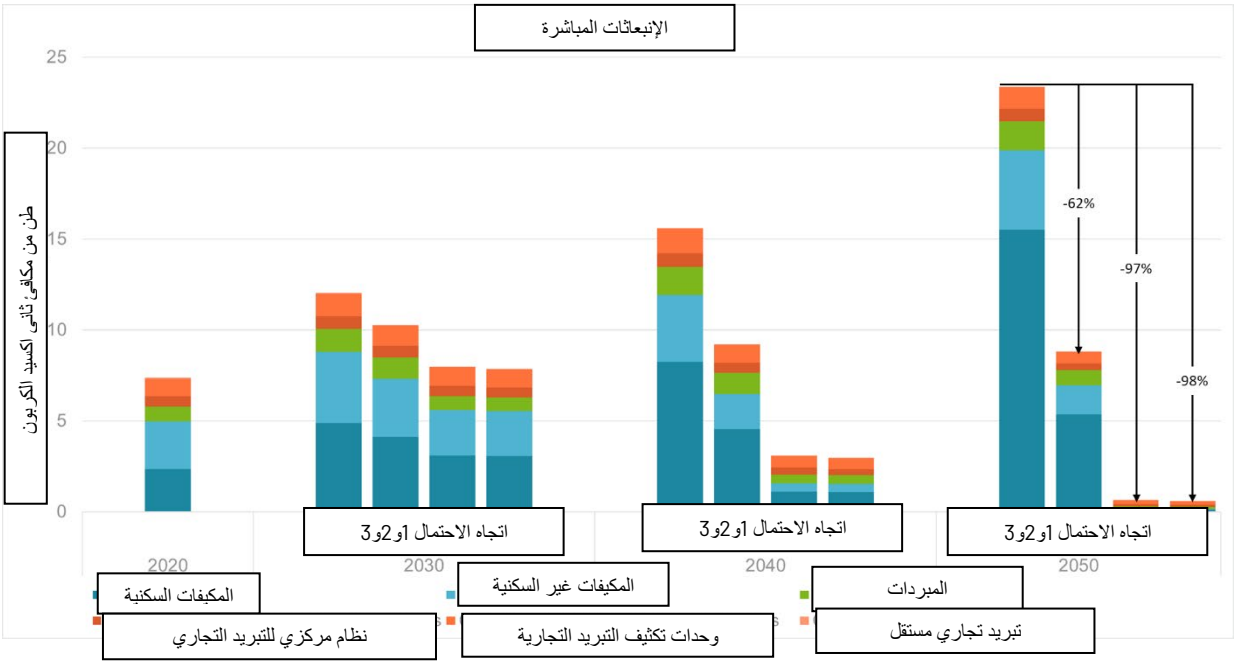
يوضح الشكل 12 أنه من المتوقع أن تزيد الانبعاثات المباشرة زيادة طفيفة في الاحتمال 1 . في المقابل، من المتوقع حدوث انخفاض كبير في الاحتمال 2 في عام 2050 مقارنة بعام 2020. بالمقارنة مع الاحتمال 0، في عام 2050، تُظهر جميع احتمالات التخفيف (الاحتمال 1, الاحتمال 2, الاحتمال3) انخفاضًا كبيرًا في الانبعاثات، تتراوح من 62٪ إلى 98٪، مقارنة بـ .الاحتمال 0 بدأت إمكانات الخفض في الظهور بالفعل في عام 2030 وتزداد بشكل كبير خلال عام 2040. فإن معظم التخفيضات الكبيرة مدفوعة بالتحول إلى المبردات الطبيعية.

الاحتمال 1: من المتوقع أن تزداد الانبعاثات المباشرة بين عامي 2020 و 2030 ثم تبدأ في الانخفاض بشكل طفيف حتى عام 2050. ولا تزال هناك زيادة طفيفة بين عامي 2020 و 2050 من 7 إلى 8 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن. السبب الرئيسي في وصول الانبعاثات المباشرة إلى ذروتها في حوالي عام 2030 هو التحول المفترض من المبردات ذات القدرة العالية على إحداث الاحترار العالمي إلى المبردات الوسيطة ذات القدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي وإلى المبردات الطبيعية. ويوجد عامل آخر وهو تحسين التسرب.

:الاحتمال 2 بين عامي 2020 و 2030، زادت الانبعاثات بشكل طفيف جدًا وبين عامي 2030 و 2040، تبدأ الانبعاثات في الانخفاض. بين عامي 2040 و 2050، تنخفض الانبعاثات إلى الصفر، ويرجع ذلك أساسًا إلى استخدام المبردات الطبيعية. في عام 2050، من المتوقع تحقيق وفورات بحوالي 97٪ و 35٪ مقارنة بـ الاحتمال 0 والاحتمال 1 على التوالي.

الاحتمال3 : بين عامي 2020 و 2030، تظل الانبعاثات مستقرة وبين 2030 إلى 2040 تبدأ الانبعاثات في الانخفاض. بين عامي 2040 و 2050، تنخفض الانبعاثات إلى الصفر، ويرجع ذلك أساسًا إلى استخدام المبردات الطبيعية. وفي عام 2050، من المتوقع تحقيق وفورات بحوالي 98٪ و 36٪ و 1٪ مقارنة بـ الاحتمال 0 والاحتمال 1 والاحتمال 2على التوالي. إن الانخفاض الطفيف مقارنةً بـ الاحتمال 2هو نتيجة لتحسين غلاف المبنى الذي ينتج عنه تقليل الحاجة إلى التبريد وبالتالي تجنب المزيد من التشغيل.

تفترض التدابير في الاحتمال 1 بالفعل نسبة عالية من المبردات الطبيعية في عام 2050، ولكن بالمقارنة مع الاحتمال 2 ، يكون التنفيذ أبطأ وحصة المبردات الطبيعية في عام 2050 أقل (انظر الجدول 5). تظهر النتائج أن التنفيذ المبكر هو المفتاح لتجنب آثار التثبيت. تتمثل الأسباب الرئيسية للوفيات الإضافية في الاحتمال 2مقارنة بـ الاحتمال 1 في التنفيذ السريع لمواد التبريد الطبيعية، بما في ذلك قفز المبردات الوسيطة وبالتالي تجنب تأثيرات الانغلاق والتنفيذ المبكر للتكنولوجيات عالية الكفاءة. بالإضافة إلى ذلك، تساهم التدابير المعززة للتحكم في معدلات التسرب والتخلص في العمر التشغيلي المحتمل في إمكانية خفض انبعاثات الاحتمال 2 مقارنة بـ الاحتمال 1.



الشكل 12تطور الانبعاثات المباشرة لكل احتمال 2020-2050

الانبعاثات غير المباشرة في قطاعات المباني والمجمعات التكنولوجية لكل احتمال تم تصميمه

يقدم هذا القسم الفرعي نظرة عامة على الانبعاثات غير المباشرة في مكيفات الهواء وقطع التبريد التجاري مصنفة حسب قطاعات المباني السكنية وغير السكنية. إن الوفورات غير المباشرة في الانبعاثات ناتجة بشكل أساسي عن زيادة كفاءة النظام وجهود إزالة الكربون من الشبكة.

يوضح الشكل 13 أن الانبعاثات غير المباشرة في عام 2050 ستكون أعلى مقارنة بسنة البداية في عام 2020 في جميع احتمالات التخفيف. السبب الرئيسي للزيادة هو نمو السوق القوي. لا تكفي الوفورات في الانبعاثات غير المباشرة في احتمالات التخفيف من خلال زيادة كفاءة التقنيات وإزالة الكربون المفترضة للشبكة لتعويض الاتجاه التصاعدي في الانبعاثات غير المباشرة من 2020 إلى 2050 مدفوعاً بنمو السوق المرتفع.

يتناقض هذا مع الانبعاثات المباشرة في عام 2050 حيث كانت جميع الاحتمالات أقل بكثير مقارنة بعام البداية 2020، حيث قضى الاحتمال 2 و الاحتمال3 بشكل كامل تقريبًا على الانبعاثات المباشرة. استنادًا إلى الافتراضات (انظر الجدول **8** والجدول **13)** ، من المتوقع أن تزيد الانبعاثات غير المباشرة من حصتها في إجمالي الانبعاثات للقطاعات المعنية في المستقبل. مقارنةً الاحتمالات الحالية للاتجاه (الاحتمال 0)، تُظهر احتمالات التخفيف إمكانية الحد من الانبعاثات غير المباشرة في عام 2050 مقارنة بعام 2020، والتي تتراوح من 24٪ إلى 48٪ (انظر الشكل 13).

في جميع احتمالات التخفيف، زادت الانبعاثات غير المباشرة حتى عام 2040 وتنخفض فقط في العقد بين 2040 و 2050. ويرجع ذلك إلى تباطؤ نمو السوق وزيادة أخرى في كفاءة التقنيات.

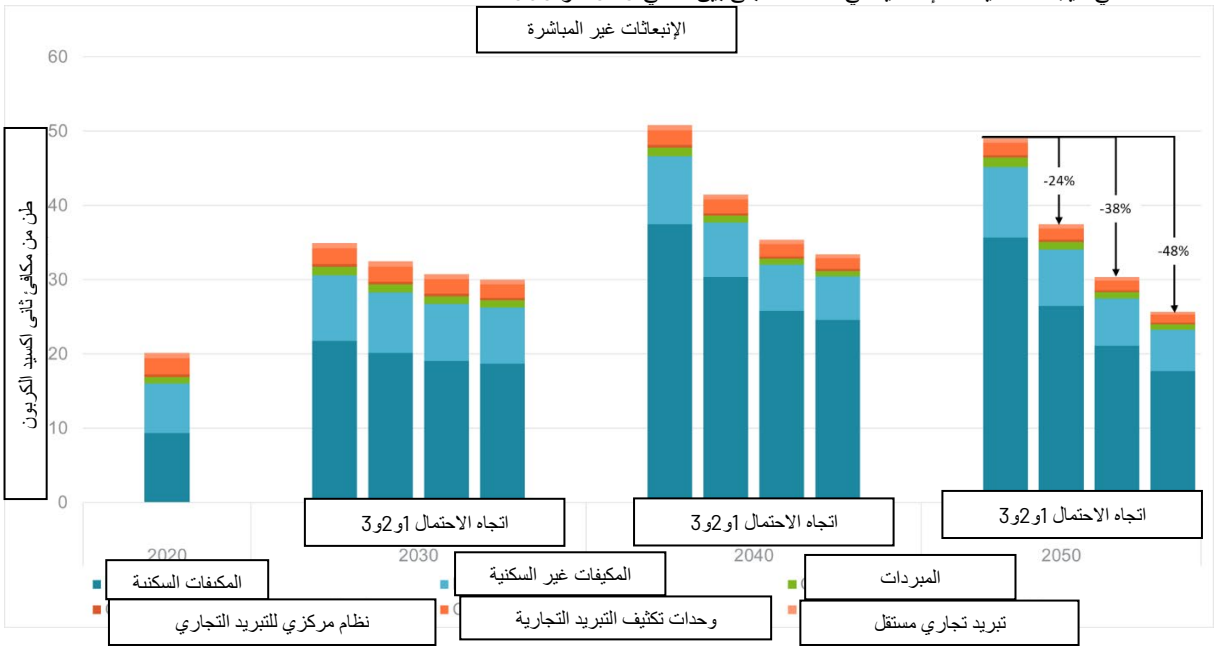
الاحتمال 1: زيادة الانبعاثات غير المباشرة من 20 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن إلى 37.5 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن، مما يعني زيادة بمقدار 1.8 بين عامي 2020 و 2050. وتبلغ الانبعاثات غير المباشرة ذروتها في حوالي عام 2040 ثم تبدأ في الانخفاض بشكل طفيف. إن السبب الرئيسي للزيادة القوية في العقود القادمة هو النمو المرتفع للسوق. بالمقارنة مع الاحتمال 0، من المتوقع في عام 2050 تحقيق وفورات بنسبة 24٪.

: الاحتمال 2ازدادت الانبعاثات غير المباشرة من 20 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن إلى 30 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن بين عامي 2020 و 2050، مما يعني زيادة بنحو 1.5، أي أقل قليلاً من الاحتمال 1. وبين عامي 2040 و 2050، بدأت الانبعاثات غير المباشرة في الانخفاض بشكل طفيف. من عام 2040 فصاعدًا، يتناقص نمو السوق. تصبح تأثيرات وفورات الانبعاثات غير المباشرة من خلال تدابير الكفاءة وإزالة الكربون المفترضة للشبكة أكبر من الانبعاثات الإضافية الناتجة عن نمو السوق مما يؤدي إلى انخفاض إجمالي في الانبعاثات غير المباشرة.

في عام 2050، من المتوقع تحقيق وفورات بحوالي 38٪ و 14٪ مقارنة بـ الاحتمال 0 والاحتمال 1 على التوالي. السبب الرئيسي للوفورات الإضافية لـ الاحتمال 2مقارنة بـ الاحتمال 1 هو التنفيذ السريع لأفضل التقنيات المتاحة.

: الاحتمال3 زيادة الانبعاثات غير المباشرة من 20 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن إلى 25.7 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن بين عامي 2020 و 2050، مما يعني زيادة بمعامل يبلغ حوالي 1.3، أقل قليلاً من الاحتمال 1 والاحتمال 2. كما هو الحال في الاحتمالات الأخرى، تزيد الانبعاثات غير المباشرة حتى عام 2040. وبين عامي 2040 و 2050، تبدأ الانبعاثات غير المباشرة في الانخفاض بسرعة أكبر مما كانت عليه في الاحتمال 2 .

في عام 2050، من المتوقع تحقيق وفورات بحوالي 48٪ و 10٪ مقارنة بـ الاحتمال 0 والاحتمال 2 . إن الوفورات الإضافية البالغة 10٪ مقارنة بـ الاحتمال 2هي نتيجة للتحسينات الإضافية في غلاف المبنى بين عامي 2020 و 2050.



الشكل 13 التطور غير المباشر للانبعاثات حسب الاحتمالات 2020-2050

3-4-التقييم الاقتصادي وتوفير التكاليف

تؤدي احتمالات التخفيف إلى تحقيق وفورات في تكاليف الكهرباء مقارنةً بالاحتمال القائم على الاتجاه الحالي، ولكنها تتطلب أيضًا استثمارات إضافية لتنفيذ التقنيات المستدامة (تحقيق كفاءة أعلى واستخدام تقنيات تعمل بمواد التبريد الطبيعية). ويشرح هذا الفصل تقسيم الاستثمارات باستخدام المدفوعات السنوية (الأقساط السنوية)، مع الأخذ في الاعتبار العمر الافتراضي وزيادة أسعار التقنيات ومعدل الخصم (انظر القسم 2.4.7).

كما يوضح هذا الفصل تكاليف الكهرباء والنفقات الرأسمالية (الأقساط السنوية) في الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي (الاحتمال 0). وكذلك يوضح إمكانات التوفير في تكلفة الكهرباء بالإضافة إلى تكاليف احتمالات التخفيف ويقدم في النهاية تحليلًا لإجمالي تكاليف احتمالات التخفيف مقارنة بالاحتمال القائم على الاتجاه الحالي. وتم تحديد جميع التكاليف والأقساط السنوية المذكورة أدناه كقيم رمزية.[35]

4-3-1-احتمال الاتجاه الحالي

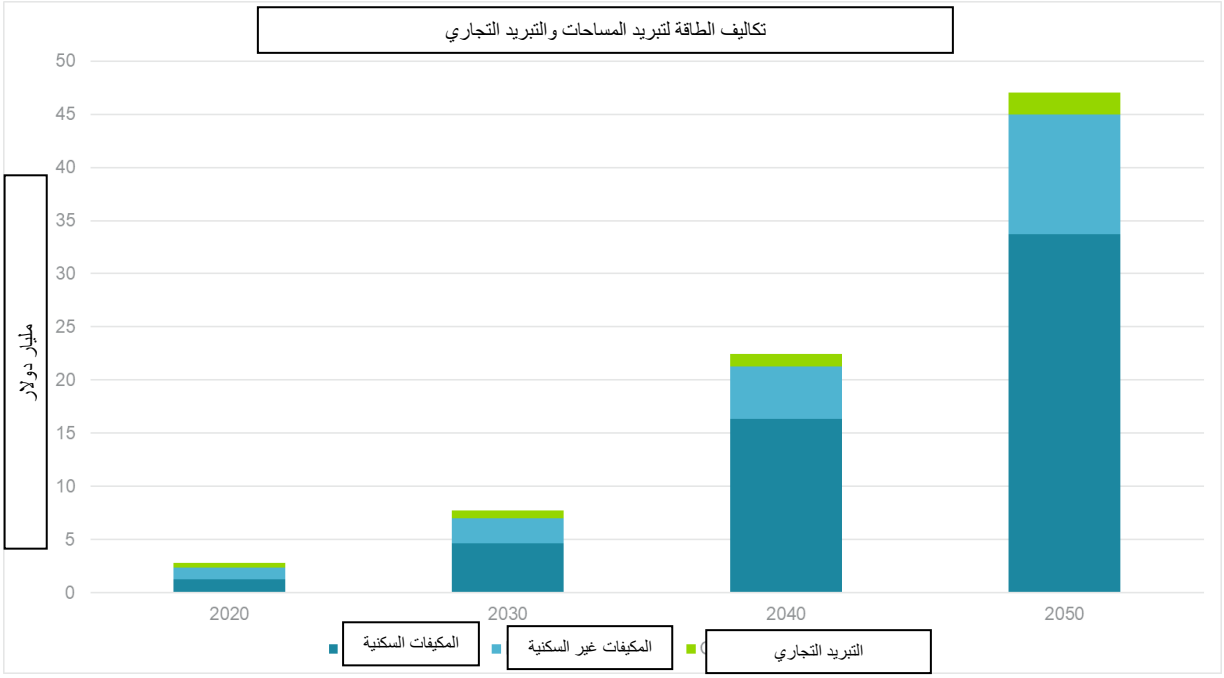
يقدم هذا القسم نظرة عامة على إجمالي تكاليف الكهرباء (للتقنيات المثبتة)، والإقساط السنوية، وأخيراً إجمالي التكاليف السنوية لمعدات القطاعات الواردة بالدراسة في الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي (الاحتمال 0).

[35] Including an annual inflation of 5 %

تكاليف الكهرباء

من المتوقع في إطار الاحتمال 0 أن ارتفاع تكاليف الكهرباء الخاصة بتبريد المساحات والتبريد التجاري بسرعة خلال العقود القادمة ما يؤدي إلى زيادة قدرها 17 ضعفًا، لتصل إلى 47 مليار يورو بحلول عام 2050 **(الشكل 14).**). وترتبط هذه الزيادة الكبيرة ارتباطًا مباشرًا بارتفاع معدل استهلاك الكهرباء لتبريد المساحات والتبريد التجاري (انظر الفصل 1-1-4) والزيادة السنوية المفترضة في أسعار الكهرباء بعد عام 2024.

ومن المتوقع أن تزداد حصة قطاع التكييف السكني من إجمالي تكاليف الكهرباء من حوالي 44٪ في عام 2020، لتقدر بنحو 1.2 مليار يورو، إلى حوالي 72٪ بحلول عام 2050 لتقدر بنحو 34 مليار يورو. ومن ناحية أخرى، فإن أجهزة التكييف غير السكنية تنمو أيضًا بشكل مطرد، ولكن تتباطأ حصصها من 39٪ في عام 2020 إلى 24٪ في عام 2050. ويعزى هذا بشكل مباشر إلى الزيادة الأقوى في الطلب على تبريد المساحات السكنية كما هو موضح في **القسم 1-4-1-** على غرار مكيفات الهواء غير السكنية، فإن تكاليف الكهرباء للتبريد التجاري تنمو أيضًا بشكل مطرد من حوالي 475 مليون يورو في عام 2020 إلى حوالي 1.36 مليار يورو في عام 2050، ومع ذلك فقد تباطأ إجمالي حصصها أيضًا من 17٪ في عام 2020 إلى حوالي 4٪ في عام 2050.

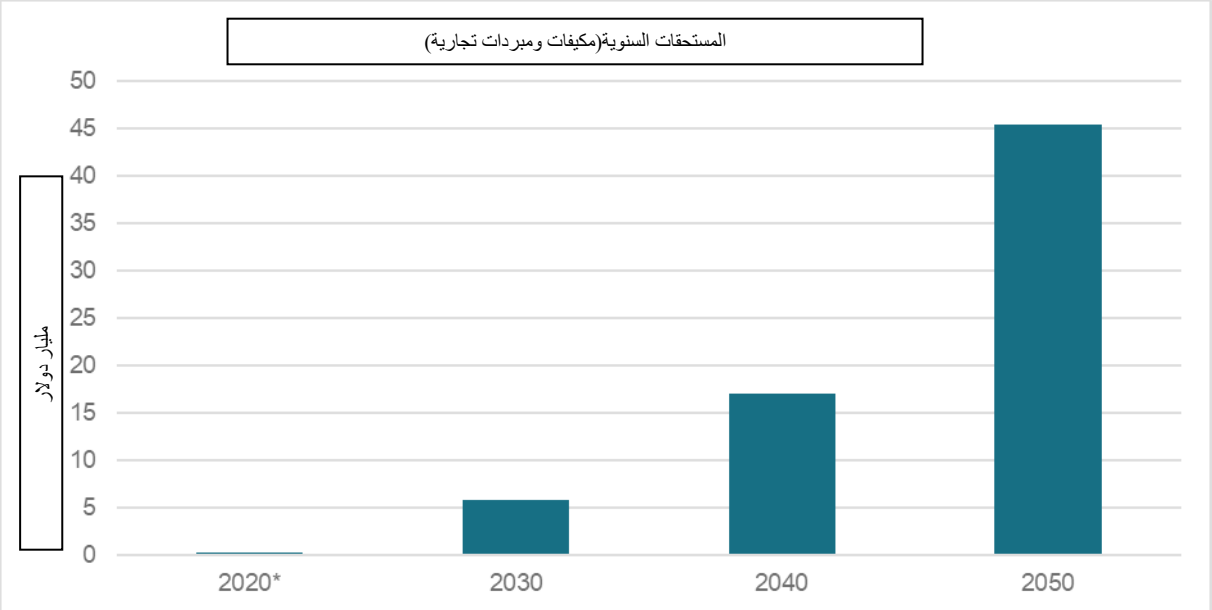


الشكل 14 الاتجاه الحالي - تكاليف الطاقة لتبريد الأماكن والتبريد التجاري 2020-2050

الإقساط السنوية للاستثمار

أدت الزيادة المضطردة في الطلب على التبريد والزيادة الكبيرة المصاحبة له في أجهزة التكييف وإلى حد ما تركيبات معدات التبريد التجاري إلى الحاجة لاستثمارات كبيرة في هذا المجال. وقد تم تفصيل وتقسيم تلك الاستثمارات على أساس دفعات سنوية (أقساط سنوية)، مع الأخذ في الاعتبار العمر الافتراضي للأجهزة ومعدل الخصم (انظر الفصل 7-4-2).

في الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي (الاحتمال 0)، من المتوقع أن تزداد تكاليف الدفعات السنوية بشكل مطرد وكبير بسبب النمو في إجمالي أجهزة تكييف الهواء بالإضافة إلى الطبيعة التراكمية لمدفوعات الأقساط السنوية لتصل إلى حوالي 45 مليار يورو في عام 2050 كما هو موضح في **الشكل 15.**

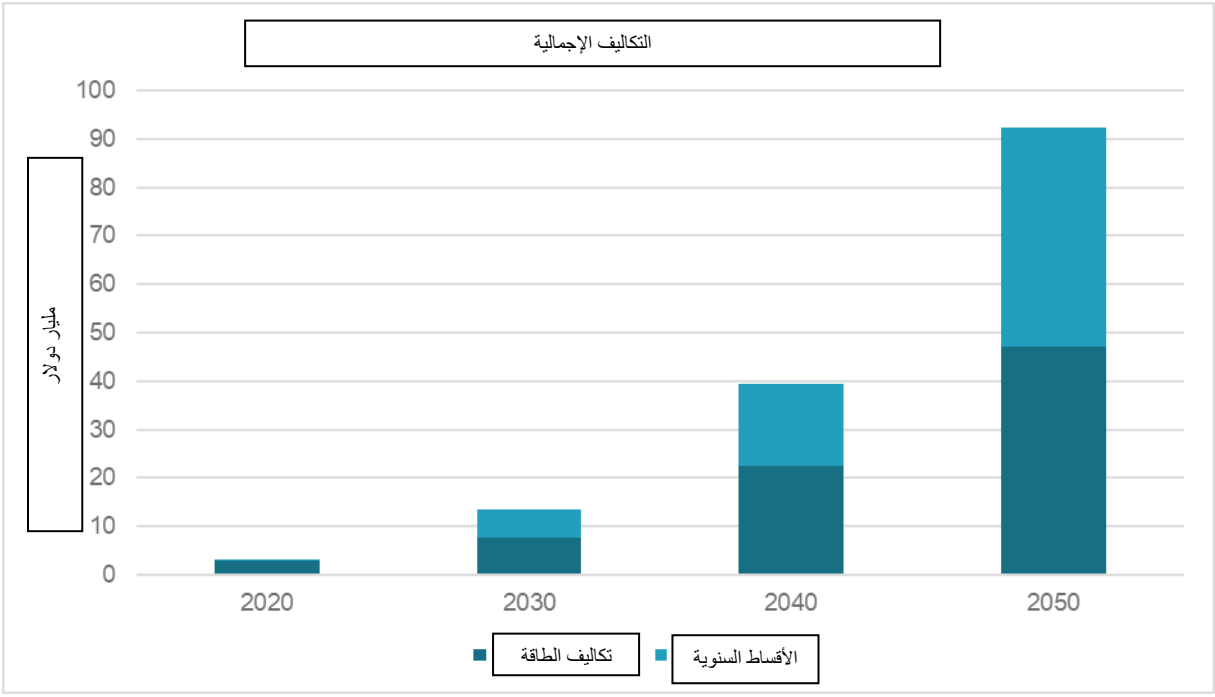


* تنخفض الدفعات السنوية في عام 2020 لأنها تشمل الدفعة الأولى من الاستثمار المطلوب في تلك السنة والتي تم خصمها على مدى العمر الافتراضي للأجهزة. ولم يتم أخذ الدفعات السنوية للاستثمارات السابقة في الاعتبار.

الشكل 15 احتمالات الاتجاه الحالي - الأقساط السنوية لتنمية الاستثمارات 2020 – 2050

إجمالي التكاليف

يتم احتساب إجمالي التكاليف على أنها مجموع مدفوعات تكاليف الأقساط السنوية وتكاليف الكهرباء السنوية. تبلغ حصة النفقات التشغيلية في التكلفة الإجمالية حوالي 51٪ في عام 2050. ومن المتوقع أن ترتفع التكاليف الإجمالية الناتجة عن قطاعي تكييف الهواء والتبريد إلى 92 مليار يورو في عام 2050 مما يشير إلى زيادة كبيرة عن عام 2020 كما هو موضح في **الشكل 16.**



الشكل 16 احتمالية الاتجاه الحالي - تطوير التكاليف السنوية الإجمالية 2020-2050

4-3-2-احتمالات التخفيف

بالمقارنة مع الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي (الاحتمال 0)، ترتفع تكاليف الاستثمار في احتمالات التخفيف وبالتالي ترتفع الدفعات السنوية بسبب زيادة أسعار التقنيات الأكثر كفاءة بينما ينخفض إجمالي تكاليف الكهرباء نظرًا لوفورات تكاليف الكهرباء. ويقدم هذا الفصل نظرة عامة على وفورات تكاليف الكهرباء، ويقارن احتمالات التخفيف 1 و2 بالاحتمال 0.

تكاليف الكهرباء ووفورات تكاليف الكهرباء

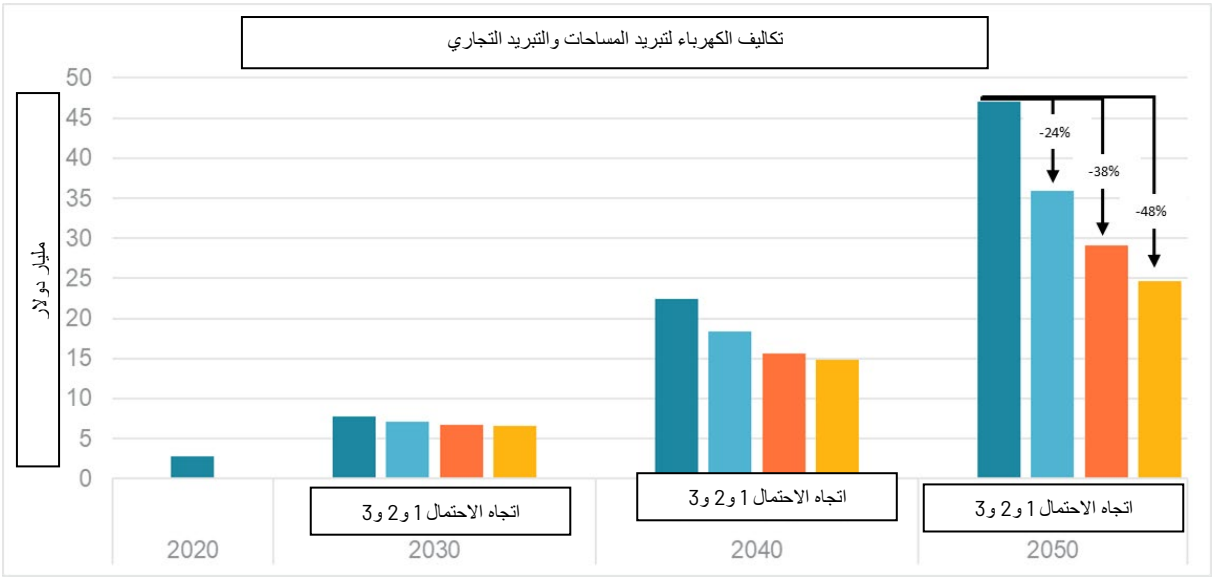
على غرار الطلب الناتج على الطاقة **(القسم 2-1-4)** ، يمكن تحقيق توفير كبير في تكاليف الكهرباء في إطار احتمالات التخفيف مقارنة مع احتمالات الاتجاه الحالي. يقدم الشكل 17 نظرة عامة على تطوير تكاليف الطاقة للاحتمالات المنمذجة خلال الفترة من 2020 إلى 2050 ويقدم **الشكل 18** صورة مقربة الوفورات العددية المحتملة في تكاليف الطاقة خلال الفترة من 2030 إلى 2050.

يوضح الشكل 17 أنه من المتوقع أن تنمو تكاليف الكهرباء في أي نمو محتمل بين عامي 2020 و 2050، في حين أن عامل النمو في الاحتمال 0 أعلى من 17، وفي الاحتمال 1 حوالي 13، وفي الاحتمال 2 أعلى قليلاً من 10. وفي الاحتمال3 أكثر قليلاً من 8.7. في عام 2050، تُظهر جميع احتمالات التخفيف (الاحتمال 1, الاحتمال 2, الاحتمال3) وفورات كبيرة تتراوح بين 24٪ و 48٪ مقارنةً بـ الاحتمال 0.

الاحتمال 1: من المتوقع أن تزداد تكاليف الكهرباء من 2.8 مليار يورو إلى 36 مليار يورو، مما يعني أنه من المتوقع أن تزيد تكاليف الكهرباء الإجمالية بمعامل أعلى من 13 في عام 2050 مقارنة بسنة البداية في عام 2020. وبالمقارنة مع الاحتمال 0، في عام 2050، وسيتم تسجيل وفورات بنسبة 24 ٪.

الاحتمال 2: من المتوقع أن تزيد تكاليف الكهرباء من 2.8 مليار يورو إلى 29 مليار يورو، مما يعني أنه من المتوقع أن تزيد تكاليف الكهرباء الإجمالية بنحو 10% في عام 2050 مقارنة بسنة البداية في عام 2020. وفي عام 2050، وسيتم تسجيل وفورات بنسبة 38٪ و 14٪ مقارنة بـ الاحتمال 0 والاحتمال 1 على التوالي.

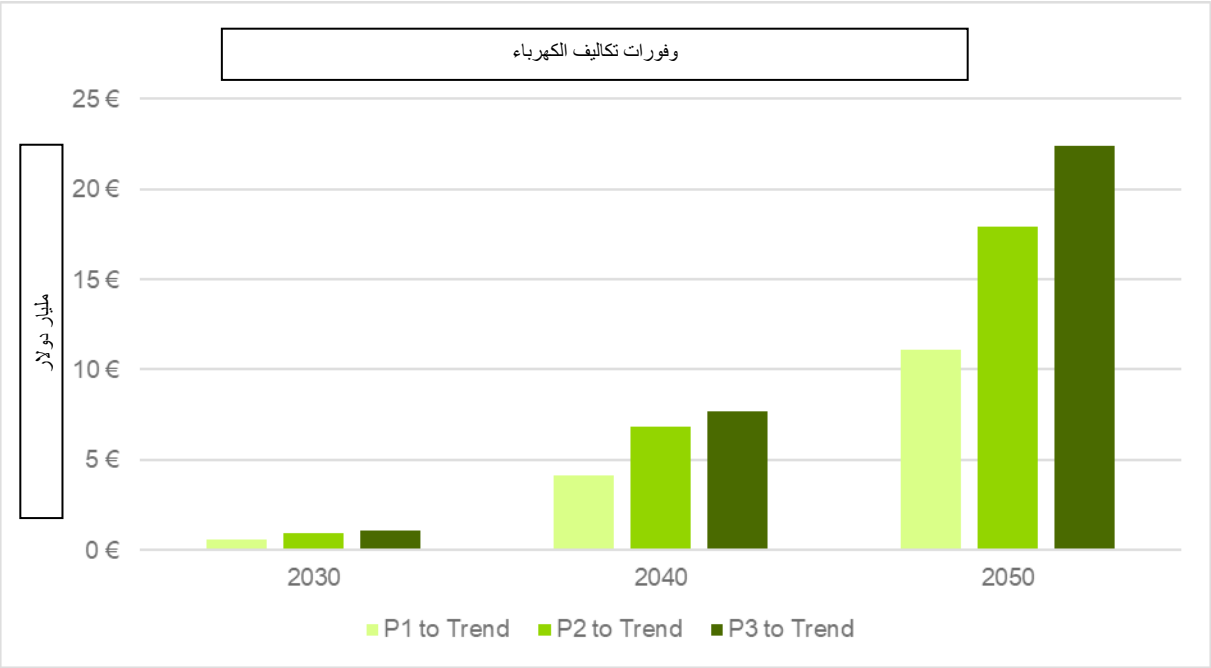
الاحتمال3: من المتوقع أن تزيد تكاليف الكهرباء من 2.8 مليار يورو إلى 24.6 مليار يورو، مما يعني أنه من المتوقع أن تزيد تكاليف الكهرباء الإجمالية بنحو 8.7 في عام 2050 مقارنة بسنة البداية في عام 2020. وفي عام 2050، وسيتم تسجيل وفورات بنسبة 48٪ و 10% مقارنة ب الاحتمال 0 والاحتمال 1 على التوالي.



الشكل 17 احتمالات التخفيف - تطوير تكاليف الكهرباء 2020-2050

يقدم الشكل 18 التالي صورة مقربة ويسلط الضوء على ترتيب وفورات تكلفة الكهرباء من حيث الحجم بين احتمالات التخفيف الاحتمال 1 والاحتمال 2 واحتمال الاتجاه الحالي الاحتمال 0. وبين عامي 2030 و 2050، وصلت وفورات التكلفة إلى ما بين 11 إلى حوالي 18 مليار يورو في حين أن نسبة الوفورات في الاحتمال 2 أعلى مرتين تقريبًا مما كانت عليه في الاحتمال 1.

كما هو موضح سابقًا، تتوافق وفورات تكلفة الكهرباء **(الشكل 18)** مع الإقساط الإضافية المسموح بها **(انظر الشكل 20)** للحفاظ على التكلفة الإجمالية على نفس المستوى من خلال جميع احتمالات التخفيف.

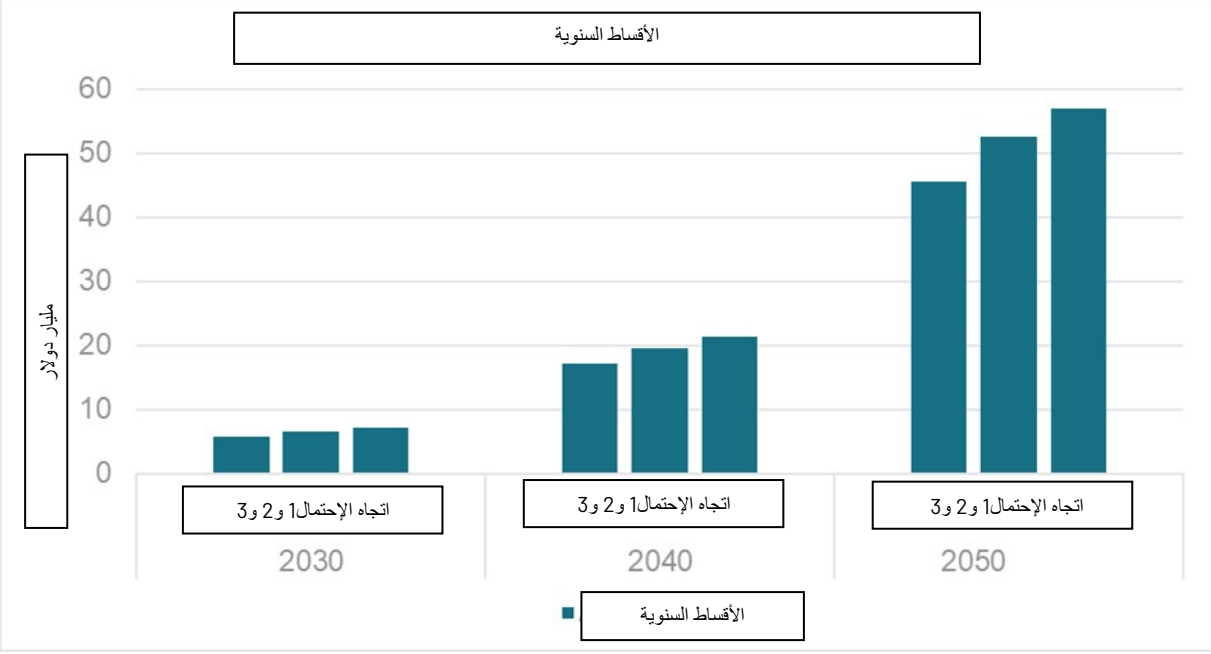


الشكل 18 الوفورات السنوية في تكاليف الكهرباء 2030 – 2050

إجمالي تكاليف الوفورات

تضيف النفقات الرأسمالية (الأقساط السنوية) لتنفيذ احتمالات التخفيف (الاحتمالين 1 و2) ما يصل إلى 52 مليار يورو، منها 57 مليار يورو في عام 2050. وبالمقارنة مع الاحتمالات الحالية للاتجاه الاحتمال 0، فإن هذا يتوافق مع الإقساط الإضافية التي تبلغ 6.8 مليار يورو أو 15٪ في الاحتمال 1 و 11.3 مليار يورو أو 30٪ في الاحتمال 2 في عام 2050 (افتراضات بشأن التكاليف الإضافية للتقنيات المحسنة، **انظر الملحق أ .8).**

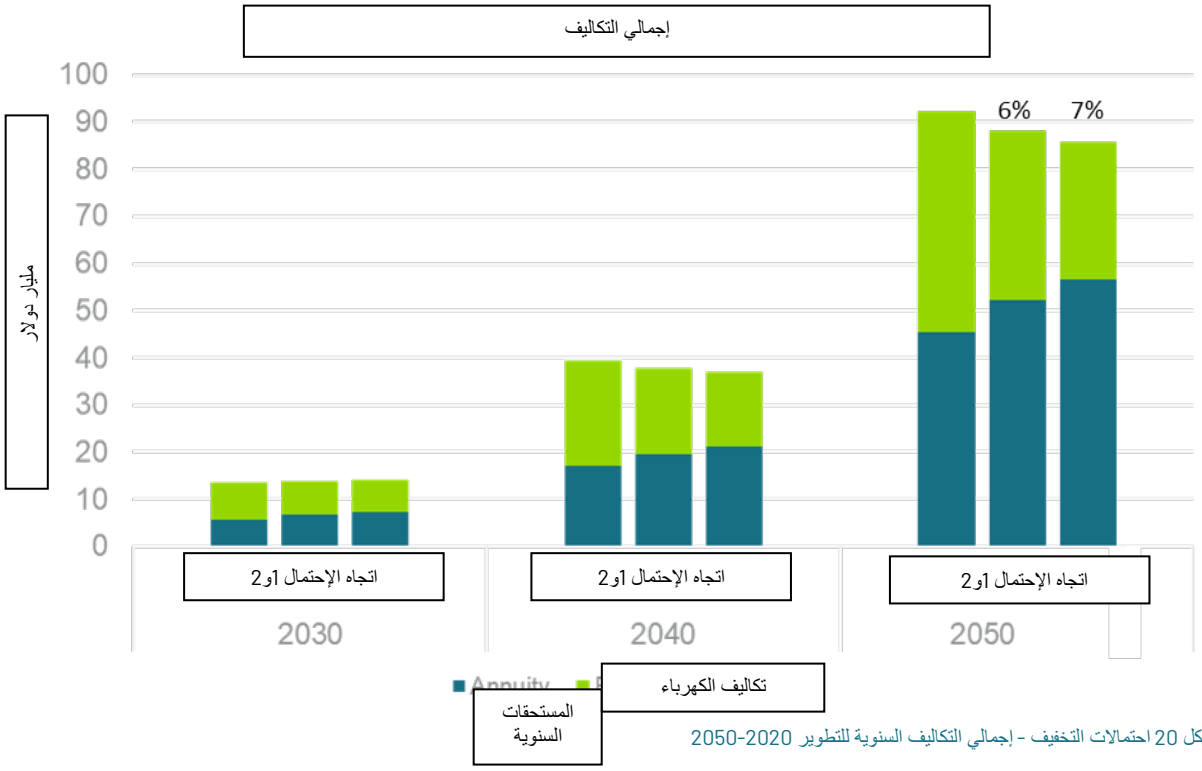
ومن المتوقع أن يكافئ حجم الاستثمارات الإضافية حجم الأقساط السنوية الإضافية بالحصول على استثمارات ثابتة بمرور الوقت. ويسلط الشكل 19 الضوء على تطور مدفوعات الأقساط السنوية عبر الاحتمالات الواردة بالدراسة في الفترة بين 2020 و2050.



***الشكل 19** احتمالات التخفيف - الأقساط السنوية لتنمية الاستثمارات 2020-2050*

كما هو موضح في القسم السابق، فإن وفورات تكلفة الكهرباء في احتمالات التخفيف تصل إلى 11 مليار يورو في الاحتمال 1، مقابل 22 مليار يورو في الاحتمال 2مقارنة بـ الاحتمال 0 في عام 2050.

وتقل التكلفة الإجمالية لاحتمال التخفيف 1 بنسبة 6٪ في الاحتمال 1 و 7٪ أقل في الاحتمال 2 من التكلفة الإجمالية لاحتمال الاتجاه الحالي في عام 2050.



الشكل 20 احتمالات التخفيف - إجمالي التكاليف السنوية للتطوير 2020-2050

5- ملخص النتائج الرئيسية

تحلل هذه الدراسة العديد من احتمالات تطوير قطاع التبريد وتكييف الهواء في مصر. كما تقدم فهماً أساسياً للوضع الحالي والتطورات المستقبلية في القطاعين، ولا سيما تطور كميات نظم تكييف الهواء وأنظمة التبريد التجارية المستقبلية. وتعزز الدراسة إمكانات وفورات الانبعاثات والكهرباء النهائية في 2030 و2040 و2050 من خلال تحليل احتمالات التخفيف المختلفة وفقًا لما تم رصده من زيادة استخدام أجهزة التبريد وتكييف الهواء المستدامة والقائمة على مواد التبريد الطبيعية والموفرة للطاقة بصورة تفوق معدلاتها في الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي (الاحتمال 0). وعلاوة على ذلك، تسلط الدراسة الضوء على حجم الأقساط السنوية الإضافية ووفورات تكاليف احتمالات التخفيف التي تم تحليلها.

الاستنتاج 1: يمثل النمو المرتفع للسوق التبريد وتكييف الهواء تحديات وفرصًا السوق المصري

- يحقق سوق أجهزة التبريد والتكييف في مصر الأردن نموًا سريع في الوقت الحالي ويتمتع بإمكانات سوقية هائلة، ومن المتوقع أن ينمو قطاع التكييف السكني بمعامل
- يؤدي النمو المتوقع للسوق إلى زيادة كبيرة في استخدام مواد التبريد فضلًا عن زيادة الطلب على الكهرباء في ظل الظروف الحالية.
- u من المتوقع في احتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0) ارتفاع إجمالي الانبعاثات بمعامل 2.7 تقريبًا ويزيد الطلب على الكهرباء بمعامل 5 حتى عام 2050 مقارنة بعام 2020.
- تتطلب الزيادة المتوقعة في الطلب على الكهرباء قدرة توليد إضافية عالية.
- u تشكل الانبعاثات المباشرة حصة كبيرة تبلغ حوالي 27٪ من إجمالي الانبعاثات في عام 2020 والتي تزيد إلى ما يقرب من 32٪ في عام 2050.[36]

يؤدي النمو السكاني المتسارع بالإضافة إلى تحسن الوضع الاقتصادي وزيادة الرفاهية المجتمعية إلى زيادة المساحات المبنية والمكيفة. ويُترجم هذا مباشرة إلى خلق إمكانات سوقية كبيرة لقطاع تكييف الهواء في مصر. وستُعزى أعلى معدلات زيادة الطلب على أجهزة تكييف الهواء للقطاع السكني بمعامل 6.5 بحلول عام 2050.

وفي ظل ظروف الاحتمال الحالي الوارد بالدراسة (الاحتمال 0)، يؤثر الطلب المتزايد على أجهزة التكييف على القطاعات الأخرى بالدراسة بنسبة تفوق معدلاته في عام 2020:

- من المتوقع ارتفاع الطلب على الكهرباء لتبريد المساحات (أنظمة تكييف الهواء) بسرعة خلال العقود القادمة بأكثر من 5 أضعاف من 28 إلى 152 تيراواط ساعة بحلول عام 2050.
- من المتوقع أن تزيد الانبعاثات غير المباشرة بمعامل 2.5 حتى عام 2050 من 20 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن إلى 49 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن.
- وتحقق الانبعاثات المباشرة زيادة كبيرة بمعامل 3 حتى عام 2050 من 7 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن إلى 23 مليون مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن.

تؤدي الزيادة الكبيرة المتوقعة في الطلب على الكهرباء بالاحتمال (الاحتمال 0) إلى ظهور تحديات متعلقة بإمدادات الطاقة، ما يتسبب في:

- الحاجة إلى زيادة قدرة توليد الكهرباء بشكل كبير.
- زيادة استخدام البنية التحتية لشبكة الطاقة واحتمالية الحاجة لمواصلة توسيع نطاق الشبكة وتعزيزها.

وعلاوة على ذلك، يقترن الطلب المتزايد على التكييف والتبريد بزيادة الطلب على مواد التبريد، ويشكل هذا تحديًا على النحو التالي:

- تستورد مصر في الغالب مواد التبريد ما قد يضعف وضعه في حالة نقص التوافر العالمي للمواد وتغير الأسعار.
- قد يصعب الامتثال للأهداف المناخية بالإضافة إلى أهداف كيغالي المستقبلية نظرًا لأن قطاع التبريد وتكييف الهواء في مصر يعد سوقًا سريع النمو.

[36] If the electricity would faster decarbonize as assumed the already high importance of direct emissions would increase further

الاستنتاج 2: من الممكن الحد بشكل كبير من الانبعاثات وعكس الاتجاه التصاعدي من خلال اتخاذ تدابير طموحة في الوقت المناسب

- تأثير احتمال التأثير المعتدل (الاحتمال 1) محدود في تغيير الاتجاه التصاعدي للانبعاثات بشكل كبير.
- من المتوقع أن يعكس الاحتمال الكبير التأثير (الاحتمال3) فقط الاتجاه التصاعدي.
- يعتبر الإجراء المبكر هو المفتاح لتنفيذ تقنيات تبريد عالية الكفاءة ومستدامة لتجنب تأثيرات الانغلاق.
- بالمقارنة مع احتمالات الاتجاه الحالي، يُظهر الاحتمال كبير التأثير (الاحتمال3) وفورات كبيرة في الانبعاثات في عام 2050 بنسبة 64٪.
- من أجل تحقيق وفورات ملحوظة، يجب الجمع بين اتخاذ التدابير الطموحة وإنفاذها بشكل فعال.

يظهر احتمال التأثير المعتدل (الاحتمال 1) بالفعل وفورات ملحوظة. ومع ذلك، ليس من المتوقع أن يعكس الاحتمال 1 الاتجاه التصاعدي. يتوقع أن تكسر الاحتمالات عالية التأثير فحسب (الاحتمال 2, الاحتمال3) المستندة إلى تدابير السياسة الأساسية الطموحة للغاية الاتجاه التصاعدي وتثبت أو تخفض مستويات الانبعاثات في عام 2050 أقل من عام البداية 2020. وبالمقارنة مع الاحتمال 2، فإن التحسينات المفترضة لغلاف المبنى تظهر انخفاض إضافي بنسبة 7٪ في الانبعاثات في الاحتمال3 مقارنة ب الاحتمال 2.

توضح الاحتمالات عالية التأثير (الاحتمال3) أن المدخرات العالية ممكنة من خلال تنفيذ مجموعة من التدابير الطموحة.

على وجه التحديد، يمكن تحقيق وفورات عالية في الانبعاثات المباشرة من خلال:

- زيادة استخدام مواد التبريد الطبيعية
- تقليل معدل التسرب التشغيلي إلى حد كبير

خفض الانبعاثات عند نهاية العمر الافتراضي إلى حد كبير

وبالمثل، يمكن تحقيق وفورات عالية في الانبعاثات غير المباشرة من خلال تدابير خفض الطلب:

- تركيب أجهزة التبريد وتكييف الهواء واستبدال غير الفعال منها بأفضل الأجهزة المتاحة عالية الكفاءة
- اتخاذ تدابير إضافية لتقليل معدلات التسرب التي تؤثر بشكل مباشر على كفاءة الأنظمة
- تحسين أغلفة المباني الجديدة وتجديد القائم منها بالإضافة إلى اعتماد تدابير التبريد السلبي

وفي ظل زيادة نمو السوق والتحول إلى استخدام مواد التبريد الطبيعية، ستزداد حصة الانبعاثات غير المباشرة في المستقبل ما يبرز أهمية كفاءة الطاقة.

وفيما يتعلق بتحسين إجراءات الحد من التسرب، يبدو أن بعض التدابير الخاصة بعمليات الفحص الدوري للتسرب المجراة على الأنظمة التي تعمل بالغازات المفلورة في غاية الأهمية للحد من انتشار تلك الغازات مرتفعة القدرة على إحداث الاحترار العالمي في الغلاف الجوي. فعلى سبيل المثال، تسعى اللائحة الحالية للاتحاد الأوروبي بشأن الغازات المفلورة إلى تعزيز نظام التحكم في التسرب غير المقصود مدعومة بقانونين تنفيذيين معنيين بفحص التسرب في قطاع أجهزة التبريد وتكييف الهواء ومضخات الحرارة وقطاع الحماية من الحرائق (الصادرين بناءً على اللائحة 842/2006، ولكنهما ولا يزالا ساريين).

من المعروف أن معدلات التسرب في قطاع التبريد التجاري، والتي يمكن رصدها والتحكم فيها بشكل فعال بسبب انخفاض عدد الوحدات المعنية، كبيرة بشكل خاص.[37] إن بناء القدرات والتدريب ومنح الشهادات للموظفين المؤهلين بالإضافة إلى زيادة معدلات الاسترداد هي تدابير مصاحبة محتملة.

[37] EIA Chilling Facts VII summarising data obtained from 22 retailers submitting data covering the 2015 calendar year from supermarkets across 37 countries. URL: https://eia-international.org/wp-content/uploads/Chilling-Facts-VII-FINAL-1.pdf

الاستنتاج **3:** يمكن تحقيق وفورات كبيرة في الكهرباء من خلال الاضطلاع بالتدابير الطموحة

- جميع الاحتمالات تشير إلى ارتفاع الطلب على الكهرباء في عام 2050، مقارنة بالظروف الأساسية في عام 2020.
- من المتوقع أنه في عام 2050، ستكون هناك حاجة إلى قدرة توليد إضافية كبيرة. ووفقًا للاحتمال، ستبلغ تلك الزيادة حوالي 3-5 أضعاف مقارنة بعام 2020.
- سيتم تحقيق وفورات أكبر في الكهرباء في احتمالات التخفيف بحلول عام 2050 مقارنةً بمعدلاتها في الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي.

يعزى الاتجاه التصاعدي المتوقع في الفترة بين 2020 و2050 إلى مجمل المباني الحالية المتزايدة فضلًا عن احتمال حدوث زيادة كبيرة في متوسط المساحات المكيفة. ومن غير المتوقع أن يتم عكس الاتجاه التصاعدي في أي من احتمالات التخفيف. من المحتمل أن تنجح تدابير السياسة العامة والرقابة التنظيمية في إبطاء النمو المتوقع للطلب على الكهرباء كما لوحظ في احتمالات الأثر المعتدل والمرتفع والشديد (الاحتمالات 1 و2 و3). كما سيتم تحقيق وفورات في الكهرباء بنسبة 24-48٪ في عام 2050 مقارنة بـ الاحتمال 0. وهذا من شأنه أن يؤدي إلى قدرة توليد كبيرة يمكن تجنبها في احتمالات التخفيف مقارنةً بالبرنامج .الاحتمال 0

الاستنتاج **4:** العمل المبكر والتقليل السريع هو مفتاح تنفيذ تقنيات عالية الكفاءة مع المبردات الطبيعية وتجنب تأثيرات الانغلاق.

- يعد التحول السريع لقطاع التبريد وتكييف الهواء نحو تقنيات أكثر كفاءة ومبردات طبيعية أمرًا أساسيًا:
  - لمواجهة الزيادة السريعة في الانبعاثات بسبب نمو السوق.
  - لتسريع تحقيق وفورات كبيرة في الانبعاثات المباشرة وغير المباشرة في أقرب وقت ممكن وتجنب تأثيرات الاعتماد على مصدر واحد على المدى الطويل.
  - لتجنب تأثيرات الاعتماد على مصدر وحيد بالنسبة للأجهزة التي تستخدم مركبات الهيدروفلوروكربون)مثل R 410A ، و R 134a) كمواد تبريد وتوفير الدعم لتحقيق أهداف تعديل كيغالي.
- وتشمل المزايا الإضافية لاتخاذ الإجراءات الاستباقية زيادة الأمان من حيث أسعار مواد التبريد وتوافرها والفوائد البيئية.

نظرًا للنمو الهائل في السوق وإمكانيات السوق الكبيرة خاصة في قطاع التكييف، فإن اتخاذ الإجراءات الاستباقية هو المفتاح لتطبيق ممارسات منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي وأنظمة عالية الكفاءة قبل نمو السوق مرة أخرى. وسيؤدي تحول السوق إلى التقنيات المستدامة في وقت متأخر إلى تفاقم التأثيرات التي لا رجعة فيها.

وللتحول المبكر في السوق أثران إيجابيان، يتعلق الأول بالانبعاثات المباشرة، إذ تستفيد الدولة من التطبيق المبكر للتقنيات القائمة على مواد التبريد الطبيعية في تحقيق أهداف كيغالي من خلال خفض الانبعاثات الناتجة عن ارتفاع الطلب على مواد التبريد. كما يؤدي استخدام تقنيات عالية الكفاءة إلى خفض الطلب على الكهرباء وتوفير التكاليف.

وتترتب على الإجراءات المبكرة آثار جانبية إيجابية إذ تعزز ضمان توافر مواد التبريد. وفي كثير من الحالات تكون مواد التبريد الطبيعية متوفرة محليًا ولا تكون هناك حاجة للاعتماد على الشحنات والموردين الدوليين.

ويؤدي التنفيذ المبكر والسريع للتطبيقات القائمة على مواد التبريد الطبيعية إلى زيادة استقرار الأسعار كما يؤثر إيجابيًا على استدامة الأعمال الاقتصادية في قطاع التبريد نظرًا لمحدودية تغير الأسعار. وخلال السنوات الثماني الماضية التي جمعت فيها المفوضية الأوروبية البيانات، لوحظ استقرار أسعار مواد التبريد الطبيعية.

استنادًا إلى البيانات التي جمعتها المفوضية الأوروبية منذ عام 2014، فإن التخفيض التدريجي للكمية المركبات الهيدروفلوروكربون المسموح بها في أسواق الاتحاد الأوروبي له تأثيرات قوية على أسعار المبردات الاصطناعية ذات القدرة المتوسطة إلى العالية على إحداث الاحترار العالمي. باختصار، من المرجح أن ترتفع أسعار مواد التبريد على مستوى العالم نتيجة للعمل المشترك بشأن المركبات الهيدروفلوروكربون بموجب بروتوكول مونتريال. في الاتحاد الأوروبي، لوحظت زيادات في أسعار المبردات التقليدية (عالية القدرة على إحداث الاحترار العالمي) المركبات الهيدروفلوروكربون التي تندرج في إطار التخفيض التدريجي لا مركبات الهيدروفلوروكربون (على سبيل المثال، R134a و R410A وR407C). يبدو أن أسعار مواد التبريد منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي مثل مواد التبريد الطبيعية، بدورها، أكثر استقرارًا، مما يشير إلى أن الحصة تؤثر بشدة على أسعار السوق لمواد التبريد المتأثرة بالتخفيض التدريجي. في الآونة الأخيرة، على المستوى العالمي، يبدو أن حجم إنتاج المبردات من قبل الموردين من خارج الاتحاد الأوروبي قد انخفض، في جملة أمور، نتيجة لتعديل كيغالي لبروتوكول مونتريال. فيما يتعلق بغاز التبريد المُنتَج في الولايات المتحدة على وجه الخصوص، يبدو أن الضغط التنظيمي الدولي على أحجام إنتاج مركبات الهيدروفلوروكربون يؤثر بالفعل على الكمية المتاحة في الخطوة الأولى للتخفيض التدريجي لا مركبات الهيدروفلوروكربون. وأدى خفض العرض هذا بالفعل إلى زيادة أسعار مواد التبريد في السوق الأوروبية.[38]

[38] Cost effects of refrigerants were not considered in this study. It would be expected that considering costs of refrigerants would result in even higher cost saving potentials as indicated for the ambitious prospects (P2 and P3)

في حالة إزالة الكربون من الشبكة بالكامل[39]، فإن احتمالات الاحتمال 2و الاحتمال3 ستمكن مصر من الحصول على محايدة مناخياً بحلول عام 2050.

الاستنتاج **5:** من الممكن تحقيق وفورات كبيرة في تكلفة الكهرباء من خلال تدابير طموحة

- *يُتوقع ارتفاع تكاليف الكهرباء. وستتراوح قيمة هذا الارتفاع بين معامل 5.5 إلى 10 بين 2020 و2050 حسب الاحتمال.*
- *في عام 2050، من المتوقع توفير 24٪ إلى 48٪ في تكاليف الكهرباء في احتمالات التخفيف مقارنة مع احتمالات الاتجاه الحالي.*
- تسمح وفورات التكاليف بالاستثمار في تقنيات تبريد فعالة

في جميع الاحتمالات، من المتوقع أن يزداد الاتجاه التصاعدي تكاليف الكهرباء بشكل كبير من 2020 إلى 2050 بمعامل بين 9 و17، اعتمادًا على أي احتمال.

مع مقارنة الاحتمالات في عام 2050، يتضح أنه يمكن تحقيق وفورات كبيرة في تكاليف الكهرباء في احتمالات التخفيف بحلول ذلك العام. فيمكن توفير أكثر من 11 مليار يورو و 18 مليار يورو و 22 مليار يورو في الاحتمال 1 والاحتمال 2و الاحتمال3 في عام 2050 مقارنة بـ الاحتمال 0 على التوالي. لا تسمح وفورات تكاليف الكهرباء هذه فقط بمزيد من المرونة لتخصيص المدخرات لجهود إزالة الكربون الأخرى، ولكنها تتيح مجالًا لمزيد من الاستثمار في معدات أكثر كفاءة تعتمد على المبردات الطبيعية.

يمكن أن تكون وفورات تكلفة الكهرباء أعلى من ذلك عند الأخذ في الاعتبار النمو المتسارع لأسعار الكهرباء في مصر بطريقة أكثر شمولاً. تأثير آخر على سبيل المثال، هو أن أسعار الكهرباء قد ارتفعت بنسبة 200٪ على مدى السنوات العشر الماضية (2011 - 2021)، مع زيادة بنسبة 15٪ في المتوسط وحده في عام 2019 (في النمذجة، زيادة الأسعار السنوية المتحفظة بنسبة 5٪ بدءًا من عام 2025). ويُعزى النمو الكبير بشكل أساسي إلى الإعفاء من الدعم من أسعار الكهرباء.

وثمة فائدة مجتمعية تتمثل في تزايد كفاءة الأجهزة وبالتالي وفورات الكهرباء، وهي تجنب الاستثمارات في مجال تعزيز وتوسيع شبكات الكهرباء وتجنب الاستثمارات من أجل توفير قدرة إضافية لتوليد الطاقة، ولا سيما المحطات الكبيرة.

الاستنتاج **6:** تكلفة الوفورات: الدفعات السنوية الإضافية المخصصة لتنفيذ احتمالات التخفيف أقل من الوفورات المُحققة في تكاليف الكهرباء

النفقات الرأسمالية (الإقساط) لتنفيذ احتمالات التخفيف تضيف ما يصل إلى 52 مليار يورو، منها 57 مليار يورو في عام 2050

- *تزيد نسبة التكاليف الرأسمالية (الأقساط السنوية) لاحتمالات التخفيف بنسبة 15٪ أعلى بنسبة 30٪ من الاتجاه الحالي في عام 2050.*
- *تقل الدفعات السنوية الإضافية المخصصة لتنفيذ احتمالات التخفيف عن وفورات تكاليف الكهرباء، ويؤدي تنفيذ احتمالات التخفيف إلى تسجيل وفورات صافية.*

ويتطلب تنفيذ احتمالات التخفيف نفقات رأسمالية إضافية (دفعات سنوية) بسبب ارتفاع أسعار تقنيات التبريد المستدامة (كفاءة أعلى واستخدام مواد التبريد الطبيعية). وبمقارنة احتمالات التخفيف باحتمال الاتجاه الحالي، فإن النفقات الرأسمالية الإضافية المخصصة للدفعات السنوية (الأقساط السنوية) تزيد بنسبة تصل إلى 15٪ في الاحتمال 1 ذي الصلة و 30٪ في الاحتمال 2في عام 2050، مقارنة بـ الاحتمال 0.

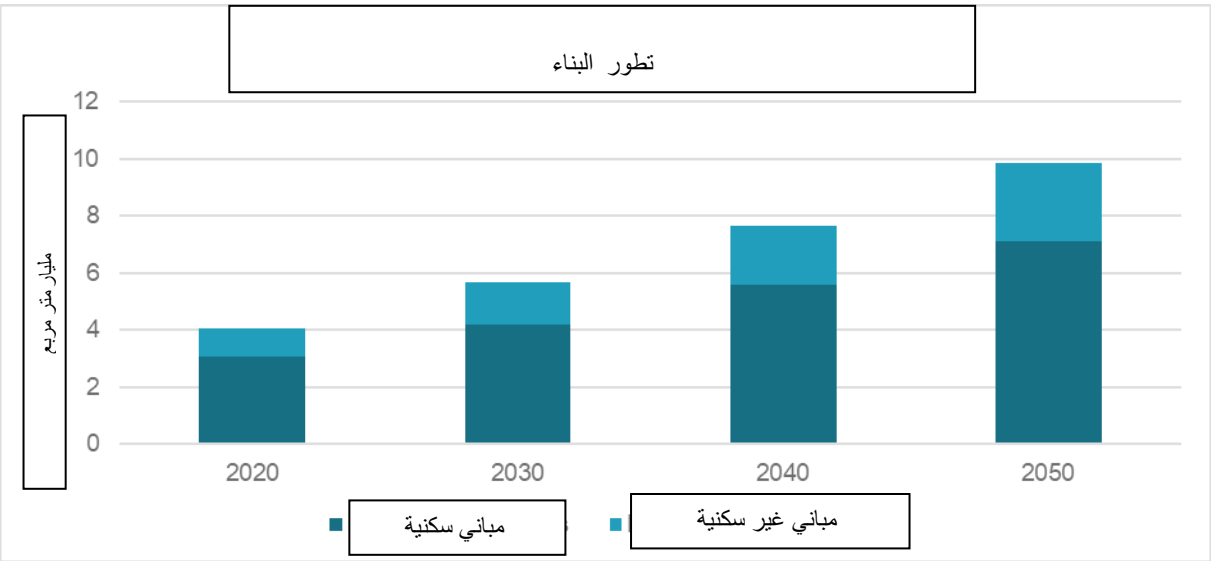
وتزيد وفورات تكاليف الكهرباء باحتمالات التخفيف عن الدفعات السنوية الإضافية المطلوبة لتنفيذ تلك الاحتمالات. وبالتالي، يقل إجمالي تكاليف احتمالات التخفيف عن إجمالي تكاليف احتمال الاتجاه الحالي ما يعني أن احتمالات التخفيف تؤدي إلى تحقيق وفورات صافية على عكس الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي.

[39] CO_2 factor of grid electricity 0 g/kg by 2050

الملاحظات الختامية

تعتمد نتائج واستنتاجات هذه الدراسة بشكل كبير على بيانات المدخلات. وعلى الرغم من محدودية البيانات المتاحة، فإن فريق برنامج كوول أب بذل جهودًا حثيثة وحرص على الحصول على أكبر قدر ممكن من البيانات الموثوقة والآراء المرنة. وعلاوة على ذلك، حرص فريق البرنامج على ضمان شفافية بيانات المدخلات قدر الإمكان (انظر الملحق الأول) لتمكين القارئ من الحكم على آثار النتائج المحتملة لمعايير الإدخال المختلفة.

1-1- تطور المباني القائمة



الشكل 21 تطوير إجمالي المباني 2020 – 2050

في عام 2020، قدر إجمالي المباني في مصر بحوالي 4 مليارات متر مربع، 75يمثل ٪ منها مبان سكنية تقدر بنحو 3 مليارات متر مربع وتمثل ال 25٪ المتبقية منها حوالي 1 مليار متر مربع من المباني غير السكنية.

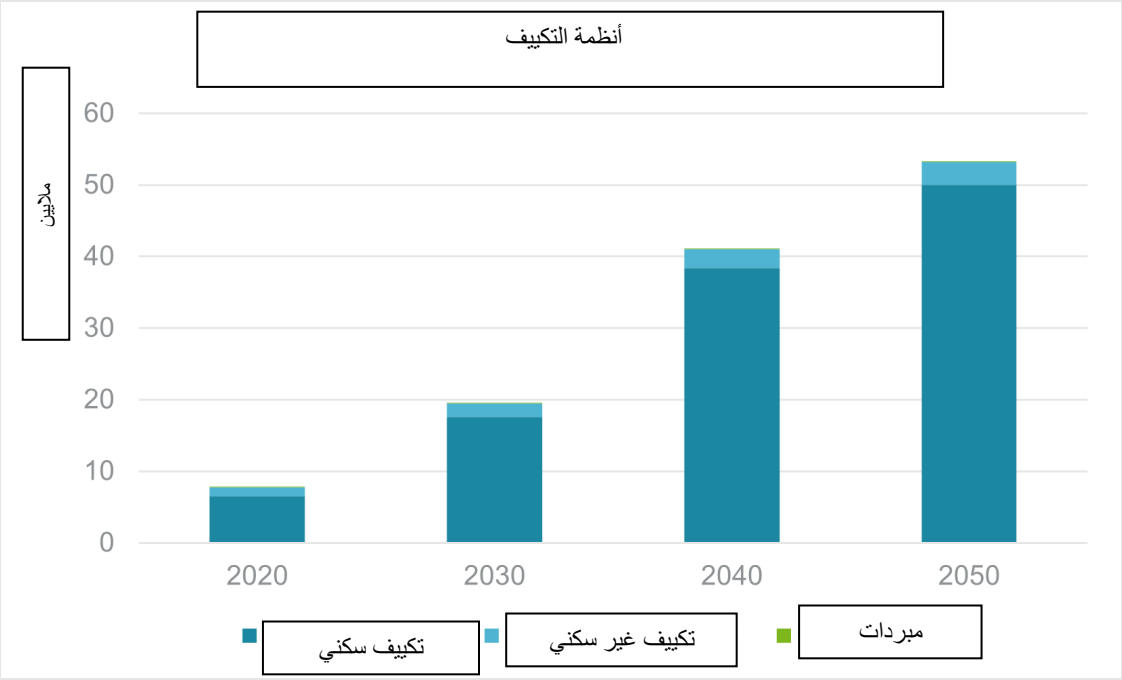
في عام 2050، من المتوقع أن يُظهر إجمالي المباني في مصر نموًا كبيرًا مع زيادة بمقدار 2.5 ضعفًا لتصل إلى 10 مليارات متر مربع. ومن المتوقع كذلك أن ترتفع حصة المباني غير السكنية لتصل إلى 2.8 مليار متر مربع والتي تشكل حصة إجمالية تبلغ حوالي 28 ٪ من إجمالي المباني والباقي 72 ٪ من مباني سكنية بحوالي 6.2 مليار متر مربع كما هو موضح في **الشكل 21.**

2-1- إجمالي أجهزة تكييف الهواء والتبريد التجاري

من المتوقع أن ينمو مخزون أنظمة التكييف في مصر من 7.8 مليون وحدة في عام 2020 إلى ما يقرب من 53 مليون وحدة في عام 2050. إن المحرك الرئيسي لهذا التطور هو النمو الكبير في إجمالي المباني إلى جانب زيادة الثروة الاقتصادية[40]. في الفترة 2020-2040، كان نمو المخزون أعلى من ذلك الحين (انظر الشكل 22)، ويرجع ذلك إلى حقيقة أن السوق السكنية وصلت إلى الحد الأقصى من التشبع في عام 2036.[41] ومع ذلك، لا يزال نمو السوق بعد هذه النقطة يحدث بسبب تركيبات المباني الجديدة والحصة المتزايدة من مساحة الأرضية المبردة في المساكن التي تتطلب قدرات تبريد إضافية لمكيفات الهواء.

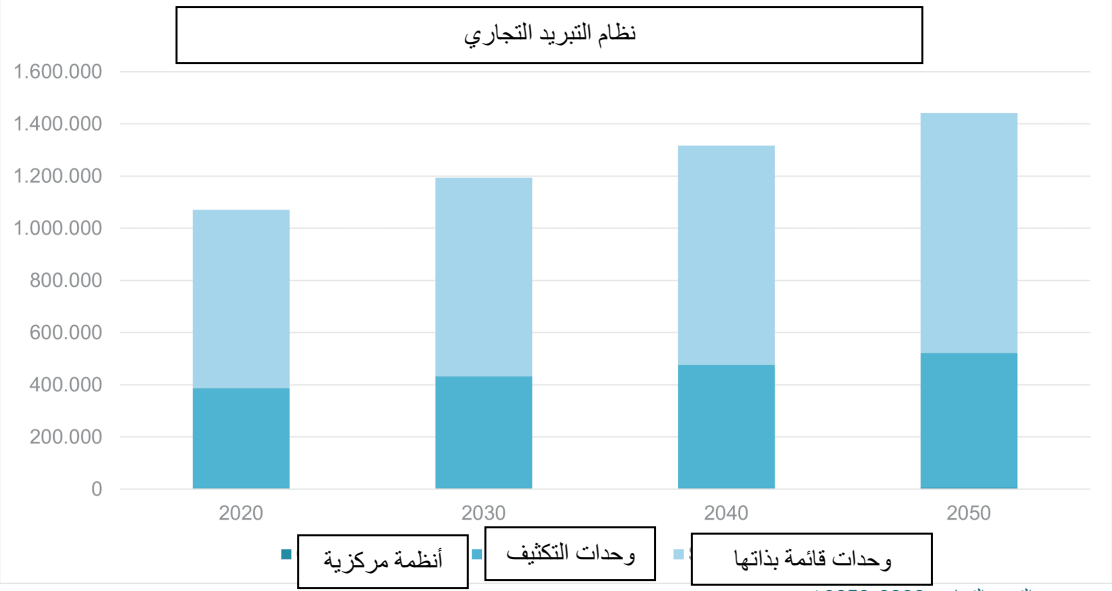
[40] El Dallal et al. (2022)

[41] The forecasting air conditioning ownership model according to Mc Neil et al. assumes that air conditioner ownership will approach a climate dependant maximum but never exceed it. Saturation is a function of availability (income) and climate (Cooling Decree days- CDD) (further explanation see definition). For immature markets, the ownership rate is dominated by the dynamics of affordability (income). For mature markets, where ownership levels are near saturation, sales are largely driven by replacements, increasing population (new constructions of buildings), and ownership of multiple appliances.



الشكل 22 تطور إجمالي أجهزة التكييف 2020-2050 في مصر

يوضح الشكل 23 التطور المحتمل لمخزون نظام التبريد التجاري في مصر مقسومًا على نوع النظام. من المتوقع أن ينمو المخزون من حوالي 1.1 مليون نظام في عام 2020 إلى ما يقرب من 1.4 مليون نظام في عام 2050.[42] المحرك الرئيسي هو الزيادة السكانية والتشييد الجديد للمباني حيث يتم تركيب التبريد التجاري، مثل المحلات التجارية.



الشكل 23 تطوير مخزون التبريد التجاري 2020-2050 في مصر

[42] No national data available for the commercial refrigeration sector and the presented data were based on the global model of the Green Cooling Initiative

أ-3- المعايير الفنية

يوفر الجدول التالي معلومات حول المعلمات التقنية المختلفة لأنظمة التبريد التجاري والتكييف المدروسة طوال الدراسة.

الجدول 1 المعلمات التقنية لأنظمة التبريد التجاري والتكييف المدروسة

النظام	القدرة [كيلوواط[43]]	وحدة استهلاك الطاقة [44]	مقدارالشحنة الأولى من مادة التبريد [كجم] [45]	العمر الافتراضي [سنوات[46]]
تكييف لامركزي سكني	3.4 - 7	-	0.9 - 2	10
تكييف مركزي سكني	15	-	6.0	10
تكييف لامركزي غير سكني	3.4 - 7	-	0.9 - 2	10
تكييف مركزي غير سكني	78	-	40	10
المبرّدات	175	-	35	20
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)	-	1800	0.4	15
أنظمة التكثيف	-	9000	5	20
الأنظمة المركزية	-	175200	200	25

[43] Expert interview 2021

[44] Cool Coalition Model

[45] As simplification an average refrigerant charge size has been assumed, independent from the type of refrigerant. As systems with natural refrigerants or other (ultra)low GWP refrigerants typically have lower charge sizes the overall error by this assumption is small compared to other uncertainties

[46] Expert guess based on local interviews

أ-4- خلائط مواد التبريد

توفر الجداول التالية معلومات عن خلائط مواد التبريد الحالي في المخزون الحالي لفئات التقنيات بالإضافة إلى تطوير الأسهم الجديدة على مدى العقود ولكل من الاحتمالات النموذجية.

الجدول 2 خلائط مواد التبريد في إجمالي فئات التقنيات الحالية

خلائط مواد التبريد الحالية (في عام 2020)									
القطاع	خلائط مواد التبريد								
	R22	R410A	R134a	R407c	R404a	مواد التبريد المفلورة متوسطة إلى منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي [47]	R290	R718[48]	R717
الأنظمة القائمة المركبة [49]									
أجهزة التكييف عدا المبرّدات	70%	30%							
مبردات		20%	70%	10%					
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)	80%		20%						
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية	80%		15%		5%				
أنظمة جديدة (تباع في عام 2020)									
أجهزة التكييف عدا المبرّدات	5%	95%							
مبردات		20%	70%	10%					
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)	10%		81%				9%		
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية	20%		56%		24%				

[47] Low GWP refrigerants with a GWP below 750 (e.g. R32, etc)

[48] Water as refrigerant used in sorption chillers

[49] Expert interviews 2921

الجدول 3 خلائط مواد التبريد المستقبلي للأنظمة الجديدة المباعة في عام 2030 في ظل احتمالات مختلفة

خلائط مواد التبريد المستقبلية للأنظمة الجديدة المباعة في عام 2030									
القطاع	خلائط مواد التبريد								
	R22	R410A	R134a	R407C	R404A	المبردات المفلورة منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي [50]	R290	R718[51]	R717
احتمال الاتجاه الحالي									
أجهزة التكييف عدا المبرّدات		50%				50%			
المبردات		20%	70%	5%			5%		
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)			80%				20%		
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية			60%		25%		15%		
احتمال 1									
أجهزة التكييف عدا المبرّدات		45%				25%	30%		
المبردات		17.5%	55%	2.5%			10%	7.5%	7.5%
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)			40%				60%		
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية			45%		17.5%		37.5%		
احتمال 2									
أجهزة التكييف عدا المبرّدات		25%				15%	60%		
المبردات		15%	40%				15%	15%	15%
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)							100%		
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية			30%		10%		60%		

[50] Low GWP refrigerants with a GWP below 750 (e.g. R32, etc)

[51] Water as refrigerant used in sorption chillers

الجدول 4 خلائط مواد التبريد المستقبلي للأنظمة الجديدة المباعة في عام 2040 في ظل احتمالات مختلفة

خلائط مواد التبريد المستقبلية للأنظمة الجديدة المباعة في عام 2040									
القطاع	خلائط مواد التبريد								
	R22	R410A	R134a	R407c	R404a	المبردات المفلورة منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي [52]	R290	R718[53]	R717
احتمال الاتجاه الحالي									
أجهزة التكييف عدا المبرّدات		50%				50%			
المبردات		15%	65%	5%			15%		
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)			60%				40%		
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية			50%		20%		30%		
احتمال 1									
أجهزة التكييف عدا المبرّدات		25%				25%	50%		
المبردات		10%	35%	2.5%			22.5%	15%	15%
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)			30%				70%		
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية			35%		10%		55%		
احتمال 2									
أجهزة التكييف عدا المبرّدات							100%		
المبردات		5%	5%				30%	30%	30%
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)							100%		
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية			20%				80%		

[52] Low GWP refrigerants with a GWP below 750 (e.g. R32, etc)

[53] Water as refrigerant used in sorption chillers

الجدول 5 خلائط مواد التبريد المستقبلية في الأنظمة الجديدة المباعة في 2040 في سياق احتمالات مختلفة

خلائط مواد التبريد المستقبلي للأنظمة الجديدة المباعة في عام 2050									
القطاع	خلائط مواد التبريد								
	R22	R410A	R134a	R407c	R404a	المبردات منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي	R290	R718	R717
احتمال الاتجاه الحالي									
أجهزة التكييف عدا المبرّدات		50%				50%			
المبردات		15%	60%	5%			20%		
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)			50%				50%		
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية			45%		15%		40%		
احتمال 1									
أجهزة التكييف عدا المبرّدات		25%				25%	50%		
المبردات		7.5%	30%	2.5%			27.5%	15%	17.5%
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)			25%				75%		
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية			22.5%		7.5%		70%		
احتمال 2									
أجهزة التكييف عدا المبرّدات							100%		
المبردات							35%	30%	35%
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)							100%		
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية							100%		

5-1- معدلات التسرب

يقدم الجدول التالي معلومات حول معدلات التسرب المفترضة وتطورها المستقبلي حسب فئات التقنيات الواردة في هذه الدراسة لكل من الاحتمالات المنمذجة.

الجدول 6 معدلات التسرب المفترضة عبر فئات التقنيات والاحتمالات

النظام	سنة الأساس [54]	احتمال الاتجاه الحالي			احتمال 1			احتمال 2		
	2020	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
أجهزة التكييف عدا المبرّدات	8%	8%	7%	6%	8%	6%	5%	7%	3%	2%
المبردات	20%	20%	19%	17%	20%	18%	14%	13.5%	9.2%	3.5%
الأنظمة المركزية	40%	40%	38%	34%	38.4%	34 %	27%	36.8%	29.4%	17%
وحدات التكثيف	25%	25%	24%	21.5%	25%	23%	17.5%	25%	20.5%	12%
قائم بذاته	5%	5%	5%	4.5%	5%	4.4%	3.3%	3.7%	2.6%	1.2%

6-1- معدلات الانبعاثات الناجمة عن مواد التبريد عند نهاية العمر الافتراضي

يقدم الجدول التالي معلومات حول حصص الانبعاثات المتوقعة الناجمة عن مواد التبريد عند نهاية العمر الافتراضي وتطورها المستقبلي حسب فئات التقنيات الواردة في هذه الدراسة لكل من الاحتمالات المنمذجة.

الجدول 7 معدلات انبعاث غاز التبريد عند العمر التشغيلي المحتمل عبر فئات التقنيات والاحتمالات

النظام	سنة الأساس [55]	احتمال الاتجاه الحالي			احتمال 1			احتمال 2		
	2020	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
أجهزة التكييف عدا المبرّدات	95%	83%	71%	70%	64%	42%	40%	55%	23%	20%
المبردات	95%	83%	71%	70%	57%	42%	40%	48%	23%	20%
الأنظمة المركزية	95%	83%	71%	70%	64%	42%	40%	55%	23%	20%
وحدات التكثيف	95%	83%	71%	70%	64%	42%	40%	55%	23%	20%
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)	95%	83%	71%	70%	57%	42%	40%	48%	23%	20%

[54] Expert interviews 2021

[55] Expert interviews 2021

أ-7- كفاءة الأنظمة

أنظمة التكييف[56]

يقدم الجدول التالي معلومات حول مستويات الكفاءة المتوقعة وتطورها المستقبلي لكل نوع من أنواع أنظمة تكييف الهواء الواردة في هذه الدراسة لكل من الاحتمالات المنمذجة.

الجدول 8 مستوى الكفاءة المفترض عبر القطاع والاحتمالات

النظام		الوحده	سنة الأساس[57]	احتمال الاتجاه الحالي			احتمال 1			احتمال 2		
			2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2021-2030	2031-2040	2041-2050
سكني	لا مركزية	EER	**3** (2.4-4.2)	4.0	4.5	5.0	4.0	5.3	6.5	4.0	6.5	7.2
	مركزية	EER	**3**	4.0	4.5	5.0	4.0	4.5	5	4.0	5	5.5
غير سكني	لا مركزية	EER	**3** (2.4-4.2)	4.0	4.5	5.0	4.0	5.3	6.5	4.0	6.5	7.2
	مركزية	EER	**3.5** (3.5-4.5)	4.0	4.5	5.0	4.0	4.5	5	4.0	5	5.5
ميردات	مبرد	EER	**3** (2.4-4)	4.0	4.5	5.0	4.0	5.1	6.1	4.0	6.1	6.7

التبريد التجاري

يقدم الجدول التالي معلومات عن مستويات تحسين الكفاءة السنوية المتوقعة لجميع أنظمة التبريد التجارية الواردة في هذه الدراسة لكل من الاحتمالات المنمذجة.

الجدول 9 مستويات التحسين السنوية المفترضة لتقنيات التبريد التجاري عبر الاحتمالات

النظام	الوحده	احتمال الاتجاه الحالي	احتمال 1	احتمال 2
انظمة مركزية	نسبة التحسن السنوي	0.25%	0,50%	1,20%
أنظمة التكثيف	نسبة التحسن السنوي	0.25%	0,50%	1,00%
قائم بذاته	نسبة التحسن السنوي	0.25%	0,50%	1,00%

1-8- أسعار التقنيات

يقدم الجدول التالي معلومات عن متوسط الأسعار لكل من الأنظمة تقليدية حسب فئات التقنيات الواردة بالدراسة.

تعتمد أسعار أنظمة التكييف على نتائج مشروع Build_ME ومقابلات الخبراء[58]. تعتمد أسعار أنظمة التبريد التجارية على متوسط التكاليف في المنطقة للقدرات التي تم النظر فيها خلال الدراسة.[59] تم افتراض زيادة سعرية سنوية رمزية في أسعار التقنيات بنسبة 5٪.[60]

يعتمد افتراض الزيادة المستقبلية في أسعار التقنيات على تقدير الخبراء وخبرتهم في مشروع Build_ME .[61]

[56] As simplification an average efficiency pers system has been assumed, independent from the type of refrigerant. Systems with natural refrigerants or other (ultra)low GWP refrigerants nowadays have typically have higher efficiencies than conventional systems with HFCs

[57] Expert interviews 2021

[58] Build_ME. "Towards a Low-Carbon Building Sector in the MENA Region." https://www.buildings-mena.com/.

[59] Expert interviews 2021

[60] Technology price increase is based on the most recent inflation rate in Egypt for 2020 as disclosed by the worldbank. Future developments of inflation rate are not considered in the context of this study. (reference). The real technology prices are assumed to be stable.

[61] Build_ME. "Towards a Low-Carbon Building Sector in the MENA Region." https://www.buildings-mena.com/, expert interviews 2021

الجدول 10 أسعار التقنياتالزيادة المفترضة في الأسعار

النظام	سعر الوحدة (بدون تركيب)	زيادة الأسعار	
	حالة قياسية	تحسن معتدل	تحسين عالي (أفضل ما هو متاح)
الأنظمة اللامركزية (وحدات سبليت دون عاكس)	450- 730 €	15%	30%
أنظمة التكييف المركزية السكنية (مثل الأجهزة متعددة الوحدات)	3,900 €		
أأنظمة التكييف المركزية غير السكنية (مثل الوحدات المعبأة)	17,700 €		
مبردات	50,000-75,000 €		
أنظمة مركزية	100,000 €		
وحدات تكثيف	7500 €		
الأجهزة المستقلة	1400 €		

الجدول 11 سعر الفائدة

	2022
سعر الفائدة	**11.75%**
المصدر	**البنك المركزي المصري** [62]

1-9- أسعار الكهرباء

يقدم الجدول التالي معلومات عن أسعار الكهرباء الواردة بالدراسة.

الجدول 12 سعر الكهرباء والتطور المفترض للأسعار

	2020
سعر الكهرباء	**0.08** يورو / كيلوواط ساعة
المصدر	**المواصفة القياسية المصرية رقم 3795: متطلبات بطاقة كفاءة استخدام الطاقة لأجهزة تكييف الهواء**

	2020- 2030[63]	2030-2040	2040-2050
زيادة الأسعار السنوية الحقيقية [64]	2020-2024: 0% 2025-2030: 5%	5%	5%
المصدر	رأي خبير (مع الأخذ في الاعتبار الإلغاء التدريجي المخطط لدعم الكهرباء بحلول عام **2025**) بالإضافة إلى زيادة أسعار الكهرباء بأكثر من **200**٪ خلال السنوات العشر الماضية		

[62] Central Bank of Egypt latest disclosed discount rate dating 22.05.2022 accessible online at https://www.cbe.org.eg/en/EconomicResearch/Statistics/Pages/DiscountRates.aspx

[63] Price increase assumed starting from 2025 as the current electricity tariff is valid until the end of 2024

[64] This reflects the nominal price increase. The assumed price increase is in line with the assumptions for the general inflation (5%). The real electricity prices are assumed to be stable. This is considered a conservative approach; any further price increase will lead to higher electricity cost saving in the mitigation prospects.

10-1- معامل الانبعاثات

يقدم الجدول التالي معلومات عن بداية معامل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون لتوليد الكهرباء والعامل الجديد المفترض في عام 2050.

الجدول 13 معامل الانبعاث

	2020	2050
معامل الانبعاث	611جرام من مكافئ ثاني أكسيد الكربون / كيلوواط ساعة	333جرام من مكافئ ثاني أكسيد الكربون / كيلوواط ساعة
المصدر	IDG	نتيجة النمذجة

يقدم الجدول التالي معلومات عن التخفيض السنوي المفترض لعامل الانبعاثات لتوليد الكهرباء لكل عقد. تم النظر في نفس مستويات التخفيض لجميع الاحتمالات المنمذجة طوال الدراسة.

الجدول 14 تطوير معامل الانبعاث المفترض

	2020- 2030	2030-2040	2040-2050
خفض معامل الانبعاث السنوي	2%	2%	2%

6- المراجع

BP Energy Economics. "BP Energy Outlook 2018 Edition." https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pdf.

Brightly. "Understanding Heating and Cooling Degree Days." https://help.dudesolutions.com/Content/Documentation/Energy/UtilityDirect/Reporting/Understanding%20Heating%20and%20Cooling%20Degree%20Days.htm.

Campbell, Iain, Ankit Kalanki, and Sneha Sachar. "Solving the Global Cooling Challenge: How to Counter the Climate Threat from Room Air Conditioners." 2018. https://rmi.org/wp-content/uploads/2018/11/Global_Cooling_Challenge_Report_2018.pdf.

CFI Team. "Equivalent Annual Annuity (EAA)." https://corporatefinanceinstitute.com/resources/wealth-management/equivalent-annual-annuity-eaa/.

CIELO. "Ducted vs. Ductless Air Conditioning Systems." https://www.cielowigle.com/blog/ducted-vs-ductless-air-conditioning-systems/.

Cool Up Programme. "Cool Up Knowledge Base: Egypt." https://www.coolupprogramme.org/knowledge-base/?filters%5Boverview%5D=knowledge-base&filters%5Bcountry%5D%5B%5D=219&filters%5Bcategory%5D%5B%5D=reports&page_size=8&_page=1.

El Dallal, Norhan, Ahmend Hassan, Jan Grözinger, and Nesen Surmeli-Anac. "Cooling Sector Status Report Egypt: Analysis of the current market structure, trends, and insights on the refrigeration and air conditioning sector." Cool Up Programme, 2022. https://www.coolupprogramme.org/knowledge-base/reports/cooling-sector-status-report-egypt/.

El Dallal, Norhan, Eslam Mohamed Mahdy Youssef, and Katja Dinges. "Regulatory Analysis Egypt: Analysis and recommendations for the regulatory and policy instruments governing the RAC sector." Cool Up Programme, 2022. https://www.coolupprogramme.org/knowledge-base/reports/regulatory-analysis-egypt/.

Green Cooling Initiative. "Global greenhouse gases emissions from the RAC Sector." Accessed September 1, 2021. https://www.green-cooling-initiative.org/country-data/#!total-emissions/all-sectors/absolute.

Intergovernmental Panel on Climate Change. "Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Chapter 2: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing." Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter2-1.pdf.

International Energy Agency. "The Future of Cooling - Opportunities for energy efficient air conditioning." International Energy Agency (IEA), 2018.

Klinckenberg, Frank, and Winton Smith. "Scoping Study for Commercial Refrigeration Equipment: Mapping and Benchmarking Project - Results." KLINCKENBERG CONSULTANTS; PUDDLE CONSULTANCY; Collaborative Labeling and Appliance Standards Program (CLASP), October 2012.

McNeil, Michael A., and Virginie E. Letschert. "Future Air Conditioning Energy Consumption in Developing Countriesand what can be done about it: The Potential of Efficiency in theResidential Sector." Conference: ECEEE Buildings Summer Study 2007, Colle SurLoup, France, June2-6, 2007, Lawrence Berkeley National Lab. (LBNL), Berkeley, CA, May 1, 2007. https://www.osti.gov/servlets/purl/927342.

National Ozone Unit Lebanon. "Guidance for Integrating Efficient Cooling in National Policies in Lebanon." 2021. https://www.lb.undp.org/content/lebanon/en/home/library/guidance-for-integrating-efficient-cooling-in-national-policies-.html.

Regional Center for Renewable Energy and Energy Efficiency. "Field survey results for AC market in Egypt." 2019.

Scott, Gordon. "Cooling Degree Day (CDD)." https://www.investopedia.com/terms/c/colddegreeday.asp.

The Building Services Research & Information Association. "Split Systems 2018: Egypt." Report 61099/2, BSRIA, Bracknell, December 2018.

United Nations Environment Programme. *Presession Documents: Workshop on Hydrofluorocarbon Management.*, 2015.

United Nations Environment Programme. "2018 Report of the Refrigeration, Air Conditiong and Heat Pumps Technical Options Committee: 2018 Assessment." United Nations Environment Programme, Kenya, 2019. https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-04/RTOC-assessment-report-2018_0.pdf.

United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat. "FACT SHEET 10 Water chillers for air conditioning." April 2015.

United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat. "FACT SHEET 4 Commercial Refrigeration." UNEP Ozone Secretariat, Bangkok, April 20, 2015.

United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat. "FACT SHEET 7 Small Self Contained Air Conditioning." UNEP Ozone Secretariat, Bangkok, April 20, 2015.

United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat. "FACT SHEET 8 Small Split Air Conditioning." UNEP Ozone Secretariat, Bangkok, April 20, 2015.

United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat. "FACT SHEET 9 Large Air-Conditioning (air-to-air)." UNEP Ozone Secretariat, Bangkok, April 20, 2015.

United Nations Industrial Development Organization. "HFC Inventory of Jordan." 2018. https://www.ccacoalition.org/en/resources/jordan-hfc-inventory.

Waide, Paul, Sietze van der Sluis, and Thomas Michineau. "CLASP Commercial refrigeration equipment: mapping and benchmarking." Waide Strategic Efficiency Ltd; CLASP, January 2014.