منشورات ITU

الاتحاد الدولي للاتصالات
مكتب تنمية الاتصالات

من شبكة الكهرباء إلى الإنترنت عريضة النطاق: حلول الطاقة المستدامة والمبتكرة لأغراض توصيلية المناطق الريفية

من شبكة الكهرباء إلى الإنترنت عريضة النطاق: حلول الطاقة المستدامة والمبتكرة لأغراض توصيلية المناطق الريفية

2023

شكر وتقدير

أعد هذا التقرير للاتحاد الدولي للاتصالات (ITU) الخبيران الخارجيان السيد دونالد براون-مارك والسيدة شارلوت أوبين، مع مدخلات خطية موضوعية من ديزيريه كاريابويت وإستفان بوزسوكي (متقاعد حالياً) من مكتب تنمية الاتصالات (BDT) بالاتحاد.

يرجى مراعاة الجوانب البيئية قبل طباعة هذا التقرير.

© الاتحاد الدولي للاتصالات 2023

بعض الحقوق محفوظة. هذا العمل متاح للجمهور من خلال رخصة المشاع الإبداعي للمنظمات الحكومية الدولية

Creative Commons Attribution-Non-Commercial-Share Alike 3.0 IGO license (CC BY-NC-SA 3.0 IGO).

وبموجب شروط هذه الرخصة، يمكنك نسخ هذا العمل وإعادة توزيعه وتكييفه لأغراض غير تجارية، على أن يُقتبس العمل على النحو الصحيح. وأيّاً كان استخدام هذا العمل، ينبغي عدم الإيحاء بأن الاتحاد الدولي للاتصالات يدعم أي منظمة أو منتجات أو خدمات محددة. ولا يُسمح باستخدام أسماء الاتحاد أو شعاراته على نحو غير مرخص به. وإذا قمت بتكييف العمل، فسيتعين عليك استصدار رخصة لعملك في إطار الرخصة Creative Commons نفسها أو ما يكافئها. وإذا أنتجت ترجمة لهذا العمل، فينبغي لك إضافة إخلاء المسؤولية التالي إلى جانب الاقتباس المقترح: "هذه الترجمة غير صادرة عن الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU). والاتحاد غير مسؤول عن محتوى هذه الترجمة أو دقتها. والنسخة الإنكليزية الأصلية هي النسخة الملزِمة والمعتمدة". للحصول على مزيد من المعلومات، يرجى زيارة الموقع التالي:https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo

إخلاء مسؤولية

التسميات المستخدمة في هذا المنشور وطريقة عرض المواد فيه لا تعني بأي حال من الأحوال التعبير عن أي رأي من جانب الاتحاد الدولي للاتصالات أو من جانب أمانة الاتحاد فيما يتعلق بالوضع القانوني لأيٍّ من البلدان أو الأقاليم أو المدن أو المناطق أو لسلطاتها، أو فيما يتعلق بتعيين حدودها أو تخومها.

الإشارة إلى شركات محددة أو منتجات صناعية معينة لا تعني أن الاتحاد الدولي للاتصالات يدعمها أو يوصي بها تفضيلاً لها على غيرها من الشركات والمنتجات المماثلة لها التي لم يشر إليها. عدا ما يتعلق بالخطأ والسهو، يشار إلى المنتجات المسجلة الملكية بأسمائها (بالأحرف الأولية من أسمائها بالإنكليزية).

اتخذ الاتحاد الدولي للاتصالات جميع الاحتياطات المعقولة للتحقق من المعلومات الواردة في هذا المنشور. ومع ذلك، توزَّع المواد المنشورة دون أي ضمان من أي نوع، سواء كان صريحاً أو ضمنياً. وتقع مسؤولية تفسير المواد واستعمالها على عاتق القارئ.

الآراء والنتائج والاستنتاجات المعرب عنها في هذا المنشور لا تعبر بالضرورة عن وجهات نظر الاتحاد الدولي للاتصالات أو أعضائه.

ISBN

978-92-61-35966-9 (النسخة الإلكترونية)
978-92-61-35976-8 (نسخة EPUB)
978-92-61-35986-7 (نسخة MOBI)

جدول المحتويات

شكر وتقدير ii

تمهيد ix

ملخص تنفيذي x

1 خلفية 1

2 مقدمة 2

3 حالة النفاذ إلى النطاق العريض في المناطق الريفية 4

1.3 التحضر – هجرة السكان من المناطق الريفية 4

2.3 البنية التحتية في المناطق الريفية 5

3.3 الفجوة بين المناطق الحضرية والمناطق الريفية في النفاذ إلى الإنترنت – السكان غير الموصولين في البلدان النامية 6

4.3 تحقيق التوصيلية الشاملة 7

5.3 البنية التحتية للنطاق العريض في المناطق الريفية 7

1.5.3 شبكات النفاذ اللاسلكي 8

2.5.3 التغطية الخلوية المتنقلة 9

3.5.3 البنية التحتية للنفاذ عريض النطاق في المناطق الريفية 10

4.5.3 الشبكات الخلوية المتنقلة 10

5.5.3 شبكات الجيل الخامس المستقبلية – الخدمات المبتكرة 13

6.5.3 تكنولوجيات السواتل ذات المدارات الأرضية المنخفضة - المناطق الريفية المحرومة من الخدمات 14

7.5.3 أنظمة المنصات عالية الارتفاع 15

8.5.3 حل الطاقة المتجدد للمحطات القاعدة من الجيل الخامس 15

4 عدم إمكانية الحصول على الكهرباء 17

1.4 تحديات الطاقة التي تقيد توسيع النطاق العريض 17

2.4 تحقيق الطاقة المستدامة للجميع 18

3.4 عجز الطاقة في المناطق الريفية في البلدان النامية 19

4.4 الانتقال إلى البنية التحتية للطاقة المتجددة 21

5.4 تحسين كفاءة استهلاك الطاقة – الاستهلاك الأمثل 21

5 مصادر الطاقة المتجددة لكهربة الريف 23

1.5 الطاقة المتجددة أكثر قدرة على المنافسة من مصادر الوقود الأحفوري 23

2.5 الطاقة الشمسية 25

1.2.5 نظرة عامة على تكنولوجيا الطاقة الشمسية 27
2.2.5 ترتيبات الصفيفات الشمسية 27
3.5 الاعتبارات المتعلقة بتحديد حجم الصفيفات الكهروضوئية الشمسية 28
1.3.5 عاكسات الطاقة الشمسية – محولات الجهد 29
2.3.5 ميزة الطاقة الشمسية مقارنة بالمولدات العاملة بالديزل 29
4.5 طاقة الرياح 30
5.5 خلايا الوقود 31
6.5 الكتلة الأحيائية 31
7.5 الطاقة المائية الميكروية 32
8.5 مقارنة بين مصادر الطاقة المتجددة - ملخص 33
9.5 الطاقة المتجددة خارج الشبكة 34
1.9.5 الشبكات المصغرة 35
2.9.5 الأنظمة القائمة بذاتها 38
3.9.5 مقارنة بين مصادر الطاقة المتجددة ومصادر الوقود الأحفوري لأغراض تطبيقات الشبكات المصغرة 39
10.5 المكونات الأساسية لتركيب شبكة مصغرة 40
11.5 شبكة عريضة النطاق تعمل بالطاقة الشمسية في المناطق الريفية - شبكة Hopscotch في اسكتلندا 42
12.5 أنظمة الطاقة الهجينة 45
1.12.5 الشبكة المصغرة الهجينة للتيار المتناوب 47
2.12.5 نظام الشبكة المصغرة الهجينة للتيار المستمر 47
13.5 التوليد الهجين للطاقة من الشمس والديزل 49
14.5 النظام الكهروضوئي الشمسي ومولد الديزل 50
15.5 حلول التخزين 53
1.15.5 بطاريات الرصاص الحمضية 53
2.15.5 بطاريات الليثيوم 54
3.15.5 بطاريات التدفق 55
4.15.5 الحدّافات 55
5.15.5 البطاريات الصلبة 55
6.15.5 المكثفات الفائقة 55
16.5 إرسال القدرة لاسلكياً 56
1.16.5 الحصول على القدرة باستخدام إرسال القدرة لاسلكياً عن طريق حزم التردد الراديوي 57
2.16.5 الحصول على القدرة باستخدام إرسال القدرة لاسلكياً عن طريق تكنولوجيات أخرى 59

6 الآليات المالية لاستثمارات الطاقة المتجددة 61

1.6 تمويل البنية التحتية للطاقة المتجددة الريفية 61
2.6 صناديق الخدمة الشاملة 62
3.6 التمويل الخارجي 63
1.3.6 بيع الكربون 63
2.3.6 آلية التنمية النظيفة (CDM) 63
3.3.6 بورصة أرصدة الكربون في إفريقيا (ACCE) 64
4.3.6 بورصة تداول الكربون (CTX) 64
5.3.6 الصندوق الإفريقي للطاقة المتجددة (AREF) 64
6.3.6 Power Africa, Beyond the Grid 65
7.3.6 صندوق الطاقة المستدامة من أجل إفريقيا (SEFA) 65
8.3.6 صندوق الأوبك للتنمية الدولية (OFID) 66
9.3.6 الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA) 66
10.3.6 شراكة الطاقة المتجددة وكفاءة استخدام الطاقة (REEEP) 67
11.3.6 صندوق التأثير التابع لوزارة التنمية الدولية (DFID)، المملكة المتحدة 68
12.3.6 مبادرة الطاقة المستدامة من أجل التنمية الاقتصادية (SEED) 69
13.3.6 منصة أداء الطاقة المتجددة (REPP) 69
14.3.6 ملخص لفئات خيارات التمويل 70
15.3.6 تمويل البنية التحتية للنطاق العريض لتقليل المخاطر التي يتعرض لها مستثمرو القطاع الخاص 71
16.3.6 الاتصالات والطاقة تعملان معاً من أجل التنمية المستدامة 71

7 آليات وتوصيات السياسات 73

1.7 مقدمة 73
2.7 السياسات الرقمية 74
3.7 اعتبارات السياسات الرقمية 74
4.7 توصيات السياسات التشغيلية بشأن الشبكات الصغرى 76
5.7 سياسات محددة للمناطق غير المغطاة بالشبكات 77

8 الخلاصة 78

9 الملحقات ودراسات الحالة 79

1.9 شركات خدمات الطاقة 79
2.9 الحلول المالية والتعاقدية والتشغيلية النمطية 81
3.9 المجتمعات الخضراء الذكية 82
1.3.9 المجتمعات الذكية 82
2.3.9 نموذج الأعمال 83
3.3.9 الخدمات الرئيسية 84

4.3.9 المسؤولية الاجتماعية للشركات (CSR) 85
4.9 روابط مفيدة 86
الاختصارات 88

قائمة بالأشكال والإطارات والجداول

الأشكال

الشكل 1: الأفراد الذين يستخدمون الإنترنت، 2005-2022 3
الشكل 2: النسبة المئوية للأفراد الذين يستخدمون الإنترنت، 2022 3
الشكل 3: نسبة السكان الذين يعيشون في المناطق الحضرية 4
الشكل 4: نسبة السكان الذين يعيشون في المناطق الحضرية 5
الشكل 5: النسبة المئوية للأفراد الذين يستخدمون الإنترنت في المناطق الحضرية والمناطق الريفية، 2022 6
الشكل 6: تصميم شبكة الاتصالات 8
الشكل 7: تغطية السكان بشبكات الاتصالات المتنقلة، حسب نوع الشبكة، 2015-2022 10
الشكل 8: معمارية الشبكة المتنقلة 11
الشكل 9: نظام متعدد لدخل مصدر الطاقة لمحطة قاعدة 5G، بما في ذلك الطاقة المتجددة 16
الشكل 10: النطاق العريض لا يزال مكلفاً في أقل البلدان نمواً 17
الشكل 11: سكان المناطق الريفية الذين لا يحصلون على الكهرباء 20
الشكل 12: السكان الذين يحصلون على الكهرباء (في المناطق الحضرية والريفية) بالنسبة المئوية 20
الشكل 13: نمو الطاقة المتجددة بين عامَي 2019 و2024 حسب التكنولوجيا (GW) 23
الشكل 14: قدرة توليد الطاقة المركبة والمتوقعة حسب المصدر، 2000-2040 24
الشكل 15: تكاليف توليد الطاقة المتجددة في 2018 25
الشكل 16: انخفاض أسعار الطاقة الكهروضوئية الشمسية 26
الشكل 17: عروض مزاد الطاقة الشمسية الأقل سعراً في عام 2018 27
الشكل 18: بيان وصفي نموذجي للحمل اليومي في منطقة ريفية 28
الشكل 19: متوسط الإشعاع الشمسي العالمي 29
الشكل 20: خرج طاقة توربينة الرياح مقابل ارتفاع البرج 31
الشكل 21: جزء الشبكات المصغرة (دور متزايد للشبكات المصغرة ومصادر الطاقة المتجددة) 35
الشكل 22: وظائف الشبكة المصغرة 41
الشكل 23: نظام طاقة شبكة مصغرة هجينة مقترنة بالتيار المتناوب 48
الشكل 24: شبكة هجينة للتيار المستمر – طاقة الرياح والطاقة الكهروضوئية الشمسية 49
الشكل 25: رسم توضيحي لأساليب التشغيل المختلفة للأنظمة الهجينة 50
الشكل 26: استقصاء أسعار بطارية أيون الليثيوم: تقسيم الحزمة والخلية 54
الشكل 27: السيناريو النمطي لإرسال القدرة لاسلكياً 57

الشكل 28: صورة لتكنولوجيا WPT من نقطة إلى نقطة.....58
الشكل 29: تجربة لإرسال القدرة من نقطة إلى نقطة لمسافة ميل واحد باستخدام هوائي مكافئي قطره 26 m، وكليسترون بقدرة 450 kW في نطاق 388 2 GHz كمرسِل، وصفيف هوائي تقويم بحجم 3,4 x 7,2 m كمستقبِل.....58
الشكل 30: مخطط صندوقي لنظام WPT نمطي يعمل بالحث المغنطيسي.....59
الشكل 31: مخطط صندوقي لنظام WPT النمطي يعمل بالرنين المغنطيسي.....60
الشكل 32: مثال على أجهزة التكنولوجيا WPT الثابتة 60
الشكل 33: وفورات التكاليف السنوية للصناعة نتيجة الانتقال إلى حلول الطاقة الخضراء (بمليارات الدولارات الأمريكية).....72
الشكل 34: حلول القدرة لدى شركات خدمات الطاقة في إفريقيا.....80
الشكل 35: مثال على الحلول التعاقدية والتقنية لشركات الاتصالات.....81
الشكل 37: مثال على قرية خضراء ذكية.....83
الشكل 38: المجتمعات الخضراء الذكية وأهداف التنمية المستدامة.....86

الإطارات

الإطار 1: التركيب البنيوي للشبكة المتنقلة.....12
الإطار 2: هواوي – نهج الطيف متعدد الطبقات.....13

الجداول

الجدول 1: مقارنة السرعة النموذجية لخدمة النطاق العريض الثابت.....9
الجدول 2: تطور الشبكات المتنقلة.....11
الجدول 3: مزايا مصادر الطاقة المتجددة.....33
الجدول 4: مبادرة الأمم المتحدة بشأن توفير الطاقة المستدامة للجميع (SE4ALL) – الإطار 11 للتتبع العالمي 36
الجدول 5: تدخلات الحصول على الطاقة والفوائد الإرشادية لكفاءة استخدام الطاقة – فرصة الحصول على الطاقة + كفاءة استخدام الطاقة في السياق 37
الجدول 6: خصائص حلول الطاقة المتجددة التي يمكن استخدامها في الشبكات المصغرة وخارج الشبكة، 2013/2012.....39
الجدول 7: تصنيف السياسات 75

تمهيد

تؤدي تكنولوجيا المعلومات والاتصالات (ICT) دوراً حاسماً في تحقيق خطة التنمية المستدامة لعام 2030.

وتوفر الطاقة أمر لا غنى عنه لقطاع الاتصالات وتكنولوجيا المعلومات وخدماته وتطبيقاته. وثمة حاجة إلى الكهرباء بالنسبة لمعظم أجهزة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، وإعادة شحن الأجهزة، وتشغيل المحطات القاعدة المتنقلة، وتشغيل مراكز البيانات وعمليات الشبكة، على سبيل المثال لا الحصر. ولا يزال الحصول على الكهرباء الموثوقة والميسورة التكلفة يشكل عائقاً رئيسياً، لا سيما في أقل البلدان نمواً في العالم (LDC) والبلدان النامية غير الساحلية (LLDC)، والدول الجزرية الصغيرة النامية (SIDS)، وفي المناطق الريفية والنائية، حيث يستفيد الناس أكثر من القدرة التحويلية لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات، ولكن حيث يكون النفاذ إلى شبكة الكهرباء نادراً والدخل منخفضاً.

وهناك علاقة تكافلية بين الطاقة وتوصيلية الإنترنت في المواقع التي لا تزال غير موصولة، لا سيما لأن نماذج الأعمال خارج تغطية الشبكة الكهربائية، تعتمد على التوصيلية لأغراض الإدارة عن بُعد. وعلاوة على ذلك، تستفيد نماذج أعمال التوصيلية من زيادة استعمال الخدمات المتنقلة، وخاصة الخدمات المالية.

ويمكن أيضاً الاستفادة من شبكات الكهرباء لتوسيع الشبكات الأساسية عريضة النطاق الوطنية والريفية. ويمكن أن يكون تقاسم البنية التحتية وإعادة استخدامها أداة مهمة لتوفير التكاليف وتوسيع الخدمات، وبالتالي تسليط الضوء على أهمية التعاون والتنسيق بين قطاعي تكنولوجيا المعلومات والاتصالات والطاقة لتوصيل المناطق الريفية.

على الرغم من وجود طائفة واسعة من مصادر الطاقة المتجددة، يمكن أن يكون توصيل هذه الطاقة باستخدام الأساليب التقليدية مكلفاً. وغالباً ما تؤدي التكاليف الباهظة لتركيب وصيانة الخطوط والكبلات الكهربائية إلى ترك العديد من الناس في المناطق الريفية بدون مصدر طاقة موثوق. وفي مثل هذه الحالات، يمكن أن توفر تكنولوجيات الاتصالات الفضائية والساتلية الجديدة عريضة النطاق، والحلول المبتكرة مثل أنظمة إرسال الطاقة لا سلكياً، سبيلاً إلى توصيلية إنترنت فعالة من حيث التكلفة.

ويلتزم الاتحاد بالعمل مع أصحاب المصلحة من أجل تحسين توصيلية الإنترنت عريضة النطاق، وإيجاد طرق مبتكرة لتزويد المناطق الريفية والمناطق النائية بالطاقة النظيفة بأمان وكفاءة، وتحقيق الأهداف المتعلقة بالمناخ المنصوص عليها في اتفاق باريس لعام 2015.

وندعو الحكومات وواضعي السياسات والمنظمين إلى استعراض خططهم الوطنية بشأن النطاق العريض وفقاً لذلك. وصُممت المبادئ التوجيهية الواردة في هذه الوثيقة لمساعدة الدول الأعضاء والهيئات التنظيمية وأصحاب المصلحة من القطاع الخاص في تحديث شبكاتهم ودمج الاستخدام المناسب للشبكات الحديثة والأكثر كفاءة في استهلاك الطاقة، بما في ذلك الطاقة الكهربائية اللاسلكية (نقل الطاقة الكهربائية دون أسلاك) والاتصالات بالخطوط الكهربائية. وعلى وجه الخصوص، ستكون المبادئ التوجيهية مفيدة لبرنامج التوصيل في 2030 للاتحاد، من أجل توصيل كل مدرسة، وكل مستشفى، وكل إدارة، وكل قطاع أعمال، وكل مؤسسة مجتمعية بالإنترنت، وبهدف دعم البلدان للاستعداد لتطوير تكنولوجيا معلومات واتصالات مراعية للبيئة ومجتمعات ذكية مراعية للبيئة وشبكات ذكية من شأنها أن تساعد في بناء أنظمة طاقة أكثر قابليةً للتحكم وأكثر كفاءة.

الدكتور كوسماس لاكيسون زافازافا
مدير مكتب تنمية الاتصالات (BDT)
الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU)

ملخص تنفيذي

الحصول على الكهرباء أمر أساسي لسد الفجوة الرقمية في المناطق الريفية وتطوير مجتمع معلومات للجميع. ولا يزال توافر شبكة الكهرباء الموثوق بها والميسورة التكلفة يشكل عائقاً رئيسياً، لا سيما في أقل البلدان نمواً في العالم (LDC) والبلدان النامية غير الساحلية (LLDC) والدول الجزرية الصغيرة النامية (SIDS)، وخاصة في المناطق الريفية والنائية. ويؤدي الحصول على الكهرباء والتوصيلية عريضة النطاق، بما في ذلك الخدمات والتطبيقات القائمة على تكنولوجيا المعلومات والاتصالات (ICT)، دوراً تمكينياً هاماً في الجهود الرامية إلى تحقيق أهداف التنمية المستدامة (SDG) وتوصيل 2,7 مليار شخص حول العالم لا يتمتعون بالنفاذ إلى الإنترنت في الوقت الحالي.

وبدون كهرباء، لا يمكن للناس النفاذ إلى الإنترنت وبالتالي الاستفادة من التحول الرقمي للاقتصاد الحديث، بما في ذلك قطاعات التعليم والصحة والزراعة والتجارة.

ويتطرق هذا التقرير إلى التحديات المتعلقة بإتاحة الوصول إلى الكهرباء، وهو أمر بالغ الأهمية لتوصيل المناطق الريفية بالإنترنت.

عدم الحصول على الكهرباء في المناطق الريفية - التحدي الأساسي

- النفاذ إلى شبكة الكهرباء:
  - غير متوفر
  - لا يمكن التعويل عليه
  - لا يمكن تحمل تكلفته.
- توسيع الشبكة لتشمل المناطق الريفية والنائية غير مجد اقتصادياً، وذلك للأسباب التالية:
  - شبكات نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية باهظة التكلفة وواسعة
  - كثافة سكانية منخفضة، سكان متناثرون، منازل متفرقة
  - سكان فقراء – تعريفات منخفضة
  - ضعف العائد على الاستثمار
  - نقص الاستثمارات في البنية التحتية والتمويل.

تحديات البنية التحتية لكهربة المناطق الريفية

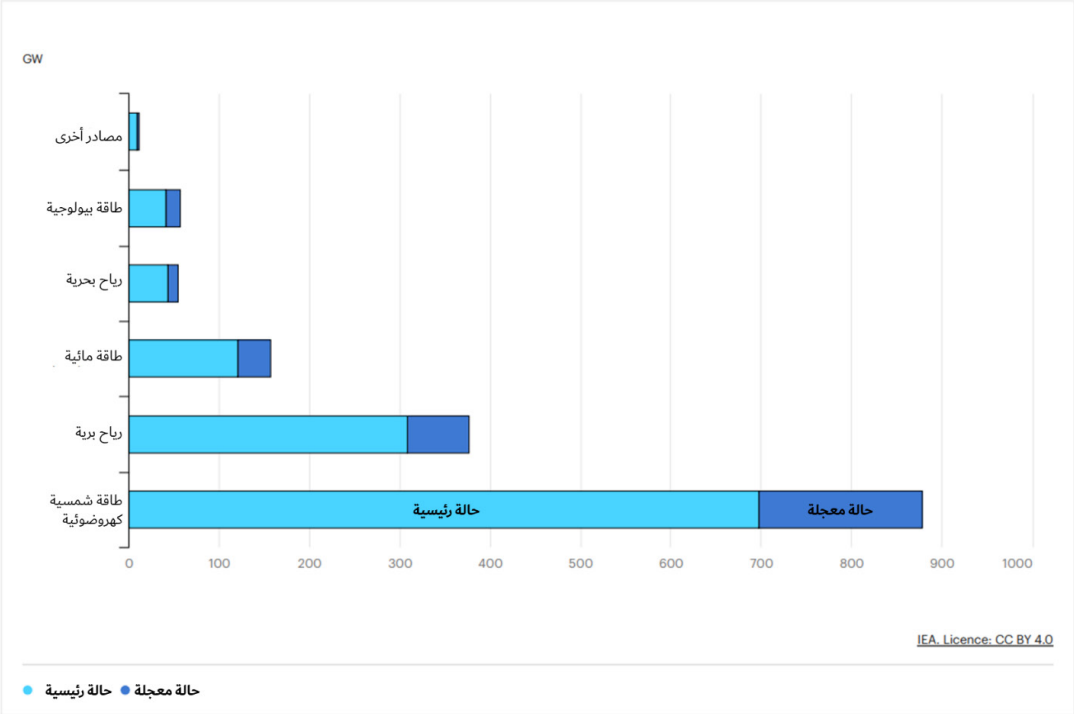
- الجغرافيا والتضاريس النائية والصعبة
- عدم وجود بنية تحتية مجاورة موثوقة وميسورة التكلفة وآمنة مثل شبكة الكهرباء
- عدم وجود تغطية الإنترنت المتنقلة أو شبكات النفاذ اللاسلكي الثابت عريض النطاق، وعدم النفاذ إلى عرض النطاق الدولي
- عدم وجود مرافق تكنولوجيا المعلومات والاتصالات في المجتمعات المحلية الريفية
- مواقع محدودة وبعيدة لشحن الطاقة للأجهزة المتنقلة وأجهزة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات الموصولة بالإنترنت
- حلول محدودة للطاقة خارج الشبكة – إمداد غير موثوق به لمولدات الديزل، وحلول الطاقة المتجددة المتقطعة.

تحديات توسيع شبكة الكهرباء في المناطق الريفية

- لا يمكن تمديد شبكة الكهرباء الوطنية إلا في المناطق المكتظة بالسكان
- هناك حاجة إلى طلب محتمل كافٍ لتبرير تكاليف الاستثمار المرتفعة لخطوط النقل والتوزيع

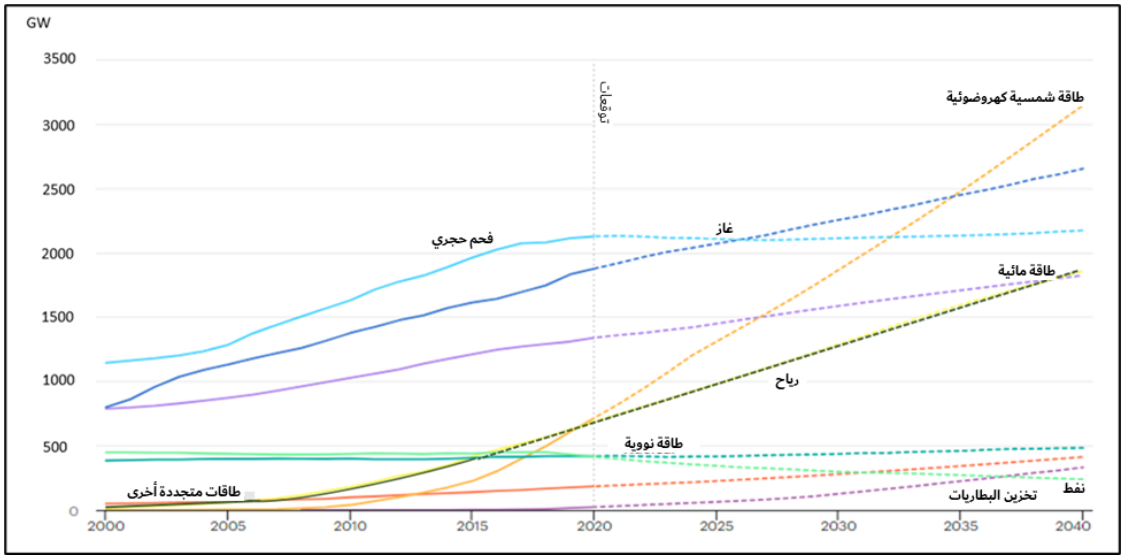
- تعريفات الكهرباء بالتجزئة القائمة على الشبكة – التعريفات المدعومة وغير المدعومة.

لتحسين فرص الحصول على الكهرباء، هناك حاجة إلى حلول مستدامة ومبتكرة للطاقة من أجل التوصيلية الريفية تركز على مصادر الطاقة المتجددة لكهربة المناطق الريفية؛ ومصادر أقل تكلفة مثل الطاقة الشمسية (الخلايا الكهروضوئية) والرياح، وغيرها من مصادر الطاقة النظيفة (الطاقة الكهرومائية، والطاقة الحرارية، والكتلة الحيوية). ويوضح الرسم البياني أدناه توقعات نمو قدرة الطاقة المتجددة في العالم بين عامي 2019 و2024.



المصدر: وكالة الطاقة الدولية، نمو الطاقة المتجددة بين عامي 2019 و2024 حسب التكنولوجيا.

قدرة توليد الطاقة المركبة والمتوقعة، حسب المصدر، 2000-2040



في هذا السياق، يمكن النظر في تكنولوجيات جديدة من قبيل إرسال الطاقة لاسلكياً (WPT) لتوفير النفاذ الفعال من حيث التكلفة إلى الإنترنت. وتركز معايير الاتحاد بشأن حلول الطاقة الذكية مثل التوصية ITU-T L.1380 على حلول الطاقة الذكية لمواقع الاتصالات، وبشكل رئيسي على الأداء والسلامة وكفاءة استهلاك الطاقة والآثار البيئية للأنظمة التي تغذيها الطاقة المستمدة من مصادر مثل الخلايا الكهروضوئية (PV) وتوربينات الرياح وخلايا الوقود والشبكة. وتنظر التوصية أيضاً في التحكم الذكي في الطاقة. فعلى سبيل المثال إذا كانت الشبكة خارج

الخدمة، كيف يمكن إدارة تدفقات الطاقة لتحقيق كفاءة أكبر في استهلاك الطاقة، وكيفية الحصول على طاقة مراعية للبيئة.

وتعرف التوصية ITU-T L.1210 حلول التغذية بالطاقة لشبكات الجيل الخامس ومعدات وشبكات النفاذ اللاسلكي والسلكي المتقاربة، مع مراعاة متطلباتها المعززة فيما يتعلق بتيسر الخدمة واعتماديتها وسيناريوهات النشر الجديدة، إلى جانب الأثر البيئي للحلول المقترحة. ويمكن تطبيق هذه التوصية على وسائل تشغيل عناصر شبكات النفاذ المتنقلة والثابتة، وخاصة المعدات التي لها تشكيلات واحتياجات متشابهة.

وتهدف التوصية ITU-T L.1382 إلى تسريع وتيرة نشر الشبكات وتقليل النفقات الرأسمالية (CAPEX) ونفقات التشغيل (OPEX) وتحقق المستوى الأمثل من الكفاءة في الاستثمار، وتسترشد بها صناعة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات في عمليات التحويل والتحسين. وستؤدي أيضاً معمارية الربط الشبكي الجديدة والتكنولوجيات والتوصيفات الجديدة المتعلقة بالإمداد بالطاقة، الواردة في التوصية إلى تعزيز تحسين تكنولوجيات الصناعة بفعالية.

وأخيراً وليس آخراً، يمكن توصيل مدخلات الطاقة المتعددة مثل الألواح الكهروضوئية والرياح وخلايا الوقود وشبكة الطاقة الكهربائية ومولدات الطاقة الكهربائية والبطاريات بنظام واحد. وتنظر التوصية ITU-T L.1381 في حلول التحكم الذكي لهذه المدخلات المختلفة للطاقة من أجل زيادة كفاءة استخدام الطاقة وخفض انبعاثات الكربون. وبالإضافة إلى ذلك، بالنسبة لأنظمة التبريد الذكية، تنظر التوصية في استخدام الهواء الخارجي لأغراض التبريد وسبل تحسين حلول التبريد لمعدات تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، بما في ذلك تبريد رفوف تكنولوجيا المعلومات والاتصالات وأساليب تبريد الصفوف والتبريد السائل.

1 خلفية

اعتمد المؤتمر العالمي لتنمية الاتصالات لعام 2022 (WTDC-22)، الذي عُقد في كيغالي، رواندا، "التوصيلية ميسورة التكلفة" كأولوية أولى لقطاع تنمية الاتصالات بالاتحاد (ITU-D). وينصب تركيز هذه الأولوية على استخدام توصيلية حديثة ومتيسرة وآمنة وقابلة للنفاذ وميسورة التكلفة من خلال نشر بنية تحتية وخدمات للاتصالات/تكنولوجيا المعلومات والاتصالات (ICT)، من أجل سد الفجوات الرقمية. وترمي هذه الأولوية إلى تعزيز تطوير البنية التحتية والخدمات من خلال استعمال خدمات وتكنولوجيات الاتصالات/تكنولوجيا المعلومات والاتصالات القائمة والجديدة والناشئة ونماذج الأعمال الجديدة. وفي هذه العملية، سيكون من بالغ الأهمية تقديم المساعدة إلى الدول الأعضاء من أجل تعزيز وتقوية الثقة والأمن في استخدام الاتصالات/تكنولوجيا المعلومات والاتصالات.

وفي الوقت الذي وصل فيه عدد سكان العالم إلى 8 مليارات نسمة في 15 نوفمبر 2022، كان ما يُقدّر بنحو 5,3 مليار شخص أي حوالي 66 في المائة من سكان العالم - يستخدمون الإنترنت بالفعل. ولكن هذا يترك نحو 2,7 مليار شخص في جميع أنحاء العالم غير موصولين تماماً، حيث لا تزال التوصيلية الشاملة احتمالاً بعيد المنال في أقل البلدان نمواً والبلدان النامية غير الساحلية حيث لا يستخدم الإنترنت سوى 36 في المائة من السكان، في المتوسط، وفقاً لطبعة الاتحاد لعام 2022 من تقرير حقائق وأرقام التي صدرت في 30 نوفمبر 2022.

وبينما تظهر البيانات نمواً بطيئاً، ولكن مطرداً في اشتراكات النطاق العريض الثابت، لا يزال الهاتف المحمول يهيمن باعتباره المنصة المفضلة للنفاذ عبر الإنترنت، خاصة في البلدان ذات الدخل المنخفض حيث يمكن أن تكون التوصيلات السلكية نادرة ومكلفة، خاصة بالنسبة لأولئك الذين يعيشون خارج المراكز الحضرية الرئيسية.[1]

وتستهلك التوصيلية الكثير من الطاقة ولن تتطور دون الحصول على الطاقة، ولا سيما مصادر الطاقة ميسورة التكلفة والموثوقة والقابلة للتطوير. ووفقاً للأمم المتحدة،[2] يواصل العالم التقدم نحو تحقيق أهداف الطاقة المستدامة. ولكن وتيرة التقدم الحالية غير كافية لتحقيق الهدف 7 من أهداف التنمية المستدامة (SDG 7)، الذي يسعى إلى ضمان حصول الجميع بتكلفة ميسورة على خدمات الطاقة الحديثة والموثوقة والمستدامة بحلول عام 2030. ولذلك، هناك حاجة إلى دفعة كبيرة.

وتهدف الغاية 1.7 من الهدف 7 من أهداف التنمية المستدامة إلى ضمان حصول الجميع بتكلفة ميسورة على خدمات الطاقة الحديثة الموثوقة؛ ويركز المؤشر 1.1.7 على نسبة السكان الذين يحصلون على الكهرباء. وتهدف الغاية 2.7 إلى تحقيق زيادة كبيرة في حصة الطاقة المتجددة في مجموعة مصادر الطاقة العالمية. وتهدف الغاية 3.7 إلى مضاعفة المعدل العالمي للتحسن في كفاءة استخدام الطاقة بحلول عام 2030.

وسيكون من الضروري بذل جهود متضافرة على الصعيد العالمي لتحقيق هدف التوصيلية الشاملة ميسورة التكلفة ولا سيما في البلدان النامية. ويركز العالم الآن على الجهود الرامية إلى تعزيز "التوصيلية الشاملة الهادفة" التي تسعى إلى تعزيز فوائد المشاركة عبر الإنترنت مع التخفيف من العيوب المحتملة للتوصيلية الرقمية. وأقرت لجنة النطاق العريض التابعة للأمم المتحدة والمعنية بالتنمية المستدامة في تقريرها لعام 2019 بأن النفاذ إلى النطاق العريض أمر بالغ الأهمية للجهود الرامية إلى تحقيق أهداف التنمية المستدامة. ويجب أن يكون النفاذ، بالإضافة إلى مجرد كونه متاحاً، متيسراً وملائماً وميسور التكلفة، كما يجب أن يكون آمناً وموثوقاً ويتيح تمكين المستعملين، ويحدث تأثيراً إيجابياً.[3]

وإن الإقبال على خدمات النطاق العريض مقيد بالدرجة الأولى بواقع أن معظم السكان غير الموصولين يعيشون في المناطق الريفية والمناطق النائية دون الوصول إلى شبكة الكهرباء، التي من شأنها أن توفر مصدراً للطاقة ميسور التكلفة للمحطات القاعدة المتنقلة. وحدد الاتحاد أن التوسع في خدمات الاتصالات الرقمية في المناطق الريفية والنائية مدفوع في المقام الأول بالاعتبارات التكنولوجية والاقتصادية المتعلقة بتوفير الخدمات المتنقلة.

وعلاوة على ذلك، وبعيداً عن الاعتبارات الاقتصادية والتكنولوجية، فإن التوسع في التغلغل الرقمي هو المفتاح لتحقيق العديد من أهداف التنمية المستدامة، كتلك المتعلقة بالتعليم والصحة والتمويل وتمكين المرأة والوصول إلى المعرفة والخدمات والسلع. ويهدف الابتكار التكنولوجي في مجالات التكنولوجيا النظيفة إلى سد الفجوة الرقمية.

---

[1] الاتحاد الدولي للاتصالات، قياس التنمية الرقمية: حقائق وأرقام، 2022.
[2] الأمم المتحدة: تقرير أهداف التنمية المستدامة لعام 2022.
[3] الاتحاد الدولي للاتصالات/الأمم المتحدة، الاتحاد الدولي للاتصالات/اليونسكو، حالة النطاق العريض: النطاق العريض كأساس للتنمية المستدامة، الاتحاد الدولي للاتصالات/اليونسكو، 2019.

2 مقدمة

النفاذ إلى الإنترنت عريضة النطاق لديه القدرة على تغيير الحياة واستحداث الفرص، مع إحداث تأثير اقتصادي واجتماعي إيجابي على المجتمعات والأسر.[4]، [5] ويمكن لإرسال البيانات عالي الجودة والسرعة أن يعزز التغير الهيكلي في قطاعات الاقتصاد الحيوية. فالنفاذ إلى النطاق العريض ليس مجرد وسيلة من وسائل الراحة، بل يمكنه أن يتيح للمجتمعات التي لا تقدم فيها خدمات كافية أو لا تقدم فيها خدمات أصلاً إمكانية النفاذ إلى المعلومات والخدمات الحيوية وأن يوفر فرصاً تعود بالفائدة على الأعمال التجارية المجتمعية والتعليم والصحة وسبل العيش.

وترى لجنة النطاق العريض المعنية بالتنمية المستدامة أن النطاق العريض أمر أساسي لمواجهة التحديات العالمية التي يُسلط عليها الضوء في إطار أهداف التنمية المستدامة. وترى اللجنة أن النطاق العريض من أقوى الأدوات وأكثرها فعالية لتنفيذ الحلول التحويلية لتشجيع التنمية المستدامة، ومعالجة المساواة بين الجنسين وتعزيز إقامة اقتصاد منخفض الكربون.

تشير تقديرات الاتحاد إلى أن 66% من سكان العالم، أو 5,3 مليار نسمة استخدموا الإنترنت في عام 2022[6] (انظر الشكل 1). وعلى المستوى الإقليمي، يستخدم الإنترنت ما بين 80 و90 في المائة من السكان في بلدان أوروبا وكومنولث الدول المستقلة والأمريكتين. وفي بلدان منطقتي الدول العربية والمحيط الهادئ، يستخدم الإنترنت حوالي ثلثي السكان (أي 70 و64 في المائة على التوالي)، في حين أن المتوسط في إفريقيا لا يتجاوز 40 في المائة من السكان.

وعند تصنيف البلدان حسب مستوى تنميتها، تظل التوصيلية الشاملة احتمالاً بعيد المنال في أقل البلدان نمواً والبلدان النامية غير الساحلية، حيث إن 36 في المائة فقط من السكان يستعملون الإنترنت حالياً (انظر الشكل 2). كما أن عدم المساواة في النفاذ إلى التوصيلات الثابتة عبر البلدان أعلى بكثير مما هو عليه بالنسبة للتوصيلية المتنقلة. وعلى الرغم من أن التوصيلات الثابتة شائعة بين الأسر في البلدان ذات الدخل المتوسط الأعلى والبلدان ذات الدخل المرتفع، فإنها تكاد تكون منعدمة في البلدان ذات الدخل المنخفض، نظراً لارتفاع الأسعار والافتقار إلى البنية التحتية.

وتدرك الحكومات ودوائر الصناعة والمجتمعات أن نقص الحصول على الكهرباء بتكلفة معقولة يشكل عائقاً رئيسياً أمام زيادة انتشار خدمات النطاق العريض في المناطق الريفية والمناطق النائية في البلدان النامية.[7] ونتيجة لذلك، فإن توفير النفاذ إلى الطاقة ميسورة التكلفة في هذه المجتمعات شحيحة الخدمات و/أو المحرومة من الخدمات خطوة حاسمة نحو ضمان النفاذ الشامل إلى خدمات النطاق العريض.

ويتيح نمو قطاع الطاقة المتجددة فرصاً هائلة لتنفيذ حلول الطاقة النظيفة خارج الشبكة من مصادر محلية باستعمال الطاقة الشمسية وطاقة الرياح ومصادر الطاقة المتجددة الأخرى. وإن النفاذ إلى هذه الأشكال الموثوقة وميسورة التكلفة من الطاقة لا يقلل من تكاليف تشغيل مواقع الاتصالات ومرافق تكنولوجيا المعلومات والاتصالات فحسب، بل يسهم أيضاً في التخفيف من حدة الفقر ويعزز التنمية الاجتماعية والاقتصادية للمجتمعات الريفية؛

---

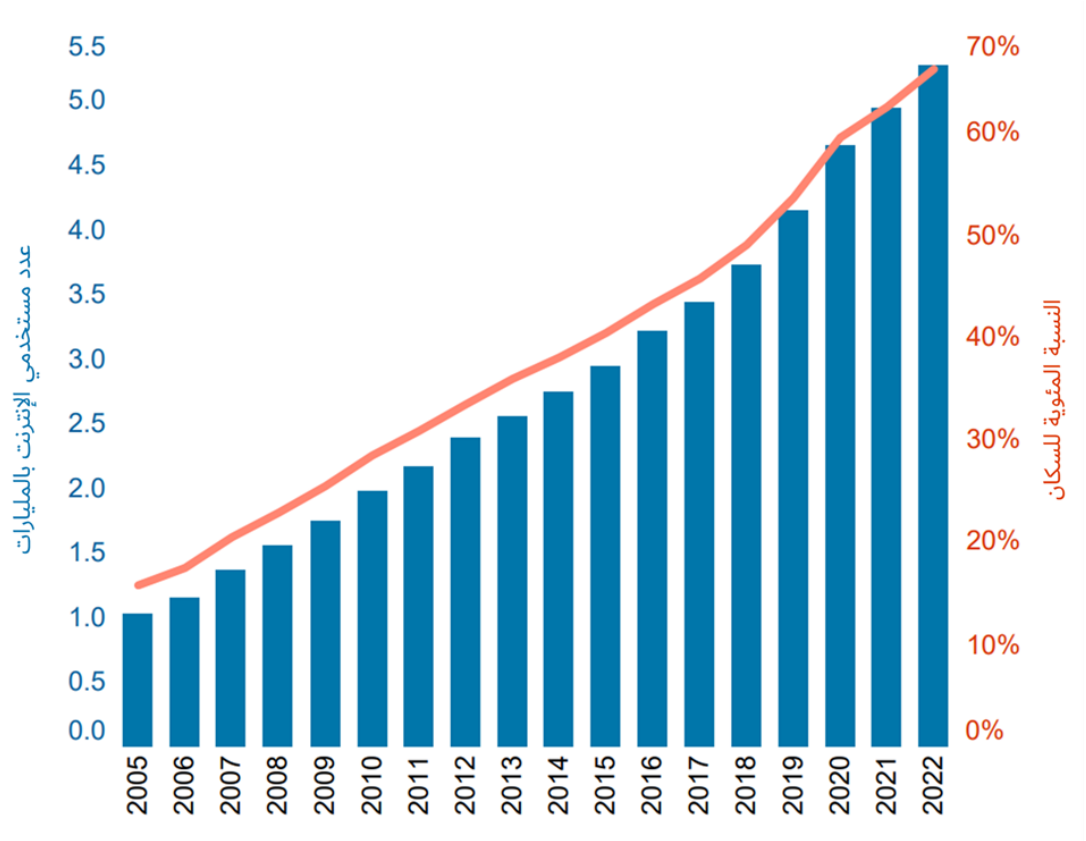
[4] منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، *النطاق العريض والاقتصاد، التقرير الوزاري التمهيدي* /DSTI/ICCP/IE(2007)3 FINAL.

[5] البنك الدولي، *التوصيل من أجل الشمول: إتاحة النطاق العريض للجميع*، 18 سبتمبر 2015.

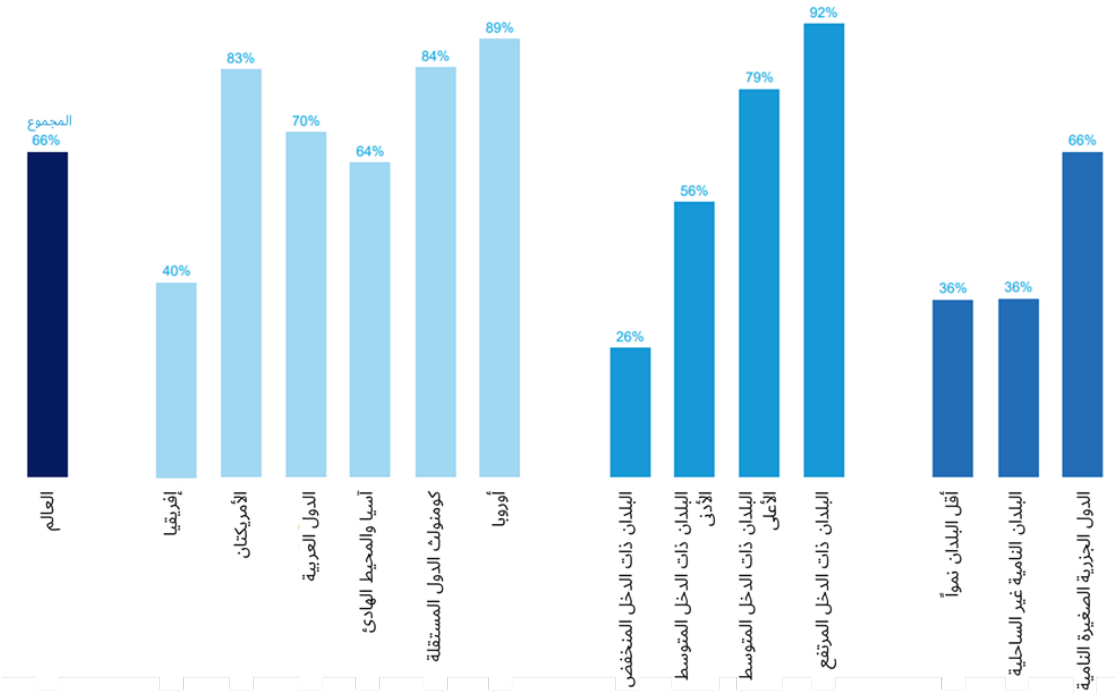
[6] الاتحاد الدولي للاتصالات، قياس التنمية الرقمية: حقائق وأرقام، 2022.

[7] http://broadbandcommission.org/Documents/ITU_discussion-paper_Davos2017.pdf

الشكل 1: الأفراد الذين يستخدمون الإنترنت، 2005-2022



الشكل 2: النسبة المئوية للأفراد الذين يستخدمون الإنترنت، 2022



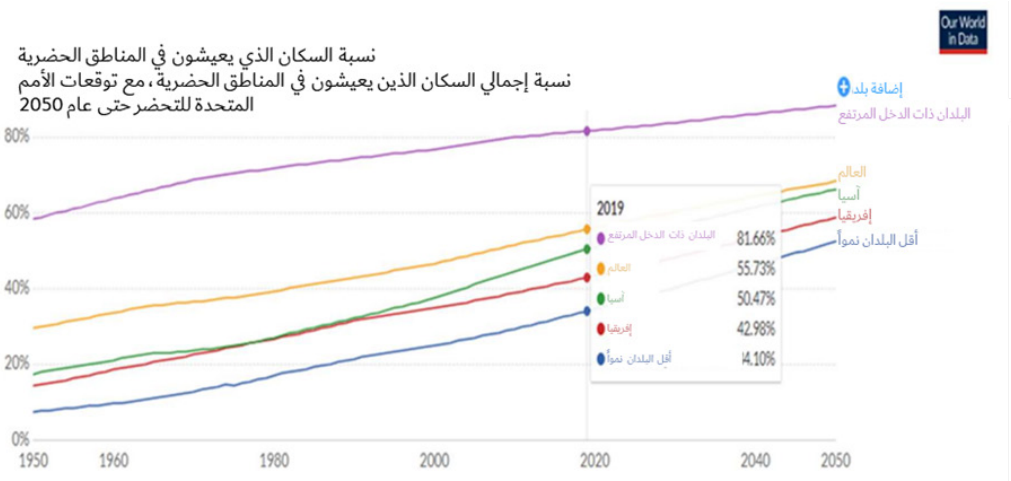
3 حالة النفاذ إلى النطاق العريض في المناطق الريفية

1.3 التحضر – هجرة السكان من المناطق الريفية

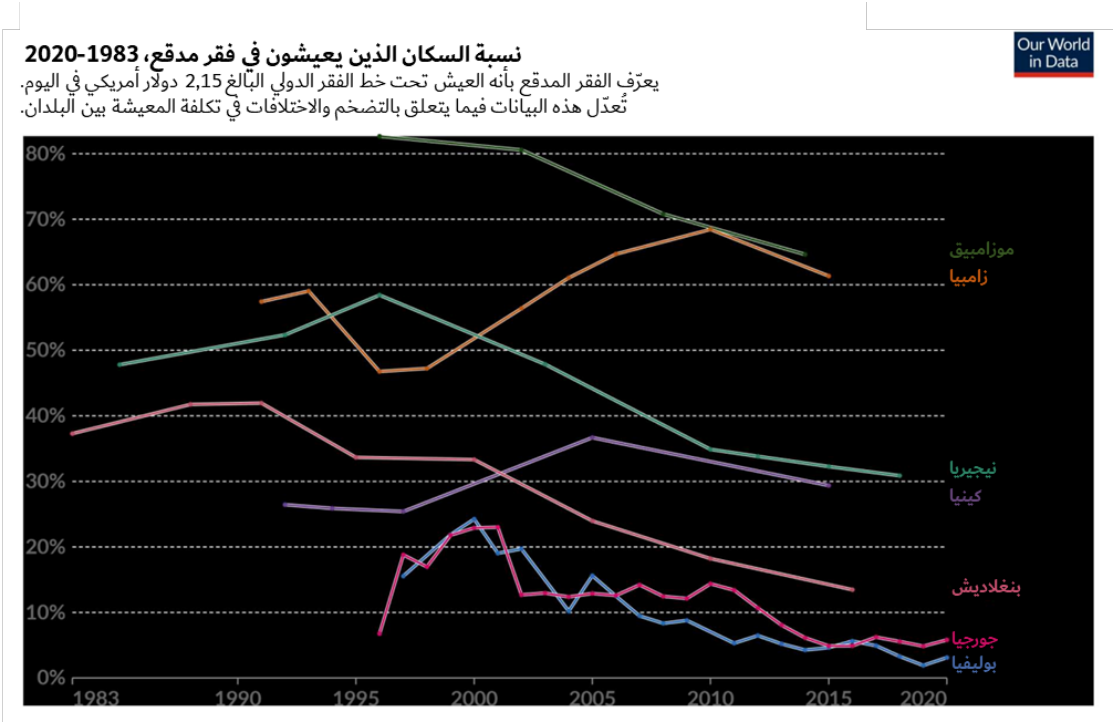
وفقاً لإحصاءات الأمم المتحدة، كان 4,2 مليار شخص، أو 55 في المائة من سكان العالم يعيشون في المناطق الحضرية في عام 2018. وبلغ مستوى التحضر في آسيا حوالي 50 في المائة، في حين لا تزال إفريقيا ريفية في معظمها، حيث يعيش 43 في المائة من سكانها في المناطق الحضرية (انظر الشكل 3).

وتتنبأ توقعات الأمم المتحدة بنزوح السكان تدريجياً من المناطق الريفية إلى المناطق الحضرية، مما قد يؤدي إلى انتقال 2,5 مليار شخص إضافي إلى المناطق الحضرية بحلول عام 2050. ومن المتوقع أن تحدث معظم هذه الزيادة (التي تقدّر بنسبة 90 في المائة) في آسيا وإفريقيا. وعلى الصعيد العالمي، بلغ عدد سكان المناطق الريفية 3,4 مليار نسمة في عام 2018؛ وبعد عدة سنوات أخرى من النمو – كما هو مبين في الشكل 4 - من المتوقع أن ينخفض إلى 3,1 مليار بحلول عام 2050.

الشكل 3: نسبة السكان الذين يعيشون في المناطق الحضرية



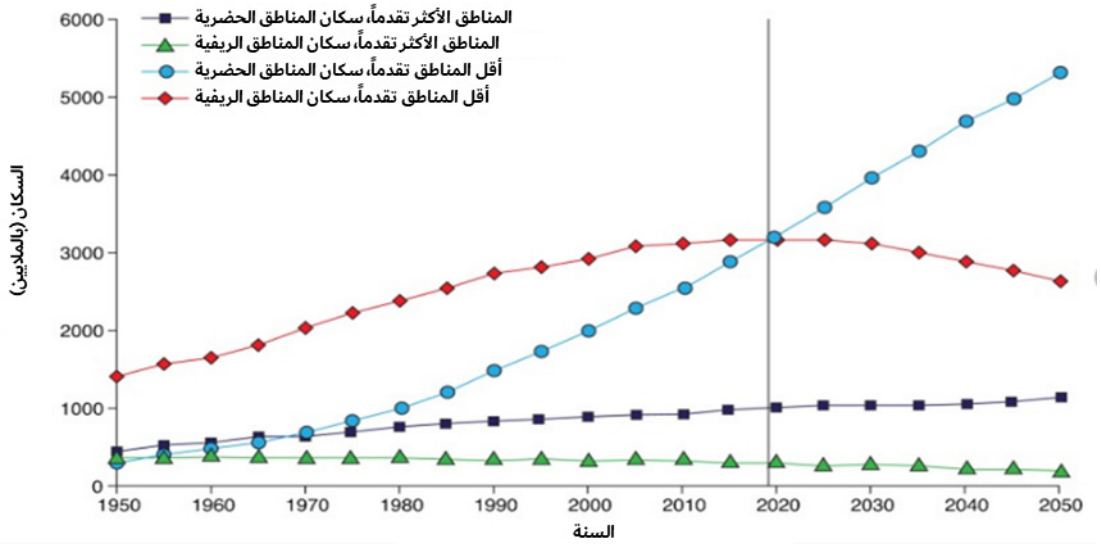
المصدر: Our World in Data https://ourworldindata.org



المصدر: منصة البنك الدولي لمكافحة الفقر وعدم المساواة

ملاحظة: تُقاس هذه البيانات بالدولار الأمريكي الدولي بأسعار عام 2017. وتتعلق بنصيب الفرد من الدخل أو النفقات المتاحة (تختلف التعاريف الدقيقة).

الشكل 4: نسبة السكان الذين يعيشون في المناطق الحضرية



المصدر: منشور "Our World in Data"، استناداً إلى توقعات الأمم المتحدة بشأن التحضر في العالم لعام 2018 والمصادر التاريخية. تستند المناطق الحضرية إلى التعاريف الوطنية.

2.3 البنية التحتية في المناطق الريفية

يؤدي الاستثمار في البنية التحتية دوراً رئيسياً في التنمية الاقتصادية: إن الطرق وتوليد الكهرباء وإمداداتها والمرافق الأخرى والاتصالات والبنية التحتية الرقمية للنطاق العريض كلها عوامل تدعم جهود التنمية المستدامة والتحول الاقتصادي للاقتصادات الناشئة. ولتعزيز الرخاء المشترك، لا بد من تقاسم الفوائد الاجتماعية والاقتصادية التي يتمتع بها سكان المناطق الحضرية بشكل منصف مع سكان المناطق الريفية للحد من النزوح من المناطق

الريفية إلى المناطق الحضرية. ولضمان أن تكون فوائد التنمية الاقتصادية والمجتمع الرقمي متاحة لجميع المواطنين، سواء كانوا يعيشون في مجتمعات حضرية أو ريفية أو جزرية نائية، من المهم تطوير بنية تحتية حضرية-ريفية مترابطة ومتكاملة تمكّن من سد الفجوة بين سكان الحضر ذوي الدخل المرتفع والمجتمعات الأكثر فقراً.

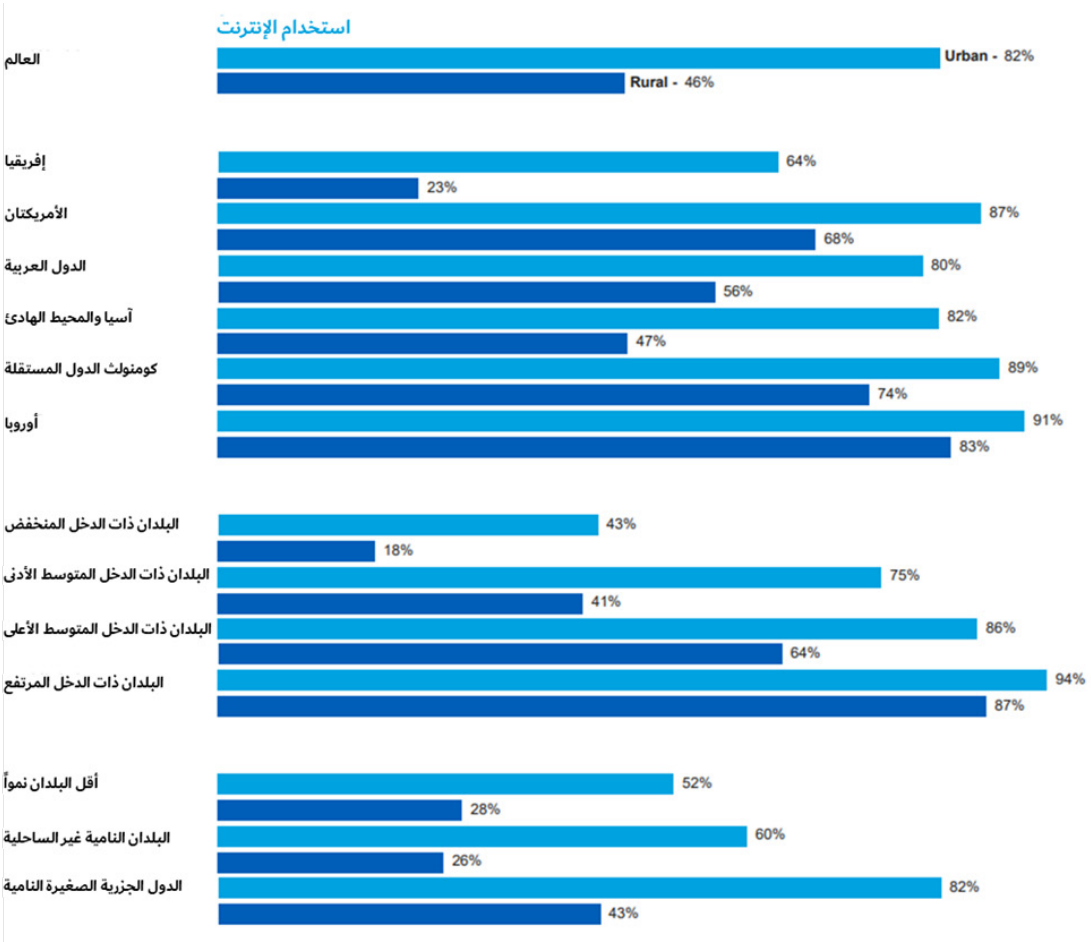
وعدم الحصول على الكهرباء في المناطق الريفية له تأثير سلبي على التنمية الاقتصادية والاجتماعية، مما يؤدي إلى ندرة الفرص المتاحة. وسيؤدي الحصول على الكهرباء بأسعار معقولة والبنية التحتية عريضة النطاق إلى جلب القوة التحويلية للاقتصادي الرقمي إلى المجتمعات الريفية والنائية والجزرية.

وكمثال لذلك، فإن 620 مما مجموعه 900 مليون شخص في إفريقيا لا يحصلون على الكهرباء حالياً. ويترجم ذلك إلى نقطتين مئويتين من النمو المفقود كل عام ومليارات الدولارات التي تنفق على الوقود الأحفوري لتشغيل المولدات الملوثة. وسيكلف التوسع الضروري لشبكات الكهرباء في جميع أنحاء إفريقيا 63 مليار دولار أمريكي سنوياً حتى عام 2030. بيد أن 8 مليارات دولار أمريكي فقط تُنفق سنوياً. وبدون التنفيذ التدريجي لحلول الطاقة المبتكرة، سيكون هناك قريباً 300 000 برج في إفريقيا تعتمد على الديزل.

3.3 الفجوة بين المناطق الحضرية والمناطق الريفية في النفاذ إلى الإنترنت – السكان غير الموصولين في البلدان النامية

في عام 2022، تمكّن ثلثا سكان العالم من النفاذ إلى الإنترنت، مما مكّنهم من المشاركة في الاقتصاد الرقمي العالمي والاستفادة من الفرص الاجتماعية والاقتصادية التحويلية للنظام الإيكولوجي الرقمي. بيد أن ثلث سكان العالم لا يزالون غير موصولين بالإنترنت ومحرومين من فوائد العصر الرقمي.

الشكل 5: النسبة المئوية للأفراد الذين يستخدمون الإنترنت في المناطق الحضرية والمناطق الريفية، 2022



سيتيح النفاذ إلى الخدمات الرقمية عريضة النطاق في المجتمعات التي تعاني من نقص في الخدمات التخفيف من بعض العيوب الاقتصادية والاجتماعية التي تواجهها المجتمعات غير الموصولة بالإنترنت. وستزدهر المشاريع الريفية والصناعات المنزلية، حيث ستكون قادرة على النفاذ إلى مجموعة واسعة من الخدمات وتقديمها على نحو أكثر كفاءة وفعالية، مما سيجعلها مجهزة بشكل أفضل للمنافسة في الأسواق الأوسع.

أدى التوسع في تغطية شبكة الاتصالات المتنقلة في جميع أنحاء العالم إلى زيادة في خدمات بيانات الإنترنت بفضل توافر الأجهزة بأسعار معقولة، وخطط البيانات الأرخص، وزيادة استخدام الإنترنت من قبل الطبقة المتنامية التي تستطيع استخدام الخدمات المعروضة وتحمل تكاليفها.[8] ويمثل سد الفجوة الرقمية بين المناطق الحضرية والمناطق الريفية عن طريق توصيل غير الموصولين أولوية بالنسبة للجنة النطاق العريض المعنية بالتنمية المستدامة.

4.3 تحقيق التوصيلية الشاملة

تتوقع لجنة النطاق العريض المعنية بالتنمية المستدامة أن تحقيق الاعتماد الكامل للإنترنت سيستغرق أكثر من عقدين من الزمن. وخلال هذه الفترة، سيجري تطوير "إنترنت الأشياء" على نطاق واسع الأمر الذي سيبشر بالثورة الصناعية الرابعة على حد وصف كلاوس شواب – حيث تدمج مجموعة من التكنولوجيات الجديدة معاً العوالم المادية والرقمية والبيولوجية، مما يؤثر على جميع التخصصات والاقتصادات والصناعات.[9] وستعتمد هذه التطورات اعتماداً كبيراً على توسيع شبكة الإنترنت لضمان التوصيلية الشاملة.

وأصبح النطاق العريض حجر الزاوية للبنية التحتية الذكية وتقوم الحكومات الوطنية بوضع أهداف ترمي إلى تحقيق النفاذ الشامل إلى خدمات النطاق العريض.

5.3 البنية التحتية للنطاق العريض في المناطق الريفية

ثمة حاجة إلى استراتيجيات وسياسات فعالة من أجل تقليص فجوات الاستخدام في المناطق النامية في العالم، ولا سيما في المناطق الريفية. ويمكن تكرار الحلول الناجحة وتوسيع نطاقها لتحسين توصيلية عدد كبير من السكان في المناطق الريفية غير الموصولين بأقل قدر من التكاليف.

وتتعلق التحديات الرئيسية المطروحة أمام توفير خدمات الاتصالات في المناطق الريفية بالاعتبارات التكنولوجية والاقتصادية. وتشمل تكنولوجيات الإرسال الرئيسية لخدمات الإنترنت عريضة النطاق ما يلي: أنظمة الألياف البصرية؛ وشبكات الكبلات النحاسية DSL/المحورية (xDSL)؛ وشبكات النطاق العريض المتنقلة الخلوية للأرض؛ والموجات الصغرية الأرضية - شبكات النفاذ اللاسلكي الثابت والشبكات الساتلية. ولكل من هذه التكنولوجيات نقاط قوة وقيود محددة تؤثر، إلى جانب البيئة التنظيمية وأهداف العمل ونظام التمويل، على المكان الأفضل لنشرها.

وفي المناطق الحضرية، تتمثل حلول البنية التحتية السلكية مثل الألياف البصرية والكبلات المحورية ("coax") والكبلات DSL النحاسية في تكنولوجيات النطاق العريض التي يتم اختيارها في الغالب لتوفير خدمات الإنترنت للمنازل ومنشآت الأعمال.

وفي المناطق الريفية، غالباً ما تكون التكنولوجيات اللاسلكية، بما في ذلك الشبكات المتنقلة الخلوية وشبكات النفاذ اللاسلكي الثابت والتكنولوجيات الساتلية، أكثر فعالية من حيث التكلفة وتسمح ببدء نشر خدمات نفاذ عريض النطاق بأسعار معقولة.[10] وتعد حلول توصيلية الوصلات الوسيطة، باستخدام التكنولوجيات الراديوية بالموجات الصغرية والموجات الميلليمترية، أكثر التكنولوجيات فعالية من حيث التكلفة وكفاءة لتوصيل المجتمعات الريفية والنائية بالشبكة الأساسية (انظر الشكل 6). وتوصّل الوصلات الوسيطة عدة عقد نفاذ متناثرة جغرافياً، مما يؤدي إلى تجميع الحركة المحلية في البلدة أو المنطقة الريفية نحو الشبكة الأساسية.

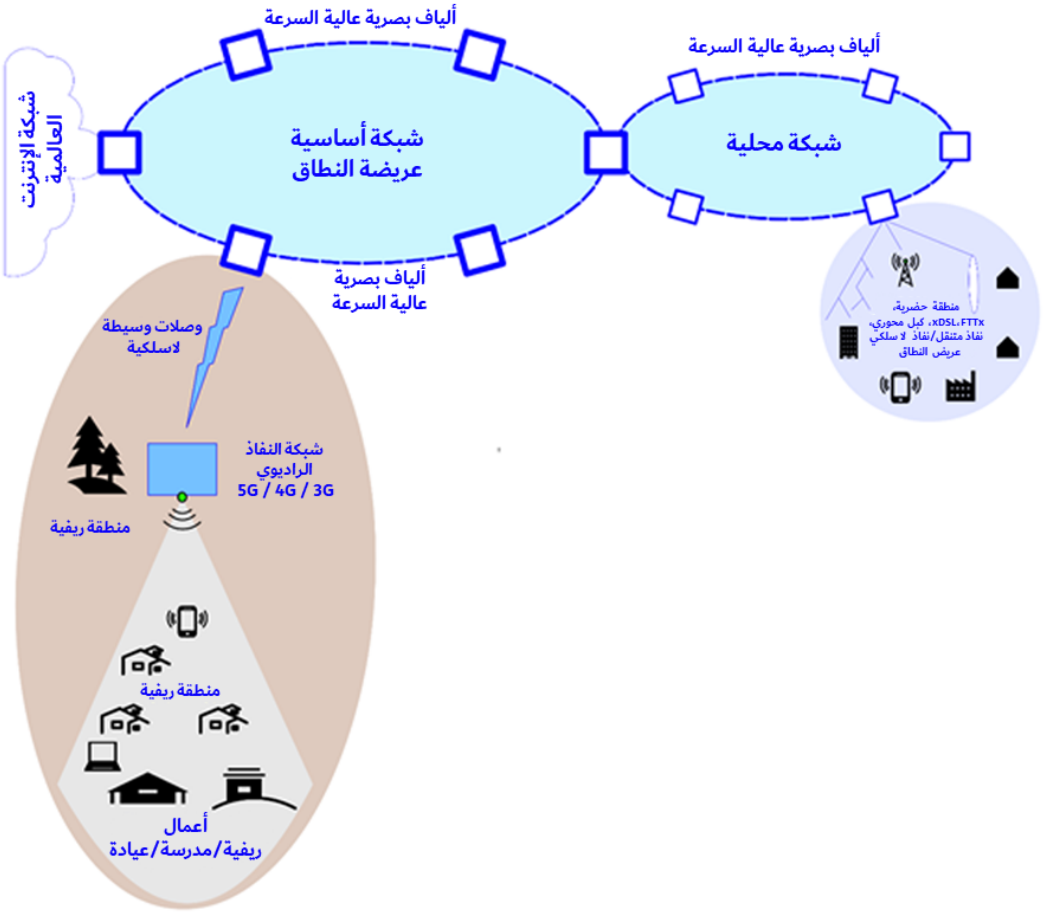
---

[8] McKinsey&Company، 2014، offline-and-falling-behind-barriers-to-internet-adoption.

[9] https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab

[10] الصفحة الإلكترونية لقطاع تنمية الاتصالات بشأن المبادرات المتعلقة بالمناطق الريفية: http://www.itu.int/en/ITU-D/Technology/Pages/RuralCommunications.aspx

الشكل 6: تصميم شبكة الاتصالات



على الرغم من أن تكنولوجيا الألياف البصرية توفر أعلى سعة على المدى الطويل، فإن تكاليف الإنشاء المرتفعة (الحفر والتخطيط والتصاريح، وما إلى ذلك) والمهلة الزمنية الطويلة التي تتطلبها تجعلها غير عملية كحل للبنية التحتية الريفية ميسورة التكلفة. بيد أنه يمكن استخدام تكنولوجيا الألياف البصرية لتوسيع البنية التحتية المشتركة عريضة النطاق ذات السعة العالية جداً، من الشبكة الأساسية - عبر مسافات كبيرة - إلى المراكز الإقليمية ونقاط التجميع في البلد. وغالباً ما تُستخدم من أجل الشبكات الأساسية لتوصيل مختلف القطاعات الأساسية والبلديات والمناطق الإقليمية.

1.5.3 شبكات النفاذ اللاسلكي

من مزايا استخدام تكنولوجيات النفاذ اللاسلكي الثابت والمتنقل في المناطق الريفية ما يلي:

- سرعة التسويق – حيث يكون النشر أقل تعقيداً وتكلفة من التكنولوجيا السلكية ويمكن للمشتركين دخول الشبكة بسرعة أكبر مما تتيحه تكنولوجيا الألياف البصرية، ويمكن للشبكات اللاسلكية أن تحقق عائداً سريعاً على الاستثمار؛
- سهولة النشر – النفاذ اللاسلكي مناسب للمناطق قليلة السكان أو المناطق النائية، وكذلك للبيئات الحضرية وشبه الحضرية، ويمكن استخدامه في مجموعة متنوعة من سيناريوهات النشر؛
- التوصيل والتشغيل – سهولة تركيب مطاريف النفاذ اللاسلكي الثابت؛
- تكاليف منخفضة – يمكن تكييف أبراج الهواتف الخلوية القائمة لتوفير النفاذ اللاسلكي الثابت والهوائيات المتنقلة على السواء.

الجدول 1: مقارنة السرعة النموذجية لخدمة النطاق العريض الثابت

التكنولوجيا	معدل الذروة	متوسط معدل المستعمل
مرسلات مستقبلات خط مشترك رقمي عالي السرعة جداً – الإصدار 2 (VDSL2)	Mbit/s 200	Mbit/s 30
تكنولوجيا النفاذ اللاسلكي الثابت LTE	Mbit/s 600	Mbit/s 50
تكنولوجيا النفاذ بتوصيل الألياف إلى المنازل	Gbit/s 1	Mbit/s 100
المصدر: Ovum		

2.5.3 التغطية الخلوية المتنقلة

النطاق العريض المتنقل (3G أو أعلى) هو الطريقة الرئيسية - وغالباً ما تكون الطريقة الوحيدة - للتوصيل بالإنترنت في معظم البلدان النامية. واليوم، تشمل تغطية الشبكة 3G أو أعلى 95 في المائة من سكان العالم.

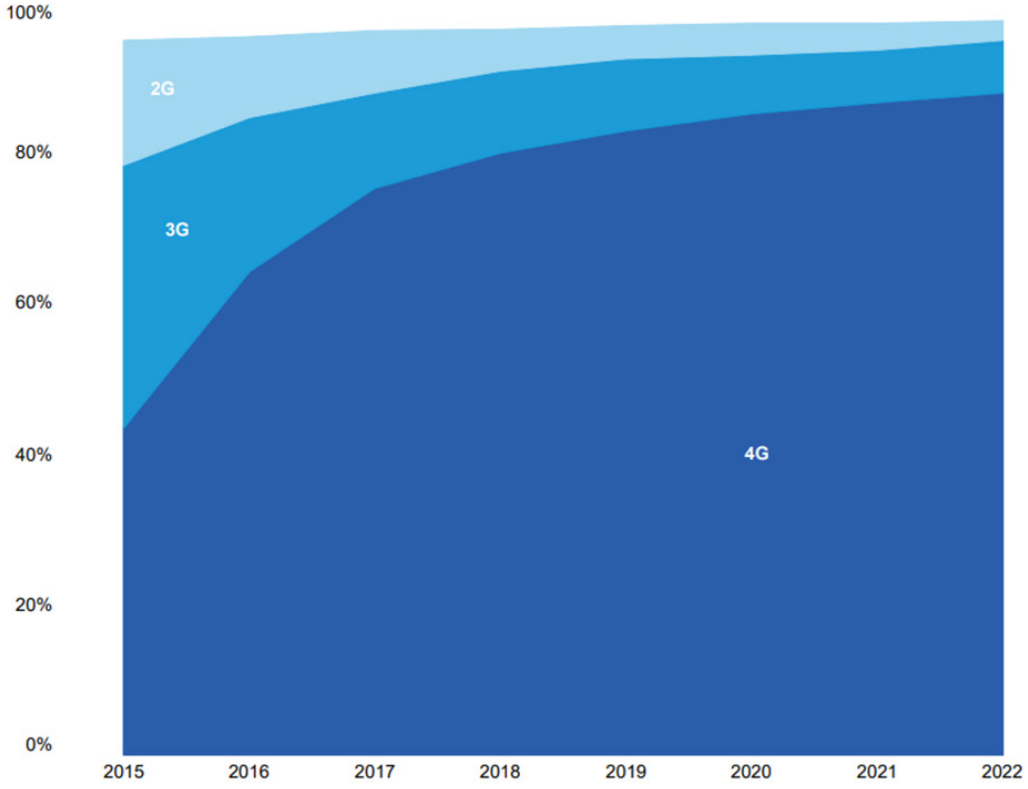
وبين عامي 2015 و2022، تضاعفت تغطية الشبكة 4G لتشمل 88 في المائة من سكان العالم (انظر الشكل 7). وعلى المستوى الإقليمي، أصبحت التكنولوجيا من الجيل الرابع (4G) متاحة الآن لأكثر من 90 في المائة من السكان في الأمريكتين وآسيا والمحيط الهادئ وكومنولث الدول المستقلة وأوروبا. وفي الدول العربية، لا يزال ربع السكان غير قادرين على النفاذ إلى شبكة 4G، بينما في إفريقيا، ينطبق ذلك على نصف السكان.

وفي العديد من البلدان في أوروبا ومنطقة آسيا والمحيط الهادئ، يتم وقف تشغيل شبكات الجيل الأقدم لصالح الشبكات التي تسمح بتطوير نظام بيئي رقمي متوافق مع شبكات الجيل الخامس (5G). وهذا هو الحال بشكل خاص بالنسبة لشبكات الجيل الثالث (3G)، والتي غالباً ما يتم وقف تشغيلها، مع الاحتفاظ بشبكات الجيل الثاني (2G) للأجهزة القديمة.

والمسار أقل وضوحاً في مناطق أخرى من العالم، ويعزى ذلك أساساً إلى احتفاظ الشبكتين 2G و3G بحضور كبير.

وتغطي شبكة النطاق العريض المتنقل جميع المناطق الحضرية تقريباً في العالم. ولكن لا تزال هناك فجوات كثيرة في المناطق الريفية. ففي الأمريكتين على سبيل المثال، فإن 22 في المائة من سكان المناطق الريفية غير مشمولين بأي إشارة متنقلة على الإطلاق، في حين أن 5 في المائة إضافية من السكان لا يتمتعون بالنفاذ إلا إلى شبكة 2G، مما يعني أن 27 في المائة من السكان غير قادرين على النفاذ إلى الإنترنت. وفي إفريقيا، تبلغ هذه الأرقام 15 في المائة (بدون تغطية على الإطلاق) و14 في المائة (شبكة 2G فقط).

الشكل 7: تغطية السكان بشبكات الاتصالات المتنقلة، حسب نوع الشبكة، 2015-2022



المصدر: الاتحاد، قياس التنمية الرقمية: حقائق وأرقام لعام 2022

3.5.3 البنية التحتية للنفاذ عريض النطاق في المناطق الريفية

تفتقر المناطق الريفية والمناطق النائية ذات الكثافة السكانية المنخفضة إلى النفاذ إلى شبكات النطاق العريض ميسورة التكلفة. وتشكل التكلفة العالية لتوسيع البنية التحتية عالية السرعة، وانخفاض العائد على الاستثمار، وعدم النفاذ إلى الشبكة، عقبات رئيسية أمام تطوير بنية تحتية للنطاق العريض في المناطق الريفية.

ويمكن فهم التحدي المتمثل في إدخال خدمات الإنترنت عريضة النطاق في المناطق الريفية التي لا تتوفر فيها إمكانية النفاذ إلى الشبكة على نحو أفضل من خلال النظر في معمارية شبكات النفاذ عريضة النطاق التي تخدم تلك المناطق.

وتستخدم البنية التحتية السلكية (الكبلات النحاسية والألياف) والبنية التحتية اللاسلكية الثابتة عالية السرعة على نطاق واسع في المراكز الحضرية الرئيسية لتقديم خدمات النطاق العريض للعملاء من الشركات والأفراد، في حين تقدم الشبكات المتنقلة خدمات النطاق العريض بسهولة لفرادى العملاء في المناطق الحضرية والريفية على السواء.

4.5.3 الشبكات الخلوية المتنقلة

يُوصّل معظم السكان في البلدان النامية بالإنترنت باستخدام الشبكات الخلوية المتنقلة؛ ويحصل المشغلون على تراخيص الطيف للاتصالات المتنقلة، ويستخدمون شبكات المحطات القاعدة/أبراج الخلايا ويبيعون الخدمات الصوتية وفترات البث والبيانات المدفوعة مسبقاً في الغالب.

وفي المناطق الريفية ذات الكثافة السكانية المنخفضة، تُستخدم الشبكات المتنقلة الخلوية في الغالب للنفاذ عريض النطاق وتعمل على طيف عريض النطاق راسخ باستخدام الشبكات 3G والشبكات 4G LTE وفي حالات قليلة تكنولوجيات الجيل الخامس (5G) الناشئة (انظر الشكل 8).

الجدول 2: تطور الشبكات المتنقلة

	1G	2G	3G	4G	5G
تاريخ النشر التقريبي	1980s	1990s	2000s	2010s	2020s
سرحة التنزيل النظرية	kbit/s 2	kbit/s 384	Mbit/s 56	Gbit/s 1	Gbit/s 10
الكمون	غير متاح	ms 629	ms 212	ms 98-60	< ms 1

المصدر: الاتحاد الدولي للاتصالات - التمهيد لتكنولوجيات الجيل الخامس (5): لفرص والتحديات، 2018

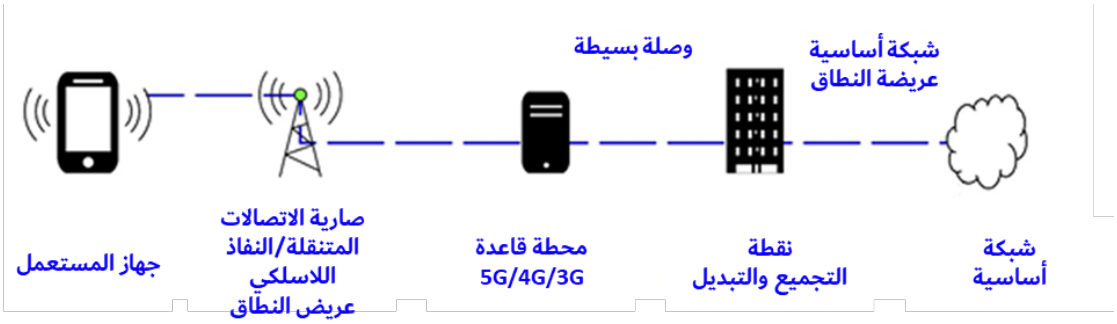
من وجهة نظر الأعمال، يشكل توسيع تغطية النطاق العريض لتشمل المناطق الريفية تحدياً بسبب النفقات الرأسمالية المرتفعة (CAPEX) والنفقات التشغيلية (OPEX) المرتبطة بإنشاء محطات قاعدة وتشغيلها، بما في ذلك توفير الطاقة في المناطق النائية التي تفتقر إلى النفاذ أو التي لديها نفاذ غير مستقر إلى شبكة الطاقة الكهربائية. ويحتاج مقدمو خدمات النطاق العريض إلى توليد الطاقة الخاصة بهم محلياً لتشغيل محطات المكررات والمحطات الفرعية البعيدة.[11]

في تقرير لعام 2016 من رابطة النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (GSMA)، تشير التقديرات إلى أنه مقارنةً بمواقع الخدمة الخلوية في المناطق الحضرية، يمكن أن تكلّف مواقع المحطات القاعدة/الأبراج الخلوية في المناطق الريفية والنائية حتى 30 في المائة أكثر في النفقات الرأسمالية وحتى 100 في المائة أكثر في النفقات التشغيلية (الناجمة عن تكاليف الطاقة والوصلات الوسيطة)، بينما تخدم 80 في المائة أقل من المستعملين في كل موقع، وبالتالي تولد إيرادات أقل.[12]

وتستخدم تكنولوجيات النفاذ اللاسلكي الثابت (FWA) أيضاً لتوفير جودة خدمة أعلى، استناداً إلى المعايير الدولية مثل Wi-Fi وWiMAX/IEEE وغيرها من تكنولوجيات النفاذ اللاسلكي الثابت عريض النطاق المسجلة الملكية. وفي البلدان النامية، تتوفر عادة التكنولوجيات الراديوية عالية السعة بالموجات الصغرية والموجات الميلليمترية كوصلات توصيل توصل المجتمعات الريفية بالشبكة الأساسية. وتُستخدم الحلول الساتلية على نحو متزايد لتوفير النفاذ عريض النطاق في المجتمعات النائية والمعزولة.

وإن تطوير حلول شبكات النفاذ اللاسلكي عالية السعة والأكثر كفاءة من حيث استخدام الطيف والطاقة والتي تعمل باستخدام الطاقة المتجددة، من شأنها تسريع نشر خدمات النطاق العريض ميسورة التكلفة في المناطق الريفية والمناطق النائية.

الشكل 8: معمارية الشبكة المتنقلة



المصدر: مقتبس من الاتحاد الدولي للاتصالات

[11] أوضاع النطاق العريض في المناطق الريفية والمناطق النائية، وثيقة قطاع تنمية الاتصالات بشأن الاتصالات في المناطق الريفية. https://www.google.com/search?q=rural+areas+suffer+lack+from+affordable+broadband&rlz=1C1GCEU_en-GB___GB862&oq=rural+areas+suffer+lack+from+affordable+broadband&aqs=chrome..69i57.19862j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8

[12] رابطة النظام العالمي للاتصالات المتنقلة. تحرير التغطية الريفية: العوامل التمكينية لتوسيع الشبكات المتنقلة المستدامة تجارياً. http://www.gsma.com/mobilefordevelopment/programme/connected-society/unlocking-rural-coverage-enablers-commercially-sustainable-mobile-network-expansion. July 2016

الإطار 1: التركيب البنيوي للشبكة المتنقلة

بشكل عام، تتميز شبكات الهواتف المتنقلة والإنترنت بأجزاء أساسية ووصلات وسيطة وأجزاء الميل الأخير.

وتشمل الشبكات الأساسية (بما فيها الشبكة الأساسية الوطنية والتوصيلية الدولية) البنية التحتية للألياف البصرية عالية السعة التي توفر الحركة من وإلى نقاط التجميع (مثل نقاط تبادل الإنترنت (IXP))، ونقاط توصيلات التبادل بين مقدمي الخدمة من المستوى 1 ومحطات توصيل الكبلات البحرية بالشبكة الأرضية لتوفير التوصيلية الدولية.

وتشير تكنولوجيا التوصيل (أو الميل الأوسط) إلى البنية التحتية التي تحمل حركة الصوت والبيانات من الشبكة الأساسية للمشغل إلى موقع التجميع، مثل المحطة قاعدة. وغالباً ما يكون التوصيل الحاجز الرئيسي أمام توفير التغطية، لا سيما في المناطق قليلة الكثافة السكانية أو المناطق ذات التضاريس الصعبة، كالجزر أو المناطق الريفية.

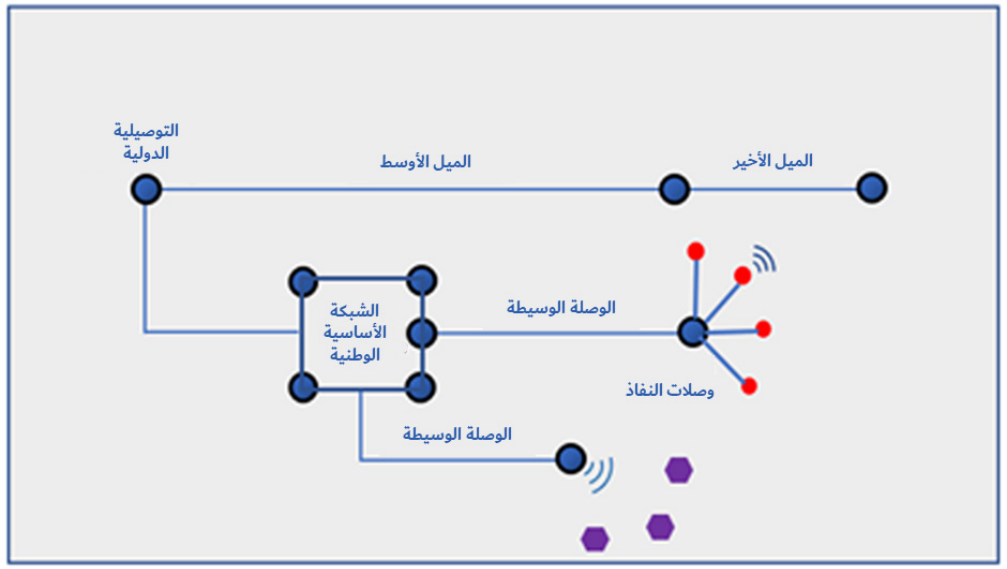
الإطار 1: التركيب البنيوي للشبكة المتنقلة (تابع)

الألياف هي أكثر أشكال الوصلات الوسيطة شيوعاً حيث توفر أعلى سعة وأفضل جودة للخدمة. ومع ذلك فإن بدء تنفيذها في المناطق الريفية أو المناطق الصعبة طوبوغرافياً يكون مكلفاً في كثير من الأحيان، نظراً للتكاليف المرتبطة بالحصول على حقوق المرور وتصاريح البناء.

وكثيراً ما تُستخدم تكنولوجيا الموجات الصغرية في المناطق التي تكون فيها الألياف البصرية باهظة التكلفة أو غير عملية. غير أنها تتطلب خط بصر واضحاً بين المرسلات، ولذلك قد تكون باهظة الثمن في المناطق النائية جداً.

وتتيح تكنولوجيا الوصلات الوسيطة الساتلية التغلب على التحديات الريفية المتمثلة في المسافة والتضاريس، ولكنها تتسم بتكاليف تشغيل عالية وجودة خدمة أقل في كثير من الأحيان بالمقارنة مع خدمات الألياف التقليدية.

البنية التحتية للشبكة



5.5.3 شبكات الجيل الخامس المستقبلية – الخدمات المبتكرة

تتطور شبكة الجيل الخامس (5G) كمنصة لتقديم خدمات اتصالات متقدمة لتمكين الحكومات وواضعي السياسات من تحويل بنيتهم التحتية الوطنية لتقديم خدمات رقمية معززة تدعم وتمكّن المواطنين والمجتمعات والشركات.

وستوفر شبكات الجيل الخامس تجربة معززة للمستعمل النهائي وأداء محسّناً وكموناً منخفضاً وموثوقية عالية؛ ومن المتوقع في نهاية المطاف أن توفر شبكات الجيل الخامس سرعة تقاس بالجيغابتات. وبما أن تقديم هذه الخدمات المعززة إلى المناطق الريفية لن يكون مجدياً اقتصادياً، فقد تكون الخدمة 5G ذات السعة المنخفضة أكثر ملاءمة في هذه المناطق.

واعتماد شبكات الجيل الخامس، باستخدام الشبكات الأرضية أو الساتلية، من شأنه تيسير نشر مجموعة جديدة من الخدمات المبتكرة، بما في ذلك إنترنت الأشياء والتطبيقات واسعة النطاق، مثل التصنيع عن بُعد، والتي تتطلب التحكم في العمليات التي يكون عنصر الوقت فيها حرجاً باستخدام الأتمتة والروبوتات والتي تشمل الصحة الإلكترونية والأدوية الذكية والنقل الآلي باستخدام الملاحة والتحكم في المركبات ومراقبة الشبكة الذكية وتجارب الواقع الافتراضي الغامر، بما في ذلك في مجال التعليم والطب عن بُعد.

ويمكن أن تيسر شبكات الجيل الخامس توسيع نطاق خدمات النطاق العريض في المناطق الريفية والمناطق النائية من خلال استعمال طيف التردد دون 1 GHz (نطاقات التردد UHF عند 450-800 MHz) وستسمح لمقدمي الخدمات بتغطية مناطق واسعة بتكلفة أقل.[13]

ويتم تصميم الأنظمة الراديوية من الجيل الخامس لتكون أكثر كفاءة في استخدام الطاقة من الجيلين 3G و4G، بحيث يمكن تشغيلها باستخدام أنظمة الطاقة المتجددة صغيرة الحجم. وتسمح خصائص انتشار طيف الموجات الديسيمترية (UHF) بتشغيل الوصلات على مديات أطول، مع اختراق أفضل للعوائق الجيوفيزيائية من الأنظمة الحالية في النطاقات 3-6 GHz وترددات أعلى ونطاقات الموجات المليمترية. وبالتالي، يمكن إقامة المحطات القاعدة 5G بالقرب من مصادر الطاقة المتجددة وتوفير تغطية أوسع للوصول بشكل أكثر فعالية إلى المجتمعات النائية، بتكلفة أقل. وهناك حاجة إلى طيف النطاق المتوسط لدعم التشغيل الفعال لشبكات الاتصالات المتنقلة من الجيل الخامس. ويستخدم معظم هذا الطيف حالياً للخدمات 2G و3G، مما يدفع شركات الاتصالات إلى استكشاف إعادة توزيع الطيف للخدمات 4G و5G (مثلاً 800 MHz 1 و2,1 GHz و2,3 GHz و2,6 GHz). ولكن توافر الطيف يتزايد على الصعيد العالمي، في النطاقين 300 MHz 4 200-3 و400 MHz 4 المستعملين للخدمات المتنقلة، ويمكن دمج الخدمات الساتلية لزيادة قدرة الخدمة 5G على التصدي لبعض التحديات الرئيسية المتمثلة في توفير الخدمات متعددة الوسائط والتغطية الشاملة والاتصالات من آلة إلى آلة ومهام الاتصالات الهامة في جميع أنحاء البلد.

الإطار 2: هواوي – نهج الطيف متعدد الطبقات

- طبقة التغطية – تستغل الطيف دون 2 GHz (700 MHz مثلاً) لتوفير تغطية واسعة وعميقة داخل المباني.
- طبقة التغطية والسعة – تعتمد على الطيف في المدى 2-6 GHz لتقديم أفضل حل وسط بين السعة والتغطية.
- طبقة البيانات الفائقة - تعتمد على طيف فوق 6 GHz ونطاقات الموجات المليمترية لمعالجة حالات استخدام محددة تتطلب معدلات بيانات عالية جداً.

المصدر: https://www.huawei.com/en/public-policy/5g-spectrum

تحسين كفاءة استخدام الطاقة عن طريق تجميع الموجات الحاملة في شبكات الجيل الخامس

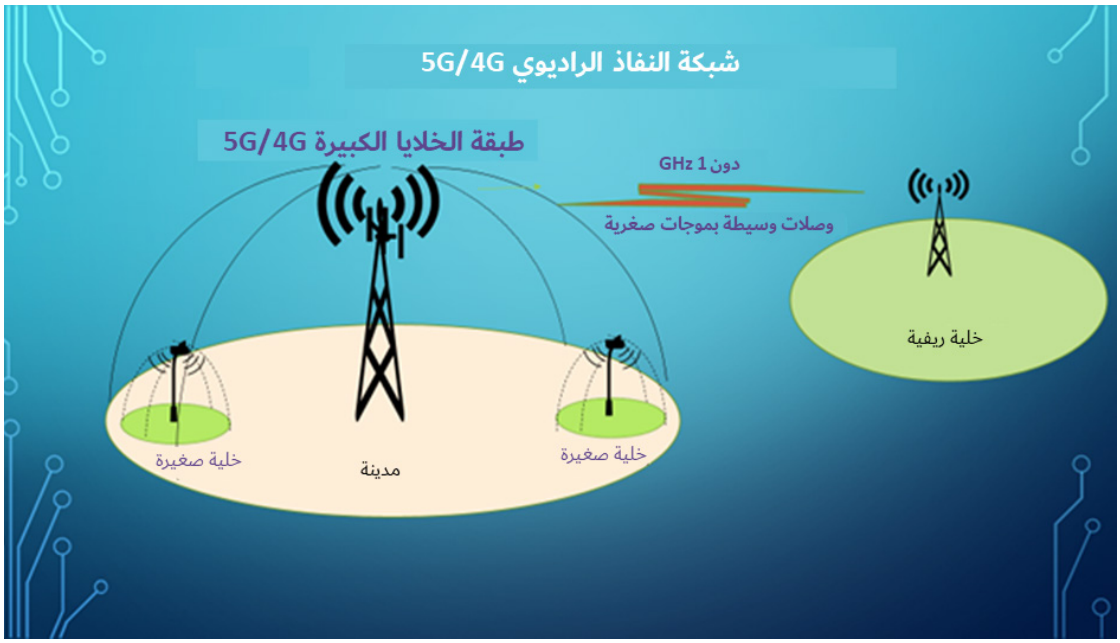
[13] McGuire et al.، مجلة EURASIP بشأن الاتصالات اللاسلكية والتوصيل الشبكي، 2012، 2012:112. http://jwcn.eurasipjournals.com/content/2012/1/112

يتزايد توافر الطيف على الصعيد العالمي من أجل الاتصالات المتنقلة الدولية (IMT) في المديين 300 3-200 4 MHz و400 4-000 5 MHz. ويُوزع نطاق التردد 400 3-600 3 MHz على الخدمة المتنقلة على أساس أولي مشترك في جميع البلدان تقريباً.

وتعتبر النطاقات دون 6 GHz ذات أهمية بالغة لدعم معظم سيناريوهات استخدام شبكات 5G في منطقة جغرافية واسعة. ومديا التردد 300 3-200 4 MHz و400 4-000 5 MHz مناسبان لتقديم أفضل حل وسط بين تغطية واسعة وتغطية جيدة.

ويستعمل النفاذ الدينامي إلى الطيف (DSA) قاعدة بيانات لتحديد الطيف غير المستعمل في أي وقت وفي أي موقع من جانب المشغل القائم المرخص له، بهدف إتاحته للمستعملين الآخرين دون التسبب في تداخل على الخدمات القائمة. ويمكن أن يوفر النفاذ الدينامي إلى الطيف نفاذا انتهازياً إلى الطيف للمستعملين الحاليين والجدد من خلال إتاحة طيف 5G غير المستخدم، حيثما أمكن، مع إعطاء الأولوية للمرخص له الرئيسي. ويتم استعمال تقنيات النفاذ الدينامي إلى الطيف في بعض الأحيان في المساحات التلفزيونية غير المشغولة في النطاقات UHF.

النتائج الرئيسية: يمكن لواضعي السياسات أن ينظروا في إتاحة أجزاء مختلفة من المديين 300 3-200 4 MHz و400 4-000 5 MHz لبناء كتل كبيرة متجاورة مع إتاحة الطيف في النطاق 800/700 MHz أيضاً لضمان توفير النطاق العريض المتنقل في المناطق الريفية.



6.5.3 تكنولوجيات السواتل ذات المدارات الأرضية المنخفضة - المناطق الريفية المحرومة من الخدمات

يمكن لجيل جديد من تكنولوجيات السواتل ذات المدار الأرضي المنخفض (LEO) أن يحدث ثورة في توسيع النطاق العريض في المناطق الريفية المحرومة من الخدمات.

وغالباً ما توضع سواتل الاتصالات في مدار متزامن مع الأرض ومستقر بالنسبة إلى الأرض على ارتفاع حوالي 36 000 km فوق خط الاستواء لتدور حول الأرض خلال 24 ساعة في موقع ثابت. بيد أن تكلفة تصميم هذه السواتل وإنشائها واختبارها وإطلاقها ونشرها باهظة. وعلاوة على ذلك، تستغرق الرحلة ذهاباً وإياباً من الأرض للإشارات التي تبثها هذه السواتل أكثر من نصف ثانية.

والسواتل ذات المدارات الأرضية المنخفضة أصغر حجماً وتدور بشكل أسرع في المدار وتجمع بين قدرات أكثر قوة وتكاليف إطلاق وتشغيل أقل. وتوفر هذه السواتل فترات كمون في الإنترنت تبلغ نحو 35 ميللي ثانية، تضاهي العديد من أنظمة DSL التي تخدم الأفراد والشركات الصغيرة والمجتمعات الريفية.

وتقوم عدة شركات بتطوير سواتل والتخطيط لإطلاقها في مدارات أرضية منخفضة خلال الفترة 2020-2030. وبدأت SpaceX في إطلاق كوكبة Starlink الجديدة من السواتل. وسيشمل مشروع Starlink حوالي 12 000 ساتل تعمل على ارتفاع يبلغ حوالي 1 000 km، مع تغطية يبلغ نصف قطرها حوالي 1 000 km، مما يتطلب شبكة كبيرة من السواتل.

7.5.3 أنظمة المنصات عالية الارتفاع

يمكن لمحطات المنصت عالية الارتفاع (HAPS)، المملوءة بالهيليوم والتي تعمل في طبقة الستراتوسفير على ارتفاعات تبلغ حوالي 20 km، والأنظمة الساتلية (بما في ذلك الكوكبات غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض) أن توفر معدلات بيانات عالية جداً (100 Mbit/s إلى 1 Gbit/s أو أكثر) لاستكمال شبكات الوصلات الوسيطة اللاسلكية الثابتة أو الأرضية خارج المناطق الحضرية وشبه الحضرية الرئيسية. ويمكن لمحطات المنصات عالية الارتفاع والأنظمة الساتلية توصيل إرسالات فيديوية إلى الأنظمة الثابتة للأرض في المناطق الريفية والمواقع النائية جداً، مثل الجزر. ويمكن دمجها في شبكات أخرى، مثل شبكات النفاذ اللاسلكي الثابت وحلول الاتصالات المتنقلة، وبالتالي زيادة قدرات الخدمة 5G، لمواجهة التحديات الرئيسية المتعلقة بنمو حركة الوسائط المتعددة والتغطية الشاملة، وإنترنت الأشياء، والاتصالات من آلة إلى آلة، ومهام الاتصالات الحرجة.[14]

وستكون الترددات دون 1 GHz أكثر ملاءمة لتطبيقات HAPS بعيدة المدى ذات عرض النطاق المنخفض لتوفير تغطية واسعة في المناطق الريفية، لا سيما في البلدان النامية، بما في ذلك في إفريقيا، لتعزيز تغطية شبكات الجيلين 4G و5G. ومن المقرر أن يتناول المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية في 2023 (WRC-23) هذا النهج، بالنظر إلى استخدام محطات المنصات عالية الارتفاع كمحطات قاعدة للاتصالات المتنقلة الدولية في الخدمة المتنقلة في بعض نطاقات التردد التي تقل عن 2,7 GHz المحددة بالفعل للاتصالات المتنقلة الدولية.

النتائج الرئيسية: قد ينظر واضعو السياسات في إتاحة طيف منخفض التردد (مثلاً في النطاق 700 MHz) لضمان النفاذ إلى النطاق العريض المتنقل في المناطق الريفية.

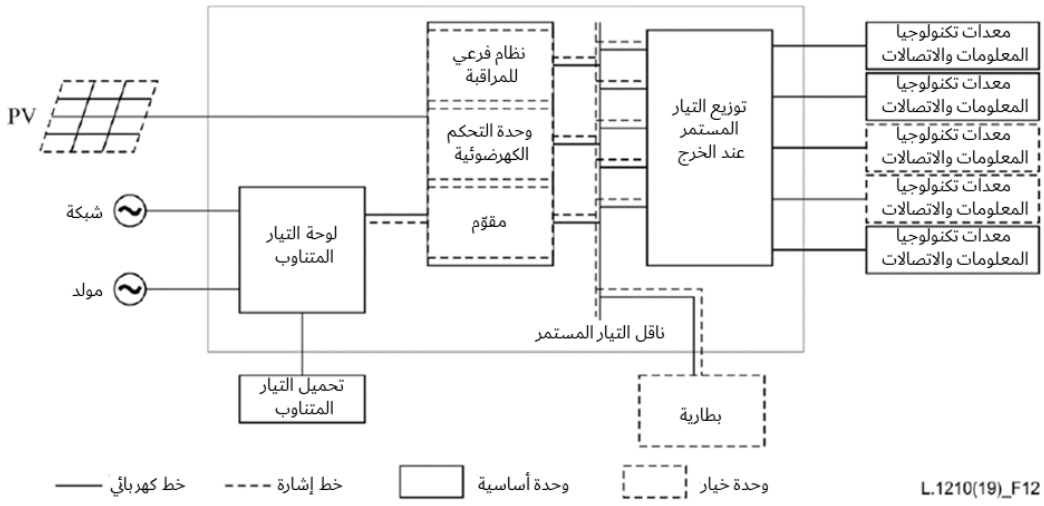
ويمكن توقع أن يكون الطيف 3,8-3,3 GHz أساساً لمجموعة من الخدمات الأولية من الجيل الخامس.

8.5.3 حل الطاقة المتجدد للمحطات القاعدة من الجيل الخامس

يتضمن هذا الحل توصيل مصادر الطاقة المختلفة مثل الشبكة والطاقة المتجددة والمولدات بلوحات قدرة الدخل للمحطات القاعدة. ومن أجل تعظيم الاستفادة من الطاقة المتجددة، يطبق النظام التكنولوجيا الذكية لاستخدام الطاقة المتجددة بشكل تفضيلي وغير ذلك، ويختار الشبكة أو نظام تخزين البطارية أو المولّد بناء على التكلفة التشغيلية في ظروف مختلفة. ويرد أدناه مثال للبنية الأساسية للنظام.

[14] الاتحاد الدولي للاتصالات. أنظمة المنصات عالية الارتفاع، https://www.itu.int/en/mediacentre/backgrounders/Pages/High-altitude-platform-systems.aspx

الشكل 9: نظام متعدد لدخل مصدر الطاقة لمحطة قاعدة 5G، بما في ذلك الطاقة المتجددة



عندما تكون سعة الشبكة غير كافية بسبب احتياجات الطاقة المتزايدة للمحطة القاعدة 5G، يمكن أن تكون الطاقة المتجددة المستمدة من الخلايا الشمسية الكهروضوئية (PV) وتوربينات الرياح وخلايا الوقود خياراً جيداً للغاية لزيادة سعة الطاقة المتاحة، من أجل ضمان استمرار عمل النظام بأكمله بسلاسة ودون انقطاع. ويرد وصف ذلك في التوصية ITU-T L.1210 بشأن الحلول المستدامة المتعلقة بتغذية شبكات الجيل الخامس بالطاقة.

4 عدم إمكانية الحصول على الكهرباء

1.4 تحديات الطاقة التي تقيد توسيع النطاق العريض

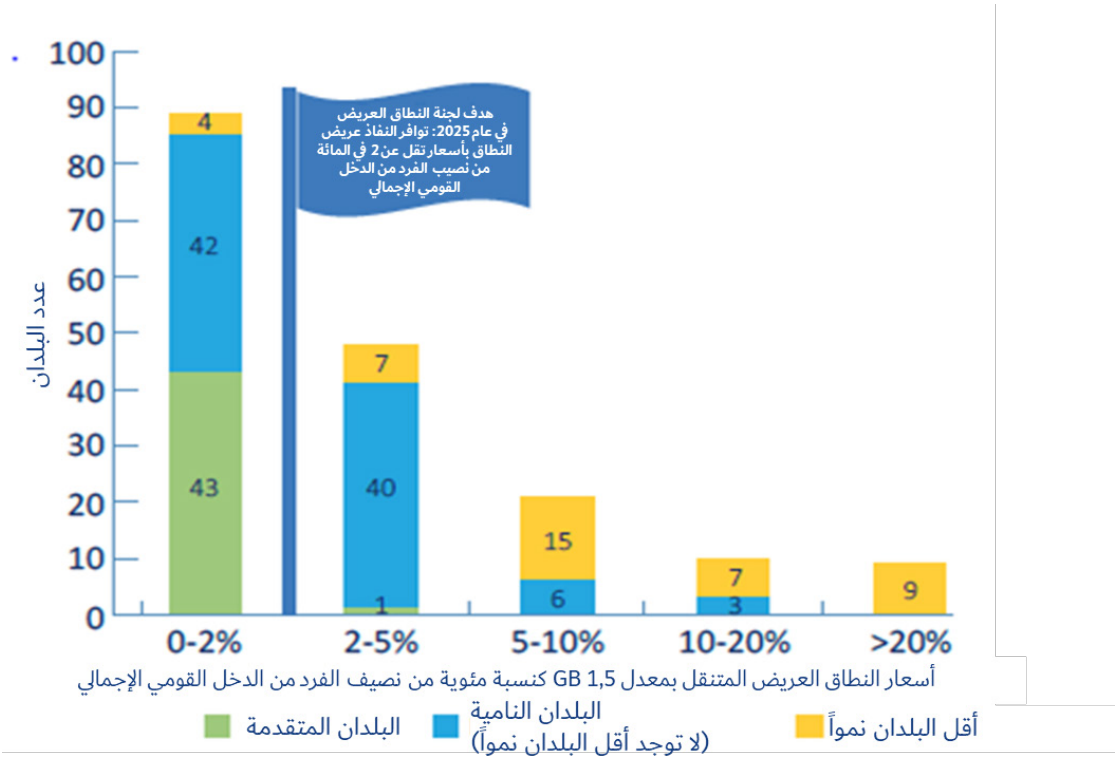
يعد الحصول على الكهرباء الموثوقة والميسورة التكلفة شرطاً أساسياً لتطوير البنية التحتية للنفاذ إلى النطاق العريض في المناطق الريفية. وبدون ذلك، لا يمكن تحقيق الفوائد الاجتماعية والاقتصادية التي ستؤدي إلى الرخاء المشترك وتحويل حياة الأسر ذات الدخل المنخفض في المجتمعات الريفية بشكل كامل.

ويستهلك النظام الإيكولوجي العالمي لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات كمية كبيرة من الطاقة، تقدر بنحو 10 في المائة من إجمالي الكهرباء المولدة على الصعيد العالمي كل عام، لتشغيل الحوسبة السحابية في مراكز البيانات، والبنية التحتية للنطاق العريض للإنترنت، وشبكات/برمجيات تكنولوجيا المعلومات، وأجهزة المستعمل النهائي. وإذا لم يكن الوصول إلى شبكة الكهرباء متاحاً بأسعار معقولة، فيجب أن تتمتع البنية التحتية عريضة النطاق في المناطق الريفية بإمكانية الوصول إلى مصادر موثوقة خارج الشبكة.

ويشكل نقص الطاقة الشبكية تحدياً كبيراً أمام مشغلي الاتصالات الذين يتعين عليهم تقديم الحلول الخاصة بهم المتعلقة بالطاقة لتوسيع البنية التحتية للنطاق العريض اللاسلكي الخلوي أو الثابت في المناطق الريفية.

وعلى الرغم من إحراز تقدم كبير في السنوات الأخيرة، فإن القدرة على تحمل التكاليف لا تزال تشكل تحدياً كبيراً في العديد من البلدان النامية، ولا سيما في أقل البلدان نمواً، على النحو المبين في الشكل 10.

الشكل 10: النطاق العريض لا يزال مكلفاً في أقل البلدان نمواً



وبغية جعل الباقات الأساسية لخدمات البيانات النطاق العريض (1,5 غيغابايت) ميسورة التكلفة في البلدان النامية، حددت لجنة النطاق العريض المعنية بالتنمية المستدامة هدفاً لخفض أسعار النطاق العريض إلى ما لا يزيد عن 2 في المائة من نصيب الفرد من الدخل القومي الإجمالي الشهري بحلول عام 2025.

ويؤدي الافتقار إلى بنية تحتية للشبكة في المناطق الريفية إلى ارتفاع تكاليف بناء شبكات الإنترنت عريضة النطاق لخدمة المجتمعات النائية، والتي قد تمثل نسبة كبيرة من الاستثمار اللازم لإنشاء بنية تحتية عريضة النطاق وتشغيلها (أنظمة الوصلات الوسيطة، أو أنظمة المحطات القاعدة المتنقلة أو توصيلات الميل الأخير للنفاذ اللاسلكي الثابت).

وتنطوي حلول طاقة الديزل المستقلة، عند استخدامها كمصدر أساسي للطاقة في المناطق الريفية، على تكاليف رأسمالية وتشغيلية مرتفعة. وتعتبر عوائد الاستثمار للمشغلين ضعيفة، بسبب ارتفاع تكاليف الصيانة والأمن والوقود لمولدات الديزل في المناطق الريفية والمناطق النائية في كثير من الأحيان.

ونتيجة لذلك، ينبغي أن تشمل حلول الطاقة المبتكرة للمناطق الريفية تدابير لتحسين توافر وموثوقية إمدادات الكهرباء للمكونات النشطة للبنية التحتية لشبكة الاتصالات الريفية، فضلاً عن النفاذ إلى معدات إنهاء الخدمة (مثل معدات مبنى العميل والأجهزة والحواسيب والهواتف والتلفزيون الذكي) للمستعملين النهائيين والخدمات المجتمعية وعملاء الأعمال المحلية.

وفي المجتمعات الريفية التي تفتقر إلى الكهرباء، يتعين على السكان المحليين السفر إلى أقرب نقاط شحن البطاريات التي قد تكون على بعد عدة أميال، لإعادة شحن أجهزتهم المحمولة أو غيرها من أجهزة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات التي تعمل بالبطاريات. ويؤدي ذلك إلى تكاليف إضافية وانقطاع الخدمة وزيادة خفض الطلب على خدمات الإنترنت واعتماد الفقراء في المناطق الريفية لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات. وعموماً، بدون الحصول على الكهرباء، لن يتم نشر معدات ومرافق تكنولوجيا المعلومات والاتصالات في المناطق الريفية والجزر النائية بخلاف الأجهزة المحمولة. ويمكن في حالات معين أن توفر البطاريات الطاقة المؤقتة في حالات الطوارئ.

ويمكن وصف أول الحواجز المذكورة أعلاه بأنها "فجوة العرض في النطاق العريض"، أي نقص خدمة النطاق العريض في منطقة يعيش ويعمل فيها الناس. أما الحاجز الثاني، وهو "فجوة الطلب على النطاق العريض"، فيفهم على أنه نسبة السكان الوطنيين الذين يمكن أن يكون لديهم نفاذ إلى النطاق العريض، ولكنهم لا يحصلون على الخدمة.

وتعد فجوة العرض في النطاق العريض حادة بشكل خاص في المناطق الريفية والنائية ذات الكثافة السكانية الأقل بكثير منها في المناطق الحضرية وشبه الحضرية. وإن التحديات الرئيسية التي تحول دون نشر خدمات النطاق العريض في المناطق الريفية والمجتمعات المحلية الجزرية في البلدان النامية هي كالتالي:

- الجغرافيا والتضاريس النائية والصعبة؛
- عدم كفاية الحصول على البنى التحتية الموثوقة والميسورة التكلفة والآمنة، ولا سيما شبكة الكهرباء والطرق؛
- عدم وجود تغطية الإنترنت المتنقلة أو شبكات النفاذ اللاسلكي الثابت عريض النطاق وعدم وجود وسيلة للنفاذ إلى عرض النطاق الدولي؛
- عدم وجود مرافق لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات؛
- مواقع محدودة وبعيدة لشحن الطاقة للأجهزة المتنقلة وأجهزة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات الموصولة بالإنترنت؛
- حلول محدودة للطاقة خارج الشبكة – إمدادات مولدات الديزل غير المنتظمة، وحلول الطاقة المتجددة المتقطعة.

في السنوات الأخيرة، عوقب مشغلو الشبكات المتنقلة وخدمات النطاق العريض اللاسلكي الثابت لإخفاقهم في تحقيق أهداف الأداء المتفق عليها مع المنظمين بسبب تدهور جودة الخدمة وعدم تحقيق أهداف التوافر. ولسوء الحظ، فإن أحد الأسباب الأكثر شيوعاً لتعطل الشبكة وأحداث التوقف هو الافتقار إلى مصدر موثوق للإمداد بالطاقة، حتى كمصدر احتياطي (ناهيك عن المصدر الرئيسي)، ومولد الديزل الذي يعتبر بديلاً ضعيفاً للنفاذ إلى الشبكة الوطنية.

2.4 تحقيق الطاقة المستدامة للجميع

يشهد سوق الكهرباء حالياً عملية تحول، حيث بدأت تقنيات الطاقة المتجددة في استبدال الوقود الأحفوري، وحيث إن الصناعات التقليدية للطاقة والنطاق العريض - التي هيمن عليها سابقاً المشغلون التقليديون - تعاني من جراء نماذج أعمال أكثر لا مركزية وابتكاراً.

وتحقيق الطاقة المستدامة للجميع هو أحد أهداف التنمية المستدامة. وكإحدى الاستراتيجيات الرامية إلى تحقيق هذا الهدف، وضعت لجنة النطاق العريض المعنية بالتنمية المستدامة سلسلة من الأهداف التي يتعين تحقيقها بحلول عام 2030 بهدف ما يلي:

- ضمان حصول الجميع بتكلفة ميسورة على خدمات الطاقة الحديثة الموثوقة؛
- تحقيق زيادة كبيرة في حصة الطاقة المتجددة في مجموعة مصادر الطاقة العالمية؛
- مضاعفة المعدل العالمي للتحسن في كفاءة استخدام الطاقة؛
- تعزيز التعاون الدولي من أجل تيسير الوصول إلى بحوث وتكنولوجيا الطاقة النظيفة، بما في ذلك تلك المتعلّقة بالطاقة المتجددة، والكفاءة في استخدام الطاقة وتكنولوجيا الوقود الأحفوري المتقدمة والأنظف، وتشجيع الاستثمار في البنى التحتية للطاقة وتكنولوجيا الطاقة النظيفة، بحلول عام 2030؛
- توسيع نطاق البُنى التحتية وتحسين مستوى التكنولوجيا من أجل تقديم خدمات الطاقة الحديثة والمستدامة للجميع في البلدان النامية، وبخاصة في أقل البلدان نمواً والدول الجزرية الصغيرة النامية والبلدان النامية غير الساحلية، وفقاً لبرامج الدعم الخاصة بكل منها؛

ويدعو الهدف 7 من أهداف التنمية المستدامة الدول الأعضاء إلى "ضمان حصول الجميع بتكلفة ميسورة على خدمات الطاقة الحديثة الموثوقة والمستدامة."

وينبغي أن يؤدي الانخفاض السريع في تكاليف تكنولوجيات الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية والرياح، إلى جانب التدابير الرامية إلى تحسين الكفاءة وآليات تقديم خدمات الطاقة المبتكرة، إلى تسريع المبادرات الاستراتيجية الرامية إلى تحقيق أهداف الوصول الشامل إلى الكهرباء.

وتمثل البنية التحتية جزءاً كبيراً من تكاليف الحصول على الكهرباء. ويحصل سكان المناطق الحضرية عموماً على الكهرباء بواسطة شبكات الطاقة الوطنية. بيد أن توصيل الكهرباء إلى المناطق الريفية والمناطق النائية عن طريق بنية تحتية واسعة للإرسال والتوزيع يتطلب استثمارات كبيرة باهظة بالنسبة لكثير من شركات الطاقة القائمة ويلد عوائد ضئيلة للغاية. وإن توليد الكهرباء خارج الشبكة باستخدام معماريات الشبكة المصغرة والشبكات الميكروية بالاقتران مع مصادر الطاقة المتجددة الأنظف المتوفرة محلياً، يمكن أن يوفر طاقة موثوقة وبأسعار معقولة للمنشآت الريفية والنائية.[15]

3.4 عجز الطاقة في المناطق الريفية في البلدان النامية

يعد الوصول غير الموثوق به وغير العادل إلى الكهرباء أحد العوائق الرئيسية التي تحول دون زيادة النشاط الاقتصادي وتوسيع البنية التحتية للنطاق العريض في المناطق الريفية. وهو رادع رئيسي للاستثمار الخاص.[16]

ففي عام 2017، كان 14 في المائة من سكان العالم (حوالي مليار شخص) لا يزالون يفتقرون إلى الكهرباء. وانخفض هذا الرقم انخفاضاً حاداً، باستثناء في إفريقيا جنوب الصحراء الكبرى (انظر الشكل 11). وبلغت نسبة السكان في آسيا وإفريقيا بدون إمكانية الحصول على الكهرباء 95 في المائة، ويعيش 84 في المائة منهم في المناطق الريفية (انظر الشكل 12).

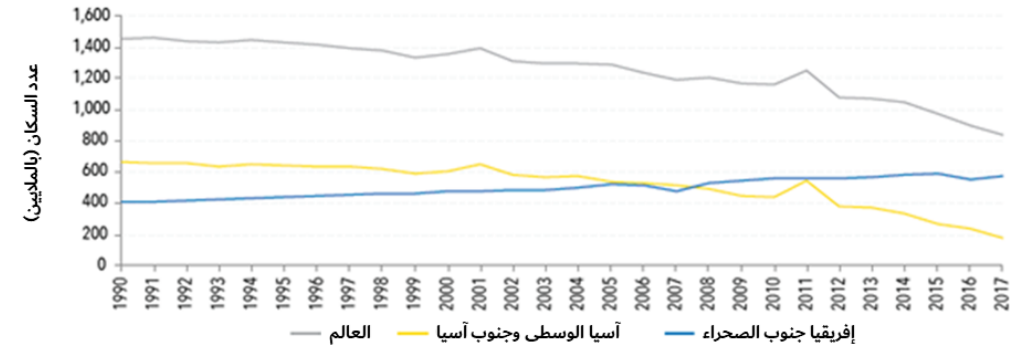
وزادت قدرة توليد الطاقة الكهربائية العالمية بنسبة 4 في المائة في عام 2018، حيث تمثل الطاقة المتجددة 45 في المائة من هذه الزيادة. وفي عام 2017، وعلى المستوى العالمي، بلغ معدل الحصول على الكهرباء 79 في المائة في المناطق الريفية، متأخراً بشكل كبير عن معدل النفاذ في المناطق الحضرية البالغ 97 في المائة. ويمثل سكان المناطق الريفية المحرومة من الخدمات 87 في المائة من العجز العالمي في النفاذ. وفي عام 2017، كان 66 في المائة من سكان المناطق الريفية في العالم الذين لا يحصلون على الكهرباء يعيشون في إفريقيا جنوب الصحراء الكبرى، على النحو الموضح في الشكل 11.

[15] الأونكتاد – تقرير أقل البلدان نمواً لعام 2017 – الوصول إلى الطاقة التحويلية، https://unctad.org/en/pages/PublicationWebflyer.aspx?publicationid=1902

[16] اتفاق مجموعة العشرين مع إفريقيا. تقرير مشترك بين مصرف التنمية الإفريقي وصندوق النقد الدولي ومجموعة البنك الدولي، اجتماع وزراء المالية ومحافظي البنوك المركزية لمجموعة العشرين 17-18 مارس 2017 بادن-بادن، ألمانيا.

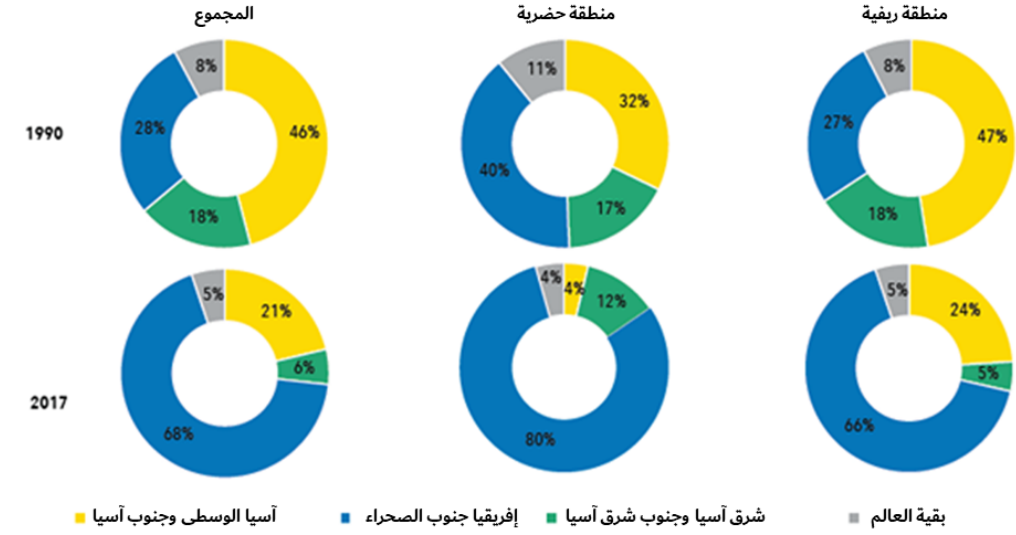
الشكل 11: سكان المناطق الريفية الذين لا يحصلون على الكهرباء

تطور العجز في الحصول على الكهرباء (ملايين الأشخاص)، 1990-2017



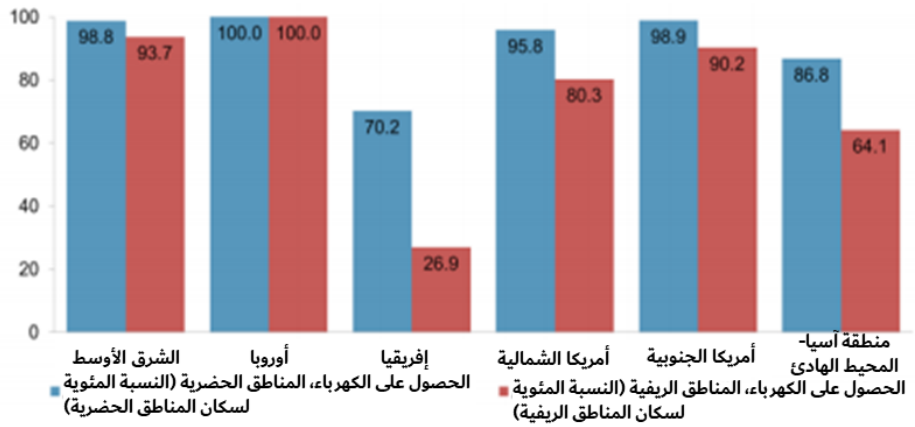
المصدر: البنك الدولي

الحصص الإقليمية من العجز العالمي في الحصول على الكهرباء، إجمالاً وعلى طول الفجوة بين المناطق الحضرية والمناطق الريفية، 1990 و2017



المصدر: البنك الدولي
ملاحظة: على أساس السكان الذين لا يحصلون على الكهرباء

الشكل 12: السكان الذين يحصلون على الكهرباء (في المناطق الحضرية والريفية) بالنسبة المئوية



المصدر: البنك الدولي (2017)

وبدون طاقة ميسورة التكلفة، من الصعب تعزيز النمو الاقتصادي، والتغلب على الفقر، وتوفير تعليم عالي الجودة، وتعزيز الأعمال التجارية والصناعة المحلية، وتوسيع فرص العمل، ودعم صحة الإنسان والتنمية.

ويؤدي عدم كفاية البنية التحتية، لا سيما فيما يتعلق بالحصول على الكهرباء، إلى الحد من نشر خدمات النطاق العريض والقدرة على تحمل تكاليفها، مما يساهم في زيادة عدم المساواة.

واستحدثت التطورات التكنولوجية وانخفاض تكلفة مصادر الطاقة المتجددة والتكنولوجيات الرقمية فرصاً للتحول من عالم عالي الكربون يعتمد على الوقود الأحفوري نحو اقتصاد مستدام ومنخفض الكربون. وتشير دراسات عالمية بشأن السياسات إلى أن طاقة الرياح والطاقة الشمسية الكهروضوئية ستوفر أكثر من نصف قدرة توليد الكهرباء الإضافية التي سيتم تشغيلها بحلول عام 2040.

4.4 الانتقال إلى البنية التحتية للطاقة المتجددة

إن النموذج التقليدي لتوزيع الكهرباء القائم على الشبكة - والذي يعتمد على موردي الكهرباء الحاليين الذين يقومون بتمديد شبكاتهم الوطنية لتوزيع الإرسال عبر مسافات طويلة إلى المناطق الريفية، قد فشل نظراً إلى أن معظم سكان الريف في المناطق النامية في إفريقيا وآسيا لا يستطيعون الوصول إلى الشبكة.

ومكنت الطاقة المتجددة المجتمعات من تخطي الوقود الأحفوري إلى طاقة نظيفة بأسعار معقولة، وبالتالي المساهمة في الحملة العالمية لتقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري لحماية البيئة. وبفضل الابتكار التكنولوجي، يعتمد النموذج الأكثر موثوقية لتوسيع الإمدادات من الكهرباء بأسعار معقولة على حلول الطاقة الخالية من الكربون والمرقمنة واللامركزية.

وعلى مدى العقد الماضي، انخفضت تكلفة مصادر الطاقة المتجددة بشكل كبير. وخلصت دراسة أجرتها الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA) عام 2019 إلى أن سعر الطاقة الشمسية وطاقة الرياح المتجددة قد انخفض إلى مستوى يساوي الفحم وأنواع الوقود الأحفوري الأخرى، بل ويقل عنه. ويمكن لمقدمي خدمات النطاق العريض التغلب على تحديات الطاقة والحواجز التي تعترض الاستثمار في البنية التحتية للنطاق العريض في المناطق الريفية من خلال توليد الطاقة النظيفة الخاصة بهم من مصادر تكون أقل تكلفة ونظيفة ومتجددة أو من خلال التعاون مع مشاريع تنمية الطاقة المجتمعية. ويجري أيضاً إنشاء صناعة بشأن توفير حلول التخزين التي تعد أمراً أساسياً لتعزيز انتشار الطاقة المتجددة. وعلاوة على ذلك، يؤدي ابتكار تكنولوجيا المعلومات أيضاً دوراً رئيسياً في تحسين إنتاج الكهرباء واستهلاكها.

5.4 تحسين كفاءة استهلاك الطاقة – الاستهلاك الأمثل

ستساعد الأجهزة التي تتسم بكفاءة استهلاك الطاقة في تقليل تكاليف الاستثمار في الطاقة اللازمة لتحفيز برامج الوصول إلى الكهرباء. ومن خلال تخفيض الطاقة بمقدار واط واحد من حمولة جهاز خارج الشبكة، ستنخفض تكاليف أنظمة الطاقة الشمسية الأولية أو تتحسن الخدمة أو كلاهما." (Van Buskirk، 2015.) وبالمثل، يمكن لكفاءة استخدام الطاقة أن تجعل المنشآت الأكبر التي تعمل بالطاقة الشمسية خارج الشبكة ميسورة التكلفة.

وأشار التحليل الذي أجراه Van Buskirk في عام 2015 إلى أنه "يمكن تخفيض التكلفة الأولية لنظام طاقة نموذجي خارج الشبكة بنسبة تصل إلى 50 في المائة إذا تم استخدام الأجهزة فائقة الكفاءة والطاقة الشمسية الكهروضوئية والبطاريات ذات الحجم المناسب، مع تقديم خدمة طاقة مكافئة أو أكبر." ويمكن تحقيق الكفاءة من خلال إعادة تصميم المعدات الراديوية للمحطة القاعدة (وحدة معالجة الإشارة الرقمية، ومضخمات قدرة أجهزة الإرسال والاستقبال، والترددات الراديوية، وأسلاك التوصيل). ويتحقق الاستهلاك الأمثل للطاقة في أنظمة المحطات القاعدة (BTS) للإرسال والاستقبال ومعالجات الإشارات الرقمية باستعمال معماريات الدارات المتكاملة مثل ASIC أو FPGA أو DSP التي يتم دمجها للحصول على كفاءة أفضل.[17]

[17] S. Zoican، "دور معالجات الإشارات الرقمية القابلة للبرمجة (DSP) لأنظمة الاتصالات المتنقلة من الجيل الثالث (G3)"، Acta Technica Napocensis، المجلد 49، الصفحات 49-59، 2008.

ويمكن تحسين استهلاك الطاقة بشكل أكبر من خلال ما يلي:

- إيقاف تشغيل الأنظمة خلال أوقات معينة لمطابقة الحمل[18]
- إدارة موارد الشبكة دينامياً
- تقاسم موارد المحطات القاعدة المتنقلة وجهاز الإرسال والاستقبال اللاسلكي ومحطات المكررات بين مختلف المشغلين.

وكذلك، يؤدي توسيع مدى درجات حرارة التشغيل إلى إلغاء الاحتياجات من الطاقة لتكييف الهواء أو تقليلها. وهذا يؤدي إلى انخفاض كبير في الطلب على الطاقة والتكاليف في المواقع النائية.

[18] L. M. Correia، وD. Zeller, O وآخرون، " التحديات والتكنولوجيات التمكينية للشبكات الراديوية المتنقلة المراعية للطاقة"، مجلة *IEEE Communications*، المجلد 48، العدد 11، الصفحات 66-72، 2010. انظر: Google Scholar | Publisher Site.

5 مصادر الطاقة المتجددة لكهربة الريف

حلول الطاقة المتجددة هي المصدر الأقل تكلفة لتوليد الطاقة الجديدة اليوم في جميع مناطق العالم. وشهد العقد الماضي انخفاضاً كبيراً في تكلفة الكهرباء المولدة من الطاقة الشمسية الكهروضوئية وطاقة الرياح والطاقة الكهرومائية والطاقة الحرارية الأرضية والكتلة الحيوية لدرجة أنها تقع ضمن نطاق تكلفة توليد الطاقة التي تعمل بالوقود الأحفوري.[19]

1.5 الطاقة المتجددة أكثر قدرة على المنافسة من مصادر الوقود الأحفوري

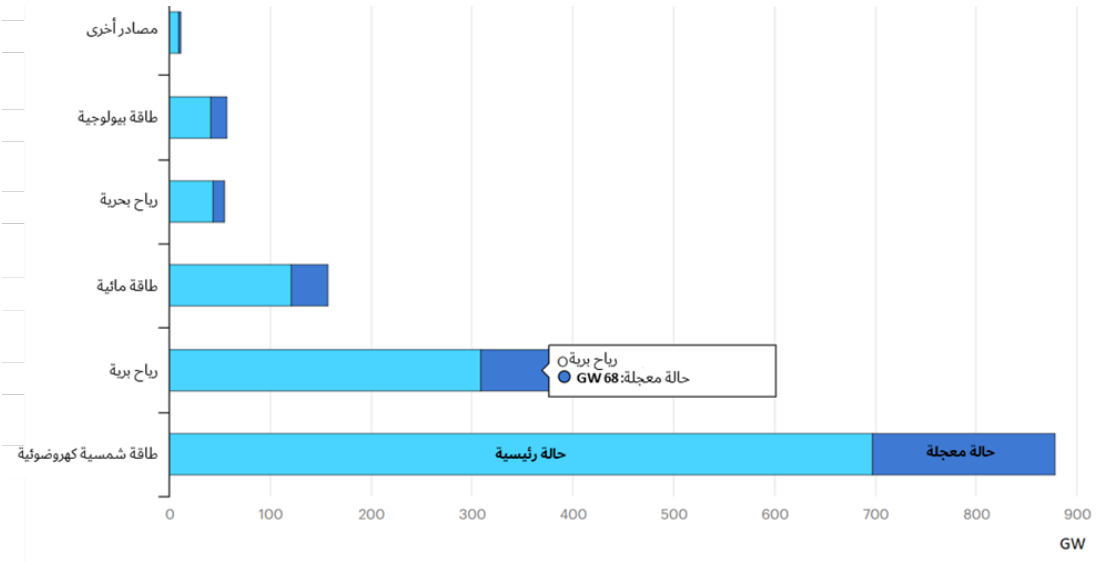
انخفضت تكاليف الكهرباء الناتجة عن مشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية الضخمة التي تم تنفيذها مؤخراً إلى ما دون سعر الكهرباء المنتجة من محطات توليد الوقود الأحفوري (IRENA 2018). كما أن انخفاض تكاليف الرياح البرية والطاقة الشمسية المركزة أدى إلى زيادة القدرة التنافسية للمصادر المتجددة الأخرى مقارنة بتوليد الكهرباء عن طريق الفحم أو أنواع الوقود الأحفوري الأخرى.

ويمكن استخدام حلول الطاقة المتجددة في مجموعة متنوعة من التشكيلات، من الشبكات الموصولة بشبكة الكهرباء إلى الشبكات خارج شبكة الكهرباء والحلول المحلية المستقلة.

وفي المناطق الريفية التي لا تتوفر فيها إمكانية الوصول إلى الشبكة، ستبرز شبكات الطاقة خارج الشبكة كشبكة مفضلة لتشغيل مكونات البنية التحتية عريضة النطاق ولتوفير الكهرباء للاقتصاد الريفي، مما يوفر مزايا قابلية التوسع والمرونة والنمطية.

ووفقاً لوكالة الطاقة الدولية (IEA)، من المتوقع أن تتوسع قدرة التوليد من مصادر الطاقة المتجددة بنسبة 50 في المائة (زيادة قدرها 1 200 جيغاواط) بين عامي 2019 و2024 (انظر الشكلين 13 و14).

الشكل 13: نمو الطاقة المتجددة بين عامَي 2019 و2024 حسب التكنولوجيا (GW)



المصدر: وكالة الطاقة الدولية، نمو الطاقة المتجددة بين عامي 2019 و2024 حسب التكنولوجيا.

أصبحت الطاقة المتجددة التكنولوجيا المفضلة. وبحلول عام 2040، ستساهم بنحو 66 في المائة (الثلثين) من جميع قدرات توليد الطاقة الجديدة في العالم، وسترتفع حصتها من إجمالي توليد الكهرباء إلى أكثر من 40 في المائة (انظر الشكل 14).

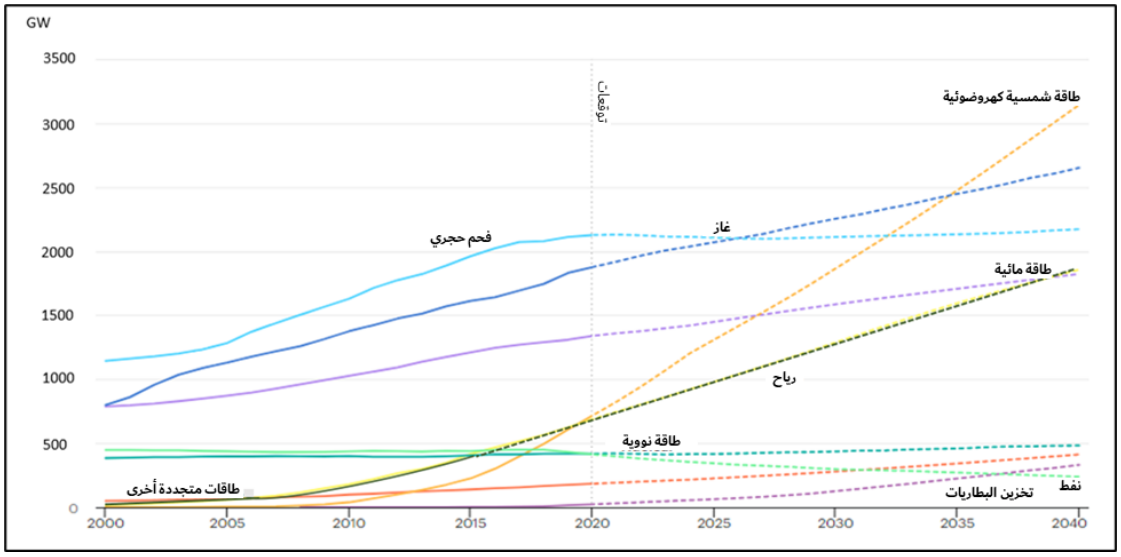
[19] تكاليف توليد الطاقة المتجددة في 2018، الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA) https://www.irena.org/publications/2019/May/Renewable-power-generation-costs-in-2018

ويجب أن تستخدم حلول الشبكات المصغرة والشبكات الميكروية المتجددة غير الموصولة بالشبكة الرئيسية تشكيلات هجينة تجمع بين أنظمة الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح، مع حلول تخزين الطاقة للتعامل مع تغاير وتقطع هذه الأنواع من مصادر الطاقة العديدة. وهذا يمكّن من ضمان توافر وموثوقية عالية للكهرباء الموزعة على شبكة الكهرباء المصغرة أو الميكروية.

وعند الاقتضاء، يمكن أن تستخدم الشبكات المصغرة الهجينة مصدراً من مصادر الطاقة المتجددة إلى جانب مولدات الديزل الاحتياطية، وهو خيار جذاب للمشغلين الذين يملكون بالفعل مجموعات من هذه المولدات القديمة. ويمكن تحسين هذه الحلول لتقليل طول وتكرار استخدام مولدات الديزل، وتحقيق وفورات كبيرة في استهلاك الوقود والصيانة والنفقات التشغيلية.

كان للتقدم الكبير في حلول تخزين الطاقة تأثير إيجابي على موثوقية إمدادات الطاقة وأدى إلى زيادة استخدام حلول الطاقة المتجددة في المناطق الريفية. وفي أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية، تستخدم حلول تخزين الطاقة بشكل أساسي لإمداد الذروة المسائية ولتنظيم وتخفيف الطاقة التي يتم توصيلها على شبكة الكهرباء المصغرة. وعندما تكون الشبكة المصغرة موصولة بشبكة الكهرباء الرئيسية، يمكن بيع الطاقة الزائدة إلى مشغل الشبكة، مما يساعد على تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

الشكل 14: قدرة توليد الطاقة المركبة والمتوقعة حسب المصدر، 2000-2040



(قدرة توليد الطاقة المركبة والمتوقعة حسب المصدر في سيناريو النهج الجديدة، 2020-2040)

المصدر: توقعات الطاقة العالمية في 2019، الوكالة الدولية للطاقة. https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019

تم إحراز تقدم هائل في الحصول على الطاقة في السنوات الأخيرة، حيث بلغ معدل الكهربة العالمية 89 في المائة على مستوى العالم في عام 2017. ومع ذلك، فقد تجاوز هذا التطور إلى حد كبير أقل البلدان نمواً، خاصة في إفريقيا جنوب الصحراء الكبرى، حيث لا يزال 580 مليون شخص، يعيشون بشكل رئيسي في المناطق الريفية، يفتقرون إلى الكهرباء.

وتتوقع الوكالة الدولية للطاقة أن تتجاوز السعة المجمعة لطاقة الرياح والطاقة الكهروضوئية الشمسية 38 في المائة من مجموع مزيج الطاقة بحلول عام 2040، مقارنة بحوالي 18 في المائة في عام 2018. ويتيح هذا الأمر فرصاً كبيرة للمناطق الريفية في إفريقيا وآسيا، التي تزخر بأغنى موارد الإشعاع الشمسي في العالم، لنشر حلول الطاقة الكهروضوئية الشمسية كمصادرها الكهربائية الأقل تكلفة.

وانخفضت تكلفة الطاقة المتجددة بنسبة 77 في المائة إلى ما يقل بقليل عن 0,03 دولار أمريكي للكيلوواط ساعة، ما يجعل الكهرباء المولّدة من مصادر الطاقة المتجددة أكثر تنافسية بمقارنتها مع بدائل طاقة الوقود الأحفوري (انظر الشكل 15).[20]

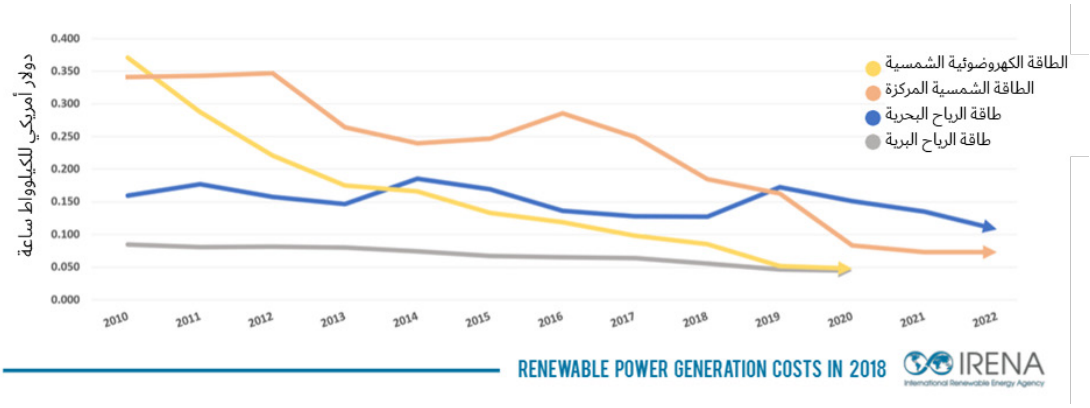
[20] الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (2019) – مستقبل الطاقة الكهروضوئية الشمسية https://www.irena.org/publications/2019/Nov/Future-of-Solar-Photovoltaic

وتوفر القدرة التنافسية للطاقة المتجددة فرصاً كبيرة لشركات القطاع الخاص وشركات الطاقة للمشاركة في نماذج الأعمال الجديدة لتنفيذ حلول الطاقة المتجددة المبتكرة من أجل سد الفجوة بين المناطق الريفية والمناطق الحضرية من حيث الكهرباء، والتقليل إلى أدنى حد ممكن من استخدام الوقود الأحفوري، ومن ثم خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.

"تمثل الكهربة القائمة على الطاقات المتجددة التنافسية من حيث التكلفة أساس التحول الطاقي وحلاً رئيسياً لإزالة الكربون بتكلفة منخفضة لدعم الأهداف المناخية المحددة في اتفاق باريس" (الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، 2019).[21]

ويمكن أن يؤدي التقدم في الطاقة المتجددة والابتكار في التكنولوجيات الرقمية، المدعومان بالتزام سياسي وطني قوي ببرنامج الحصول على الطاقة والمقترنان بالتمويل وريادة الأعمال على الصعيد المحلي، إلى تسريع توسيع إمكانية الحصول على الكهرباء في المناطق الريفية بشكل كبير.

الشكل 15: تكاليف توليد الطاقة المتجددة في 2018



المصدر: https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2019/May/Falling-Renewable-Power-Costs-Open-Door-to-Greater-Climate-Ambition

ما برحت معدلات الكهربة في المناطق الريفية، حيث يعيش معظم السكان الذين لا يحصلون على الكهرباء، تنمو بسرعة، وقد قدرت في عام 2018 بحوالي 76 في المائة، وفقاً للبيانات الصادرة عن مجموعة البنك الدولي.[22]

2.5 الطاقة الشمسية

تمثل الطاقة الشمسية المصدر الأكثر انتشاراً للطاقة النظيفة والأكثر ملاءمة للطاقة الموزعة لمرافق الاتصالات في المناطق الريفية، نظراً لنمطية التكنولوجيا: يمكن توسيعها بسهولة لتلائم الاحتياجات من الطاقة.

وسيؤدي النشر المتسارع لحلول الطاقة المتجددة، ولا سيما تكنولوجيات الطاقة الشمسية، إلى التقليل بشكل كبير من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. ومن المتوقع أن تزيد السعة المركبة للخلايا الكهروضوئية الشمسية بنحو ستة أضعاف خلال العقد المقبل، كما يتوقع أن تنخفض الأسعار بحوالي kWh/0,08 (تكاليف التركيب) بحلول عام 2030.[23] ومن شأن التطورات التكنولوجية وفي مجال الطاقة الشمسية والقدرة التنافسية للطاقة الشمسية والاستثمارات المحددة الأهداف في مشاريع كهربة المناطق الريفية، المدعومة بسياسات رشيدة، أن تجلب فوائد اجتماعية واقتصادية كبيرة إلى المجتمعات الحضرية والريفية على السواء.

وشهدت الخلايا الكهروضوئية الشمسية في عام 2016 نمواً أسرع من أي مصدر آخر للطاقة، ويعزى ذلك أساساً إلى النشر الناجح للطاقة الكهروضوئية الشمسية في الصين. فقد أدى تزايد الأحجام وتحسين وفورات الحجم إلى

[21] انخفاض تكاليف الطاقة المتجددة يفتح الباب لطموح أكبر بشأن المناخ https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2019/May/Falling-Renewable-Power-Costs-Open-Door-to-Greater-Climate-Ambition

[22] الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، حلول الطاقة المتجددة خارج الشبكة لتوسيع فرص الحصول على الكهرباء؛ https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/IRENA_Off-grid_RE_Access_2019.pdf

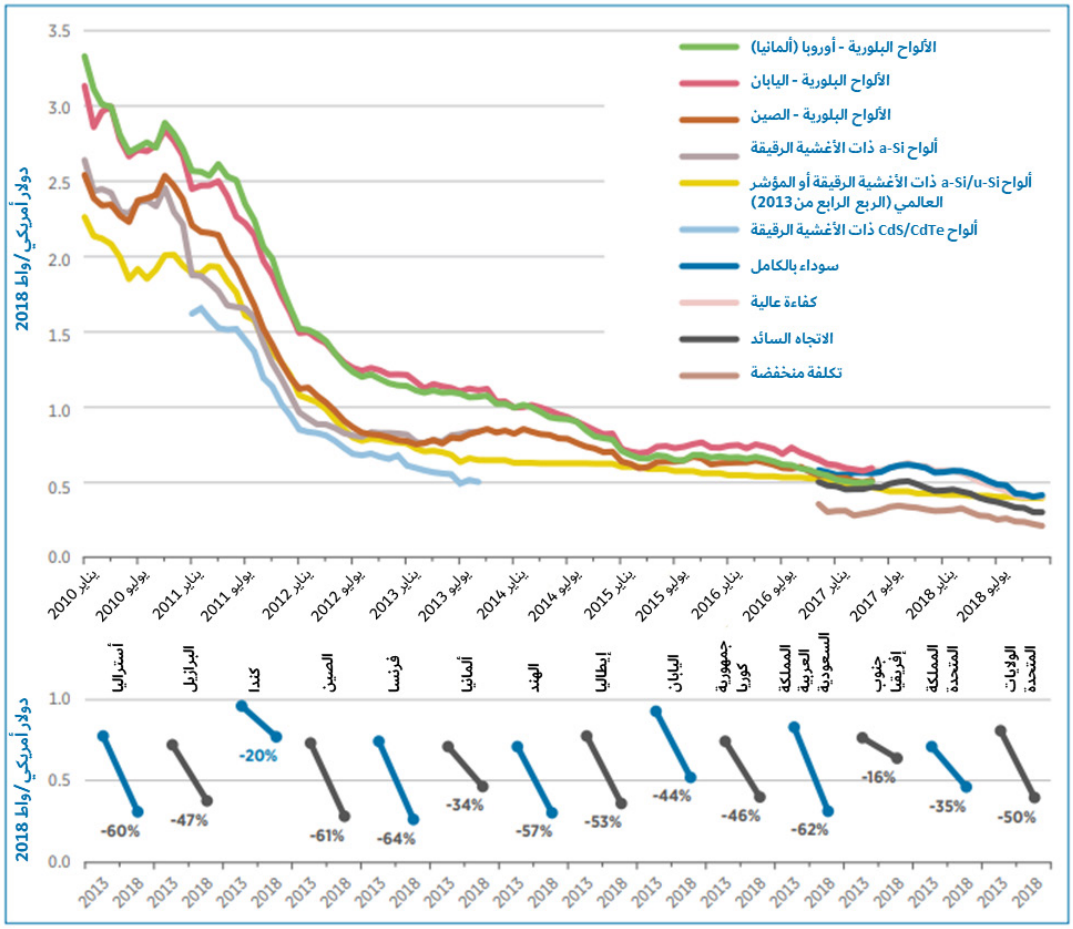
[23] الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، 2019: مستقبل الطاقة الكهروضوئية الشمسية، https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf

انخفاض كبير في التكاليف. وتمثل مصادر الطاقة المتجددة الآن ما يقارب ثلثي الإضافات الصافية الجديدة لسعة الكهرباء في عام 2016، بدخول ما يقارب 165 غيغاواط حيز التشغيل (انظر الشكل 14). وسُجل انخفاض كبير ومستدام في تكلفة الكهرباء المولدة من الطاقة الكهروضوئية الشمسية على نطاق المرافق، والتي انخفضت بأكثر من 77 في المائة بين عامي 2010 و2018 (المتوسط المرجح العالمي، "التكلفة المستوية للكهرباء" – نشرته الوكالة الدولية للطاقة المتجددة في عام 2019). وسُجل هذا الانخفاض الكبير في أسعار الطاقة الشمسية في جميع مناطق العالم (انظر الشكلين 16 و17).

وفي البلدان النامية، خاصة في إفريقيا وآسيا، تتوقع الوكالة الدولية للطاقة أن تزيد برامج الكهربة القائمة على الطاقة الكهروضوئية الشمسية خارج الشبكة بثلاثة أضعاف لتصل إلى 3 000 MW، نتيجة استثمار القطاع الخاص وبرامج التمويل الأخرى. بيد أن العائق التقني الأكبر الذي يؤثر على نشر الخلايا الشمسية هو متطلب المساحة المادية المرتبطة عكسياً بكفاءة الألواح. فكفاءة اللوح تزيد كلما قلّت المساحة التي يتطلبها.

الشكل 16: انخفاض أسعار الطاقة الكهروضوئية الشمسية

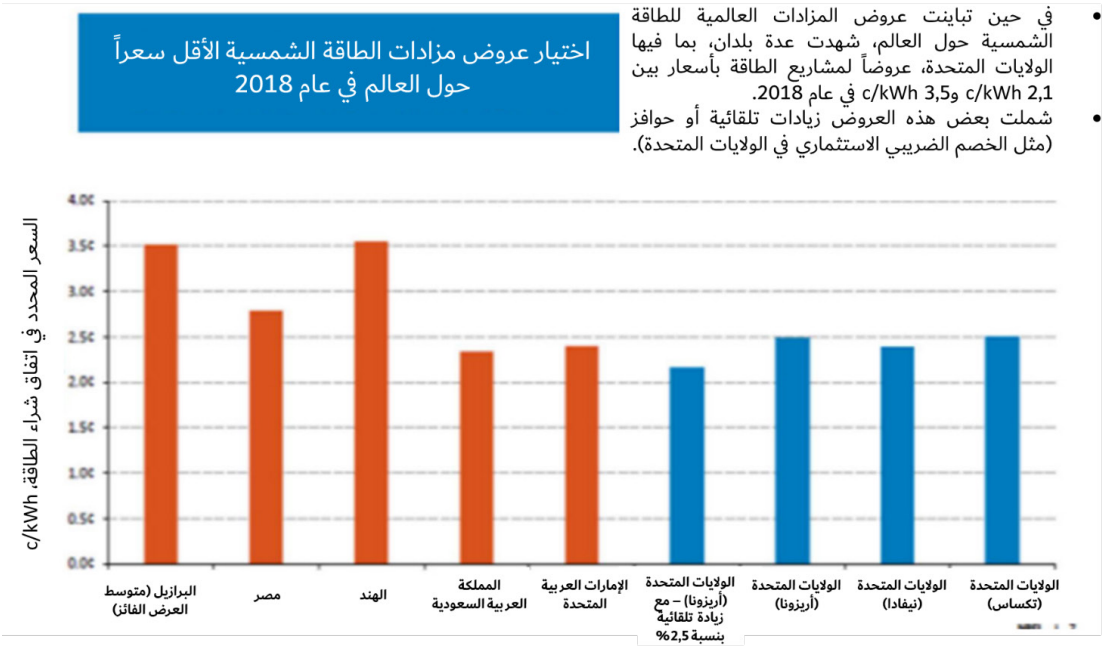
متوسط أسعار الوحدات بحسب النوع والسوق في الفترة من 2013 إلى 2018



المصدر: استناداً إلى GlobalData، 2018؛ وقاعدة بيانات تكاليف مصادر الطاقة المتجددة للوكالة الدولية للطاقة المتجددة، 2019؛ وPhoton Consulting، 2018؛ وpvXchange، 2019.

الشكل 17: عروض مزاد الطاقة الشمسية الأقل سعراً في عام 2018

- في حين تباينت عروض المزادات العالمية للطاقة الشمسية حول العالم، شهدت عدة بلدان، بما فيها الولايات المتحدة، عروضاً لمشاريع الطاقة بأسعار بين 2,1 c/kWh و3,5 c/kWh في عام 2018.
- شملت بعض هذه العروض زيادات تلقائية أو حوافز (مثل الخصم الضريبي الاستثماري في الولايات المتحدة).



ملاحظة: PPA: اتفاق شراء الطاقة

المصدر: رابطة Solar Power Europe – "توقعات السوق العالمية للطاقة الشمسية، 2019-2023"

1.2.5 نظرة عامة على تكنولوجيا الطاقة الشمسية

الوحدة الكهروضوئية هي اللبنة الأساسية لبناء صفيف نظام الطاقة الشمسية، وتتكون من العديد من الخلايا الكهروضوئية الصغيرة الموصولة كهربائياً. وتستخدم تكنولوجيا قائمة على أشباه موصلات تحول ضوء الشمس إلى تيار مستمر (DC). والوحدات الكهروضوئية مصممة بخرج كهربائي يتراوح بين بضع واطات إلى 100 واط.

وتمثل ألواح السليكون البلورية (c-Si) الجيل الأول من الألواح الكهروضوئية الشمسية، ولكنها لا تزال تحتفظ بحصة 95 في المائة من سوق إنتاج الخلايا الكهروضوئية على الصعيد العالمي (معهد Fraunhofer لأنظمة الطاقة الشمسية، 2019)، لأن وفورات الحجم تجعلها أيسر تكلفة من التكنولوجيات الأخرى. وتتسم الألواح البلورية بكفاءة عالية تصل إلى 17 في المائة بالنسبة للألواح الكهروضوئية متعددة البلورات و18 في المائة بالنسبة للألواح الكهروضوئية أحادية البلور. ومن المتوقع إجراء مزيد من التحسينات في التكاليف وتحقيق مزيد من نقاء المواد والمردود خلال السنوات القليلة القادمة (GlobalData، 2019).

وتمثل الألواح ذات "الأغشية الرقيقة" الجيل الثاني من تكنولوجيات الألواح الكهروضوئية الشمسية، وهي أقل تكلفة للإنتاج، ولكنها تتسم عموماً بمستويات كفاءة أقل. وتخضع أجهزة واعدة أخرى للبحث حالياً، مثل خلايا Perovskites التي تتسم بمستويات كفاءة عالية تصل إلى 24,4 في المائة، غير أنها ليست جاهزة لعرضها في السوق.

وتعتمد إحدى التكنولوجيات الخلوية الجديدة على استعمال خلايا تخميل الباعث والاتصال الخلفي (PERC). وتتسم هذه الخلايا بخوارزمية متقدمة لخلايا السليكون تشبه في بنيتها الخلايا الكهروضوئية التقليدية أحادية البلور. وأصبحت خلايا PERC المعيار الصناعي الجديد للخلايا أحادية البلور، وذلك بفضل تحسين موثوقية أدوات الإنتاج وأدائها وإنتاجيتها.

وبالتالي، يحدَّد اختيار تكنولوجيا الطاقة الكهروضوئية الشمسية التي ستكون مناسبة لمنشأة محددة من خلال المفاضلة بين تكلفة الاستثمار في الألواح وكفاءة الوحدات والمساحة المتوفرة والعوامل المحلية.

2.2.5 ترتيبات الصفيفات الشمسية

تُصمَّم الصفيفات الثابتة لضمان أن تكون الوحدات الشمسية المركبة موجهة نحو أشعة الشمس (في اتجاه خط الاستواء) لتوفير البيان الوصفي الأمثل لخرج الطاقة السنوي. ويتمثل الترتيب البديل في استخدام تصميم يمكنه

تتبع الشمس، مثل أنظمة التتبع ثنائية المحور؛ بيد أنها أعلى تكلفة إلى حد كبير. ويعتمد الميل الأمثل، للاستفادة إلى أقصى حد ممكن من شدة الإشعاع المباشر، على الخصائص المناخية والطوبوغرافية المحلية، ويجب أخذه في الاعتبار في تكاليف التركيب.

ويتأثر أداء الوحدات الكهروضوئية بظروف درجة الحرارة. فعند دمج هذه الوحدات مع وحدات حديثة للتحكم في الشحن تستخدم أقصى تتبع لنقاط الطاقة، يتحسن أداء الألواح الشمسية في الطقس البارد، في حين أن التصاميم التقليدية لوحدات التحكم في الشحن تنقل التيار من الخلية الشمسية مباشرة إلى البطارية دون مراعاة التغيير في أداء الخلية الشمسية نتيجة الظروف البيئية.[24] ويمكن لوحدات التحكم في الشحن المجهزة بأقصى تتبع لنقاط الطاقة أن تحقق النقل الأمثل للتيار مما يؤدي إلى تحسينات كبيرة في الأداء العام.

ويمكن تركيب الوحدات الكهروضوئية الشمسية على الأرض أو في مبنى/على الأسطح أو عمود/برج، مع إمالة ثابتة أو أنظمة أحادية/ثنائية المحور لتتبع الشمس.

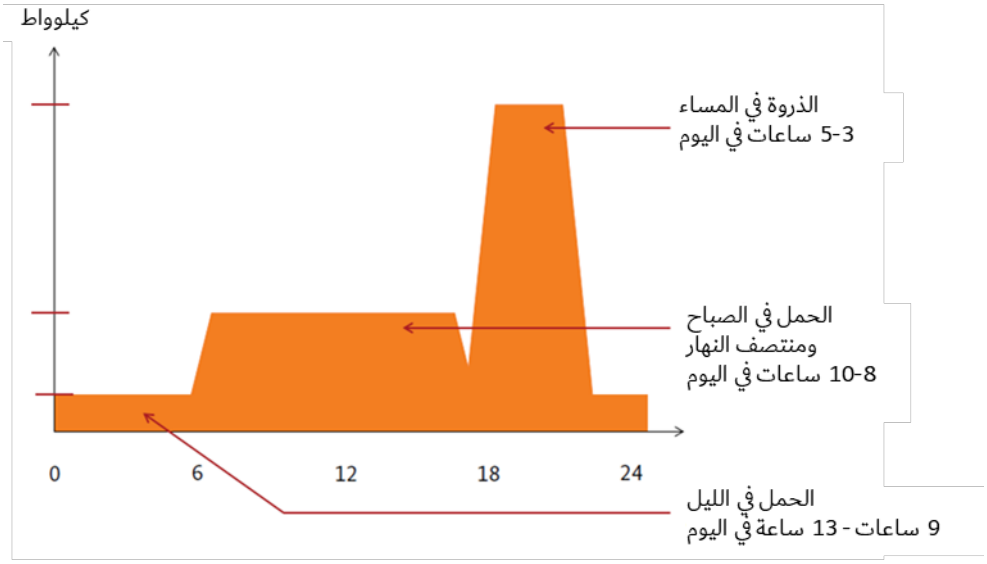
3.5 الاعتبارات المتعلقة بتحديد حجم الصفيفات الكهروضوئية الشمسية

تتمثل المرحلة الأولى في حساب متطلبات نظام خارج الشبكة، بعد إجراء استقصاء كامل في الموقع وتقدير الحاجة، في التنبؤ بالطلب مع ضرورة أخذ الزيادات المستقبلية المتوقعة في الاعتبار.

ويتم توليد بيان وصفي نموذجي للحِمل لتحديد متوسط طلب الحمل في الساعة على مدى 24 ساعة، إلى جانب فترة التخطيط الأسوأ حالة على مدى عام، والتي يمكن تحديدها بغطاء السُّحب وهطول الأمطار في المناطق المدارية، أو بتساقط الثلوج في المناطق المعتدلة.

ويبين الشكل 18 مثالاً للبيان الوصفي للحمل.

الشكل 18: بيان وصفي نموذجي للحمل اليومي في منطقة ريفية



المصدر: بيان وصفي نموذجي للحمل اليومي في منطقة ريفية (الوكالة الدولية للطاقة، 2013)

وبعد حساب طلب الحمل في الساعة، يتم حساب ذروة الحمل بالكيلوواط. ويجب أن يشمل ذلك الطاقة اللازمة لشحن بطاريات الدعم، وكذلك الطلب المتوقع على الكهرباء. ويتم تقييم إجمالي ذروة الطلب مع أخذ "عامل الخفض" في الاعتبار، الخسارات أو أوجه القصور في جميع الأنظمة الفرعية. وتشمل عناصر الأنظمة هذه ما يلي:

وحدة التحكم في شحن الطاقة الشمسية – تضبط الجهد والتيار القادمين من الألواح الكهروضوئية إلى البطاريات. وتمنع البطاريات من الشحن الزائد وتمدد عمر البطارية.

[24] من أجل مناقشة تقنية بشأن MPPT – يرجى الاطلاع على مجلة Home power، العدد 72، سبتمبر 1999 http://www.homepower.com.

العاكس – يحول خرج التيار المستمر للألواح الكهروضوئية إلى تيار متناوب نظيف من أجل ناقل للتيار المتناوب أو لتغذية أجهزة التيار المتناوب.

البطارية أو مخزِّن الطاقة – تخزن/يخزن الطاقة التي يتم يعد ذلك توريدها إلى الأجهزة الكهربائية عند الطلب.

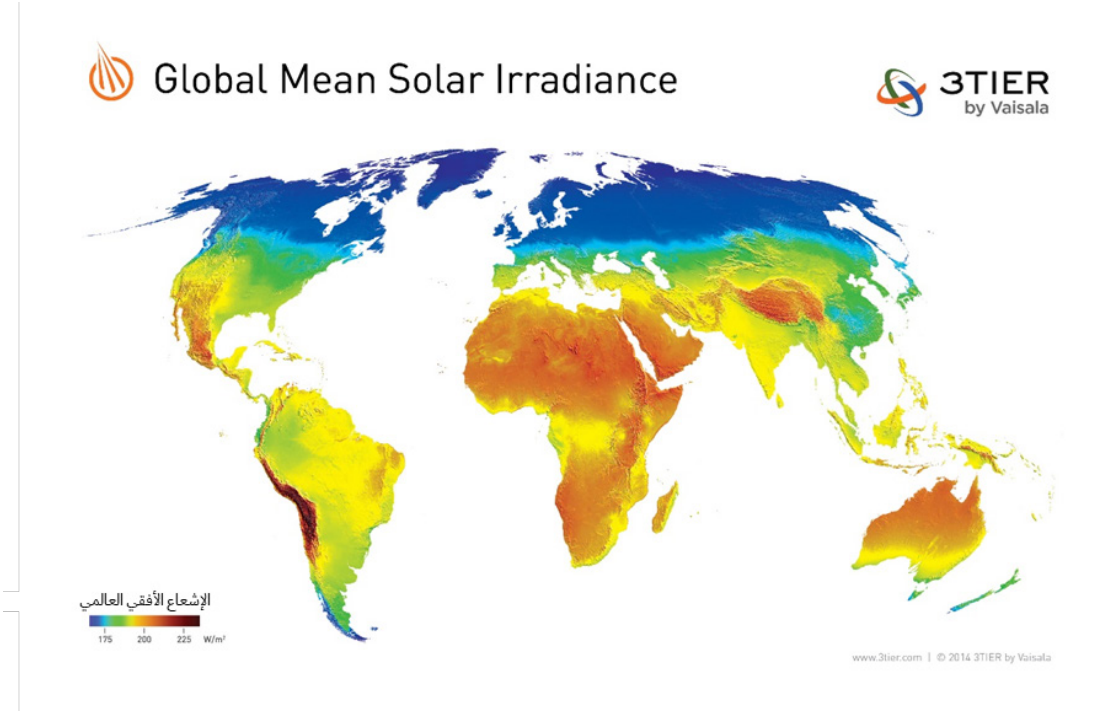
الحِمل – مجموعة تضم كل الأجهزة الكهربائية الموصولة بنظام الطاقة الكهروضوئية الشمسية، مثل الإنارة والراديو والتلفزيون والحاسوب والثلاجة وما إلى ذلك.

مصادر الطاقة المساعِدة – يمكن أن تكون مولِّداً يعمل بالديزل أو مصدراً آخر للطاقة المتجددة.

بيانات الإشعاع

يتم الحصول على البيانات المناخية المناسبة للمنطقة المعنية، ويتم توفير القيم المتوسطة للإشعاع الشمسي اليومي من الخرائط (انظر الشكل 19) أو من مصادر بيانات أخرى تم قياسها وتقييمها بدقة.

الشكل 19: متوسط الإشعاع الشمسي العالمي



https://www.researchgate.net/figure/Global-mean-solar-irradiance-10_fig3_275922125

1.3.5 عاكسات الطاقة الشمسية – محولات الجهد

يتم توصيل العديد من الألواح الكهروضوئية الشمسية في سلسلة لتشكيل صفيف. ويتم بعد ذلك توصيل الصفيف بعاكس مركزي لتحويل التيار المستمر الذي يولده الصفيف إلى تيار متناوب. ويتراوح التصنيف الاسمي لخرج التيار المستمر بين 300 و600 فولط تقريباً، ويتم تحويله إلى جهد التيار المتناوب المناسب للمنطقة (الجهد المعياري في أوروبا هو 220-240 فولط من التيار المتناوب في التردد 50 هرتز، وأما في أمريكا الشمالية، فهو 120 فولط من التيار المتناوب في التردد 60 هرتز).

2.3.5 ميزة الطاقة الشمسية مقارنة بالمولدات العاملة بالديزل

على الرغم من أن التكاليف الأولية أنظمة الطاقة الشمسية أعلى بكثير من تكاليف مجموعة من المولدات العاملة بالديزل، فإن الطاقة الشمسية خيار أقل تكلفة على المدى الطويل، لأن المولدات العاملة بالديزل تحتاج إلى وقود وصيانة بشكل منتظم.

وبالنسبة لمنشآت الاتصالات في المناطق الريفية البعيدة عن شبكة الكهرباء الوطنية، كان النهج التقليدي هو توفير مولدات قائمة بذاتها لتوفير الكهرباء. وتعتبر الطاقة الشمسية بديلاً قابلاً للتطبيق.

وتتطلب منشآت الطاقة الشمسية تكاليف تشغيل منخفضة جداً لتطبيقات الاتصالات في المناطق الريفية، مع مدد ضمان تتجاوز 15 سنة، ولكن شركات التصنيع غالباً ما تقدم ضمانات لدورة حياة تمتد بين 20 و25 سنة مع توقع انخفاض الخرج إلى نحو 80 في المائة من المردود الأصلي في نهاية هذا الوقت.

4.5 طاقة الرياح

تتسم توربينات الرياح الصغيرة (SWT) بسعة توليد أقل من 100 كيلوواط، ويمكن أن تكون حلاً ممتازاً لكهربة المناطق الريفية وإمداد مرافق الاتصالات بالطاقة. وعادة ما يكون للتوربينات قطر يبلغ من 7 أمتار إلى 15 متراً، مع خرج طاقة أقل من 50 كيلوواط عموماً.

ويمكن أن تولد توربينة رياح نموذجية الكهرباء بسرعة رياح من 3 إلى 5 أمتار في الثانية، بحيث تبلغ أقصى حد من الطاقة عند سرعة 15 متراً في الثانية، وتتوقف عند سرعة تقارب 25 متراً في الثانية (بحسب التصميم).

تصميم توربينة الرياح وعناصرها

المحور الأفقي هو التصميم الأكثر شيوعاً لتوربينات الرياح، بحيث يوفر مستوى أعلى من الكفاءة والموثوقية بالمقارنة مع التصاميم ذات المحور الرأسي.

- تصاميم الشفرات – تضم من شفرة واحدة إلى 3 شفرات مركبة على سارية.
- فيما يتعلق بالمنشآت الصغيرة جداً، مثلاً منزل، سيكون لتوربينات الرياح قطر أقل من مترين وخرج يقارب 1 كيلوواط.
- يمكن أن تدعم سرعة رياح يبلغ متوسطها 5 أمتار في الثانية أو أكثر الإنتاج السنوي لحوالي 300 كيلوواط ساعة لكل متر مربع من مساحة الدوار.
- تولِّد مساحة مكتسحة بدوارين ارتفاع كل منهما 20 متراً حوالي 6 000 كيلوواط ساعة، ويرتفع هذا الرقم إلى 8 500 كيلوواط ساعة عندما تبلغ سرعة الرياح 6 أمتار في الثانية.

  ويجب تركيب الشفرات على ارتفاع أكبر من 15 متراً بعيداً عن الاضطرابات على سطح الأرض.
- يمكن أن تكون سرعة مولدات توربينة الرياح ثابتة أو متغيرة.
- الأقطاب أو السواري أو الأبراج المائلة شائعة الاستخدام في البلدان النامية لأنها سهلة التركيب وتتيح سهولة النفاذ لأغراض الصيانة والإصلاح.
- تحتوي معظم توربينات الرياح الصغيرة على مولد مغنطيسي دائم (لا حاجة إلى صندوق تروس).

  وينتج المولد تياراً متناوباً (AC) يحوله مقوِّم التجسير إلى تيار مستمر لإنتاج خرج مشابه لخرج الأنظمة الكهروضوئية.

  وتمنع وحدة التحكم في الشحن لأنظمة الشحن داخل البطارية الشحن الزائد وتحمي البطارية وتمنع التوربينة من السرعة الزائدة.

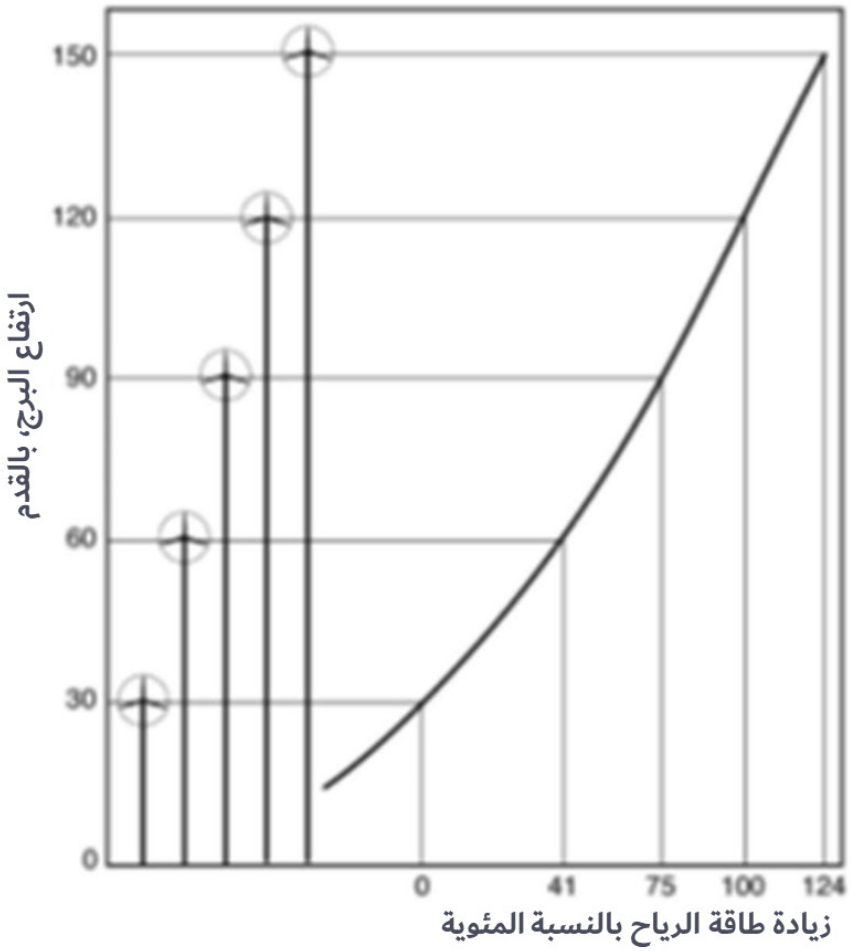
  وفي حالة عدم توفر البيانات المحلية، يتعين إجراء قياسات مكثفة للرياح على مدى فترة زمنية طويلة قبل التركيب، لأن الموقع المحدد للتوربينة مهم جداً ويجب دراسته بعناية لتجنب تداخلات الرياح.

تعتري طاقة الرياح العيوب التالية:

- خرج غير مستقر، وتعتمد كثيراً على الطوبوغرافيا والجغرافيا المحلية.
- ندرة توفر البيانات الموثوقة بشأن سرعة الرياح في جميع المواقع المرشحة، ومن ثم الحاجة إلى أدوات خاصة لتحديد أفضل موضع في منطقة معينة.
- متطلبات هيكلية أعلى وتكاليف أعلى مقارنة بأبراج الاتصالات التقليدية، التي لا تحتاج إلى حمل نفس الأحمال العالية مثل توربينات الرياح.
- كلما زاد خرج الطاقة المطلوب، زاد ارتفاع البرج وازداد تصميمه تعقيداً لتلبية الطلبات الهيكلية.

ويوضح الشكل 20 تغاير خرج الطاقة بتغير ارتفاعات أبراج الرياح.

الشكل 20: خرج طاقة توربينة الرياح مقابل ارتفاع البرج



ملاحظة: شكل إرشادي لتوضيح تأثير ارتفاع البرج على خرج طاقة توربينة الرياح.

5.5 خلايا الوقود

أحرز مؤخراً تقدم كبير في تطوير تكنولوجيا خلايا الوقود فيما يتعلق بأنواع الوقود وتكنولوجيا التوليد.

وخلايا الوقود التي تستخدم الهيدروجين كوقود هي الأكثر شيوعاً. ويمثل الهيدروجين الوقود الأنظف نظراً لخصائص أكسدته بنسبة 100 في المائة، فلا ينبعث منه أن تلوث (يُنتج الماء فقط). ومع ذلك، فإن تبني خلايا الوقود يعوقه ارتفاع النفقات الرأسمالية الأولية وارتفاع تكلفة استبدال الوقود والافتقار إلى البنية التحتية اللازمة لدعم النظام الإيكولوجي لسلسلة التوريد الخاصة بالوقود.

6.5 الكتلة الأحيائية

الكتلة الأحيائية شكل من أشكال التكنولوجيا الخضراء البديلة المثيرة للاهتمام والمثالية لتوليد الطاقة الموزعة على نطاق صغير. والوقود متوفر على نطاق واسع في المناطق الريفية في البلدان النامية ويتم تبني التكنولوجيا بشكل متزايد لأغراض تطبيقات الطاقة القائمة على شبكات الكهرباء المجتمعية المصغرة.

وأما في تطبيقات الاتصالات، فتمثل الكتلة الأحيائية تحديات كبيرة من حيث قابلية التوسع والطابع التشغيلي المعقد وموثوقية سلسلة التوريد والاستدامة. ومن شأن أي تقلبات في توفر مصدر الكتلة الأحيائية، مثل الرقائق الخشبية والمخلفات الزراعية وما إلى ذلك، أن تؤثر على جدوى محطة توليد الطاقة واستدامتها في الأجل الطويل.

7.5 الطاقة المائية الميكروية

تولد أنظمة الطاقة المائية الكهرباء باستخدام نفس المبادئ المستخدمة في توربينات الرياح. وتؤدي قوة تدفق المياه إلى تدوير ناعورة موصولة بمولد. وينتج عن ذلك تيار كهربائي.

- تنتج أنظمة الطاقة المائية الميكروية أقل من 100 كيلوواط (kW) من الطاقة.
- تنتج أنظمة الطاقة المائية البيكوية أقل من 1 kW.

تتأثر التكاليف الرأسمالية لأنظمة الطاقة المائية الميكروية باختيار الموقع وتخطيطه الأساسي.

ويصمَّم تشكيل الأنظمة وفقاً لضغط المياه.

ومعظم منشآت الطاقة المائية الميكروية من نوع التيار النهري.

- ليس لديها أي خزان كبير.
- لا تنتج الكهرباء إلا عندما تتدفق كمية كافية من المياه في النهر.
- يتوقف توليد الكهرباء عندما يكوب منسوب الماء منخفضاً أو تدفق المياه غير كاف.
- التأثير على البيئة ضئيل.
- يمكن أن تكون الطاقة المائية الميكروية مصدراً أقل تكلفة للكهرباء عندما يكون للكتلة المائية ضغط كاف ويكون التدفق متوفراً.
- تخدم شبكات الكهرباء المجتمعية المصغرة والمرافق الفردية.

وتشمل المزايا الأخرى لأنظمة الطاقة المائية الميكروية ما يلي:

- استثمار آمن ومضمون على مدى عدة عقود؛
- إمكانية الملكية الفردية أو التعاونية أو المجتمعية؛
- تتطلب فقط يداً عاملة شبه ماهرة وإدارة تعاونية من أجل الصيانة والبناء؛
- نشر سريع إذا توفرت المواد والمهارات المحلية؛
- مرونة التكيف مع تغيرات الحمل السريعة؛
- عمر افتراضي طويل (عقود).

ويمكن استخدام أنظمة الطاقة المائية الميكروية حيث تتوفر الأنهار أو الشلالات، كما يمكن استخدامها في المناطق الريفية التي لا يمكنها أن تدعم أنظمة الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح بسهولة. وهذه الأنظمة سهلة الصيانة وتكلفة نشرها أقل من تكلفة نشر أنظمة الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح. وتمثل أنظمة الطاقة المائية الميكروية خياراً جذاباً لتزويد أنظمة الاتصالات في المناطق الريفية بالطاقة.

تركيب وصيانة أنظمة الطاقة المائية الميكروية

أنظمة الطاقة المائية الميكروية ليست معقدة تقنياً ويمكن تنفيذها وإدارتها على صعيد المجتمع المحلي.

- تتطلب صيانة أكثر تواتراً بالمقارنة مع نظيراتها من أنظمة طاقة الرياح أو الطاقة الكهروضوئية.
- تتطلب محامل المولدات وفُرش الصيانة والاستبدال بانتظام.
- يجب حماية التوربينة من الحطام.
- يتم توليد الطاقة طوال الوقت، لذا تكون البطاريات مشحونة باستمرار، وهي بالتالي مناسبة للاستخدام مع البطاريات ذات الدورة غير العميقة، مثل بطاريات السيارات، دون فرض أي قيود لا داعي لها على الأداء. وتتيح البطاريات ذات الدورة العميقة أداء نظام مشابهاً. ويتم تحديد طول قطر أنبوب التغذية بما يتناسب مع حالة المياه والتوربينة، وإلا فسيكون التركيب عديم الكفاءة.

التحديات الرئيسية:

- توفر كتلة مائية مناسبة بالقرب من موقع برج الاتصالات.
- عدم اليقين بشأن الإمداد (تدفق المياه وضغط المياه) في أوقات مختلفة من السنة.

توصية: يمكن لمقدمي خدمات النطاق العريض، بدلاً من توفير مخطط الطاقة المائية الميكروية الخاص بهم، النظر في نموذج للخدمات قائم على شراء الكهرباء من موردي الطاقة المائية على أساس نموذج أعمال متفق عليه مثل اتفاق شراء الطاقة (PPA) أو التكاليف الثابتة.

8.5 مقارنة بين مصادر الطاقة المتجددة - ملخص

يبين الجدول 3 المزايا والعيوب الرئيسية لمختلف مصادر الطاقة المتجددة المناسبة للمنشآت في المناطق الريفية والمناطق النائية خارج الشبكة. وسيُستخدم الطاقة التي تنتجها هذه المصادر في المقام الأول في أنظمة النطاق العريض وخدمات الدعم المساعِدة لها، ولكن يمكن تعزيزها لتوفير خدمات الكهربة للمجتمعات المجاورة.

الجدول 3: مزايا مصادر الطاقة المتجددة

	الإيجابيات	السلبيات
الشمسية	مصدر شمسي متجدد ومستدام ومتوفر في كل مكان. يمكن تنفيذها على نطاق واسع نظراً لنمطية التكنولوجيا الخاصة بها – النطاق التجاري أو التطبيقات الصغيرة جداً. مناسبة لتوليد الطاقة الموزعة. عدم وجود تكلفة لصيانة الألواح الشمسية، باستثناء الاستعانة من حين لآخر ببعض اليد العاملة غير الماهرة لتنظيف الألواح. تنافسية من حيث التكلفة مقارنة بخيارات التكنولوجيا الخضراء الأخرى. أسعار مستقرة للكهرباء. تشغيل خال من الانبعاثات مع عمر افتراضي يمتد من 20 إلى 25 سنة.	متطلبات مساحة كبيرة لعمليات النشر بسعة أكبر. متقطعة لأنها تعتمد على الشمس، ولكن يمكن التنبؤ بذلك. النفقات الرأسمالية الأولية عالية مقارنة بالحلول التقليدية القائمة على الديزل. سرقة وتخريب الألواح مما يعرض الاستثمار لخطر كبير (إقامة سياج). كثافة قدرة منخفضة مقارنة بمصادر الوقود الأحفوري. عائد طويل الأجل على الاستثمار.
الرياح	مناسبة لتوليد الطاقة الموزعة على نطاق صغير. المساحة المطلوبة أقل بكثير مقارنة بالطاقة الشمسية. تكاليف الصيانة منخفضة. تنافسية من حيث التكلفة بالمقارنة مع خيارات الوقود الأحفوري، ولكنها أقل تكلفة من الطاقة الشمسية. أسعار الكهرباء أكثر استقراراً بالمقارنة مع خيارات الوقود الأحفوري.	موثوقية منخفضة – بسبب تغير سرعة الرياح، ولا يمكن التنبؤ بها، ومتقطعة. تكاليف استثمارية عالية. التعادل بين التكلفة والربح بعد 10-20 سنة. قابلية منخفضة للتوسع ومستوى عال من الاستثمار. تحتاج إلى أبراج عالية، طولها 20-40 متراً لتوليد الطاقة على النحو الأمثل. موثوقية معدات الرياح تختلف اختلافاً شاسعاً. تشغيل تشوبه الضوضاء. ارتفاع تكاليف الصيانة المنتظمة. يمكن أن تشكل خطراً على الطيور أثناء طيرانها.
المائية الميكروية	تتسم بالكفاءة والموثوقية عندما يكون المورد المائي متوفراً والتدفق مستقراً، خاصة في موسم الأمطار أو فصل الشتاء (إن لم تكن متجمدة). معدلات تدفق منخفضة أو ارتفاعات سقوط (أو ضغط) منخفضة كافية لتوليد الكهرباء. تكاليف أولية منخفضة للأنظمة الصغيرة. تعمل كنظام تيار نهري – السد ليس ضرورياً. تكاليف الصيانة منخفضة. تعدد الاستعمالات للإنتاج في البلدان النامية.	قد يكون الموقع الذي توجد وتتوفر فيه الجداول/الأنهار المناسبة بعيداً عن المجتمع المراد خدمته. لا يمكن توسيع نطاقها بسهولة، فحجم وتدفق الجدول/النهر يمكن أن يقيد التوسع. انخفاض الطاقة في مواسم الجفاف وأشهر الصيف. قد تسبب عمليات تغيير الهيكل المدني وتحويل مجرى الجداول مشاكل.

الجدول 3: مزايا مصادر الطاقة المتجددة (تابع)

	الإيجابيات	السلبيات
خلايا الوقود	تكنولوجيا موثوقة. نظام مدمج ويتطلب مساحة أقل. مناسبة للأسطح والبيئات الحضرية. صيانة منخفضة. انبعاثات منخفضة وضوضاء منخفضة. أقل عرضة للسرقة والتخريب.	ارتفاع تكلفة الاستثمار الأولي وتكلفة التكنولوجيا يجعلها خياراً أخضر غير فعال من حيث التكلفة. تعتمد بشكل كبير على النظام الإيكولوجي لإمدادات الوقود وخدماتها اللوجستية. الحاجة إلى بناء محطات لتحسين الوقود وسلسلة توريد موثوقة. مدى منخفض للسعات اللازمة للتوليد الموزع.
الكتلة الأحيائية	إمكانات وفيرة للكتلة الأحيائية. مدى واسع لسعات المحطات. يمكن تحقيق موثوقية عالية بدمج سلسلة توريد قوية. توفر التكنولوجيا على نطاق واسع.	الطابع التشغيلي المعقد. ارتفاع تكاليف الموارد وعمليات التشغيل. تحديات توريد علف الكتلة الأحيائية والاعتماد على نظام إيكولوجي غير موثوق لسلسلة التوريد. حساسة لتكلفة المدخلات بسبب تقلب أسعار العلف.

المصدر: مقتبس بتصرف من رابطة النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (GSMA)، الطاقة الخضراء لأغراض الاتصالات المتنقلة

9.5 الطاقة المتجددة خارج الشبكة

الاستثمارات اللازمة لوضع برنامج لتوسيع إمكانية النفاذ إلى النطاق العريض لتشمل المناطق الريفية كبيرة، في حين أن الإيرادات الممكنة غير كافية لتغطية التكاليف دون إعانات أو أشكال أخرى من الدعم المالي.

ومن شأن توسيع فرص الحصول على الكهرباء من خلال توفير بنية تحتية تقليدية لشبكة الكهرباء في المناطق الريفية ذات الكثافة السكانية المنخفضة أن يكون أمراً غير اقتصادي لأنه سيتطلب تكاليف استثمارية عالية لمد خطوط النقل العالية الجهد وشبكات التوزيع إلى المواقع النائية.

ووفقاً للوكالة الدولية للطاقة المتجددة[25]، فإن حلول الطاقة المتجددة خارج الشبكة، بما في ذلك الأنظمة القائمة بذاتها وشبكات الكهرباء الميكروية والمصغرة كحلول كهربة قابلة للتنفيذ، ظهرت كخيارات عامة وتنافسية من حيث التكلفة لتوسيع فرص الحصول على الكهرباء في المجتمعات التي تفتقر إلى الخدمات أو تعاني من نقص فيها. وتعمل الأنظمة خارج الشبكة بشكل مستقل عن شبكة الكهرباء الوطنية وتديرها شركات خاصة، أحياناً بالشراكة مع مجالس المجتمعات المحلية أو بالتعاون مع المشغلين الوطنيين القائمين.

ويوضح الشكل 21 تجزئة شبكات الكهرباء وشبكات الكهرباء المصغرة، حيث يظهر أن الشبكة المصغرة هي الأنسب لحل كهربة المناطق الريفية ذات الكثافة السكانية المنخفضة. وفي هذا الجزء، تتيح شبكات الكهرباء المصغرة أدنى سعر تجزئة غير مدعوم للكهرباء عند مقارنتها بتمديد شبكة الكهرباء.

ولئن كانت المناطق الحضرية قد استفادت من شبكة الكهرباء الوطنية في العالم النامي بدرجات متفاوتة من النجاح، فإن الغالبية العظمى من العملاء في المناطق الريفية في أقل البلدان نمواً، على وجه الخصوص، تعاني باستمرار من مشاكل في السعة والتغطية.

ويتم نشر حلول خارج الشبكة لتوليد الكهرباء في المجتمعات التي تفتقر إلى الخدمات ولا تتمتع بفرص النفاذ إلى الشبكة الوطنية، أو في المناطق التي تعاني من نقص الخدمات حيث يكون الإمداد بشبكة الطاقة غير موثوق أو غير ميسور التكلفة. وتدعم شبكات الطاقة خارج شبكة الكهرباء كهربة المنازل، ولكن معظم السعة مخصصة للاستخدامات التجارية (مثل تزويد البنية التحتية للاتصالات بالطاقة) والاستعمالات النهائية الصناعية (مثل التوليد المشترك للطاقة) والخدمات العامة (مثل إنارة الشوارع ومراكز التعليم والرعاية الصحية، وضخ المياه) وسبل العيش (مثل صيد الأسماك والزراعة).

[25] حلول الطاقة المتجددة خارج الشبكة توسع فرص الحصول على الكهرباء:
https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/IRENA_Off-grid_RE_Access_2019.pdf

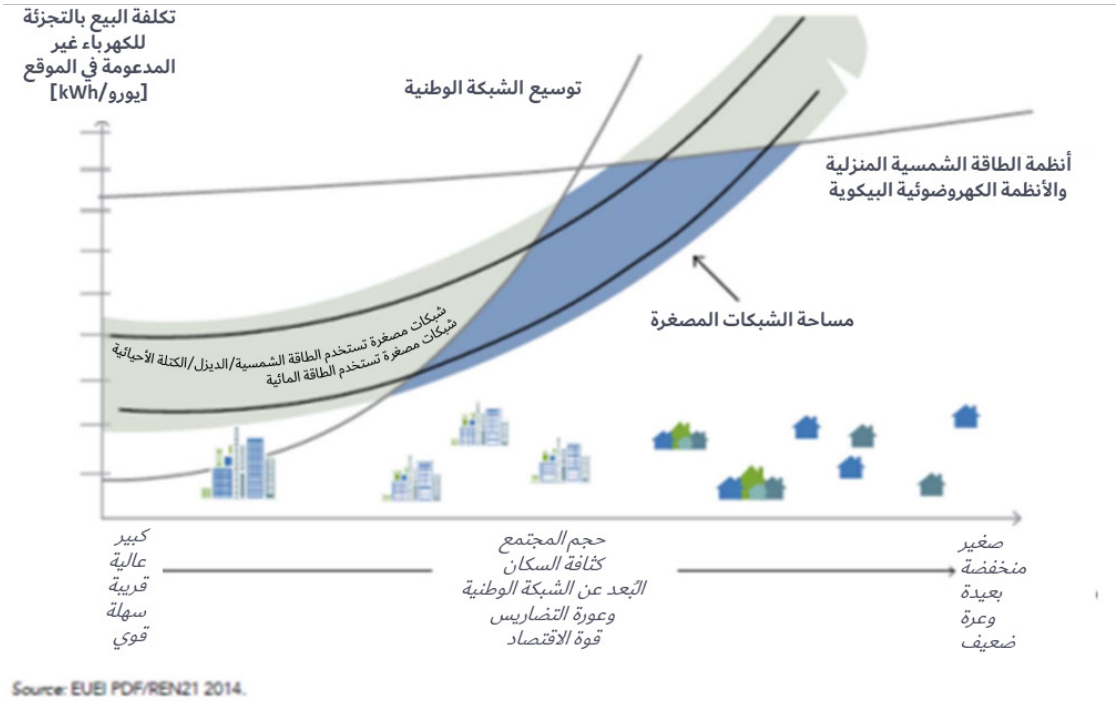
وينبغي أن يستند نشر هذه الأنظمة على الصعيد الإقليمي إلى العوامل الاقتصادية والجغرافية والاجتماعية المحلية.[26]

والحلول خارج الشبكة قابلة للتكيف مع الظروف المحلية وقابلة للتطوير ومستدامة بيئياً، ومن شأنها أن تمكّن المجتمعات الريفية وتدعم الخدمات العامة الرقمية في مجال التعليم والرعاية الصحية وما إلى ذلك.

وتقدر الوكالة الدولية للطاقة[27] أن توفير الكهرباء للجميع بحلول عام 2030 سيتطلب استثمارات سنوية قدرها 52 مليار دولار أمريكي سنوياً. وتشير النمذجة الجغرافية المكانية التفصيلية إلى أن الأنظمة اللامركزية، التي تقودها الأنظمة الكهروضوئية الشمسية في الشبكات المصغرة المستقلة، هي الحل الأقل تكلفة لثلاثة أرباع التوصيلات الإضافية اللازمة في إفريقيا جنوب الصحراء الكبرى.

الشكل 21: جزء الشبكات المصغرة (دور متزايد للشبكات المصغرة ومصادر الطاقة المتجددة)

رسم توضيحي للنافذة التي تعتبر فيها الشبكات المصغرة الحل الأنسب لكهربة المناطق الريفية.



Source: EUEI PDF/REN21 2014.

1.9.5 الشبكات المصغرة

الشبكة المصغرة هي شبكة لتوزيع الطاقة يمكنها العمل بمعزل عن الشبكات الوطنية لنقل الكهرباء لإتاحة توليد الكهرباء على نطاق صغير، عادةً بين 10 kW و10 MW، لعدد محدود من المستهلكين عبر شبكة توزيع محلية.[28] والشبكات المصغرة هي الخيار الأنسب لتزويد المنشآت النائية والمجتمعات الريفية بالطاقة، إذ إن تكلفة التوصيل بالشبكة تكون باهظة فيها.

وتشبه الشبكات الميكروية الشبكات المصغرة ولكنها أصغر، بسعة توليد بين 1 kW و10 kW. ويمكن تكييف الشبكات الميكروية بسهولة أكبر لخدمة المجتمعات المتناثرة التي تكون فيها مجموعات المباني معزولة أو أصغر حجماً.

ويمكن تصميم الشبكات المصغرة لتوفير الكهرباء بشكل أكثر اقتصاداً للمستوطنات المركزة، بما في ذلك المباني الأسرية والصناعات المنزلية والشركات والمؤسسات ومشغلو الاتصالات ومواقع المرافق النائية، مع توفير

[26] https://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/MGT/MinigridPolicyToolkit_Sep2014_EN.pdf
[27] توقعات الحصول على الطاقة 2017، www.iea.org/reports/energy-access-outlook-2017
[28] برنامج التعاون بين إفريقيا والاتحاد الأوروبي في مجال الطاقة المتجددة (RECP). مجموعة أدوات سياساتية بشأن الشبكات المصغرة http://www.minigridpolicytoolkit.euei-pdf.org/policy-toolkit

الطاقة بمستوى جودة الشبكة أو أعلى منه. ويمكن تشغيل الشبكات المصغرة بواسطة مشغلي اتصالات أو مرافق اتصالات أو شركات خاصة أخرى متخصصة أو منظمات مجتمعية أو مزيج من هذا وذاك.

ولا تزال الشبكات المصغرة في أجزاء كثيرة من العالم تستخدم الديزل لتوليد الكهرباء؛ بيد أن استخدام حلول الطاقة المتجددة من قبيل الطاقة الشمسية أو المائية أو طاقة الكتلة الأحيائية أو طاقة الرياح يخفض التكلفة ويعزز أمن الطاقة ويحد من التلوث البيئي.

وفي المناطق الريفية البعيدة عن شبكة الكهرباء الوطنية، يمكن أن يبيع مشغلو الشبكات المصغرة الكهرباء للعملاء الأساسيين مثل مشغلي الاتصالات والصناعات المحلية، ويمكنهم كسب عائد إضافي من خلال القيام أيضاً بتوزيع الكهرباء على المستهلكين في المجتمعات المحلية. ويمكن أيضاً لشركات تشغيل أبراج الاتصالات (TowerCos) التي تولد الكهرباء وتقدم الخدمات إلى العملاء الأساسيين لتشغيل الاتصالات تقديم الخدمة إلى المجتمع المحلي، ومن ثم زيادة العائد على استثمارها.

ويبين الجدول 4 تطبيق وتصنيف الشبكات المصغرة والخصائص التقنية لكل نوع من أنواع هذه الشبكات. والنظام القائم على مستويات لمبادرة الأمم المتحدة بشأن توفير الطاقة المستدامة للجميع (SE4ALL) هو نظام لقياس وتقييم الحصول على الكهرباء ويُستخدم لإجراء مقارنات عالمية.

ويمكن تصنيف تقييم حلول الكهربة باستخدام عدد من التطبيقات ومقاييس الجودة على النحو المبين في الجدول 4.

الجدول 4: مبادرة الأمم المتحدة بشأن توفير الطاقة المستدامة للجميع (SE4ALL) – الإطار 11 للتتبع العالمي

الحصول على الكهرباء وفقاً لإطار التتبع العالمي لمبادرة SE4ALL	عدم الحصول	أساسي	متقدم			
المستويات المسندة	المستوى 0	المستوى 1	المستوى 2	المستوى 3	المستوى 4	المستوى 5
		إضاءة حيز العمل وحشن الهاتف	إضاءة عامة والتليفزيون والمروحة	المستوى 2 وأي أجهزة ذات استهلاك منخفض للطاقة	المستوى 3 وأي أجهزة ذات استهلاك متوسط للطاقة	المستوى 4 وأي أجهزة ذات استهلاك مرتفع للطاقة
الذروة المتاحة سعة 12 (بالواط)	–	أكبر من 1 واط	أكبر من 50/20 واط	أكبر من 500/200 واط	أكبر من 2 000 واط	أكبر من 2 000 واط
المدة (بالساعات)	–	أكثر من 4 ساعات	أكثر من 4 ساعات	أكثر من 8 ساعات	أكثر من 16 ساعة	أكثر من 22 ساعة
الإمداد في فترة المساء (بالساعات)	–	أكثر من ساعتين	أكثر من ساعتين	أكثر من ساعتين	أكثر من 4 ساعات	أكثر من 4 ساعات
يسر التكلفة	–		√	√	√	√
الإجراءات الشكلية (القانونية)				√	√	√
الحد الأدنى من التكنولوجيا الموصى باستعمالها		الشبكات النانوية/ الشبكات الميكروية، الأنظمة الكهروضوئية البيكوية/الفوانيس الشمسية	الشبكات الميكروية/ الشبكات المصغرة، البطاريات القابلة لإعادة الشحن، الأنظمة المنزلية الشمسية	الشبكات الميكروية، الشبكات المصغرة، الأنظمة المنزلية	الشبكات المصغرة وشبكة الكهرباء	الشبكات المصغرة وشبكة الكهرباء

المصدر: مقتبس بتصرف من البنك الدولي، 2014

تُستخدم مصادر الطاقة المتجددة من قبيل الطاقة الشمسية والمائية وطاقة الرياح والكتلة الأحيائية وخلايا الوقود في شبكات مصغرة للطاقة النظيفة (CEMG) مع بطارية احتياطية لموازنة الطلب والعرض على مدار اليوم. ويمكن أيضاً استخدام المولدات العاملة بالديزل في الشبكات المصغرة كوحدات احتياطية.

وفيما يلي بعض مزايا تنفيذ الشبكات المصغرة أو الشبكات الميكروية:

- طاقة بمستوى جودة الشبكة.

- نشر سريع للخدمة من أجل مرافق الاتصالات ومجتمع الاتصالات (أسابيع أو أشهر وليس سنوات).
- يمكن تصميمها وفقاً للطلبات المحلية، قابلة للتطوير ومرنة.
- قريبة من المجتمع الذي تقدَّم له الخدمة، إذاً تكاليف النقل منخفضة.
- في حالة الشبكات الميكروية، فرص عقد شراكات بين القطاع الخاص والمجتمع لخدمة المجتمع خارج الشبكة – المشغلون والأسر المعيشية والشركات – من مصادر محلية عبر خطوط توزيع منخفضة الجهد.

والشبكات المصغرة مناسبة وفعالة من حيث التكلفة بشكل خاص للمحطات القاعدة النائية والمجتمعات متوسطة الكثافة والمتناثرة السكان والواقعة بعيداً عن الشبكة الوطنية أو التي تعيش في مناطق حيث الطاقة غير موثوقة أو كهرباء الشبكة غير ميسورة التكلفة.

وتكون أنظمة الطاقة الشمسية المنزلية القائمة بذاتها مناسبة في الحالات التي يكون فيها السكان المحليون متناثرين وتكون الأسر المعيشية بعيدة عن الشبكة وتتطلب كميات صغيرة من الكهرباء.

وغالباً ما تزود تكنولوجيات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح منشآت الاتصالات في المناطق الريفية والمناطق النائية بالطاقة. ومن المتوقع أن تساهم هذه التكنولوجيات بنسبة تفوق 80 في المائة في نمو سعة الطاقة المتجددة العالمية على مدى السنوات الخمس المقبلة.

الجدول 5: تدخلات الحصول على الطاقة والفوائد الإرشادية لكفاءة استخدام الطاقة – فرصة الحصول على الطاقة + كفاءة استخدام الطاقة في السياق

مستوى الحصول على الطاقة	تكنولوجيا أو أسلوب التوليد	عرض قيمة كفاءة استخدام الطاقة
المستوى 1	الفوانيس الشمسية المحمولة/الأنظمة الكهروضوئية البيكوية	ثنائيات المساري الباعثة للضوء (LED) ذات الكفاءة في استخدام الطاقة تخفض بشكل جذري حجم وتكاليف الأنظمة الكهروضوئية الشمسية والبطاريات اللازمة لتوفير الخدمة، ما يجعل هذه التكنولوجيات ميسورة التكلفة لقطاعات الأسواق الجديدة الواسعة.
المستويات 2 و3 و4	الأنظمة خارج الشبكة	الأجهزة ذات الكفاءة في استخدام الطاقة تخفض بشكل جذري الاحتياجات من إمدادات الطاقة، ما يسمح لحجم معين من الأنظمة خارج الشبكة بتوفير الخدمة، ولأنظمة أصغر حجماً وأيسر تكلفة من توفير خدمة مكافئة.
	الشبكات الميكروية والشبكات المصغرة	من شأن الأجهزة والمعدات ذات الكفاءة في استخدام الطاقة أن تزيد من عدد التوصيلات التي يمكن أن تدعمها شبكة مصغرة، وأن تقلل من متطلبات التكلفة الرأسمالية للنظام، ما قد يؤدي إلى تحسين الجدوى المالية.
	الاستعمالات المنتظمة/المجتمعية	تقلل كفاءة استخدام الطاقة من تكاليف الطاقة و/أو تمدد وقت تشغيل المنتجات المزودة بمحركات مثل المطاحن وآلات الجرش والمضخات. وتعزز مصابيح الشوارع LED التي تعمل بالطاقة الشمسية السلامة العامة وتيسر التجارة الليلية. استُنتج أن أنظمة الضخ العاملة بالطاقة الشمسية والفعالة في عمليات الري أكثر كفاءة من حيث التكلفة من المضخات الكهربائية متوسطة الجودة. وتعمل التطبيقات الطبية ذات الكفاءة بشكل أكثر موثوقية في العيادات الريفية التي تعاني من نقص الكهرباء أو تتطلب أنظمة طاقة خارج الشبكة تكون أصغر حجماً وأيسر تكلفة.
المستوى 5	الكهربة من الشبكة/إصلاح قطاع الطاقة	من شأن عمليات تحسين الكفاءة من جانبي العرض والطلب أن تعزز موثوقية قطاع الطاقة وأدائه المالي، بخفض الأسعار للمستهلكين وزيادة احتمال دفع فواتير الطاقة. وفي القطاعات ذات التعريفات المدعومة، يمكن أن تخفض الكفاءة التكاليف الحكومية.

الجدول 5: تدخلات الحصول على الطاقة والفوائد الإرشادية لكفاءة استخدام الطاقة – فرصة الحصول على الطاقة + كفاءة استخدام الطاقة في السياق (تابع)

مستوى الحصول على الطاقة	تكنولوجيا أو أسلوب التوليد	عرض قيمة كفاءة استخدام الطاقة
ملاحظة: وضعت مبادرة SE4All إطار عمل متعدد المستويات للتتبع العالمي للحصول على الطاقة. ويمثل المستوى 1 المستوى المنخفض جداً لخدمة الطاقة، في حين يشمل المستوى 5 توصيلية الشبكة التامة بالأجهزة عالية القدرة.		

المصدر: https://www.gsma.com/mobilefordevelopment/wp-content/uploads/2014/11/Africa-Market-Report-GPM-final.pdf

2.9.5 الأنظمة القائمة بذاتها

الأنظمة القائمة بذاتها هي أنظمة كهربائية صغيرة الحجم تشمل أنظمة الطاقة الشمسية المنزلية والأنظمة الكهروضوئية البيكوية غير الموصولة بشبكة لتوزيع كهرباء الشبكة الوطنية. ويمكن أن يلبي النظام القائم بذاته احتياجات فرادى العملاء أو احتياجات منزل أو صناعة منزلية صغيرة أو وحدة تجارية في المناطق حيث الكثافة السكانية منخفضة والطلب المحتمل ضعيف. ويمكن استخدام أنظمة الطاقة الشمسية المنزلية ذات القدرة حتى 150 واط لتشغيل المصابيح الشمسية وإنارة الغرف وإعادة شحن الهواتف المتنقلة وتشغيل الحواسيب والأجهزة الصغيرة. وتوفر الأنظمة الكهروضوئية البيكوية ما يصل إلى 10 واط من الطاقة لعناصر مثل المصابيح الشمسية وأجهزة الراديو ومن أجل شحن الهواتف.

وتستعمل الأنظمة القائمة بذاتها خارج الشبكة مصادر الطاقة المتجددة المتوفرة محلياً بما في ذلك الكتلة الأحيائية وطاقة الرياح والطاقة المائية والشمسية. وغالباً ما تشمل هذه الأنظمة أنظمة تخزين تكون عادة عبارة عن مجموعة بطاريات بتزويد أجهزة التيار المستمر ذات الجهد المنخفض بالطاقة مباشرة من البطارية أو استخدامها للإنارة وفي أجهزة التيار المستمر الصغيرة. ويمكن إنتاج جهد منخفض من التيار المتناوب باستخدام عاكس لتشغيل أجهزة التيار المتناوب المعيارية.[29]

والأنظمة القائمة بذاتها هي الأنسب للمجتمعات التي تكون فيها المنازل متفرقة وبعيدة عن الشبكة ويكون فيها الطلب على الكهرباء ضعيفاً.

تصنيف أنظمة الطاقة الشمسية القائمة بذاتها

الأنظمة الكهروضوئية البيكوية (PPS)

- نظام منزلي صغير للطاقة الشمسية – خرج القدرة من 1 إلى 10 واط
  - يُستخدم أساساً للإنارة وفي شاحن الهاتف المتنقل والأجهزة الصغيرة لتكنولوجيا المعلومات وجهاز الراديو
- لوح صغير للطاقة الشمسية مزود ببطارية ومصباح. يمكن تثبيت اللوح الكهروضوئي على المنتج نفسه (مثلاً، الفوانيس الشمسية)
- سهلة التركيب (أوصل وشغِّل)، تطبيق سهل الاستعمال، تكلفة الاستثمار منخفضة، صيانة قليلة، درجة عالية من إمكانية التوسع، استعمال مرن.

أنظمة الطاقة الشمسية المنزلية (SHS) الكلاسيكية

- نظام منزلي كلاسيكي للطاقة الشمسية – خرج ذروي يصل إلى 250 واط.
- تتكون من عدة مكونات مستقلة:
  - وحدات نمطية، وحدة التحكم في الشحن، بطارية، أحمال
- تقوم وحدة التحكم في الشحن بإدارة الطاقة
- مزايا الأنظمة SHS الكلاسيكية هي أحمال التيار المستمر:
  - المصابيح وأجهزة الراديو وأجهزة التلفزيون والثلاجات الموفِّرة للطاقة والعاملة بالتيار المستمر

[29] راشد البدواوي وآخرون، استعراض للنظام الهجين الذي يجمع بين الطاقة الكهروضوئية الشمسية وطاقة الرياح، https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/23080477.2015.11665647?needAccess=true

الأنظمة SHS هي أنظمة ذات كفاءة عالية في استخدام الطاقة دون أي خسائر تحويل.

أنظمة الطاقة الشمسية السكنية (SRS)

- أنظمة كهروضوئية قائمة بذاتها وأكبر حجماً
  - بالنسبة لأنظمة الطاقة الشمسية البيكوية، يبلغ الخرج الذروي من 2 إلى 10 واط
  - الخيار الأمثل للتطبيقات الريفية أو المحلية
- توفير الكهرباء للمنشآت الفردية الكبيرة مثل الفنادق والمستشفيات والمدارس والمصانع، إلخ.
- سهلة التشغيل والصيانة
- تطبيقات خارج الشبكة
- تشمل العناصر الكلاسيكية للنظام الكهروضوئي القائم بذاته وحدة نمطية شمسية، ووحدة تحكم في الشحن، وبطارية رصاص حمضية/تخزين الليثيوم، وعاكسات، وأحمال (أجهزة).

وبدأت حلول مجموعات الطاقة الشمسية ذات التوصيلية المدمجة تنتشر بعرضها حلاً مزدوجاً بأقل تكلفة.

3.9.5 مقارنة بين مصادر الطاقة المتجددة ومصادر الوقود الأحفوري لأغراض تطبيقات الشبكات المصغرة

نظراً لنمطية تكنولوجيا الطاقة المتجددة، فإن من الممكن نشر هذه التكنولوجيات بسرعة وتكييفها لتلبي الطلب على الطاقة باستخدام الموارد والقدرات المتوفرة محلياً.

ويمكن خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) المتعلقة بالطاقة والناجمة عن مصادر الوقود الأحفوري، علتى الفور وبشكل مستدام، عن طريق تحويل الكهربة إلى مصادر طاقة متجددة. ولن يؤدي ذلك إلى خفض مستويات التلوث فحسب، بما يعود بالفائدة على الصحة العامة، بل سيمكن أيضاً من تحقيق فوائد اجتماعية واقتصادية كبيرة بفضل تطوير اقتصاد رقمي مترابط.

ويصف الجدول 6 الخصائص التقنية لمختلف حلول الطاقة المتجددة والحلول القائمة على الوقود الأحفوري التي يمكن استخدامها في الأنظمة خارج الشبكة والموصولة بالشبكة.

الجدول 6: خصائص حلول الطاقة المتجددة التي يمكن استخدامها في الشبكات المصغرة وخارج الشبكة، 2013/2012

	توصيل بالشبكة	شبكة مصغرة < 50 MW/ استهلاك شخصي	أنظمة قائمة بذاتها /أنظمة كهربة فردية	الاستخدام المنتج
الغاز	~ 1 500 GW			أنظمة توليد مشترك للحرارة والطاقة باستخدام الغاز > 1 GW
الديزل		5-10 GW 100 000-50 000 نظام		
الطاقة المائية	كبيرة > 10 MW 50 000-10 000 نظام < 100 GW	صغيرة < 10 MW 150 000-100 000 نظام 75 GW	مائية ميكروية 1-0,1 MW مائية بيكوية < 0,1 MW	
طاقة الرياح	310 GW 250 000 توربينة	هجينة ديزل-رياح < 10 000 نظام في القرى/ التعدين	توربينات رياح صغيرة 250-0 kW 806 000 توربينة	مضخات الرياح < 500 000
الطاقة الكهروضوئية الشمسية	0,5/50 GW مليون نظام كبير < 50 kW 20-10/80 GW مليون نظام على الأسطح 50-1 kW	هجينة ديزل-كهروضوئية < 10 000 نظام في القرى	أنظمة SHS < 1 kW 10-5 مليون نظام	5 ملايين إنارة بالطاقة الشمسية؛ 10 000 برج اتصالات؛ مضخات الماء بالطاقة الشمسية؛ ثلاجات/ تبريد بالطاقة الكهروضوئية؛ أنظمة إنارة الشوارع؛ إشارات المرور؛ محطات إعادة شحن الهواتف

الجدول 6: خصائص حلول الطاقة المتجددة التي يمكن استخدامها في الشبكات المصغرة وخارج الشبكة، 2012/2013 (تابع)

	توصيل بالشبكة	شبكة مصغرة < 50 MW/ استهلاك شخصي	أنظمة قائمة بذاتها /أنظمة كهربة فردية	الاستخدام المنتج
الغاز الأحيائي/الديزل الأحيائي للإمداد بالطاقة	GW 14 40 000-30 000 نظام	< 100 kW نباتات غاز أحيائي > مليون محطة غاز أحيائي التغويز/قشور الأرز، إلخ. 2 000-1 000 نظام		مولدات احتياطية بالديزل الأحيائي في مزارع الماشية
توليد مشترك قائم على استخدام الكتلة الأحيائية	GW 20 2 000-1 000 نظام للب والسكر/الإيثانول GW 30-20 2 000-1 000 نظام في دورات البخار/التدفئة المركزية GW 10-5 500-250 نظام في مصانع الحرق المشترك مع الفحم			

المصدر: الوكالة الدولية للطاقة المتجددة: أنظمة الطاقة المتجددة خارج الشبكة

10.5 المكونات الأساسية لتركيب شبكة مصغرة

يتسم نظام الشبكة المصغرة لتوليد الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة بالعديد من السمات الأساسية، كما هو مبين في الشكل 22.

1 مصدر/مولدات للطاقة المتجددة:

يمكن إنتاج الكهرباء من المصادر التالية: الوحدات الكهروضوئية الشمسية، توربينات الرياح، التوربينات المائية المصغرة من الجداول أو الأنهار القريبة، مكيفات طاقة الكتلة الأحيائية.

2 عاكسات:

تُستخدم عاكسات التيار المستمر إلى تيار متناوب لتحويل الطاقة المولدة من الألواح الشمسية إلى جهد للتيار المتناوب لتشغيل أجهزة التيار المتناوب في الموقع. والعاكسات المتسلسلة أو الميكروية هي خيارات متاحة؛ وتقوم محولات التيار المستمر إلى تيار متناوب بتكييف الجهد الناتج عن خرج التيار المستمر للصفيف الشمسي مع المستوى الذي تتطلبه المعدات والأجهزة.

3 مقومات:

تحول جهد التيار المتناوب الناتج عن توربينات الرياح أو التوربينات المائية وما إلى ذلك إلى تيار مستمر من أجل المعدات التي تطلبه.

4 تخزين الطاقة – بطاريات وأنظمة تخزين عالية السعة:

تتطلب الشبكات المصغرة التي تستخدم مصادر الطاقة المتجددة (الطاقة الشمسية وطاقة الرياح) وتنتج طاقة متغيرة على مدار اليوم بطاريات تخزين بحجم مثالي لتوفير الكهرباء باستمرار. وسيتم تخزين الكهرباء الزائدة التي تولدها هذه الأنظمة ثم تقديمها عند الحاجة، ومن ثم يتم تعويض التوافر المتقلب. وفي الشبكات المصغرة الأصغر حجماً (أي أقل من 300 kW)، عادة ما تُستخدم مستودعات البطاريات، في حين أن الأنظمة الأخرى الأكبر حجماً تستخدم أشكالاً أخرى من أنظمة التخزين مثل بطاريات الليثيوم.

5 شبكة التوزيع:

يعتمد نوع نظام التوزيع المستخدم على الخدمة التي سيتم تقديمها عبر الشبكة وأنواع الأجهزة التي سيتم استخدامها. ويمكن تصميم الشبكة كناقل للتيار المستمر أو ناقل للتيار المتناوب أحادي الطور أو ثلاثي الطور، لتتوافق مع الأنظمة أو خصائص الشبكة. وبالنسبة للشبكات التي تقدم الخدمات إلى فرادى العملاء أو الشركات أو الصناعات، يتعين قياس الاستهلاك وتسجيله لأغراض الفوترة.

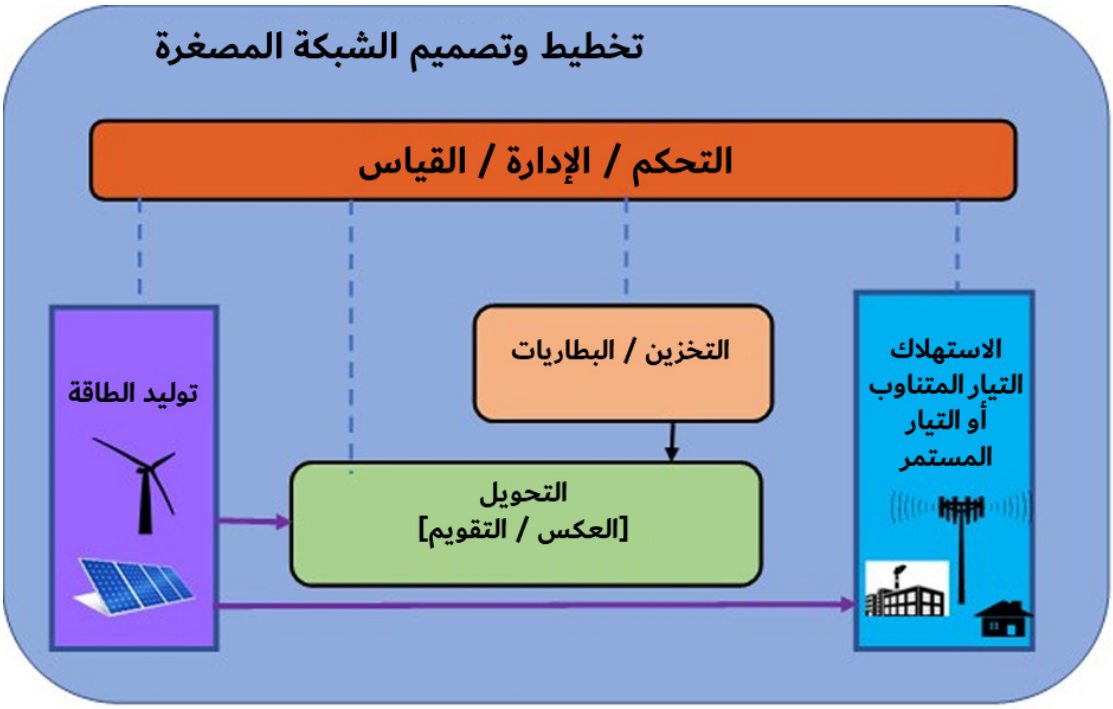
6 النظام الفرعي للمستعمل/للتطبيق:

بالنسبة للمشغلين الذين يقدمون الخدمات إلى المستعملين النهائيين، يمكن أن يشمل ذلك المعدات الموجودة من جانب العميل، بما في ذلك الأسلاك الداخلية والعدادات والتأريض ومعدات تكنولوجيا المعلومات والاتصالات والأجهزة الكهربائية.

7 أنظمة الإدارة الذكية:

أداء مهام من قبيل التحكم في النظام، وإدارة الشبكة واستخدامها على النحو الأمثل، وجمع التعريفات، وتحسين تدابير كفاءة الشبكة في استهلاك الطاقة، والتوصيل النهائي بالشبكة. ويمكن أيضاً استخدام تكنولوجيا المعلومات والاتصالات من أجل القياس الذكي وأتمتة الفوترة/الدفع عبر الهواتف المتنقلة.

الشكل 22: وظائف الشبكة المصغرة



وتشمل وظائف التحكم للشبكات المصغرة استراتيجيات الحماية وعمليات صنع القرارات الذكية. ويمكن استخدام الذكاء الاصطناعي (AI) لتحقيق الأداء الأمثل لتكنولوجيات الطاقة المتجددة وتعظيم كفاءة الشبكة المصغرة في استهلاك الطاقة. فالذكاء الاصطناعي بإمكانه أن ييسر التنبؤات الدقيقة بأحوال الطقس في المستقبل وطلب الأحمال، بتفعيل عمليات المراقبة لتحسين أداء النظام وتقليل التكاليف التشغيلية الإجمالية إلى أدنى حد ممكن.

وتشمل وظائف اتصالات البيانات استخلاص البيانات التي تجمعها أجهزة الاستشعار وإرسالها إلى وحدات التحكم، ثم إرسال الأوامر الصادرة عن وحدات التحكم إلى المشغلات في الأنظمة المؤتمتة.[30]

وتمكن وظيفة التحويل لنظام شبكة مصغرة للطاقة المتجددة تحويل الطاقة المولدة من مصادر الطاقة المتجددة وتكييفها لتتوافق مع خصائص أنظمة الحمل والتخزين في الشبكة المصغرة. ويمكن تصنيف هذه الأنظمة وفقاً لجهدي الدخل والخرج:

- المحولات توفر تكيف التيار المستمر مع التيار المستمر والتيار المتناوب مع التيار المتناوب
- المقومات تحول التيار المستمر إلى تيار متناوب (مثلاً، من تيار مستمر مولد بالطاقة الشمسية إلى حمل تيار متناوب للتغذية)

30 https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Innovation_Outlook_Minigrids_2016.pdf

- العاكسات تحول التيار المتناوب إلى تيار مستمر (مثلاً، تيار متناوب مولد بالديزل إلى تيار مستمر لشحن البطاريات/تخزين الطاقة)

ويمكن تصميم الشبكة المصغرة أو الشبكة الميكروية كشبكات للتيار المتناوب أو التيار المستمر وفقاً للحمل الرئيسي المطلوبة خدمته.

وعاكسات تشكيل الشبكة قادرة على إنشاء شبكة للتيار المتناوب في شبكات مصغرة مستقلة للطاقة المتجددة.

11.5 شبكة عريضة النطاق تعمل بالطاقة الشمسية في المناطق الريفية - شبكة Hopscotch في اسكتلندا

Hopscotch هي شبكة عريضة النطاق تعمل بالطاقة الشمسية ومصممة خصيصاً لتوفير التوصيلية في المناطق الريفية.

دراسة حالة – شبكة المحطة القاعدة Hopscotch في اسكتلندا

Hopscotch هي منشأة لشبكة عريضة النطاق تم اختبارها في المرتفعات والجزر النائية ذات الكثافة السكانية المنخفضة على الساحل الغربي لاسكتلندا. وأجري هذا الاختبار في منطقة ريفية بعيدة عن أقرب نقطة لتبادل الإنترنت ومحرومة من النفاذ إلى شبكة الكهرباء. ومن شأن إنشاء بنية تحتية عريضة النطاق يمكنها توفير تغطية تشمل منطقة ريفية شاسعة باستخدام قاعدة متنقلة تعمل بواسطة مولدات الديزل أن يتطلب استثماراً رأسمالياً ضخماً في المناطق حيث طاقة الشبكة غير متوفرة أو غير موثوقة. وبالإضافة إلى تكلفة الوقود العالية والمتزايدة باستمرار، فضلاً عن نفقات نقل الوقود والصيانة، تسبب مولدات الديزل الضوضاء وانبعاثات غازات ثاني أكسيد الكربون.

الشبكة اللاسلكية

منشآت اختبار المحطة القاعدة HopScotch هي أنظمة راديوية تعمل في النطاق 5 GHz لشبكة Wi-Fi ونطاق "المساحة البيضاء" على الموجات الديسيمترية (UHF) لإنارة المجتمعات المحلية باستخدام:

- أنظمة نفاذ إلى الشبكة من نقطة إلى نقاط متعددة (PTMP) منخفضة الطاقة (شبيهة بأنظمة Wi-Fi) موصولة
- بوصلات توصيل وترحيل راديوية من نقطة إلى نقطة (PTP) توصل المحطة القاعدة بالشبكة الأساسية أو بالمحطة القاعدة للإرسال والاستقبال (BTS)، إن توفرت، حيث يمكن توصيلها مباشرة بشبكة لبروتوكول الإنترنت؛
- يتم تزويد المحطة BTS بالطاقة بواسطة محطة WindFi، وهي عبارة عن ألواح كهروضوئية شمسية للطاقة المتجددة الهجينة خارج الشبكة، مع توربينات رياح وبطاريات تخزين.

وتهدف هذه الأجهزة الراديوية إلى التقليل إلى أدنى حد ممكن من الاستهلاك بحيث تعمل كلياً بالطاقة المتجددة، وليست كالمحطات القاعدة الخلوية التقليدية ذات الأنظمة التبريد التي تتطلب كمية كبيرة من الطاقة.

النموذج الأولي للمحطة القاعدة "WindFi" على جزيرة بوت - 2010

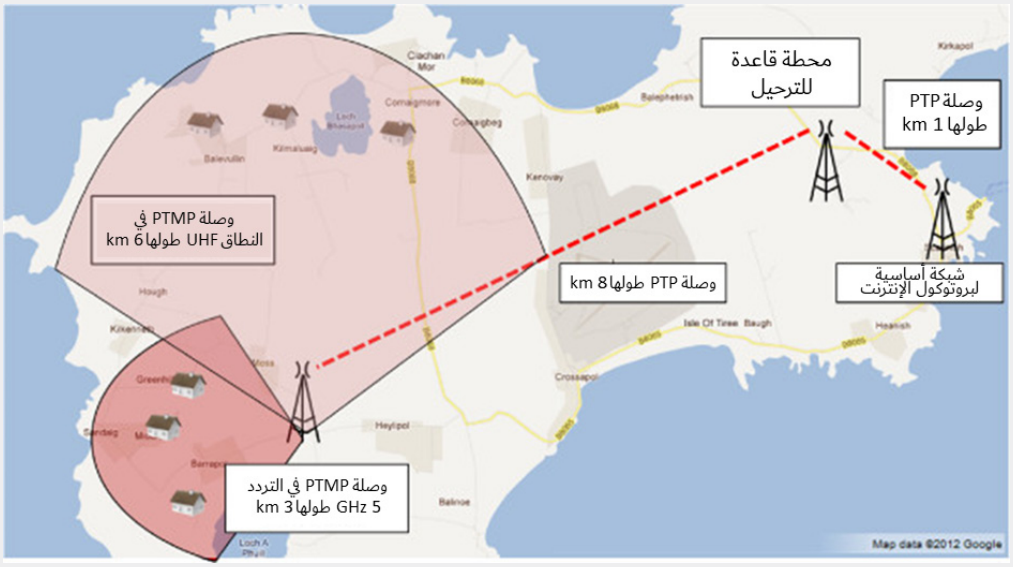
النموذج الأولي للمحطة القاعدة "WindFi" على جزيرة بوت، اسكتلندا. تحتوي المحطة على ألواح شمسية وبطاريات تعلوها سارية طولها 10 أمتار تحمل توربينة رياح توجد تحتها مباشرة هوائيات ومعدات راديوية.

المصدر: https://jwcn-eurasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/1687-1499-2012-112/figures/4

خصائص النظام الراديوي لمحطة HopScotch

- يُستخدم متغير من نقطة إلى نقطة للتردد 5 GHz في النطاق C (5 725-5 850 GHz) لتوفير التوصيلية
  - الحد الأقصى للقدرة المشعة المكافئة المتناحية 4 W – تستند الأجهزة الراديوية إلى المعيار IEEE 802.11n
  - الطيف الإجمالي 125 MHz – قناتان توربو غير متراكبتان عرضهما 40 MHz
  - قطاران مكانيان مستقلان بسرعة 300 Mbit/s على الاستقطابين الرأسي والأفقي

مثال لشبكة HopScotch توصل مجتمعاً محلياً نائياً بشبكة أساسية لبروتوكول الإنترنت



HopScotch: شبكة محطة قاعدة للطاقة المتجددة ذات استهلاك منخفض للطاقة لإتاحة النفاذ إلى النطاق العريض في المناطق الريفية

المصدر: https://jwcn-eurasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/1687-1499-2012-112/figures/1

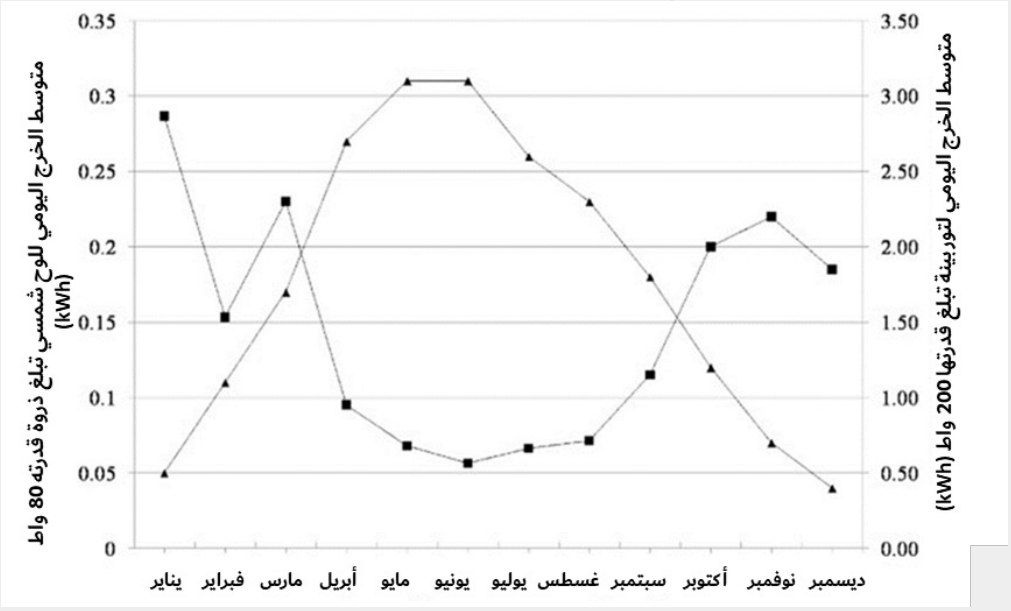
- تُستعمل الوصلة من نقطة إلى نقاط متعددة العاملة في نطاق الطيف 5 GHz لخدمة العملاء في المحيط القريب (3 km) للمحطة القاعدة
  - عدد مرن من القطاعات في كل موقع (من 2 إلى 6 قطاعات) حسب حجم المجتمع
  - مجتمع متوسط الحجم – 4 قطاعات
  - النطاق B غير المرخص (5 470-5 725 GHz). 11 قناة بعرض 20 MHz أو 6 قنوات بعرض 40 MHz غير متراكبة
  - من 8 إلى 10 مستعملين للنطاق العريض بسرعة 65 Mbit/s (ترتفع حسب الطلب)
  - الحد الأقصى للقدرة المشعة المكافئة المتناحية 1 W
- نظام الموجات الديسيمترية
  - يُستعمل تراكب "المساحة البيضاء" التلفزيونية في نطاق الموجات الديسيمترية (UHF)، نظراً لخصائص الانتشار التي يتسم بها، لتمديد التغطية إلى 6 km ولكن على حساب الصبيب.
  - نطاقات "المساحة البيضاء" التلفزيونية 400 MHz.
- يبلغ طول السواري 10 أمتار (يتم تركيبها مع توربينات رياح وألواح كهروضوئية شمسية ومعدات راديوية وبطاريات)

حل الطاقة المتجددة

WindFi هي محطة قاعدة ذات استهلاك منخفض جداً للطاقة، وتستخدم لأغراض الموقع المحددة (في الشكل) ما يلي:

- توربينات رياح (200 واط)
- وحدات كهروضوئية شمسية (80 واط) مزودة بنظام تتبع
- الشمس والرياح مصدران متكاملان للطاقة المتجددة في اسكتلندا كما هو مبين في الشكل.
- تعمل المحطة القاعدة طوال 24 ساعة في اليوم و365 يوماً في السنة.
- البطاريات الاحتياطية – تشغيل متواصل – احتياطي لمدة 3 أيام.
- عمق تفريغ شحن البطارية لا يتجاوز 50 في المائة.

التوليد اليومي للطاقة من مصدري الرياح والشمس



متوسط التوليد اليومي للطاقة من وحدة كهروضوئية واحدة قدرتها 80 واط (*) وتوربينة رياح قدرتها 200 واط (*) في جزيرة تيري، اسكتلندا، استناداً إلى بيانات الإشعاعات الشمسية المتنبأ بها من نظام المعلومات الجغرافية الكهروضوئية ومتوسط سرعات الرياح المقيسة في مطار تيرين من خلال توربينة الرياح المستخدمة من أجل محطة قاعدة "WindFi".

المصدر: https://jwcn-eurasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/1687-1499-2012-112/figures/5

تحديد حجم نظام الطاقة المتجددة

يتم حساب الحمل الإجمالي للمعدات الراديوية وأنظمة النفاذ والإدارة. ويتم بعد ذلك تحديد حجم مستودع البطارية للحمل الذروي وبنسبة 50 في المائة من عمق تفريغ الشحن (DoD) مع دعم لمدة ثلاثة أيام. ويتم تحديد حجم الألواح الشمسية بحيث تلبي أحمال الذروة مع مراعاة بيانات الإشعاعات المستقاة من نظام المعلومات الجغرافية الكهروضوئية بيانات متوسط سرعات الرياح المستمدة من مطار قريب.

12.5 أنظمة الطاقة الهجينة

تستخدم أنظمة الطاقة الهجينة كلاً من الطاقة المتجددة وتقنيات توليد أو تخزين الكهرباء باستخدام الوقود الأحفوري. ومن شأن أنظمة توليد الطاقة الهجينة المصغرة والهجينة الميكروية والموزعة خارج الشبكة أن توفر كهربة يسهل الحصول عليها وفعالة من حيث التكلفة وموثوقة في المنشآت والمجتمعات الريفية التي تكون بعيدة عن الشبكة الكهربائية الرئيسية ونسبة احتمال توصيلها بها ضئيلة. ويمكن أن تجمع أنظمة الطاقة الهجينة بين نظام للطاقة المتجددة – عادةً ما يتم توليد الطاقة من مصدر كهروضوئي أو من الرياح مع طاقة البطارية أو أنظمة تخزين الطاقة، وحسب الاقتضاء، مجموعة مولدات تعمل بالديزل أو بوقود أحفوري آخر. ويتم توفير أنظمة فرعية أخرى من قبيل العاكسات والمقومات وأنظمة التحكم والإدارة والتكييف الأخرى.

وتمثل الأنظمة الهجينة الصغيرة التي تعمل بالطاقة المتجددة حلولاً مناسبة لتقديم خدمات الكهرباء الأساسية الموثوقة للمرافق البعيدة والمؤسسات المحلية مثل مراكز تشغيل الاتصالات وتكنولوجيا المعلومات والاتصالات والمراكز الصحية والمنظمات التجارية والصناعات الصغيرة وخدمات الأعمال/المكاتب والوكالات الحكومية ومؤسسات ورش العمل/التدريب المهني.

دراسة حالة: شركة TELE Greenland

طورت شركة TELE Greenland نظاماً للطاقة الهجينة يتم التحكم فيه بواسطة الحاسوب ويُستخدم لتزويد المواقع غير المأهولة لمكررات المرحلات الراديوية ذات القدرة 1,5 كيلو واط بالطاقة في غرينلاند لمدة خمس سنوات. واستخدمت الشركة ألواحاً شمسية تبلغ قدرة خرج كل منها 800 4 واط وبطاريات بسعة 500 4 Ah ومولداً صغيراً يعمل بالديزل. وتضمن النظام لوحة لتوزيع الطاقة ومعدات للمراقبة. وأتاحت البطاريات إمداد معدات الاتصالات المشحونة من خلال الخلايا الشمسية بالطاقة الأساسية. وتفيد تقارير شركة TELE Greenland بتحقيق وفورات في الوقود بنسبة 80 في المائة مقارنة باستخدام مولد يعمل بالديزل بشكل دائم والتقليل من عدد رحلات الصيانة إلى مرة واحدة في السنة.

تشمل الدوافع الرئيسية لاستخدام الشبكات المصغرة الهجينة ما يلي:

- الحاجة إلى فرص موثوقة وميسرة التكلفة للحصول على الكهربة؛
- وفورات الوقود، الاعتماد على توليد الطاقة باستخدام الديزل أو إزالته؛
- خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

توجد مجموعة متنوعة واسعة من التطبيقات والتشكيلات فيما يتعلق بالشبكات المصغرة الهجينة للطاقة المتجددة في المواقع الريفية والنائية. ويمكن لهذه الشبكات، عند إقرانها بالتخزين، تخفيف تغاير توليد الطاقة المتجددة وإدارته ليتناسب مع طلب الحمل على مدار اليوم.

وغالباً ما تُستخدم الشبكات المصغرة من أجل ما يلي:

- منشآت المرافق من قبيل مرافق أبراج الاتصالات ومحطات المياه وما إلى ذلك؛
- الخدمات المجتمعية – المنازل والوكالات الحكومية والمؤسسات التعليمية والمستشفيات؛
- الأعمال التجارية المحلية ومنشآت المجمعات وما إلى ذلك.

ويمكن استخدام المخططات الميكروية الهجينة التي تولد أقل من 5 kWp لتلبية الاحتياجات من الكهربة للمجتمعات القروية الريفية الصغيرة والمحطات القاعدة للاتصالات في المناطق النائية (المواقع ذات السعة المنخفضة) ويمكنها، عندما تكون مقترنة بمولدات الديزل، أن تقلل بشكل فعال من استهلاك الوقود مع توفير درجة عالية من الموثوقية.

وتُعتبر الأنظمة الهجينة الكهروضوئية الصغيرة الموزعة التي تعمل في حدود 5-30 kWp مناسبة لمواقع مكررات النفاذ اللاسلكي الصغيرة في المناطق النائية/الريفية والمحطات القاعدة للاتصالات المتنقلة ولتوفير الإنارة للأسر المعيشية والأنظمة القائمة بذاتها للمراكز الصحية ومراكز التدريب المحلية والصناعات المنزلية والخدمات المجتمعية الأخرى.

وتتطلب الأنظمة الهجينة المتوسطة الحجم التي تعمل في حدود 30-100 kWp قدرات كهربة أكثر تقدماً، وهي مناسبة للمجتمعات ذات الأنشطة عالية الإنتاجية ولتزويد مرافق الاتصالات الكبيرة والصناعات المحلية الصغيرة بالطاقة.

ويمكن أن ترد أنظمة الطاقة الهجينة ضمن مجموعة متنوعة من التشكيلات:

- نظام كهروضوئي شمسي مع حلول شبكة مصغرة/ميكروية مزودة بمولد ديزل؛
  - مناسب للشبكات التي تعتمد منذ عهد بعيد على مولدات الديزل ومصدر أساسي أو التي لديها شبكة غير موثوقة، حيث يمكن نشر الطاقة المتجددة للحد من استخدام الوقود والتقليل من النفقات التشغيلية وتكاليف الصيانة والحد أيضاً من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.
  - حيث لا تتوفر مساحة كافية لإنشاء محطة كبيرة للصفيفات الشمسية
  - لزيادة الموثوقية وتمكين تصميم أكثر نمطية للشبكة
- نظام كهروضوئي شمسي وتوربينة رياح؛
- نظام كهروضوئي شمسي وتوربينة رياح ومولد ديزل.

1.12.5 الشبكة المصغرة الهجينة للتيار المتناوب

نمطياً، يقوم نظام شبكة هجينة للتيار المتناوب بتزويد الطاقة من مصدر تيار متناوب مباشرةً إلى الشبكة، في حين ستستخدم الطاقة المولدة من مصدر طاقة متجددة للتيار المستمر، مثل الألواح الكهروضوئية الشمسية، عاكسات لتحويل طاقتها من أجل تزويد شبكة التيار المتناوب بالطاقة. وسيتم تقويم الطاقة المولدة من شبكة التيار المتناوب لشحن بطاريات الدعم أو أنظمة تخزين الطاقة. وفي حالة عدم توفر مصدر التيار المتناوب، يتم الحصول على طاقة التيار المستمر من مصدر الطاقة المتجددة أو من البطاريات من خلال تحويل طاقتها للتيار المستمر مرة أخرى إلى تيار متناوب لتزويد الحمل بالطاقة.

ويجب أن يأخذ التصميم الذي يتناسب مع ذروة الطلب في الاعتبار أن أحمال الذروة، فيما يتعلق بالمخططات المجتمعية، يمكن أن تتقلب بشكل كبير على مدار اليوم. وتُعزى ذروة طلب الحمل في النهار أساساً إلى تشغيل المكاتب والمستعملين من قطاع الأعمال والتجارة والمراكز والمدارس والمرافق الصحية وما إلى ذلك من المؤسسات الأخرى. وأما أحمال المساء، فتهيمن عليها الطلبات السكنية: الإنارة والتبريد والأجهزة المنزلية وأنظمة الترفيه.

وفي الشبكات الهجينة، تدعم مجموعة مولدات الديزل، عند استخدامها، أحمال الذروة، لزيادة الموثوقية وضمان شحن البطاريات وأنظمة تخزين الطاقة على النحو الأمثل. ويجب أن يصمَّم النظام الهجين بحيث يقلل إلى أدنى حد ممكن من تكاليف الاستثمار وتحقيق المستوى الأمثل للنفقات الرأسمالية والتشغيلية للنظام.

ويقدم الشكل 23 رسماً توضيحياً لنظام مقترن بالتيار المتناوب يعمل من خلال مصادر للطاقة الشمسية وطاقة الرياح مع عاكسات، ويشمل مجموعة من مولدات الديزل تزود حمل التيار المتناوب بالطاقة مباشرةً عبر أنظمة تثبيت الجهد. ويضمن تصميم النظام شحن البطاريات على النحو الأمثل للتغلب على الطلب والعمل كمصدر دعم خلال الفترات التي لا تكون فيها مصادر الطاقة الرئيسية متوفرة.

2.12.5 نظام الشبكة المصغرة الهجينة للتيار المستمر

عادة ما يتم تزويد شبكات الاتصالات بالطاقة من خلال أنظمة تيار مستمر ذات الجهد 48 فولت وبطاريات احتياطية/بطاريات دعم للحفاظ على درجة عالية من الموثوقية وضمان التوافر على مدار الساعة، في حين تصمَّم معدات بروتوكول الإنترنت للعمل أساساً من خلال التيار المتناوب لأنها تتطلب قدرة عالية.

ويمكن أن يوفر توزيع الشبكات المصغرة للتيار المستمر زيادة الكفاءة في استخدام الطاقة وتحسين استدامة تزويد أحمال التيار المستمر بالطاقة، دون أوجه القصور التي ينطوي عليها التحويل تيار مستمر-تيار متناوب-تيار مستمر المطلوب على شبكات التيار المتناوب (EMerge Alliance، 2015)[31] ، لأن التحويل يمكن أن يخفض الكفاءة بنسبة 3 في المائة أو أكثر (Willems وآخرون، 2013).[32] ويمكن تحسين الكفاءة بشكل كبير من خلال استخدام الأجهزة التي تعمل بالتيار المستمر، والتي تُعتبر أكثر كفاءة واقتصاداً في التشغيل، مثل مصابيح الإنارة

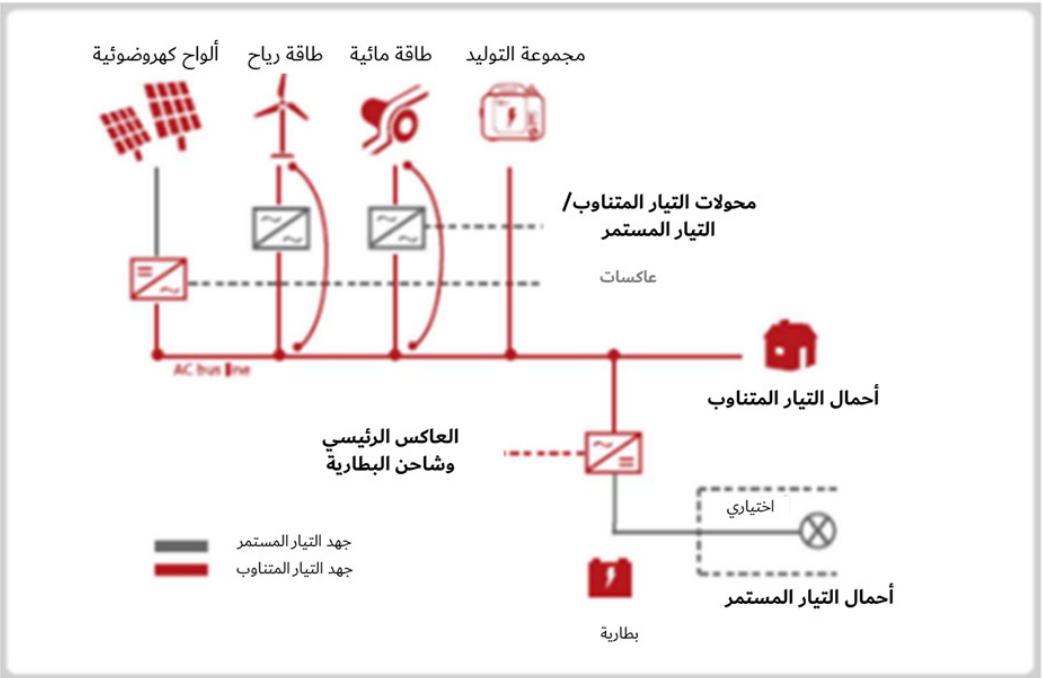
[31] Elsevier Image Alliance : مقارنة الشبكات المصغرة القائمة على التيار المستمر مقابل الشبكات المصغرة القائمة على التيار المتناوب https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2352484719300617?token=1CC673EF309F7914 3500252E66AA3A5642A79806AB4AD265761B8C9871538F1E3D0802384DFD3C1A8CE766B4EAB4B5A6

[32] Willems, S. وAerts, W. وDe Jonge, S. وHaeseldonckx, D. وvan Willigenburg, P. وWoudstra, J. وStokman, H.، 2013. نظام Lirias: التأثير المستدام لشبكة ميكروية للتيار المستمر وتقييمها. ورقة قُدمت في الندوة الدولية للتصميم الإيكولوجي، جامعة KU Leuven، جزيرة Jeju، جمهورية كوريا.

LED ذات الجهد 12 فولت والمزودة بالطاقة مباشرة من نظام كهروضوئي والتي تمكن من تحقيق وفورات في استهلاك الكهرباء تصل إلى 30 في المائة دون الحاجة إلى عاكسات (Graillot، 2013).[33]

يوضح الشكل 24 شبكة مصغرة هجينة للتيار المتناوب تستخدم ألواحاً كهروضوئية شمسية وتوربينة رياح ونظام بطارية احتياطية لتزويد محطة قاعدة نائية للاتصالات بالطاقة من خلال أحمال تيار مستمر فقط.

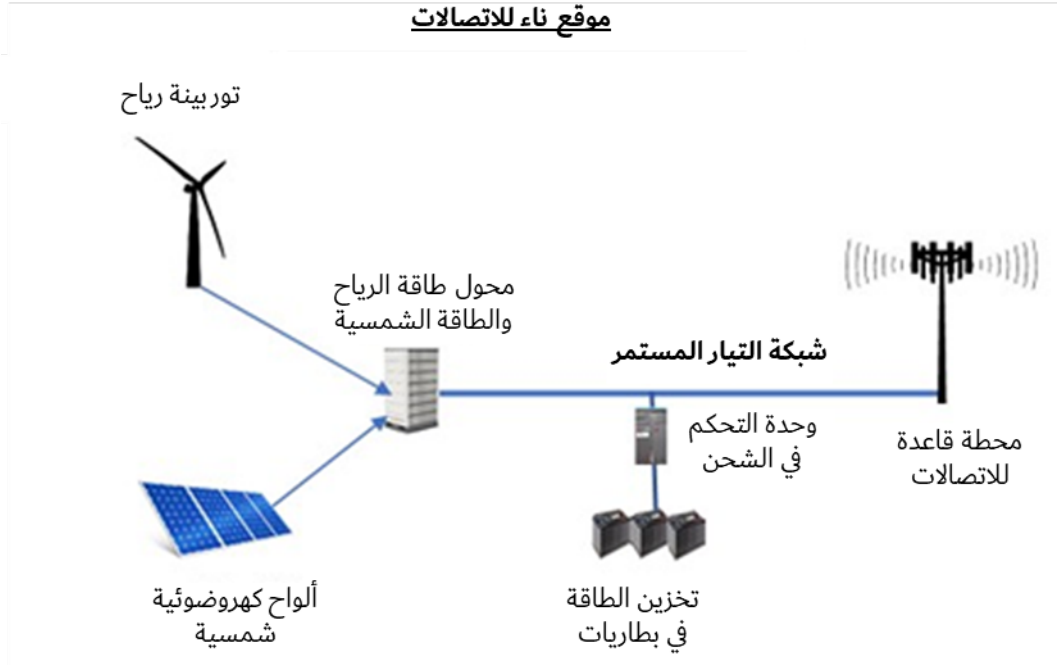
الشكل 23: نظام طاقة شبكة مصغرة هجينة مقترنة بالتيار المتناوب



المصدر: النظام التخطيطي للشبكة المصغرة للتيار المتناوب مع مكونات النظام، مقتبس بتصرف من التحالف من أجل كهربة المناطق الريفية (2011) https://www.ruralelec.org/sites/default/files/inensus-toolkit-en-21x21-web-ok.pdf

[33] الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، 2016 – آفاق الابتكار: الشبكة المصغرة للطاقة المتجددة.

الشكل 24: شبكة هجينة للتيار المستمر – طاقة الرياح والطاقة الكهروضوئية الشمسية



13.5 التوليد الهجين للطاقة من الشمس والديزل

دورة حياة الألواح الشمسية طويلة جداً. ويعلن المصنعون عن دورة حياة تمتد من 20 إلى 25 سنة، مع خرج ينخفض إلى نحو 80 في المائة من المردود الأصلي بعد انتهاء هذا الوقت. وسبب طول دورة الحياة هذه هو أن الألواح الشمسية لا تحتوي على أجزاء متحركة. وما يتسبب في تآكل الألواح هي فقط آثار التدهور البطيء الناجم عن الأشعة فوق البنفسجية (UV).

وتستخدم الشبكات المصغرة للألواح الكهروضوئية الشمسية-مولدات الديزل بطاريات أو أنظمة أخرى لتخزين الطاقة لتيسير إمداد الحمل بالطاقة على مدار اليوم وضمان تلبية ذروة طلبات الحمل مع تقليص وقت تشغيل الديزل واستعمال الوقود.

ويجب تصميم النظام الكهروضوئي الشمسي بحيث يلبي ذروة الأحمال في النهار؛ ويمكن استخدام الطاقة الزائدة لشحن بطاريات الدعم. ويجب تحديد أبعاد البطاريات بحيث توفر طاقة الدعم في أسوأ الحالات عندما تكون جميع مصادر الطاقة الأولية غير متوفرة. وقد يستمر هذا الوضع بضعة أيام في أسوأ الحالات، مثلاً عندما يغيب ضوء الشمس المباشر لفترة طويلة.

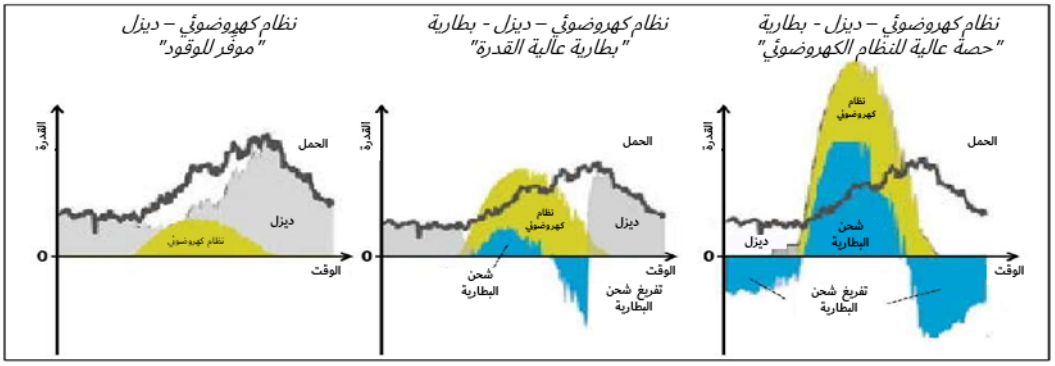
ومن ناحية أخرى، تنطوي مولدات الديزل على تكلفة تشغيل ثابتة نظراً لحاجتها إلى الوقود والتنظيف وعمليات تغيير المرشاح. وعلى الرغم من أن تكلفة مولدات الديزل منخفضة في البداية، فإن صافي تكلفتها يتراكم ببطء مع مرور الوقت. كما أن مولدات الديزل لا يمكن الاعتماد عليها وغالباً ما تتطلب إصلاحات مكلفة للاستمرار في العمل. ولهذا السبب، خلصت العديد من دراسات الحالة إلى أن مولدات الطاقة الشمسية هي خيار أقل تكلفة على المدى الطويل.[34]

وعلى الرغم من ذلك، لا تزال مولدات الديزل خياراً شائعاً لتوليد الكهرباء لأن تكلفة اقتناء الألواح الكهروضوئية الشمسية تفوق خمسة أضعاف تكلفة مجموعة من مولدات الديزل. وقد لا تملك المجتمعات ذات الفرص المحدودة في الحصول على رأس المال الموارد اللازمة لدفع التكاليف الأولية الكبيرة للطاقة الشمسية بدون تمويل. ومع ذلك، فإن تكلفة دورة حياة الألواح الكهروضوئية الشمسية ستكون أقل نظراً لتكلفة التزود بالوقود والنقل والصيانة المنتظمة لمولد الديزل.

[34] صندوق الإضاءة الكهربائية الشمسية؛ جامعة Gadjah Mada؛ جامعة Abubakar Tafawa Balewa؛ جامعة Arba Minch؛ المعهد الهندي للتكنولوجيا.

ولتحديد حجم النظام، يجب تحديد عامل الحمل لمولد الديزل ودورة البطارية، لأن لهما تأثيراً كبيراً على تكلفة العمر الافتراضي للنظام (الوكالة الدولية للطاقة، 2013). ويوضح الشكل 25 بياناً وصفياً نموذجياً للحمل اليومي لمولد الديزل والنظام الكهروضوئي الشمسي وتشغيلهما.

الشكل 25: رسم توضيحي لأساليب التشغيل المختلفة للأنظمة الهجينة



المصدر: المبادرة الألمانية لتكنولوجيا المناخ، الترويج للشبكات المصغرة الشمسية الهجينة، الوكالة الألمانية للتعاون الدولي (ZIG)، أغسطس 2016.

14.5 النظام الكهروضوئي الشمسي ومولد الديزل

الوضع: لا توجد شبكة كهرباء في الموقع في باكستان، كان الإمداد يؤمن باستخدام الديزل فقط

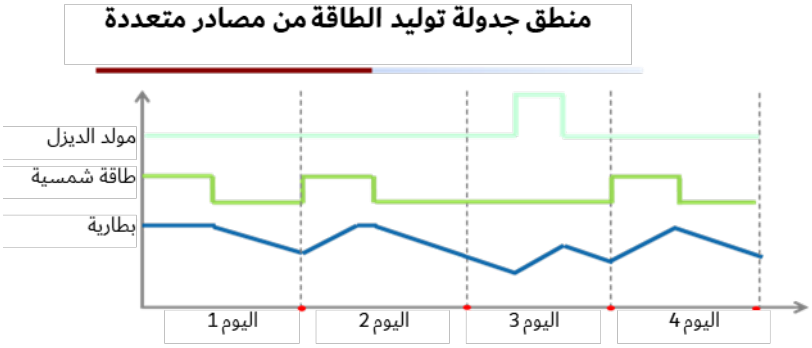
الحل المقترح: نظام هجين يشمل لوحاً كهروضوئياً شمسياً ومولد ديزل ومستودع بطارية أيون الليثيوم

النتيجة:

- يعمل مولد الديزل أقل من ساعتين في اليوم في المتوسط.
- ولّدت الأنظمة طاقة أكبر بنسبة 12 في المائة مقارنة بحل قائم على الديزل فقط.
- تم تحقيق انخفاض في استهلاك الوقود بنسبة 80 في المائة.

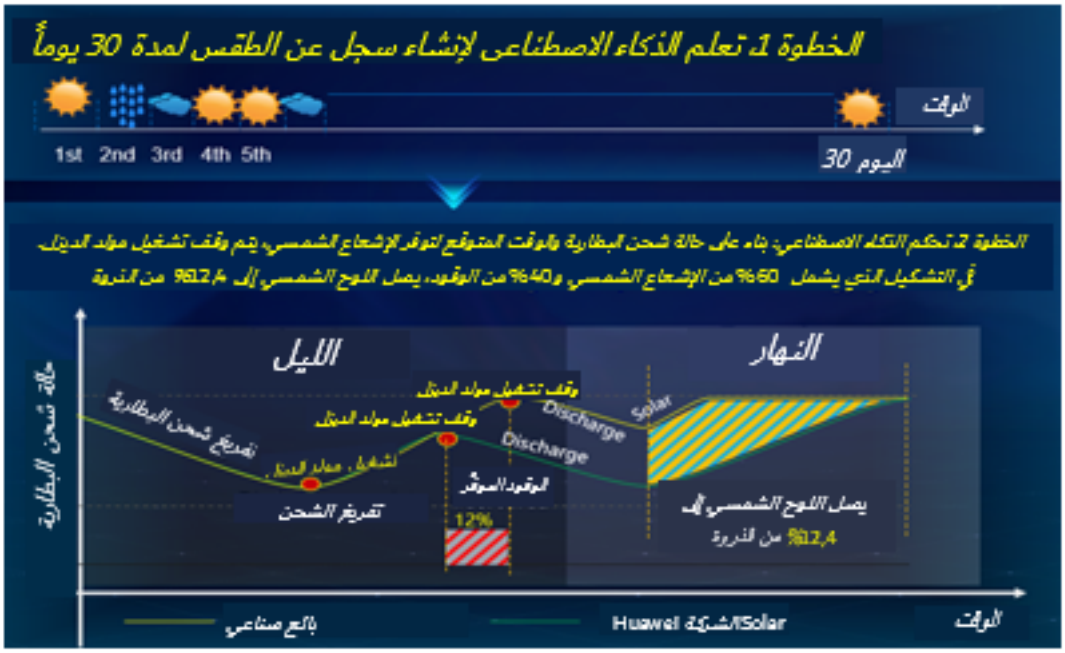
المصدر: شركة Huawei

يبين المخطط أدناه دورات الشحن وتفريغ الشحن.



تُستخدم تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي للتحكم في مولد الديزل. وكما هو موضح أدناه، يتم تشغيل مولد الديزل عندما يبلغ جهد البطارية العتبة الدنيا لتفريغ الشحن. وفي الوضع الطبيعي، دون استخدام الذكاء الاصطناعي، يتم وقف تشغيل مولد الديزل فقط عندما يصل اللوح الكهروضوئي الشمسي إلى نسبة 12,4 في المائة من ذروة القدرة.

ومع تحكم الذكاء الاصطناعي، تتنبأ الأنظمة بأوقات شروق الشمس في اليوم التالي، أي عندما يكون الإشعاع الشمسي كافياً لشحن البطاريات، بحيث يتم وقف تشغيل مولد الديزل في وقت أبكر. ويتم رصد مستوى البطارية المشحونة، وتُستخدم تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بعتبة جهد البطارية والوقت الذي سيكون فيه مصدر الطاقة الكهروضوئية الشمسية متوفراً لإعادة شحن البطارية بشكل كاف خلال اليوم.



دراسة حالة اضطلعت بها شركة Huawei

حل شركة Huawei للمناطق الريفية فيما يتعلق بالطاقة المتجددة للشبكات المصغرة الهجينة – خفض التكاليف التشغيلية لمشغل الاتصالات المتنقلة، Ufone، في باكستان

Ufone هو جزء من مجموعة شركات "اتصالات" ورابع أكبر مشغلي الاتصالات المتنقلة في باكستان بحيث يملك حصة 14 في المائة من السوق و22 مليون اشتراك. ويشغّل Ufone آلاف المحطات القاعدة للاتصالات المتنقلة يقع بعضها في مناطق حضرية تزود بالطاقة من خلال شبكة الكهرباء الرئيسية، في حين تعمل محطات أخرى خارج الشبكة في مناطق ريفية ومناطق نائية. وقام Ufone بتركيب مولدات تعمل بالديزل في أكثر من 8 000 موقع لتوفير طاقة مستقرة واحتياطية لمحطاته القاعدة في المناطق التي تكون فيها طاقة الشبكة غير مستقرة. ونظراً لحالات انقطاع التيار الكهربائي لفترات طويلة، كان من الضروري تشغيل مولدات الديزل لعدة ساعات في كل مرة. وبلغ متوسط مدة انقطاع التيار الكهربائي من 6 ساعات إلى 10 ساعات في المدن، ومن 8 ساعات إلى 20 ساعة في بعض البلدات الريفية والقرى.

لقد أدت المنافسة في سوق الاتصالات المتنقلة في باكستان إلى حصول المشغلين على قيمة منخفضة جداً لمتوسط الإيرادات لكل مستخدم (ARPU) تبلغ 2,50 دولاراً أمريكياً، وبالتالي، قام Ufone بدراسة تكاليف الشبكة وسعى إلى إيجاد طرق لخفض التكاليف التشغيلية والرأسمالية. وتم تحديد التكلفة العالية للتشغيل والصيانة، ولا سيما تزويد مولدات الديزل بالوقود، في المناطق التي لا يكون فيها إمداد الشبكة موثوقاً كمصدر رئيسي للقلق وهدف لخفض التكلفة.

واقترحت شركة Huawei ونفذت أربعة نماذج لحلول الطاقة الهجينة من أجل المشغل Ufone استناداً إلى توليفات مختلفة تتمثل في استخدام الطاقة الشمسية والأنظمة الكهروضوئية ومستودعات بطاريات التخزين ومولدات الديزل (المقدمة كدعم). ومن شأن التقليل من تشغيل مولدات الديزل أو إزالتها كلياً أن يحد من التلوث البيئي.

النموذج 1. المواقع التي تعاني من انقطاع التيار الكهربائي لمدة 6-8 ساعات

اقترحت شركة Huawei:

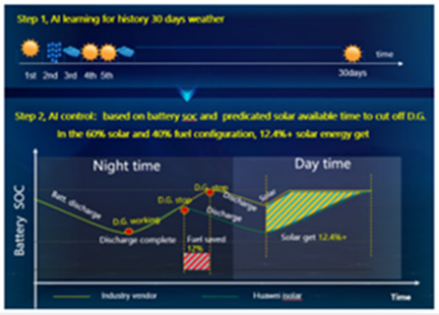
- إزالة مولدات الديزل
- تركيب بطاريات سريعة الشحن (3-4 ساعات للشحن الكامل)

كان هذا الحل مناسباً لأن مولد الديزل ومستودع بطاريات الرصاص الحمضية المستخدم سابقاً لم يعودا مطلوبين.

النموذج 2. المواقع التي تعاني من انقطاع التيار الكهربائي لمدة من 10 ساعات إلى 16 ساعة

اقترحت شركة Huawei مجموعات ديزل وحلاً هجيناً يتمثل في

- بطاريات الليثيوم ذات قدرة شحن سريع لمدة ساعة وسعة أعلى ودورة حياة أطول (100 Ah، 3 500 دورة شحن).



- بطاريات سريعة الشحن كوحدات احتياطية، تتيح شحناً سريعاً لمدة من ساعتين إلى 3 ساعات بأسلوب الاحتياطي. (100 Ah، 000 2 دورة شحن)

النموذج 3. المواقع التي تعاني من انقطاع التيار الكهربائي لمدة 16-20 ساعة.

اقترحت شركة Huawei إزالة مولدات الديزل واعتماد حل هجين:

- تركيب صفيف كهروضوئي شمسي.
- بطاريات ليثيوم سريعة الشحن (ساعتان)

كان هذا الحل مناسباً ولم يتطلب أي إمداد بالطاقة من مصدر بديل.

النموذج 4. المواقع القائمة بذاتها المحرومة من النفاذ إلى الشبكة.

اقترحت شركة Huawei تنفيذ حل هجين يتمثل في استخدام الطاقة الشمسية ومولد وبطاريات وإدارة بواسطة الذكاء الاصطناعي:

- تركيب صفيف كهروضوئي شمسي
- بطاريات ليثيوم سريعة الشحن (ساعتان)
- مولد ديزل كوحدة احتياطية

أدى هذا الحل إلى الحد من تشغيل مولد الديزل واستعمال الوقود بنسبة 80 في المائة لأن الصفيف الشمسي ولّد الطاقة الكافية لتشغيل معدات الاتصالات وشحن بطاريات الليثيوم بالكامل. واستُخدمت تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالفترة المثلى لتشغيل المولد والتحكم في أدائه.

15.5 حلول التخزين

يوفر التخزين الطاقة أو يمتصها لموازنة العرض والطلب ومواجهة التقلبات في أحمال العملاء وتوليد الطاقة.[35]

ونظراً للانخفاض السريع في تكاليف تكنولوجيات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وزيادة أحجام الإنتاج، أصبحت أنظمة الطاقة المتجددة المعيار لمعظم التطبيقات خارج الشبكة. ويظهر تخزين الكهرباء كجزء بالغ الأهمية من الحلول خارج الشبكة ويؤثر بشكل مباشر على مبادرات إزالة الكربون في هذه القطاعات الرئيسية لاستخدام الطاقة التي تعتمد حالياً بشكل كبير على وقود الديزل.

ويشير التقديرات إلى أن من الممكن، مع التحسينات في تكنولوجيا البطاريات، أن تتضاعف السعة الإجمالية لتخزين الكهرباء ثلاث مراث بحلول عام 2030. ومن المتوقع أن تنخفض تكاليف تكنولوجيات التخزين في البطاريات إلى نسبة تصل إلى 66 في المائة.[36] ومع استمرار انخفاض أسعار تكنولوجيات تخزين الكهرباء وزيادة القدرة على تحملها، ستستمر نسبة الطاقة المتجددة المستخدمة في الشبكات المصغرة في الزيادة مع مجموعة متزايدة من الفوائد التقنية والاقتصادية والاجتماعية (الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، 2016).

1.15.5 بطاريات الرصاص الحمضية

كانت بطاريات الرصاص الحمضية التكنولوجيا السائدة لتخزين الطاقة والمستخدمة على مدى عقود كحل احتياطي لمولدات الديزل، بحيث تزود مرافق الاتصالات على الشبكة أو خارج الشبكة بالطاقة في المناطق الحضرية والمناطق الريفية في جميع أنحاء العالم. والصنفان الرئيسيان لبطاريات الرصاص الحمضية هما بطاريات الخلايا الرطبة (بطاريات مغمورة غير محكمة الإغلاق)، وبطاريات الرصاص الحمضية المنظمة بالصمام (VRLA) التي تستخدم مستودعات بطاريات محكمة الإغلاق تحتوي على هلام أو عازل زجاجي ممتص (AGM). وتفضَّل

[35] CEMG HIO SE4All. حلول الطاقة المتجددة خارج الشبكة لتوسيع فرص الحصول على الكهرباء https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/IRENA_Off-grid_RE_Access_2019.pdf.

[36] https://www.powerelectronics.com/alternative-energy/6-promising-energy-storage-options-tie-grid

بطاريات الهلام المحكمة الإغلاق للتطبيقات التي تتطلب تفريغاً بطيئاً للشحن، أو التي تعمل عند درجات حرارة محيطة أعلى، في حين تتسم بطاريات AGM بمعدل شحن أفضل.

وتُعتبر بطاريات الرصاص الحمضية تكنولوجيا غير مكلفة ومستخدمة على نطاق واسع وقابلة لإعادة الشحن. وهي مناسبة لمجموعة واسعة من التطبيقات؛ بيد أنها تتسم بكثافة طاقة منخفضة وعمر افتراضي قصير جداً وعمق شحن ضعيف. كما أن مدى درجات الحرارة الأمثل لتشغيلها محدود جداً.

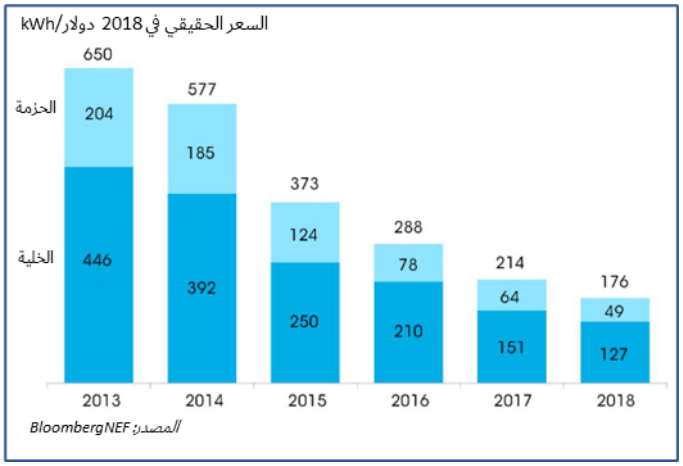
وتتطلب البطاريات المغمورة نظاماً لإدارة الحرارة وتقتضي صيانة دورية لاستبدال الماء. وفي المقابل، صُممت بطاريات VRLA بصمامات ذاتية التنظيم تمنع خسارة المنحلّ الكهربائي، وعلى الرغم من أنها أكثر تكلفة من البطاريات المغمورة، فإنها تتمتع بعمر افتراضي أطول بكثير ويمكنها العمل دون صيانة لمدة 10 سنوات.

وإذا تم تفريغ شحن بطاريات الرصاص الحمضية إلى أقل من 50 في المائة من عمق تفريغ الشحن، فتتقلص دورة حياتها، في حين يمكن تفريغ شحن بطاريات الليثيوم إلى 80 في المائة دون تعرضها لأضرار كبيرة على المدى الطويل.

2.15.5 بطاريات الليثيوم

شهدت بطاريات أيون الليثيوم أسرع نمو وأكبر انخفاض في التكاليف خلال السنوات الأخيرة، ويعزى ذلك بشكل كبير إلى تطوير المركبات الكهربائية. وتُستخدم هذه البطاريات غالباً في الأجهزة المتنقلة والمحمولة والإلكترونيات الاستهلاكية نظراً لارتفاع كثافة الطاقة لديها. وأشار تقرير الاستقصاء الذي أجرته مؤسسة Bloomberg بشأن الطاقة الجديدة لعام 2017 (انظر الشكل 26) إلى أن متوسط سعر حزمة بطاريات أيون الليثيوم انخفض بنسبة 85 في المائة بين عامي 2010 و2018 وسيستمر في الانخفاض على مدى العقود القليلة القادمة، ويعزى ذلك أساساً إلى زيادة الأحجام، مدفوعاً بصناعة النقل والبحث والتطوير. وتتوقع الوكالة الدولية للطاقة المتجددة انخفاضاً كبيراً في التكاليف المثبتة لبطاريات أيون الليثيوم بنسبة 54 في المائة في عام 2016 إلى 64 في المائة بحلول عام 2030 للتطبيقات الثابتة.[37]

الشكل 26: استقصاء أسعار بطارية أيون الليثيوم: تقسيم الحزمة والخلية



بطاريات الليثيوم هي الحل الأكثر انتشاراً للتخزين في البطاريات، حيث تُستخدم في أكثر من 90 في المائة من سوق التخزين في بطاريات الشبكات على الصعيد العالمي.[38] وستؤدي قدرتها على تخزين الطاقة بطريقة اقتصادية خلال النهار حيث تكون الطاقة الشمسية وفيرة وأقل تكلفة، ثم تحريرها في الليل حيث يزداد طلب الوحدات السكنية، إلى زيادة توليد الطاقة الشمسية. وبالمثل، يمكن تخزين طاقة الرياح الزائدة منخفضة التكلفة التي يتم توليدها ليلاً من محطات طاقة الرياح وتحريرها خلال النهار لتلبية ذروة الطلب.

[37] الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، تكاليف تخزين الكهرباء، 2017.

[38] صحيفة وقائع صادرة عن معهد الدراسات البيئية ودراسات الطاقة: تخزين الطاقة (2019) https://www.eesi.org/papers/view/energy-storage-2019

مقارنةً ببطاريات الرصاص الحمضية، تتمتع بطاريات الليثيوم بالمزايا التالية.[39]

- كثافة طاقة عالية، وزن خفيف (تشمل الابتكارات الجديدة تعويض الغرافيت بالسليكون).
- يمكن أن تتحمل مستويات كبيرة من عمق تفريغ الشحن (DoD) دون أن تتعرض لتدهور كبير، بخلاف بطاريات الرصاص الحمضية.
- تكاليف أقل لدورة الحياة مع عمر استخدام أطول؛ ما يقرب من ستة أضعاف عدد دورات الشحن التي يمكن أن تتحملها بطاريات الرصاص الحمضية (خاصة بطاريات الليثيوم-الحديد-الفوسفات).
- يمكن شحنها بسرعة كبيرة (يمكن شحن بطاريات الليثيوم-الحديد بالكامل خلال 30 دقيقة) ولا تفقد إلا جزءاً صغيراً من الشحن عندما تترك خاملة لفترة زمنية طويلة.
- لا تتطلب الصيانة ولا يلزم تخزينها رأسياً أو في مقصورات مهواة.
- كفاءة محسنة.
- انخفضت الأسعار في السنوات الأخيرة، وأصبحت بطاريات الليثيوم أكثر جاذبية لمنشآت الطاقة خارج الشبكة.

3.15.5 بطاريات التدفق

تختلف بطاريات التدفق عن البطاريات التقليدية القابلة للشحن من حيث إن المواد الكهربائية النشطة الخاصة بها ليست كلها مخزنة داخل الخلية حول المساري الكهربائية، بل هي، بدلاً من ذلك، مذابة في محاليل للمنحلّ الكهربائي مخزنة في خزانات منفصلة لجانبي الأنود والكاثود.

وكثافة الطاقة في بطاريات التدفق أدنى منها في بطاريات أيون الليثيوم، ولكن يمكن توسيع خصائصها المتعلقة بالطاقة والقدرة بشكل مستقل.

4.15.5 الحدّافات

عندما يتعين تخزين الطاقة الفائضة، يمكن أن تقوم الحدافات بتخزينها في شكل طاقة حركية دورانية من خلال تسريع دوران كتلة دوارة في حاوية خالية من الاحتكاك. وعندما تكون الطاقة مطلوبة، يُعاد تحرير الطاقة الحركية في شكل طاقة كهربائية من خلال إبطاء سرعة دوار الحدافة.

وتُعتبر الحدّافات مناسبة لأوقات تفريغ الشحن القصيرة (من بضع دقائق إلى عدة ساعات) وتُستخدم لإدارة القدرة، مثل تحسين استقرار الشبكة. وغالباً ما تُستخدم لتنظيم وتحسين جودة القدرة. وتُستخدم الحدّافات لتيسير الطاقة التي تنتجها محطات توربينات الرياح. وهي قادرة على تحرير كمية كبيرة من الطاقة في فترة قصيرة جداً تدوم بضع ثوانٍ.

وعلى الرغم من تكلفة التركيب الباهظة، تنطوي الحدافات على إمكانات قدرة عالية ويمكنها تحقيق عمق تفريغ للشحن بنسبة 100 في المائة لأكثر من 150 000 دورة دون تدهور مع مرور الوقت. وتتسم أيضاً بخسارات عالية نسبياً للاحتياطي نظراً لمعدلات تفريغ الشحن المرتفعة جداً والتي قد تصل إلى 15 في المائة في الساعة، ولذلك فإنها مناسبة للتخزين قصير الأجل.

5.15.5 البطاريات الصلبة

استفادت البطاريات الصلبة من الاستثمارات الكبيرة في البحث خلال العقود الأخيرة. ويتم تطوير بطاريات تحتوي على كاثود صلب وأنود صلب بينهما منحلّ كهربائي صلب بدلاً من سائل. ولذلك فهي أكثر استدامة وآمنة جداً للاستخدام. وتتسم البطاريات الصلبة أيضاً بكثافات طاقة أعلى مقارنة ببطاريات الليثيوم-الحديد. بيد أنها باهظة التكلفة وغير مجدية عموماً من الناحية التجارية.

6.15.5 المكثفات الفائقة

تمثل المكثفات الفائقة تكنولوجيا ناشئة أخرى لأنظمة تخزين الطاقة ويمكنها توفير كثافة طاقة أعلى من كثافة طاقة البطاريات التقليدية وكثافة طاقة أعلى بالمقارنة مع المكثفات التقليدية. وأصبحت المكثفات الفائقة حلاً

[39] بطاريات أيون الليثيوم - https://www.usaid.gov/energy/mini-grids/emerging-tech/storage

جذاباً لعدد متزايد من التطبيقات. ويتم بناء المكثف الفائق كمكثف مزدوج الطبقة ذي مواسعة عالية جداً ولكن بحدود جهد منخفضة ويخزن كميات من الطاقة أكبر من الكميات التي تخزنها المكثفات التي يستخدم فيها المنحل الكهربائي. وتخزَّن الطاقة الكهربائية في سطح بيني مسرى-منحل كهربائي يتكون من لوحين معدنيين مطليين بمادة كربونية مسامية نشطة تقدم مساحة أكبر لتخزين المزيد من الشحن. ويُغمر اللوحان في منحل كهربائي.

وتوفر الموصلات الفائقة مزايا كثافة القدرة العالية وإمكانية التعامل مع تيارات عالية الحمل. وتتسم بكفاءة جيدة، حيث تبلغ دورة عمرها الافتراضي الطويلة مئات الآلاف من المرات مع مدى واسع لدرجات الحرارة.

والمكثفات الفائقة هي الحل الأمثل للتطبيقات التي تتطلب الكثير من دورات الشحن/تفريغ الشحن السريعة ويمكن شحنها في غضون ثوانٍ. وهي الحل الأمثل أيضاً للاحتياجات من الطاقة في الأجل القصير، مثل استقرار الشبكة (استقرار الجهد والتردد). وتُستخدم أيضاً في الإلكترونيات الاستهلاكية وأنظمة الطاقة غير المتقطعة لتوربينات الرياح وفي الأجهزة المستعملة في شبكات التوزيع، وما إلى ذلك.

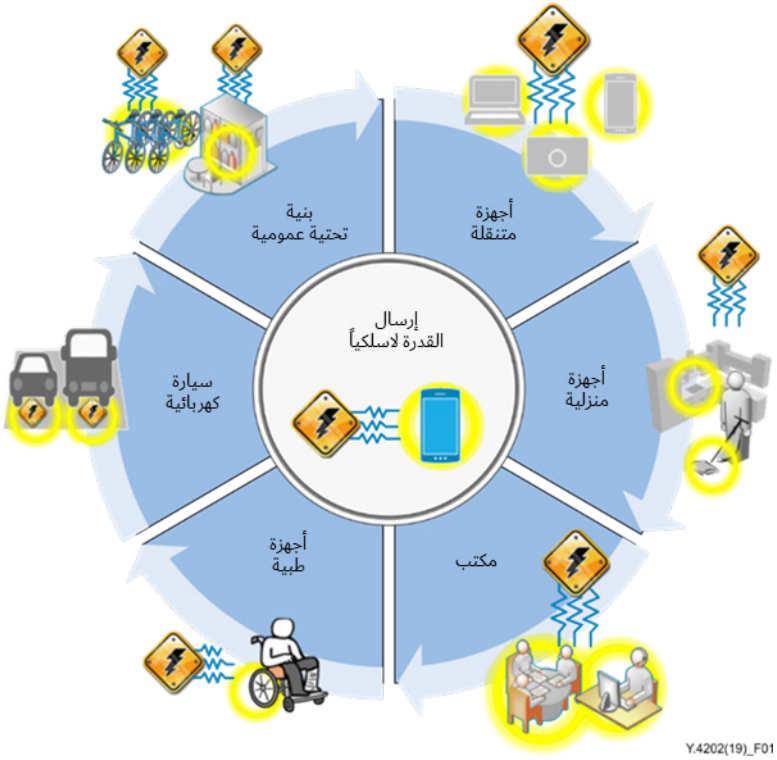
ويتمثل أحد عيوبها الرئيسية في انخفاض كثافة الطاقة لديها. ولذلك فهي غير مناسبة لاستخدامها كمصدر طاقة للتخزين المستمر.

16.5 إرسال القدرة لاسلكياً

تعتبر تكنولوجيا إرسال (أو نقل) القدرة لاسلكياً (WPT) من التكنولوجيات القادرة على إحداث تغيير كبير لأنها تعد بتوفير الطاقة الكهربائية حتى في أصعب السيناريوهات. ويعود إرسال القدرة باستخدام الموجات الراديوية إلى بدايات العمل الذي قام به نيكولا تيسلا عام 1899. وقد قام تيسلا بمحاولته الأولى لإرسال القدرة بدون أسلاك في عام 1899. واستخدم قدرة منخفضة التردد بتردد 150 kHz، بيد أن هذه المحاولات باءت بالفشل. ونُشرت في التقرير ITU-R SM.2303 في عام 2014 معلومات حول إرسال القدرة لاسلكياً باستخدام تكنولوجيات أخرى غير حزم التردد الراديوي، كإجابات جزئية على المسألة ITU-R 210-3/1، وتم تحديث هذه المعلومات عدة مرات حتى عام 2021. وبعد تقديم عرض توضيحي في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (MIT)، يجري استكشاف العديد من تكنولوجيات الإرسال WPT الواعدة، بما في ذلك الحث المغنطيسي والاقتران الرنيني والإرسال عبر حزم الترددات الراديوية، وما إلى ذلك. ويمكن الاطلاع على التفاصيل في تقرير قطاع الاتصالات الراديوية المشار إليه أعلاه.

وتجري حالياً في قطاع الاتصالات الراديوية دراسات دقيقة بشأن التأثيرات بين أنظمة الإرسال WPT هذه وخدمات الاتصالات الراديوية، وتمت الموافقة بالفعل على بعض التوصيات (انظر الموقع الإلكتروني: https://www.itu.int/rec/R-REC-SM/en). وتجري أيضاً دراسات أخرى بشأن الجوانب المتعلقة بالسلامة مثل التعرض البشري للمجالات الكهرمغنطيسية.

الشكل 27: السيناريو النمطي لإرسال القدرة لاسلكياً



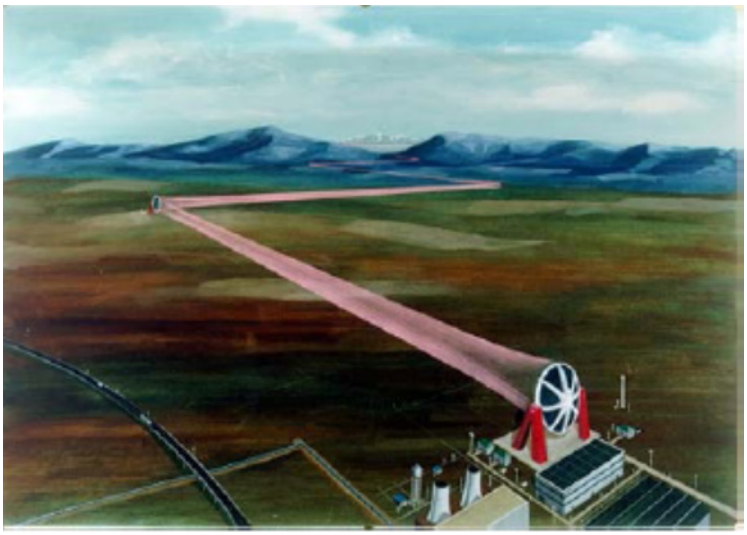
1.16.5 الحصول على القدرة باستخدام إرسال القدرة لاسلكياً عن طريق حزم التردد الراديوي

شهدت تكنولوجيات الشحن اللاسلكي تطوراً مستمراً، وتوفر حالياً دعماً للإرسالات المشعة بصرف النظر عن المسافة (تكنولوجيا WPT الحزمية). ويمكن أن تحقق تكنولوجيا WPT الحزمية تحسينات جوهرية في بعض التطبيقات مقارنة بتكنولوجيا WPT اللاحزمية التي تستخدم تكنولوجيات التقارن الحثي والرنيني والسعوي.

ويمكن تصميم تكنولوجيا WPT الحزمية وتنفيذها في العديد من الأجهزة الإلكترونية ذات الأحجام المختلفة لأغراض المنازل والمكاتب والصناعات الطبية والتصنيعية وتجارة التجزئة والسيارات، كما أنها تضمن قابلية التشغيل البيني للمنتجات. وهذه الأجهزة تشمل الأجهزة القابلة للارتداء، وأجهزة المساعدة على السمع، وسماعات الأذن، وسماعات الرأس البلوتوث، وأجهزة إنترنت الأشياء (IoT)، والهواتف الذكية، والأجهزة اللوحية، وقارئات الكتب الإلكترونية، ولوحات المفاتيح، وفارات الحواسيب، وأجهزة التحكم عن بعد، والمصابيح القابلة لإعادة الشحن، والبطاريات الأسطوانية، والأجهزة الطبية وأي أجهزة أخرى لها متطلبات شحن مماثلة قد تحتاج بخلاف ذلك إلى بطارية أو توصيل بمنفذ قدرة.

وتستخدم مُرسلات التكنولوجيا WPT الحزمية طيفاً ضيق النطاق، يبلغ عادةً 400 kHz أو أقل، لإرسال طاقة التردد الراديوي إلى جهاز العميل. ويكون المرسِل غير نشط حتى يتم التعرف على جهاز عميل معتمد، واستيقانه، وتحديد أنه على مسافة صفرية من لوحة الشاحن WPT. وتعمل تكنولوجيا WPT الحزمية عبر الأثير في نطاق مماثل وتعتمد على صفائف الهوائيات وتقنيات تركيز الحزمة لإرسال طاقة التردد الراديوي إلى المواقع الدقيقة لأجهزة العملاء. ونظراً إلى أن بعض إرسالات القدرة للتكنولوجيا WPT الحزمية من أنظمة الشحن اللاسلكية توجه نحو جهاز عميل ما، فإنه لا ينبغي النظر إليها على أنها جهاز إشعاع متناح، لإنها تركز طاقتها نحو مواقع محددة ولا ترسل إلا في حال وجود عميل معتمد.

الشكل 28: صورة لتكنولوجيا WPT من نقطة إلى نقطة



الشكل 29: تجربة لإرسال القدرة من نقطة إلى نقطة لمسافة ميل واحد باستخدام هوائي مكافئي قطره 26 m، وكليسترون بقدرة 450 kW في نطاق 2 388 GHz كمرسِل، وصفيف هوائي تقويم بحجم 3,4 x 7,2 m كمستقبِل

في أي نظام WPT عبر حزم الترددات الراديوية، تستخدم الهوائيات لإرسال الموجات الراديوية واستقبالها. ولا يوجد اقتران كهرمغنطيسي بين هوائيات الإرسال والاستقبال. لذا، لا يعتمد عدد المرسلات والمستقبلات على معلمات دارات المرسلات والمستقبلات. وتقوم النظرية الرئيسية للتكنولوجيا WPT عبر حزم الترددات الراديوية على معادلة إرسال فريس. ولا تحتاج الموجات الراديوية التي ترسل القدرة اللاسلكية إلى التشكيل مثل أنظمة الاتصالات الراديوية.

وطورت العديد من الشركات في الولايات المتحدة تكنولوجيا WPT حزمية لحالات استعمال تتطلب الإرسال عن بعد. وعرضت شركة مقرها الولايات المتحدة في عام 2020 نظاماً رقمياً لوسم الأرفف لتجار التجزئة لا يتطلب أسلاكاً أو بطاريات. وتعمل تكنولوجيا هذا النظام على الترددين 2,4 و5,8 GHz. ويصل مدى تشغيل النظام إلى حوالي 10 أمتار ويمكنه أيضاً تزيد الهواتف الذكية والأجهزة المنزلية الذكية المتوافقة وأجهزة استشعار السيارات والعديد من الأجهزة الأخرى بالقدرة. وتم تطوير تكنولوجيات أخرى تعمل على ترددات مختلفة. ومع ذلك، فإن هيئة الاتصالات الفيدرالية لا ترخص، في الوقت الراهن، تكنولوجيات WPT الحزمية القائمة لتعمل على هذه المسافات الأطول في الأماكن العامة في الولايات المتحدة. وتستخدم شركة أخرى النطاق الخاص بالتطبيقات الصناعية والعلمية والطبية (ISM) (بترددات الموجات المليمترية).

ويمكن الاطلاع على معلومات إضافية عن تطبيقات تستعمل تكنولوجيا WPT عن طريق حزم الترددات الراديوية في التقرير ITU-R SM.2392 المحدث حتى عام 2021.

2.16.5 الحصول على القدرة باستخدام إرسال القدرة لاسلكياً عن طريق تكنولوجيات أخرى

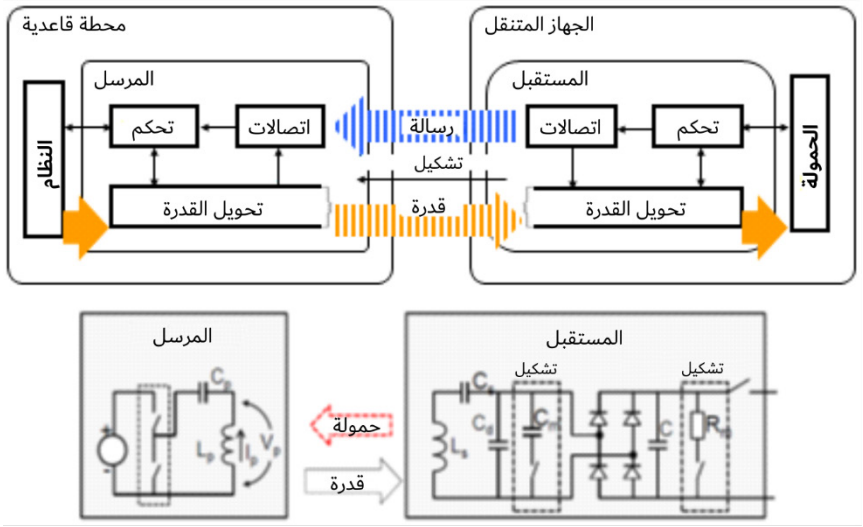
يرد وصف للتكنولوجيات التالية أيضاً في التقرير ITU-R SM.2303.

تكنولوجيا إرسال القدرة لاسلكياً بواسطة الحث المغنطيسي.

يعتبر إرسال القدرة لاسلكياً بواسطة محاثة مغنطيسية من التكنولوجيات المعروفة جيداً والتي تستعمل نفس المبادئ التي ترتكز عليها المحوّلات التقليدية التي يكون فيها الملفان الأولي والثانوي مقترنين بطريقة حثية باستخدام قلب مغنطيسي نفوذ مشترك لتحسين الاقتران. ويعتبر إرسال القدرة الحثية عبر الهواء بواسطة ملفين أولي وثانوي منفصلين مادياً من التكنولوجيات المعروفة منذ أكثر من قرن من الزمان. وتعرف أيضاً باسم تكنولوجيا WPT ذات الاقتران الوثيق. ومن سمات هذه التكنولوجيا أن كفاءة إرسال القدرة تنخفض إذا كانت المسافة عبر الهواء أكبر من قطر الملف وإذا كان الملفان غير متراصفين ضمن مسافة التخالف. وتعتمد كفاءة إرسال القدرة على عامل الاقتران (k) بين المحاثتين وعامل الجودة (Q) الخاص بهما. وبإمكان هذه التكنولوجيا أن تحقق كفاءة أعلى من تلك التي يحققها أسلوب الرنين المغنطيسي. وقد جرى تسويق هذه التكنولوجيا تجارياً لشحن الهواتف الذكية. ويمكنها، باستخدام صفيف من الملفات، أن توفر أيضاً مرونة في موقع ملف الاستقبال في المرسِل.

وتشكل الأجهزة المحمولة والمتنقلة إلى حد بعيد أكبر حجم لأجهزة إرسال القدرة لاسلكياً (WPT) التي يتم استخدامها حالياً. وقد بيّنت استطلاعات المستهلكين التي أجرتها مؤسسة IHS أن 35% من المستهلكين في الولايات المتحدة يستخدمون الشحن اللاسلكي للقدرة في أجهزتهم المتنقلة (هواتف ذكية بالدرجة الأولى). ويبين الموقع الشبكي للاتحاد بشأن القدرة اللاسلكية (WPC) أن نحو 150 مليون من المرسِلات اللاسلكية للقدرة المخصصة لشحن الهواتف الذكية قد دخلت حيز الاستخدام اعتباراً من منتصف عام 2017.

الشكل 30: مخطط صندوقي لنظام WPT نمطي يعمل بالحث المغنطيسي



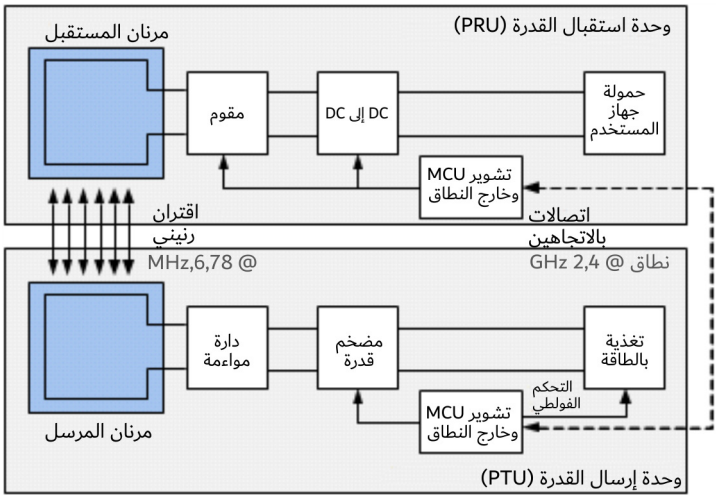
Report SM.2303-02

تكنولوجيا إرسال القدرة لاسلكياً بواسطة الرنين المغنطيسي

يعرف إرسال القدرة لاسلكياً بواسطة الرنين المغنطيسي باسم "تكنولوجيا WPT ذات الاقتران الضعيف". وقد وضع معهد ماساشوستس للتكنولوجيا الأساس النظري لأسلوب الرنين المغنطيسي هذا للمرة الأولى في عام 2005، وتم التحقق منه تجريبياً في عام 2007. ويُستخدم في هذا الأسلوب مرنان مؤلف من ملف ومكثف، يتم فيه إرسال القدرة الكهربائية بواسطة الرنين الكهرمغنطيسي الذي ينشأ بين ملف المرسِل وملف المستقبِل (اقتران رنيني مغنطيسي). وبمواءمة تردد الرنين في الملفين مع عامل جودة (Q) مرتفع، يصبح بالإمكان إرسال القدرة الكهربائية إلى مسافة بعيدة يكون عندها الاقتران المغنطيسي بين الملفين منخفضاً. وقد يصل مدى إرسال القدرة لاسلكياً الكهربائية بواسطة الرنين المغنطيسي إلى عدة أمتار.

وتسمح هذه التكنولوجيا بمرونة في اختيار موقع ملف الإرسال. ويمكن الاطلاع على التفاصيل التقنية العملية في التقرير ITU-R SM.2303.

الشكل 31: مخطط صندوقي لنظام WPT النمطي يعمل بالرنين المغنطيسي



Report SM.2303-03

ويمكن أن تؤدي المحطة القاعدة للتكنولوجيا WPT شحن التكنولوجيا WPT لأجهزة التكنولوجيا WPT المحددة فقط، وتحجب الأجهزة غير المحددة. ويمكن أن تكون هذه البيئة مكتباً أو منزلاً، باستخدام الأجهزة المسجلة، على النحو الموضح في الشكل 32.

الشكل 32: مثال على أجهزة التكنولوجيا WPT الثابتة

Y.4202(19)_FI.1

وإذا أراد المستخدم تثبيت أجهزة جديدة للتكنولوجيا WPT في المنزل أو المكتب، يجب تسجيل الأجهزة الجديدة في المحطة القاعدة للتكنولوجيا WPT. وستحتفظ المحطة القاعدة للتكنولوجيا WPT بالمعلومات المتعلقة بالأجهزة الجديدة، مثل هوية الجهاز ونوع شحن التكنولوجيا WPT.

6 الآليات المالية لاستثمارات الطاقة المتجددة

تواجه أقل البلدان نمواً، التي يعيش بها 13 في المائة من سكان العالم والتي لا تمثل إلا 2 في المائة من الناتج المحلي الإجمالي العالمي، عوائق هيكلية شديدة أمام تحقيق أهداف التنمية المستدامة (UN OHRLLS, 2017). وبمتوسط معدل حصول على الكهرباء نسبته 44,8 في المائة ومعدل كهربة عالمية بنسبة 87,4 في المائة في عام 2016، فإن أقل البلدان نمواً بعيدة عن تحقيق النفاذ الشامل إلى الطاقة الحديثة بحلول عام 2030. وقد أعاق توسع النفاذ إلى المناطق الريفية ارتفاع تكاليف التنفيذ وارتفاع تكاليف التوصيل والتشغيل، إلى جانب نقص الاستثمار (UN OHRLLS, 2017).

وفي أقل البلدان نمواً، يميل الحصول على الكهرباء إلى أن يكون أكبر بكثير في المناطق الحضرية منه في المناطق الريفية. وفي عام 2016، كان 75 في المائة من سكان الحضر يحصلون على الكهرباء، مقارنة بنسبة 31 في المائة فقط من سكان الريف، ولكن يتوسع الحصول بشكل أسرع قليلاً في المناطق الريفية نظراً لأنه يبدأ من قاعدة منخفضة للغاية. ونظراً لارتفاع الاستثمارات الأولية المطلوبة لمشاريع الشبكات الصغرى، تكون التعريفات عادةً أعلى من التعريفات القائمة على الشبكة الرئيسية (ما لم يكن هناك دعم كبير للشبكة الصغرى)، والتي قد تكون غير مسورة للشركات والأسر الريفية.

ويختلف وضع الحصول على الطاقة في أقل البلدان نمواً من منظور إقليمي كذلك. ففي عام 2016، حققت أقل البلدان نمواً في منطقة آسيا والمحيط الهادئ معدل كهربة بلغ 73,6 في المائة في المتوسط، بينما كان المعدل في البلدان الإفريقية الأقل نمواً أقل بكثير عند 30 في المائة.[40]

1.6 تمويل البنية التحتية للطاقة المتجددة الريفية

شكّل تمويل الشبكات الصغرى الخضراء في المناطق الريفية من الدول النامية تحدياً كبيراً، على مر السنين، للمطورين من القطاع الخاص. ويرجع السبب الرئيسي في ذلك إلى التكاليف العالية لتكنولوجيا الطاقة الخضراء والتحدي الذي يفرضه ذلك على ربحية مثل هذه المشاريع. وقد انخفضت هذه التكاليف بشكل كبير خلال السنوات العشر الماضية، ولكن مستويات الدخل المنخفضة للغاية في المناطق الريفية من العالم الثالث تعني أن تكنولوجيات الطاقة النظيفة لا تزال غير متاحة إلى حد كبير في هذه الأجزاء من العالم.

وفي عام 2013، أشارت التقديرات إلى أن احتياجات البنية التحتية للطاقة في إفريقيا تبلغ نحو 63 مليار دولار أمريكي. وتمت تلبية 12 في المائة فقط من هذه الاحتياجات التمويلية في ذلك العام، وجاء 50 في المائة من التمويل من مصادر محلية (من الحكومات المعنية) والباقي من مصادر خارجية.[41] وتتسم البلدان الإفريقية عموماً بمستويات منخفضة من الضرائب إلى الناتج المحلي الإجمالي، وبالتالي تفتقر إلى الإيرادات اللازمة لتمويل تطوير البنية التحتية المحلية للطاقة بشكل كافٍ.

وتتمثل إحدى السبل الموصى بها لزيادة الإيرادات المحلية في هذه البلدان في تقليل الإنفاق الحكومي على أمور مثل دفع الإعانات على الوقود الهيدروكربوني. ويمكن لاستراتيجية توفير التكاليف هذه، جنباً إلى جنب مع غيرها من الاستراتيجيات، أن تمنح الحكومات الحيز المالي اللازم لتقديم حوافز ضريبية ومالية أخرى للمطورين من القطاع الخاص من أجل حلول الشبكات الصغرى الخضراء. وتعتبر هذه الحوافز مفيدة، ولكنها تخلق تحدياً جديداً للمستثمرين: عدم اليقين بشأن استدامتها، نظراً لأنها تستند إلى سياسات يمكن أن تتغير خلال عمر المشروع. وحتى عندما توضع هذه الحوافز في الاعتبار، فإن تكاليف بدء المشاريع تظل مرتفعة للغاية.

---

40 الأمم المتحدة، الحصول على الطاقة والتحديات الرئيسية في أقل البلدان نمواً https://www.un.org/ldcportal/energy-access-and-main-challenges-in-the-ldcs

41 Sy, Amadou and Copley, Amy (2017): Closing the Financing Gap for African Energy Infrastructure: Trends, Challenges, and Opportunities. Policy Brief, Africa Growth Initiative, The Brookings Institution, Washington, DC. https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2017/04/global_20170417_africa-energy-infrastructure.pdf#page=10&zoom=auto

أبراج الاتصالات – عملاء الشبكة

تتيح صناعة الاتصالات فرصة رائعة للمطورين من القطاع الخاص. وتشهد صناعة الاتصالات نمواً سريعاً للغاية في المناطق الريفية غير المغطاة بالشبكات من العالم الثالث. وهذا ممكن لأن مشغلي الشبكات يولدون القدرة الخاصة بهم خارج الشبكة، عادةً باستخدام مولدات الديزل ولكنهم يتجهون بشكل متزايد إلى الطاقة المتجددة، لتشغيل محطاتهم القاعدة المتنقلة. ولتحسين أمن المحطة القاعدة، وخفض تكاليف القدرة، وزيادة تدفقات الإيرادات، وتسهيل الاستخدام المتزايد للهواتف المتنقلة في هذه المجتمعات المحلية غير المغطاة بالشبكات، يقوم مشغلو الاتصالات بتجربة نُهج مختلفة لتوفير الكهرباء بعيداً عن المحطة القاعدة في المجتمعات المحلية من خلال برنامج مرافق الأجهزة المتنقلة من أجل التنمية[42] (Taverner, 2010). ومن أهم هذه النُهج الاستعانة بمطورين من القطاع الخاص لتوفير القدرة، حيث توفر المحطة القاعدة المتنقلة ركيزة ثابتة للطلب على القدرة. ومن شأن تركيز مطوري القطاع الخاص أعمالهم على توفير القدرة للمحطة القاعدة المتنقلة أن يسمح لهم بتزويد المجتمعات المحيطة بالقدرة بشكل مربح. وفي حين أن هذا النموذج من الشراكة بين مشغلي الشبكات والمطورين من القطاع الخاص لحلول الشبكات الصغرى لا يحل مشكلة ارتفاع تكاليف بدء التشغيل، فإن الطلب الموثوق على القدرة من محطات القاعدة المتنقلة يوفر جدوى تجارية قوية يمكن أن تجذب الاستثمار والتمويل الطويل الأجل للبحوث.

2.6 صناديق الخدمة الشاملة

تُستخدم صناديق الخدمة الشاملة بشكل تقليدي لخلق حوافز لشركات الاتصالات لتمديد خدمات الاتصالات إلى المناطق النائية.[43] ولا يعتبر تمويل مشاريع القدرة المجتمعية في المجتمعات المحلية المستهدفة جزءاً من ذلك، في الوقت الحالي. وهناك حاجة إلى تنويع الصناديق لتشمل تمويل المراحل الأولية من مشاريع القدرة المجتمعية كوسيلة لتسهيل نشر خدمات الاتصالات في هذه المجتمعات المحلية غير المغطاة بالشبكات.

وسيكون التمويل تحدياً رئيسياً أمام التوسع الهائل المقترح وتحديث أنظمة الكهرباء لأقل البلدان نمواً والتي تعتبر ضرورية لتحقيق النفاذ الشامل بحلول عام 2030.

وكما هو الحال في عمليات الإنتاج الأخرى، يترتب على توليد ونقل وتوزيع الكهرباء تكاليف ثابتة ومتغيرة. وتواجه صناعة الكهرباء عبئاً كبيراً ناتجاً عن الاستثمارات الأولية المتكبدة قبل استرداد التكاليف. وعلى وجه الخصوص، ترتبط شبكة النقل والتوزيع بتكاليف ثابتة ضخمة.

وتنطوي تكنولوجيات توليد الطاقة من المصادر المتجددة غير المائية، مثل الرياح والطاقة الشمسية، أيضاً على تكاليف ثابتة عالية، على الرغم من أنها أقل بكثير من تكاليف المحطات المركزية الكبيرة التي تعمل بالوقود الأحفوري أو المصادر المتجددة.

وتتمثل المخاطر التي يتم تقييمها بشكل شائع في قطاع الكهرباء في أقل البلدان نمواً في انخفاض قدرة المستهلكين على الدفع؛ وعدم وجود أطر لتوجيه مشاركة القطاع الخاص؛ والمخاطر التنظيمية المتصورة من احتكار المرافق العامة، والتي تخضع للولايات الاجتماعية وعدم اليقين السياسي.

وبين عامي 2012 و2014، بلغت حصة البلدان المتوسطة الدخل في التمويل المعبأ من خلال الضمانات والقروض الجماعية والأسهم 72,3 في المائة. وبلغت حصة أقل البلدان نمواً 8 في المائة، وحصة البلدان الأخرى المنخفضة الدخل 2 في المائة. وكانت البلدان النامية في إفريقيا (29,1 في المائة) هي الأكثر استفادة، تليها بلدان آسيا (27,2 في المائة) والأمريكتين (21,1 في المائة) (OECD, 2016a).

مخططات الدفع أولاً بأول

يمكن لمقدمي خدمة الدفع أولاً بأول (PAYG) اتباع طريقة من بين طريقتين لتمويل النظام من خلال المستهلك.

- رسم غير محدد مقابل الخدمة، لا يمتلك فيه المستهلك النظام نفسه أبداً، بل يدفع فقط مقابل استخدامه. ويعمل هذا على أساس أن المستهلك يدفع فقط عند الحاجة إلى القدرة وعندما تكون متاحة بسعر مناسب، وعادةً على أساس يومي أو أسبوعي أو شهري (يشبه ترتيب التمويل النمطي).

[42] Taverner, David (2010): Community Power: Using Mobile to Extend the Grid. Green Power for Mobile. GSMA, London. 80p.

[43] Dorward, Lynne A. (2013): Universal service funds and digital inclusion for all. International Telecommunication Union, Geneva. 142p.

- سيمتلك المستهلك النظام في النهاية بعد سداد التكاليف الأساسية للنظام ويجب أن يسدد المستهلك مدفوعات منفصلة.

حالة M-KOPA

تُعد شركة M-KOPA Solar مثالاً يُستشهد به كثيراً لشركة تتمتع بخبرة جيدة في تطبيقات خدمة الدفع PAYG الناجحة، حيث قامت بتوصيل أكثر من 330000 منزل في كينيا وتنزانيا وأوغندا بالقدرة الشمسية وتضيف أكثر من 500 منزل جديد كل يوم (The Economist, 2016).

3.6 التمويل الخارجي

إن المصادر الرئيسية لتمويل مشاريع القدرة المجتمعية خارجية، في الوقت الحاضر، وأساساً في شكل تمويل التنمية الرسمي من منظمات متعددة الأطراف مثل مصرف التنمية الإفريقي، والبنك الدولي، ولجنة المساعدة الإنمائية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي (OECD-DAC)، وكذلك من مستثمري القطاع الخاص. وتتعاون المنظمات المتعددة الأطراف بشكل متزايد لإيجاد سبل أكثر ابتكاراً لتعويض المخاطر والتكاليف العالية المرتبطة بهذه المشاريع لتشجيع مشاركة المستثمرين من القطاع الخاص. وهكذا، أنشأت هذه المنظمات العديد من المنصات لتسهيل تطوير مشاريع الطاقة الخضراء القابلة للتمويل وربط المستثمرين بهذه المشاريع. وتؤثر معظم هذه المنصات أيضاً على سياسات الطاقة في بلدان العالم الثالث، خاصة وأن السياسات هي إحدى العوامل الرئيسية التي يشير إليها المستثمرون على أنها مهمة في تحديد قرارهم بشأن الاستثمار في بلدان معينة. وفيما يلي بعض منصات التمويل.

1.3.6 بيع الكربون

تم توقيع بروتوكول كيوتو في عام 1997[44] ودخل حيز التنفيذ في عام 2005، ووضع البروتوكول سقوفاً لانبعاثات غازات الاحتباس الحراري لجميع البلدان الموقعة. ويتمثل الهدف منه في تسريع تطوير التكنولوجيات النظيفة وعكس اتجاه الاحترار الحراري. ولذلك أنشأ البروتوكول آلية لمكافأة الجهود المبذولة لتطوير التكنولوجيا النظيفة.[45] ويمكن للبلدان (أي المشاريع داخل هذه البلدان) البطيئة في الحد من انبعاثاتها المسببة للاحتباس الحراري إلى المستويات المقبولة شراء أرصدة الكربون لتعويض الانبعاثات الزائدة التي تولدها (تقاس بالأطنان المترية من مكافئ ثاني أكسيد الكربون). وتُصدِر أرصدة الكربون البلدان (أي المشاريع داخل هذه البلدان) التي تقل انبعاثاتها عن الحدود القصوى للانبعاثات المحددة لها. وتخضع تجارة الكربون لتنظيم دقيق للغاية وتنطوي على عدة خطوات تجريها أطراف ثالثة للتحقق منها.

2.3.6 آلية التنمية النظيفة (CDM)

إن آلية التنمية النظيفة هي المنصة التي أُنشئت بموجب بروتوكول كيوتو لإصدار أرصدة الكربون مقابل تخفيضات الانبعاثات القائمة على المشاريع في العالم النامي. وتباع هذه الأرصدة، التي يُشار إليها بوحدات خفض الانبعاثات المعتمدة (CER)، إلى البلدان الصناعية التي تشتريها لتحقيق أهداف خفض الانبعاثات الخاصة بها. ويُشرف مجلس صندوق التكيف (AFB) على تداول الوحدات وإدارتها.

وتتكون دورة مشاريع آلية التنمية النظيفة من سبع خطوات، تُنظمها جميعاً قواعد ومراجع منفصلة. وتتألف هذه الخطوات من: (1) تصميم المشروع من قبل المشاركين في المشروع، (2) الموافقة الوطنية على المشروع من قبل السلطة الوطنية المعينة، (3) المصادقة على المشروع من قبل الكيان التشغيلي المعين، (4) تسجيل المشروع من قبل المجلس التنفيذي لآلية التنمية النظيفة، (5) رصد المشاركين في كل مشروع على حدة، (6) التحقق من المشروع من قبل كيان تشغيلي معين، (7) إصدار المجلس التنفيذي لآلية التنمية النظيفة (CER) لوحدات خفض الانبعاثات المعتمدة.

وقد دخل الإطار التنظيمي الجديد لآلية التنمية النظيفة حيز التنفيذ في 1 يونيو 2017 ويرد ملخص له أدناه.

---

[44] الأمم المتحدة (1997): بروتوكول كيوتو لاتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ. الأمم المتحدة، نيويورك. الصفحة 192.

[45] اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (2007): آليات بروتوكول كيوتو. اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ، الصفحة 6.

مصادر الأموال	المشاريع المؤهلة	القيود	التأثير
آلية التنمية النظيفة	- مشاريع الطاقة المائية وطاقة الرياح والطاقة الشمسية والطاقة الحرارية الأرضية وطاقة الكتلة الحيوية - مشاريع الأجهزة المنزلية الموفرة للطاقة	- مشاريع الطاقة النووية - يجب ألا تتجاوز السعة المركبة لمشاريع الطاقة الكهرمائية 20 MW (إلا في ظل ظروف معينة). - تنطبق في البلدان التي صدقت على بروتوكول كيوتو - سيتوقف العم بها في عام 2020 واستبدالها بأحكام اتفاق باريس	- أكثر من 8 409 مشاريع مسجلة حتى الآن. • 1 097 في أمريكا اللاتينية • 6 877 في آسيا والمحيط الهادئ • 84 في أوروبا وآسيا الوسطى • 241 في إفريقيا • 110 في الشرق الأوسط
المراجع الرئيسية (بما في ذلك أطر السياسات والمنهجيات لنمذجة القيمة المتوقعة للتمويل)			
– https://cdm.unfccc.int/Projects/diagram.html – http://climateneutralnow.org/Pages/Home.aspx			

3.3.6 بورصة أرصدة الكربون في إفريقيا (ACCE)

إن ACCE عبارة عن بورصة لتداول الكربون أنشأتها حكومة زامبيا للعمل بمثابة منصة للأفراد والشركات في جميع أنحاء إفريقيا لجمع رأس المال للمشاريع الخضراء. وتعد بورصة ACCE مجرد واحدة من العديد من بورصات تبادل الكربون التي تعمل بالفعل في جميع أنحاء العالم.

مصادر الأموال	المشاريع المؤهلة	القيود	التأثير
بورصة أرصدة الكربون في إفريقيا	جميع المشاريع الخضراء التي يكون مقرها إفريقيا	لن تكون متاحة للمشاريع التي لا يوجد مقرها في إفريقيا	لم تعمل حتى الآن
المراجع الرئيسية			
– http://www.africacce.com – https://www.daily-mail.co.zm/carbon-credit-exchange-set			

4.3.6 بورصة تداول الكربون (CTX)

إن CTX عبارة عن بورصة لتداول كربون مقرها لندن وتعمل على مستوى العالم. وهي مملوكة لشركة Global Environmental Markets (GEM). وتتفاعل بورصة CTX مع العديد من سجلات السلع البيئية وترتبط إلكترونياً بالوسطاء الماليين من أجل التداول الكفء والشفافية.

مصادر الأموال	المشاريع المؤهلة	القيود	التأثير
بورصة تداول الكربون	المشاريع العالمية الخضراء	لم تُذكر أي قيود	أول وأكبر بورصة تداول كربون في العالم
المراجع الرئيسية			
– http://ctxglobal.com – http://www.gemglobal.com			

5.3.6 الصندوق الإفريقي للطاقة المتجددة (AREF)

إن AREF عبارة عن صندوق استثمار في الأسهم الخاصة للبلدان الإفريقية يركز على دعم صغار إلى متوسطي منتجي القدرة المستقلين في إفريقيا جنوب الصحراء. ويبلغ رأس مال الصندوق، الذي أطلق في عام 2014، الملتزم به 200 مليون دولار أمريكي. ويقع مقره في نيروبي، كينيا، ويرعاه أساساً مصرف التنمية الإفريقي (AfDB). ومن بين الرعاة الرئيسيين الآخرين صندوق الطاقة المستدامة من أجل إفريقيا (SEFA).

مصادر الأموال	المشاريع المؤهلة	نوع المساعدة	التأثير
AREF الشركاء الآخرون هم: *SEFA وAfDB وABREC وEBID وBOAD وFMO وCalvert Foundation وCNUCED وBIDC وEnergy Africa Limited وGEF وDANIDA وUSAID*	– مشاريع القدرة المستقلة الصغيرة/ المتوسطة للطاقة الشمسية وطاقة الرياح والكتلة الحيوية والطاقة المائية وكذلك بعض تكنولوجيات الطاقة الحرارية الأرضية والغازات العالقة	– تمويل حصص الملكية – دعم هندسي – دعم في الإدارة	– الالتزام بمبلغ قدره 10 ملايين إلى 30 مليون دولار أمريكي في حصص رأس المال لكل مشروع.
		المراجع الرئيسية	القيود
		– http://www.berkeley-energy.com/index.jsp#home	– يجب أن تتراوح القدرة الناتجة عن المشاريع بين 5 MW و50 MW – لا يدعم المشاريع المنفذة في جنوب إفريقيا

6.3.6 Power Africa, Beyond the Grid

إن Power Africa عبارة عن مبادرة تقودها حكومة الولايات المتحدة وتركز على الاستثمار ونمو حلول الطاقة للمناطق غير المغطاة بالشبكات والصغيرة الحجم عبر إفريقيا جنوب الصحراء. وأقامت المنظمة شراكة مع أكثر من 40 مستثمراً وممارساً لجمع أكثر من مليار دولار أمريكي من الالتزامات لتحقيق حلول مبتكرة. وتعمل مبادرة Power Africa أيضاً مع الحكومات الإفريقية لضمان أن تكون البيئات التنظيمية داعمة لخيارات القطاع الخاص في المناطق غير المغطاة بالشبكات. وأنتجت مبادرة Power Africa حتى الآن قائمة تضم 13 من مرافق إعداد المشاريع في المراحل المبكرة والتي تعمل في قطاع الطاقة عبر إفريقيا جنوب الصحراء.

مصادر الأموال	المشاريع المؤهلة	نوع المساعدة		التأثير
– Power Africa شراكة تقودها حكومة الولايات المتحدة *الشركاء الآخرون هم: AfDB وATI وكندا وDBSA وUK Aid وفرنسا والاتحاد الأوروبي وIDC وIRENA وإسرائيل واليابان وNEPAD والنرويج وSE4All والسويد والبنك الدولي*	– مشاريع الطاقة المائية وطاقة الرياح والطاقة الشمسية والطاقة الحرارية الأرضية وطاقة الكتلة الحيوية – مشاريع الأجهزة المنزلية الموفرة للطاقة	– التمويل بالمنح – التمويل بالديون – حصص الملكية – تمويل الميزانين – التأمين – الضمانات – رأس المال المخاطر للمرحلة الأولية	– إعداد المشاريع – الدعم لتطوير المشاريع – المساعدة التقنية – المساعدة القانونية – البحوث التكنولوجية/ العلمية – بحوث السوق	– تعهدت بالفعل بأكثر من 54 مليار دولار. – تدعم 130 شريكاً من القطاع الخاص في أكثر من 14 بلداً في إفريقيا جنوب الصحراء. – يركز 40 من الشركاء من القطاع الخاص على تطوير الشبكات الصغرى وخدمات القدرة الموزعة والبنية التحتية في المناطق الريفية وشبه الحضرية.
المراجع الرئيسية				
– https://www.usaid.gov/powerafrica/beyondthegrid – https://www.usaid.gov/powerafrica/toolbox				

7.3.6 صندوق الطاقة المستدامة من أجل إفريقيا (SEFA)

إن SEFA عبارة عن مرفق متعدد الجهات المانحة يستضيفه مصرف التنمية الإفريقي وبرأس مال قدره 95 مليون دولار أمريكي بتمويل من حكومات الدانمارك وإيطاليا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة. وهو يدعم خطة الطاقة المستدامة في إفريقيا. ويعمل صندوق SEFA عن طريق إصدار منح لتسهيل إعداد المشاريع القابلة للتمويل، وإتاحة الاستثمار في أسهم هذه المشاريع عبر الصندوق AREF، ودعم مؤسسات القطاع العام في

تحسين البيئة التمكينية لاستثمارات القطاع الخاص. ويتواءم الصندوق مع مبادرة الطاقة المستدامة للجميع (SE4All) التابعة للأمم المتحدة. ويدير الكيانان معاً مكتب المساعدة للشبكات الصغرى الخضراء (Green Mini-Grid)، الذي يوفر خدمة معلومات كاملة لمطوري الشبكات الصغرى الخضراء (GMG) في إفريقيا.

مصادر الأموال	المشاريع المؤهلة	نوع المساعدة	التأثير
SEFA *الشركاء الآخرون هم: AfDB وSE4All*	– مشاريع الشبكات الصغرى الخضراء في إفريقيا – يجب أن يستهدف المشروع استثمارات رأسمالية تتراوح من 30 إلى 200 مليون دولار أمريكي	– التمويل بالمنح لتقاسم التكاليف من أجل تسهيل أنشطة ما قبل الاستثمار (الجدوى السابقة حتى الإغلاق المالي) – المساعدة التقنية في مرحلة ما قبل الاستثمار – الاستثمار في الأسهم عبر مبادرة AREF – مساعدة الحكومات على تهيئة بيئات مؤاتية للاستثمارات الخاصة (الأنظمة القانونية والتنظيمية والسياساتية)	– أحد المساهمين الرئيسيين في مبادرة AREF.
		المراجع الرئيسية	
		– https://www.afdb.org/en/topics-and-sectors/initiatives-partnerships/sustainable-energy-fund-for-africa – https://www.se4all-africa.org/se4all-in-africa/financing-opportunities/sustainable-energy-fund-for-africa – http://greenminigrid.se4all-africa.org	

8.3.6 صندوق الأوبك للتنمية الدولية (OFID)

إن OFID هو مؤسسة تمويل التنمية التي أنشأتها الدول الأعضاء في منظمة البلدان المصدرة للنفط (أوبك) في عام 1976 كقناة لمساعدة البلدان النامية. وتسعى مبادرة الطاقة من أجل الفقراء التابعة لصندوق OFID، والتي يتم تمويلها من خلال منحة متجددة بقيمة مليار دولار أمريكي تعهد بها المجلس الوزاري لمنظمة أوبك، إلى إيجاد حلول قابلة للتطبيق لإتاحة الطاقة النظيفة عالمياً لفقراء الريف في البلدان النامية. وفي عام 2016، قدمت المبادرة ما مجموعه 412 مليون دولار أمريكي في شكل التزامات جديدة. وتمت الموافقة على أكثر من نصف هذا المبلغ من خلال القطاع الخاص لبناء محطات قدرة تشمل منشآت القدرة الكهرضوئية والقدرة الكهربائية المائية في إفريقيا.

مصادر الأموال	المشاريع المؤهلة	نوع المساعدة	التأثير
OFID *الشركاء هم: SE4All وصناعة الطاقة*	– جميع مشاريع الطاقة في الدول النامية	– توفير البنية التحتية والمعدات – البحث وبناء القدرات المنح لمشاريع الطاقة المتجددة الصغيرة	– تقديم الدعم إلى المشاريع المنتشرة في 90 بلداً نامياً حتى الآن
		المراجع الرئيسية	القيود
		– http://www.ofid.org/FOCUS-AREAS/Energy	– لا يدعم المشاريع في نيجيريا وكوت ديفوار.

9.3.6 الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA)

إن مرفق مشاريع الوكالة IRENA عبارة عن مرفق تمويل لمشاريع الطاقة المتجددة في البلدان النامية. ويقدم قروضاً ميسرة يتم توزيعها على مدى سبع دورات تمويل لدعم مشاريع الطاقة المتجددة التي توصي بها الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA) (لصندوق أبو ظبي للتنمية) لتمويلها في البلدان النامية. ويمكن أن تقدم الطلبات الكيانات الحكومية أو شبه الحكومية أو الخاصة أو غير الحكومية، ولكن يجب أن تحظى بدعم حكومة البلد الذي سيتم تنفيذ المشروع فيه ويجب أن تعطيه الحكومة الأولوية.

مصادر الأموال	المشاريع المؤهلة	نوع المساعدة	التأثير
IRENA *الشركاء هم: SE4All وصناعة الطاقة*	– يجب تنفيذ المشروع في بلد عضو في الوكالة IRENA – يجب أن ينشر المشروع الطاقة المتجددة – يجب أن يكون المشروع قد تقدم إلى ما بعد مراحل الجدوى ووصل إلى ما قبل التنفيذ – يجب أن يكون للمشروع دراسة جدوى كاملة وتحليل اقتصادي في مرحلة اقتراح المشروع الكامل	– تمويل قدره 5-15 مليون دولار أمريكي لكل مشروع	– تم دعم مشاريع منتشرة في 90 بلداً نامياً حتى الآن
		المراجع الرئيسية	القيود
		– http://www.ofid.org/FOCUS-AREAS/Energy	– يجب أن تكون جميع الطلبات مدعومة بخطاب ضمان حكومي صادر عن الوزارة أو الهيئة التي تتناول شؤون التعاون الدولي والاقتراض في البلد.

10.3.6 شراكة الطاقة المتجددة وكفاءة استخدام الطاقة (REEEP)

إن شراكة REEEP عبارة عن مسرع للشراكات الدولية المتعددة الأطراف ومقرها فيينا لنشر أنظمة الطاقة المتجددة والأنظمة ذات الكفاءة في استخدام الطاقة في البلدان النامية. وتستثمر الشراكة REEEP في حلول الكهرباء الموزعة الموثوقة والميسورة التكاليف والآمنة للمنازل الصغيرة غير المغطاة بالشبكات (الإضاءة الشمسية المستقلة ومصادر القدرة) لتطبيقات الشبكات الصغيرة للغاية والشبكات الصغرى في المجتمعات المحلية التي لا توجد بها توصيلية موثوقة أو شبكة للتوصيلية. وتوفر الشبكة الاستشارية للتمويل الخاص (PFAN) التي تشارك في استضافتها شراكة REEEP للشركات المشاركة توجيهاً في مجال الأعمال وتوجيهاً استراتيجياً، وتوصيل المستثمرين ببعضهم البعض للمساعدة في تحويل المشاريع من التمويل المقدم من الجهات المانحة إلى التمويل المقدم من القطاع الخاص. وتتابع شراكة REEEP هذه المشاريع عن كثب، باستخدام إطار رصد وتقييم وتعلّم يساعدها على التقاط تجارب المشروع ومعالجتها والتفاعل معها عند حدوثها، وتوليد معلومات استخباراتية قائمة على الأدلة من أجل مواصلة النمو وتكرار النماذج الواعدة. وتعتبر هذه المعرفة خطوة أساسية في الحد من مخاطر دخول الشركات والمستثمرين وأصحاب المصلحة في القطاع العام في السوق. وتتبع شراكة REEEP أيضاً نهجاً متعدد المستويات لتبادل المعرفة، بدءاً من التعاون المباشر مع الشركاء المقربين الذين يمكنهم استخدام الأدلة بشكل جيد من خلال وضع سياسات وتشكيل ذخيرة الاستثمارات. وتستضيف المنظمة تحالفاً ناشئاً من وسطاء المعرفة المناخية يُعرف باسم مجموعة وسطاء المعرفة المناخية، والتي تعد المنظمة عضواً رائداً فيها.

مصادر الأموال	المشاريع المؤهلة	نوع المساعدة	التأثير
REEEP *الشركاء الآخرون هم: اليونيدو وIRENA وSida والنمسا وصندوق Blue Moon وCDKN وCDKN وألمانيا وGIZ والنرويج وOFID وسويسرا والمملكة المتحدة وCEC وEURIMA والاتحاد الأوروبي وأستراليا وكندا وأيرلندا وإيطاليا ونيوزيلندا وإسبانيا وهولندا والولايات المتحدة وNAIMA ومؤسسة روكفيلر*	– المجدية تقنياً – المجدية تجارياً – التي تقلل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري – التي تحقق فوائد إنمائية – التي لديها فريق إدارة كفء – التي لديها القدرة على النمو	– دعم تطوير المشاريع – هيكلة المشاريع (بما في ذلك الهيكلة المالية) – تمويل دراسات الجدوى والدراسات التقنية – توفير المنح – توفير الديون – توفير حصص الملكية – التعاون بشأن تكنولوجيا تبادل المعرفة لوضع السياسات وتشكيل ذخيرة مشروعات الاستثمار – أنظمة فعالة وعالية الأداء لإدارة المعرفة – تمويل الميزانين – التأمين – الضمانات – رأس المال المخاطر للمرحلة الأولية	– تقديم أكثر من 1.2 مليار دولار أمريكي لتمويل 87 مشروعاً – صندوق Project Power Africa: Beyond the Grid لزامبيا – استثمار 25 مليون دولار أمريكي لتوفير حلول طاقة نظيفة لمليون زامبي.
		المراجع الرئيسية	القيود
		– https://www.reeep.org – https://www.bgfz.org – http://pfan.net – http://www.reegle.info – https://www.climateknowledgebrokers.net – https://www.climatetagger.net	– لا يمكن أن تقبل شراكة REEEP مقترحات مقدمة خارج الدعوة إلى تقديم عروض المشاريع

11.3.6 صندوق التأثير التابع لوزارة التنمية الدولية (DFID)، المملكة المتحدة

يهدف صندوق التأثير التابع لوزارة التنمية الدولية (DFID) إلى تحفيز الأسواق من أجل الاستثمار المؤثر في إفريقيا جنوب الصحراء وجنوب آسيا لتحفيز الاستثمار في الشركات التجارية التي تفيد الفقراء وذوي الدخل المنخفض من خلال تحسين النفاذ إلى السلع والخدمات بأسعار ميسورة وتمكين فرص توليد الدخل عند قاعدة الهرم (BoP). ويتكون البرنامج من عنصرين أساسيين: أداتان استثماريتان تديرهما مجموعة CDC ومجموعة من أنشطة بناء السوق. وقد بدأ البرنامج في عام 2012 وتعتزم وزارة التنمية الدولية البريطانية توفير ما يصل إلى 197 مليون جنيه إسترليني على مدار 16 عاماً لهذا الغرض. ويغطي الاستثمار المؤثر مجموعة واسعة من القضايا الاجتماعية والبيئية مع مختلف المستثمرين والوسطاء. وعلى المدى القصير، سيُحفز الصندوق زيادة رأس المال من خلال منح الثقة للمستثمرين المشاركين من خلال الاحتياط الواجب القوي للعائدات المالية للشركات المُستثمر فيها والتأثير الإنمائي، ومن خلال تقديم تبعية محدودة محتملة لمستثمري القطاع الخاص عند الضرورة لتحفيز مشاركتهم. وعلى المدى الطويل، يهدف الصندوق إلى تحفيز المزيد من رأس المال من خلال إثبات الجدوى المالية لنماذج الأعمال المناصرة للفقراء وإظهار التأثير الإيجابي الذي سيحققه هذا النوع من الاستثمار. وكجزء من برنامج التأثير التابع لوزارة التنمية الدولية والذي يهدف إلى تحفيز سوق الاستثمار المؤثر في إفريقيا جنوب الصحراء وجنوب آسيا، أطلقت وزارة التنمية الدولية مرفق تسريع التأثير بقيمة 40 مليون جنيه إسترليني. ويهدف المرفق، الذي تديره مجموعة CDC، إلى خلق فرص اقتصادية وفرص عمل عن طريق خلق وظائف مباشرة وغير مباشرة، وعن طريق زيادة النفاذ إلى السلع والخدمات الأساسية، ولا سيما في المناطق النائية أو الدول الهشة. وتركز استراتيجيات الاستثمار عالية التأثير على مجالين محددين. (1) مساعدة الشركات التجارية على القيام بتدخلات عالية التأثير الإنمائي متعلقة بأعمالها الأساسية التي لم تكن لتقوم بها بخلاف ذلك، مثل الدخول في منطقة جغرافية جديدة صعبة للغاية أو إعداد عرض من المنتجات بسعر أقل بكثير للسماح بالنفاذ إلى السلع والخدمات للمستهلكين الفقراء، ولا سيما النساء والفتيات. (2) مساعدة الشركات التجارية في المناطق الجغرافية الصعبة على تأسيس شركات خضراء في مجالات مجاورة لاستثماراتها الرئيسية لتوفير السلع والخدمات الأساسية الحيوية لعملياتها، مثل الإسكان والرعاية الصحية والنقل.

مصادر الأموال	المشاريع المؤهلة	نوع المساعدة	التأثير
صندوق التأثير التابع لوزارة التنمية الدولية (DFID) *الشركاء الآخرون هم: مجموعة CDC وغيرها*	– المشاريع التي تركز على التخفيف من حدة الفقر في المجتمعات ذات الدخل المنخفض – يجب أن يكون للمشروع تأثير اجتماعي يمكن إثباته وأن يكون قابلاً للاستمرار من الناحية المالية	– الاحتياط الواجب الصارم – تمويل قدره 5 إلى 15 مليون دولار أمريكي – تنويع المشاريع	– يدعم الصندوق سبع شركات للطاقة في إفريقيا. – يهدف إلى توفير التمويل لأكثر من 100 شركة في إفريقيا جنوب الصحراء وجنوب آسيا.
		المراجع الرئيسية	القيود
		– http://www.theimp-actprogramme.org.uk/investments-dfid-impact-fund	– لا يمول المشاريع التي يمكن دعمها من خلال التمويل الصغري. – أمام الصندوق 11 سنة أخرى لإكمال مهمته.

12.3.6 مبادرة الطاقة المستدامة من أجل التنمية الاقتصادية (SEED)

إن SEED عبارة عن مبادرة لمعهد Rocky Mountain Institute في الولايات المتحدة، وتعمل مع الحكومات، والمرافق، وشركاء التنمية، ومطوري الطاقة من القطاع الخاص في إفريقيا جنوب الصحراء لتوجيه برامج الطاقة ذات التكاليف المعقولة والفعالة والشاملة للأنظمة التي تُدمج التكنولوجيات الناشئة والموزعة والمتجددة وتوفر بسرعة الحصول على الطاقة لمن ليس لديهم كهرباء.

مصادر الأموال	المشاريع المؤهلة	نوع المساعدة	التأثير
مبادرة الطاقة المستدامة من أجل التنمية الاقتصادية (SEED) *الشركاء الآخرون هم: Virgin Unite ومؤسسة روكفيلر*	– مشاريع الطاقة المائية وطاقة الرياح والطاقة الشمسية والطاقة الحرارية الأرضية وطاقة الكتلة الحيوية – مشاريع الأجهزة المنزلية الموفرة للطاقة	– استشارات تقنية وسياساتية ومالية – المشاركة في تنفيذ المشاريع	– إقامة شراكة مع رواندا لبناء القدرات ووضع استراتيجية من أجل إدارة أكثر كفاءة للطاقة مما أدى إلى توفير 20 مليون دولار أمريكي على المدى القصير ومليار دولار أمريكي على المدى الطويل في الطاقة وزيادة الحصول على الكهرباء من الشبكة الرئيسية وخارجها في المناطق الريفية من 22% إلى 70%. – تعمل حالياً في سيراليون وأوغندا.
		المراجع الرئيسية	
		– https://www.rmi.org/our-work/global-energy-transitions/seed	

13.3.6 منصة أداء الطاقة المتجددة (REPP)

تدعم منصة REPP مشاريع الطاقة المتجددة الصغيرة والمتوسطة الحجم التي تقل عن 25 MW في جميع أنحاء إفريقيا جنوب الصحراء. وقد أنشأ هذه المبادرة برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) ومصرف الاستثمار الأوروبي (EIB) لتحقيق أهداف المبادرة SE4All التابعة للأمم المتحدة في إفريقيا جنوب الصحراء من خلال دعم مشاريع الطاقة المتجددة. وتعد مجموعة واسعة من تكنولوجيات الطاقة المتجددة مؤهلة للحصول على الدعم، بما في ذلك تكنولوجيا طاقة الرياح، والطاقة الشمسية الكهرضوئية، والطاقة الحرارية الأرضية، وتحويل النفايات إلى طاقة (تحويل الغازات الموجودة في المكبات والنفايات الحرارية إلى طاقة)، والقدرة الكهربائية المائية المولدة من الأنهار، والكتلة الحيوية، والغاز الحيوي. وحصلت المنصة REPP على تمويل أولي قدره 48 مليون جنيه إسترليني من وزارة الأعمال والطاقة والاستراتيجية الصناعية في المملكة المتحدة من خلال الصندوق الدولي للمناخ. وتدعم المنصة REPP كلاً من المشاريع المتصلة وغير المتصلة بالشبكات. كما تنظر في المشاريع التي يطورها مطورون من القطاع الخاص، إذا تم استيفاء معايير الأهلية للمنصة REPP.

مصادر الأموال	المشاريع المؤهلة	نوع المساعدة	التأثير
REPP *الشركاء هم: وزارة الطاقة وتغير المناخ وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة ومصرف الاستثمار الأوروبي*	– مشاريع الطاقة المتجددة. – يجب أن تتراوح قدرة المشاريع بين 1 و25 MW. – يجب أن تكون المشاريع في بلد واحد على الأقل من البلدان التالية: بنن وبوركينا فاصو وكوت ديفوار وإثيوبيا وغانا وكينيا وليبريا ومدغشقر وملاوي ومالي وموزامبيق ونيجيريا ورواندا والسنغال وسيراليون وتنزانيا وتوغو وزيمبابوي. - يجب على مطوري المشروع اتباع سياسة وإجراءات REPP البيئية والاجتماعية.	– المساعدة التقنية – تسهيل الوصول إلى أدوات تخفيف المخاطر والإقراض طويل الأجل الذي يقدمه شركاء REPP لتمويل رأس المال – تقديم الدعم المالي القائم على النتائج للمشاريع السليمة مالياً. ويمكن أن يتخذ الدعم المالي القائم على النتائج شكل مبالغ إضافية على تعريفات الطاقة أو غيرها من الأدوات المناسبة	– يدعم الصندوق سبع شركات للطاقة في إفريقيا. – يهدف إلى توفير التمويل لأكثر من 100 شركة في إفريقيا جنوب الصحراء وجنوب آسيا.
		المراجع الرئيسية	القيود
		– https://www.repp-africa.org/africa.org	– لا يمكن رعاية أكثر من خمسة مشاريع من أي بلد من البلدان المؤهلة – لا يُتوقع أن تتلقى المشاريع التي تحصل على تمويل REPP مزيداً من الإيرادات من أرصدة الكربون من خلال آلية التنمية النظيفة أو أي آلية رسمية أخرى لسوق الكربون.

14.3.6 ملخص لفئات خيارات التمويل

يلخص الجدول أدناه خيارات التمويل المختلفة التي تمت مناقشتها أعلاه.

	منصات التمويل	الفئة
1	صناديق الخدمة الشاملة*	حكومة، وكالة دولية
2	تداول أرصدة الكربون	
أ)	آلية التنمية النظيفة (CDM)	وكالة دولية
ب)	بورصة أرصدة الكربون في إفريقيا (ACCE)	حكومة
ج)	بورصة تداول الكربون (CTX)	قطاع خاص
3	الصندوق الإفريقي للطاقة المتجددة (AREF)	قطاع خاص، وكالة دولية
4	Power Africa, Beyond the Grid	حكومة، وكالة دولية
5	SEFA	وكالة دولية
6	OFID	وكالة دولية
7	IRENA	وكالة دولية
8	REEEP	حكومة، وكالة دولية

(تابع)

	منصات التمويل	الفئة
9	صندوق التأثير التابع لوزارة التنمية الدولية (DFID)	حكومة
10	SEED	قطاع خاص
11	REPP	حكومة، وكالة دولية

* تمول حالياً مشغلي الاتصالات فقط دون توفير لتمويل مشاريع الطاقة المجتمعية.

15.3.6 تمويل البنية التحتية للنطاق العريض لتقليل المخاطر التي يتعرض لها مستثمرو القطاع الخاص

يمتنع مقدمو الخدمات عن الاستثمار في مشاريع الاتصالات في المناطق الريفية ذات الكثافة السكانية المنخفضة لأن بناء البنية التحتية للنطاق العريض مكلف ويستغرق وقتاً طويلاً لسداد تكاليفه ويُنظر إلى العائدات من قاعدة عملاء صغيرة على أنها غير جذابة. ويمكن أن تنشئ وكالات التمويل مرافق مالية توفر حوافز للقطاع الخاص للاستثمار في تطوير شبكات رقمية عريضة النطاق ذات نفاذ لمفتوح في المجتمعات الريفية المحرومة من الخدمات.

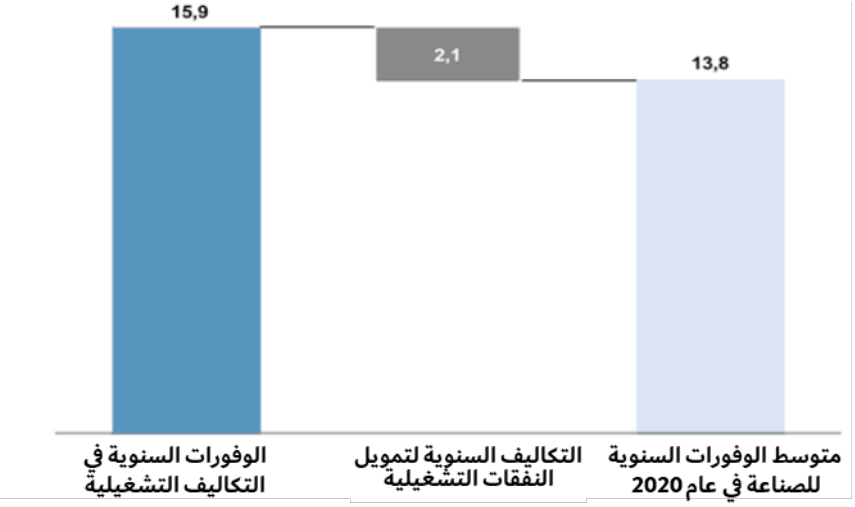
ويمكن أن تُدمج مشاريع البنية التحتية للنطاق العريض ذات النفاذ المفتوح من هذا النوع تطوير الشبكات الصغرى للكهرباء بالموارد المتجددة للمناطق غير المغطاة بالشبكات، أو أن تُقيم شراكة مع منتجي الطاقة المحليين لتزويد مواقع الاتصالات بالقدرة وكذلك المجتمعات الريفية المعزولة في المناطق المجاورة.

ومن الأمثلة النمطية على ذلك صندوق مرفق توصيل أوروبا (CEF)، وهو شراكة بين مصرف الاستثمار الأوروبي ومرفق توصيل أوروبا التابع للمفوضية الأوروبية والذي يمنح حوافز للمستثمرين لتشجيع تمويل شبكات النطاق العريض من أجل تمديد خدمات الإنترنت الرقمية عالية السرعة إلى المناطق الريفية قليلة السكان والمحرومة من الخدمات والمناطق النائية في أوروبا.

16.3.6 الاتصالات والطاقة تعملان معاً من أجل التنمية المستدامة

لا تزال العديد من المحطات القاعدة في المناطق التي تعاني من قلة توافر الشبكات والمنشآت غير المرتبطة بالشبكات تزود بالقدرة بواسطة مولدات الديزل. ومع ذلك، يتم نشر التكنولوجيات المتجددة المبتكرة والأساليب المختلطة لتوفير الطاقة بشكل متزايد. ووفقاً لبحث أجرته رابطة النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (GSMA) (2014)، يمكن أن تؤدي هذه الأنظمة إلى وفورات كبيرة في التكاليف السنوية لمشغلي الاتصالات (انظر الشكل 33).

الشكل 33: وفورات التكاليف السنوية للصناعة نتيجة الانتقال إلى حلول الطاقة الخضراء (بمليارات الدولارات الأمريكية)



المصدر: GSMA, 2014

7 آليات وتوصيات السياسات

1.7 مقدمة

يجب دمج سياسات الطاقة المتجددة بشكل متزايد في التخطيط الوطني العام لقطاع الطاقة وإطاره الاستراتيجي الذي يشمل دورة تطوير وتنفيذ الطاقة المتجددة بأكملها. ويجب على واضعي السياسات تحديد استراتيجيات وأهداف طويلة الأجل وتكييف السياسات واللوائح التي تعزز أيضاً بيئة طاقة خالية من الكربون. وينبغي مواءمة السياسات وتنسيقها عبر قطاعي الطاقة والبيئة.

وتوصي الوكالة IRENA بأن يشمل ذلك "تحديد أفضل الممارسات والاتجاهات في تصميم السياسات وتقييم آليات الدعم وتكييفها مع ظروف السوق المتغيرة".

ويتطلب توسيع خدمات النطاق العريض في المناطق الريفية تطوير الحصول على الكهرباء وتوسعه بشكل كبير في المناطق الريفية. وسيتعين على الحكومات أن تهيئ بيئة مؤاتية تتطلب مشاركة القطاع الخاص. ولتسهيل ذلك، ستكون هناك حاجة إلى سياسة قوية وبيئة تنظيمية لتقليل مخاطر الاستثمار، وتحسين الجدوى وزيادة الجاذبية الشاملة لقطاع الطاقة في المناطق غير المغطاة بالشبكات على وجه الخصوص.

السياسات التقليدية بشأن الطاقة

على الصعيد العالمي، ينمو الاقتصاد الرقمي للبلدان النامية بمعدل مذهل يتراوح بين 15 و25 في المائة سنوياً.[46] وعلى الرغم من ذلك، فإن المليار شخص الذين ما زالوا يعيشون بدون تغطية الشبكات لا يمكنهم الاستمتاع بفوائد هذا التوسع الرقمي لأنهم لا يملكون الكهرباء اللازمة للنفاذ إلى الإنترنت. ولذلك، يجب أن تسير الجهود المبذولة لتمديد الخدمات الرقمية لهذه المجتمعات المحلية غير المغطاة بالشبكات جنباً إلى جنب مع توسع البنية التحتية للكهرباء. ونظراً لأن مشغلي الكهرباء الحاليين الكبار غالباً ما يحجمون عن تمديد خدماتهم إلى المناطق النائية المنخفضة الدخل وقليلة السكان، فإن آليات الدعم السياساتية ضرورية لتعزيز تدخل مشغلي خدمات القدرة الصغار المبتكرين. ومن الأمور المشجعة، سنت البلدان النامية، بدأً من عام 2016، سياسات لتشجيع الاستثمارات في مشاريع الطاقة المتجددة التي تهدف إلى تمديد إمكانية الحصول على الكهرباء للمجتمعات المحلية غير المغطاة بالشبكات.[47] وبعض هذه السياسات هي:

معايير بشأن مصادر الطاقة المتجددة في الحافظة (RPS): هذه لائحة تفرض التزاماً على شركات توليد القدرة لإنتاج جزء محدد من الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة. ويحصل منتجو الطاقة على شهادات لكل وحدة كهرباء ينتجونها من مصادر متجددة. وتباع هذه الشهادة جنباً إلى جنب مع الكهرباء لإمداد الشركات، والتي تقوم بعد ذلك بتمريرها إلى الهيئة التنظيمية لإثبات امتثالها للوائح.

الحوافز المالية: يقدم العديد من البلدان أموالاً عامة من خلال المنح أو القروض أو الحوافز الضريبية لتشجيع الاستثمار في الطاقة المتجددة. وتقدم الهند، على سبيل المثال، دعماً رأسمالياً بنسبة 30 في المائة لأنظمة الأسطح الكهرضوئية التي تعمل بالطاقة الشمسية.

تعريفات الدعم (FIT) - للأنظمة الموصولة بالشبكات: هذا هو دعم السياسات التنظيمية الأكثر شيوعاً لشركات الطاقة المتجددة. وهي مصممة لتقديم عقود طويلة الأجل لمنتجي الطاقة المتجددة بناءً على تكاليف توليد الكهرباء لكل تكنولوجيا. وتُمنح شركات الكهرباء أسعاراً أعلى لكل كيلوواط/ساعة تعكس تكاليف إنتاج الكهرباء. وقام العديد من البلدان، في السنوات الأخيرة، بمراجعة السياسة لدعم المشاريع الأصغر حجماً.

نماذج الأعمال الجديدة ودور السياسات

الاعتبارات التمكينية لسياسات الطاقة

---

[46] Bock, W., Vasishth, N., Wilms, M. and Mohan, M. (2015): The Infrastructure Needs of the Digital Economy. The Boston Consulting Group. https://www.bcg.com/ publications/2015/infrastructure-needs-of-the-digital-economy.aspx.

[47] Hsu, H., Rosengarten, C., Weinfurter, A., Xie, Y., Musolino, E and Murdock, H.E. (2017): Renewable Energy and Energy Efficiency in Developing Countries: Contributions to Reducing Global Emissions. The 1 Gigaton Coalition. 90p.

يتمثل التحدي الأكبر الذي يواجه حلول الطاقة المتجددة للمناطق غير المغطاة بالشبكات هو نقص التمويل. وترجع أسباب هذا النقص في التمويل إلى الفترات الطويلة لتحقيق التساوي بين الأرباح والخسائر والعائدات المنخفضة لهذه المشاريع. ولذلك، يجب أن تعالج السياسات هذه المشكلة. وتُبذل بالفعل جهود لزيادة التمويل العام من خلال المنح والقروض والحوافز الضريبية للمستثمرين. وهناك حاجة إلى بذل المزيد لتشجيع الاستثمار الخاص.

السياسات العامة: ينبغي أن تهيئ السياسات بيئة مؤاتية للاستثمار في كفاءة استخدام الطاقة وإمدادات الطاقة المتجددة وتخزينها وتطبيقاتها الرقمية.

- يجب أن يكون هناك تعاون وثيق بين القطاعين العام والخاص لتحويل قطاع الطاقة
- خلق مجال عمل متكافئ فيما يتعلق بمصادر الطاقة المتجددة (مثل إصلاحات دعم الوقود الأحفوري وسياسات تسعير الكربون)
- تحديد المعايير التي تضمن موثوقية التكنولوجيا والشبكات (مثل الجودة والمعايير التقنية والشهادات)
- إنشاء آليات ضمان تحظى بدعم جهات متعددة الأطراف نيابة عن الحكومات التي تتسم بتمويل محدود وقدرة محدودة على سداد الدين وذلك للحد من المخاطر التي تواجه القطاع الخاص وجذب استثمارات أكبر.

السياسات المالية: أدوات السياسات مطلوبة للبنوك لإصدار قروض طويلة الأجل موثوقة لهذه المشاريع. ومن خلال سياسات وأطر تنظيمية مناسبة، يمكن لواضعي السياسات تخفيف المخاطر الاقتصادية للمشاريع من خلال تحديد هياكل مناسبة للتعاريف تعكس هيكل تكاليف المشروع، بما في ذلك عملية جيدة التصميم للحصول على التصاريح والتراخيص والامتيازات وحيازتها. ويمكن أيضاً إعفاء الفئات ذات الدخل المنخفض من رسوم الاستيراد على الأجهزة الكهربائية وضريبة القيمة المضافة على الخدمات المتعلقة بالطاقة.

أ) سياسات كفاءة استخدام الطاقة: تعتبر تدابير كفاءة استخدام الطاقة فعالة للغاية في تقليل استهلاك الفرد للطاقة وتوسيع نطاق الحصول على الكهرباء. ويؤدي ذلك إلى انخفاض تكاليف الكهرباء وتقليل هدر الطاقة. ويمكن أن تؤدي الممارسات الفعالة لكفاءة استخدام الطاقة إلى تحسين اقتصادات مشاريع الطاقة المتجددة بشكل كبير.

ب) تعريفات الطاقة: ينبغي أن تعكس التعريفات أيضاً التكاليف والخصائص الفريدة لتوليد الطاقة من المصادر المتجددة وينبغي أن تسمح اللوائح بالتغيرات في التعريفات القائمة على وقت الاستخدام.

2.7 السياسات الرقمية

أ) يعتمد النهج التقليدي لنشر الشبكات الرقمية على قيام كل مشغل ببناء بنيته التحتية المتميزة. وفي المناطق التي يغلب عليها الطابع الريفي والنائية، لا يتسم النهج التقليدي بالكفاءة، وعمد مشغلو الاتصالات المتنقلة إلى إيجاد سبل لتقاسم تكاليف الاستثمار في البنية التحتية ونجحوا في ذلك من أجل توسيع تغطية الشبكات والحفاظ على المنافسة السليمة في تقديم الخدمات. ويمكن لنماذج تقاسم البنية التحتية تحسين اقتصادات تمديد الشبكات إلى المناطق الريفية والنائية. ويمكن للمشغلين أن يقللوا تكاليفهم الرأسمالية وتكاليف الاستثمار بنسبة تصل إلى 50 إلى 70 في المائة.[48]

ب) يقوم مشغلو الاتصالات المتنقلة أيضاً بإتاحة أبراج الاتصالات الخاصة بهم لمشغلي الأبراج كاستراتيجية لتوفير التكاليف.

3.7 اعتبارات السياسات الرقمية

أ) نشر الشبكات الأساسية المملوكة ملكية عامة للتغلغل في المناطق الريفية والوصول إلى المواقع النائية.

ب) يمكن تجميع المناطق الريفية من خلال نشر النفاذ اللاسلكي الثابت متعدد النقاط أو الجيل الجديد من التكنولوجيات المتنقلة من الجيل الرابع والجيل الخامس.

[48] رابطة النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (2016): إطلاق عنان التغطية الريفية: عوامل التمكين لتوسيع الشبكات المتنقلة المستدامة تجارياً. مجتمع موصول. https://www.gsma.com/mobilefor development/wpcontent/uploads/2016/ 07/Unlocking-Rural-Coverage-enablers-for-commercially-sustainable-mobile-network-expansion_English.pdf.

ج) خفض تكاليف العبور عن طريق دعم مزودي شبكات النطاق العريض في المناطق الريفية.

د) إدخال سبل مبتكرة لتوزيع الطيف الراديوي لتقليل تكاليف تنفيذ الشبكات اللاسلكية، عن طريق تبسيط وتخفيض التكاليف المرتفعة المرتبطة بالحصول على تراخيص الطيف الريفي مما يسمح بتقاسم الطيف أو تخصيصه على أساس تعاوني، واتباع الحقوق والالتزامات المنصوص عليها في لوائح الراديو الصادرة عن الاتحاد.

هـ) تهيئة البيئة التنظيمية المناسبة لتعزيز الابتكارات الرقمية، مثل أنظمة الطاقة الذكية، واستخدام الذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء.

و) نماذج جديدة للحلول المستقلة (على سبيل المثال الدفع أولاً بأول، والخدمة المدفوعة لاحقاً وشحن البطاريات) والشبكات الصغرى (مثل نهج شراكة بين القطاعين العام والخاص).

ويحدد تقرير "سياسات الطاقة المتجددة في زمن التحول" (IRENA, IEA REN21)[49] العوائق الرئيسية ويسلط الضوء على خيارات السياسات لتعزيز نشر الطاقة المتجددة، مع التركيز على الدعم المباشر والتكامل والبيئة التمكينية.

ويعرض الجدول 7 تصنيفاً مقترحاً لتتبع آليات السياسات القطاعية الرئيسية المرتبطة بالأهداف الإنمائية.

الجدول 7: تصنيف السياسات

سياسات تحقيق تحول الطاقة		نشر (تركيب وتوليد) مصادر الطاقة المتجددة في السياق العام	نشر (تركيب وتوليد) مصادر الطاقة المتجددة في سياق الوصول (بما في ذلك خدمات الطاقة)	تحقيق أقصى تنمية اجتماعية واقتصادية من نشر الطاقة المتجددة
سياسات مباشرة	الدافعة	– أهداف ملزمة لاستخدام الطاقة المتجددة – حصص والتزامات بشأن الكهرباء – رموز المباني – الولايات (مثل سخانات المياه التي تعمل بالطاقة الشمسية ومصادر الطاقة المتجددة في تدفئة المناطق) – مزج الولايات	– أهداف واستراتيجيات وبرامج كهربة الريف – استراتيجيات وبرامج طهي نظيفة – البرامج الخاصة بهاضم الغاز الحيوي	سياسات النشر المصممة لتحقيق أقصى الفوائد وضمان التحول المستدام (مثلاً في المجتمعات المحلية وفي مجال المساواة بين الجنسين)، بما في ذلك المتطلبات والمعاملة التفضيلية والحوافز المالية المقدمة إلى المنشآت والمشاريع التي تساعد على تحقيق الأهداف الاجتماعية والاقتصادية
	الجاذبة	– السياسات التنظيمية والتسعيرية (على سبيل المثال، تعريفات الدعم والعلاوات والمزادات) – الشهادات القابلة للتداول – أدوات للاستهلاك الذاتي (مثل الفوترة الصافية والقياس الصافي) – تدابير دعم البرامج التطوعية	– السياسات التنظيمية والتسعيرية (مثل الأحكام القانونية وتنظيم الأسعار/ التعريفات)	
	الضريبية والمالية	– الحوافز الضريبية (مثل الإعفاءات الضريبية على الاستثمار والإنتاج، والإهلاك المعجل، والتخفيضات الضريبية) – الإعانات – المنح	– الحوافز الضريبية (مثل التخفيضات) – الإعانات – المنح – التمويل بشروط ميسرة – دعم الوسطاء الماليين	

[49] IRENA، IEA REN21 https://www.irena.org/publications/2018/Apr/Renewable-energy-policies-in-a-time-of-transition

الجدول 7: تصنيف السياسات (تابع)

سياسات تحقيق تحول الطاقة	نشر (تركيب وتوليد) مصادر الطاقة المتجددة في السياق العام	نشر (تركيب وتوليد) مصادر الطاقة المتجددة في سياق الوصول (بما في ذلك خدمات الطاقة)	تحقيق أقصى تنمية اجتماعية واقتصادية من نشر الطاقة المتجددة
إدماج السياسات	– تدابير لتعزيز مرونة النظام (على سبيل المثال، تعزيز الموارد المرنة مثل التخزين والإمداد القابل للتوزيع وتشكيل الأحمال)	– سياسات تكامل الأنظمة خارج الشبكة مع الشبكة الرئيسية – سياسات الشبكات الصغرى وأنظمة الطاقة الذكية الموزعة – اقتران سياسات الطاقة المتجددة بالأجهزة الفعالة وخدمات الطاقة	
	– سياسات لضمان وجود البنية التحتية اللازمة (مثل شبكات النقل والتوزيع ومحطات شحن المركبات الكهربائية والبنية التحتية للتدفئة في البلديات وسبل الوصول إلى الطرق) – سياسات اقتران القطاعات – دعم البحث والتطوير لتطوير التكنولوجيا (مثل التخزين)		
	– مواءمة أفضل بين سياسات كفاءة استخدام الطاقة والطاقة المتجددة – إدراج أهداف إزالة الكربون في الخطط الوطنية للطاقة – تدابير التكيف للبنية الاجتماعية والاقتصادية للانتقال الطاقي		
السياسات التمكينية	– سياسات تحقيق تكافؤ الفرص (مثل إصلاحات دعم الوقود الأحفوري وسياسات تسعير الكربون) – تدابير لتكييف تصميم أسواق الطاقة (مثل التداول المرن قصير الأجل وإشارات الأسعار طويلة الأجل) – سياسات لضمان موثوقية التكنولوجيا (مثل الجودة والمعايير التقنية والشهادات)	– السياسة الصناعية (مثل الاستفادة من القدرات المحلية) – السياسات التجارية (مثل الاتفاقات التجارية وتشجيع التصدير) – السياسات البيئية والمناخية (مثل اللوائح البيئية)	
	السياسة الوطنية للطاقة المتجددة (مثل الأهداف والغايات) – سياسات لتسهيل الحصول على تمويل ميسور التكلفة لجميع أصحاب المصلحة – سياسات التعليم (مثل إدراج الطاقة المتجددة في المناهج الدراسية وتنسيق التعليم والتدريب مع تقييمات المهارات الفعلية والمطلوبة) – سياسات العمل (مثل سياسات سوق العمل وبرامج التدريب وإعادة التدريب)		
	– سياسات استخدام الأراضي – سياسات البحث والتطوير والابتكار (مثل المنح والصناديق والشراكات وتسهيل ريادة الأعمال وتشكيل المجموعات الصناعية) – السياسات الحضرية (مثل التعليمات المحلية بشأن استخدام الوقود) – سياسات الصحة العامة		
السياسات التمكينية وسياسات الإدماج	– الحوكمة الداعمة والمعمارية المؤسسية (مثل تبسيط إجراءات التصاريح والمؤسسات المخصصة لمصادر الطاقة المتجددة) – برامج التوعية بأهمية وإلحاح الانتقال الطاقي الموجه نحو الوعي وتغيير السلوك – سياسات الحماية الاجتماعية لمعالجة الاضطرابات – تدابير الإدارة المتكاملة للموارد (مثل العلاقة بين الطاقة والغذاء والمياه)		

المصدر: IRENA أبريل 2018 https://www.irena.org/publications/2018/Apr/Renewable-energy-policies-in-a-time-of-transition

4.7 توصيات السياسات التشغيلية بشأن الشبكات الصغرى

تصف نماذج مشغلي الشبكات الصغرى الهيكل التنظيمي لتنفيذ وتشغيل الشبكات الصغرى، وتحدد على وجه الخصوص من يمتلك أصول توليد القدرة وتوزيعها، ومن يقوم بتشغيل النظام وصيانته.

ويمكن النظر في أربعة نماذج رئيسية لمشغلي الشبكات الصغرى:

- المرافق
- القطاع الخاص
- المجتمع
- الهجين.

ويعتمد نجاح تنفيذ كل نموذج على سياقه الفريد:

أ) البيئة الطبيعية (أي الجغرافيا وموارد الطاقة والمناخ/الأحوال الجوية)،

ب) السياق الاجتماعي والاقتصادي المحلي،

ج) السياسة والبيئة التنظيمية.

ويجب أن تسمح التدابير التنظيمية المناسبة للقطاع الخاص بإنتاج (توليد) وبيع (توزيع) القدرة إما لموزعي القدرة العموميين أو مباشرة إلى المستخدمين النهائيين عبر شبكات صغرى.

5.7 سياسات محددة للمناطق غير المغطاة بالشبكات

ستشتمل معظم عمليات توليد القدرة الإضافية اللازمة لتحقيق النفاذ الشامل على الشبكات الصغيرة للغاية والشبكات الصغرى المملوكة للقطاع الخاص وغير المتصلة بالشبكة الرئيسية؛ أو مشغل مرافق؛ أو ستكون شبكات للقدرة مملوكة للمجتمع المحلي في المناطق الريفية في البلدان النامية. ومن غير المحتمل أن تكون هذه الحلول مدمجة في الشبكة الرئيسية وعلى الأرجح ستستمر في العمل بشكل مستقل. وقد تكون هناك جدوى من دمج المخططات المجتمعية الأكبر في الشبكة الوطنية، أو تمويلها أو إدارتها من قبل شركة القدرة الكهربائية القائمة المسؤولة عن توليد الطاقة وإمدادها. وتدعم معظم الدول الكهرباء التي توفرها الشبكة. ولذلك لا يمكن لمصدر القدرة غير المرتبط بالشبكة الرئيسية أن يتنافس مع سعر كهرباء الشبكة الموزعة.

اعتبارات السياسات:

بالنظر إلى الدور الرئيسي لمصادر القدرة اللامركزية والخالية من الكربون في سد فجوة الكهرباء في المناطق النائية، فإن آليات السياسات والتمويل للحلول غير المرتبطة بالشبكة والجهات الفاعلة في القطاع الخاص ضرورية.

وسيتعين على المشغلين غير المتصلين بالشبكة تخفيف المخاطر المحتملة لوصول الشبكة الوطنية في المستقبل، مما قد يؤدي إلى عدم يقين كبير بشأن جدوى الشبكات الصغرى على المدى الطويل. ويجب أن تنظم السياسات المتعلقة بوصول الشبكة الرئيسية كيف ومتى ستصل الشبكة الرئيسية وتخفف المخاطر التي يواجهها المشغلون غير المتصلين بالشبكة الرئيسية ومشغلو الشبكة الصغرى.

ويجب السماح لمطوري الشبكات الصغرى من القطاع الخاص والمشغلين والمستثمرين باسترداد تكاليف التشغيل المستدام ومنحهم وقتاً معقولاً لتحقيق ذلك وبهامش مناسب.[50]

ويُمكِّن الحصول على الكهرباء الناس والمجتمعات المحلية من زيادة دخلهم وإنتاجيتهم، ويعزز حصولهم على الرعاية الصحية والمياه والتعليم، ويحسن رفاههم الاجتماعي والاقتصادي بشكل عام. ويعتبر النفاذ إلى خدمة الطاقة الشاملة والخدمات الرقمية عريضة النطاق أمراً ضرورياً لتحقيق أهداف التنمية المستدامة لعام 2030.

[50] https://www.academia.edu/38089928/Renewable_Energy_Policies_in_a_Time_of_Transition?auto=download

8 الخلاصة

تستهلك التوصيلية قدراً كبيراً من الطاقة ولن تتطور بدون الحصول على القدرة، ولا سيما مصادر القدرة الميسورة التكلفة والموثوقة والقابلة للتطوير. وبما لا يثير الدهشة، غالباً ما تتواجد أوجه القصور في التوصيلية ونقص القدرة الكهربائية في نفس المواقع.

وتضطرب أساليب إنتاج القدرة وتوزيعها بفضل الابتكار التكنولوجي المحيط بالطاقة النظيفة، وتُلاحظ الاتجاهات التالية: إزالة الكربون، والرقمنة، واللامركزية.

وتعد مصادر الطاقة المتجددة جنباً إلى جنب مع برمجيات التخزين وكفاءة استخدام الطاقة الوسيلة الأساسية لدعم النفاذ الموثوق وميسور التكلفة للتوصيلية في المناطق النائية.

وعلاوة على ذلك، يمكن ويجب معالجة النفاذ إلى الخدمات الأساسية مثل الكهرباء والتوصيلية في بنى تحتية مشتركة أو متقاسمة لتقليل الاستثمارات وتكاليف التشغيل إلى أدنى حد وتسريع التقدم نحو تحقيق أهداف التنمية المستدامة المتعددة.

ولا يتطلب ربط المليار شخص القادم الابتكار في التكنولوجيا فحسب، ولكنه يتطلب أيضاً الابتكار في نماذج الأعمال والتمويل. ومثل أي جانب آخر من جوانب الثورة الصناعية الرابعة، لا يمكن تحقيق التنمية الاجتماعية والاقتصادية إلا من خلال نماذج قابلة لتوسيع النطاق والتكرار مستوحاة من ثورة المنصات التي تنطبق على كل قطاع من قطاعات الاقتصاد والمجتمع.

وفي الاقتصاد التشاركي، بين الجهات الفاعلة في القطاع الخاص وأيضاً في الشراكات بين القطاعين العام والخاص، يمكن معالجة الحصول على الكهرباء والتوصيلية بطريقة فعالة. ويمكن لدعم التمويل من جانب المنظمات الإنمائية والدولية أن يجتذب استثمارات القطاع الخاص في استثمارات البنية التحتية كثيفة رأس المال. ولكن تعتبر هذه البنى التحتية أساسية لسد الفجوة الرقمية والحصول على الكهرباء، وتفتح فرصاً متعددة لعوامل الرفع الإنتاجية للتنمية الاقتصادية الاجتماعية، بما في ذلك النفاذ إلى الخدمات الرقمية.

9 الملحقات ودراسات الحالة

1.9 شركات خدمات الطاقة

ستكون سوق القدرة الموزعة مهمة لتسريع نشر حلول القدرة النظيفة في إفريقيا، وتوفير خدمات قدرة موثوقة وبأسعار ميسورة ونظيفة لقطاع مشغلي أبراج الاتصالات.

سوق متنامية

زاد عدد الاشتراكات الجديدة في الخدمات الخلوية في إفريقيا بمعدل سنوي يزيد عن 12 في المائة في المتوسط بين عامي 2010 و2015، ومن المتوقع أن ينمو حجم الشبكة المتنقلة الإفريقية من 000 240 برج في عام 2014 إلى 000 325 برج بحلول عام 2020. ويأتي مشغلو الشبكات المتنقلة (MNO) في صميم اقتصاد إفريقيا المتنقل سريع النمو، بما في ذلك التجارة الإلكترونية والتجارة المتنقلة، والخدمات المالية المتنقلة، والخدمات المصرفية المتنقلة وغيرها من الخدمات ذات القيمة المضافة مثل الصحة الإلكترونية والحكومة الإلكترونية والزراعة الإلكترونية.

غير أنه مع تحرك مشغلي الشبكات المتنقلة نحو المناطق الريفية ذات الكثافة السكانية المنخفضة، ينخفض متوسط الإيرادات لكل مستخدم (ARPU) وتزداد تكاليف الطاقة، نظراً لعدم وجود قدرة للشبكة وارتفاع تكاليف الوقود. ويمكن أن تصل تكاليف الطاقة إلى 60 في المائة من نفقات تشغيل البنية التحتية لمشغلي الشبكات المتنقلة، وتعمل كعامل مثبط لنشر الخدمة المتنقلة على نطاق واسع في المناطق الريفية. ومع الانخفاض الأخير في أسعار الطاقة الشمسية الكهرضوئية وتكنولوجيات تخزين الطاقة، أصبحت حلول القدرة الشمسية والهجينة قادرة على المنافسة بشكل متزايد ويمكن أن توفر لمشغلي الشبكات المتنقلة وشركات الأبراج مصدراً أكثر موثوقية وفعالية من حيث التكلفة للقدرة.

ولكن في بيئة سريعة النمو وشديدة التنافسية، يركز مشغلو الشبكات المتنقلة على خدمة العملاء والاستثمار في البنية التحتية النشطة (مثل المعدات الراديوية) بدلاً من استثمار الوقت والموارد في حلول الطاقة النظيفة. وفي ساحة طاقة الأبراج المتطورة باستمرار والتي تتطلب خبرة تقنية محددة، لا يكون مشغلو الشبكات المتنقلة في وضع مثالي لدفع كفاءة استخدام الطاقة. وبالإضافة إلى ذلك، مع انخفاض متوسط الإيرادات لكل مستخدم، يضع مشغلو الشبكات المتنقلة أولوية على توسيع الشبكات وتحديث تكنولوجيات المعدات النشطة. وفي ضوء محدودية رأس المال، فإنهم يميلون إلى تفضيل الاستثمار في المعدات الراديوية النشطة على الاستثمار في حلول الطاقة. وتترك إمكانات توفير التكاليف لحلول الطاقة الخضراء والمتجددة غير مستغلة، خاصة وأن توقعاتهم لتغطية التكاليف تصل إلى أربع سنوات كحد أقصى. وتكون شركات خدمات الطاقة (ESCO) في وضع أفضل للاستثمار في الأصول الطويلة الأجل وإهلاكها بمرور الوقت من أجل جني الفوائد الكاملة للتكاليف المنخفضة.

الشكل 34: حلول القدرة لدى شركات خدمات الطاقة في إفريقيا

الاستدامة

يلتزم مشغلو الشبكات المتنقلة وشركات أبراج الاتصالات المدرجة بخفض انبعاثاتها من ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن العمليات. ومن خلال خفض استهلاك الوقود بنسبة 66 في المائة في المتوسط نتيجة الاستثمار في أنظمة الطاقة الفعالة، يعمل مشغلو الشبكات المتنقلة على تقليل انبعاثاتهم من ثاني أكسيد الكربون بشكل كبير.

تشتمل الفوائد التي تعود على مشغلي الشبكات المتنقلة وشركات أبراج الاتصالات من حلول شركات خدمات الطاقة على ما يلي:

- الحفاظ على النفقات الرأسمالية

  يسمح التعاقد مع شركات خدمات الطاقة للاستثمار في توليد شبكات الطاقة وتشغيلها وصيانتها (O&M) لمشغلي الشبكات المتنقلة وشركات أبراج الاتصالات بالحد من التأثير على النفقات الرأسمالية الأولية وتقليل تعبئة احتياطيات رأس المال لتمويل أصول الأعمال غير الأساسية.

- تقليل التكاليف

  يسمح نموذج شركات خدمات الطاقة لمشغلي الشبكات المتنقلة وشركات أبراج الاتصالات بالاستفادة من انخفاض كبير في إجمالي النفقات التشغيلية (بين 20 و35 في المائة حسب البلد) بفضل تقليل نفقات الطاقة بشكل أساسي ولكن أيضاً بفضل خفض تكاليف التشغيل والصيانة دون الحاجة إلى صرف أي تدفق نقدي استثماري، نظراً لأن شركات خدمات الطاقة تستثمر لصالحهم.

- المصداقية

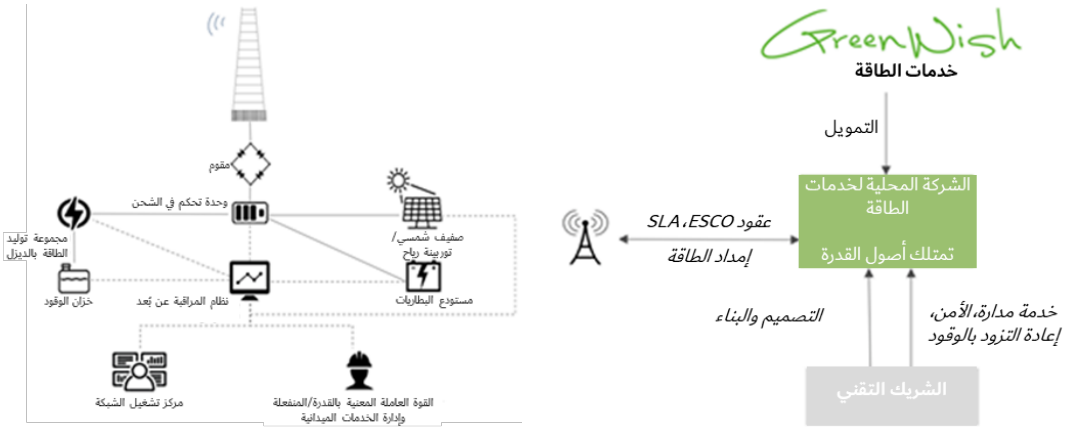
  إن الطاقة بالغة الأهمية لمشغلي الشبكات المتنقلة وشركات أبراج الاتصالات من أجل ضمان موثوقية شبكتهم ومستوى الخدمات المقدمة لعملائهم. ويمكّنهم نموذج شركات خدمات الطاقة من الاستفادة من مصدر قدرة موثوق به وبحاجة إلى صيانة قليلة في المواقع، فضلاً عن ضمانات الأداء المتعاقد عليها.

2.9 الحلول المالية والتعاقدية والتشغيلية النمطية

ستكون شركة ESCO المحلية مسؤولة عن تصميم وشراء وتشغيل وصيانة المعدات الموفرة للطاقة لتزويد أبراج الاتصالات بالقدرة. وستتعاقد كل شركة من الشركات ESCO المحلية مع عميل واحد أو أكثر من خلال اتفاق خدمات رئيسية مدته عشر سنوات (أو أكثر)، وفرض الرسوم التالية عليهم:

- رسم ثابت للبنية التحتية تغطي النفقات الرأسمالية الأولية والنفقات الرأسمالية للاستبدال، وتكاليف التمويل وتكاليف إدارة الشركة ESCO؛
- رسم للطاقة يغطي تكاليف الوقود والشبكة، مع حجم مضمون من وفورات الوقود (تمرير المخاطر إلى الشريك التقني)؛
- رسم تشغيل وصيانة يغطي خدمات التشغيل والصيانة (تمرير المخاطر إلى الشريك التقني).

الشكل 35: مثال على الحلول التعاقدية والتقنية لشركات الاتصالات



توزيع المخاطر

يمكّن نموذج شركات ESCO مشغلي شبكات الاتصالات/شركات أبراج الاتصالات من عزل أصول الطاقة المتعلقة بأبراجها في أداة مخصصة للأغراض الخاصة. وكما هو الحال في هيكل التمويل النمطي القائم على الأصول/المشروع، سيتم تمرير مخاطر البناء والأداء والتشغيل إلى شركاء EPC والتشغيل والصيانة للمشروع.

قابلية التكرار وتوسيع النطاق

بفضل الوجود المحلي لشركاء التشغيل والصيانة الذين يعملون بالفعل مع مشغلي MNO في إفريقيا جنوب الصحراء وأنشطتهم، يمكن تكرار نموذج الشركات ESCO وتوسيع نطاقه بسهولة في البلدان الأخرى. ويجب أن تكون اتفاقات الخدمة الرئيسية بين الشركات ESCO والمشغلين موحدة للغاية بين المشاريع. وعلى هذا النحو، سيتم تجميع الشركات ESCO المحلية مع المشاريع المستقبلية على مستوى حافظة الشركات ESCO، مما يتيح للمقرضين إما دعم المشاريع على مستوى الحافظة أو على مستوى المشروع، معتمدين دائماً على الأصول من الأوراق المالية، ولكن سيستطيعون في النهاية تنويع المخاطر التي تتعرض لها حافظتهم.

تأثير بيئي قوي للاستثمار

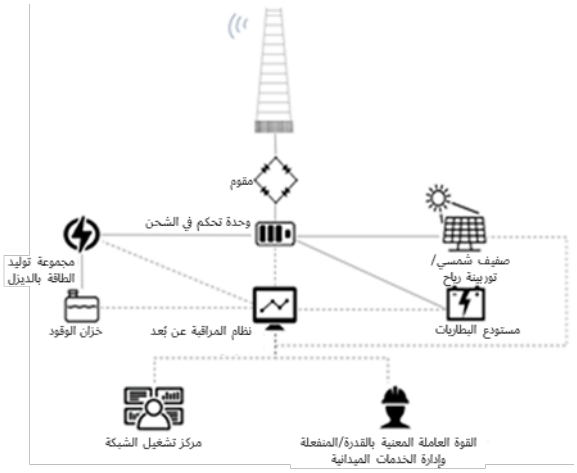
تعتمد أعمال الشركات ESCO على استبدال أنظمة توليد الطاقة كثيفة استهلاك الوقود بأنظمة هجينة لتوليد القدرة. وعلى سبيل المثال، يتيح الاستثمار إمكانية تركيب معدات توليد الطاقة المتجددة أو البطاريات الفعالة، مما يقلل استهلاك الوقود بنسبة 66 في المائة في المتوسط، وهو ما يعادل توفير حوالي 500 5 طن من مكافئ انبعاثات ثاني أكسيد الكربون سنوياً في حالة مشروع شركة Orange في جمهورية الكونغو الديمقراطية وحدها.

حل تقني موثوق

ستحل كل شركة من الشركات ESCO المحلية أنظمة توليد القدرة العاملة بالديزل وغير الفعالة المملوكة لمشغلي MNO أو الشركات TowerCo بأنظمة شمسية هجينة تتسم بالكفاءة من حيث الطاقة وستوفر قدرة كهربائية:

- أرخص بفضل خفض الاعتماد على مولدات الديزل؛
- أنظف، حيث يتم تقليل استهلاك الوقود بنسبة 50-100 في المائة؛
- أكثر موثوقية بفضل وقت التشغيل المضمون الذي يصل إلى 99,9 في المائة.

الشكل 36: مثال على حل تقني موثوق



3.9 المجتمعات الخضراء الذكية

1.3.9 المجتمعات الذكية

المجتمعات الذكية عبارة عن منصة توزيع عالمية مادية ورقمية مشتركة تستهدف المناطق المحرومة من الخدمات بهدف نهائي يتمثل في تعزيز التنمية الاجتماعية والاقتصادية.

وتعاج المجتمعات الذكية 15 من أصل أهداف التنمية المستدامة السبعة عشر التي حددتها الأمم المتحدة، بما يتماشى مع مبادرة الرئاسة الفرنسية، التي تم تقديمها في قمة كوكب واحد في نيروبي في مارس 2019، بمشاركة وكالة التنمية الفرنسية (AFD) وشركة Bpifrance، من بين مؤسسات أخرى.

ومن خلال نموذج من الشركات إلى الحكومة (B-to-G)/الشركات إلى الشركات إلى المستهلكين (B-to-B-to-C)، تعمل المراكز التي تعمل بالقدرة الشمسية والمتصلة ببعضها البعض كمستودعات صغرى وأركان مستقلة، ونقاط توزيع فعالة وذكية لإتاحة المنتجات والخدمات التجارية والحكومية والمتعلقة بالمنظمات غير الحكومية في الميل الأخير. ومن خلال النفاذ إلى شبكة البنية التحتية المشتركة، يمكنها توسيع نطاق أنشطتها وأعمالها بتكاليف منخفضة، والمساهمة في استراتيجياتها الاجتماعية والبيئية.

كما تفتح المجتمعات الذكية الفرص بطريقة مستدامة للسكان المحليين، حيث تعمل كمتجر شامل لجميع هذه الخدمات المتنوعة وبوابة إلى السوق العالمية.

وفي نموذج يمكن توسيع نطاقه ومربح، يتمثل الطموح في توفير النفاذ إلى الخدمات الشاملة بأقل تكاليف هامشية: الكهرباء، والمياه، والتوصيلية، والتعليم، والصحة، وخدمات الحكومة الإلكترونية، والخدمات المصرفية وكذلك توفيرها للمزارعين، والنساء، وتمكين الشباب.

الشكل 37: مثال على قرية خضراء ذكية

المصدر: GreenWish.

2.3.9 نموذج الأعمال

الطريق الى السوق

من خلال شبكة المجتمعات الذكية، يصل الشركاء من الحكومات والقطاع الخاص إلى أسواق جديدة بتكلفة تنافسية للتوزيع أو التسليم، ولكن يصبح بإمكانهم أيضاً النفاذ إلى المساحات الإعلانية وتوفير النفاذ إلى البيانات التي يمكن أن تكون ذات قيمة كبيرة كمدخل للسياسات العامة ولتحسين فهم المستهلكين. ويتمتع شركاء B-to-B بنموذج الأعمال الشامل للمجتمعات الذكية، والذي يعالج 15 من أهداف التنمية المستدامة السبعة عشر التي حددتها الأمم المتحدة من خلال النفاذ إلى المياه والكهرباء والتوصيلية والتعليم والصحة والزراعة وخلق فرص العمل وتمكين المرأة والشباب وخدمات الحكومة الإلكترونية والخدمات المصرفية وما إلى ذلك.

ويتم تشغيل المجتمعات الذكية المحلية من قبل مزيج من الموظفين الداخليين وأصحاب الامتيازات الفرعية كمستأجرين للمتاجر.

وتوفر شركة GreenWish إدارة البنية التحتية والمنصة الرقمية من خلال مقاولين من الباطن.

ويهدف هيكل الامتيازات إلى تسريع النمو المطرد لمنصة المجتمعات الذكية، مما يتيح للشركات صاحبة العلامات التجارية المحلية والدولية النفاذ إلى المستهلكين والمستخدمين، والإعلان، والمنصة الرقمية، والخدمات اللوجستية المشتركة، والطاقة والتوصيلية في بلدان متعددة.

والنموذج قائم على الحوافز ويتوسع بشكل مطرد: كلما أصبح مربحاً بشكل أسرع، كلما أصبح من الممكن تقديم المزيد من الخدمات وتحقيق تأثيرات إضافية. ولا يمكن أن ينجح هذا النموذج إلا من خلال نهج مشترك وتعاوني بين الشركات صاحبة العلامات التجارية والحكومات.

نموذج الدخل

يعتمد نموذج دخل المجتمعات الذكية على:

- مستأجر طويل الأجل أو رسوم ثابتة للمستخدم من شركاء B-to-B
- تقاسم رسوم المعاملات بالنسبة للمعاملات المادية والرقمية في الموقع
- الدعاية

- جمع البيانات وتحقيق قيمة نقدية منها، المملوكة بالاشتراك مع الحكومات المحلية
- مِنح المسؤولية الاجتماعية للشركات من الشركاء الخاصين والمنظمات غير الحكومية لدعم الأنشطة الاجتماعية غير الهادفة للربح

الهيكل التعاقدي

ينطوي النموذج الأكثر قابلية للتطبيق والاستدامة على تمويل البنية التحتية من قبل الحكومة المحلية، أو من خلال تمويل مؤسسات تمويل التنمية (DFI) أو ائتمانات التصدير.

ونظراً لأن مهمة المجتمعات الذكية هي تعزيز التنمية الاجتماعية والاقتصادية في المناطق المحرومة من الخدمات عن طريق تقديم منتجات وخدمات جديدة ومبتكرة، خاصة وعامة على حد سواء، فمن المنطقي إنشاء النشاط كنموذج امتيازات تمتلك فيه الحكومة البنى التحتية بينما تقوم المجتمعات الذكية ببنائها وتشغيلها وإدارة الأنشطة.

3.3.9 الخدمات الرئيسية

- الكهرباء

المجتمعات الذكية تُزود بالطاقة من خلال القدرة الشمسية/البطاريات وهي غير متصلة تماماً بالشبكة الرئيسية.

ويتم تكييف حجم القدرة وفقاً لحجم المجتمعات والخدمات الذكية (التخزين البارد، والتوصيلية، وما إلى ذلك)، والتي تكون في شكل وحدات وقابلة للتكيف مع الموقع: شبه الحضرية أو الريفية.

ويمكن لمستأجري المتاجر أيضاً بيع شحن القدرة في الموقع للعملاء الأفراد.

- المياه

المجتمعات الذكية مجهزة بأنظمة تنقية المياه منخفضة التكاليف لخدمة 200-000 3 شخص يومياً.

- التخزين والتخزين البارد

كل مجتمع ذكي مجهز بقدرات التخزين والتخزين البارد، بما في ذلك التخزين المجمد عند الاقتضاء.

وتكون مساحة التخزين متاحة للسلع الاستهلاكية سريعة الحركة (الطعام والشراب ومستلزمات العناية الشخصية)، والمنتجات الصيدلانية، وأجهزة ومنتجات الاتصالات، وأنظمة الطاقة الشمسية المنزلية، ومن المحتمل الأسمدة، وغيرها من المنتجات المحلية ذات الصلة. وستعمل نقاط التخزين هذه أيضاً كنقاط توزيع محلية.

ومنصة رقمية تدعم إمكانية تتبع المنتجات من الاستيراد إلى مبيعات B-to-C ورصد المخزون.

- البيع بالتجزئة

لدى المجتمعات الذكية متجر زاوية للمبيعات المباشرة.

- نقطة اتصال الواي-فاي

يكون لكل مجتمع ذكي إمكانية النفاذ إلى شبكة الواي-فاي بأشكال مختلفة من النفاذ.

وإذا لم تكن هناك توصيلة إنترنت متاحة في القرية، سواء عن طريق شبكة 3G أو مزود خدمة الإنترنت (ISP)، تكون هناك خيارات مختلفة متاحة.

وفي بيئة غير مغطاة تماماً بالشبكة الرئيسية، يمكن الحصول على الإنترنت بفضل أقرب BTS أو اتصال ساتلي (VSAT)، أو باستخدام النطاق التلفزيوني غير المشغول.

وستكون المجتمعات الذكية بمثابة المختبر لسبل النفاذ المتعددة للتوصيلية بأسعار تنافسية في المناطق النائية.

- الخدمات الرقمية

تعمل المنصة الرقمية المخصصة، المتوفرة في كل مجتمع ذكي، كسوق للخدمات وتستضيف الخدمات الإلكترونية من الشركاء الاستراتيجيين بما في ذلك: الحكومة الإلكترونية، والصحة الإلكترونية، والتعليم الإلكتروني، والخدمات المصرفية الإلكترونية، والزراعة الإلكترونية، والتجارة الإلكترونية.

وقد يتم تطوير بعض الخدمات الإلكترونية المحددة داخلياً.

- جمع البيانات

ستجمع المنصة البيانات المادية والرقمية المخصصة للعملاء والشركاء.

ويخدم كل مجتمع ذكي مجموعة من 15 000 إلى 20 000 شخص في منطقة مساحتها 5 كيلومترات، ويتمتع بموقع استراتيجي للحركة.

وستخلق هذه البصمة والخدمات والمنتجات المتعددة المقدمة في المجتمعات الذكية فرصة كبيرة لجمع البيانات المستهدفة لجميع الشركاء.

وستكون البيانات مملوكة بشكل مشترك بين شركة GreenWish والحكومة المحلية، وستتم إتاحتها للشركاء الآخرين مقابل رسوم، مع مراعاة الغرض من الاستخدام.

4.3.9 المسؤولية الاجتماعية للشركات (CSR)

تقيس المجتمعات الذكية تأثير المسؤولية الاجتماعية للشركات من خلال أهداف التنمية المستدامة.

ومن خلال نشر البنية التحتية لتحسين الحصول على الطاقة وتقليل الفجوة الرقمية في المجتمعات المحرومة من التوصيلية، تتناول المجتمعات الذكية 15 هدفاً من أهداف التنمية المستدامة السبعة عشر.

الشكل 38: المجتمعات الخضراء الذكية وأهداف التنمية المستدامة

- المشاركة في **التعليم** وبناء القدرات مع التدريب العام والقطاعي المحدد.
- إطلاق عنان **توزيع مختلف السلع ذات القيمة المضافة**، بما في ذلك منتجات الطاقة الشمسية والمدخلات الزراعية المتخصصة.
- نشر الخدمات والمنتجات الرئيسية من خلال رائدات الأعمال وإلى **النساء**.
- مكافحة الفقر، مما يتيح للناس النفاذ إلى **المعلومات** ومعرفة السعر الحقيقي للسلع في السوق. وتوفير لهم أيضاً قناة مبيعات جديدة من خلال التجارة الإلكترونية.
- جعل **الزراعة الإلكترونية والصحة الإلكترونية والتعليم الإلكتروني** حقيقة واقعة في المناطق التي تكون في أمس الحاجة إليها.
- توفير التوصيلية، مما يساعد على جعل التصنيع أكثر ذكاءً وأقل كثافة كربونية.
- **تنسيق** عمل الجهات الخاصة الرئيسية والهيئات العامة والوكالات المتعددة الأطراف والمنظمات غير الحكومية في المناطق الأقل توصيلاً.

4.9 روابط مفيدة

تكنولوجيات القدرة الكهربائية المائية ومحطات القدرة الكهربائية المائية:

- https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=d8kQe9VdG4I
- https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=B5qIB-asIeo
- https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=W1PR9fhsf9c
- https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=UW_SgFUfYds
- https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=_qaUufeq_7IIIII

أخصائي تحويل القدرة

- https://www.enetek-power.com/industries

نقل القدرة لاسلكياً

- **WiPE (نقل القدرة لاسلكياً من أجل الإلكترونيات المستدامة)**
  - http://www.cost-ic1301.org
- **WiPoT (اتحاد نقل القدرة لاسلكياً من أجل التطبيقات العملية)**
  - http://www.wipot.jp/english
- **BWF (منتدى لاسلكي واسع النطاق)**
  - http://bwf-yrp.net/english
  - https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/renewable-capacity-growth-between-2019-and-2024-by-technology

الاختصارات

ESCO	شركة خدمات الطاقة *(Energy services company)*
SDG	أهداف التنمية المستدامة *(Sustainable Development Goals)*
	MNO: مشغل الشبكة المتنقلة *(mobile network operator)*
O&M	التشغيل والصيانة *(operation and maintenance)*
IRENA	الوكالة الدولية للطاقة المتجددة *(International Renewable Energy Agency)*
ADFD	صندوق أبو ظبي للتنمية *(Abu Dhabi Fund for Development)*
DFI	مؤسسات تمويل التنمية *(development finance institutions)*
CPE	معدات منشآت العملاء *(customer premises equipment)*

الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU)
مكتب تنمية الاتصالات (BDT)
مكتب المدير

Place des Nations
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: bdtdirector@itu.int
Tel.: +41 22 730 5035/5435
Fax: +41 22 730 5484

مكتب نائب المدير ودائرة تنسيق العمليات الميدانية للحضور الإقليمي (DDR)

Place des Nations
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: bdtdeputydir@itu.int
Tel.: +41 22 730 5131
Fax: +41 22 730 5484

دائرة الشبكات الرقمية والمجتمع الرقمي (DNS)

Email: bdt-dns@itu.int
Tel.: +41 22 730 5421
Fax: +41 22 730 5484

دائرة محور المعارف الرقمية (DKH)

Email bdt-dkh@itu.int
Tel.: +41 22 730 5900
Fax: +41 22 730 5484

دائرة الشراكات من أجل التنمية الرقمية (PDD)

Email: bdt-pdd@itu.int
Tel.: +41 22 730 5447
Fax: +41 22 730 5484

إفريقيا

إثيوبيا
المكتب الإقليمي للاتحاد

Gambia Road
Leghar Ethio Telecom Bldg. 3rd floor
P.O. Box 60 005
Addis Ababa - Ethiopia

Email: itu-ro-africa@itu.int
Tel.: +251 11 551 4977
Tel.: +251 11 551 4855
Tel.: +251 11 551 8328
Fax: +251 11 551 7299

الكاميرون
مكتب المنطقة للاتحاد

Immeuble CAMPOST, 3e étage
Boulevard du 20 mai
Boîte postale 11017
Yaoundé - Cameroon

Email: itu-yaounde@itu.int
Tel.: + 237 22 22 9292
Tel.: + 237 22 22 9291
Fax: + 237 22 22 9297

السنغال
مكتب المنطقة للاتحاد

8, Route des Almadies
Immeuble Rokhaya, 3e étage
Boîte postale 29471
Dakar - Yoff - Senegal

Email: itu-dakar@itu.int
Tel.: +221 33 859 7010
Tel.: +221 33 859 7021
Fax: +221 33 868 6386

زيمبابوي
مكتب المنطقة للاتحاد

TelOne Centre for Learning
Corner Samora Machel and
Hampton Road
P.O. Box BE 792
Belvedere Harare - Zimbabwe

Email: itu-harare@itu.int
Tel.: +263 4 77 5939
Tel.: +263 4 77 5941
Fax: +263 4 77 1257

الأمريكتان

البرازيل
المكتب الإقليمي للاتحاد

SAUS Quadra 6 Ed. Luis Eduardo Magalhães,
Bloco "E", 10º andar, Ala Sul (Anatel)
CEP 70070-940 Brasilia - DF - Brazil

Email: itubrasilia@itu.int
Tel.: +55 61 2312 2730-1
Tel.: +55 61 2312 2733-5
Fax: +55 61 2312 2738

بربادوس
مكتب المنطقة للاتحاد

United Nations House
Marine Gardens
Hastings, Christ Church
P.O. Box 1047
Bridgetown - Barbados

Email: itubridgetown@itu.int
Tel.: +1 246 431 0343
Fax: +1 246 437 7403

شيلي
مكتب المنطقة للاتحاد

Merced 753, Piso 4
Santiago de Chile
Chile

Email: itusantiago@itu.int
Tel.: +56 2 632 6134/6147
Fax: +56 2 632 6154

هندوراس
مكتب المنطقة للاتحاد

Colonia Altos de Miramontes
Calle principal, Edificio No. 1583
Frente a Santos y Cía
Apartado Postal 976
Tegucigalpa - Honduras

Email: ituteguciglapa@itu.int
Tel.: +504 2235 5470
Fax: +504 2235 5471

الدول العربية

مصر
المكتب الإقليمي للاتحاد

Smart Village, Building B 147,
3rd floor
Km 28 Cairo
Alexandria Desert Road
Giza Governorate
Cairo
Egypt

Email: itu-ro-arabstates@itu.int
Tel.: +202 3537 1777
Fax: +202 3537 1888

آسيا – المحيط الهادئ

تايلاند
المكتب الإقليمي للاتحاد

4th floor NBTC Region 1 Building
101 Chaengwattana Road
Laksi - Bangkok 10210 - Thailand

Mailing address:
P.O. Box 178, Laksi Post Office
Laksi, Bangkok 10210, Thailand

Email: itu-ro-asiapacific@itu.int
Tel.: +66 2 574 9326 – 8
+66 2 575 0055

إندونيسيا
مكتب المنطقة للاتحاد

Sapta Pesona Building
13th floor
Jl. Merdan Merdeka Barat No. 17
Jakarta 10110 - Indonesia

Email: itu-ro-asiapacific@itu.int
Tel.: +62 21 381 3572
Tel.: +62 21 380 2322/2324
Fax: +62 21 389 5521

كومنولث الدول المستقلة

الاتحاد الروسي
المكتب الإقليمي للاتحاد

4, Building 1
Sergiy Radonezhsky Str.
Moscow 105120
Russian Federation

Email: itumoscow@itu.int
Tel.: +7 495 926 6070

أوروبا

سويسرا
الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU)
مكتب أوروبا (EUR)

Place des Nations
CH-1211 Geneva 20 - Switzerland

Email: eurregion@itu.int
Tel.: +41 22 730 5467
Fax: +41 22 730 5484

الاتحاد الدولي للاتصالات
مكتب تنمية الاتصالات
Place des Nations
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

ISBN: 978-92-61-35966-9

نُشرت في سويسرا
جنيف، 2023
إصدار الصور: Shutterstock