Cool Up
Upscaling Sustainable Cooling

دراسة احتمالات قطاع التبريد في الأردن:

إمكانات توفير الطاقة وخفض الانبعاثات حتى عام 2050 في قطاع التبريد وتكييف الهواء

مارس 2023

دراسة احتمالات قطاع التبريد في الأردن:

إمكانات توفير الطاقة وخفض الانبعاثات حتى عام 2050 في قطاع التبريد وتكييف الهواء

www.coolupprogramme.org

Twitter

Newsletter

Email

LinkedIn

Cool Up
Upscaling Sustainable Cooling

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

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

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

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

جهة النشر

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

المؤلفون

المؤلفون الرئيسيون:
Jan Grözinger وNesen Surmeli-Anac ومصطفى أبونوفل (Guidehouse)

المؤلفون المساهمون:
Felix Heydel (Öko-Recherche)
Markus Offermann (Guidehouse)

مراجعة :
سوسن بوارش، نضال عبد الله (الجمعية العلمية الملكية)
Kjell Bettgenhäuser (Guidehouse)
Barbara Gschrey (Öko-Recherche)
Sanjeev Tamhane (Frankfurt School)

التاريخ

مارس 2023

جهات الاتصال

تواصل معنى على info@coolupprogramme.org.
قم بزيارتنا على موقع www.coolupprogramme.org.

جدول المحتويات

1- مقدمة 1
1-1- برنامج كوول أب ..... **Error! Bookmark not defined.**
2-1- هدف التقرير ونطاقه ..... **Error! Bookmark not defined.**
2- المنهجية المتبعة 3
2-1- التعريفات 3
2-2- فئات المباني وأنواع المعدات في نطاق برنامج Cool Up ..... **Error! Bookmark not defined.**
2-3- النهج المتبع في جمع البيانات 5
2-4- منهجية الحساب 6
2-4-1- نظرة عامة على منهجية الحساب والمخرجات 6
2-4-2- محركات الطلب على التبريد 8
2-4-3- سوق التبريد وتكيف الهواء المستقبلي والمباني المستقبلية 8
2-4-4- الانبعاثات المباشرة 8
2-4-5- الطلب النهائي على الطاقة 9
2-4-6- الانبعاثات غير المباشرة 9
2-4-7- التقييم الاقتصادي وتوفير التكاليف 9
3- الاحتمالات وإجراءات التخفيف 10
3-1- سنة الأساس والافتراضات العامة 10
3-2- الاحتمال 0: الاتجاه الحالي 10
3-3- الاحتمال 1: الأثر المعتدل 12
3-4- الاحتمال 2: الأثر المرتفع 14
3-5- الاحتمال 3: الأثر الشديد 14
4- النتائج 15
4-1- الطلب على الكهرباء 15
4-1-1- الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي 15
4-1-2- احتمالات التخفيف 16
4-2- انبعاثات غازات الدفيئة المباشرة وغير المباشرة 17
4-2-1- احتمال الاتجاه الحالي 17
4-2-2- احتمالات التخفيف 20
4-3- التقييم الاقتصادي وتوفير التكاليف 23
4-3-1- احتمال الاتجاه الحالي 23
4-3-2- احتمالات التخفيف 25
5- ملخص النتائج الرئيسية 28
الاستنتاج 1: يمثل النمو المرتفع لسوق التبريد وتكييف الهواء تحديات وفرصًا في السوق الأردنية 28
الاستنتاج 2: يمكن الحد من الانبعاثات بشكل كبير وعكس الاتجاه التصاعدي من خلال اتخاذ تدابير طموحة في الوقت المناسب 28
الاستنتاج 3: يمكن تحقيق وفورات كبيرة في الكهرباء من خلال الاضطلاع بالتدابير الطموحة 29
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 29
الاستنتاج 5: يمكن تحقيق وفورات كبيرة في تكاليف الكهرباء من خلال التدابير الطموحة 30
الاستنتاج 6: تكلفة الوفورات: تقل الأقساط السنوية الإضافية المخصصة لتنفيذ اجراءات التخفيف عن الوفورات في تكاليف الكهرباء 30
الملاحظات الختامية 31
الملحق 1: معلمات المدخلات 32
1-1- تطور المباني القائمة 32
1-2- إجمالي أجهزة تكييف الهواء والتبريد التجاري 32
1-3- المعايير التقنية 33
1-4- خلائط مواد التبريد 34
1-5- معدلات التسرب 37

1-6- معدلات الانبعاثات الناجمة عن مواد التبريد عند نهاية العمر الافتراضي..... 38
1-7- كفاءة الأنظمة..... 38
1-8- أسعار التقنيات..... 39
1-9- أسعار الكهرباء..... 40
1-10- معامل الانبعاثات..... **Error! Bookmark not defined.**
9- المراجع **33**

الأشكال

الشكل 1 منهجية الحساب والنماذج والمخرجات المقابلة 7
الشكل 2 احتمالات برنامج Cool Up وتدابير التخفيف 10
الشكل 3 العلاقة بين تكاليف التشغيل السنوية ومعدلات تسرب مواد التبريد من أنظمة تكييف الهواء الصغيرة والأنظمة التجارية 13
الشكل 4 احتمال الاتجاه الحالي - الطلب على الكهرباء لتبريد الأماكن والتبريد التجاري 2020-2050 15
الشكل 5 احتمالات التخفيف - استهلاك الكهرباء الناتج عن تبريد الأماكن 2020-2050 16
الشكل 6 احتمالات التخفيف - استهلاك الكهرباء لأغراض التبريد التجاري 2020-2050 17
الشكل 7 نظرة عامة على إجمالي الانبعاثات غير المباشرة والمباشرة الناجمة عن قطاعي تكييف الهواء والتبريد التجاري والانبعاثات المباشرة وغير المباشرة المصنفة حسب المصدر سواء قطاع تكييف الهواء أو التبريد التجاري 18
الشكل 8 اتجاه الانبعاثات الحالية مصنفة حسب فئات التقنيات 2020-2050 19
الشكل 9 اتجاه الانبعاثات المباشرة الحالي مصنفة حسب فئات التقنيات 2020-2050 19
الشكل 10 اتجاه الانبعاثات غير المباشرة الحالي مصنفة حسب فئات التقنيات 2020-2050 20
الشكل 11 تطور إجمالي الانبعاثات لكل احتمال في فترة 2020-2050 21
الشكل 12 تطور الانبعاثات المباشرة لكل احتمال في فترة 2020-2050 22
الشكل 13 تطور معدل الانبعاثات غير المباشرة لكل احتمال في الفترة بين 2020-2050 23
الشكل 14 الاتجاه الحالي - تكاليف طاقة تبريد المساحات والتبريد التجاري في الفترة 2020-2050 24
الشكل 15 احتمال الاتجاه الحالي – الأقساط السنوية لتنمية الاستثمارات لفترة 2020 - 2050 24
الشكل 16 احتمال الاتجاه الحالي – تطور التكاليف السنوية الإجمالية 2020-2050 25
الشكل 17 احتمالات التخفيف – تطور تكاليف الكهرباء 2020-2050 26
الشكل 18 الوفورات السنوية في تكاليف الكهرباء 2030 - 2050 26
الشكل 19 احتمالات التخفيف - الأقساط السنوية لتنمية الاستثمارات لفترة 2020-2050 27
الشكل 20 احتمالات التخفيف – تطور إجمالي التكاليف السنوية لفترة 2020-2050 27
الشكل 21 تطور إجمالي المباني في فترة 2020 - 2050 32
الشكل 22 تطور إجمالي أجهزة التكييف في الأردن في الفترة 2020-2050 33
الشكل 23 تطور تطور إجمالي أنظمة التبريد التجاري في الأردن في الفترة 2020-2050 33

الجداول

الجدول 1 القيم الأساسية *U* و*G* للمباني القائمة والمحسنة القائمة والمشيدة حديثًا للمباني السكنية وغير السكنية في الأردن 11

الجدول 2 المعايير التقنية لأنظمة التكييف والتبريد التجاري الواردة بالدراسة..... 34

الجدول 3 خلائط مواد التبريد الحالية في إجمالي فئات التقنيات..... 34

الجدول 4 خلائط مواد التبريد المستقبلية في الأنظمة الجديدة المباعة في 2030 في سياق احتمالات مختلفة..... 35

الجدول 5 خلائط مواد التبريد المستقبلية في الأنظمة الجديدة المباعة في 2040 في سياق احتمالات مختلفة..... 36

الجدول 6 خلائط مواد التبريد المستقبلية في الأنظمة الجديدة المباعة في 2050 في سياق احتمالات مختلفة..... 36

الجدول 7 معدلات التسرب التوقعة عبر فئات التقنيات والاحتمالات..... 37

الجدول 8 معدلات الانبعاثات الناجمة عن مواد التبريد عند نهاية العمر الافتراضي حسب فئات التقنيات والاحتمالات..... 38

الجدول 9 مستويات الكفاءة المتوقعة عبر القطاعات والاحتمالات..... 38

الجدول 10 مستويات تحسين الكفاءة السنوية المتوقعة لتقنيات التبريد التجاري لكل من الاحتمالات..... 39

الجدول 11 أسعار التقنيات والزيادة المفترضة في الأسعار..... 39

الجدول 12 معدل الفائدة..... 39

الجدول 13 أسعار الكهرباء والتطور المتوقع..... 40

الجدول 14 معامل الانبعاث..... 40

الجدول 15 تطور معامل الانبعاث المتوقع..... 40

الاختصارات

AC	تكييف الهواء
BSRIA	جمعية بحوث ومعلومات خدمات البناء
CAPEX	النفقات الرأسمالية
CBJ	البنك المركزي الأردني
CLASP	البرنامج التعاوني لوضع بطاقات التعريف والمعايير للأجهزة
CO_2	ثاني أكسيد الكربون
COP	معامل الأداء
EE	كفاءة الطاقة
EER	نسبة كفاءة الطاقة
EOL	العمر الافتراضي
EU	الاتحاد الأوروبي
EUR	اليورو
GCI	مبادرة التبريد الأخضر
GDP	إجمالي الناتج المحلي
GHG	غازات الدفيئة
GWP	احتمالية إحداث الاحترار العالمي
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
$MtCO_{2\,eq}$	مكافئ ثاني أكسيد الكربون بالميغا طن
MW	ميغاواط
NDC	المساهمات المحددة وطنيًا
NEEAP	الخطة الوطنية لرفع كفاءة الطاقة
NOU	وحدة الأوزون الوطنية
ODS	المواد المستنفدة لطبقة الأوزون

OPEX	النفقات التشغيلية
R134a	HFC-123a (رباعي فلورو الإيثان)
R22	HCFC-22 (كلورو فلورو الميثان)
R290	HC-290، البروبان (هيدروكربون)
R32	HFC-32 (ثنائي فلورو الميثان)
R404A	خليط مكون من المركبات الهيدروفلوروكربونية: R143a (ثلاثي فلورو الإيثان)، وR125 (خماسي فلورو الإيثان)، وR134a (رباعي فلورو الإيثان)
R407C	خليط مكون من المركبات الهيدروفلوروكربونية: R32 (ثنائي فلورو الميثان) وR125 (رباعي فلورو الإيثان)، و1،1،1،2 - رباعي فلورو الإيثان
R410A	خليط مكون من المركبات الهيدروفلوروكربونية: R32 (ثنائي فلورو الميثان) وR125 (خماسي فلورو الإيثان)
R600a	HC-600a، أيزوبيوتان (مركب هيدروكربون)
R717	NH3-717، الأمونيا (مُبرد طبيعي)
R718	ماء (مُبرد طبيعي)
R744	ثاني أكسيد 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
UEC	وحدة استهلاك الطاقة
UNEP	برنامج الأمم المتحدة للبيئة
UNIDO	منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية
VRF	نظام التبريد متغير التدفق
W	واط

1- مقدمة

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

يتنوع مناخ الأردن بين البحر الأبيض المتوسط والمناخ الصحراوي ويغلب عليه الجفاف بشكل عام. وقد سجلت معدلات استهلاك الطاقة والطلب عليها ارتفاع مشهود في البلاد بشكل مطرد نتيجة للنمو الاقتصادي والسكاني المتزايد. وفي ظل هذه الزيادات، يشهد الأردن ارتفاعًا في الطلب على الطاقة، ولا سيما في القطاع السكني. إذ تمثل أغراض الإضاءة والتبريد والتدفئة الحصة الأكبر من استهلاك الطاقة في البلاد، ويمثل القطاع السكني حوالي نصف استهلاك الكهرباء في الأردن. ويعزى أكثر من 60% من الطاقة المستهلكة في المنازل لأغراض التدفئة والتبريد[2].

1-1- برنامج كوول أب Cool Up

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

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

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

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

في بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، يشكل التبريد مصدرًا رئيسيًا لاستهلاك الطاقة؛ والتي تنتج انبعاثات غير مباشرة من غازات الدفيئة (GHG) وتساهم في استنفاد طبقة الأوزون والاحترار العالمي. ولذلك يسعى برنامج 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 محاور:

- السياسات واللوائح
- التكنولوجيا والأسواق
- التمويل ونماذج الأعمال

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

[2] المصدر, Potentials and Barriers of Energy Saving in Jordan's Residential Sector through Thermal Insulation, I. Al Hinti, H. Al-Sallami, JJMIE,2017

2-1- هدف التقرير ونطاقه

يعد تقرير توقعات قطاع التبريد أحد الوثائق في سلسلة من التقارير التي يصدرها برنامج .Cool Up وهو يستند على تقرير حالة قطاع التبريد[3] الصادر عن برنامج Cool Up فضلًا عن تقارير التحليل التنظيمي. وتهدف دراسة آفاق Cool Up إلى تبني توجه للفترة الحالية وتقديم ثلاثة احتمالات ترمي إلى التخفيف بحيث تعتمد كل منها بدائل مختلفة لتحقيق الانتقال. وتشمل أهداف الدراسة إيجاد:

- فهم لمسارات التنمية المستدامة الممكنة في قطاع تكييف الهواء وقطاع التبريد التجاري، وكذلك
- فهم لأساس وضع السياسات العامة والتدابير المالية

وتقدم هذه الدراسة:

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

علماً بأن تقرير التوقعات القطاعية مدعوم بملحق يسرد معايير المدخلات المختلفة المستخدمة خلال الدراسة.

[3] تقرير حالة قطاع التبريد في الأردن: تحليل هيكل السوق الحالي والاتجاهات والرؤى حول قطاع التبريد وتكييف الهواء. يمكن الاطلاع عليه عبر الإنترنت: https://www.coolupprogramme.org/knowledge-base/reports/cooling-sector-status-report-jordan/

2- المنهجية المتبعة

تمثلت الخطوة الأولى في إعداد تقرير حالة قطاع التبريد في تكوين فهم عن حالة 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.[4]
- 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.[5]
- 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.[6]
- أيام درجة التبريد - يوم درجة التبريد (CDD) هو وحدة قياس مصممة لتحديد الطلب على الطاقة اللازمة لتبريد المباني. وتمثل عدد الدرجات التي يزيد فيها متوسط درجة حرارة اليوم عن 18 درجة مئوية). ويتم حسابها على النحو التالي: متوسط درجة الحرارة اليومية (MDT) = (درجة الحرارة اليومية المرتفعة + درجة الحرارة اليومية المنخفضة) /2؛ أيام درجة التبريد =متوسط درجة الحرارة اليومية – 65 درجة فهرنهايت.[7]
- 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 الطاقة لأجهزة التبريد بالواط (W). ويتوافق تصنيف نسبة كفاءة 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.
- انبعاثات غازات الدفيئة غير المباشرة وترتبط 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: يُعرّف إم سي نيل (Mc Neil) تشبع السوق على أنه دالة للتوافر (الدخل) والمناخ (أيام درجة التبريد) حيث يمثل التوافر القدرة على تحمل تكاليف تكييف الهواء للأسر وهو دالة دخل الأسرة، أما الحد الأقصى للمناخ فهو دالة أيام درجة التبريد. [8] ووفقًا لنظرية إم سي نيل، ستقترب ملكية أجهزة تكييف الهواء من الحد الأقصى لتشبع السوق المعتمد على المناخ ولكن لن تتجاوزه أبدًا. وبالنسبة للأسواق غير الناضجة، تهيمن ديناميكيات القدرة على تحمل التكاليف (الدخل) على معدل الملكية. أما في الأسواق الناضجة حيث تقترب معدلات الملكية من التشبع، تتمثل محركات المبيعات إلى حد كبير في الاستبدال وزيادة السكان (إنشاء مباني جديدة) واقتناء أجهزة متعددة.[9]
- مواد التبريد الطبيعية عبارة عن زات التبريدغير اصطناعية يمكن العثور عليها في الطبيعة. ولكن يجب أن تفي بمواصفات معينة (أي النقاء) قبل إتاحة استخدامها كمواد تبريد.
- قطاع المباني غير السكنية ويشمل المكاتب العامة والخاصة ومرافق التعليم والصحة والمنشآت الاجتماعية والفنادق والمطاعم ومحال تجارة الجملة والتجزئة والمباني الأخرى (مثل المنشآت الرياضية). ولكن لا يشمل المباني والمستودعات الصناعية والزراعية والسمكية.
- قطاع التبريد وتكييف الهواء:
  - التبريد: يشمل التبريد المنزلي والتجاري والصناعي والنقلي[10]

[4] فريق CFI 2022

[5] برنامج الأمم المتحدة للبيئة 2019 (UNEP)

[6] يستند التعريف إلى United Nations Environment Programme (UNEP) 2015

[7] Scott 2022; Brightly

[8] McNeil and Letschert 2007

[9] Ibid.

[10] القطاع الصناعي وتبريد النقل خارج نطاق برنامج كوول أب

- مكيف الهواء: تصنيع مكيفات الهواء السكنية والتجارية (بما في ذلك المبرّدات)
- قطاع صيانة أجهزة التبريد وتكييف الهواء

- يتكون قطاع المباني السكنية من مباني لأسرة واحد ومباني لعدة أسر.
- مواد التبريد الاصطناعية وهي مواد من أصل اصطناعي (لا تُشَكّل طبيعيًا). 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 Cool Up 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]
  - 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.
  - الوحدات 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.
  - مبرّدات الهواء: في هذا النظام، تصير وحدات التوليد المركزية الباردة جزءًا من نظام تكييف مركزي ويمكن تصنيفها إلى ثلاث مجموعات:

1- مبرّد قائم على التبريد بالماء المضغوط
2- مبرّد قائم على التبريد بالهواء المضغوط
3- مبرّد يعمل بامتصاص الطاقة (الامتصاص أو الامتزاز)

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

[11] المصادر الأولية لهذه التعريفات هي:

United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat 2015c
United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat 2015d
United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat 2015e, 2015a
United Nations Environment Programme (UNEP) 2019

[12] CIELO 2019

قطاع التبريد التجاري

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

- فئات المباني: يركز البرنامج على متاجر الزوايا والمطاعم ومتاجر السوبر ماركت والفنادق، التي تشتمل على مناطق للتخزين 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 الأردن. وأُجريت المقابلات مع مجموعة متنوعة من الخبراء الذين يمثلون الشركات المصنعة وشركات التجميع وشركات البيع بالجملة والمهندسين ومستشاري الهندسة الميكانيكية والكهربائية والسباكة ومطوري المشاريع

أُستقيت **البيانات الثانوية (الفرعية)** من مجموعة متنوعة من المنشورات التي تغطي المصادر الإحصائية المحلية والدولية والوثائق الوطنية (مثل خطة التبريد الوطنية في لبنان[15] أو مخزون مركبات الهيدروفلوروكربون في الأردن من منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية (اليونيدو) [16])، وشركات أبحاث الأسواق (مثل جمعية بحوث ومعلومات خدمات البناء لمصر)[17] ، واستعراض المؤلفات، وغيرها من المصادر الإقليمية مثل البرنامج التعاوني لوضع بطاقات التعريف والمعايير للأجهزة[18] أو المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة 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.

---

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

[14] Bawaresh et al. 2022b, Cooling Sector Status Report Jordan: Analysis of the current market structure, trends, and insights on the refrigeration and air conditioning sector. Accessible online: https://www.coolupprogramme.org/knowledge-base/reports/cooling-sector-status-report-jordan/

[15] National Ozone Unit Lebanon 2021

[16] United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) 2018

[17] The Building Services Research & Information Association (BSRIA) 2018

[18] Klinckenberg and Smith 2012
Waide et al. 2014

[19] Regional Center for Renewable Energy and Energy Efficiency (RCREEE) 2019

[20] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2007

[21] International Energy Agency (IEA) 2018

[22] Campbell et al. 2018

[23] Waide et al. 2014

[24] Green Cooling Initiative 2021.

يقدر النموذج البيانات الخاصة بالأنظمة المثبتة حاليًا (بالإضافة إلى أرقام المبيعات) لأجهزة تكييف الهواء والتبريد التجاري.

يقدّر النموذج العالمي الذي طورته مبادرة التبريد الأخضر[25] البيانات حول أجهزة التبريد وتكييف الهواء المستخدمة في إجمالي عدد المباني الحالية والمبيعات، كما يقدم توقعات 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.

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

2-4- منهجية الحساب

تم استخدام نهج النمذجة متعدد الخطوات من أسفل إلى أعلى خلال هذه الدراسة لحساب ما يلي:

- تطوير أجهزة التكييف والتبريد التجاري (المخزون والمبيعات). انظر الملحق 1
- 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

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

تم استخدام نماذج متعددة على مدار الدراسة للتوصل إلى 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

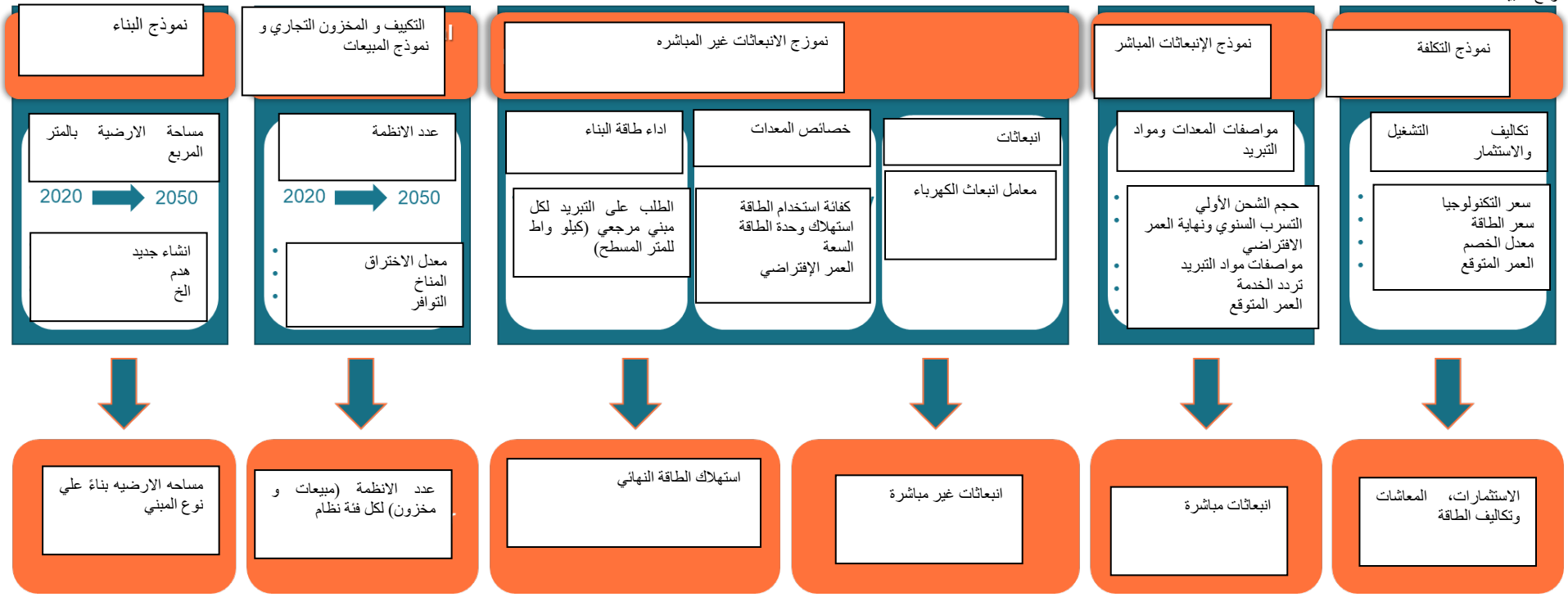
تسهم النماذج المستخدمة في التوصل إلى هذه المخرجات من عام 2020 حتى عام 2050 وتشمل أربع احتمالات مختلفة موضحة في الفصل 3.

[25] Green Cooling Initiative 2021

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

ملحوظة لمنة: أعرف أن هذا الجدول صورة.... ولكن ألا يمكن رسمه يدوياً

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 توقعات 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 الغرف وأنظمة سبليت دون أنابيب
  - الأنظمة المركزية: أنظمة ذات أنابيب أو دون أنابيب وأنظمة سبليت الفردية ووحدات الأسطح ووحدات متعددة الوحدات المنفصلة
- **قطاع التكييف غير السكني:**
  - الأنظمة اللامركزية
  - الأنظمة المركزية
  - المبرّدات
- **قطاع التبريد التجاري**
  - الوحدات المستقلة: ثلاجات ومجمدات قائمة بذاتها (ذاتية التوصيل)
  - وحدات التكثيف
  - الأنظمة المركزية

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

[26] McNeil and Letschert 2007

[27] International Energy Agency (IEA) 2018

[28] McNeil and Letschert 2007

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 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. ويشهد الأردن 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.

3-2- 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 المملكة الأردنية الهاشمية من الوفاء بالتزاماتها بموجب بروتوكول

[29] Bawaresh et al. 2022a

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 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 وR134a (في المبرّدات) ويليهما R404A وR22[30]. ومن المفترض أن خفض استهلاك مادة R410A تدريجيًا واستبدالها زات التبريدمنخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي (أي مادة R32) وهو ما يتضح من اتجاه السوق لنظم التبريد متغير التدفق ووحدات سبليت التي تتحول نحو العمل ب زات التبريد 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 مادة R404A، يشهد السوق استخدام مواد R134a وR290 بشكل أكبر[31]. 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:** يُتوقع 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 الطاقة في المباني:** استُقيت معلمات غلاف المباني وعلى وجه التحديد النفاذية الحرارية (القيمة U) لأسطح المباني (الجدران والأسقف والأرضيات والنوافذ) من القيم الأساسية لمشروع Build_ME[32] المعني بمعايير البناء الحالية والجديدة لمنازل الأسرة الواحدة ومنازل الأسر المتعددة ومباني المكاتب كما هو موضح في الجدول 8. ويُتوقع تعزيز غلاف المباني بنسبة 10% (متطلبات أكثر صرامة لقيمة U) لكل عقد حتى عام 2050.

الجدول 1 القيم الأساسية *U* و*G* للمباني القائمة والمحسنة القائمة والمشيدة حديثًا للمباني السكنية وغير السكنية في الأردن

		المباني القائمة			المباني القائمة المحسنة*			المباني المشيدة حديثًا		
المعلّمة		سكني		غير سكني	سكني		غير سكني	سكني		غير سكني
		مباني لأسر متعددة	**مباني لأسرة واحدة**	**مكاتب**	**مباني لأسر متعددة**	**مباني لأسرة واحدة**	**مكاتب**	**مباني لأسر متعددة**	**مباني لأسرة واحدة**	**مكاتب**
قيمة **U**	الحوائط	3.0	1.8	3.0	1.8	1.2	1.8	0.6	0.6	0.5
	الأسطح	2.0	1.5	2.0	1.3	1	1.3	0.6	0.6	0.5

[30] مقابلات الخبراء 2021

[31] مقابلات الخبراء 2021

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

	الطوابق	4.0	2.5	4.0	2.6	1.8	2.5	1.2	1.1	1.1
	النوافذ	5.7	5.7	5.7	5.7	4.4	4.4	5.7	3.0	3.0
قيمة **G**	النوافذ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.7

*تُحتسب المباني القائمة المحسنة كمتوسط للمباني القائمة القديمة (قبل 1990) والمباني الجديدة (بعد 2010)

3-3- الاحتمال 1: احتمال معتدل الأثر

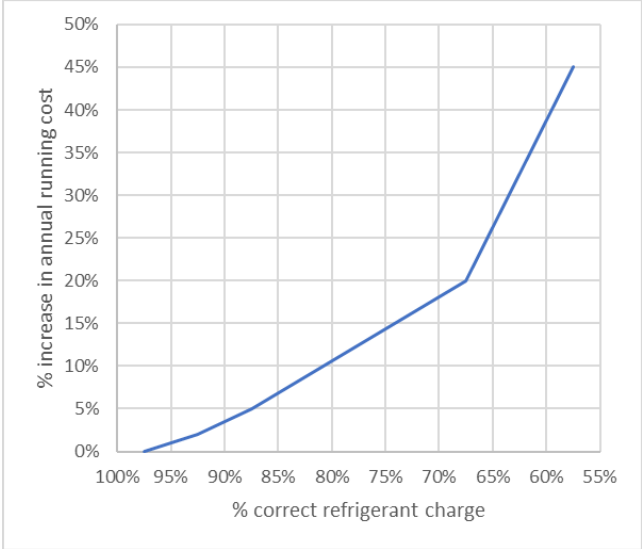
يشهد مسار احتمال الأثر المعتدل تحول قطاع التبريد بمعدل أسرع مع زيادة كفاءة استخدام الطاقة للتقنيات وزيادة استخدام مواد التبريد الطبيعية وارتفاع معدل استرجاع الانبعاثات عند نهاية العمر الافتراضي وانخفاض معدل التسرب مقارنة باحتمال الاتجاه الحالي. وقد يساهم كل من تدابير السياسة العامة الطموحة إلى حد ما 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 الأردن. وبشكل عام، يجب أن تعكس تلك المعايير أداء الطاقة الدنيا التقدم المحرز في معدل كفاءة الطاقة بالأجهزة المطروحة في السوق. ويجري تحديث هذه المعايير عادةً كل سنتين إلى ٥ سنوات من أجل توفير إرشادات واضحة للقائمين على الصناعة وكذلك إتاحة الوقت الكافي للتفاعل. وتتم إعادة النظر في خصائص فئات بطاقات التعريف بمجرد إدراج نسبة كبيرة من الأجهزة المتاحة في السوق (على سبيل المثال أكثر من 15-20%) في أعلى فئات بطاقات التعريف.
  - هناك زيادة معتدلة في **كفاءة استخدام الطاقة للأنظمة في الاحتمال 1** مقارنة بالاحتمال 0. وبالتالي من المفترض أن يصل متوسط كفاءة استخدام الطاقة عام 2050 إلى مستوى كفاءة أفضل التقنيات الوطنية المتاحة دوليًا اليوم. فعلى سبيل المثال يُفترض أن ترتفع كفاءة استخدام الطاقة بحوالي 30% عن الكفاءة المفترضة في الاحتمال 0 في عام 2050 بالنسبة لمكيفات الغرف السكنية (الأنظمة اللامركزية). (انظر **الجدول 9**).

- **التحول في استخدام مواد التبريد**
  - **التدابير النموذجية التي تتناول التحول في استخدام مواد التبريد** وهي أحكام تحظر طرح زات التبريدعالية القدرة على إحداث الاحترار العالمي في السوق وتشمل التدابير أيضًا برامج 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) وR744 (CO2) 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 6**). 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. ويُتوقع 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.

- **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[33]. ملاحظة: لم تؤخذ الزيادة في تكاليف التشغيل في الاعتبار خلال هذه الدراسة، انظر القسم **2-4-6** للاطلاع على وصف تفصيلي للتكاليف.



الشكل **3** العلاقة بين تكاليف التشغيل السنوية ومعدلات تسرب مواد التبريد من أنظمة تكييف الهواء الصغيرة والأنظمة التجارية.[34]

- **في الاحتمال 1** يُفترض أن ينخفض معدل التسرب في نظام تشغيل أجهزة تكييف الهواء بشكل معتدل بمرور الوقت لكل من التقنيات الواردة بالدراسة حتى عام 2050 عند مقارنته بالاحتمال 0 (انظر **الجدول 7**).

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.
- في **الاحتمال 1** من المفترض أن يزيد معدل استعادة مواد التبريد المفلورة عند نهاية العمر الافتراضي لنظام التكييف بشكل معتدل لكل من التقنيات الواردة في الدراسة حتى عام 2050 مقارنةً بالاحتمال (0) (انظر **الجدول 8**).

كفاءة استخدام الطاقة في المباني:

- لا يفترض أن يشهد **الاحتمال 1** أي تحسينات مقارنةً بالاحتمال 0.

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

[34] ICF Incorporated 2020, 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 استخدام 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 النباتات AR4]).
    - قطاع التبريد التجاري: مقارنة بالاحتمال معتدل الأثر، يشهد استخدام مواد R134a وR404A انخفاضاً 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 8**).[35]
- **كفاءة استخدام الطاقة في المباني**
  - يتبنى الاحتمال 2 نفس افتراضات الاحتمال 0

3-5- 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.

[35] بالرغم من أن حصتها لا تذكر في عام 2050

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 المتوقعة والأقساط السنوية المقابلة شاملة الخصومات على مدى الإطار الزمني للمشروع وحتى عام 2050 وكذلك النتائج المتعلقة بوفورات التكاليف المتوقعة للاحتمالات المختلفة مقارنة بالاحتمال القائم على الاتجاه.

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

ومن المتوقع أن تشهد أنظمة التكييف في الأردن نموًا يُقدر بخمسة أضعاف من 706 ألف وحدة في عام 2020 إلى حوالي 3.5 مليون وحدة بحلول عام 2050. وبالتالي سينمو إجمالي أنظمة التبريد التجارية من حوالي 95 ألف نظام في عام 2020 إلى حوالي 128 ألف نظام تكييف في عام 2050. للاطلاع على المزيد من التفاصيل انظر الملحق 1-1 و1-2.

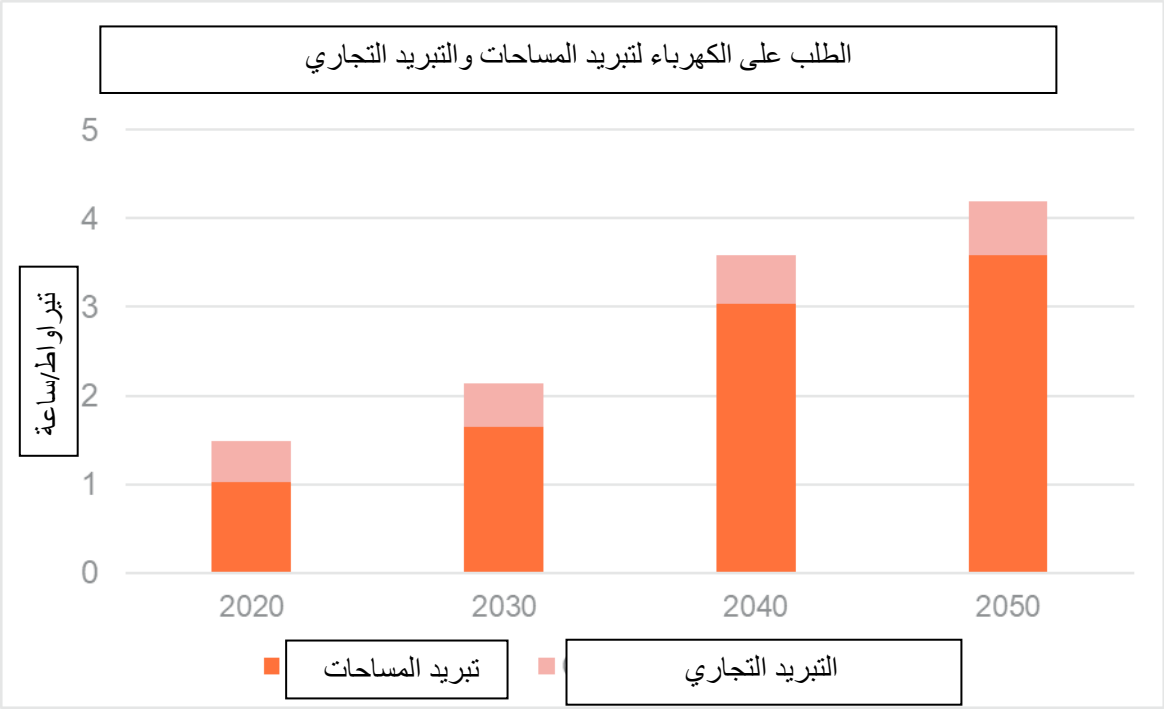
4-1- الطلب على الكهرباء

4-1-1- احتمال الاتجاه الحالي

يشرح هذا الفصل احتمال الاتجاه الحالي بالتفصيل (الاحتمال 0) فيما يخص الطلب على الكهرباء في قطاعي التكييف والتبريد التجاري.

من المتوقع أن يزداد الطلب على الكهرباء بهدف تبريد المساحات (أنظمة تكييف الهواء) بسرعة خلال العقود القادمة في سياق احتمال الاتجاه الحالي ما يؤدي إلى زيادة بمقدار 3.5 ضعف ليصل معدل الطلب إلى 3.6 تيراواط لكل ساعة بحلول عام 2050 من 1 تيراواط لكل ساعة في عام 2020 (**الشكل 4**). وقد يُعزى هذا النمو الهائل بشكل مباشر إلى زيادة الرقعة المكيفة في كل مبنى وبالتالي الطلب المتزايد على أجهزة التكييف (انظر **الشكل 22**). ويُعزى النمو المتباطئ الملاحظ بين عامي 2040 و2050 إلى التحسينات المتوقعة في معدلات الكفاءة في العقود القادمة والحد الأقصى من تشبع السوق المتوقع في عام 2039 تقريبًا.

ويحقق الطلب على الكهرباء الناتج عن أنشطة التبريد التجارية في اتجاه الاحتمال 0 نموًا ثابتًا من 0.47 تيراواط لكل ساعة في عام 2020 إلى 0.6 تيراواط لكل ساعة في عام 2050 ما يُظهر زيادة بنسبة 22% (**الشكل 4**). ويرتبط هذا النمو بتطوير إجمالي أجهزة التبريد التجارية (انظر **الشكل 23**). وتعمل 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

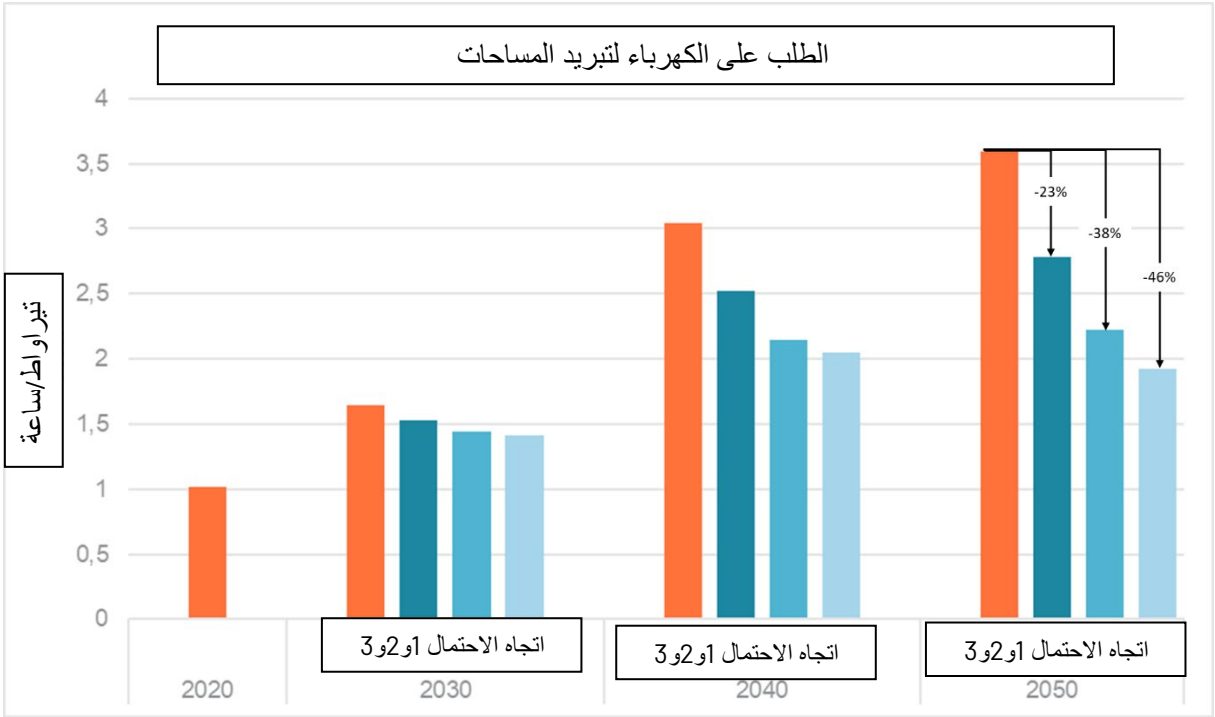
يشرح هذا الفصل إمكانات تخفيف الطلب على الكهرباء ويلخص الوفورات المتوقعة من احتمالات التخفيف (الاحتمال 1 و الاحتمال 2 و الاحتمال 3) مقارنةً باحتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0). كما يُظهر هذا الفصل معدل الطلب المتوقع على الكهرباء بحلول عام 2050 مقارنةً بسنة البدء في عام 2020 لكل احتمال.

يوضح **الشكل 5** أن جميع الاحتمالات (0 و1 و2 و3) تشهد ارتفاعًا في الطلب على الكهرباء بحلول 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[36] 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.[37]

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 ثلاث مرات تقريبًا بحلول عام 2050 مقارنةً بسنة البدء عام 2020. 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 1 تيراواط لكل ساعة إلى 2,2 تيراواط لكل ساعة ما يعني أنه من المتوقع أن يتضاعف الطلب بحلول عام 2050 مقارنةً بسنة البدء 2020. في عام 2050. ويُتوقع تحقيق وفورات تُقدر بـ 38% في عام 2050 مقارنةً بالاحتمال 0 و15% مقارنةً بالاحتمال 1. ويعتبر معدل الانتشار القوي المفترض لأنظمة التكييف عالية الكفاءة في الاحتمال 2 كافياً لدعم إبطاء نمو الطلب على الكهرباء في قطاع تكييف الهواء مقارنةً بالاحتمال 1.

الاحتمال 3: من المتوقع أن يزداد الطلب على الكهرباء لتبريد الأماكن (أنظمة تكييف الهواء) بسرعة خلال العقود القادمة من 1 تيراواط لكل ساعة إلى 1.9 تيراواط لكل ساعة ما يعني أنه من المتوقع أن يتضاعف الطلب بحلول عام 2050 مقارنةً بسنة البدء 2020. ويُتوقع تحقيق وفورات تُقدر بـ 46% في عام 2050 مقارنةً بالاحتمال 0 و8% مقارنةً بالاحتمال 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

[36] Bawaresh et al. 2022b, Cooling Sector Status Report Jordan: Analysis of the current market structure, trends, and insights on the refrigeration and air conditioning sector. Accessible online: https://www.coolupprogramme.org/knowledge-base/reports/cooling-sector-status-report-jordan/

[37] في السوق المشبعة، يكون المحرك الرئيسي للمبيعات هو التركيبات لأول مرة في المباني الجديدة واستبدال الأجهزة المعطلة في المباني القائمة.

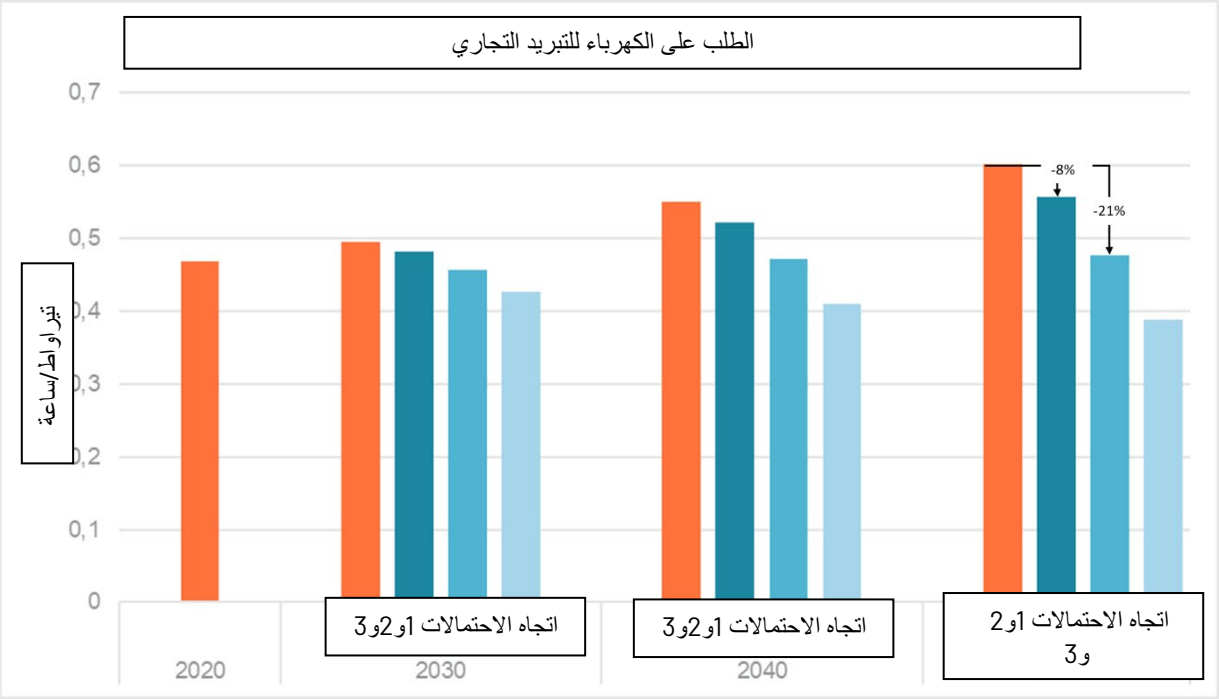
يوضح **الشكل 6** أنه من المتوقع نمو الطلب على الكهرباء لأغراض التبريد التجاري باطراد في الاحتمال 0 والاحتمال 1 حتى عام 2050. ويستقر الطلب على الكهرباء في الاحتمال 2 بسبب الانتشار القوى للتقنيات عالية الكفاءة مقارنة بالاحتمال 0 و الاحتمال 1.

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 استقرار الطلب على الكهرباء لأغراض التبريد التجاري نسبيًا عند 0,47 تيراواط لكل ساعة في عام 2050. وبالمقارنة بالاحتمال 0، فستبلغ الوفورات المتوقعة 21% في عام 2050، أي بنسبة 13% مقارنة بالاحتمال 1.

تتشكل التطورات في قطاع التبريد التجاري من خلال تطور المباني (مثل محلات السوبر ماركت المشيدة حديثًا التي تدفع تركيب أجهزة التبريد التجارية الجديدة) فضلًا عن زيادة كفاءة التقنيات.

وعلى عكس قطاع تكييف الهواء، سيشهد قطاع التبريد التجاري زيادة أقل بكثير في الطلب على الكهرباء في عام 2050 مقارنة بعام 2020. ويستقر الطلب على الكهرباء في الاحتمال 2 في عام 2050 مقارنة بالأوضاع الأساسية في عام 2020 بالرغم من النمو المتوقع في الطلب على التبريد ما يدل على أن الإنجاز الممكن تحقيقه من خلال تدابير السياسة العامة المختلفة.



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

4-2- انبعاثات غازات الدفيئة المباشرة وغير المباشرة

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 الناجمة عن (قطاعي التكييف التبريد التجاري) لتصل إلى 1,3 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون، تمثل نسبة 52% منها تقريبًا (0,68 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون) انبعاثات غير مباشرة و48% (أي 0.62 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون) تمثل الانبعاثات المباشرة. ويبلغ إجمالي الانبعاثات في قطاع التكييف 0.8 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون، وتمثل 58% منها انبعاثات غير مباشرة و42% انبعاثات مباشرة. بينما يبلغ إجمالي الانبعاثات 0.5 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في قطاع التبريد التجاري، منها 43% تمثل انبعاثات غير مباشرة و57% من الانبعاثات المباشرة. ويشير هذا إلى أن الانبعاثات غير المباشرة تشكل الحصة الأكبر من الانبعاثات في قطاع تكييف الهواء على عكس قطاع التبريد التجاري حيث تستحوذ الانبعاثات المباشرة على الحصة الأكبر من الانبعاثات.

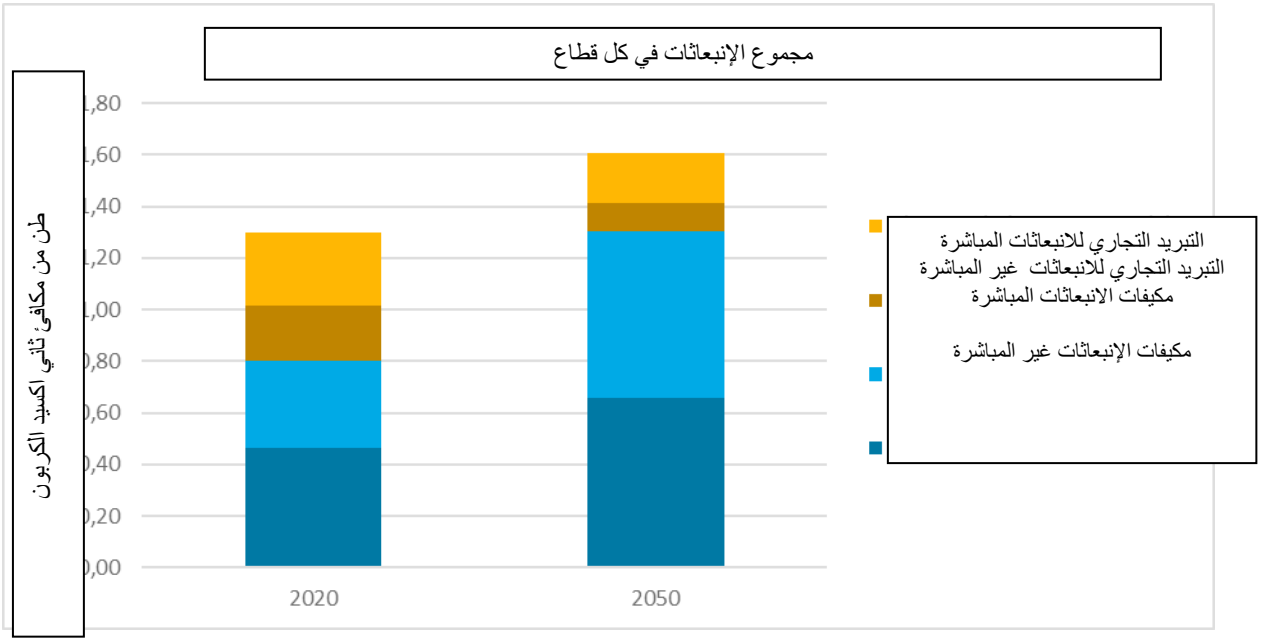
ومن المتوقع أن يزداد إجمالي الانبعاثات في عام 2050 (الناجمة عن قطاعي التكييف والتبريد التجاري) إذ سيبلغ معامل الانبعاثات حوالي 1,25 ليصل إلى 1,61 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون حتى في ظل مراعاة نزع الكربون من شبكات الكهرباء. وستمثل الانبعاثات غير المباشرة 48% والانبعاثات المباشرة 52% ما يشير إلى أنه من المتوقع أن تزداد حصة الانبعاثات المباشرة (من 48 إلى 52%) مقارنةً بعام 2020.

ومن المتوقع ارتفاع إجمالي انبعاثات قطاع التكييف بمعامل 1,6 ليصل إلى 1,31 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2050. كما يُتوقع انخفاض إجمالي الانبعاثات في قطاع التبريد التجاري بحلول عام 2050 لتصل إلى حوالي 0,3 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون. وتزداد حصة انبعاثات قطاع التكييف مقارنةً بعام 2020 من حيث إجمالي انبعاثات القطاعات الواردة بالدراسة من 61% إلى أكثر من 81%. ويرجع ذلك أساسًا إلى نمو قطاع التكييف (زيادة المساحات المكيفة) مقارنةً بقطاع التبريد التجاري.

ومقارنةً بعام 2020 من المتوقع أن ترتفع حصة الانبعاثات المباشرة بحلول عام 2050 من 42% إلى 50% في قطاع التكييف وسترتفع من 57% إلى 63% في قطاع التبريد التجاري.

وتُعزى زيادة حصة الانبعاثات المباشرة من إجمالي الانبعاثات إلى تفاعل عوامل مختلفة مثل معامل مكافئ ثاني أكسيد الكربون المتناقص المتوقع من شبكة الكهرباء وزيادة الكفاءة وتغير أنواع مواد التبريد المستخدمة وخفض معدلات التسرب التشغيلي واسترجاع مواد التبريد في مرحلة تصريف النفايات.

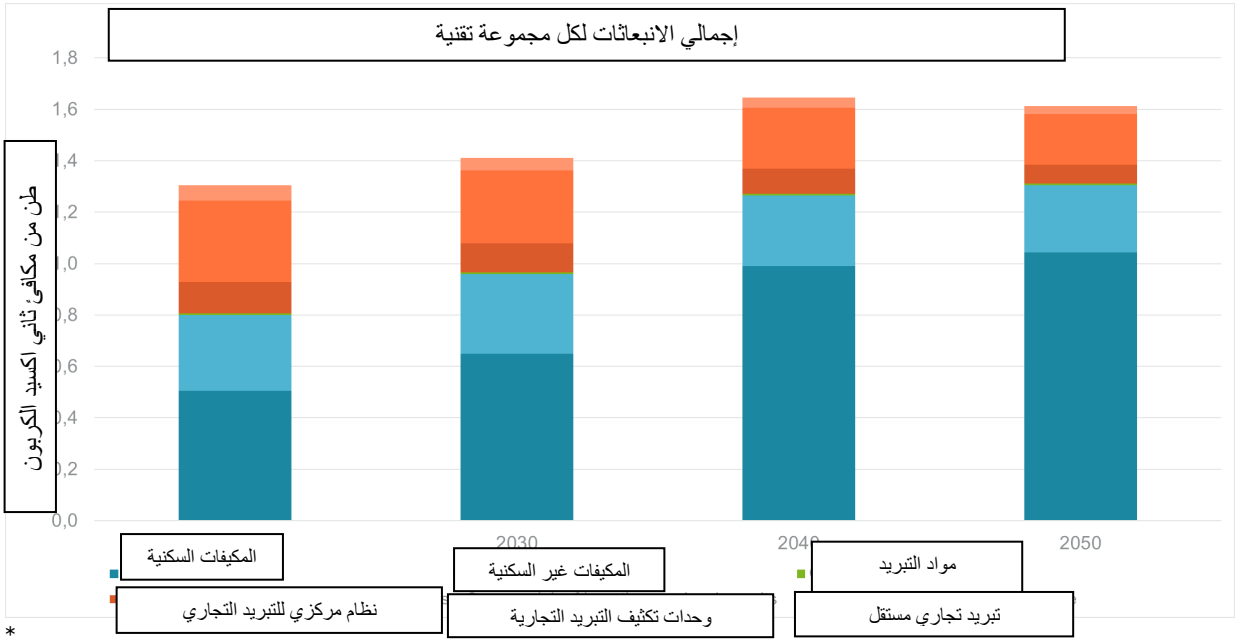
يقدم **الشكل 7** نظرة عامة على إجمالي الانبعاثات غير المباشرة والمباشرة المصنفة حسب قطاعي التكييف والتبريد التجاري.



الشكل 7 نظرة عامة على إجمالي الانبعاثات المباشرة و غير المباشرة الناجمة عن قطاعي تكييف الهواء والتبريد التجاري والانبعاثات المباشرة وغير المباشرة المصنفة حسب المصدر سواء قطاع تكييف الهواء أو التبريد التجاري

إجمالي الانبعاثات حسب فئات المباني وفئات التقنيات

تختلف المساهمة النسبية للانبعاثات الموزعة حسب فئات التقنيات على مر السنين. ويوضح **الشكل 8** الانبعاثات الناتجة عن فئات التقنيات المختلفة لكل عقد حتى عام 2050. ومن المتوقع أن يشهد قطاع التكييف السكني أعلى نمو بنسبة تزيد عن 65% من انبعاثات القطاعات والفئات الواردة بالدراسة بحلول عام 2050. كما يُتوقع أن يساهم قطاع التكييف غير السكني بحوالي 16% من انبعاثات فئات التقنيات.



*

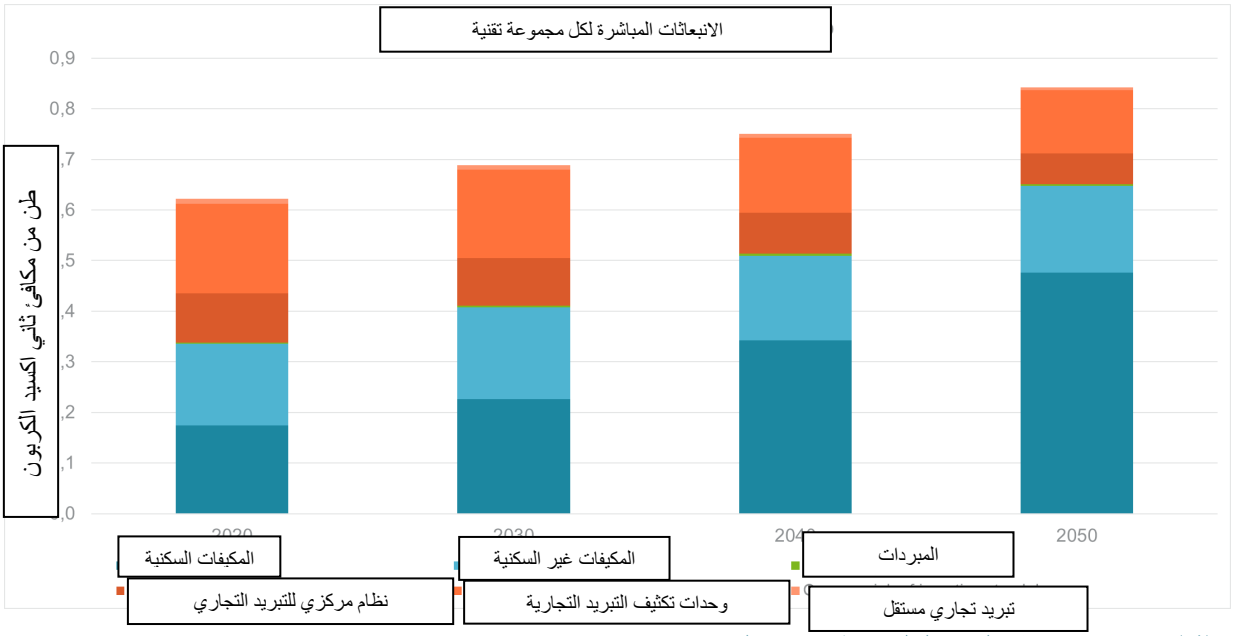
الشكل 8 اتجاه الانبعاثات الحالية مصنفة حسب فئات التقنيات 2020-2050

الانبعاثات المباشرة حسب فئات المباني وفئات التقنيات

بلغت الانبعاثات المباشرة الناتجة عن أجهزة تكييف الهواء (بما في ذلك المبرّدات) وقطاع التبريد التجاري حوالي 0,62 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2020. وتساهم أجهزة التكييف والمبرّدات بأكثر من 54% من الانبعاثات المباشرة لفئات التقنيات.

ومن المتوقع أن تزداد الانبعاثات المباشرة لفئات التقنيات بحوالي 26% بحلول عام 2050 لتصل إلى حوالي 0,84 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون. وتمثل مكيفات الهواء والمبرّدات، التي تبلغ الانبعاثات الناتجة عنها 0,65 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون، أكثر من 77% من إجمالي الانبعاثات المباشرة ما يشير إلى زيادة مساهمة أنظمة التكييف في الانبعاثات المباشرة في الأردن بمرور الوقت.

وسجلت الانبعاثات المباشرة الناتجة عن أجهزة التكييف في القطاع السكني أعلى نمو في الأرقام المطلقة بحوالي 0,17 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2020 إلى 0,47 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2050. ويوضح **الشكل 9** النتائج بالتفصيل.

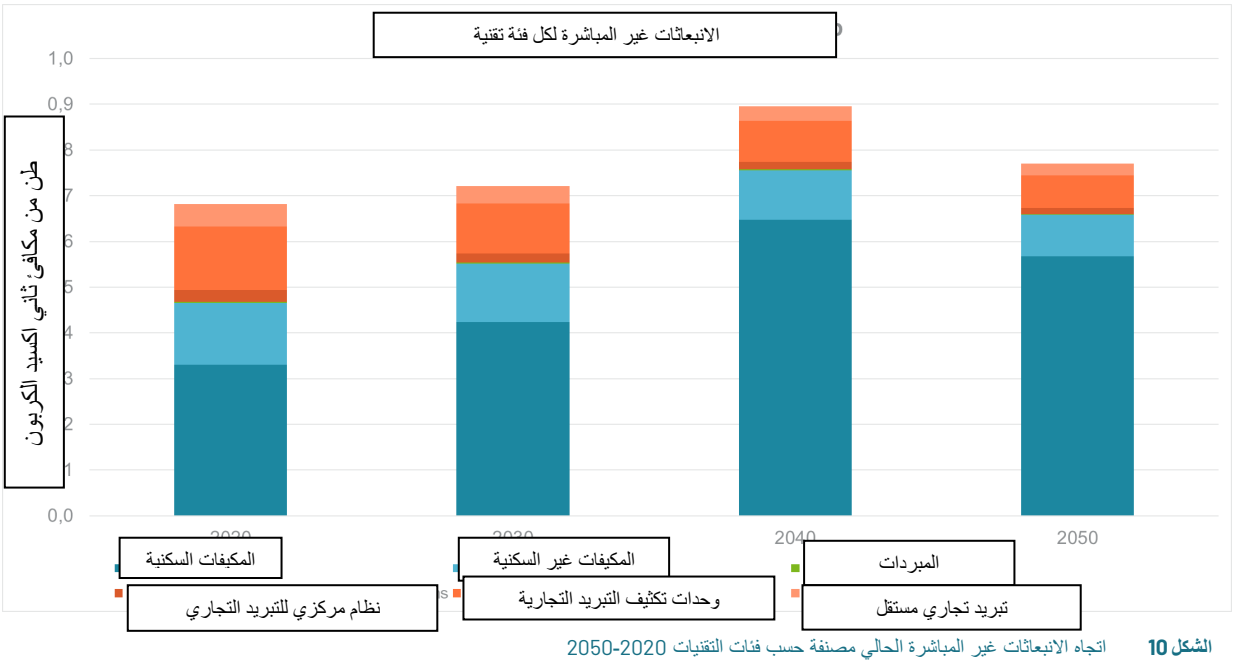


الشكل 9 اتجاه الانبعاثات المباشرة الحالي مصنفة حسب فئات التقنيات 2020-2050

انحفضت الانبعاثات غير المباشرة الناتجة عن قطاعي التكييف التبريد التجاري انحفاضًا طفيفًا بمقدار 0,7 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2020. وتُقدر انبعاثات قطاع التكييف والمبرّدات بـ 0,47 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون أي حوالي 70% من الانبعاثات غير المباشرة لفئات التقنيات.

ومن المتوقع ارتفاع الانبعاثات غير المباشرة لفئات التقنيات بحلول عام 2040 بمعامل 1,3 لتصل إلى 0,9 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون، بينما ستنخفض الانبعاثات بشكل طفيف بمقدار 0,13 ميغا طن من ثاني أكسيد الكربون المكافئ في الفترة بين 2040 و2050. وتشكل أجهزة التكييف والتبريد التي تبلغ انبعاثاتها 0,66 ميغا طن من ثاني أكسيد الكربون أكثر من 86% من هذه الانبعاثات غير المباشرة ما يشير إلى زيادة مساهمة أنظمة التكييف في الانبعاثات غير المباشرة في الأردن بمرور الوقت. ويمكن ملاحظة تسجيل أعلى معدل نمو في قطاع التكييف السكني حيث تتضاعف الانبعاثات تقريبًا من 0,33 إلى 0,57 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون. ويوضح **الشكل 10** النتائج بالتفصيل.

ويرجع الانخفاض بين عامي 2040 و2050 إلى مجموع تأثيرات التحسينات المتوقعة لمعاملات مكافئ ثاني أكسيد الكربون لشبكة الكهرباء وتحسينات الكفاءة على مدى العقود المقبلة وتباطؤ نمو إجمالي أنظمة تكييف الهواء بعد تحقيق أقصى قدر من تشبع السوق بحلول عام 2040 تقريبًا.



الشكل 10 اتجاه الانبعاثات غير المباشرة الحالي مصنفة حسب فئات التقنيات 2020-2050

4-2-2- احتمالات التخفيف

يشرح هذا الفصل إمكانية تخفيف انبعاثات مكافئ ثاني أكسيد الكربون ويظهر وفورات الانبعاثات النسبية المتوقعة من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في الاحتمالات 1 و2 و3 مقارنةً باحتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0). ويلخص هذا الفصل الوفورات المتوقعة من احتمالات التخفيف (الاحتمالات 1 و2 و3) مقارنة باحتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0) بالإضافة إلى الانبعاثات المتوقعة بحلول عام 2050 مقارنة بسنة البدء 2020 لكل احتمال. ويتكون الفصل من ثلاثة أجزاء تشرح بالتفصيل أ) إجمالي الانبعاثات، ب) الانبعاثات المباشرة، ج) الانبعاثات غير المباشرة.

إجمالي الانبعاثات حسب فئات المباني وفئات التقنيات لكل احتمال

ويقدم هذا الفصل الفرعي نظرة عامة على إجمالي الانبعاثات في قطاعي التكييف والتبريد التجاري المصنفة عبر فئات المباني والقطاع السكني وغير السكني. ويتبع الفصلان الفرعيان التاليان نفس التنظيم ويقدمان لمحة عامة على الانبعاثات المباشرة وغير المباشرة على التوالي مصنفة أيضًا عبر فئات المباني السكنية وغير السكنية.

يوضح **الشكل 11** أنه من المتوقع زيادة إجمالي الانبعاثات (في الاحتمال 1)، وانخفاضها (في الاحتمال 2) وانخفاضها بشدة (في الاحتمال 3) وذلك خلال الفترة بين 2020 و2050. وبالمقارنة بالاحتمال 0، تظهر جميع احتمالات التخفيف (الاحتمالات 1 و2 و3) وفورات كبيرة تتراوح بين 45% إلى 73% بحلول عام 2050.

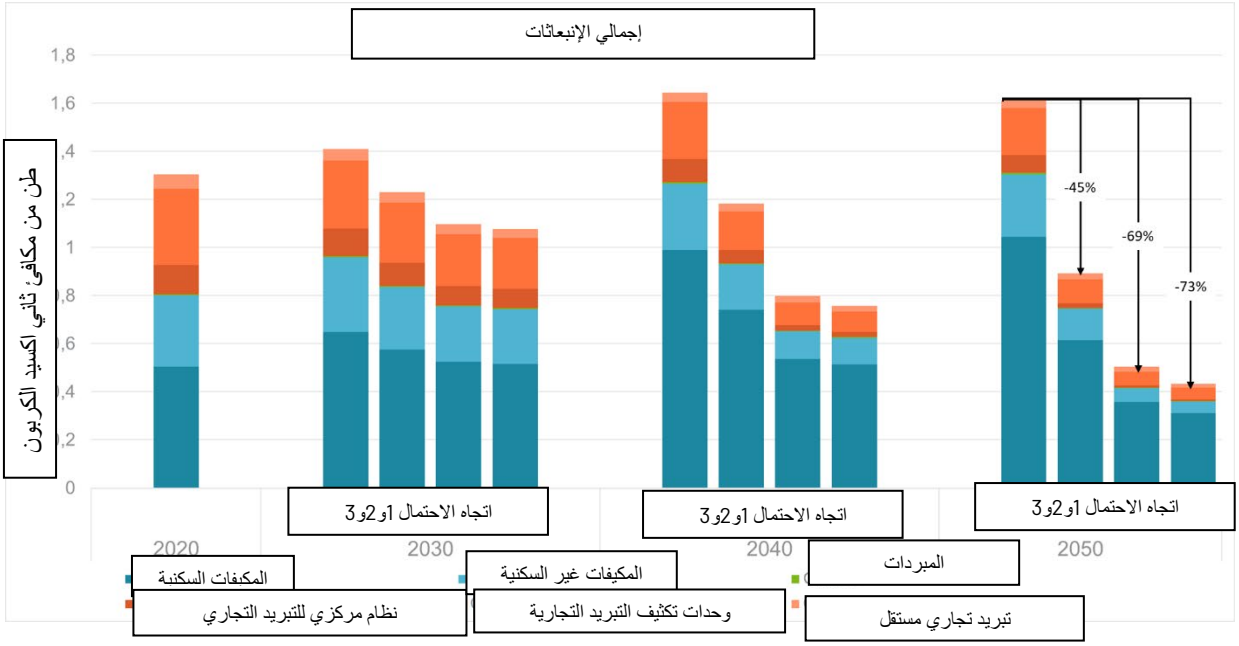
الاحتمال 1: من المتوقع ارتفاع إجمالي الانبعاثات من 1,3 إلى 1,61 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون، وباتالي سيرتفع إجمالي الانبعاثات بمعامل 1,25 بحلول عام 2050 مقارنةً بسنة البدء 2020. ويُفترض تحقيق وفورات بنسبة 45% في عام 2050 مقارنةً بالاحتمال 0.

الاحتمال 2: من المتوقع انخفاض إجمالي الانبعاثات بحلول عام 2050 من 1,3 إلى 0,9 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون، أي ما يقرب من 30% انخفاضًا في عام 2050 مقارنةً بسنة البدء 2020. ومقارنةً بالاحتمال 0، يُفترض تحقيق وفورات بنسبة 69% في عام 2050 ووفورات بنسبة 24% في الاحتمال 1.

الاحتمال 3: من المتوقع انخفاض إجمالي الانبعاثات في عام 2050 من 1,3 إلى 0,4 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون، أي انخفاضًا بنسبة 70% تقريبًا مقارنة بعام 2020. وبالمقارنة بالاحتمال 0، فمن المتوقع تحقيق وفورات بنسبة 73% في عام 2050، مقارنة بالاحتمال 2 الذي سجل نسبة 4%. وتُعزى هذه الوفورات الإضافية في الاحتمال 3 مقارنة بالاحتمال 2 إلى إضافة بعض التحسينات في غلاف المباني في الفترة بين 2020 و2050.

بدأت الانبعاثات تنخفض بشكل طفيف وتتسارع في التناقص في الفترة بين 2030 و2040 و2040 و2050. وتتمثل الأسباب الرئيسية لهذا التطور في الاضطلاع باستخدام مواد التبريد الطبيعية وتجنب آثار لا رجعة منها وكذلك التنفيذ المبكر لتقنيات عالية الكفاءة.

بالرغم من التأثير المتوقع الناتج عن النمو الهائل في إجمالي المباني مصحوبًا بزيادة كبيرة في متوسط عدد المساحات المكيفة، وخاصة في المباني السكنية، نرى في الاحتمال 3 انخفاض معدل الانبعاثات مقارنة بسنة البدء 2020. ويدل هذا على إتاحة الإمكانية والحاجة الماسة إلى حزم سياسات عامة مؤثرة وطموحة تُنفذ من خلال التنسيق بين القطاعات وتشمل السياسات التي تتناول الغازات المفلورة وخطط التمويل التي تعزز العمل بمواد التبريد الطبيعية وزيادة الوعي ولا سيما التركيز على مهارات الفنيين. وعلاوة على ذلك، تُظهر السياسات العامة المتعلقة بكفاءة المباني الجديدة وتجديد المباني القائمة على مدى العقود من 2020 إلى 2050 إمكانات كبيرة (انظر أيضًا الفصل 3).



الشكل 11 تطور إجمالي الانبعاثات لكل احتمال في فترة 2020-2050

الانبعاثات المباشرة حسب فئات المباني وفئات التقنيات لكل احتمال

يقدم هذا الفصل الفرعي نظرة عامة على الانبعاثات المباشرة الناجمة عن قطاعي تكييف الهواء والتبريد التجاري مصنفة حسب فئات المباني السكنية وغير السكنية. ويرجع تسجيل وفورات الانبعاثات المباشرة بشكل أساسي إلى التحول لاستخدام مواد التبريد الوسيطة (ذات القدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي) ومواد التبريد الطبيعية بالإضافة إلى اتخاذ التدابير التي تقلل معدلات التسرب (أي التسرب التشغيلي وكذلك تسرب مواد التبريد عند نهاية العمر الافتراضي).

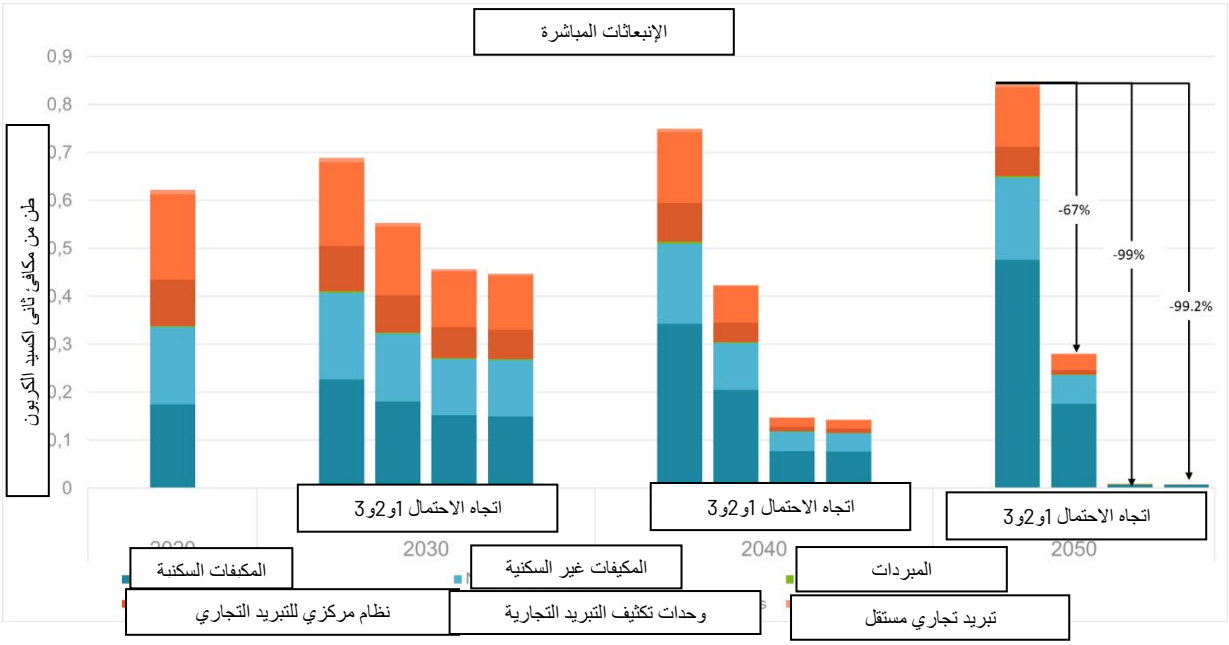
يوضح **الشكل 12** أنه من المتوقع انخفاض الانبعاثات المباشرة بنسبة تزيد عن 67% في الاحتمال 1 بحلول عام 2050 مقارنةً بعام البدء 2020. ويشهد عام 2050 في الاحتمال 2 تحقيق معدل وفورات كبير في مقارنةً بعام 2020. وبالمقارنة بالاحتمال 0، تحقق جميع احتمالات التخفيف (الاحتمالات 1 و2 و3) وفورات كبيرة تتراوح من 67% إلى 99% في عام 2050، إذ يمكن ملاحظة إمكانات التوفير بالفعل في عام 2030 وتزداد بشكل مطرد خلال عام 2040. وتُعزى معظم هذه النتائج إلى التحول لاستخدام مواد التبريد الطبيعية.

الاحتمال 1: من المتوقع أن تبدأ الانبعاثات المباشرة في الانخفاض من 0,62 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2020 إلى 0,28 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2050. ويرجع السبب الرئيسي وراء الانخفاض إلى التحول من استخدام مواد التبريد عالية القدرة على إحداث الاحترار العالمي إلى مواد التبريد الوسيطة منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي وإلى مواد التبريد الطبيعية. بينما يعد تحسين معدلات التسرب عامل آخر وراء هذا الانخفاض.

الاحتمال 2: من المتوقع أن تبدأ الانبعاثات المباشرة في الانخفاض من 0,62 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2020 إلى 0,008 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2050. وتكاد تكون معدلات الانخفاض لا تذكر مقارنةً بنقطة البداية في 2020، ويرجع ذلك أساسًا إلى استخدام مواد التبريد الطبيعية. ويُتوقع تحقيق وفورات تبلغ حوالي 99% و32% مقارنة بالاحتمالين 0 و1 على التوالي في عام 2050.

الاحتمال 3: من المتوقع انخفاض الانبعاثات المباشرة من 0,62 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2020 إلى 0,007 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2050. وتكاد تكون معدلات الانخفاض لا تذكر مقارنةً بنقطة البداية في 2020، ويرجع ذلك أساسًا إلى استخدام مواد التبريد الطبيعية. ويُفترض توفير حوالي 99.2% و31.8% و0,2% مقارنةً بالاحتمالات 0 و1 و2 على التوالي في عام 2050. ويُعزى الانخفاض الطفيف مقارنةً بالاحتمال 2 إلى تحسين غلاف المباني الذي ينتج عنه خفض الطلب على التبريد وبالتالي تجنب ارتفاع معدلات التشغيل.

تفترض التدابير المُتخذة في الاحتمال 1 بالفعل ارتفاع حصة استخدام مواد التبريد الطبيعية في عام 2050، ولكن بالمقارنة مع الاحتمال 2، سيتخذ التنفيذ وتيرة أبطأ وستكون حصة مواد التبريد الطبيعية أقب بحلول عام 2050 (انظر **الجدول 6**). تُظهر النتائج أن التنفيذ المبكر هو المفتاح لتجنب آثار لا رجعة منها. وتتمثل الأسباب الرئيسية للوفورات الإضافية في الاحتمال 2 مقارنةً بالاحتمال 1 في التحول السريع لاستخدام لمواد التبريد الطبيعية بما في ذلك تجاوز استخدام مواد التبريد الوسيطة وبالتالي تجنب آثار لا رجعة منها والاضطلاع المبكر باستخدام التقنيات عالية الكفاءة. وبالإضافة إلى ذلك، تساهم التدابير المعززة للتحكم في معدلات التسرب وتصريف النفايات عند نهاية العمر الافتراضي في إمكانية خفض الانبعاثات في الاحتمال 2 مقارنةً بالاحتمال 1.



الشكل 12 تطور الانبعاثات المباشرة لكل احتمال في فترة 2020-2050

الانبعاثات غير المباشرة حسب فئات المباني وفئات التقنيات لكل احتمال

يقدم هذا الفصل الفرعي نظرة عامة على الانبعاثات غير المباشرة الناجمة عن قطاعي تكييف الهواء والتبريد التجاري مصنفة حسب فئات المباني السكنية وغير السكنية. وتعد وفورات الانبعاثات غير المباشرة نتيجة لزيادة كفاءة النظم وبذل جهود نزع الكربون من الشبكات.

ويوضح **الشكل 13** أنه من المتوقع ارتفاع معدل الانبعاثات غير المباشرة في عام 2050 مقارنة بسنة البدء في عام 2020 في الاحتمال 0 ولكنه الأقل بين جميع احتمالات التخفيف. وبالمقارنة بوفورات الانبعاثات المباشرة، تسجل وفورات الانبعاثات غير المباشرة معدلات أقل بكثير ما سيزيد المساهمة النسبية للانبعاثات غير المباشرة في المستقبل. وتكفي وفورات الانبعاثات غير المباشرة في احتمالات التخفيف لموازنة الاتجاه التصاعدي في الفترة من 2020 إلى 2050 من خلال زيادة كفاءة التقنيات ونزع الكربون من الشبكة مدفوعًا بنمو السوق المتسارع.

ويتناقض ذلك مع معدل الانبعاثات المباشرة في عام 2050 حيث كانت جميع التوقعات أقل بكثير مقارنة بعام البدء 2020، إذ قضيا الاحتمالين 2 و3 بشكل كامل تقريبًا على الانبعاثات المباشرة. وبناءً على الافتراضات (انظر المرفق 1)، من المتوقع انخفاض حصة الانبعاثات غير المباشرة أيضًا من إجمالي انبعاثات القطاعات الواردة بالدراسة في المستقبل باستثناء الاحتمال 1 الذي سيشهد زيادة حتى عام 2040 قبل عكس الاتجاه وإظهار مزيد من الانخفاض. ومقارنةً بالاحتمال القائم على الاتجاه الحالي (الاحتمال 0)، تُظهر احتمالات التخفيف إمكانية الحد من الانبعاثات غير المباشرة في عام 2050 مقارنةً بعام 2020، والتي تتراوح من 20% إلى 45% (انظر **الشكل 13**).

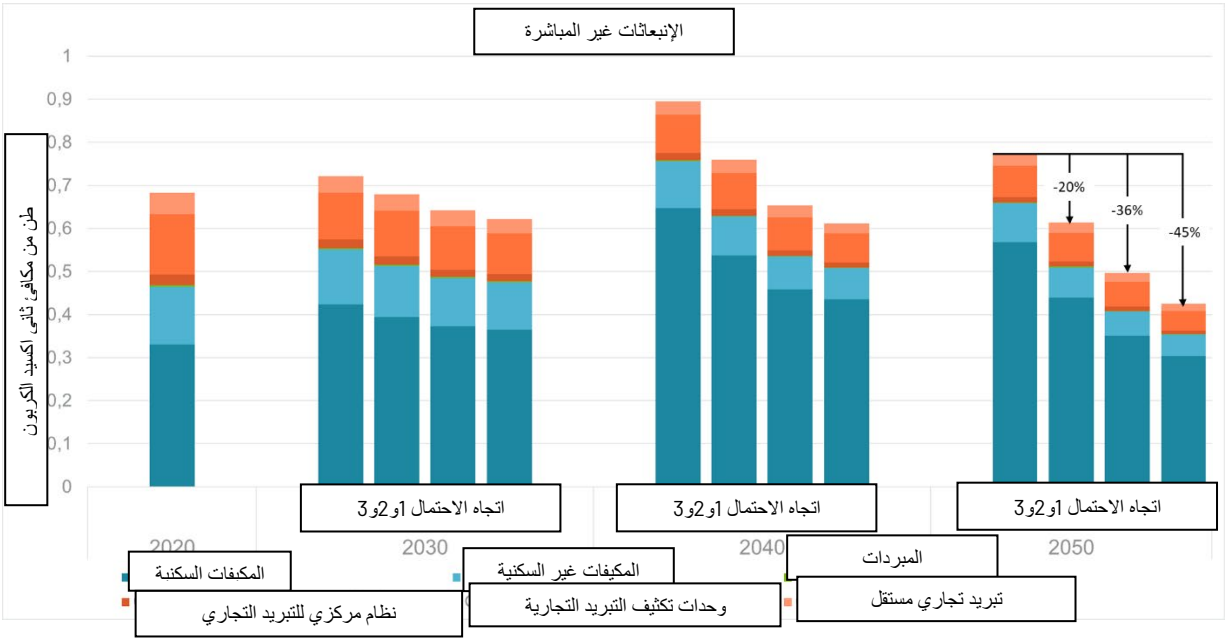
ويُعزى انخفاض الانبعاثات بشكل عام في جميع الاحتمالات إلى تباطؤ نمو السوق وارتفاع كفاءة التقنيات.

الاحتمال 1: تنخفض الانبعاثات غير المباشرة من 0,68 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون إلى 0,61 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون، إذ تسجل زيادة بنحو 13% بين 2020 و2050. وتبلغ الانبعاثات غير المباشرة ذروتها في عام 2040 تقريبًا ثم تبدأ في الانخفاض بشكل طفيف. وتُعزى هذه الزيادة المتوقعة في العقود القادمة بشكل أساسي إلى نمو السوق المتسارع. وبالمقارنة مع الاحتمال 0، فمن المتوقع تحقيق وفورات بنسبة 20% في عام 2050.

الاحتمال 2: تنخفض الانبعاثات غير المباشرة من 0,69 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون إلى 0,5 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون بين 2020 و2050 ما يعني انخفاضًا بنسبة 28%. وبالمقارنة بالاحتمال 0، يُتوقع تحقيق وفورات بنسبة 36% في عام 2050 مقارنة بالاحتمال 1 الذي بلغ 16%. ويبدأ نمو السوق في التباطؤ من عام 2040. وسترتفع وفورات الانبعاثات غير المباشرة عن الانبعاثات الإضافية الناتجة عن نمو السوق من خلال اتخاذ تدابير الكفاءة ونزع الكربون من الشبكات ما يؤدي إلى انخفاض إجمالي الانبعاثات غير المباشرة.

الاحتمال 3: تنخفض الانبعاثات غير المباشرة من 0,69 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون إلى 0,4 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون بين 2020 و2050. إذ ستتعدى 40% مثلًا. وستبدأ الانبعاثات غير المباشرة في الانخفاض بسرعة أكبر مما كانت عليه في الاحتمال 2 بين 2040 و2050.

ومن المتوقع تحقيق وفورات بنحو 45% و9% بحلول عام 2050 مقارنةً بالاحتمالين 0 و2. وجاءت الوفورات الإضافية مقارنةً بالاحتمال 2 نتيجة للتحسينات الإضافية في غلاف المباني في الفترة بين 2020 و2050.



الشكل 13 تطور معدل الانبعاثات غير المباشرة لكل احتمال في الفترة بين 2020-2050

4-3- 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 الفصل 6-4-2).

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.[38]

4-3-1- الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي

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

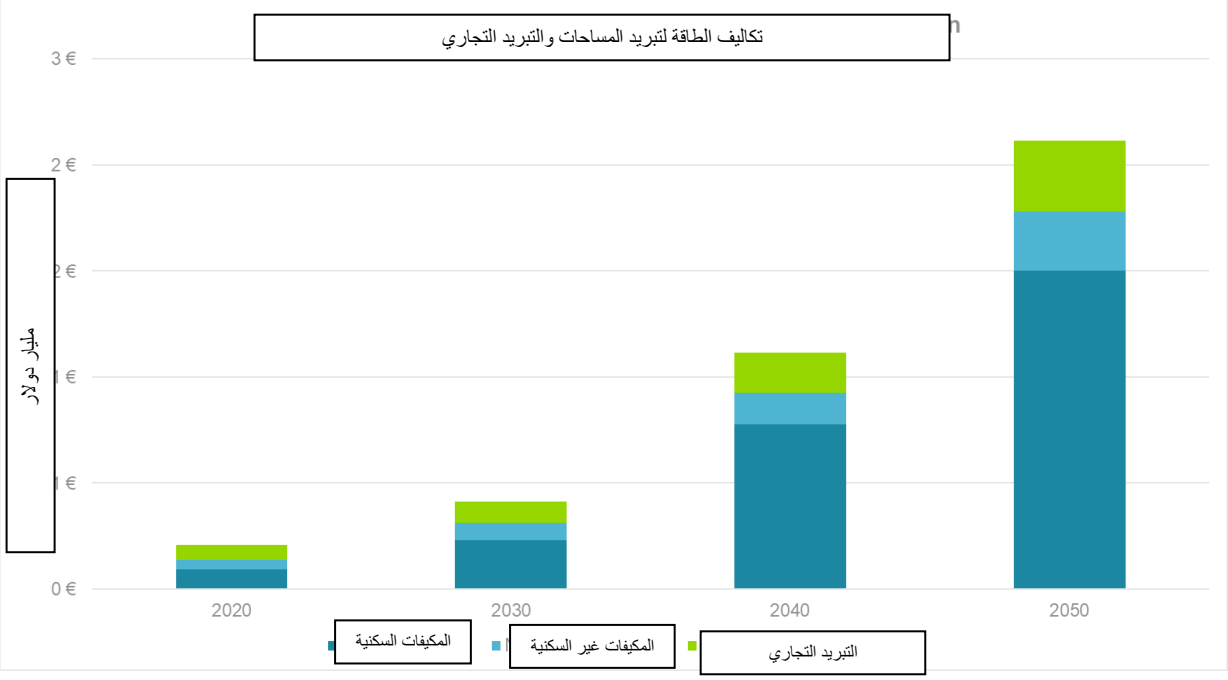
تكاليف الكهرباء

من المتوقع في إطار الاحتمال 0 أن ارتفاع تكاليف الكهرباء الخاصة بتبريد المساحات والتبريد التجاري بسرعة خلال العقود القادمة ما يؤدي إلى زيادة قدرها 10 أضعاف لتصل التكاليف إلى 2,1 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 2023.

ومن المتوقع أن تزداد حصة قطاع التكييف السكني من إجمالي تكاليف الكهرباء من حوالي 45% في عام 2020، وتقدر بحوالي 94 مليون يورو، إلى حوالي 71% بحلول عام 2050 وتقدر بنحو 1,5 مليار يورو. ومن ناحية أخرى، فإن أجهزة التكييف غير السكنية تنمو أيضًا بشكل مطرد ولكن تتباطأ حصصها من 21% في عام 2020 إلى 13% في عام 2050. ويُعزى هذا بشكل مباشر إلى الزيادة الكبرى في الطلب على تبريد المساحات السكنية كما هو موضح في القسم 1-1-4. وعلى غرار قطاع تكييف الهواء غير السكني، تنمو تكاليف كهرباء التبريد التجاري أيضًا بشكل مطرد من

[38] بما في ذلك تضخم سنوي قدره 3%

حوالي 70 مليون يورو في عام 2020 إلى حوالي 335 مليون يورو في عام 2050، ومع ذلك تتباطأ إجمالي حصصها أيضًا من 33% في عام 2020 إلى حوالي 16% في عام 2050.

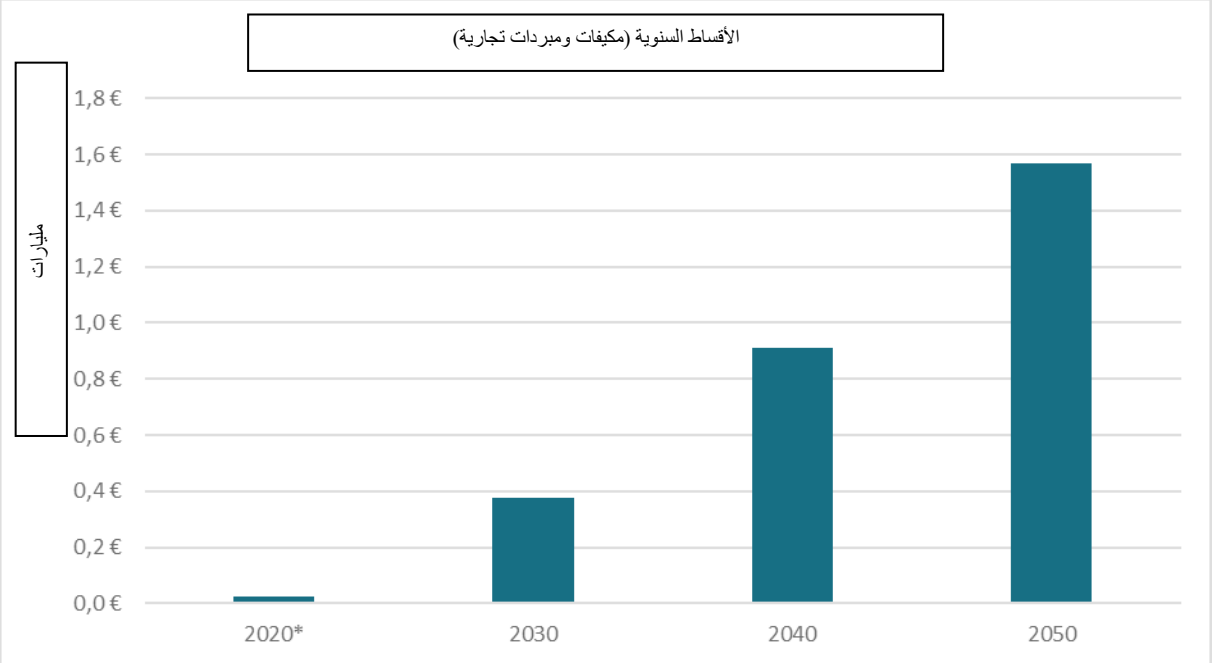


الشكل 14 الاتجاه الحالي - تكاليف طاقة تبريد المساحات والتبريد التجاري في الفترة 2020-2050

الأقساط 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 للإجهزة ومعدل الخصم (انظر الفصل 6-4-2).

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 1,57 مليار يورو في عام 2050 كما هو موضح في **الشكل 16**.

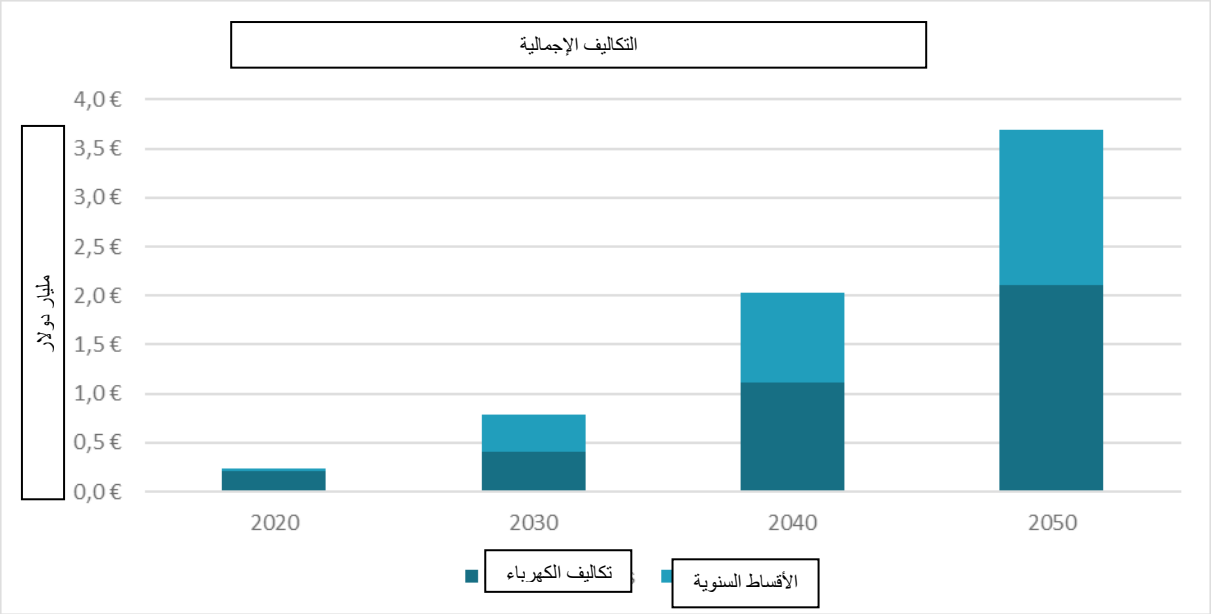


*تنخفض الدفعات السنوية في عام 2020 لأنها تشمل الدفعة الأولى من الاستثمار المطلوب في تلك السنة والتي تم خصمها على مدى العمر الافتراضي للأجهزة. ولم يتم أخذ الدفعات السنوية للاستثمارات السابقة في الاعتبار.

الشكل 15 الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي – الأقساط السنوية لتنمية الاستثمارات لفترة 2020 - 2050

إجمالي التكاليف

ويتم احتساب إجمالي التكاليف على أنها مجموع مدفوعات الأقساط السنوية وتكاليف الكهرباء السنوية. وتبلغ حصة النفقات التشغيلية في التكلفة الإجمالية حوالي 57% في عام 2050. ومن المتوقع أن ترتفع التكاليف الإجمالية الناتجة عن قطاعي تكييف الهواء والتبريد إلى 3,7 مليار يورو في عام 2050 ما يشير إلى زيادة كبيرة عن عام 2020 كما هو موضح في **الشكل 16**.



الشكل 16 الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي – تطور 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 و 2 بالاحتمال 0.

تكاليف الكهرباء ووفورات تكاليف الكهرباء

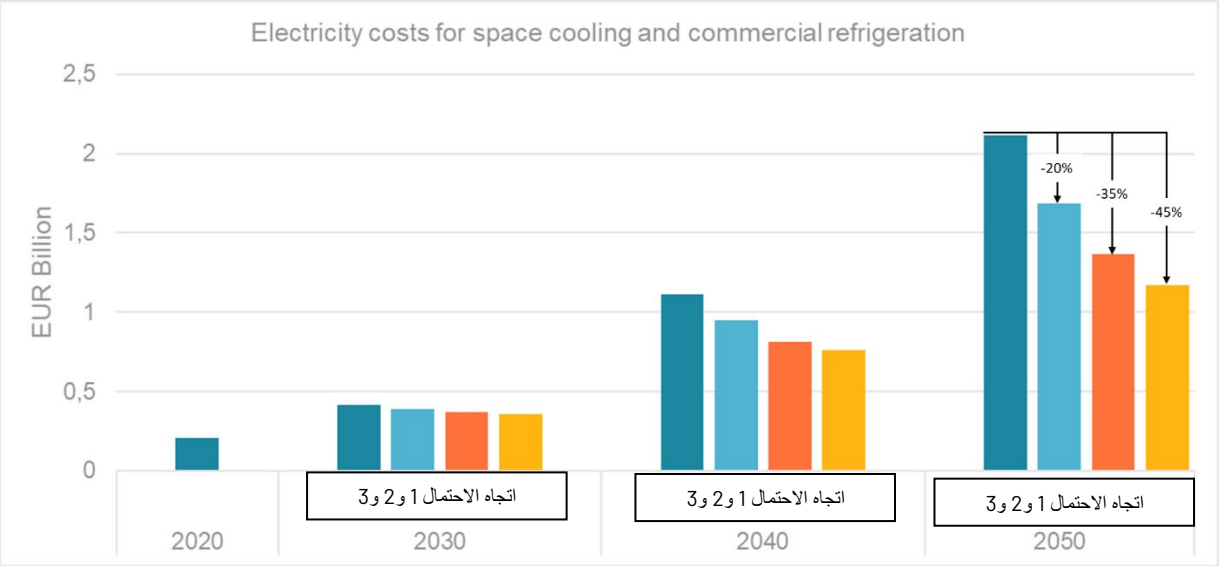
على غرار الطلب الناتج على الطاقة (الفصل 2-1-4)، يمكن تحقيق توفير كبير في تكاليف الكهرباء في إطار احتمالات التخفيف مقارنة باحتمال الاتجاه الحالي. ويقدم **الشكل 17** نظرة عامة على تطور تكاليف الطاقة في الاحتمالات الواردة بالدراسة خلال الفترة من 2020 إلى 2050 فيما يقدم **الشكل 18** لمحة عن الوفورات العددية المحتملة في تكاليف الطاقة خلال الفترة من 2030 إلى 2050.

ويوضح **الشكل 17** أنه من المتوقع نمو تكاليف الكهرباء في أي من الاحتمالات بين 2020 و2050، في حين أن معامل النمو في الاحتمال 0 أعلى من 10، وفي الاحتمال 1 حوالي 8، وفي الاحتمال 2 أعلى قليلاً من 6,5، ويزيد قليلًا عن 5,5 في الاحتمال 3. وتُظهر جميع احتمالات التخفيف (الاحتمالات 1 و2 و3) وفورات كبيرة تتراوح بين 20% و45% في عام 2050 مقارنةً بالاحتمال 0.

الاحتمال 1: ومن المتوقع ارتفاع تكاليف الكهرباء من 208 مليون يورو إلى 1,7 مليار يورو ما يعني ارتفاع معامل تكاليف الكهرباء الإجمالية بنحو 8 في عام 2050 مقارنة بسنة البدء 2020. وسيتم تسجيل وفورات بنسبة 20% في عام 2050 مقارنةً بالاحتمال 0.

الاحتمال 2: من المتوقع ارتفاع تكاليف الكهرباء من 208 مليون يورو إلى 1,37 مليار يورو ما يعني ارتفاع معامل تكاليف الكهرباء الإجمالية قليلاً عن 6,5 في عام 2050 مقارنةً بسنة البدء 2020. وسيتم تسجيل وفورات بنسبة 35% و15% في عام 2050 مقارنة بالاحتمال 0 والاحتمال 1على التوالي.

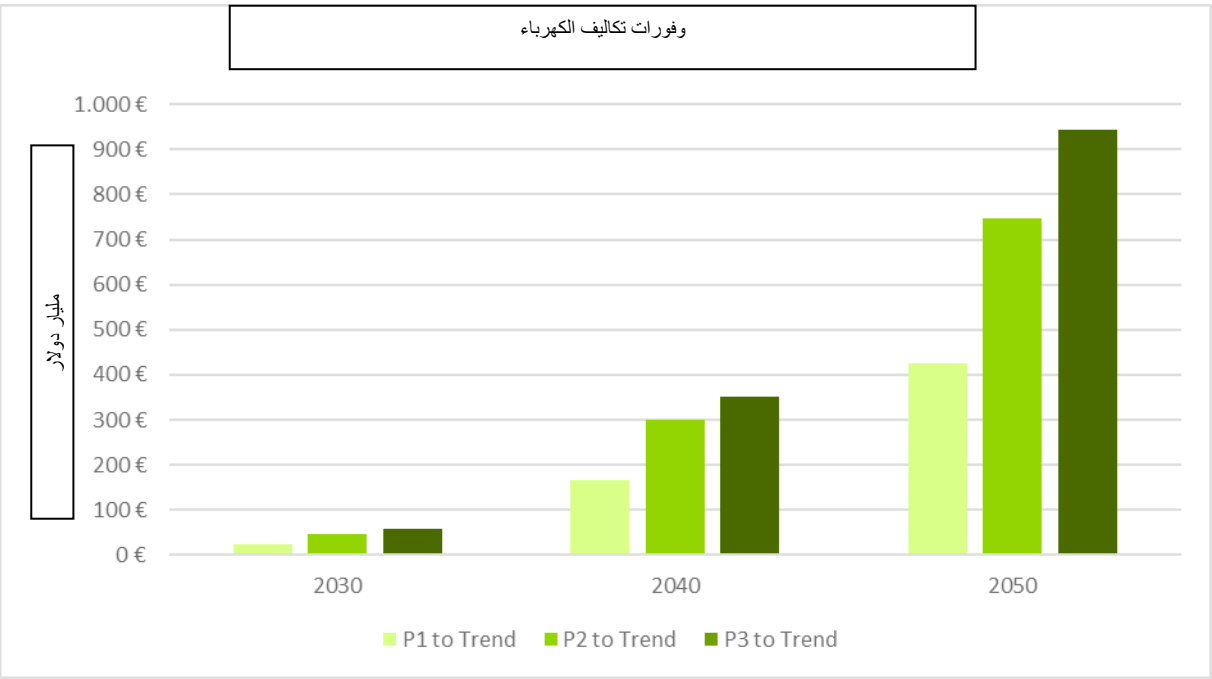
الاحتمال 3: من المتوقع ارتفاع تكاليف الكهرباء من 208 مليون يورو إلى 1,17 مليار يورو ما يعني ارتفاع معامل تكاليف الكهرباء الإجمالية قليلاً عن 5,5 في عام 2050 مقارنةً بسنة البدء 2020. وسيتم تسجيل وفورات بنسبة 45% و10% في عام 2050 مقارنة بالاحتمال 0 والاحتمال 2 على التوالي.



الشكل 17 احتمالات التخفيف – تطور تكاليف الكهرباء 2020-2050

ويقدم **الشكل 18** التالي صورة مقربة ويسلط الضوء على ترتيب وفورات تكاليف الكهرباء من حيث الحجم بين احتمالات التخفيف 1 و2 واحتمال الاتجاه الحالي 0. وتسجل وفورات التكاليف ما بين 426 مليون يورو إلى حوالي 746 مليون يورو بين 2030 و2050، في حين ترتفع الوفورات في الاحتمال 2 ضعفين تقريبًا مما كانت عليه في الاحتمال 1.

كما هو موضح سابقًا، تتوافق وفورات تكاليف الكهرباء (في **الشكل 18**) مع الأقساط السنوية الإضافية المسموح بها (انظر **الشكل 19**) للحفاظ على التكلفة الإجمالية في نفس المستوى عبر جميع احتمالات التخفيف.

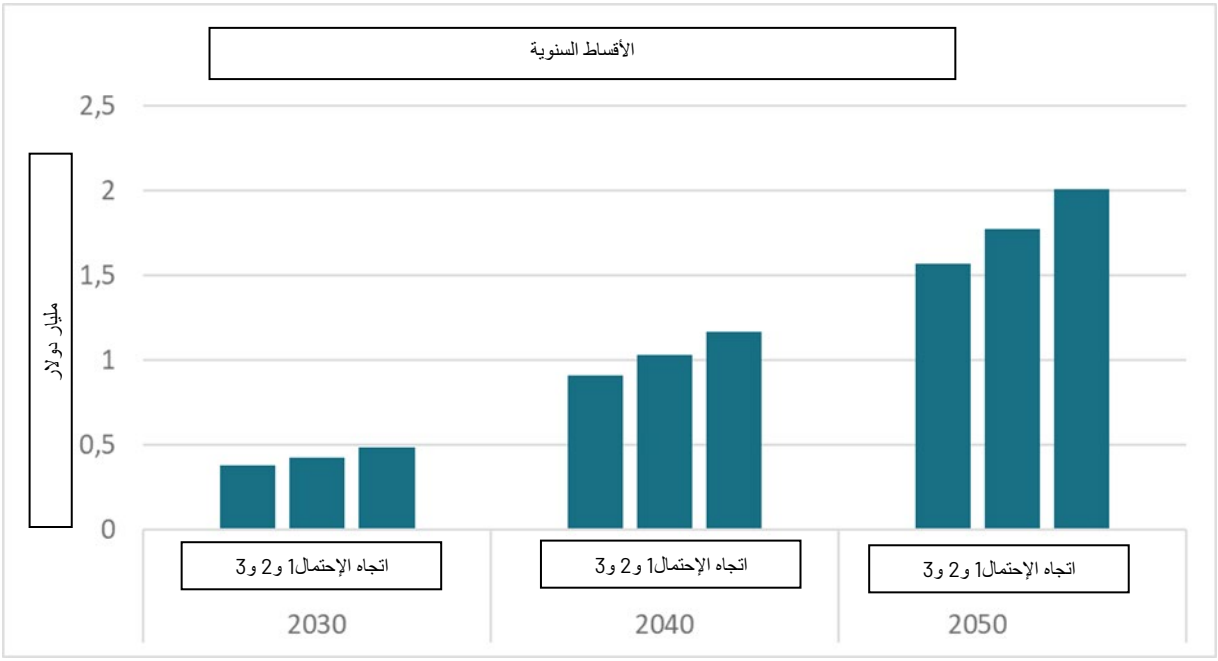


الشكل 18 الوفورات السنوية في تكاليف الكهرباء 2030 - 2050

إجمالي تكاليف الوفورات

تضيف النفقات الرأسمالية (الأقساط السنوية) لتنفيذ احتمالات التخفيف (الاحتمالين 1 و2) ما يصل إلى 1,7، و2 مليار يورو في عام 2050. وبالمقارنة مع احتمال الاتجاه الحالي 0، يتوافق ذلك مع الأقساط السنوية الإضافية البالغة 205 مليون يورو أي 12% في الاحتمال 1 ويقابلها 437 مليون يورو أو 22% في الاحتمال 2 لعام 2050 (افتراضات التكاليف الإضافية للتقنيات المحسنة، انظر المرفق 1).

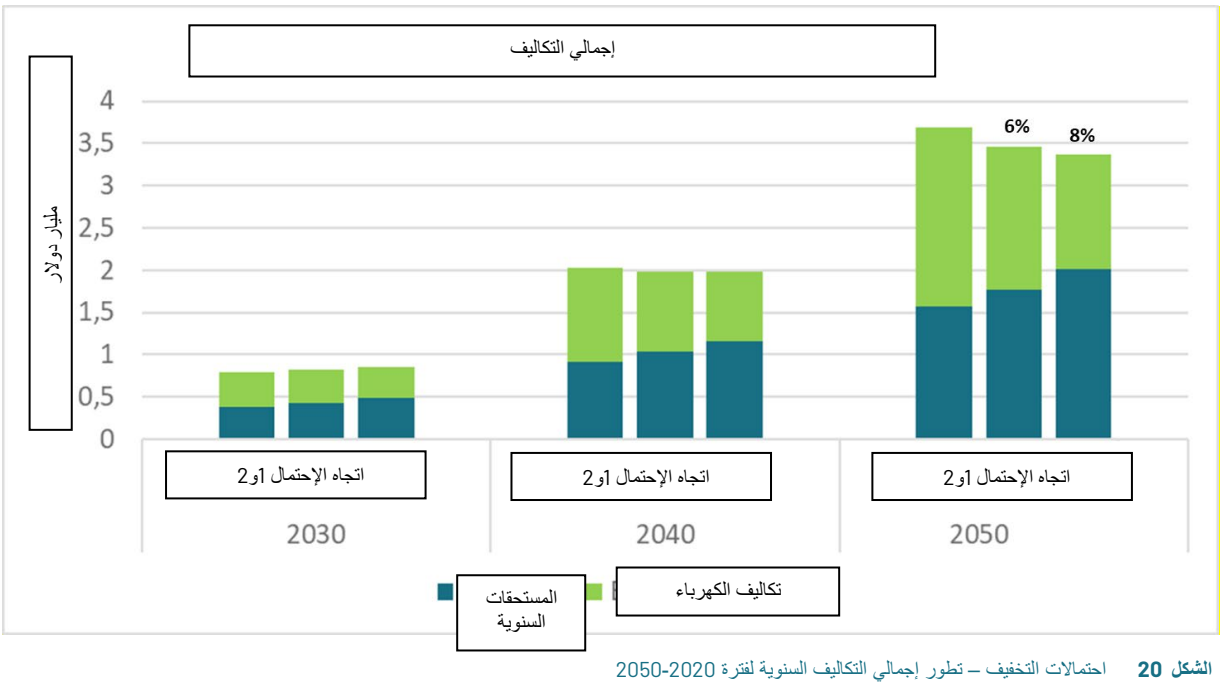
ومن المتوقع أن يكافئ حجم الاستثمارات الإضافية حجم الأقساط السنوية الإضافية بالحصول على استثمارات ثابتة بمرور الوقت. ويسلط **الشكل 19** الضوء على تطور مدفوعات الأقساط السنوية عبر الاحتمالات الواردة بالدراسة في الفترة بين 2020 و2050.



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

كما هو موضح في القسم السابق، تصل وفورات تكاليف الكهرباء في احتمالات التخفيف إلى 426 مليون يورو في الاحتمال 1، مقابل 746 مليون يورو في الاحتمال 2 في عام 2050 مقارنةً بالاحتمال 0.

وتقل التكلفة الإجمالية لاحتمال التخفيف 1 بنسبة 6% وتقل بنسبة 8% في الاحتمال 2 عن التكلفة الإجمالية لاحتمال الاتجاه الحالي في عام 2050.



الشكل 20 احتمالات التخفيف – تطور إجمالي التكاليف السنوية لفترة 2020-2050

5- ملخص النتائج الرئيسية

تحلل هذه الدراسة العديد من احتمالات تطوير قطاع التبريد وتكييف الهواء في الأردن 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 لسوق التبريد وتكييف الهواء تحديات وفرصًا في السوق الأردنية

- *يحقق سوق أجهزة التبريد والتكييف في الأردن نموًا سريع في الوقت الحالي ويتمتع بإمكانات سوقية هائلة، ومن المتوقع أن ينمو قطاع التكييف السكني بمعامل 4,5 حتى عام 2050.*
- *يؤدي النمو المتوقع للسوق إلى زيادة كبيرة في استخدام مواد التبريد فضلًا عن زيادة الطلب على الكهرباء في ظل الظروف الحالية.*
- *من المتوقع في احتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0) ارتفاع إجمالي الانبعاثات بمعامل 1,2 تقريبًا ويزيد الطلب على الكهرباء بمعامل 3,5 حتى عام 2050 مقارنةً بعام 2020.*
- *تتطلب الزيادة المتوقعة في الطلب على الكهرباء قدرة توليد إضافية عالية.*
- *تشكل الانبعاثات المباشرة حصة كبيرة تبلغ حوالي 50% من إجمالي الانبعاثات.*[39]

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 الأردن. وستُعزى أعلى معدلات زيادة الطلب على أجهزة تكييف الهواء للقطاع السكني بمعامل 4,5 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 3,5 ضعفًا لتنتقل من 1 إلى 3,6 تيراواط في الساعة بحلول عام 2050.
- وتستمر الانبعاثات غير المباشرة في الازدياد حتى عام 2050 لتنتقل من 0,68 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون إلى 0,77 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون.
- وتحقق الانبعاثات المباشرة زيادة كبيرة بمعامل 1,4 حتى عام 2050 لتنتقل من 0,62 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون إلى 0,84 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون.

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:

- يستورد الأردن 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 الأردن يعد سوقًا سريع النمو.

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

- *تؤدي جميع الاحتمالات المنمذجة إلى عكس الاتجاه التصاعدي.*
- *تعد الإجراءات المبكرة مفتاح تطبيق تقنيات تبريد عالية الكفاءة ومستدامة لتجنب التأثيرات التي لا رجعة فيها.*
- *بالمقارنة مع الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي، يظهر احتمال الأثر الشديد (الاحتمال 3) قدرة أكبر على تسجيل وفورات في الانبعاثات في عام 2050 بنسبة 73%.*
- *من أجل تحقيق وفورات ملحوظة، يجب الجمع بين اتخاذ التدابير الطموحة وإنفاذها بشكل فعال.*

تساهم احتمالات الأثر المعتدل والمرتفع والشديد - P1 وP2 وP3 – في تسجيل وفورات في الانبعاثات بنسبة 45% و69% و73% على التوالي بحلول عام 2050 والتي تؤدي إلى عكس الاتجاه التصاعدي للانبعاثات على عكس احتمال الاتجاه الحالي ما يسلط الضوء على أهمية اتخاذ المزيد من التدابير الطموحة.

ويوضح احتمال الأثر الشديد أنه يمكن تحقيق وفورات مرتفعة من خلال تنفيذ مجموعة من التدابير الطموحة للغاية. وعلى وجه التحديد، يمكن تحقيق وفورات مرتفعة في الانبعاثات المباشرة من خلال:

[39] إذا كانت الكهرباء ستنزع الكربون بشكل أسرع كما هو مفترض، فستزداد أهمية الانبعاثات المباشرة البالغة بالفعل.

- 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 مرتفعة 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 2006/842 ولكنهما ولا يزالا ساريين).

وتسجل معدلات التسرب في قطاع التبريد التجاري أرقام شديدة الارتفاع[40] والتي يمكن رصدها والتحكم فيها بشكل فعال بسبب انخفاض عدد الوحدات المعنية. كما تشمل التدابير المصاحبة المحتملة بناء قدرات الموظفين المؤهلين وإقامة التدريب ومنح الشهادات بالإضافة إلى زيادة معدلات الاسترجاع.

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

- تشير جميع الاحتمالات إلى ارتفاع الطلب على الكهرباء في عام 2050 عما كانت عليه في عام 2020.
- من المتوقع أن يكون هناك حاجة لزيادة سعة توليد الكهرباء في عام 2050. ووفقًا للاحتمال، ستبلغ تلك الزيادة حوالي 2-3 أضعاف مقارنة بمعدلات عام 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 23-46% في عام 2050 ما يفوق معدلات الاحتمال 0. وقد يؤدي هذا لتجنب الحاجة إلى سعة توليد عالية في احتمالات التخفيف على عكس الاحتمال 0.

الاستنتاج **4**: يتمثل مفتاح استخدام تقنيات عالية الكفاءة تعمل بمواد التبريد الطبيعية وتجنب تأثيرات الاعتماد على مصدر وحيد في اتخاذ الإجراءات الاستباقية وتسريع معدل الخفض السريع.

- يعد التحول السريع بقطاع التبريد وتكييف الهواء إلى استخدام تقنيات أكثر كفاءة والعمل بمواد التبريد الطبيعية أمرًا أساسيًا.
  - لمواجهة الانبعاثات المتزايدة بسرعة نظرًا لنمو 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، وR 134a) كزات التبريد وتوفير الدعم لتحقيق أهداف تعديل كيغالي.
- وتشمل المزايا الإضافية لاتخاذ الإجراءات الاستباقية زيادة الأمان من حيث أسعار مواد التبريد وتوافرها والفوائد البيئية.

[40] Environmental Investigation Agency 2017, 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

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.[41]

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.

واستنادًا إلى البيانات التي جمعتها المفوضية الأوروبية منذ عام 2014، فإن الخفض التدريجي لكمية مركبات الهيدروفلوروكربون المسموح بها في أسواق الاتحاد الأوروبي يؤثر بقوة على أسعار مواد التبريد الاصطناعية ذات القدرة المتوسطة إلى العالية على إحداث الاحترار العالمي. ومن المرجح باختصار أن ترتفع أسعار مواد التبريد عالميًا نتيجة للعمل المشترك بشأن مركبات الهيدروفلوروكربون بموجب بروتوكول مونتريال.[42] ففي الاتحاد الأوروبي، لوحظ ارتفاع أسعار مواد التبريد التقليدية (عالية القدرة على إحداث الاحترار العالمي) مثل مركبات الهيدروفلوروكربون التي تندرج في إطار الخفض التدريجي لمركبات الهيدروفلوروكربون (على سبيل المثال، R134a وR410A وR407C). وفي المقابل، أصبحت أسعار مواد التبريد منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي مثل مواد التبريد الطبيعية بدورها أكثر استقرارًا، ما يشير إلى أن كمية الحصص المسموح بتداولها في السوق نتيجة الخفض التدريجي تؤثر بشدة على أسعار مواد التبريد المعنية. وفي الآونة الأخيرة، انخفض إنتاج الموردين من خارج الاتحاد الأوروبي لمواد التبريد، ضمن أمور أخرى، على الصعيد العالمي نتيجة لتعديل كيغالي على بروتوكول مونتريال. وفيما يتعلق بمواد التبريد المصنعة في الولايات المتحدة على وجه الخصوص، يؤثر الضغط التنظيمي الدولي لتقليل حجم إنتاج مركبات الهيدروفلوروكربون بالفعل على الكمية المتاحة أثناء تنفيذ الخطوة الأولى من الخفض التدريجي لتلك المركبات. ما أدى بالفعل إلى زيادة أسعار مواد التبريد في السوق الأوروبية.[43]

وسيحقق الأردن الحياد المناخي وفقً للنحتمالين 2 و3 بحلول عام 2050 في حالة نزع الكربون بالكامل من الشبكات[44].

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

- يُتوقع ارتفاع تكاليف الكهرباء. وستتراوح قيمة هذا الارتفاع بين معامل 5.5 إلى 10 بين 2020 و2050 حسب الاحتمال.
- وسيتم تحقيق وفورات في تكاليف الكهرباء في عام 2050 بنسبة تتراوح بين 20% و45% في احتمالي التخفيف 1 و2 ممقارنةً بالاحتمال القائم على الاتجاه الحالي 0.
- تسمح وفورات التكاليف بالاستثمار في تقنيات تبريد فعالة

من المتوقع أن يزيد الاتجاه التصاعدي لتكاليف الكهرباء بشكل كبير من 2020 إلى 2050 في جميع الاحتمالات بمعامل يتراوح بين 5,5 إلى 10. وستعتمد النسبة على الاحتمال.

وعند مقارنة الاحتمالات في عام 2050، يتضح أنه يمكن تحقيق وفورات كبيرة في تكاليف الكهرباء في احتمالات التخفيف بحلول ذلك العام. فيمكن توفيرأكثر من 426 مليون يورو في الاحتمال 1 وتوفير 746 مليون يورو في الاحتمال 2 و943 مليون يورو في الاحتمال 3 بحلول 2050 ما يزيد عن الوفورات التي يمكن تحقيقها عند المقارنة بالاحتمال 0. وتتيح هذه الفورات مزيدًا من المرونة لتخصيص المدخرات من أجل الاضطلاع بجهود نزع الكربون الأخرى، وكذلك تسمح ايضًا بزيادة الاستثمار في أجهزة أكثر كفاءة تعمل بمواد التبريد الطبيعية.

وقد تزيد وفورات تكاليف الكهرباء حسب درجة الزيادة في أسعار الكهرباء على مدى العقود القادمة وفقًا للاتجاه الحالي لزيادة أسعارها.

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

- تبلغ النفقات الرأسمالية (الدفعات السنوية) لتنفيذ احتمالات التخفيف 1,7 مليار يورو، وستصل إلى 2 مليار يورو في عام 2050
- تزيد نسبة التكاليف الرأسمالية (الأقساط السنوية) لاحتمالات التخفيف بنسبة 15% إلى 30% بحلول عام 2050 أي أعلى من الاتجاه الحالي.

---

[41] لا يشمل نطاق هذه الدراسة التقدير الكمي للوفورات المناظرة

[42] Cooling Post

[43] لم تأخذ الدراسة في الاعتبار آثار تكلفة مواد التبريد. فمن المتوقع أن يؤدي أخذها في الاعتبار إلى زيادة احتمال توفير التكاليف كما هو مبين بالنسبة الاحتمالات القوية (P2 و P3)

[44] معامل ثاني أكسيد الكربون بشبكة الكهرباء 0 جم / كجم بحلول 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 و30% في الاحتمال 2 بحلول عام 2050 عن معدلاتها في الاحتمال 0.

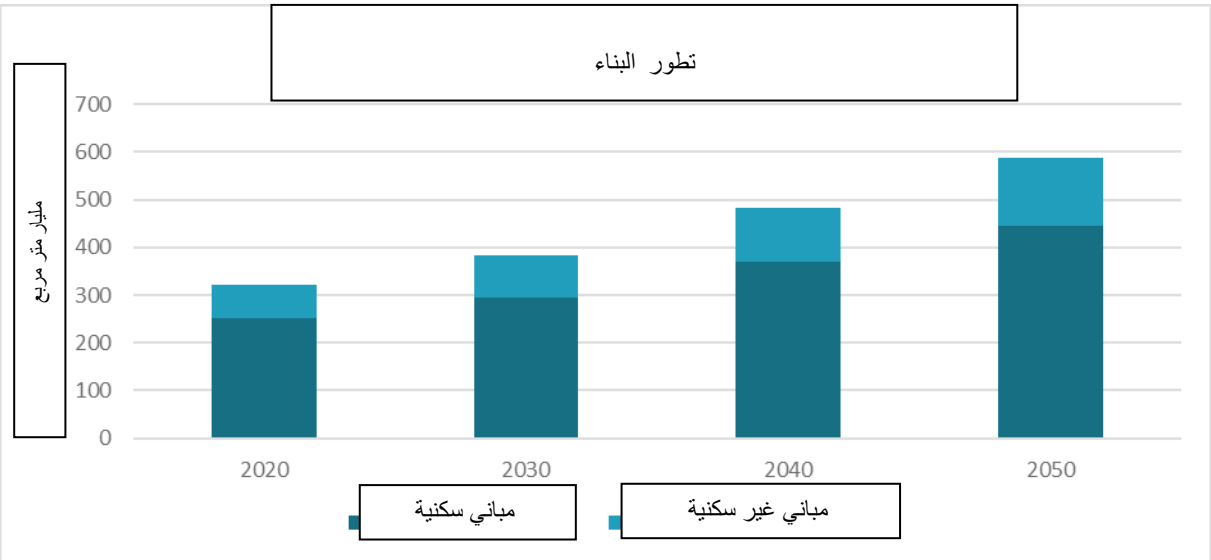
وتزيد وفورات تكاليف الكهرباء باحتمالات التخفيف عن الدفعات السنوية الإضافية المطلوبة لتنفيذ تلك الاحتمالات. وبالتالي، يقل إجمالي تكاليف احتمالات التخفيف عن إجمالي تكاليف احتمال الاتجاه الحالي ما يعني أن احتمالات التخفيف تؤدي إلى تحقيق وفورات صافية على عكس الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي.

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.

الملحق 1: معايير المدخلات

1-1- تطور المباني القائمة



الشكل 21 تطور إجمالي المباني في فترة 2020 - 2050

قُدِر إجمالي المباني القائمة في الأردن بحوالي 320 مليون متر مربع في عام 2020 منها 78% من المباني السكنية أي حوالي 252 مليون متر مربع بينما تذهب البقية 22% بحوالي 69 مليون متر مربع إلى المباني غير السكنية.

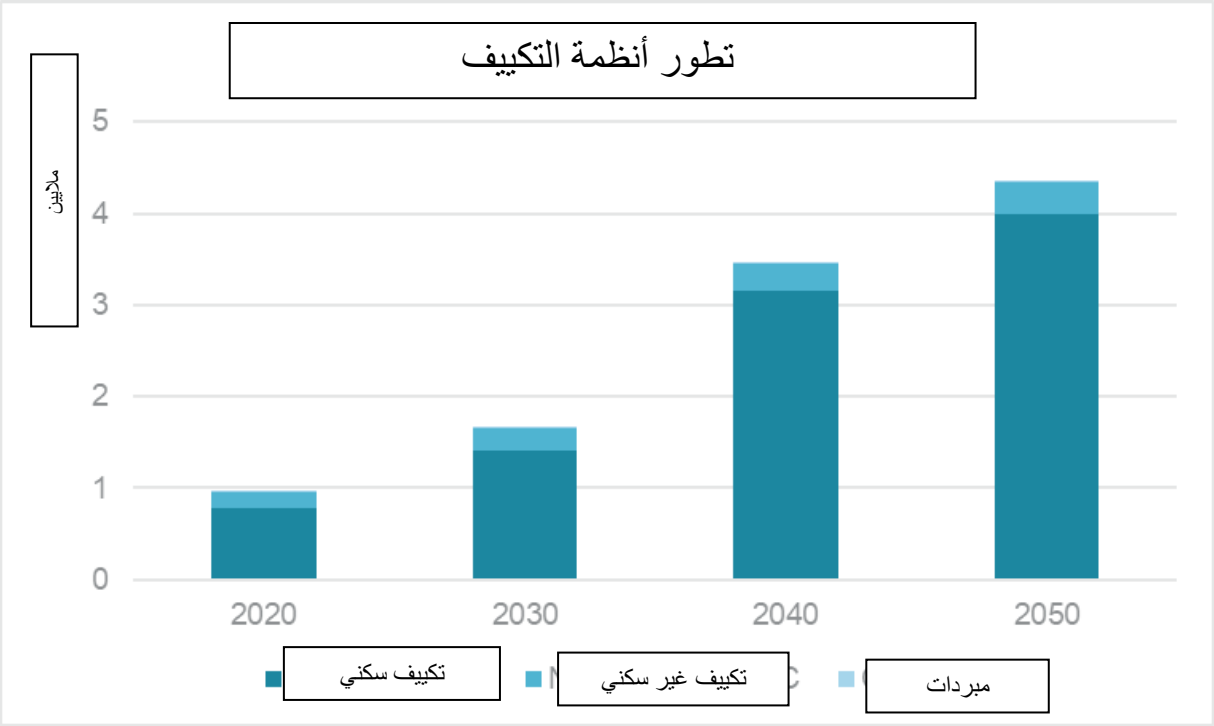
ومن المتوقع أن يحقق إجمالي المباني في الأردن نموًا ملحوظًا في عام 2050 مصحوبًا بزيادة حوالي 1,8 ضعف لتصل إلى 590 مليون متر مربع تقريبًا. كما يُتوقع ارتفاع حصة المباني غير السكنية بشكل أكبر لتصل إلى حوالي 143 مليون متر مربع والتي تشكل حصة إجمالية تبلغ حوالي 24% من إجمالي إجمالي المباني فيما تمثل الحصة المتبقية بنسبة 76% المباني السكنية التي تبلغ مساحتها حوالي 445 متر مربع كما هو موضح في **الشكل 21**.

2-1- إجمالي أجهزة تكييف الهواء والتبريد التجاري

من المفترض زيادة إجمالي أنظمة التكييف في الأردن من حوالي مليون وحدة في عام 2020 إلى ما يقرب من 4.5 مليون وحدة بحلول عام 2050. ويعتبر النمو الملحوظ في إجمالي عدد المباني هو المحرك الرئيسي وراء هذا التطور فضلًا عن زيادة الثروة الاقتصادية[45]. ويسجل إجمالي الأنظمة ارتفاعًا في الفترة 2020-2040 أعلى من الفترات التالية (انظر **الشكل 22**)، ويرجع ذلك إلى حقيقة أن السوق السكني يصل إلى الحد الأقصى من التشبع في عام 2039[46]. ومع ذلك، يستمر نمو السوق بعد هذه النقطة نظرًا لتركيبات الأنظمة في المباني الجديدة وتواصل زيادة حصة المساحات المكيفة في المساكن التي لا تزال تتطلب قدرات تكييف هواء إضافية.

[45] Bawaresh et al. 2022b, Cooling Sector Status Report Jordan: Analysis of the current market structure, trends, and insights on the refrigeration and air conditioning sector. Accessible online: https://www.coolupprogramme.org/knowledge-base/reports/cooling-sector-status-report-jordan/

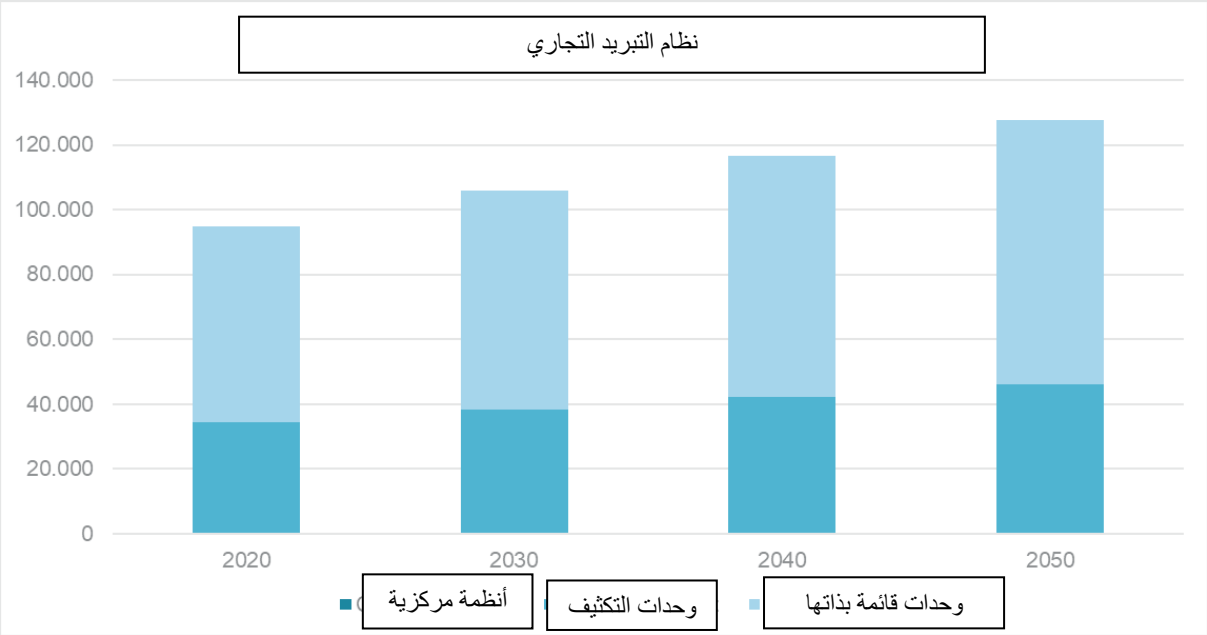
[46] وفقًا لنظرية إم سي نيل، ستقترب ملكية أجهزة تكييف الهواء من الحد الأقصى لتشبع السوق المعتمد على المناخ ولكن لن تتجاوزه أبدًا. ويعد التشبع دالة للتوافر (الدخل) والمناخ (أيام درجة التبريد) (لمزيد من الشرح انظر التعريف). بالنسبة للأسواق غير الناضجة ، تهيمن ديناميكيات القدرة على تحمل التكاليف (الدخل) على معدل اقتناء أجهزة التكييف. وتقترب مستويات الاقتناء من التشبع في الأسواق الناضجة، وتكون المبيعات مدفوعة إلى حد كبير باستبدال الأجهزة وزيادة السكان (إنشاءات المباني الجديدة) واقتناء أجهزة متعددة.



*أعداد المبرّدات غير ملحوظة مقارنةً بأجهزة التكييف والتبريد التجاري، ولكن يتضاعف إجمالي عدد الأنظمة بحلول عام 2050

الشكل 22 تطور إجمالي أجهزة التكييف في الأردن في الفترة 2020-2050

يوضح **الشكل 23** التطور المتوقع من حيث إجمالي أنظمة التبريد التجاري في الأردن مقسمًا حسب نوع النظام. ومن المفترض ارتفاع إجمالي الأنظمة من حوالي 95 ألف نظام في عام 2020 إلى ما يقرب من 128 ألف نظام في عام 2050. وتمثل الزيادة السكانية والمباني الجديدة الدافع الرئيسي وراء ذلك حيث يتم تركيب أنظمة التبريد التجاري مثل محلات السوبر ماركت.



*أعداد الأنظمة المركزية غير ملحوظة مقارنة بإجمالي الوحدات المستقلة ووحدات التكثيف ومع ذلك يرتفع إجمالي الأنظمة بمعامل 1.35 بحلول عام 2050

الشكل 23 تطور تطور إجمالي أنظمة التبريد التجاري في الأردن في الفترة 2020-2050

3-1- المعايير التقنية

يقدم الجدول التالي معلومات حول المعاييرالتقنية المختلفة لأنظمة التكييف والتبريد التجاري الواردة في الدراسة.

الجدول 2 المعلمات التقنية لأنظمة التكييف والتبريد التجاري الواردة بالدراسة

النظام	القدرة [كيلو واط][47]	وحدة استهلاك الطاقة [UEC][48]	مقدارالشحنة الأولى من مادة التبريد [كجم][49]	العمر الافتراضي [سنوات][50]
تكييف لامركزي سكني	3-7	-	0.9 - 2	10
تكييف مركزي سكني	15	-	6.0	10
تكييف لامركزي غير سكني	3-7	-	0.9 - 2	10
تكييف مركزي غير سكني	78	-	40	10
المبرّدات	175	-	35	15-20
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)	-	1800	0.4	15
أنظمة التكثيف	-	9000	5	20
الأنظمة المركزية	-	175200	200	25

*تمثل وحدة استهلاك هو مقدار الكهرباء المستهلكة بواسطة عميل مرفق الكهرباء عادةً تُقاس بالكيلوواط في الساعة

1-4- خلائط مواد التبريد

تقدم الجداول التالية معلومات عن خلائط مواد التبريد الحالية في إجمالي فئات التقنيات الواردة بالدراسة بالإضافة إلى تطور الحصص الجديدة على مدار العقود ولكل من الاحتمالات.

الجدول 3 خلائط مواد التبريد الحالية في التقنيات الحالية

خلائط مواد التبريد الحالية (في 2020)							
القطاع	**خلائط مواد التبريد**						
	R22	R410 A	R134a	R407c	R404a	مواد التبريد المفلورة متوسطة إلى منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي (GWP) [51]	مواد التبريد الطبيعية
الأنظمة القائمة المركبة[52]							
أجهزة التكييف عدا المبرّدات	30%	60%		10%			
المبرّدات			80%		20%		
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)			20%		80%		
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية			20%		80%		
الأنظمة الجديدة (المباعة في 2020)							
أجهزة التكييف عدا المبرّدات		85%				15%	

[47] مقابلات الخبراء 2021

[48] Cool Coalition Model

[49] يتم افتراض متوسط حجم شحن مادة التبريد بغض النظر عن نوعها. نظرًا لأن الأنظمة التي تعمل بمواد التبريد الطبيعية أو غيرها من مواد التبريد منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي عادةً ما يكون لها أحجام شحن أقل، يبلغ هامش الخطأ الإجمالي من خلال هذا الافتراض قدرًا ضئيلًا مقارنة بأوجه عدم اليقين الأخرى

[50] مقابلات الخبراء 2021

[51] مواد التبريد منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي وتكون أقل من 750 (على سبيل المثال R32، إلخ)

[52] مقابلات الخبراء 2021

خلائط مواد التبريد الحالية (في 2020)							
المبرّدات		20%	80%				
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)			75%		20%		5%
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية			80%		20%		

الجدول 4 خلائط مواد التبريد المستقبلية في الأنظمة الجديدة المباعة في 2030 في سياق احتمالات مختلفة

خلائط مواد التبريد المستقبلية في الأنظمة الجديدة المباعة في 2030			
القطاع	**خلائط مواد التبريد**		
	R22	مركبات الهيدروفلوروكربون (R410A، R134a، R407C، R404A، إلخ.)	مواد التبريد المفلورة متوسطة إلى منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي [53]	مواد التبريد الطبيعية
الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي				
أجهزة التكييف عدا المبرّدات		55%	40%	5%
المبرّدات		95%		5%
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)		80%		20%
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية		80%		20%
الاحتمال 1				
أجهزة التكييف عدا المبرّدات		55%	25%	20%
المبرّدات		75%		25%
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)		40%		60%
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية		60%		40%
الاحتمال 2				
أجهزة التكييف عدا المبرّدات		55%	10%	35%
المبرّدات		55%		45%
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)				100%
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية		40%		60%

[53] مواد التبريد منخفضة إلى متوسطة القدرة على إحداث الاحترار العالمي وتكون أقل من 750 (على سبيل المثال R32، إلخ)

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

خلائط المواد المستقبلية في الأنظمة الجديدة المباعة في 2040				
القطاع	خلائط مواد التبريد			
	R22	مركبات الهيدروفلوروكربون (R410A، R134a، R407C، R404A، إلخ.)	مواد التبريد المفلورة متوسطة إلى منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي [54]	مواد التبريد الطبيعية
الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي				
أجهزة التكييف عدا المبرّدات		45%	45%	10%
المبرّدات		85%		15%
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)		60%		40%
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية		70%		30%
Prospect 1				
أجهزة التكييف عدا المبرّدات		45%		55%
المبرّدات		47%		53%
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)		30%		70%
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية		50%		50%
الاحتمال 2				
أجهزة التكييف عدا المبرّدات				100%
المبرّدات		10%		90%
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)				100%
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية		30%		70%

الجدول 6 خلائط مواد التبريد المستقبلية في الأنظمة الجديدة المباعة في 2050 في سياق احتمالات مختلفة

خلائط مواد التبريد المستقبلية في الأنظمة الجديدة المباعة في 2050	
القطاع	خلائط مواد التبريد

[54] مواد التبريد منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي وتكون أقل من 750 (على سبيل المثال R32، إلخ)

خلائط مواد التبريد المستقبلية في الأنظمة الجديدة المباعة في 2050				
	R22	مركبات الهيدروفلوروكربون (R410A، R134a، R407C، R404A، إلخ.)	مواد التبريد متوسطة إلى منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي	مواد التبريد الطبيعية
الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي				
أجهزة التكييف عدا المبرّدات		45%	45%	10%
المبرّدات		80%		20%
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)		50%		50%
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية		60%		40%
الاحتمال 1				
أجهزة التكييف عدا المبرّدات		22%	23%	55%
المبرّدات		40%		60%
الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)		25%		75%
وحدات التكثيف والأنظمة المركزية		30%		70%
الاحتمال 2				
أجهزة التكييف عدا المبرّدات				100%
المبرّدات				100%
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 7 معدلات التسرب المتوقعة عبر فئات التقنيات والاحتمالات

النظام	سنة الأساس [55]	الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي			الاحتمال 1			الاحتمال 2		
	2020	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
أجهزة التكييف عدا المبرّدات	8%	8%	7%	6%	7%	6%	5%	6%	3%	2%
المبرّدات	8%	8%	7.5%	6.5%	7.5%	6.8%	5.5%	7%	5.5%	3%

[55] مقابلات الخبراء 2021

الأنظمة المركزية	40%	40%	38%	34%	38.4%	34%	27%	36.8%	29.4%	17%
وحدات التكثيف	25%	25%	24%	21.5%	24%	21.5%	17%	22.5%	18.3%	11%
الأنظمة المستقلة	5%	5%	5%	4.5%	5%	4.3%	3.3%	4.3%	3.4%	2.3%

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 8 معدلات الانبعاثات الناجمة عن مواد التبريد عند نهاية العمر الافتراضي حسب فئات التقنيات والاحتمالات

النظام	سنة الأساس[56]	الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي			الاحتمال 1			الاحتمال 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%
المبرّدات	95%	83%	71%	70%	57%	42%	40%	48%	23%	20%
الأنظمة المركزية	95%	83%	71%	70%	64%	42%	40%	55%	23%	20%
أنظمة 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%

7-1- كفاءة الأنظمة

أنظمة التكييف[57]

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 9 مستويات الكفاءة المتوقعة عبر القطاعات والاحتمالات

النظام		الوحدة	سنة الأساس[58]	الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي			الاحتمال 1			الاحتمال 2		
			2020	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
سكني	لامركزي	نسبة كفاءة الطاقة	**3** (2.5-4.5)	3	3.8	4.5	4	5.3	6.5	4	5.5	6
	مركزي	نسبة كفاءة الطاقة	**3.5** (3.0-5.0)	3.7	3.8	4	4	4.5	5	4	5	5.5
غير سكني	لامركزي	نسبة كفاءة الطاقة	3 (2.5-4.5)	3	3.8	4.5	4	5.3	6.5	4	5.5	6

[56] مقابلات الخبراء 2021

[57] تم افتراض نظام متوسط الكفاءة ، بغض النظر عن نوع مادة التبريد. وتتمتع الأنظمة التي تعمل بمواد التبريد الطبيعية أو غيرها من مواد التبريد منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي في الوقت الحاضر بكفاءات أعلى من الأنظمة التقليدية التي تعمل بمركبات الهيدروفلوروكربون

[58] مقابلات الخبراء 2021

	مركزي	نسبة كفاءة الطاقة	**3** (2.5-4.0)	3.7	3.8	4	4	4.5	5	4	5	5.5
المبرّدات	المبرّدات	نسبة كفاءة الطاقة	**3.5** (3.0-5.0)	3.5	3.8	4	4	5.1	6.1	4	5.2	5.7

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 10 مستويات تحسين الكفاءة السنوية المتوقعة لتقنيات التبريد التجاري لكل من الاحتمالات

النظام	الوحدة	الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي	الاحتمال 1	الاحتمال 2
الأنظمة المركزية	نسبة التحسن السنوي	0,25%	0,60%	1,20%
أنظمة التكثيف	نسبة التحسن السنوي	0,25%	0,50%	1,00%
الأنظمة المستقلة	نسبة التحسن السنوي	0,25%	0,50%	1,00%

1-8- أسعار التقنيات

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

تعتمد أسعار أنظمة التكييف على نتائج مشروع Build_ME ومقابلات الخبراء[59]. بينما تعتمد أسعار أنظمة التبريد التجارية على متوسط التكاليف حسب المنطقة للقدرات التي تم النظر فيها خلال الدراسة[60]. ويُتوقع تسجيل زيادة سعرية سنوية رمزية في أسعار التكنولوجيا بنسبة 3%.[61]

ويعتمد افتراض الزيادة المستقبلية في أسعار التقنيات على تقدير الخبراء وخبرتهم في مشروع Build_ME.[62]

الجدول 11 أسعار التقنيات والزيادة المفترضة في الأسعار

النظام	سعر الوحدة (دون تركيب)	زيادة السعر	
	الوضع القياسي	تحسن معتدل	تحسن مرتفع (أفضل الخيارات المتاحة)
الأنظمة اللامركزية (وحدات سبليت دون عاكس)	450-730 يورو	15%	30%
أنظمة التكييف المركزية السكنية (مثل الأجهزة متعددة الوحدات)	3,900 – 4,745 يورو		
أنظمة التكييف المركزية غير السكنية (مثل الوحدات المعبأة)	17,700 – 20,708 يورو		
المبرّدات	50,000-75,000 يورو		
الأنظمة المركزية	100,000 يورو		
وحدات التكثيف	7,500 يورو		
الأجهزة المستقلة	1,400 يورو		

الجدول 12 معدل الفائدة

	2022
معدل الفائدة	5.25%

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

[60] مقابلات الخبراء 2021

[61] تعتمد زيادة أسعار التقنيات على متوسط معدل التضخم في الأردن خلال العشرين عامًا الماضية كما أفصح عنها البنك الدولي. ولم يتم مراعاة التطورات المستقبلية لمعدل التضخم في سياق هذه الدراسة. ومن المفترض أن تستقر أسعار التقنيات الحقيقية.

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

المصدر	البنك المركزي الاردني[63]

1-9- أسعار الكهرباء

يقدم الجدول التالي معلومات عن أسعار الكهرباء الواردة بالدراسة.

الجدول 13 أسعار الكهرباء والتطور المتوقع

		2020
أسعار الكهرباء	سكني	0,13 يورو/ كيلوواط ساعة
	غير سكني	0,15 يورو/ كيلوواط ساعة
	المصدر	وفقًا لتعريفات الكهرباء الجديدة في الأردن اعتبارًا من عام 2022. وقد تم تحديدها بناءً على مستوى الاستهلاك المتوقع.

	2020- 2030[64]	2030-2040	2040-2050
زيادة الأسعار السنوية الحقيقية [65]	%0 :2024-2020 %5 :2030-2024	%5	%5
المصدر	آراء الخبراء من مقابلات الخبراء [66]		

1-10- معامل الانبعاثات

يقدم الجدول التالي معلومات عن بداية معامل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون لتوليد الكهرباء والمعامل الجديد المتوقع لعام 2050.

الجدول 14 معامل الانبعاث

	2020	2050
معامل الانبعاث	458,5 جرام من مكافئ ثاني أكسيد الكربون/ كيلوواط ساعة	183,9 جرام من مكافئ ثاني أكسيد الكربون/ كيلوواط ساعة
المصدر	RSS	نتيجة النمذجة

يقدم الجدول التالي معلومات عن معدلات الخفض السنوي المتوقع لمعامل انبعاثات لتوليد الكهرباء لكل عقد. تم تبني نفس معدلات الخفض لجميع الاحتمالات المنمذجة علة مدار الدراسة.

الجدول 15 تطور معامل الانبعاث المتوقع

	2020- 2030	2030-2040	2040-2050
خفض معامل الانبعاث السنوي	3%	3%	3%

[63] البنك المركزي الأردني 2022 ، أحدث سعر فائدة تم الإفصاح عنه بتاريخ 25.09.2022 يمكن الاطلاع عليه على https://www.cbj.gov.jo/Pages/viewpage.aspx?pageID=259

[64] يفترض زيادة السعر اعتبارًا من عام 2024 حيث أن التعريفة الحالية للكهرباء سارية دون أي تغيير محتمل حتى نهاية عام 2023 وفقًا لمقابلات الخبراء

[65] يعكس الزيادة الحقيقية في الأسعار والتي تتماشى مع الافتراضات الخاصة بالتضخم العام (3%) وزيادة أسعار الطاقة بنسبة 2%. أي زيادة أخرى في الأسعار ستؤدي إلى زيادة توفير تكاليف الكهرباء في احتمالات التخفيف.

[66] مقابلات الخبراء 2021

6- المراجع

Bawaresh, Sawsan; AbuMoais, Maha; Dinges, Katja; Youssef, Eslam Mohamed Mahdy (2022a): Regulatory Analysis Jordan. Analysis and recommendations for the regulatory and policy instruments governing the RAC sector. With assistance of Barbara Gschrey, Felix Heydel. Cool Up Programme. Available online at https://www.coolupprogramme.org/knowledge-base/reports/regulatory-analysis-jordan/, checked on 1/3/2023.

Bawaresh, Sawsan; Groezinger, Jan; Surmeli-Anac, Nesen (2022b): COOLING SECTOR STATUS REPORT JORDAN. Analysis of the current market structure, trends, and insights on the refrigeration and air conditioning sector. With assistance of Maha AbuMoais, Sven Schimschar, Eslam Mohamed Mahdy Youssef, Katja Dinges, Andrea Dertinger, Alexander Pohl et al. Cool Up Programme. Berlin, Germany. Available online at https://www.coolupprogramme.org/knowledge-base/reports/cooling-sector-status-report-jordan/.

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

British Patrol (2018): BP Energy Outlook 2018 Edition. London, UK. Available online at https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pdf.

Build_ME (2021): Towards a Low-Carbon Building Sector in the MENA Region. Available online at https://www.buildings-mena.com/.

Campbell, Iain; Kalanki, Ankit; Sachar, Sneha (2018): Solving the Global Cooling Challenge. How to Counter the Climate Threat from Room Air Conditioners. Edited by Rocky Mountain Institute. Available online at https://rmi.org/wp-content/uploads/2018/11/Global_Cooling_Challenge_Report_2018.pdf.

Central Bank of Jordan (2022): Central Bank Interest Rates. Central Bank Interest Rates 2021. Available online at https://www.cbj.gov.jo/Pages/viewpage.aspx?pageID=259, checked on 10/2/2022.

CFI Team (2022): Equivalent Annual Annuity (EAA). Corporate Finance Institute. Available online at https://corporatefinanceinstitute.com/resources/wealth-management/equivalent-annual-annuity-eaa/.

CIELO (2019): Ducted vs. Ductless Air Conditioning Systems. Available online at https://www.cielowigle.com/blog/ducted-vs-ductless-air-conditioning-systems/.

Cooling Post: Rise in higher GWP refrigerant prices in 2021. Available online at https://www.coolingpost.com/world-news/rise-in-higher-gwp-refrigerant-prices-in-2021/, checked on 2/28/2023.

Environmental Investigation Agency (2017): chilling Facts VII. Are Europe's supermarkets ready to quit HFCs? Available online at https://eia-international.org/wp-content/uploads/Chilling-Facts-VII-FINAL-1.pdf.

Expert Interviews (2021). Available online at Selected market actors from different sectors: Manufacturer, Assembler, Wholesale, Dealer, Architect, MEP (mechanical, electrical, plumbing) consultant, Project developer (anonymous).

Green Cooling Initiative (2021): Global greenhouse gases emissions from the RAC Sector. Green Cooling Initiative. Available online at https://www.green-cooling-initiative.org/country-data/#!total-emissions/all-sectors/absolute, checked on 9/1/2021.

ICF Incorporated (2020): Supermarket Emission Reduction Analysis. Available online at https://www.nrdc.org/sites/default/files/supermarket-emission-reduction-analysis.pdf.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007): 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. Available online at https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter2-1.pdf.

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

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

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

National Ozone Unit Lebanon (2021): Guidance for Integrating Efficient Cooling in National Policies in Lebanon. Edited by United Nations Development Programme - Lebanon. Available online at 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 (RCREEE) (2019): Field survey results for AC market in Egypt.

Scott, Gordon (2022): Cooling Degree Day (CDD). Investopedia. Available online at https://www.investopedia.com/terms/c/colddegreeday.asp.

The Building Services Research & Information Association (BSRIA) (2018): Split Systems 2018. Egypt. BSRIA. Bracknell (Report 61099/2).

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

United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat (2015b): FACT SHEET 4 Commercial Refrigeration. UNEP Ozone Secretariat. Bangkok.

United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat (2015c): FACT SHEET 7 Small Self Contained Air Conditioning. UNEP Ozone Secretariat. Bangkok.

United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat (2015d): FACT SHEET 8 Small Split Air Conditioning. UNEP Ozone Secretariat. Bangkok.

United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat (2015e): FACT SHEET 9 Large Air-Conditioning (air-to-air). UNEP Ozone Secretariat. Bangkok.

United Nations Environment Programme (UNEP) (2015): Presession Documents: Workshop on Hydrofluorocarbon Management.

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

United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) (2018): HFC Inventory of Jordan. Available online at https://www.ccacoalition.org/en/resources/jordan-hfc-inventory.

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