Cool Up
Upscaling Sustainable Cooling

# دراسة آفاق قطاع التبريد في لبنان

نيسان 2023

# دراسة احتمالات قطاع التبريد في لبنان

Cool Up
Upscaling Sustainable Cooling

www.cooluppprogramme.org
Twitter
Newsletter
Email
LinkedIn

Guidehouse Outwit Complexity
Frankfurt School of Finance & Management German Excellence. Global Relevance.
LCEC LEBANESE CENTER FOR ENERGY CONSERVATION efficient resources, sustainable achievements
الجمعيّة العلميّة الملكيّة Royal Scientific Society
UNDP
Öko-Recherche Environmental Consulting
ILK Dresden
IDG Co.
ISTANBUL AYDIN UNIVERSITY
RCREEE Regional Center for Renewable Energy and Energy Efficiency المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة

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

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

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

أعد المؤلفين التقرير الوارد هنا بغرض استخدامه في برنامج كوول اب وحسب. وتمثل الأعمال المنجزة المقدمة في هذه الوثيقة الرأي المهني للمؤلفين بناءً على المعلومات المتاحة في وقت إعداد هذا التقرير. ولا يتحمل شركاء اتحاد كوول اب مسؤولية استخدام أي طرف ثالث للتقرير أو الاعتماد عليه أو أي قرارات تستند إليه . ويرجى العلم أن قراء التقرير يتحملون التبعات المترتبة على اعتمادهم على التقرير أو البيانات والمعلومات والنتائج والآراء الواردة فيه. فالآراء الواردة هنا تعود إلى المؤلفين ولا تمثل بالضرورة آراء حكومات مصر والأردن ولبنان وتركيا وألمانيا.

## جهة النشر

Guidehouse Germany GmbH
Albrechtstr. 10C
10117 Berlin, Germany
+49 (0)30 297735790
www.guidehouse.com
© 2023 Guidehouse Germany GmbH

## المؤلفون

**المؤلفون الرئيسيون:**

Sorina Mortada (Lebanese Center for Energy Conservation)
Mazen Hussein (Ministry of Environment/UNDP)
Jan Grözinger, Nesen Surmeli-Anac (Guidehouse)

**المؤلفون المساهمون:**

Hussein El Samra (Lebanese Center for Energy Conservation)
Lara Haidar (Project Coordinator, Ministry of Environment/UNDP)
Markus Offermann, Mustafa Abunofal (Guidehouse)
Felix Heydel (Öko-Recherche)

**مراجعة :**

Mohammad Hijazi (Lebanese Center for Energy Conservation)
Kjell Bettgenhäuser (Guidehouse)
Barbara Gschrey (Öko-Recherche)
Sanjeev Tamhane (Frankfurt School)

## التاريخ

نيسان 2023

## للتواصل

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

# جدول المحتويات


**1.** المقدمة ..... **1**
1.1. برنامج كوول أب Cool Up ..... 1
1.2. هدف التقرير ونطاقه ..... 2
2. المنهجية المتبعة ..... **3**
2.1. التعريفات ..... 3
2.2. فئات المباني وأنواع المعدات في نطاق برنامج ..... 4
2.3. النهج المتبع في جمع البيانات ..... 5
2.4. منهجية الحساب ..... 6
**2.4.1.** نظرة عامة على منهجية الحساب والتقرير ..... **6**
**2.4.2.** محركات الطلب على التبريد ..... **8**
**2.4.3.** سوق التبريد وتكييف الهواء المستقبلي ومجمل المباني 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 ..... 11
3.3. الاحتمال 1: احتمال معتدل الأثر ..... 11
3.4. الاحتمال 2: احتمال عالي الأثر ..... 13
3.5. الاحتمال 3: الاحتمال شديد التأثير ..... 14
**4.** النتائج ..... **15**
4.1. الطلب على الكهرباء ..... 15
**4.1.1.** احتمال الاتجاه الحالي ..... **15**
**4.1.2.** احتمالات التخفيف ..... **16**
4.2. انبعاثات غازات الدفيئة المباشرة وغير المباشرة ..... 18
**4.2.1.** احتمال الاتجاه الحالي ..... **18**
**4.2.2.** احتمالات التخفيف ..... **20**
4.3. التقييم الاقتصادي وتوفير التكاليف ..... 24
**4.3.1.** احتمال الاتجاه الحالي ..... **24**
**4.3.2.** احتمالات التخفيف ..... **26**
**5.** النتائج الرئيسية ..... **30**
الاستنتاج 1: يمثل النمو المرتفع لسوق التبريد وتكييف الهواء تحديات وفرصًا في السوق اللبناني ..... 30
الاستنتاج 2: يمكن الحد من الانبعاثات بشكل كبير وعكس الاتجاه التصاعدي من خلال اتخاذ تدابير طموحة في الوقت المناسب ..... 30
الاستنتاج 3: يمكن تحقيق وفورات كبيرة في الكهرباء من خلال اتخاذ تدابير طموحة ..... 31
الاستنتاج 4: اتخاذ الإجراءات الاستباقية وتسريع معدل الخفض السريع هما مفتاح تطبيق تقنيات عالية الكفاءة تستخدم مواد التبريد الطبيعية وتجنب التأثيرات التي لا رجعة فيها ..... 31
الاستنتاج 5: يمكن تحقيق وفورات كبيرة في تكاليف الكهرباء من خلال اتخاذ تدابير طموحة ..... 32
الاستنتاج 6: تكلفة الوفورات: تقل الأقساط السنوية الإضافية المخصصة لتنفيذ اجراءات التخفيف عن الوفورات في تكاليف الكهرباء ..... 32
الملاحظات الختامية ..... 33
الملحق **1**: معايير المدخلات ..... **34**
أ-1 تطور إجمالي المباني ..... 34

أ-2: إجمالي أجهزة تكييف الهواء والتبريد التجاري..... 34
أ-3 المعايير التقنية..... 36
أ-4: خلائط مواد التبريد..... 36
أ-5 معدلات التسرب..... 40
أ-6 معدلات الانبعاثات الناجمة عن مواد التبريد عند نهاية العمر الافتراضي..... 40
أ-7 كفاءة الأنظمة..... 41
أ-8 أسعار التقنيات..... 41
أ-9 أسعار الكهرباء..... 42
أ-10 معامل الانبعاثات..... 43
**6.** المراجع ..... **44**

# الأشكال


**الشكل 1** منهجية الحساب والنماذج والمخرجات المقابلة ..... 7
**الشكل 2** احتمالات برنامج كوول أب 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 المساحات والتبريد التجاري في فترة 2020-2050 ..... 15
**الشكل 5** احتمالات التخفيف - استهلاك الكهرباء لتبريد الأماكن في فترة 2020-2050 ..... 17
**الشكل 6** احتمالات التخفيف - استهلاك الكهرباء لأغراض التبريد التجاري في فترة 2020-2050 ..... 18
**الشكل 7** نظرة عامة على إجمالي الانبعاثات المباشرة وغير المباشرة الناجمة عن قطاعي تكييف الهواء والتبريد التجاري والانبعاثات المباشرة وغير المباشرة المصنفة حسب المصدر سواء قطاع تكييف الهواء أو التبريد التجاري ..... 19
**الشكل 8** اتجاه الانبعاثات الحالية مصنف حسب فئات التقنيات في فترة 2020-2050 ..... 19
**الشكل 9** اتجاه الانبعاثات المباشرة الحالية مصنفة حسب فئات التقنيات في فترة 2020-2050 ..... 20
**الشكل 10** اتجاه الانبعاثات غير المباشرة الحالية مصنفة حسب فئات التقنيات في فترة 2020-2050 ..... 20
**الشكل 11** تطور إجمالي الانبعاثات لكل احتمال في فترة 2020-2050 ..... 22
**الشكل 12** تطور الانبعاثات المباشرة لكل احتمال في فترة 2020-2050 ..... 23
**الشكل 13** تطور معدل الانبعاثات غير المباشرة لكل احتمال في فترة 2020-2050 ..... 24
**الشكل 14** الاتجاه الحالي - تكاليف طاقة تبريد الأماكن والتبريد التجاري فترة 2020-2050 ..... 25
**الشكل 15** احتمال الاتجاه الحالي – الأقساط السنوية لتنمية الاستثمارات في فترة 2020 - 2050 ..... 25
**الشكل 16** احتمال الاتجاه الحالي – تطور إجمالي التكاليف السنوية في فترة 2020-2050 ..... 26
**الشكل 17** احتمالات التخفيف – تطور تكاليف الكهرباء في فترة 2020-2050 ..... 27
**الشكل 18** الوفورات السنوية في تكاليف الكهرباء في فترة 2030 - 2050 ..... 28
**الشكل 19** احتمالات التخفيف - الأقساط السنوية لتنمية الاستثمارات في فترة 2020-2050 ..... 28
**الشكل 20** احتمالات التخفيف – تطور إجمالي التكاليف السنوية في فترة 2020-2050 ..... 29
**الشكل 21** تطور إجمالي المباني في فترة 2020 - 2050 ..... 34
**الشكل 22** تطور إجمالي أجهزة التكييف في لبنان في فترة 2020-2050 ..... 35
**الشكل 23** تطور إجمالي أنظمة التبريد التجاري في لبنان في فترة 2020-2050 ..... 35


# الجداول


**الجدول 1** احتمالات الطلب على الكهرباء لتبريد الأماكن ..... 16
**الجدول 2** إجمالي الانبعاثات المتوقعة الناجمة عن تبريد الأماكن والتبريد التجاري ..... 21
**الجدول 3** إجمالي التكاليف المتوقعة لتبريد الأماكن والتبريد التجاري ..... 27
**الجدول 4** المعايير التقنية لأنظمة التكييف والتبريد التجاري الواردة بالدراسة ..... 36
**الجدول 5** خلائط مواد التبريد المستخدمة حاليًا في إجمالي فئات التقنيات ..... 36
**الجدول 6** خلائط مواد التبريد المستقبلية في الأنظمة الجديدة المباعة في 2030 في سياق الاحتمالات المختلفة ..... 37
**الجدول 7** خلائط مواد التبريد المستقبلية في الأنظمة الجديدة المباعة في 2040 في سياق الاحتمالات المختلفة ..... 38
**الجدول 8** خلائط مواد التبريد المستقبلية في الأنظمة الجديدة المباعة في 2050 في سياق الاحتمالات المختلفة ..... 39
**الجدول 9** معدلات التسرب المتوقعة حسب فئات التقنيات والاحتمالات ..... 40
**الجدول 10** معدلات الانبعاثات الناجمة عن مواد التبريد عند نهاية العمر الافتراضي حسب فئات التقنيات والاحتمالات ..... 40
**الجدول 11** مستويات الكفاءة المتوقعة حسب القطاعات والاحتمالات ..... 41
**الجدول 12** مستويات تحسين الكفاءة السنوية المتوقعة لتقنيات التبريد التجاري لكل من الاحتمالات ..... 41
**الجدول 13** أسعار التقنيات والزيادة المفترضة في الأسعار ..... 41

**الجدول 14** سعر الفائدة ..... 42
**الجدول 15** أسعار الكهرباء والتطور المتوقع ..... 42
**الجدول 16** معامل الانبعاث ..... 42
**الجدول 17** تطور معامل الانبعاث المتوقع ..... 43

# الاختصارات

| | |
|---|---|
| AC | تكييف الهواء |
| BP | بريتيش بتروليوم |
| BSRIA | جمعية بحوث ومعلومات خدمات البناء |
| Btu | وحدة حرارية بريطانية |
| CAPEX | النفقات الرأسمالية |
| CLASP | البرنامج التعاوني لمعايير الوسم والأجهزة |
| $CO_2$ | ثاني أكسيد الكربون |
| EE | كفاءة الطاقة |
| EER | نسبة كفاءة الطاقة |
| EOL | العمر الافتراضي |
| EU | الاتحاد الأوروبي |
| GCI | مبادرة التبريد الأخضر |
| GDP | إجمالي الناتج المحلي |
| GHG | غازات الدفيئة |
| GWP | احتمالية إحداث الاحترار العالمي |
| HCFC | المركبات الهيدروكلوروفلوروكربونية |
| HFC | المركبات الهيدروفلوروكربونية |
| IEA | وكالة الطاقة الدولية |
| IKI | مبادرة المناخ الدولية |
| IPCC | الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ |
| IRENA | الوكالة الدولية للطاقة المتجددة |
| JRAIA | جمعية صناعة التبريد وتكييف الهواء اليابانية |
| kW | كيلوواط |
| $m^2$ | متر مربع |
| MAC | مكيف هواء متنقل |
| MENA | الشرق الأوسط وشمال أفريقيا |
| MEP | الهندسة الميكانيكية والكهربائية والسباكة |
| MEPS | معايير أداء الطاقة الدنيا |
| $MtCO_2e$ | ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون |
| MW | ميغاواط |
| NCPL | خطة التبريد الوطنية اللبنانية |
| NDC | المساهمات المحددة وطنيًا |
| NEEAP | الخطة الوطنية لرفع كفاءة الطاقة |
| NOU | وحدة الأوزون الوطنية |

| | |
|---|---|
| NPV | صافي القيمة الحالية |
| ODS | المادة (المواد) المستنفدة لطبقة الأوزون |
| OPEX | النفقات التشغيلية |
| R134a | HFC-134a (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 (خماسي فلورو الإيثان)، وR134a (رباعي فلورو الإيثان) |
| R410A | خليط مكون من المركبات الهيدروفلوروكربونية: R32 (ثنائي فلورو الميثان) وR125 (خماسي فلورو الإيثان) |
| R600a | HC-600a، أيزوبيوتان (مركب هيدروكربوني) |
| R717 | NH3-717، الأمونيا (مادة تبريد طبيعي) |
| R718 | ماء (مادة تبريد طبيعي) |
| R744 | ثاني أكسيد الكربون |
| RAC | التبريد وتكييف الهواء |
| RCREEE | المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة |
| RTOC | لجنة الخيارات التقنية للتبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية |
| TWh | تيراواط في الساعة |
| UEC | وحدة استهلاك الطاقة |
| UNDP | برنامج الأمم المتحدة الإنمائي |
| UNEP | برنامج الأمم المتحدة للبيئة |
| UNIDO | منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية |
| VRF | نظام التبريد متغير التدفق |
| W | واط |

# 1. المقدمة

مع توقع زيادة الطلب على الطاقة بنسبة 50% بحلول عام 2040[1]، تواجه بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا مجموعة من التحديات المتعلقة بتغير المناخ، حيث تشمل تحديات الطاقة في المنطقة النمو السكاني السريع، والتوسع الحضري، والبنية التحتية الهشة للطاقة. وفي نفس الوقت يمثل التبريد في المنازل المجهزة بتكييف الهواء بالفعل مصدرًا رئيسيًا لاستهلاك الطاقة في المنطقة. كما أنه من المتوقع أن يزداد استخدام التبريد بشكل أكبر لأنه مع تحسن مستوى المعيشة، تستخدم المزيد من الأسر أنظمة تكييف الهواء، إلا أن هناك إمكانية كبيرة لتوفير الطاقة عند استبدال العديد من أنظمة التبريد وتكييف الهواء 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 مستوياتها عام 2017 بحلول عام 2050، مما يؤدي إلى حلقة ردود فعل مفرغة.

يتمتع لبنان بمناخ البحر الأبيض المتوسط مع صيف حار وجاف يتطلب التبريد. وتزيد أيام درجة التبريد في لبنان الضعف عن أيام درجة التدفئة حيث يمكن أن تتجاوز 1300 درجة في السنة[2]. وفي عام 2018، شكل استهلاك طاقة التبريد ما يقرب من 32٪ من إجمالي استهلاك الكهرباء في لبنان، وشكل القطاع السكني 50٪ من إجمالي استهلاك التبريد. وعلى الرغم من التحديات الاقتصادية الأخيرة، من المتوقع أن يشهد لبنان زيادة بنسبة 75٪ في الاستهلاك النهائي للطاقة في المباني بحلول عام 2030[3]. ويعتبر التبريد وإزالة الرطوبة من أكثر الاستخدامات النهائية استهلاكًا للطاقة في قطاع البناء اللبناني.

## 1.1. برنامج كوول أب Cool Up

يشجع برنامج كوول أب Cool Up التغيير التكنولوجي المتسارع والتنفيذ المبكر لتعديل كيغالي لبروتوكول مونتريال واتفاقية باريس في مصر والأردن ولبنان وتركيا. ويركز البرنامج على اتاحة مواد التبريد الطبيعية والحلول الموفرة للطاقة للتخفيف من آثار ارتفاع الطلب على التبريد. يعتمد نهج برنامج كوول أب 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 كوول أب بما يلي:

- تعزيز الحوار عبر القطاعات بين الجهات الفاعلة الوطنية لبناء الملكية لدعم التأثير على المدى الطويل.
- تطوير الإجراءات والسياسات لتوفير بيئة تنظيمية داعمة.
- تطوير آليات مالية وهياكل تمويلية لإتاحة تحول سوق التبريد
- دعم النشر التجاري ونشر التقنيات الحالية والناشئة باستخدام المبردات الطبيعية..
- توفير الموارد اللازمة لتنمية القدرات في مجال التبريد المستدام في البلدان الأربعة المستهدفة.

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

وينقسم البرنامج إلى ثلاث محاور:

- السياسات والأنظمة
- التكنولوجيا والأسواق
- التمويل ونماذج الأعمال

[1] British Patrol 2018

[2] Source: https://xp20.ashrae.org/standard169/169_2013_a_20201012.pdf, https://meteonorm.com/en/

[3] Source: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Outlook_Lebanon_2020.pdf

## 1.2. هدف التقرير ونطاقه

يعد تقرير توقعات قطاع التبريد أحد الوثائق في سلسلة من التقارير التي يصدرها برنامج كوول أب. وهو يستند على تقرير حالة قطاع التبريد[4] الصادر عن برنامج كوول أب فضلًا عن تقارير التحليل التنظيمي. وتهدف دراسة آفاق كوول أب إلى تبني توجه للفترة الحالية وتقديم ثلاث 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 وتوفير الطاقة الإجمالية في عام 2050 نتيجة لاحتمالات التخفيف بناءً على زيادة استخدام التطبيقات المستدامة والفعالة في استهلاك الطاقة مقارنةً باحتمالات الاتجاه الحالي
- التكاليف المرتبطة ووفورات التكلفة المحتملة

ويمكن تقسيم التقرير على النحو التالي:

- يقدم الفصل 1 نظرة عامة قطرية.
- يوضح الفصل 2 المنهجية المتبعة ومعلومات خط الأساس وطريقة الصياغة.
- يوضح الفصل 3 الاحتمالات المختلفة التي تم صياغتها وتحليلها خلال هذه الدراسة وفي برنامج كوول أب
- يقدم الفصل 4 نتائج التحليل وصياغة المخرجات
- يلخص الفصل 5 النتائج الأساسية والاستنتاجات الرئيسية

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

[4] Mortada et al. 2022a, Cooling Sector Status Report Lebanon: Analysis of the current market structure, trends, and insights on the refrigeration and air conditioning sector. Accessible online: httpös://www.cooluppprogramme.org/knowledgebase/reports/cooling-sector-status-report-lebanon/

# 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.[5]
- تخزين التبريد التجاري ويشمل غرف التخزين المبرّدة على نطاق تجاري، والتي عادة ما تكون مجهزة بوحدات تكثيف أو وحدات مركزية بسعة تصل إلى 200 كيلو وات. وتعمل كمخزن لمنتجات الأغذية والمشروبات وتختلف عن التخزين البارد على النطاق الصناعي المُستخدم في معالجة الأطعمة والمشروبات وتخزينها أو في عمليات تصنيع البتروكيماويات والكيماويات والأدوية. ويمكن أن تصل سعة هذه الأنظمة إلى 30 ميغاواط.[6]
- نطاق التبريد التجاري ويشمل الأنظمة الثابتة المستخدمة لتخزين الأطعمة والمشروبات وعرضها في منافذ البيع بالتجزئة (متاجر السوبر ماركت والمتاجر) ويستخدمها مقدمي الخدمات الغذائية (المطاعم والفنادق) ولا يشمل عمليات التبريد ذاتها. ويُعرّف برنامج الأمم المتحدة للبيئة أنظمة التبريد التجاري على أنها أنظمة تتضمن عادةً وحدات مستقلة أو مركزية أو وحدات تكثيف لا تتجاوز سعتها في الغالب 200 كيلو واط، والتي تحافظ على درجات الحرارة بين -25 درجة مئوية و8 درجات مئوية.[7]
- 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 21 درجة مئوية[8]. 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 – 21 درجة مئوية.[9]
- ترتبط انبعاثات غازات الدفيئة المباشرة بغاز التبريد المفقود عند تشغيل كل جهاز (تسرب مادة التبريد، وتشغيل الأجهزة بعد انتهاء عمرها الافتراضي وعند التخلص منها).
- نسبة كفاءة الطاقة (EER) يقيس كفاءة الطاقة لقدرة تبريد أجهزة التبريد. وترتبط نسبة كفاءة الطاقة الأعلى بأعلى كفاءة للطاقة.
- 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.
- ترتبط انبعاثات غازات الدفيئة غير المباشرة بتوليد الكهرباء المستخدمة للتبريد.
- مواد التبريد المتوسطة إلى منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي وتستخدم لوصف مواد التبريد التي تقل قدرتها على إحداث الاحترار العالمي عن 750 (على سبيل المثال مادة R32)
- اختراق السوق: يشير إلى معدل انتشار أجهزة التبريد، ويُعرف على أنه حصة الوحدات السكنية والمباني غير السكنية التي تستخدم نظام تكييف واحد على الأقل.
- تشبع السوق: يُعرّف ماكنيل (McNeil) تشبع السوق على أنه دالة للتوافر (الدخل) والمناخ (أيام درجة التبريد) حيث يمثل التوافر قدرة تحمل الأسر تكاليف تكييف الهواء وهو دالة دخل الأسرة، أما الحد الأقصى للمناخ فهو دالة أيام درجة التبريد.[10] ووفقًا لماكنيل، 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.[11]
- مواد التبريد الطبيعية عبارة عن مواد تبريد غير اصطناعية يمكن العثور عليها في الطبيعة. ولكن يجب أن تفي بمواصفات معينة (أي النقاء) قبل إتاحة استخدامها كمواد تبريد.
- يشمل قطاع المباني غير السكنية المكاتب العامة والخاصة ومرافق التعليم والصحة والمنشآت الاجتماعية والفنادق والمطاعم ومحال تجارة الجملة والتجزئة والمباني الأخرى (مثل المنشآت الرياضية). ولكن لا يشمل المستودعات والمنشئات الصناعية والزراعية والسمكية.
- قطاع التبريد وتكييف الهواء:
  - التبريد: يشمل التبريد المنزلي والتجاري والصناعي والنقلي[12]

[5] CFI Team 2022
[6] United Nations Environment Programme (UNEP) 2019
[7] Definition based on United Nations Environment Programme (UNEP) 2015
[8] Dr. Mortada 2018
[9] Scott 2022; Brightly
[10] McNeil and Letschert 2007
[11] Ibid.
[12] Industrial sector and transport refrigeration are out of the Cool Up Programme scope

- مكيف الهواء: تصنيع مكيفات الهواء السكنية والتجارية (بما في ذلك وحدات تبريد الهواء)
- 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 تُشتَكل طبيعيًا) وتشمل كل من المركبات الهيدروكلوروفلوروكربونية والمركبات الهيدروفلوروكربونية ضمن مواد أخرى.

## 2.2. فئات المباني وأنواع المعدات في نطاق برنامج

**قطاع تكييف الهواء**

يركز برنامج كوول أب على قطاع التكييف التجاري والسكني

- فئات المباني: يتم التركيز على المباني السكنية والتي تشمل المباني التي تسكن بها أسرة واحدة أو أكثر، والمباني 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[13]. ويمكن تقسيم أنظمة تكييف الهواء عمومًا إلى أنظمة مركزية وأنظمة لامركزية.
  - يقوم تكييف الهواء الأنبوبي بالتبريد (أو التدفئة) من خلال شبكة أنابيب. وتوضع عادة الوحدة المركزية المكونة من ضاغط (كومبرسور) ومكثف ووحدة مداولة الهواء 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.[14]
  - 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 المعبأة (مثل مكيفات السطح): توضع جميع مكونات الجهاز في صندوق واحد. وعادةً ما يتم تُركب تلك الوحدات في الأماكن المفتوحة (على الأسطح والشُرف) وتوفر التبريد عن طريق توصيل الهواء المكيف إلى مساحة داخلية واحدة أو أكثر.
  - وحدات تبريد الهواء: تعد وحدات التوليد المركزية الباردة جزءًا من نظام تكييف هواء مركزي ويمكن تصنيفها إلى ثلاث مجموعات:
    - مبرّد قائم على التبريد بالماء المضغوط
    - مبرّد قائم على التبريد بالهواء المضغوط
    - مبرّد يعمل بامتصاص الطاقة (الامتصاص أو الامتزاز)

توصل وحدات تبريد الهواء بنظم توزيع وتوصيل المياه/المحلول الملحي (مثل وحدات ملف المروحة أو مبادلات الحرارة أو الهواء في وحدات مناولة الهواء).

**قطاع التبريد التجاري**

يركز برنامج كوول اب 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): تغطي الأنواع الثلاثة الرئيسية للمعدات [15]: 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 تتمتع بكفاءة طاقة مقارنة بوحدات 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

[13] Primary sources for these definitions are:
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

[14] CIELO 2019

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

- 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.[16]

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

أُستقيت **البيانات الثانوية** من مجموعة متنوعة من المنشورات تغطي المصادر الإحصائية المحلية والدولية والوثائق الوطنية (مثل خطة التبريد الوطنية في لبنان[17] أو مخزون مركبات الهيدروفلوروكربون في الأردن من منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية (اليونيدو) [18])، وشركات أبحاث الأسواق (مثل جمعية بحوث ومعلومات خدمات البناء لمصر)[19]، واستعراض المؤلفات، وغيرها من المصادر الإقليمية مثل البرنامج التعاوني لوضع بطاقات التعريف والمعايير للأجهزة[20] أو المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة.[21]

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 كوول أب 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[22]، ووكالة الطاقة الدولية[23] ولجنة الخيارات التقنية للتبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية ومعهد روكي ماونتن[24] والبرنامج التعاوني لوضع بطاقات التعريف والمعايير للأجهزة[25] وكذلك باستخدام بيانات نموذج عالمي طورته مبادرة التبريد الأخضر[26] بالإضافة إلى المعلومات الناجمة عن مقابلات الخبراء.

يقدّر النموذج العالمي الذي طورته مبادرة التبريد الأخضر[27] البيانات حول الأجهزة المستخدمة في إجمالي عدد المباني الحالية والمبيعات، كما يقدم توقعات عن أنظمة تكييف الهواء (وكذلك وحدات تبريد االهواء) 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.

إن النقص الملحوظ في البيانات الشاملة عن الاتجاهات الحالية لسوق التبريد وتكييف الهواء في البلدان الشريكة، يلقي الضوء على الحاجة إلى إجراء مزيد من التقييمات وجمع البيانات بشكل منهجي.

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

---

[16] Mortada et al. 2022a, Cooling Sector Status Report Lebanon: Analysis of the current market structure, trends, and insights on the refrigeration and air conditioning sector. Accessible online: httpös://www.cooluppprogramme.org/knowledgebase/reports/cooling-sector-status-report-lebanon/

[17] National Ozone Unit Lebanon 2021

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

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

[20] Klinckenberg and Smith 2012

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

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

[23] International Energy Agency (IEA) 2018

[24] Campbell et al. 2018

[25] Waide et al. 2014

[26] Green Cooling Initiative 2021. The model estimates data on installed equipment in the stock (as well as sales figures) for AC cooling equipment and for the commercial refrigeration sector.

[27] Green Cooling Initiative 2021

## 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). راجع **الملحق أ-2**
- 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

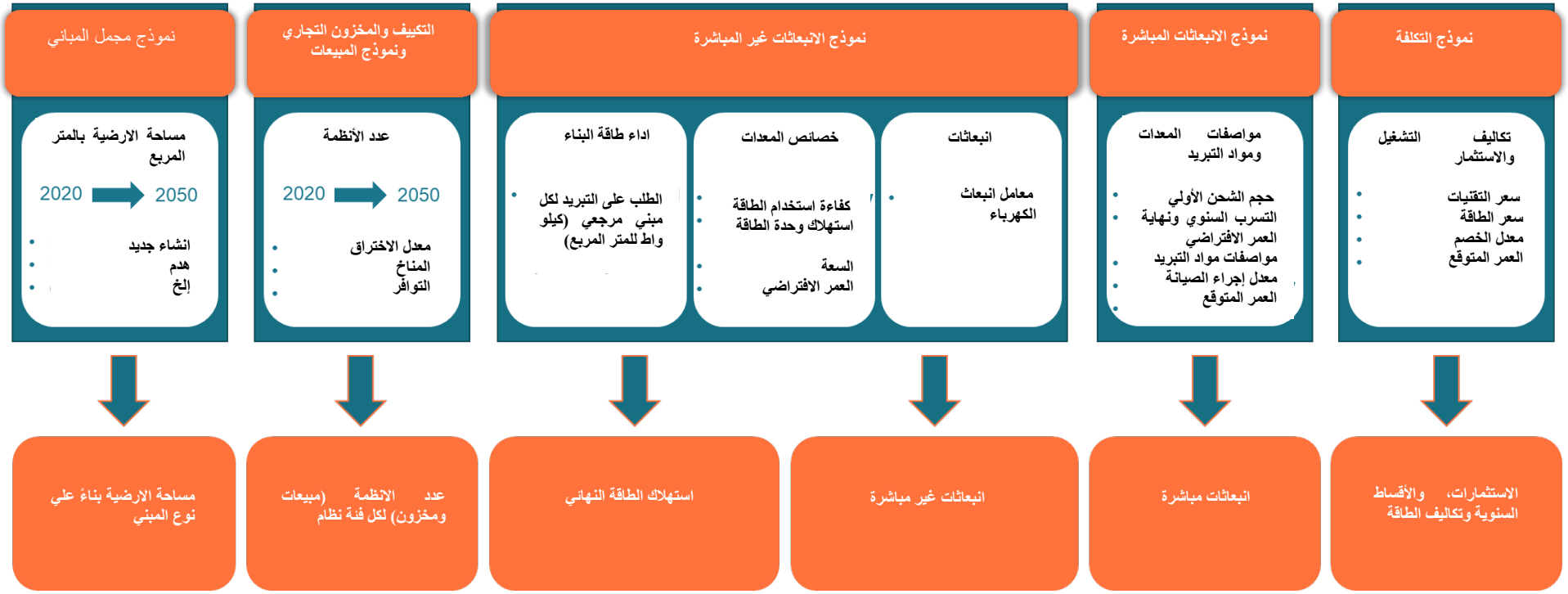
### 2.4.1. نظرة عامة على منهجية الحساب والتقرير

تم استخدام نماذج متعددة على مدار الدراسة للتوصل إلى المخرجات الرئيسية التالية:

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

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




**الشكل *1*** منهجية الحساب والنماذج والمخرجات المقابلة

### 2.4.2. محركات الطلب على التبريد

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

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

### 2.4.3. سوق التبريد وتكييف الهواء المستقبلي ومجمل المباني 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 ماكنيل[28] وتقرير The Future of Cooling [29](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 ماكنيل[30]. 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 تصنيف التقنيات تحت الفئات الرئيسية الثلاث التالية:

- **قطاع التكييف السكني:**
  - الأنظمة اللامركزية: مكيفات الغرف وأنظمة سبليت فردية دون أنابيب
  - الأنظمة المركزية: أنظمة ذات أنابيب أو دون أنابيب وأنظمة سبليت فردية بأنابيب ووحدات الأسطح ووحدات متعددة الوحدات المنفصلة
- **قطاع التكييف غير السكني:**
  - الأنظمة اللامركزية
  - الأنظمة المركزية
  - وحدات تبريد الهواء
- **قطاع التبريد التجاري**
  - الوحدات المستقلة: ثلاجات ومجمدات قائمة بذاتها (مستقلة)
  - 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 أ-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

[28] McNeil and Letschert 2007

[29] International Energy Agency (IEA) 2018

[30] 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 أ-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 أ-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 2-1**). ويتم تقدير الأقساط السنوية على أساس مجموع تركيبات الأجهزة السنوي وسعر التقنية ومعدل الفائدة والزيادة السنوية في أسعار التقنية. (انظر **الملحق أ-8** لمزيد من التفاصيل حول التكاليف الدقيقة للتقنيات 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.

وتمت صياغة أربع احتمالات، 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. ويمر لبنان حاليًا بمرحلة انتقالية حيث لا يوجد تشريع وطني معني بالغازات المفلورة مثل اعتماد تدابير خفض مركبات الهيدروفلوروكربون تدريجيًا (تشريعات مخطط لها ولكن لم يتم صياغتها بعد)، ولذلك لا يفي الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي بالأهداف المحددة بموجب تعديل كيغالي (راجع **الملحق 1** للاطلاع على معلومات مفصلة حول الافتراضات الأساسية). ويفترض أكثر احتمالات النموذج طموحًا ("احتمال الأثر المرتفع") ارتفاع معدل انتشار أنظمة 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 (الاحتمال 0) إلى الاحتمالات الأكثر طموحًا (الاحتمالات 1 و2 و3) بزيادة كفاءة نظام التبريد وزيادة استخدام مواد التبريد الطبيعية وتقليل معدلات تسرب مادة التبريد أثناء التشغيل أو 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 وزيادة معدلات الكفاءة (في قطاع التبريد والتكييف وأداء المباني) نتيجة لتطور القواعد والمعايير وأدوات السياسة العامة الأخرى مثل خطط التمويل التي تؤثر على المعايير التقنية.

بالمقارنة مع احتمال الأثر المعتدل، يتطلب احتمال الأثر المرتفع 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.

وتم سرد المعايير الملموسة في الملحق.

**الشكل 1** *احتمالات برنامج كوول أب 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 وعند 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 تفاصيل حول مصادر البيانات والافتراضات إلى جانب نظرة عامة على المعايير الرئيسية لسنة الأساس وكذلك الاحتمالات المختلفة.

## 3.2. الاحتمال 0: الاتجاه الحالي

يعتبر احتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0) السياسات المطبقة الحالية مثل البرامج والقوانين وأدوات السياسة الأخرى مثل القواعد والمعايير التي كانت سارية أثناء إجراء الدراسة (يونيو 2022) مبنية على التحليل التنظيمي.[31] وقد نجح لبنان في الوفاء بالتزاماته بموجب بروتوكول مونتريال وتعديلاته من خلال تنفيذ العديد من البرامج والقواعد والمعايير ذات الصلة وسن قوانين جديدة. وتم ذكر تلك المعايير بالإضافة إلى معايير أداء الطاقة الدنيا في استراتيجيات مختلفة مثل الخطة الوطنية الأولى لرفع كفاءة الطاقة (2011-2015)، كما تناولتهم الخطة الوطنية الثانية لرفع كفاءة الطاقة (2016-2020) بالتفصيل بالإضافة إلى تسليط الضوء عليهم في فصل "التدابير الأفقية" باعتبارهم المبادرة الأولى التي ينبغي تنفيذها في لبنان. ولم يتم تنفيذ معايير أداء الطاقة الدنيا بعد بسبب العديد من التحديات. ومع ذلك، تم اتخاذ مبادرات كجزء من خارطة طريق التنفيذ.[32] كما تم عقد ورشة عمل خاصة مع جميع أصحاب المصلحة الوطنيين في مارس 2017 لتحديد العوائق والعوامل التمكينية لمقترح تطبيق معايير أداء الطاقة الدنيا ووضع بطاقات التعريف على الأجهزة في لبنان.

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 لبنانية بشأن الغازات المفلورة (مثل حظر الاستخدام أو الفحص السنوي للأجهزة) مما يترك مجالًا للتحسين والحد من معدل التسرب واسترجاع الغازات المفلورة ومعالجة مواد التبريد المستخدمة بصورة مناسبة والتحول إلى استخدام بدائل الغازات المفلورة وتدريب الفنيين. وبالتالي لا يولى الانتباه لإعداد لوائح بشأن الغازات المفلورة في الاحتمال القائم على الاتجاه الحالي.

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

- **كفاءة طاقة الأنظمة:** يُفترض حدوث زيادة بطيئة وثابتة ولكن طفيفة في كفاءات الأنظمة من عام 2020 إلى 2050 حتى تصل معدلاتها 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 وحدات تبريد الهواء) ويليهما R404A وR22[33]. ومن المفترض أن خفض استهلاك مادة R410A تدرجيًا واستبدالها بمواد تبريد منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي (أي مادة R32) وهو ما يتضح من اتجاه السوق لنظم التبريد متغير التدفق ووحدات سبليت التي تتحول نحو العمل بمواد تبريد منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي. ويُفترض، في ظل اتجاهات الصناعة الحالية، أن تصل حصة مواد التبريد الوسيطة المفلورة ذات القدرة على إحداث الاحترار العالمي المستخدمة في أنظمة التكييف إلى حوالي 45% بحلول عام 2050 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[34]. ويُفترض زيادة حصة استهلاك مواد التبريد الطبيعية في الوحدات المركزية ووحدات التكثيف والأنظمة المستقلة من10% إلى 40٪ و50٪ بحلول عام 2050 على التوالي (تعتمد معظم الحصص على مادة R404A بشكل رئيسي).
- **معدل التسرب:** من المتوقع انخفاض معدل تسرب نظم تشغيل أجهزة التبريد وتكييف الهواء بشكل طفيف بمرور الوقت لكل تقنية حتى عام 2050 (راجع **الملحق أ-5**).
- **استرجاع مواد التبريد المفلورة عند نهاية العمر الافتراضي:** من المتوقع انخفاض معدل انبعاثات التبريد المفلورة عند نهاية العمر الافتراضي لأنظمة التكييف والتبريد بشكل طفيف لكل من التقنيات الواردة بالدراسة فستتراجع معدلاتها من 95٪ في عام 2020 إلى 70٪ في عام 2050 (راجع **الملحق أ-6**).
- **كفاءة طاقة المباني:** استُقيت معايير غلاف المباني وعلى وجه التحديد النفاذية الحرارية (القيمة U) لأسطح المباني (الجدران والأسقف والأرضيات والنوافذ) من القيم الأساسية لمشروع Build_ME[35] المعني بمعايير البناء الحالية والجديدة. ومن المتوقع تعزيز غلاف المباني بنسبة 10% (متطلبات أكثر صرامة لقيمة U) في كل عقد حتى عام 2050.

## 3.3. الاحتمال 1: احتمال معتدل الأثر

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

---

[31] Mortada et al. 2022b

[32] Lebanese Center for Energy Conservation (LCEC) 2016

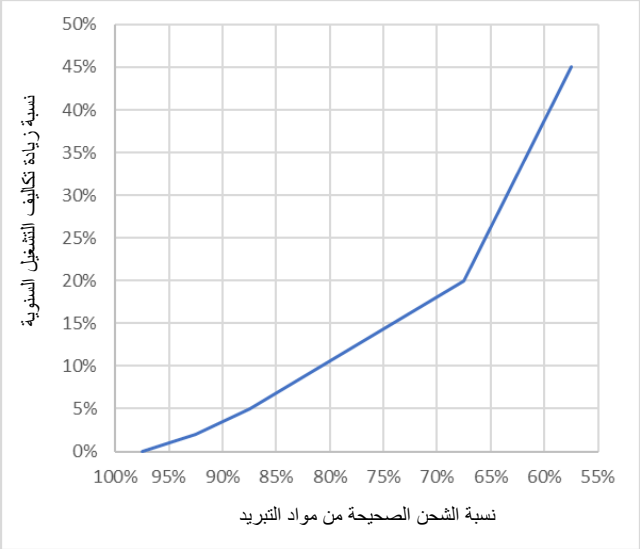
[33] Expert Interviews 2021

[34] Expert Interviews 2021

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

- **كفاءة طاقة الأنظمة**
  - **التدابير النموذجية التي تتناول تحسين كفاءة استخدام الطاقة وتتمثل في** تطبيق معايير أداء الطاقة الدنيا (وبطاقات التعريف) ومراجعتها وتحديثها باستمرار. لا تزال معايير أداء الطاقة الدنيا غير مطبقة في لبنان ولكنها قيد المراجعة والمناقشة. وبشكل عام، يجب أن تعكس تلك المعايير التقدم المحرز في كفاءة استخدام الطاقة بالأجهزة المطروحة في السوق لذا يتم تحديثها عادةً كل 2 إلى 5 سنوات لتوفير إرشادات واضحة للقائمين على الصناعة وكذلك إتاحة الوقت الكافي للتفاعل. كما يتم إعادة النظر في خصائص فئات بطاقات التعريف، أي خصائص المنتجات التي تقع ضمن فئة هذه البطاقة، 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. (راجع **الملحق أ-7**)
- **التحول في استخدام مواد التبريد**
  - **التدابير النموذجية التي تتناول التحول في استخدام مواد التبريد** وهي أحكام تحظر طرح مواد تبريد عالية 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 (ثاني أكسيد الكربون) 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. (راجع **الملحق أ-4**) 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 ذات القدرة (المنخفضة) على إحداث الاحترار العالمي) وأن تبقى عند أدنى مستوى. ومن المتوقع أن تزداد حصة مواد التبريد الطبيعية بشكل أسرع وأن تصل إلى مستوى انتشار أعلى بحلول عام 2050.
    - قطاع التبريد التجاري: سينخفض استخدام مواد R134a وR404A 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 الانبعاثات 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[36]. ملاحظة: لم تؤخذ الزيادة في تكاليف التشغيل في الاعتبار خلال هذه الدراسة، راجع **الملحق أ-8** للاطلاع على وصف تفصيلي للتكاليف.




الشكل **2** العلاقة بين تكاليف التشغيل السنوية ومعدلات تسرب مواد التبريد من أنظمة تكييف الهواء الصغيرة والأنظمة التجارية.[37]

- **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 (راجع **الملحق أ-5**).

- **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، من المتوقع أن يشهد القطاع تحسينات من حيث شح الأجهزة الجديدة في السوق نظرًا للتطورات التقنية؛ 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 ينخفض معدل انبعاثات مواد التبريد المفلورة عند نهاية العمر الافتراضي لنظم التبريد وتكييف الهواء بشكل معتدل لكل من التقنيات الواردة في الدراسة، فستهبط من 95٪ في 2020 إلى 40٪ في 2050 مقارنة بالاحتمال ( 0 ) (راجع الملحق أ-**6**).

- **كفاءة طاقة المباني:**

- ليس من المتوقع أن يشهد **الاحتمال 1** أي تحسينات مقارنةً بالاحتمال 0.

## 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:

---

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

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

- **كفاءة طاقة الأنظمة**
  - من المتوقع أن يشهد **الاحتمال 2** زيادة كفاءة التقنيات بشكل كبير مقارنةً بالاحتماليين 0 و1. وكذلك يُفترض أن تزيد 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. فيتبنى الاحتمال 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 من خلال عدم 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 (مادة تبريد) 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 وحدات تبريد الهواء. 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 الذي يبلغ قدرته على إحداث الاحترار العالمي 2088 في 100 عام [IPPC 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. وهذا من شأنه أن يحظر بشكل فعال استخدام R404A الذي تبلغ قدرته على إحداث الاحترار العالمي لمدة 100 عام 3922 [IPPC AR4]). كما يتم حظر استخدام مواد التبريد التي ترتفع قدرتها على إحداث الاحترار العالمي عن 1000 في أجهزة التبريد التجارية الجديدة المستقلة (محكمة الإغلاق) وحظر استخدام R134a الذي يبلغ قدرته على إحداث الاحترار العالمي 1430 في 100 عام [IPPC 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 أجهزة التبريد وتكييف الهواء مكيفات الهواء بدرجة كبيرة بمرور الوقت لكل تقنية حتى عام 2050 (راجع **الملحق أ-5**).
- **استعادة مواد التبريد المفلورة عند نهاية العمر الافتراضي**
  - يفترض الاحتمال 2 انخفاض انبعاثات مواد التبريد المفلورة عند نهاية العمر الافتراضي بشكل كبير لكل تقنية من التقنيات الواردة بالدراسة لتنخفض من 9٪ في عام 2020 إلى 20٪ في عام 2050 (راجع **الملحق أ-6**).[38]
- **كفاءة طاقة 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 أداء الطاقة في المباني بشكل كبير مما يؤدي إلى انخفاض كبير في احتياجات التبريد مقارنةً بالاحتمال 2. وستتطلب التحسينات الإضافية حزم سياسات عامة أكثر طموحًا فيما يتعلق بكفاءة استخدام الطاقة في المباني الجديدة وترميم المباني على مدار العقود من 2020 إلى 2050.

ويفترض الاحتمال 3 حدوث 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 تلك المدرجة في الاحتمال 2.

[38] Although their share is negligible in 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. ويجب الإشارة صراحةً إلى النمو المفرط المتوقع في المساحات المكيفة عند النظر في هذه النتائج.

من المتوقع أن يتضاعف إجمالي أنظمة التكييف في لبنان من 1.9 مليون وحدة في عام 2020 إلى ما يقرب من 3.8 مليون وحدة في عام 2050. كما من المتوقع أن يزيد إجمالي أنظمة التبريد التجارية من حوالي 1.4 مليون نظام في عام 2020 إلى حوالي 1.9 مليون نظام في عام 2050. لمزيد من التفاصيل، راجع الملحق أ-1 والملحق أ-2.

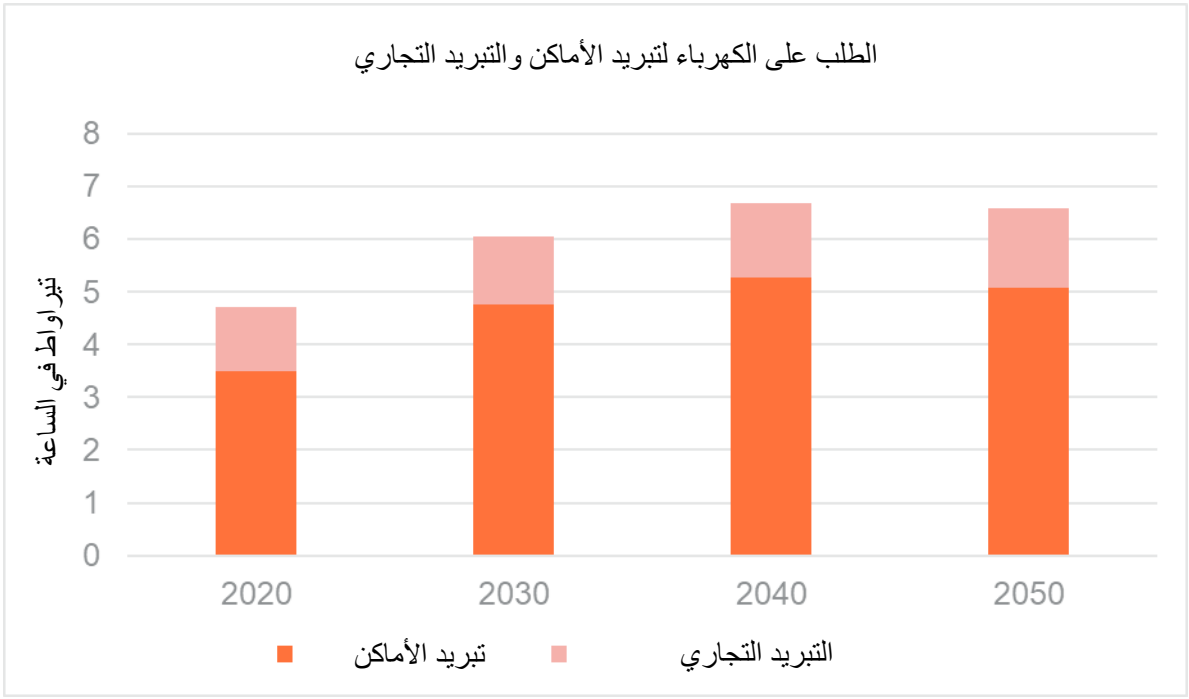
## 4.1. الطلب على الكهرباء

### 4.1.1. احتمال الاتجاه الحالي

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

في ظل توقعات الاتجاه الحالي، من المتوقع أن يزداد الطلب على الكهرباء لتبريد الأماكن (أنظمة تكييف الهواء) خلال العقود القادمة بعامل يبلغ حوالي 1.5، ليصل إلى 5.1 تيراواط في الساعة بحلول عام 2050 بعد أن كان 3.5 تيراواط في الساعة في عام 2020 (**الشكل 4**). يمكن أن يُعزى هذا النمو الكبير بشكل مباشر إلى الزيادة في الرقعة المكيفة بكل مبنى والطلب المتزايد المقابل على معدات التكييف (راجع **الشكل 22**). وسينتج النمو المتباطئ الذي لوحظ لعام 2030 عن تحسين الكفاءة المتوقعة في العقود القادمة والحد الأقصى من تشبع السوق الي من المتوقع أن يحدث قرابة عام 2032. وسيتضح هذا في الغالب بعد عام 2040 حيث سيستقر اتجاه النمو ويبدأ في الانخفاض بشكل طفيف بحلول عام 2050.

ويحقق الطلب على الكهرباء الناتج عن أنشطة التبريد التجارية في اتجاه الاحتمال 0 نموًا ثابتًا من 1.2 تيراواط في الساعة في عام 2020 إلى 1.5 تيراواط في الساعة في عام 2050 ما يُظهر زيادة بنسبة 21% (**الشكل 4**). ويرتبط هذا النمو بتطوير إجمالي أجهزة التبريد التجارية (راجع **الشكل 23**). وتتسبب تحسينات كفاءة النظام في تأخير النمو فقط ولكنها لا تعكس وتيرة الاتجاه.




**الشكل 3** احتمال الاتجاه الحالي - الطلب على الكهرباء لتبريد المساحات والتبريد التجاري في فترة 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 والاحتمال 2 والاحتمال 3) مقارنةً باحتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0). كما يوضح هذا الفصل معدل الطلب المتوقع على الكهرباء بحلول عام 2050 مقارنةً بعام البدء في عام 2020 لكل احتمال.

يوضح **الشكل 5** أن جميع الاحتمالات (0 و1 و2 و3) ستشهد ارتفاعًا في الطلب على الكهرباء بحلول عام 2030 مقارنة بالظروف الأساسية في عام 2020، سيشهد كلا الاحتمالين 0 و1 ارتفاعًا في الطلب على الكهرباء حتى عام 2050. ومن المتوقع أن ينمو الطلب على الكهرباء لتبريد الأماكن بشكل مطرد في جميع الاحتمالات بين عامي 2020 و2030 وفي العقد بين 2030 و2040، كما أنه من المتوقع أن يتباطأ النمو في الاحتمال 1 وأن يستقر تقريبًا في الاحتمالين 2 و3 ومن ثم ينخفض إلى ما دون نقطة البداية بحلول عام 2050. 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 50٪ في عام 2020 [39] إلى 65٪ 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.[40]

**الاحتمال 1:** من المتوقع أن يزداد الطلب على الكهرباء لتبريد الأماكن (أنظمة تكييف الهواء) خلال العقود القادمة من 3.5 تيراواط في الساعة إلى 4.2 تيراواط في الساعة بحلول عام 2040 و3.7 تيراواط في الساعة بحلول عام 2050. وهذا يعني أنه من المتوقع أن يزداد الطلب بمعامل 1.2 بحلول عام 2040 وسيكاد يستقر بحلول عام 2050 مقارنة بعام البدء 2020. وبحلول عام 2050، من المتوقع حدوث وفورات بنسبة 27 ٪ مقارنة بـ الاحتمال 0. ويعد الاختراق القوي المتوقع لأنظمة تكييف الهواء عالية الكفاءة في الأسواق بالاحتمال 1 كافياً لزيادة إبطاء نمو الطلب على الكهرباء في قطاع التبريد وتكييف الهواء مقارنةً بالاحتمال 0.

**الاحتمال 2:** من المتوقع أن يزداد الطلب على الكهرباء لتبريد الأماكن (أنظمة تكييف الهواء) خلال العقد القادم من 3.5 تيراواط في الساعة إلى 4.1 تيراواط في الساعة بحلول عام 2030 قبل أن يبدأ في الانخفاض بحلول عام 2040 من ثم يهبط إلى حوالي 3 تيراواط في الساعة بحلول عام 2050. ويعزى هذا الانخفاض إلى تحسين الكفاءة بمعدل يفوق زيادة الطلب. وفي عام 2050، من المتوقع تحقيق وفورات بنحو 41٪ و21٪ مقارنة بالاحتمالين 1 و0 على التوالي. ويعد الاختراق القوي المتوقع لأنظمة تكييف الهواء عالية الكفاءة في الأسواق بالاحتمال 2 كافياً لعكس اتجاه نمو الطلب على الكهرباء في قطاع التبريد وتكييف الهواء مقارنةً بالاحتمال 1.

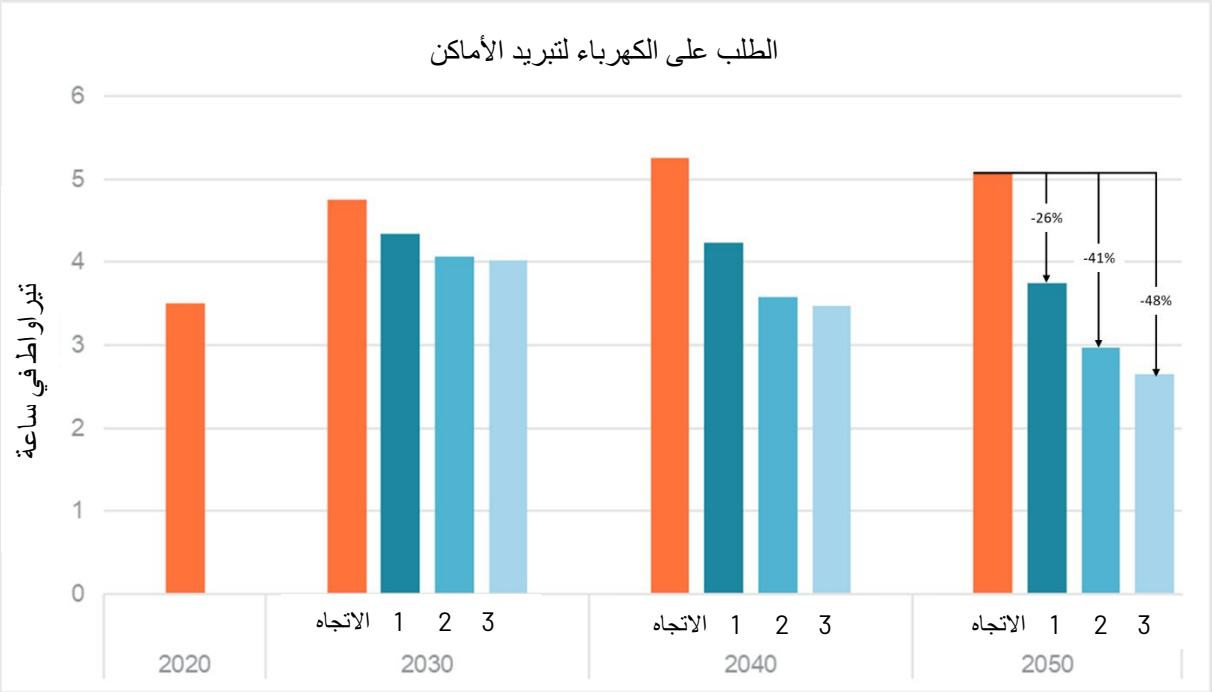
**الاحتمال 3:** من المتوقع أن يزداد الطلب على الكهرباء لتبريد الأماكن (أنظمة تكييف الهواء) خلال العقد القادم من 3.5 تيراواط في الساعة إلى 4 تيراواط في الساعة بحلول عام 2030 قبل أن يستقر في عام 2040 ومن ثم ينخفض إلى حوالي 2.6 تيراواط في الساعة بحلول عام 2050. وعلى غرار الاحتمال 2، ينتج هذا الانخفاض عن تحسين الكفاءة بمعدل يفوق زيادة الطلب. كما أنه من المتوقع تحقيق وفورات بنسبة 49٪ بالمقارنة بالاحتمال 0 وبنسبة 11٪ مقارنة بالاحتمال 2 في عام 2050. وتعد هذه الوفورات الإضافية في الاحتمال 3 مقارنة بالاحتمال 2 نتيجة لإجراء المزيد من التحسينات على غلاف المباني بين عامي 2020 و2050.

**الجدول 1** احتمالات الطلب على الكهرباء لتبريد الأماكن

| السنة | 2020 | الاحتمال 0 (2050) | الاحتمال 1 (2050) | الاحتمال 2 (2050) | الاحتمال 3 (2050) |
|---|---|---|---|---|---|
| الطلب على الكهرباء | 3.5 تيراواط في الساعة | 5.1 تيراواط في الساعة | 3.7 تيراواط في الساعة | 3 تيراواط في الساعة | 2.6 تيراواط في الساعة |
| الوفورات مقارنة بالاحتمال **0** | | | 27% | 41% | 49% |

[39] Mortada et al. 2022a. Cooling Sector Status Report Lebanon: Analysis of the current market structure, trends, and insights on the refrigeration and air conditioning sector. Accessible online: https://www.cooluppprogramme.org/knowledgebase/reports/cooling-sector-status-report-Lebanon/

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




**الشكل 4** احتمالات التخفيف - استهلاك الكهرباء لتبريد الأماكن في فترة 2020-2050

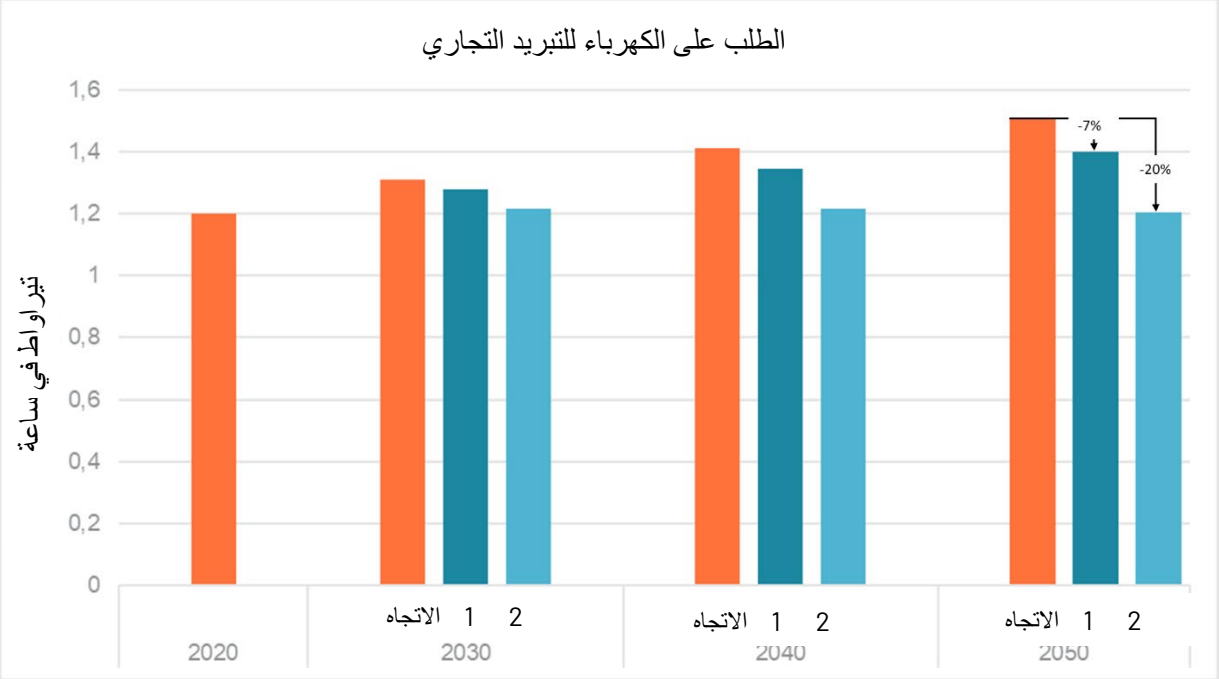
يوضح **الشكل 6** أنه من المتوقع نمو الطلب على الكهرباء لأغراض التبريد التجاري باطراد في الاحتمال 0 والاحتمال 1 حتى عام 2050. ويقارب الطلب على الكهرباء في الاحتمال 2 على الاستقرار بسبب الانتشار القوى للتقنيات عالية الكفاءة مقارنة بالاحتمال 0 والاحتمال 1.

**الاحتمال 1:** من المتوقع نمو الطلب على الكهرباء لأغراض التبريد التجاري باطراد وبطء خلال العقود القادمة من 1.2 تيراواط في الساعة إلى 1.4 تيراواط في الساعة، أي أنه من المتوقع أن يزداد الطلب بنحو 21% في عام 2050 مقارنة بعام 2020. ومن المفترض تحقيق وفورات بنسبة 7% في عام 2050 مقارنةً بالاحتمال 0.

**الاحتمال 2:** من المتوقع استقرار الطلب على الكهرباء لأغراض التبريد التجاري نسبيًا عند 1.2 تيراواط في الساعة في عام 2050. وبالمقارنة بالاحتمال 0، فستبلغ الوفورات المتوقعة 20% في عام 2050، أي بنسبة 14% 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 5** احتمالات التخفيف - استهلاك الكهرباء لأغراض التبريد التجاري في فترة 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 إلى4.5 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون، تمثل نسبة 71% منها تقريبًا (أي 3.2 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون) انبعاثات غير مباشرة و29% (أي 1.3 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون) تمثل الانبعاثات المباشرة. ويبلغ إجمالي الانبعاثات في قطاع التكييف 3.2 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون، وتمثل 73% منها انبعاثات غير مباشرة و27% انبعاثات مباشرة. بينما يبلغ إجمالي الانبعاثات 1.23 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في قطاع التبريد التجاري، منها 65% تمثل انبعاثات غير مباشرة و35% 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.

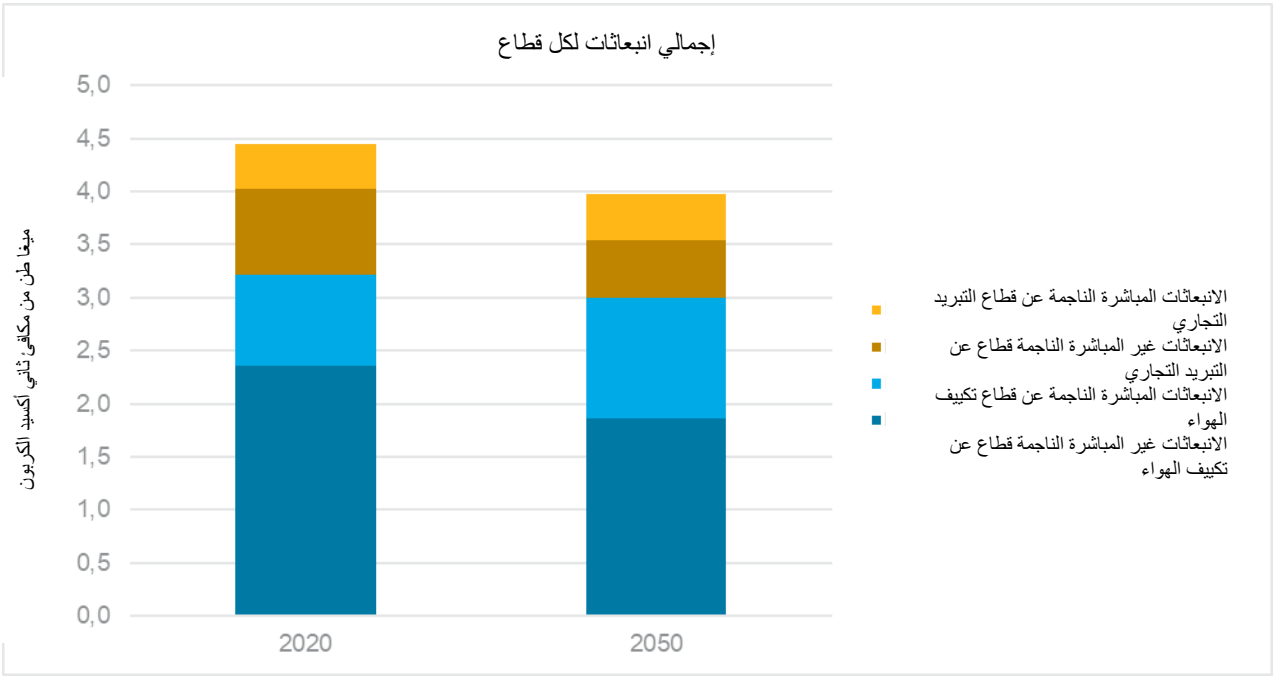
ومن المتوقع أن يزداد إجمالي الانبعاثات (الناجمة عن قطاعي التكييف والتبريد التجاري) في عام 2050 بمعامل يبلغ حوالي 0.9 وأن يصل إلى 3 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون و1 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون على التوالي نتيجة لنزع الكربون المقترح من شبكات الكهرباء، واختراق التقنيات الفعالة وتباطؤ نمو انتشار أجهزة التكييف بسبب تشبع السوق الذي سيحقق بحلول عام 2032. وستمثل الانبعاثات غير المباشرة 61% والانبعاثات المباشرة 39% من الانبعاثات المذكورة أعلاه، مما يشير إلى أنه من المتوقع زيادة حصة الانبعاثات المباشرة (من 29% إلى 39 % مقارنة بعام 2020.

وتزداد حصة انبعاثات قطاع التكييف مقارنةً بعام 2020 من حيث إجمالي انبعاثات القطاعات الواردة بالدراسة من 72% إلى أكثر من 75%. 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 27% إلى 38% في قطاع التكييف وسترتفع من 35% إلى 44% في قطاع التبريد التجاري.

وتُعزى زيادة حصة الانبعاثات المباشرة من إجمالي الانبعاثات إلى تفاعل عوامل مختلفة مثل 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.

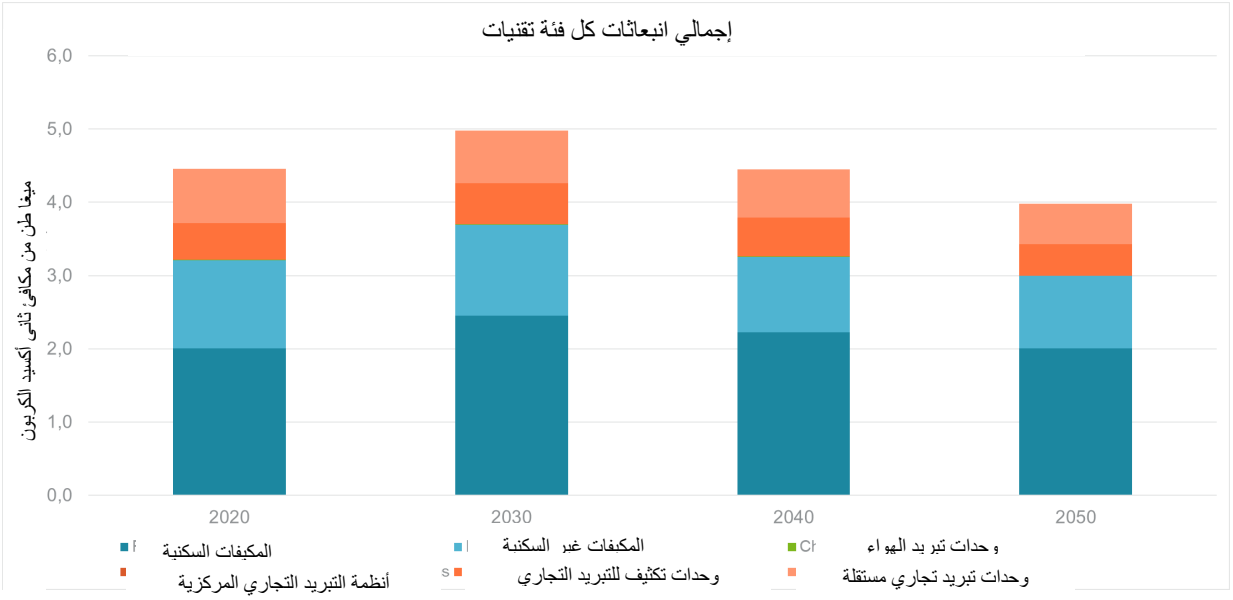
يقدم **الشكل 7** نظرة عامة على إجمالي الانبعاثات غير المباشرة والمباشرة المصنفة حسب قطاعي التكييف والتبريد التجاري.




**الشكل 6** نظرة عامة على إجمالي الانبعاثات المباشرة وغير 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 50% من انبعاثات القطاعات والفئات الواردة بالدراسة بحلول عام 2050. كما أنه من المتوقع أن يساهم قطاع التكييف غير السكني بحوالي 25% من انبعاثات فئات التقنيات.



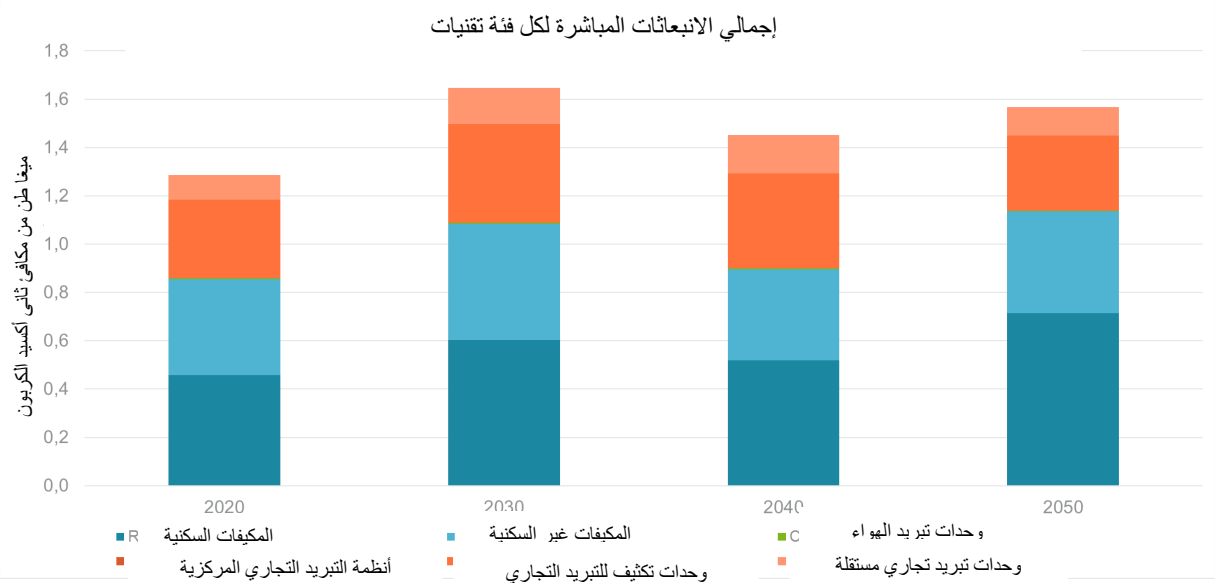

**الشكل 7** اتجاه الانبعاثات الحالية مصنفة حسب فئات التقنيات في فترة 2020-2050

### الانبعاثات المباشرة حسب فئات المباني وفئات التقنيات

بلغت الانبعاثات المباشرة الناتجة عن أجهزة تكييف الهواء (بما في ذلك وحدات تبريد الهواء) وقطاع التبريد التجاري حوالي 1.3 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2020. وتساهم أجهزة التكييف وحدات تبريد الهواء بأكثر من 67% من الانبعاثات المباشرة لفئات التقنيات.

ومن المتوقع أن تزداد الانبعاثات المباشرة لفئات التقنيات بحوالي 18% بحلول عام 2050 لتصل إلى حوالي 1.6 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون. وتمثل مكيفات الهواء و وحدات تبريد الهواء، التي تبلغ الانبعاثات الناتجة عنها 1.1 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون، أكثر من 73% من إجمالي الانبعاثات المباشرة ما يشير إلى زيادة مساهمة أنظمة تكييف الهواء في الانبعاثات المباشرة في لبنان بمرور الوقت.

وسجلت الانبعاثات المباشرة الناتجة عن أجهزة التكييف في القطاع السكني أعلى نمو في الأرقام المطلقة بحوالي 0.46 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2020 إلى 0.71 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2050. ويوضح **الشكل 9** النتائج بالتفصيل.

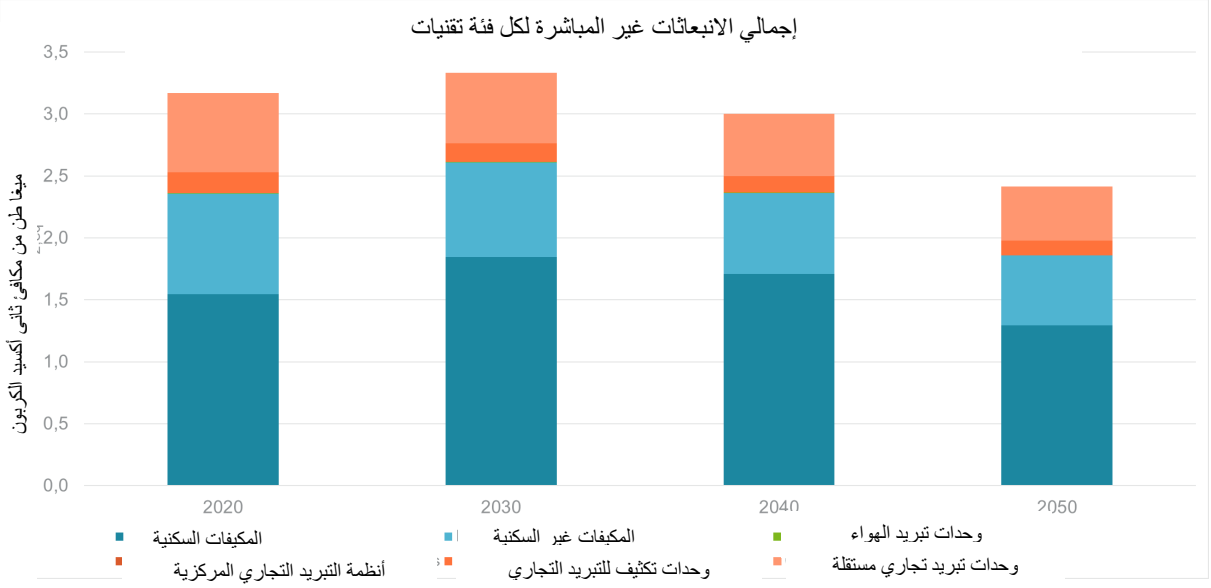



**الشكل 8** اتجاه الانبعاثات المباشرة الحالية مصنفة حسب فئات التقنيات في فترة 2020-2050

**الانبعاثات غير المباشرة حسب فئات المباني وفئات التقنيات**

انخفضت الانبعاثات غير المباشرة الناتجة عن قطاعي التكييف التبريد التجاري انخفاضًا طفيفًا بمقدار 3.2ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2020. وتُقدر انبعاثات قطاع التكييف وحدات تبريد الهواء بمقدار 2.4ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون أي حوالي 75% من الانبعاثات غير المباشرة لفئات التقنيات.

ومن المتوقع انخفاض الانبعاثات غير المباشرة لفئات التقنيات بحلول عام 2050 بمعامل 0.76 لتهبط إلى 2.4 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون. وتشكل أجهزة التكييف والتبريد التي تبلغ انبعاثاتها 1.9ميغا طن من ثاني أكسيد الكربون أكثر من 77% من هذه الانبعاثات غير المباشرة ما يشير إلى زيادة مساهمة أنظمة التكييف في الانبعاثات غير المباشرة في لبنان بمرور الوقت. ويوضح **الشكل 10** النتائج بالتفصيل. ويرجع الانخفاض بين عامي 2030 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 2032 تقريبًا.




**الشكل 9** اتجاه الانبعاثات غير المباشرة الحالية مصنفة حسب فئات التقنيات في فترة 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). كما يلخص 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 انخفاض إجمالي الانبعاثات في جميع احتمالات التخفيف النموذجية (الاحتمالات 1 و2 و3) بين عامي 2020 و2050. وبالمقارنة مع الاحتمال 0، تظهر جميع احتمالات التخفيف (الاحتمالات 1 و2 و3) وفورات كبيرة تتراوح بين 39% إلى 66% بحلول عام 2050.

**الاحتمال 1:** من المتوقع انخفاض إجمالي الانبعاثات من 4.45 إلى 2.44 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون، وبالتالي سينخفض إجمالي الانبعاثات بمعامل 0.55 بحلول عام 2050 مقارنةً بسنة البدء 2020. ويُفترض تحقيق وفورات بنسبة 39% في عام 2050 مقارنةً بالاحتمال 0.

**الاحتمال 2:** من المتوقع انخفاض إجمالي الانبعاثات بحلول عام 2050 من 4.45إلى 1.55ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون، مما يعني أنه من المتوقع أن ينخفض إجمالي الانبعاثات بمعامل 0.35 في عام 2050 مقارنة بسنة البدء في عام 2020. ومقارنةً بالاحتمال 0، يُفترض تحقيق وفورات بنسبة 61% في عام 2050 مقارنة بوفورات بنسبة 22% في الاحتمال 1.

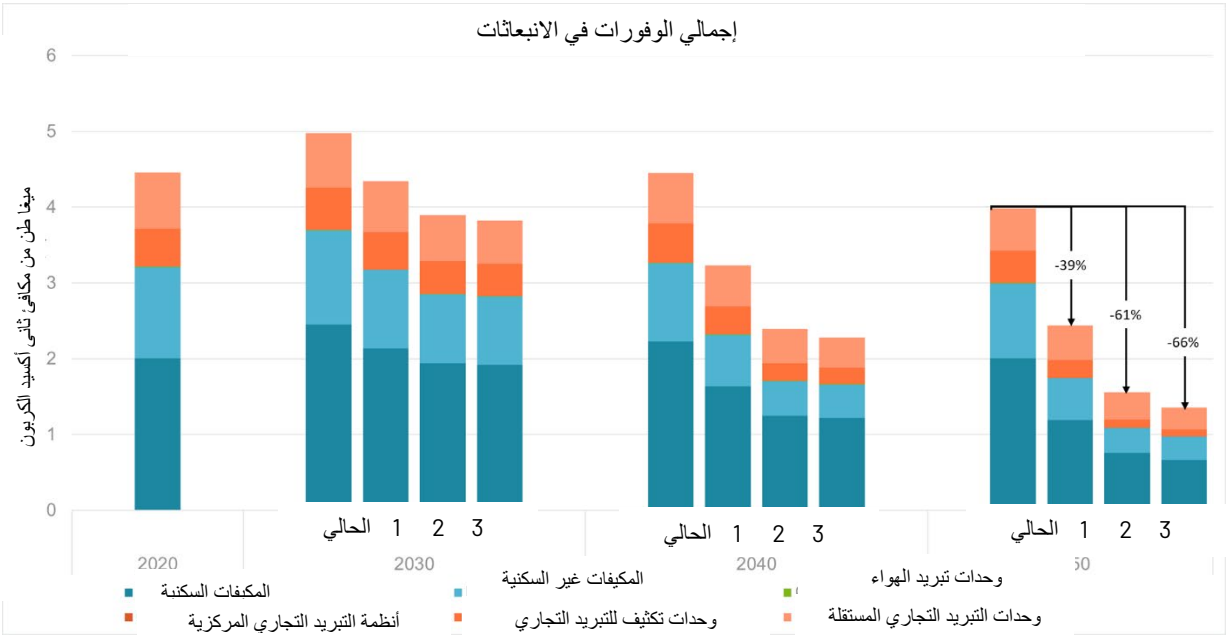
**الاحتمال 3:** من المتوقع انخفاض إجمالي الانبعاثات في عام 2050 من 4.45 إلى 1.35 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون، أي انخفاضًا بنسبة 70% تقريبًا مقارنة بعام 2020. وبالمقارنة بالاحتمال 0، فمن المتوقع تحقيق وفورات بنسبة 66% في عام 2050، مقارنة بالاحتمال 2 الذي سجل نسبة 5%. وتُعزى هذه الوفورات الإضافية في الاحتمال 3 مقارنة بالاحتمال 2 إلى إجراء بعض التحسينات على غلاف المباني في الفترة بين 2020 و2050.

**الجدول 2** إجمالي الانبعاثات المتوقعة الناجمة عن تبريد الأماكن والتبريد التجاري

| السنة | 2020 | الاحتمال 0 (2050) | الاحتمال 1 (2050) | الاحتمال 2 (2050) | الاحتمال 3 (2050) |
|---|---|---|---|---|---|
| سإجمالي الانبعاثات | 4.45 ميغا طن من مكافئ ثاني اكسيد الكربون | 4 ميغا طن من مكافئ ثاني اكسيد الكربون | 2.44 ميغا طن من مكافئ ثاني اكسيد الكربون | 1.55 ميغا طن من مكافئ ثاني اكسيد الكربون | 1.35 ميغا طن من مكافئ ثاني اكسيد الكربون |
| الوفورات مقارنة بالاحتمال **0** | | | 39% | 61% | 66% |

وتتمثل الأسباب الرئيسية لخفض الانبعاثات حتى عام 2050 باحتمالات التخفيف النموذجية في استخدام مواد التبريد الطبيعية وتجنب إحداث تأثيرات لا يمكن عكسها بالإضافة إلى التنفيذ المبكر لتقنيات عالية الكفاءة.

على الرغم من التأثير الموصوف بالفعل للنمو الهائل في إجمالي المباني مصحوبًا بزيادة كبيرة في متوسط عدد المساحات المكيفة، وخاصة في المباني السكنية، من المتوقع شدة انخفاض معدل الانبعاثات في احتمالات التخفيف النموذجية مقارنة بسنة البدء في عام 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 وأعمال التجديد الطموحة المجراة على المباني القائمة على مدى العقود من 2020 إلى 2050 إمكانات كبيرة.




**الشكل 10** 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).

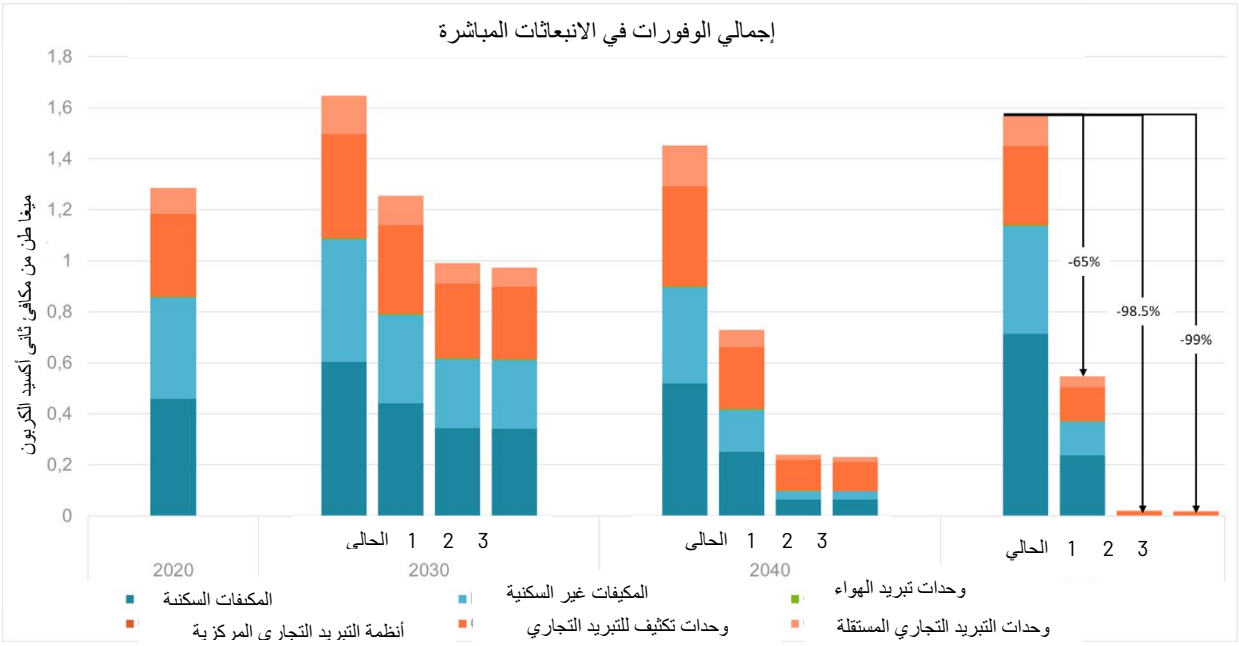
يوضح **الشكل 12** أنه من المتوقع انخفاض الانبعاثات المباشرة بنسبة تزيد عن 65% في الاحتمال 1 بحلول عام 2050 مقارنةً بعام البدء 2020. ويشهد عام 2050 في الاحتمال 2 تحقيق معدل وفورات كبير في مقارنةً بعام 2020. وبالمقارنة بالاحتمال 0، تحقق جميع احتمالات التخفيف (الاحتمالات 1 و2 و3) وفورات كبيرة تتراوح من 65% 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 1.3 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2020 إلى 0.55 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 1.3 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2020 إلى 0.022 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 98.6% 33.6% مقارنة بالاحتمالين 0 و1 على التوالي في عام 2050.

**الاحتمال 3:** من المتوقع انخفاض الانبعاثات المباشرة من 1.3 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في عام 2020 إلى 0.02 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% و34% و0.3% 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 **الشكل 12**). 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 11** 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 2030 مقارنة بسنة البدء في عام 2020 في الاحتمال 0 ولكنه سيظل الأقل بين جميع احتمالات التخفيف حتى عام 2050. 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 لعكس 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 **الملحق أ-10**)، من المتوقع انخفاض حصة الانبعاثات غير المباشرة أيضًا من إجمالي انبعاثات القطاعات الواردة بالدراسة في المستقبل. ومقارنةً باحتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0)، تُظهر احتمالات التخفيف إمكانية الحد من الانبعاثات غير المباشرة في عام 2050 مقارنةً بعام 2020، والتي تتراوح من 22% إلى 47% (انظر **الشكل 13**).

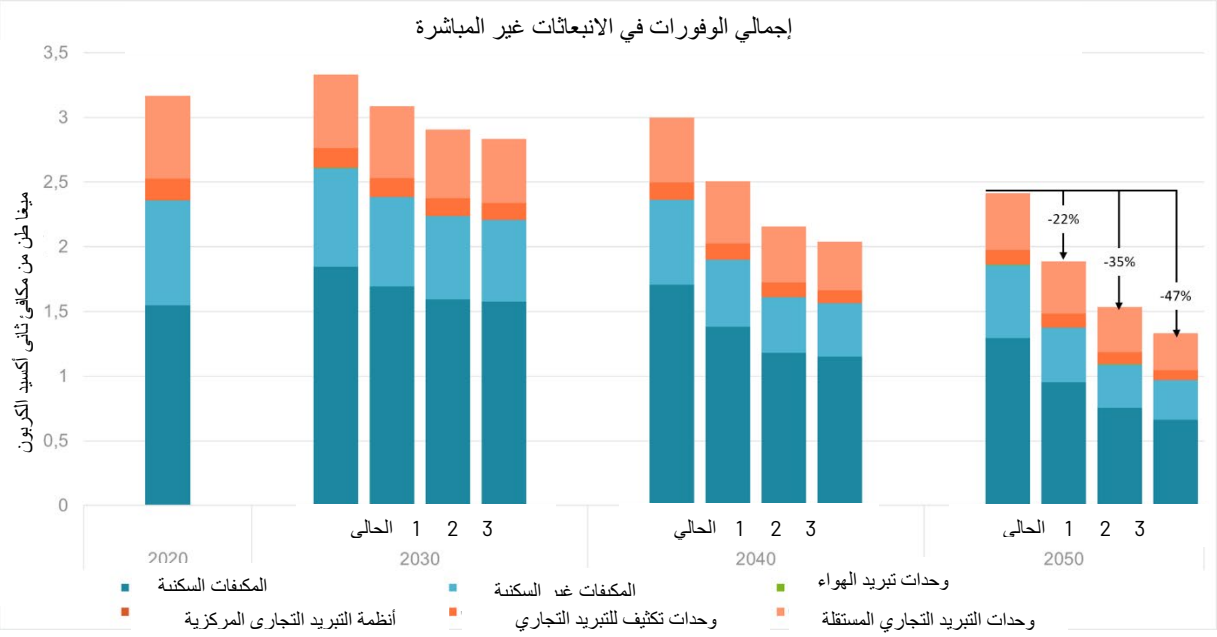
ويُعزى انخفاض الانبعاثات بشكل عام في جميع الاحتمالات إلى تباطؤ نمو السوق وارتفاع كفاءة التقنيات.

**الاحتمال 1:** تنخفض الانبعاثات غير المباشرة من حوالي 3.2 **ميغا** طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون إلى 1.9 **ميغا** طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون، إذ تسجل زيادة بنحو 40% بين 2020 و2050. وبالمقارنة مع الاحتمال 0، فمن المتوقع تحقيق وفورات بنسبة 22% في عام 2050.

**الاحتمال 2:** تنخفض الانبعاثات غير المباشرة من حوالي 3.2 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون إلى 1.53 **ميغا** طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون بين 2020 و2050 ما يعني انخفاضًا بنسبة 52%. وبالمقارنة بالاحتمال 0، من المتوقع تحقيق وفورات بنسبة 37% في عام 2050 مقارنة بالاحتمال 1 الذي بلغ 15%. ويبدأ نمو السوق في التباطؤ من عام 2032. وسترتفع وفورات الانبعاثات غير المباشرة عن الانبعاثات الإضافية الناتجة عن نمو السوق من خلال اتخاذ تدابير الكفاءة ونزع الكربون من الشبكات ما يؤدي إلى شدة انخفاض الانبعاثات غير المباشرة.

**الاحتمال 3:** تنخفض الانبعاثات غير المباشرة من حوالي 3.2 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون إلى 1.33 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون بين 2020 و2050. مما يعني أنها ستهبط بنسبة تتعدى 58%. وستبدأ الانبعاثات غير المباشرة في الانخفاض بسرعة أكبر مما كانت عليه في الاحتمال 2 بين 2030 و2050.

ومن المتوقع تحقيق وفورات بنحو 47% و8% 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 12** تطور معدل الانبعاثات غير المباشرة لكل احتمال في فترة 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 (راجع المرفق أ-8).

كما يوضح هذا الفصل تكاليف الكهرباء والنفقات الرأسمالية (الأقساط السنوية) في احتمال 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 باحتمال الاتجاه الحالي. وتم تحديد جميع التكاليف والأقساط السنوية المذكورة أدناه كقيم رمزية.[41]

### 4.3.1. احتمال الاتجاه الحالي

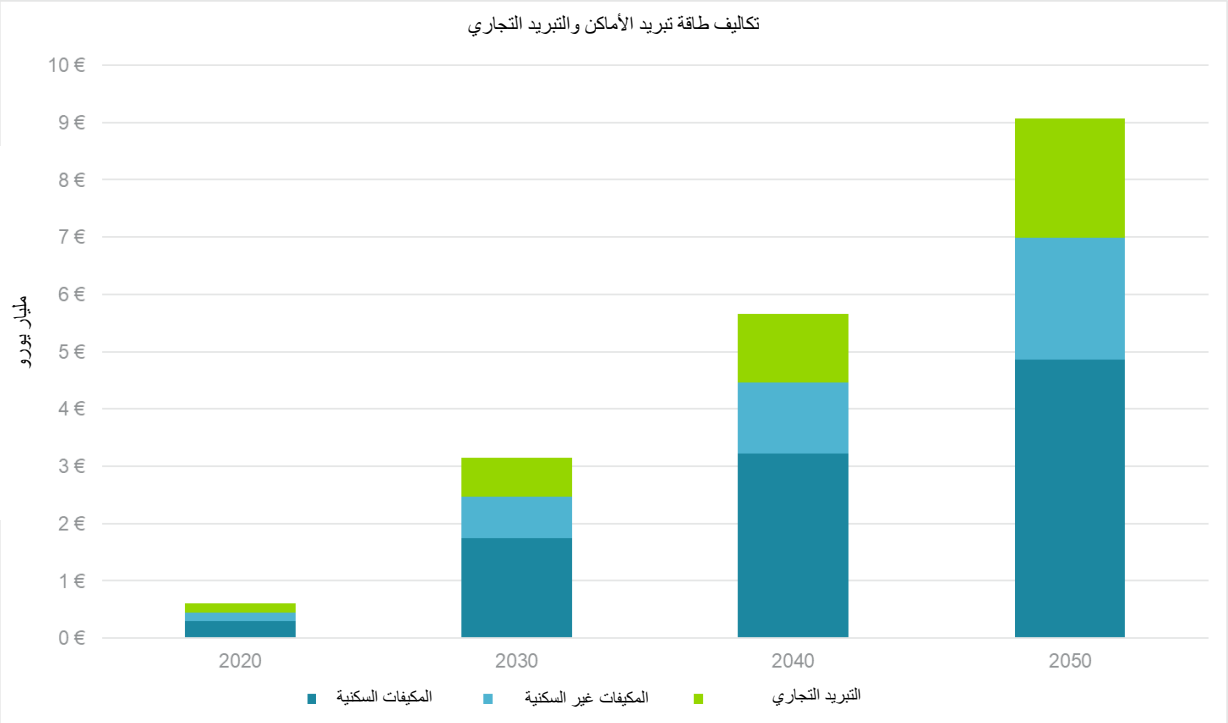
يقدم هذا القسم نظرة عامة على إجمالي تكاليف الكهرباء (للتقنيات المثبتة) والأقساط السنوية وأخيرًا إجمالي التكاليف السنوية لأجهزة القطاعات الواردة بالدراسة في احتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0).

**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 15 ضعفًا لتصل التكاليف إلى 9 مليار يورو بحلول عام 2050 (**الشكل 14**). وترتبط هذه الزيادة الكبيرة ارتباطًا مباشرًا بارتفاع معدل استهلاك الكهرباء لتبريد المساحات والتبريد التجاري (راجع **الفصل 4-1**) والزيادة السنوية المفترضة في أسعار الكهرباء بعد عام 2023.

ومن المتوقع أن تزداد حصة قطاع التكييف السكني من إجمالي تكاليف الكهرباء من حوالي 49% في عام 2020، وتقدر بحوالي 295 مليون يورو، إلى حوالي 54% بحلول عام 2050 وتقدر بنحو 4.85 مليار يورو. ومن ناحية أخرى، فإن أجهزة التكييف غير السكنية تنمو أيضًا بشكل مطرد ولكن تتباطأ حصصها من 26% في عام 2020 إلى 23% في عام 2050. ويُعزى هذا بشكل مباشر إلى الزيادة الكبرى في الطلب على تبريد المساحات السكنية كما هو موضح في **القسم 4-1**. وعلى غرار قطاع تكييف الهواء غير السكني، تنمو تكاليف كهرباء التبريد التجاري أيضًا بشكل مطرد من حوالي 154 مليون يورو في عام 2020 إلى حوالي 2.1 مليار يورو في عام 2050، ومع ذلك تتباطأ إجمالي حصصها أيضًا من 25% في عام 2020 إلى حوالي 25% في عام 2050.

[41] Including an annual inflation of 3 %

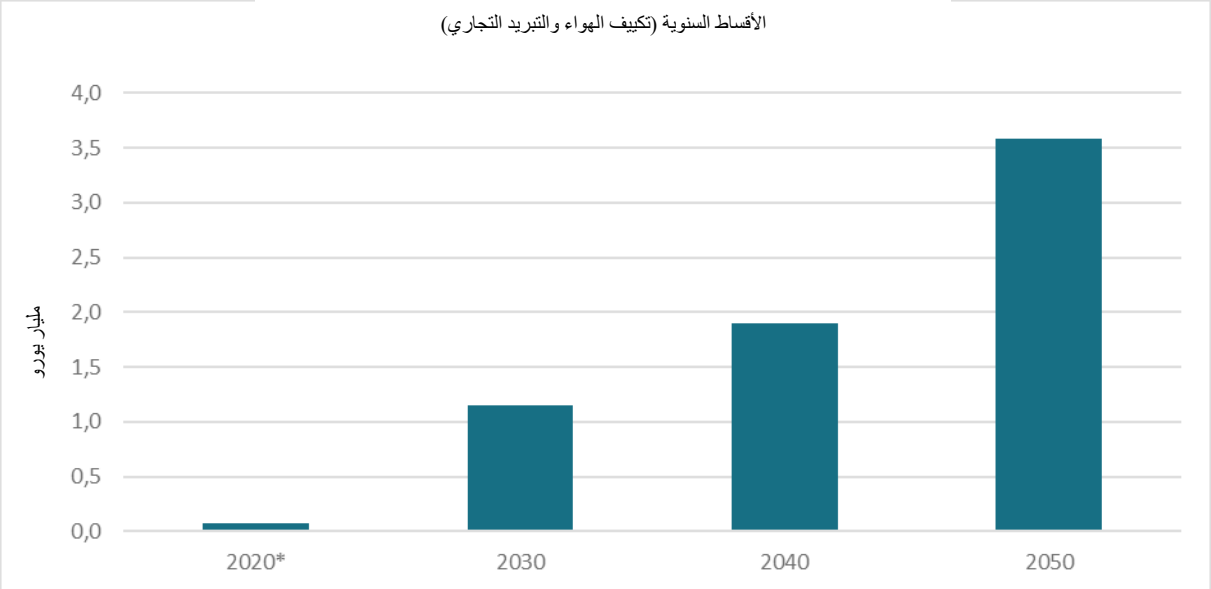



**الشكل 13** الاتجاه الحالي - تكاليف طاقة تبريد الأماكن والتبريد التجاري في فترة 2020-2050

**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 للأجهزة ومعدل الخصم (راجع **الفصل 2-4-7**).

في احتمال 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 حوال 3.57 مليار يورو في عام 2050 كما هو موضح في **الشكل 14**.

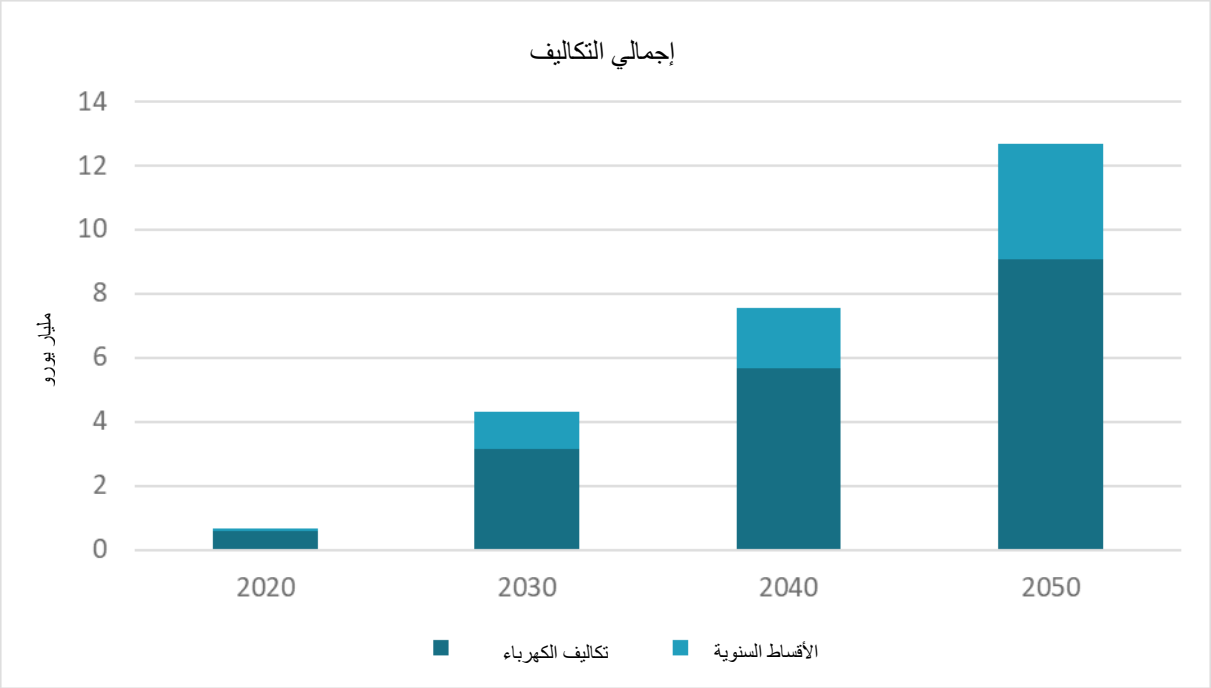



*تنخفض الدفعات السنوية في عام 2020 لأنها تشمل الدفعة الأولى من الاستثمار المطلوب في تلك السنة والتي تم خصمها على مدى العمر الافتراضي للأجهزة. ولم يتم أخذ الدفعات السنوية للاستثمارات السابقة في الاعتبار.

**الشكل 14** احتمال الاتجاه الحالي – الأقساط السنوية لتنمية الاستثمارات في فترة 2020 - 2050

**إجمالي التكاليف**

ويتم احتساب إجمالي التكاليف على أنها مجموع مدفوعات الأقساط السنوية وتكاليف الكهرباء السنوية. وستبلغ حصة النفقات التشغيلية في التكلفة الإجمالية حوالي 72% في عام 2050. ومن المتوقع أن ترتفع التكاليف الإجمالية الناتجة عن قطاعي تكييف الهواء والتبريد إلى 12.6 مليار يورو في عام 2050 مما يشير إلى زيادة كبيرة عن التكاليف في عام 2020 كما هو موضح في **الشكل 16**.




**الشكل 15** احتمال الاتجاه الحالي – تطور إجمالي التكاليف السنوية في فترة 2020-2050

## 4.3.2. احتمالات التخفيف

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

**تكاليف الكهرباء ووفورات تكاليف الكهرباء**

على غرار الطلب الناتج على الطاقة (الفصل 4-1-2)، يمكن تحقيق توفير كبير في تكاليف الكهرباء في إطار احتمالات التخفيف مقارنة باحتمال الاتجاه الحالي. ويقدم **الجدول 3** 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 (605 بمقدار مليون يورو) و2050، في حين أن معامل النمو في الاحتمال 0 أعلى من 15، وفي الاحتمال 1 حوالي 12، وفي الاحتمال 2 أقل قليلًا من 10، ويزيد قليلًا عن 8 في الاحتمال 3. وتُظهر جميع احتمالات التخفيف (الاحتمالات 1 و2 و3) وفورات كبيرة تتراوح بين 22% 45% في عام 2050 مقارنةً بالاحتمال 0 (التي تُقدر بـ 9 مليار يورو).

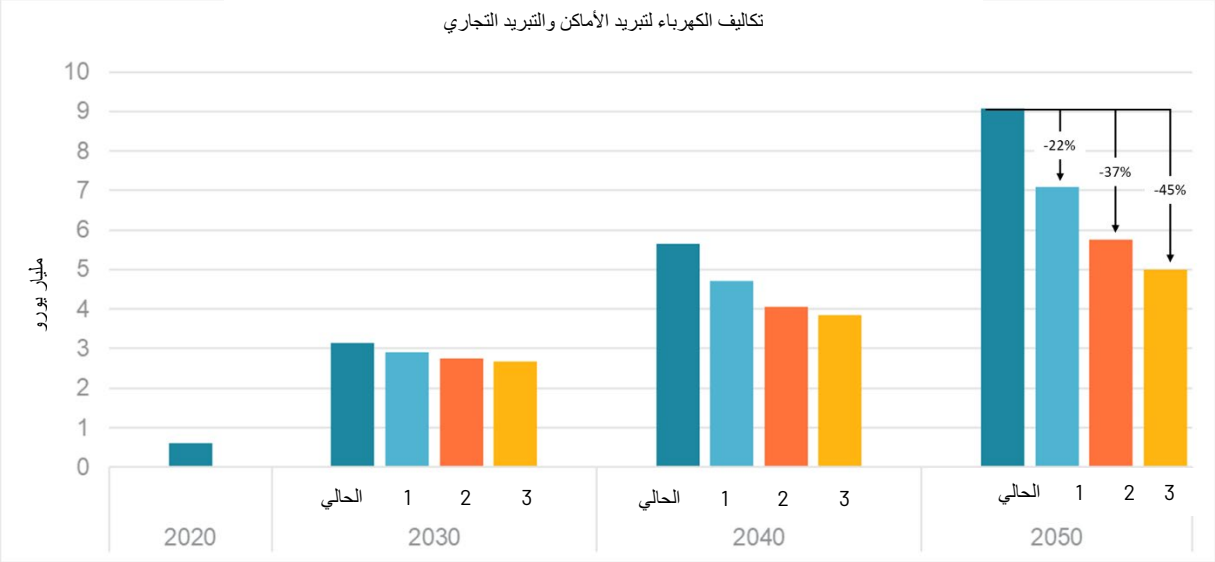
**الاحتمال 1:** ومن المتوقع ارتفاع تكاليف الكهرباء من 605 مليون يورو إلى 7مليار يورو ما يعني ارتفاع معامل تكاليف الكهرباء الإجمالية بنحو 12 في عام 2050 مقارنة بسنة البدء 2020. وسيتم تسجيل وفورات بنسبة 22% في عام 2050 مقارنةً بالاحتمال 0.

**الاحتمال 2:** من المتوقع ارتفاع تكاليف الكهرباء من 605 مليون يورو إلى 5.8 مليار يورو ما يعني ارتفاع معامل تكاليف الكهرباء الإجمالية بمعدل أقل قليلاً من 10 عام 2050 مقارنةً بسنة البدء 2020. وسيتم تسجيل وفورات بنسبة 37% و15% في عام 2050 مقارنة بالاحتمال 0 والاحتمال 1على التوالي.

**الاحتمال 3:** من المتوقع ارتفاع تكاليف الكهرباء من 605 مليون يورو إلى 5 مليار يورو ما يعني ارتفاع معامل تكاليف الكهرباء الإجمالية قليلاً عن 8 في عام 2050 مقارنةً بسنة البدء 2020. وسيتم تسجيل وفورات بنسبة 45% و8% في عام 2050 مقارنة بالاحتمال 0 والاحتمال 2 على التوالي.

**الجدول 3** إجمالي التكاليف المتوقعة لتبريد الأماكن والتبريد التجاري

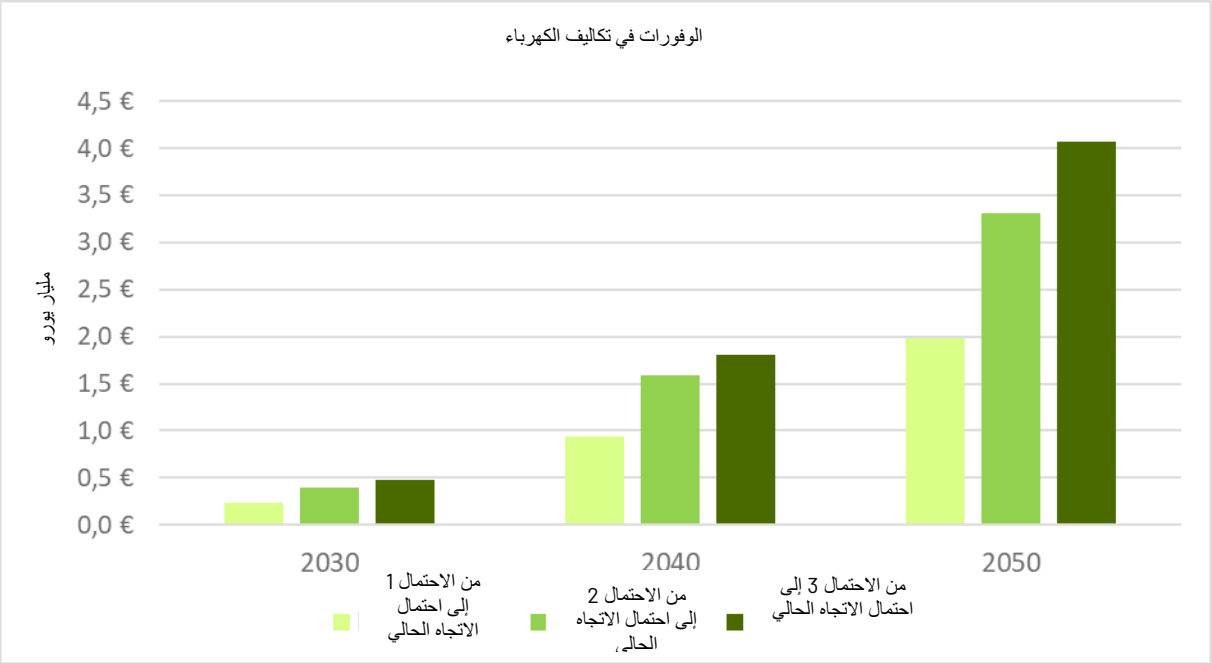
| السنة | 2020 | الاحتمال 0 (2050) | الاحتمال 1 (2050) | الاحتمال 2 (2050) | الاحتمال 3 (2050) |
|---|---|---|---|---|---|
| تكاليف الكهرباء | 605 مليون يورو | 9 مليار يورو | 7 مليار يورو | 5.8 مليار يورو | 5 مليار يورو |
| الوفورات مقارنة بالاحتمال **0** | | | 22% | 36% | 45% |




**الشكل 16** احتمالات التخفيف – تطور تكاليف الكهرباء في فترة 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 2 مليار يورو إلى حوالي 3.3 مليار يورو بين 2030 و2050، في حين أصبحت الوفورات في الاحتمال 2 أعلى 1.65 مرة مما كانت عليه في الاحتمال 1.

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

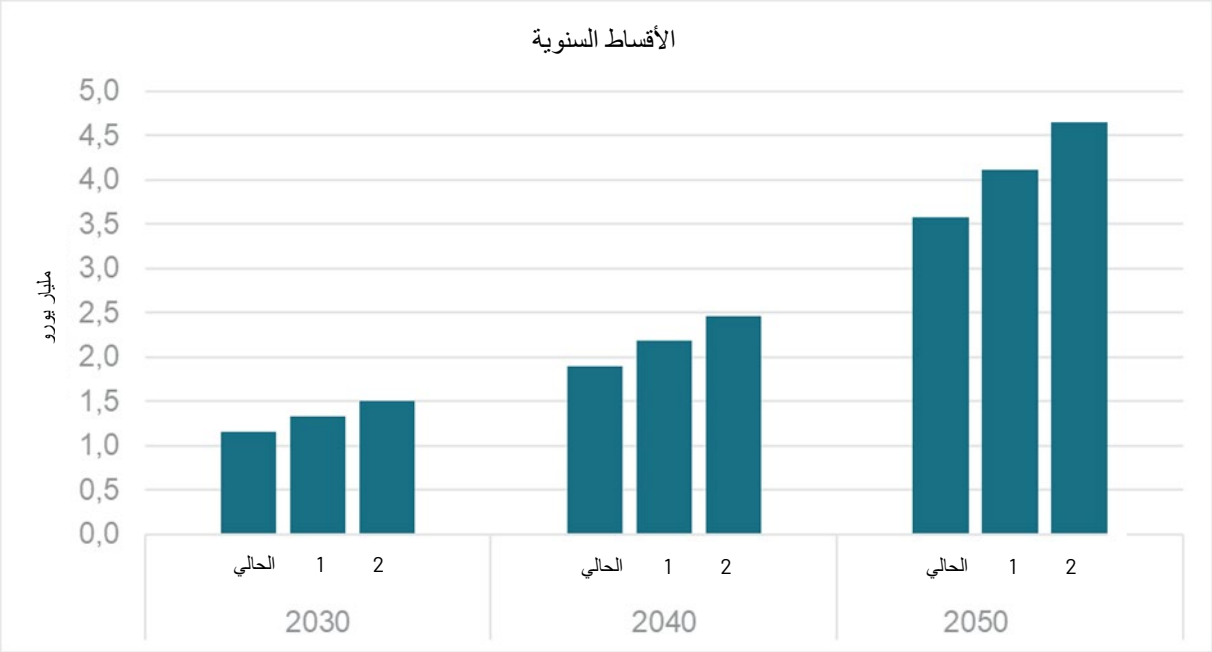



**الشكل 17** الوفورات السنوية في تكاليف الكهرباء في فترة 2030 - 2050

**إجمالي الوفورات في التكاليف**

تصل النفقات الرأسمالية (الأقساط السنوية) لتنفيذ احتمالات التخفيف (الاحتمالين 1 و2) إلى 4.1 و4.65 مليار يورو في عام 2050. وبالمقارنة مع احتمال الاتجاه الحالي 0، يتوافق ذلك مع الأقساط السنوية الإضافية البالغة 537 مليون يورو أي 13% في الاحتمال 1 ويقابلها 1 مليار يورو أو 23% في الاحتمال 2 لعام 2050 (لمعرفة افتراضات التكاليف الإضافية للتقنيات المحسنة، راجع **الملحق أ-8**).

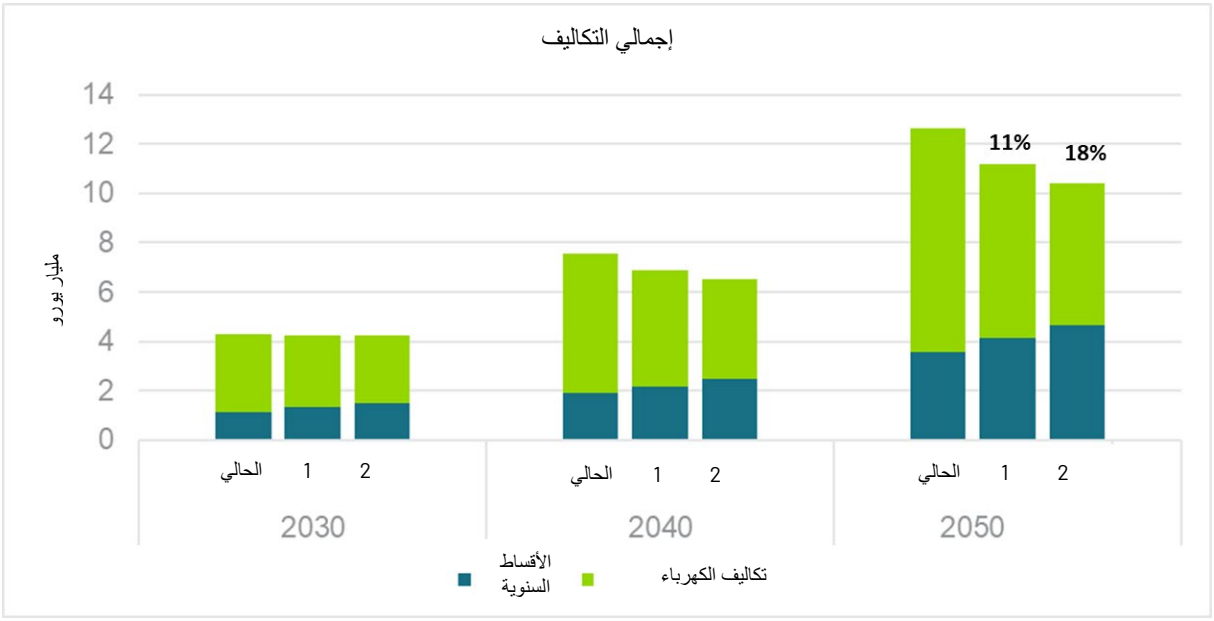
ومن المتوقع أن يكافئ حجم الاستثمارات الإضافية حجم الأقساط السنوية الإضافية بالحصول على استثمارات ثابتة بمرور الوقت. ويسلط **الشكل 19** الضوء على تطور مدفوعات الأقساط السنوية عبر الاحتمالات الواردة بالدراسة في الفترة بين 2020 و2050.




**الشكل 18** احتمالات التخفيف - الأقساط السنوية لتنمية الاستثمارات في فترة 2020-2050

كما هو موضح في القسم السابق، تصل وفورات تكاليف الكهرباء في احتمالات التخفيف إلى 2 مليار يورو في الاحتمال 1 مقابل 3.3 مليار يورو في الاحتمال 2 في عام 2050 مقارنةً بالاحتمال 0.

وتقل التكلفة الإجمالية لاحتمال التخفيف 1 بنسبة 11% وبنسبة 18% في الاحتمال 2 عن التكلفة الإجمالية لاحتمال الاتجاه الحالي في عام 2050.




**الشكل 19** احتمالات التخفيف – تطور إجمالي التكاليف السنوية في فترة 2020-2050

# 5. النتائج الرئيسية

تحلل هذه الدراسة العديد من احتمالات تطوير قطاع التبريد وتكييف الهواء في لبنان 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 احتمال 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 اللبناني

- *يحقق سوق أجهزة التبريد والتكييف في لبنان نموًا سريع في الوقت الحالي ويتمتع بإمكانات سوقية هائلة، ومن المتوقع أن ينمو قطاع التكييف السكني بمعامل 2 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) انخفاض إجمالي الانبعاثات بمعامل 0.76تقريبًا وزيادة الطلب على الكهرباء بمعامل 1.5 حتى عام 2050 مقارنةً بعام 2020.*
- *تتطلب الزيادة المتوقعة في الطلب على الكهرباء قدرة توليد إضافية عالية.*
- *تشكل الانبعاثات المباشرة حصة كبيرة تبلغ حوالي 29% من إجمالي الانبعاثات في عام 2020 والتي ستزيد لتبلغ حوالي 39٪ في عام 2050.*[42]

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 لبنان. وستُعزى أعلى معدلات زيادة الطلب على أجهزة تكييف الهواء للقطاع السكني بمعامل 2 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 بحوالي 1.5 ضعفًا لتنتقل من 3.5 إلى 5.1 تيراواط في الساعة بحلول عام 2050.
- تستمر الانبعاثات غير المباشرة في الازدياد بمعامل 0.76 حتى عام 2050 لتنتقل من حوالي 3.2 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون إلى 2.4 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون.
- تحقق الانبعاثات المباشرة زيادة كبيرة بمعامل 1.2حتى عام 2050 لتنتقل من 1.3 ميغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون إلى 1.6 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 لبنان في الغالب مواد التبريد مما 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 لبنان 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 المدروسة إلى عكس الاتجاه التصاعدي.*
- *تعد الإجراءات المبكرة مفتاح تطبيق تقنيات تبريد عالية الكفاءة ومستدامة مما يؤدي لتجنب التأثيرات التي لا رجعة فيها.*
- *بالمقارنة مع احتمال القائم على الاتجاه الحالي، يظهر احتمال الأثر الشديد (الاحتمال 3) قدرة أكبر على تحقيق وفورات في الانبعاثات في عام 2050 بنسبة 66%.*
- *من أجل تحقيق وفورات ملحوظة، يجب الجمع بين اتخاذ التدابير الطموحة وإنفاذها بشكل فعال.*

تساهم احتمالات الأثر المعتدل والمرتفع والشديد – الاحتمالات 1 و2 و3 – في تسجيل وفورات في الانبعاثات بنسبة 39% و61% و66% على التوالي بحلول عام 2050 والتي تؤدي إلى عكس الاتجاه التصاعدي للانبعاثات على نقيض احتمال الاتجاه الحالي حتى عام 2030 مما يسلط الضوء على أهمية اتخاذ المزيد من التدابير الطموحة.

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

ويوضح احتمال شديد الأثر 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:

- 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 (الصادران بموجب اللائحة 2006/842 ولكنهما لا يزالان ساريين).

وتسجل معدلات التسرب في قطاع التبريد التجاري أرقام شديدة الارتفاع[43] والتي يمكن رصدها والتحكم فيها بشكل فعال بسبب انخفاض عدد الوحدات المعنية. كما تشمل التدابير المصاحبة المحتملة بناء قدرات الموظفين المؤهلين والتدريب ومنح الشهادات بالإضافة إلى زيادة معدلات الاسترجاع.

## الاستنتاج 3: يمكن تحقيق وفورات كبيرة في الكهرباء من خلال اتخاذ تدابير طموحة

- *تشير جميع الاحتمالات إلى ارتفاع الطلب على الكهرباء في عام 2030 مقارنة بالظروف الأساسية في عام 2020 باستثناء الاحتمالين 0 و1 اللذان سيشهدان ارتفاعًا في الطلب حتى عام 2050.*
- *من المتوقع أن يكون هناك حاجة لزيادة القدرة على توليد الكهرباء في عام 2050.*
- *سيتم تحقيق وفورات أكبر في الكهرباء في احتمالات التخفيف بحلول عام 2050 مقارنةً بمعدلاتها في الاحتمال 0.*

يعزى الاتجاه التصاعدي المتوقع في الفترة بين 2020 و2030 إلى مجمل المباني الحالية المتزايدة فضلًا عن احتمال حدوث زيادة كبيرة في متوسط المساحات المكيفة. ومن المحتمل أن تنجح تدابير السياسة العامة والرقابة التنظيمية في إبطاء النمو المتوقع للطلب على الكهرباء كما لوحظ في الاحتمال 1. أما في الاحتمالين 2 و3، يتضح انعكاس هذا النمو. كما سيتم تحقيق وفورات في الكهرباء بنسبة 27-49% في عام 2050 ما يفوق معدلات الاحتمال 0، مما قد يؤدي لتجنب الحاجة إلى قدرة توليد عالية في احتمالات التخفيف على عكس الاحتمال 0.

## الاستنتاج 4: اتخاذ الإجراءات الاستباقية وتسريع معدل الخفض السريع هما مفتاح تطبيق تقنيات عالية الكفاءة تستخدم مواد التبريد الطبيعية وتجنب التأثيرات التي لا رجعة فيها.

- 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.
  - لتحقيق وفورات كبيرة في الانبعاثات المباشرة وغير المباشرة في أقرب وقت ممكن وتجنب التأثيرات طويلة المدى التي لا رجعة فيها.
  - لتجنب التأثيرات التي لا رجعة فيها الناجمة عن استعمال الأجهزة التي تستخدم مواد التبريد المعيارية (مثل R 410A، وR 134a) كمواد تبريد ولتوفير الدعم من أجل تحقيق أهداف كيغالي.
- وتشمل المزايا الإضافية لاتخاذ الإجراءات الاستباقية زيادة الأمان من حيث أسعار مواد التبريد وتوافرها والفوائد البيئية.

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

[43] 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/wpcontent/uploads/Chilling-Facts-VII-FINAL-1.pdf

وللتحول المبكر في السوق أثران إيجابيان، يتعلق الأول بالانبعاثات المباشرة، إذ تستفيد الدولة من التطبيق المبكر لتقنيات التبريد 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.[44]

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. 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.[45]

وسيحقق لبنان الحياد المناخي وفقًا للاحتمالين 2 و3 بحلول عام 2050 في حالة نزع الكربون بالكامل من الشبكات[46].

## الاستنتاج 5: يمكن تحقيق وفورات كبيرة في تكاليف الكهرباء من خلال اتخاذ تدابير طموحة:

- *من المتوقع ارتفاع تكاليف الكهرباء. وستتراوح قيمة هذا الارتفاع بين معامل من 8 إلى 15 بين 2020 و2050 حسب الاحتمال.*
- *وسيتم تحقيق وفورات في تكاليف الكهرباء في عام 2050 بنسبة تتراوح بين 22% و37% في احتمالي التخفيف 1 و2 مقارنةً باحتمال 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 بمعامل يتراوح بين 8 إلى 15 وفقًا للاحتمال.

وعند مقارنة الاحتمالات في عام 2050، يتضح أنه يمكن تحقيق وفورات كبيرة في تكاليف الكهرباء في احتمالات التخفيف بحلول ذلك العام. فيمكن توفير أكثر من 2 مليار يورو في الاحتمال 1 و3.3 مليار يورو في الاحتمال 2 و4 مليار يورو في الاحتمال 3 بحلول 2050 بالمقارنة مع الاحتمال 0. وتتيح هذه الوفورات 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 تحقيق وفورات في تكاليف 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: تقل الأقساط السنوية الإضافية المخصصة لتنفيذ اجراءات التخفيف عن الوفورات في تكاليف الكهرباء

- *تبلغ النفقات الرأسمالية (الأقساط السنوية) لتنفيذ احتمالات التخفيف 4.1 مليار يورو، وستصل إلى 4.65 مليار يورو في عام 2050*
- *تزيد نسبة التكاليف الرأسمالية (الأقساط السنوية) لاحتمالات التخفيف بنسبة تتراوح من 15% إلى 30% عن الاتجاه الحالي في 2050 على التوالي.*
- *تقل الأقساط السنوية الإضافية المخصصة لتنفيذ احتمالات التخفيف عن وفورات تكاليف الكهرباء، ويؤدي تنفيذ احتمالات التخفيف إلى تسجيل وفورات صافية.*

[44] A quantification of corresponding savings were out of the scope of this study

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

[46] CO2 factor of grid electricity 0 g/kg by 2050

ويتطلب تنفيذ احتمالات التخفيف نفقات رأسمالية إضافية (أقساط السنوية) بسبب ارتفاع أسعار تقنيات التبريد المستدامة (كفاءة أعلى واستخدام مواد التبريد الطبيعية). وبمقارنة احتمالات التخفيف باحتمال الاتجاه الحالي، تزيد الأقساط السنوية بنسبة تصل إلى 15% في الاحتمال 1 و30% في الاحتمال 2 بحلول عام 2050 مقارنةً بمعدلاتها 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 مقارنةً باحتمال الاتجاه الحالي.

## الملاحظات الختامية

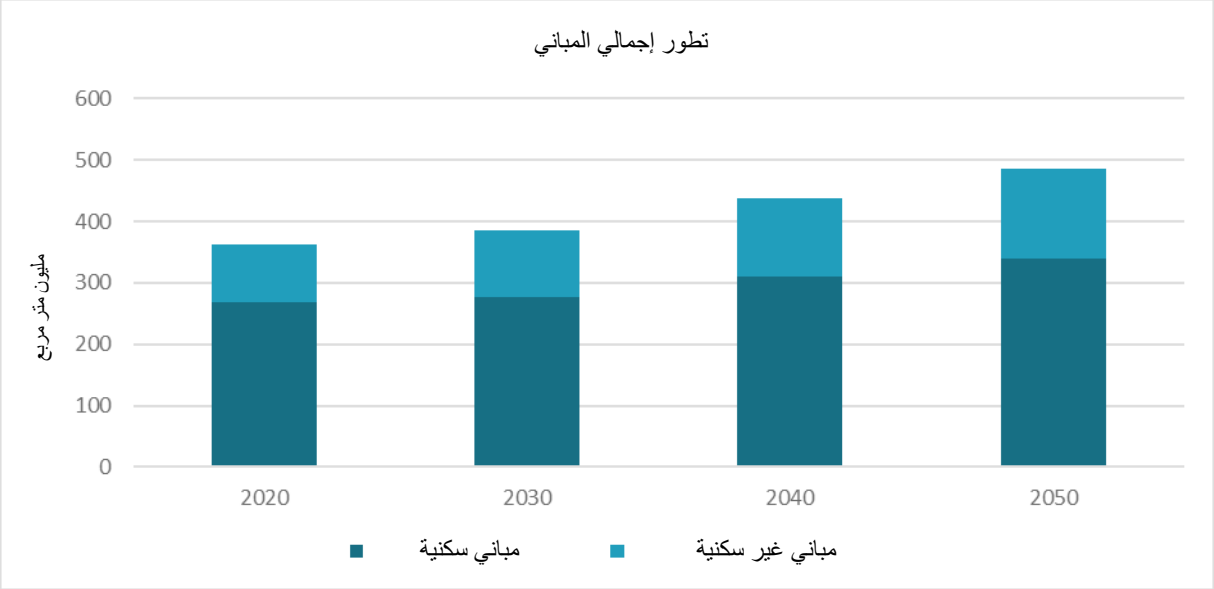
تعتمد نتائج واستنتاجات هذه الدراسة بشكل كبير على بيانات المدخلات. ولذا، بذل فريق برنامج كوول أب جهودًا حثيثة وحرص على الحصول على أكبر قدر ممكن من البيانات الموثوقة والآراء المرنة. وعلاوة على ذلك، حرص فريق البرنامج على ضمان شفافية بيانات المدخلات قدر الإمكان (انظر الملحق 1) لتمكين القارئ من الحكم على آثار النتائج المحتملة لمعايير المدخلات المختلفة.

# الملحق 1: معايير المدخلات

## أ-1 تطور إجمالي المباني

قُدِر إجمالي المباني في لبنان بحوالي 362 مليون متر مربع في عام 2020 تشكل 74% منها مباني سكنية أي حوالي 267 مليون متر مربع بينما تشغل المباني غير السكنية النسبة المتبقية البالغة 26% بمساحة تصل إلى 95 مليون متر مربع.

ومن المتوقع أن يحقق إجمالي المباني في لبنان نموًا معتدلًا في عام 2050 مصحوبًا بزيادة حوالي 1.35 ضعف لتصل إلى 486 مليون متر مربع تقريبًا. كما يُتوقع ارتفاع حصة المباني غير السكنية بشكل أكبر لتصل إلى حوالي 147 مليون متر مربع والتي تشكل حصة إجمالية تبلغ حوالي 30% من إجمالي المباني فيما تمثل الحصة المتبقية بنسبة 70% المباني السكنية التي تبلغ مساحتها حوالي 339 مليون متر مربع كما هو موضح في **الشكل 21**.



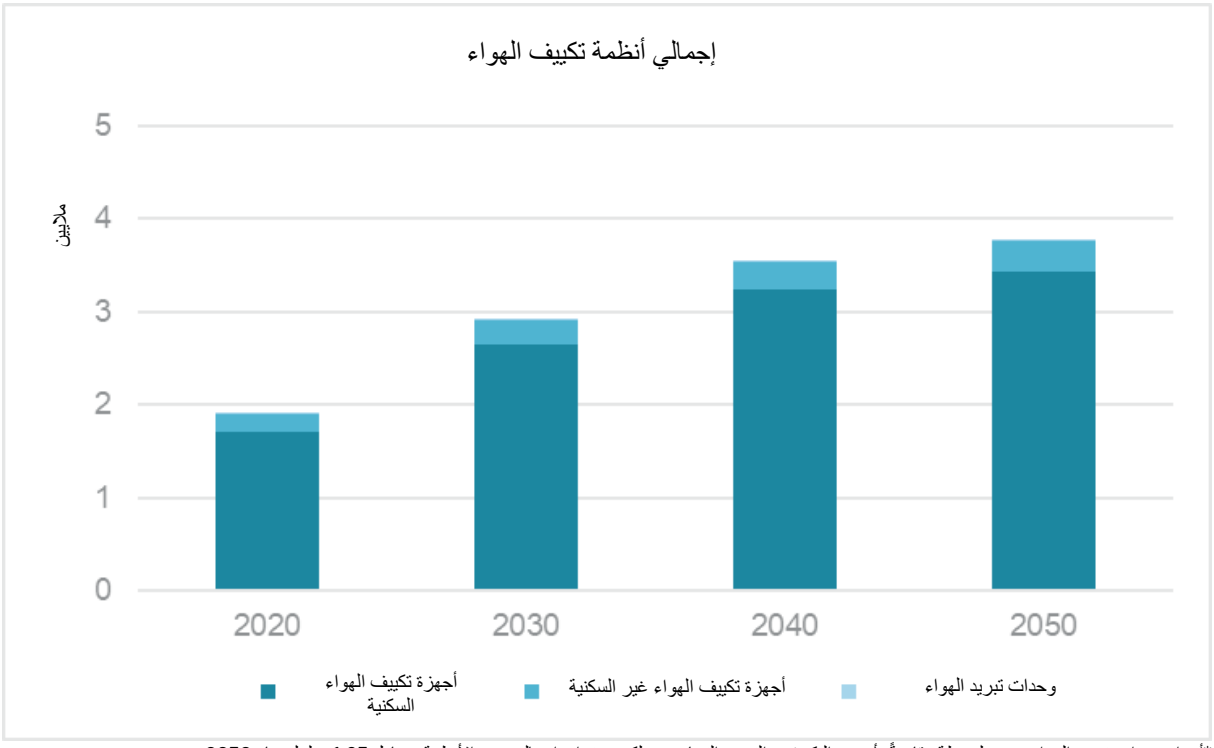

**الشكل 20** تطور إجمالي المباني القائمة في فترة 2020 - 2050

## أ-2: إجمالي أجهزة تكييف الهواء والتبريد التجاري

من المفترض أن يزيد إجمالي أنظمة التكييف في لبنان من حوالي 1.9 وحدة في عام 2020 إلى ما يقرب من 3.8 مليون وحدة بحلول عام 2050. ويعتبر النمو الملحوظ في إجمالي عدد المباني هو المحرك الرئيسي وراء هذا التطور فضلًا عن زيادة الثروة الاقتصادية[47]. ويسجل إجمالي الأنظمة ارتفاعًا في الفترة 2020-2030 أعلى من الفترات التالية (راجع **الشكل 22**)، ويرجع ذلك إلى أن السوق السكني سيصل إلى الحد الأقصى من التشبع في عام 2032 [48]. 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.

[47] Mortada et al. 2022a. Cooling Sector Status Report Lebanon: Analysis of the current market structure, trends, and insights on the refrigeration and air conditioning sector. Accessible online: https://www.coolupprogramme.org/knowledgebase/reports/cooling-sector-status-report-lebanon/

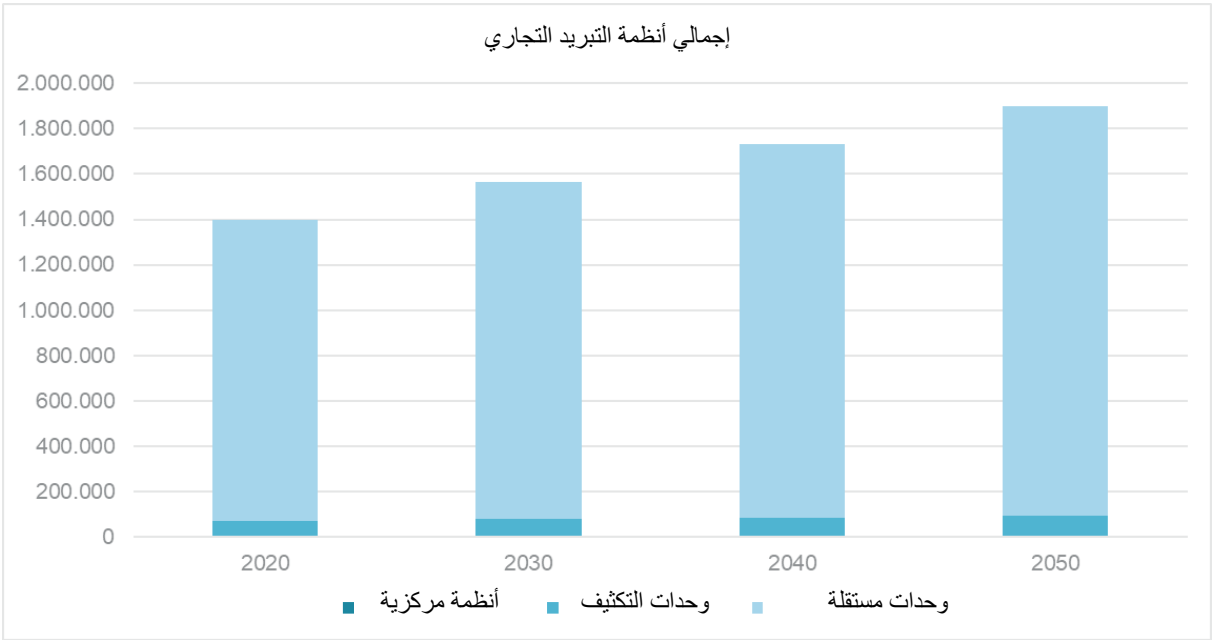
[48] The saturation model according to Mc Neil et al. assumes that air conditioner ownership will approach a climate dependant maximum but never exceed it. Saturation is a function of availability (income) and climate (Cooling Decree days- CDD) (further explanation see definition). For immature markets,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




*أعداد وحدات تبريد الهواء غير ملحوظة مقارنةً بأجهزة التكييف والتبريد التجاري، ولكن سيتزايد إجمالي عدد الأنظمة بمعامل 1.65 بحلول عام 2050

**الشكل 21** تطور إجمالي أجهزة التكييف في لبنان في فترة 2020-2050

يوضح **الشكل 23** التطور المتوقع من حيث إجمالي أنظمة التبريد التجاري في لبنان مقسمًا حسب نوع النظام. ومن المفترض ارتفاع إجمالي الأنظمة من حوالي 1.4 مليون نظام في عام 2020 إلى ما يقرب من 1.9 مليون نظام في عام 2050.[49] وتمثل الزيادة السكانية والمباني الجديدة التي يتم تركيب أنظمة التبريد التجاري فيها مثل محلات السوبر ماركت الدافع الرئيسي وراء ذلك النمو.




**الشكل 22** تطور إجمالي أنظمة التبريد التجاري في لبنان في فترة 2020-2050

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

## أ-3 المعايير التقنية

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

**الجدول 4** المعايير التقنية لأنظمة التكييف والتبريد التجاري الواردة بالدراسة

| النظام | القدرة [كيلو واط][50] | وحدة استهلاك الطاقة [UEC][51] | مقدارالشحنة الأولى من مادة التبريد [كجم][52] | العمر الافتراضي [سنوات][53] |
|---|---|---|---|---|
| **تكييف لامركزي سكني** | 3-7 | - | 0.9 | 10 |
| **تكييف مركزي سكني** | 15 | - | 6.0 | 10 |
| **تكييف لامركزي غير سكني** | 3-7 | - | 1.8 | 10 |
| **تكييف مركزي غير سكني** | 78 | - | 40 | 10 |
| **وحدات تبريد الهواء** | 175 | - | 35 | 15-20 |
| **الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)** | - | 1800 | 200 | 15 |
| **أنظمة التكثيف** | - | 9000 | 5 | 30 |
| **الأنظمة المركزية** | - | 175200 | 0.4 | 30 |

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

## أ-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 الواردة بالدراسة.

***الجدول 5*** *خلائط مواد التبريد المستخدمة حاليًا في إجمالي فئات التقنيات*

| خلائط مواد التبريد المستخدمة حاليًا (في 2020) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **القطاع** | **خلائط مواد التبريد** | | | | | | |
| | R22 | R410A | R134a | R407c | R404a | مواد التبريد المفلورة متوسطة إلى منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي [54] | مواد التبريد الطبيعية |
| **إجمالي الأنظمة المركبة[55]** | | | | | | | |
| أجهزة التكييف عدا وحدات تبريد الهواء | 60% | 40% | | | | | |
| وحدات تبريد الهواء | 30% | 45% | 25% | | | | |
| الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل) | 20% | | 30% | | 50% | | |

[50] Expert Interviews 2021

[51] Cool Coalition Model

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

[53] Expert Interviews 2021

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

[55] Expert Interviews 2021

| خلائط مواد التبريد المستخدمة حاليًا (في 2020) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| وحدات التكثيف والأنظمة المركزية | 15% | | 5% | | 80% | | |
| **الأنظمة الجديدة (المباعة في 2020)** | | | | | | | |
| أجهزة التكييف عدا وحدات تبريد الهواء | 40% | 60% | | | | | |
| وحدات تبريد الهواء | 30% | 42% | 28% | | | | |
| الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل) | 15% | | 13% | | 64% | 9% | |
| وحدات التكثيف والأنظمة المركزية | 10% | | 10% | | 80% | | |

**الجدول 6** خلائط مواد التبريد المستقبلية في الأنظمة الجديدة المباعة في 2030 في سياق الاحتمالات المختلفة

| 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 [56] | مواد التبريد الطبيعية |
| **احتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0)** | | | | |
| أجهزة التكييف عدا وحدات تبريد الهواء | | 50% | 50% | |
| وحدات تبريد الهواء | | 95% | | 5% |
| الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل) | | 80% | | 20% |
| وحدات التكثيف والأنظمة المركزية | | 90% | | 10% |
| **الاحتمال 1** | | | | |
| أجهزة التكييف عدا وحدات تبريد الهواء | | 38% | 32% | 30% |
| وحدات تبريد الهواء | | 75% | | 25% |
| الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل) | | 40% | | 60% |
| وحدات التكثيف والأنظمة المركزية | | 60% | | 40% |
| **الاحتمال 2** | | | | |

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

| خلائط مواد التبريد المستقبلية في الأنظمة الجديدة المباعة في 2030 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **أجهزة التكييف عدا وحدات تبريد الهواء** | | 25% | 15% | 60% |
| **وحدات تبريد الهواء** | | 55% | | 45% |
| **الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل)** | | | | 100% |
| **وحدات التكثيف والأنظمة المركزية** | | 40% | | 60% |

**الجدول 7** خلائط مواد التبريد المستقبلية في الأنظمة الجديدة المباعة في 2040 في سياق الاحتمالات المختلفة

| خلائط مواد التبريد 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[57] | مواد التبريد الطبيعية |
| **احتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0)** | | | | |
| أجهزة التكييف عدا ال وحدات تبريد الهواء | | 50% | 50% | |
| وحدات تبريد الهواء | | 85% | | 15% |
| الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل) | | 60% | | 40% |
| وحدات التكثيف والأنظمة المركزية | | 70% | | 30% |
| **الاحتمال 1** | | | | |
| أجهزة التكييف عدا وحدات تبريد الهواء | | 25% | 25% | 50% |
| وحدات تبريد الهواء | | 47% | | 53% |
| الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل) | | 30% | | 70% |
| وحدات التكثيف والأنظمة المركزية | | 47% | | 53% |
| **الاحتمال 2** | | | | |
| أجهزة التكييف عدا وحدات تبريد الهواء | | | | 100% |
| وحدات تبريد الهواء | | 10% | | 90% |

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

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل) | | | | 100% |
| وحدات التكثيف والأنظمة المركزية | | 20% | | 80% |

**الجدول 8** خلائط مواد التبريد المستقبلية في الأنظمة الجديدة المباعة في 2050 في سياق الاحتمالات المختلفة

| **خلائط مواد التبريد المستقبلية في الأنظمة الجديدة المباعة في 2050** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **القطاع** | **خلائط مواد التبريد** | | | |
| | R22 | مركبات الهيدروفلوروكربون ( R410A، R134a، R407C، R404A، إلخ.) | مواد التبريد متوسطة إلى منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي | مواد التبريد الطبيعية |
| **احتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0)** | | | | |
| أجهزة التكييف عدا ال وحدات تبريد الهواء | | 50% | 50% | |
| وحدات تبريد الهواء | | 80% | | 20% |
| الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل) | | 50% | | 50% |
| وحدات التكثيف والأنظمة المركزية | | 60% | | 40% |
| **الاحتمال 1** | | | | |
| أجهزة التكييف عدا وحدات تبريد الهواء | | 25% | 25% | 50% |
| وحدات تبريد الهواء | | 40% | | 60% |
| الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل) | | 25% | | 75% |
| وحدات التكثيف والأنظمة المركزية | | 30% | | 70% |
| **الاحتمال 2** | | | | |
| أجهزة التكييف عدا وحدات تبريد الهواء | | | | 100% |
| وحدات تبريد الهواء | | | | 100% |
| الثلاجات والمجمدات المستقلة (ذاتية التوصيل) | | | | 100% |
| وحدات التكثيف والأنظمة المركزية | | | | 100% |

## أ-5 معدلات التسرب

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

**الجدول 9** معدلات التسرب المتوقعة حسب فئات التقنيات والاحتمالات

| النظام | سنة الأساس[58] | احتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0) | | | الاحتمال 1 | | | الاحتمال 2 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2030 | 2040 | 2050 | 2030 | 2040 | 2050 |
| أجهزة التكييف عدا وحدات تبريد الهواء | 8% | 8% | 7% | 6% | 7% | 6% | 5% | 6% | 3% | 2% |
| وحدات تبريد الهواء | 22% | 22% | 21% | 19% | 21% | 19% | 15% | 20% | 16% | 9.5% |
| الأنظمة المركزية | 40% | 40% | 38% | 34% | 38.4% | 34.2% | 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% |

## أ-6 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 10** *معدلات الانبعاثات الناجمة عن مواد التبريد عند نهاية العمر الافتراضي حسب فئات التقنيات والاحتمالات*

| النظام | سنة الأساس[59] | احتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0) | | | الاحتمال 1 | | | الاحتمال 2 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2030 | 2040 | 2050 | 2030 | 2040 | 2050 |
| أجهزة التكييف عدا وحدات تبريد الهواء | 95% | 83% | 71% | 70% | 64% | 42% | 40% | 55% | 23% | 20% |
| وحدات تبريد الهواء | 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% |

[58] Expert Interviews 2021

[59] Expert Interviews 2021

## أ-7 كفاءة الأنظمة

**أنظمة التكييف**[60]

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 11** مستويات الكفاءة المتوقعة حسب القطاعات والاحتمالات

| النظام | | | الوحدة | سنة الأساس[61] | احتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0) | | | الاحتمال 1 | | | الاحتمال 2 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2030 | 2040 | 2050 | 2030 | 2040 | 2050 |
| سكني | لامركزي | | نسبة كفاءة الطاقة | 2.5 (2-2.8) | 3.6 | 4.1 | 4.5 | 4 | 5.3 | 6.5 | 4 | 6.5 | 7.2 |
| | مركزي | | نسبة كفاءة الطاقة | 3 | 3 | 3.5 | 4 | 4 | 4.5 | 5 | 4 | 5 | 5.5 |
| غير سكني | لامركزي | | نسبة كفاءة الطاقة | 2.5 (2-2.8) | 3.6 | 4.1 | 4.5 | 4 | 5.3 | 6.5 | 4 | 6.5 | 7.2 |
| | مركزي | | نسبة كفاءة الطاقة | 3 | 3.6 | 3.8 | 4 | 4 | 4.5 | 5 | 4 | 5 | 5.5 |
| وحدات تبريد الهواء | وحدات تبريد الهواء | | نسبة كفاءة الطاقة | 2.8 | 3 | 3.5 | 4 | 4 | 5.1 | 6.1 | 4 | 6.1 | 6.7 |

**التبريد التجاري**

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

**الجدول 12** مستويات تحسين الكفاءة السنوية المتوقعة لتقنيات التبريد التجاري لكل من الاحتمالات

| النظام | الوحدة | احتمال الاتجاه الحالي (الاحتمال 0) | 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% |

## أ-8 أسعار التقنيات

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

تعتمد أسعار أنظمة التكييف على نتائج مشروع Build_ME ومقابلات الخبراء[62]. بينما تعتمد أسعار أنظمة التبريد التجارية على متوسط التكاليف الخاصة بالقدرات في المنطقة والتي تم النظر فيها بهذه الدراسة[63]. ومن المتوقع تسجيل زيادة سعرية سنوية رمزية في أسعار التكنولوجيا بنسبة 3%.[64]

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

[61] Expert Interviews 2021

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

[63] Expert Interviews 2021

[64] Technology price increase is based on average inflation rate in Lebanon for the period 2010-2017 as disclosed by the World Bank. Future developments of inflation rate are not considered in the context of this study. The real technology prices are assumed to be stable.

ويعتمد افتراض الزيادة المستقبلية في أسعار التقنيات على تقدير الخبراء وخبرتهم في مشروع Build_ME.[65]

**الجدول 13** 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- 870 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 | | |
| **وحدات تبريد الهواء** | 50,000-75,000 يورو | | |
| **الأنظمة المركزية** | 100,000 يورو | | |
| **وحدات التكثيف** | 7500 يورو | | |
| **الأجهزة المستقلة** | 1400 يورو | | |

**الجدول 14** سعر الفائدة

| | 2022 |
|---|---|
| **سعر الفائدة** | 5.51% |
| المصدر | مصرف لبنان[66] |

## أ-9 أسعار الكهرباء

يقدم الجدول التالي معلومات عن أسعار الكهرباء الواردة بالدراسة.

**الجدول *15*** أسعار الكهرباء والتطور المتوقع

| | | 2022-2020 | 2022 |
|---|---|---|---|
| أسعار الكهرباء | سكني | 0.13 يورو/ كيلوواط في ساعة | 0.35 يورو/ كيلوواط في ساعة |
| | غير سكني | 0.13 يورو/ كيلوواط في ساعة | 0.35 يورو/ كيلوواط في ساعة |
| **المصدر** | المركز اللبناني لحفظ الطاقة | | |

*تم تحديد سعر تحويل الدولار إلى اليورو بناءً على سعر الصرف العالمي بتاريخ 2022/01/01

| | 2030-2020 | 2040-2030 | 2050-2040 |
|---|---|---|---|
| **زيادة الأسعار السنوية الحقيقية**[67] | 2022-2020: 0% <br> 2030-2023: 5% | 5% | 5% |
| المصدر | آراء الخبراء من مقابلات الخبراء [68] | | |

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

[66] Banque Du Liban 2022, latest disclosed interest rate dating Aug 2022 accessible online at https://www.bdl.gov.lb/webroot/statistics/table.php?name=t5273-1

[67] This reflects the real price increase which is in line with the assumptions for the general inflation (3%) and a 2% increase for the energy prices on top. Any further price increase will lead to higher electricity cost saving in the mitigation prospects.

[68] Expert Interviews 2021

## أ-10 معامل الانبعاثات

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

**الجدول 16** معامل الانبعاث

| | 2020 | 2050 |
|---|---|---|
| **معامل الانبعاث** | 673 جرام من مكافئ ثاني أكسيد الكربون/ كيلوواط في ساعة | 367 جرام من مكافئ ثاني أكسيد الكربون/ كيلوواط في ساعة |
| المصدر | المركز اللبناني لحفظ الطاقة | 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 على مدار الدراسة.

**الجدول 17** تطور معامل الانبعاث المتوقع

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

# 6. المراجع


Banque Du Liban (2022): Commercial Banks -US$: Discount and Loans (Weighted Average). Available online at https://www.bdl.gov.lb/webroot/statistics/table.php?name=t5273-1.

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.

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/.

Dr. Mortada, Sorina (2018): The First Energy Indicators Report of the Republic of Lebanon. Lebanese Center for Energy Conservation (LCEC). Available online at http://www.databank.com.lb/docs/180502101955150~Indicators%20Report_042518.pdf.

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).

Lebanese Center for Energy Conservation (LCEC) (2016): The Second National Energy Efficiency Action Plan for The Republic of Lebanon NEEAP 2016-2020. Available online at https://lcec.org.lb/sites/default/files/2021-02/NEEAP%202016%202020.pdf.

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.

Mortada, Sorina; El Samra, Hussein; Hammad, Mohammad; Groezinger, Jan; Surmeli-Anac, Nesen (2022a): COOLING SECTOR STATUS REPORT LEBANON. Analysis of the current market structure, trends, and insights on the refrigeration and air conditioning sector. With assistance of Sven Schimschar, Eslam Mahdy Yousef, Katja Dinges, Andrea Dertinger, Alexander Pohl, Felix Heydel et al. Cool Up Programme. Available online at https://www.coolupprogramme.org/knowledge-base/reports/cooling-sector-status-report-lebanon/.

Mortada, Sorina; El Samra, Hussein; Mahdy Yousef, Eslam; Dinges, Katja (2022b): REGULATORY ANALYSIS LEBANON. Analysis and recommendations for the regulatory and policy instruments governing the RAC sector. With assistance of Felix Heydel, Barbara Gschrey. Cool Up Programme. Available online at https://www.coolupprogramme.org/knowledge-base/reports/regulatory-analysis-lebanon/.

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.